

LARS MYHRE, PETER G. SCHILD, TRINE D. PETERSEN, PETER BLOM OG
LARS GULLBREKKEN

Veileder for prosjektering av passivhus – småhus

Prosjektrapport 105

2012



SINTEF Byggforsk

Lars Myhre, Peter G. Schild, Trine D. Pettersen, Peter Blom og Lars Gullbrekken

Veileder for prosjektering av passivhus – småhus

Prosjektrapport 105 – 2012

Prosjektrapport nr. 105

Lars Myhre, Peter G. Schild, Trine D. Pettersen, Peter Blom, og Lars Gullbrekken

Veileder for prosjektering av passivhus – småhus

Prosjektnr: 3B076201

Emneord:

Passivhus, energi, oppvarming, BIM

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1305-5 (pdf)

ISBN 978-82-536-1309-3 (trykt)

Omslag, illustrasjonsbilde:

«Passivhus i Sandnes oppført av Fjogstad-Hus»

Foto: P. B. Lotherington/Byggmesteren

18 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2012

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



Forord

Denne veilederen om prosjektering av passivhusboliger er utarbeidet av Boligprodusentenes Forening og SINTEF Byggforsk. Veilederen er finansiert med kompetansetilskudd fra Husbanken.

Veilederen er en oppfølger til Byggforsk Anvisning 40 "Energieffektive løsninger i småhus" som ble utgitt i 2004 av Norges byggforskningsinstitutt i samarbeid med Boligprodusentenes Forening.

Veilederen skal være en hjelp i forbindelse med prosjektering og utvikling av passivhusboliger. Veilederen tar utgangspunkt i passivhuskravene i standarden NS 3700 "Kriterier for passivhus og lavenergibygg. Boligbygninger" og presenterer bakgrunnen for fastsettelse av disse kravene. Veilederen presenterer også hvilke faktorer som påvirker beregnet energibehov etter standarden.

Som et eksempel vises beregning av energibehovet i et småhus ved hjelp av det dynamiske energisimuleringsprogrammet TEK-sjekk Energi. Det valgte eksempelet er en enebolig i to fulle etasjer med flatt tak og oppvarmet bruksareal 167 m².

Oslo, desember 2012

Lars Myhre
Teknisk sjef
Boligprodusentenes Forening

Trine D. Pettersen
Forskningsjef
SINTEF Byggforsk

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	6
Kapittel 1 Innledning	7
1.1 Hva er passivhus?	7
1.2 Krav i passivhusstandarden NS 3700.....	7
1.2.1 Areal- og klimakorrigert oppvarmingskrav	8
1.2.2 Minstekrav til varmetapstall.....	10
1.2.3 Minstekrav til bygningsdeler og komponenter.....	10
1.2.4 Minstekrav til energiforsyning	10
1.3 Styring av byggeprosess	11
1.4 Inneklima.....	11
1.4.1 Termisk komfort.....	11
1.4.2 Luftkvalitet - ventilasjonsmengde	12
1.4.3 Dagslys.....	12
1.5 Passivhus og energimerking.....	12
1.6 Prosjektering med BIM	13
1.6.1 Åpen BIM.....	14
1.6.2 Geometrisk uttrekk fra BIM-modell	15
Kapittel 2 Beregning av energibehov etter NS 3031 og NS 3700	16
2.1 Valg av beregningsprogram.....	16
2.1.1 Månedstasjonær beregning	16
2.1.2 Dynamiske beregningsprogrammer	17
2.2 Klimadata	18
2.3 Geometriske inndata	18
2.3.1 Arealer og volum.....	18
2.3.2 Orientering	18
2.3.3 Temperatursoning	18
2.4 Inndata – transmisjonsvarmetap (U-verdier og kuldebroer)	19
2.4.1 U-verdi - varmegjennomgangskoeffisient.....	19
2.4.2 Kuldebroer.....	25
2.4.3 Frostsikring og markisolasjon	29
2.5 Inndata - ventilasjon og varmegjenvinning.....	30
2.5.1 Luftmengder	30
2.5.2 Type ventilasjon	30
2.5.3 SFP - vifter og viftestyring.....	32
2.5.4 Husk tilluft til kjøkkenventilator!.....	32
2.5.5 Utforming av kanalnett.....	33
2.5.6 Drift og vedlikehold – Filterskifte og rengjøringsvennlighet.....	34
2.5.7 Luftoppvarming.....	34
2.6 Inndata – infiltrasjon og luftelekkasjer	35
2.6.1 Anblåsning og gjennomblåsning.....	36
2.6.2 Inntrukket dampspærre.....	37
2.6.3 Detaljløsninger	38
2.7 Inndata om solskjerming.....	39
2.8 Inndata - varmekapasitet, termisk masse	40
2.8.1 Normalisert varmekapasitet.....	40
2.8.2 Beregnet varmekapasitet for småhus (eneboliger)	40
2.8.3 Beregnet varmekapasitet for leiligheter	41
2.9 Inndata om varmtvann	41
2.10 Inndata om elektrisk utstyr og belysning.....	42
2.11 Inndata energiforsyning – levert energibehov	43
2.11.1 Oppvarmingsanlegg - plassering av varmekilder og heteflater - kaldrassikring	43
2.11.2 Energiforsyning.....	45
Kapittel 3 Eksempel på beregning av energibehov i passivhus etter NS 3700	47

3.1 Presentasjon av Demohuset	47
3.1.1 Areal av vegger, tak, golv og vinduer/dører.....	49
3.2 Inndata TEK-sjekk: "1 GENERELT"	51
3.3 Inndata TEK-sjekk: "2. BYGNINGEN"	51
3.3.1 Dimensjoner	51
3.3.2 Bygningskropp (kuldebroer, lekkasjetall og varmekapasitet)	52
3.3.3 Ventilasjon (luftmengder, SFP og temperaturvirkningsgrad)	54
3.3.4 Klimatisering (styring av tilluftstemperatur, kjøling og nattesenking)	54
3.4 Inndata TEK-sjekk: "3. KONSTRUKSJONSTYPER"	55
3.5 Inndata TEK-sjekk: "4. TYPER VINDUER/DØR "	55
3.6 Inndata TEK-sjekk: "5. FASADER / BYGNINGSKROPPEN"	57
3.7 Inndata TEK-sjekk: "6. ENERGIFORSYNING"	57
3.8 Beregningsresultater	57
3.8.1 Beregnet varmetapsbudsjett	57
3.8.2 Beregnet netto oppvarmingsbehov	58
3.8.3 Beregnet energiforsyning	58
3.8.4 Inneklima	59
3.9 Dokumentasjon (Tillegg J NS 3031:2007)	60
Kapittel 4 Vurdering av inndata for energiberegning	61
4.1 Endret klima	61
4.2 Endret bygningsform	61
4.3 Endret orientering	63
4.4 Endret varmekapasitet	63
4.5 Endret lekkasjetall (n_{50})	63
4.6 Endrete U-verdier	64
4.6.1 Endret U-verdi i golv	64
4.6.2 Endret U-verdi i yttervegg	64
4.6.3 Endret U-verdi i tak	64
4.6.4 Endret U-verdi for vinduer	64
4.7 Endret temperaturvirkningsgrad	65
4.7.1 Endret temperaturvirkningsgrad, ventilasjon	65
4.8 Diskusjon	65
Kapittel 5 Fuktsikring	66
Kapittel 6 Lekkasjemåling	68
Kapittel 7 Referanser	69

Sammendrag

Kapittel 1 presenterer de norske passivhuskravene gitt i standarden NS 3700:2010. Oppvarmingsbehovet skal beregnes med lokale klimadata, og ikke med standard referanseklime som etter rammekrav i TEK10. NS 3700 har et areal- og klimakorrigert oppvarmingskrav, hvor det tillates høyere oppvarmingsbehov enn 15 kWh/m^2 oppvarmet BRA når boligbygget er mindre enn 250 m^2 oppvarmet BRA, og når årsmiddeltemperaturen er lavere enn $6,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (tilsvarer Osloklime). NS 3700 stiller videre minstekrav til spesifikt varmetapstall og minstekrav til bygningsdeler og komponenter. Standarden har også et eget energiforsyningskrav som sier at deler av energiforsyningen skal dekket med annet enn elektrisitet og fossile brensel. Kapitlet presenterer videre utviklingen innenfor BIM-området, og mulighet for å overføre informasjon fra BIM-modell til energisimuleringsprogram.

Kapittel 2 beskriver beregning av energibehovet etter NS 3031, og hvilke inndata som kreves. Kapitlet gir eksempler på verdier som kan benyttes i energisimuleringen.

Kapittel 3 viser et detaljert eksempel på beregning av energibehovet i et passivhus ved hjelp av SINTEF Byggforsk sitt dynamiske energiberegningsprogram TEK-sjekk Energi. Som eksempel er det valgt en enebolig i to fulle etasjer med flatt tak. Dette huset, Demohuset, er Boligprodusentenes demonstrasjonshus (www.demohuset.no). Energiytelsen til huset beregnes opp mot kravene i NS 3700. Det antas at boligen ligger i Osloklime. Huset klarer akkurat oppvarmingskravet som er 20 kWh/m^2 . Minstekravene oppfylles med god margin.

Kapittel 4 diskuterer de ulike faktorene som virker inn på det beregnede oppvarmingsbehovet. Det kreves ambisiøse og kostnadsdrivende løsninger for at Demohuset skal tilfredsstille passivhuskravet i NS 3700. To aktuelle grep for å forbedre kostnadseffektiviteten er å utføre huset med et kaldt uluftet loftsrom (W-takstoler), og ikke flatt kompakttak, og samtidig velge en mer kompakt bygningsform med rektangulær grunnflate. Med disse to grepene kan isolasjonen i taket reduseres til 50 cm og i ytterveggene til 30 cm. Men husets uttrykk vil samtidig endres radikalt. Kapitlet viser at det i andre klima enn Osloklime kan være vesentligere enklere å tilfredsstille passivhuskravene i NS 3700.

Kapittel 5 og 6 omtaler kort noen utfordringer knyttet til fuktsikring av passivhus og hvordan lekkasjetallet skal måles etter standarden NS-EN 13829.

Kapittel 1 Innledning

1.1 Hva er passivhus?

Passivhus er meget godt isolerte bygg med minimalt oppvarmingsbehov. Konseptet ble opprinnelig utviklet i Tyskland på begynnelsen av 1990-tallet og gikk ut på å isolere boligen så godt at hele oppvarmingsbehovet kunne dekkes med ettervarming av tilluften i det balanserte ventilasjonsanlegget. Man slapp dermed utgiftene til et konvensjonelt (les: vannbåret) varmeanlegg, og de reduserte installasjonskostnadene kunne brukes til en mer energieffektiv bygningskropp.

Men luft har liten varmekapasitet. For at ettervarmingen skulle være tilstrekkelig til å dekke varmebehovet, måtte dimensjonerende varmebehov begrenses til 10 W/m^2 . I tysk klima tilsa dette et årlig oppvarmingsbehov på ca 15 kWh/m^2 .

En norsk standard for passivhusboliger ble lansert i 2010 [NS 3700, 2010]. En tilsvarende passivhusstandard for yrkesbygg ble lansert i 2012 [NS 3701, 2012]. Begge disse standardene har et klimakorrigert krav som tar hensyn til at det i kalde deler av landet vil være høyere oppvarmingsbehov.

Klimaforliket i mars 2012 og meldingen til Stortinget om bygningspolitikk i juni 2012 signaliserer at passivhusnivå skal være norsk forskriftskrav i 2015 og nesten nullenerginivå i 2020 [KRD, 2012]. Det presiseres ikke hva som menes med passivhusnivå og nær nullenerginivå, annet enn å beskrive at kravsnivået vil bli satt på bakgrunn av utredninger om konsekvenser for samfunnsøkonomi og helse, og kompetanse i byggenæringen.

EU har også ambisiøse målsetninger på energi- og klimaområdet. Det reviderte bygningsenergidirektivet vedtatt av EU i mai 2010 stiller også krav om at alle nye bygg fra 2020 skal være "near to zero energy", og at det samme gjelder for alle nye bygg som det offentlige tar i bruk fra 2018 [EU, 2010]. Direktivet definerer ikke hva som menes med "near to zero energy buildings", annet enn å beskrive at dette er "building that has a very high energy performance" og at "the nearly zero or very low amount of energy required should to a very significant extent be covered by energy from renewable sources, including renewable energy produced on-site or nearby". Det er ennå ikke tatt stilling til om direktivet er EØS-relevant og dermed skal tas inn i norsk lovgivning under EØS-avtalen.

1.2 Krav i passivhusstandarden NS 3700

Den norske standarden NS 3700 "Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger" ble lansert i 2010. Standarden stiller krav til varmetap, oppvarmingsbehov og energiforsyning i passivhus og lavenergihus. Beregningene følger standarden NS 3031:2007 + A1:2011 [NS 3031, 2007], og samme normerte inndata skal brukes ved beregning av oppvarmingsbehov i NS 3700 som ved beregning av energibehov opp mot krav i byggteknisk forskrift (TEK10) [TEK10, 2010] og energimerking. I det følgende presenteres kravene til passivhus i NS 3700.

NS 3700 stiller fire hovedkrav:

1. Krav til maksimalt spesifikt oppvarmingsbehov (kWh/m^2 oppvarmet BRA)
2. Minstekrav til varmetapstall (W/K per m^2 oppvarmet BRA)
3. Minstekrav til bygningsdeler og komponenter
4. Krav til energiforsyning

Et forslag om mindre endringer og oppdateringer i NS 3700 ble sendt på høring i november 2012 [prNS 3700, 2012]

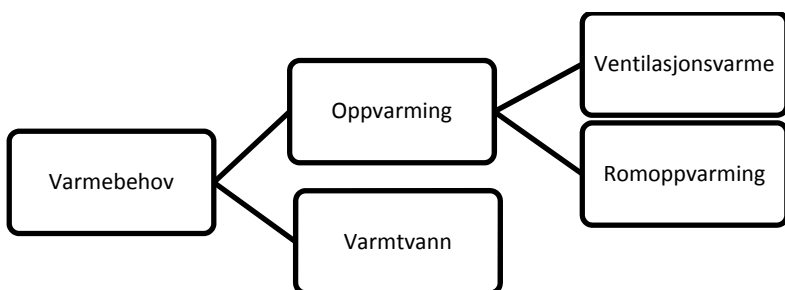
1.2.1 Areal- og klimakorrigert oppvarmingskrav

Oppvarmingskravet i NS 3700 tar utgangspunkt i det tyske passivhuskravet 15 kWh/m², og tilpasser dette kravet til norske forhold. Det er mye kaldere i Norge enn i Tyskland. Årsmiddeltemperaturen i Tyskland ligger typisk rundt 10-11 °C, og selv ikke de mildeste delene av Norge vil årsmiddeltemperaturen være like høy som i Tyskland. I de kaldeste delene av Norge vil det i praksis være umulig å tilfredsstille det tyske passivhuskravet 15 kWh/m².

NS 3700 har derfor et klimakorrigert oppvarmingskrav, hvor oppvarmingskravet er avhengig av årsmiddeltemperaturen (T_m) på stedet hvor boligen oppføres. Høyere oppvarmingsbehov enn 15 kWh/m² oppvarmet BRA aksepteres når årsmiddeltemperaturen er lavere enn 6,3 °C som er årsmiddeltemperatur for standard referanseklima i NS 3031 (tilsvarer Osloklima).

Oppvarmingsbehovet etter NS 3700 skal beregnes med lokale klimadata (representativt for kommunen hvor passivhuset oppføres), og ikke med standard referanseklima som etter rammekrav i TEK10.

Figur 1.2-1 viser netto varmebehov i en bygning etter NS 3700. Med oppvarming menes romoppvarming og ventilasjonsvarme. Hele varmebehovet kan dekkes med termisk energi.



Figur 1.2-1 Netto energibehov etter NS 3700

NS 3700 inneholder også et arealkorrigeringsledd for boligbygg under 250 m² oppvarmet BRA for å ta hensyn til at mindre hus har et høyere spesifikt varmetap og større oppvarmingsbehov enn større boligbygg. Tabell 1.2-1 viser det areal- og klimakorrigerede kravet i NS 3700.

Tabell 1.2-1 Krav til oppvarmingsbehov for passivhus i NS 3700:2010 (kWh/m² oppvarmet BRA)

Årsmiddeltemperatur	Oppvarmet BRA < 250 m ²	Oppvarmet BRA ≥ 250 m ²
$T_m \geq 6,3 \text{ °C}$	$15 + 5,4 \cdot \frac{250 - BRA}{100}$	15
$T_m < 6,3 \text{ °C}$	$15 + 5,4 \cdot \frac{250 - BRA}{100} + \left(2,10 - 0,59 \cdot \frac{250 - BRA}{100}\right) \cdot (6,3 - T_m)$	$15 + 2,10 \cdot (6,3 - T_m)$

Utgangspunktet for fastsettelse av passivhuskravet var at et boligbygg større enn 250 m² oppvarmet BRA skulle ha et netto oppvarmingsbehov på maksimum 15 kWh/m² beregnet med standard referanseklima (Osloklima).

Areal- og klimakorrigeringsfaktorene framkom ved å beregne oppvarmingsbehovet for fem kompakte småhus for standard referanseklima. Det minste huset var 105 m² BRA, og det største var 252 m² BRA. For alle husene ble det antatt energiltakene vist i tabell 1.2-2. Videre ble det antatt at husene hadde et vindus- og dørareal som utgjorde 20 % av oppvarmet bruksareal, og at vindusarealet fordelte seg med 20 % mot øst, 35 % mot sør, 20 % mot vest og 30 % mot nord. Dette er samme vindusfordeling som for referansehuset som ligger til grunn for energirammekrav i

byggteknisk forskrift (TEK10). Det ble også antatt at alle passivhusene hadde innvendig romhøyde 2,40 m.

Tabell 1.2-2. Aktuelle energitiltak i boliger for å tilfredsstille passivhuskrav i NS 3700

Energiltak	Kravs nivå	Kommentar
Golv på grunnen	0,11 W/(m ² K)	35 cm EPS
Yttervegg	0,11 W/(m ² K)	ca 40 cm isolasjon
Skrå isolert tak	0,10 W/(m ² K)	ca 40 cm isolasjon
Himling mot kaldt loft	0,08 W/(m ² K)	ca 50 cm isolasjon
Vinduer og dører	0,75 W/(m ² K)	3-lags glass med isolert karm
Lekkasjetall	0,6 luftveksling/time	Meget tett!
Ventilasjonsmengde	1,2 m ³ /(h·m ²)	Tilsvarende minstekrav i TEK10 § 13-2
Varmegjenvinning ventilasjon	82 %	God roterende varmegjenvinner
Vindu- og dørandel	20 % av oppvarmet BRA	Samme nivå som i TEK10
Romhøyde	2,40 m	Større romhøyde øker varmetapet gjennom veggene og øker infiltrasjonsvarmetapet

Basert på det beregnede oppvarmingsbehovet for de fem referansehusene, og arealet til disse husene, ble arealkorrigeringsfaktoren fastsatt til 0,054 kWh for hver m² oppvarmet bruksareal er mindre enn 250 m². Oppvarmingskravet til et boligbygg på 200 m² BRA vil følgelig være $15 + 0,054 \times 50 = 17,7$ kWh/m².

Energiltakene vist i tabell 1.2-2 gir en god indikasjon for hva som kreves for å tilfredsstille passivhuskravet i NS 3700. Med disse energiltakene vil et kompakt boligbygg på 250 m² oppvarmet BRA ha et årlig, netto romoppvarmingsbehov på ca 15 kWh/m² i Oslo klima (standard referanse klima). Med et mindre kompakt bygg, må mer ambisiøse energiltak velges for å tilfredsstille kravet.

Årsmiddeltemperatur (T_m) ble valgt som klimakorrigeringsfaktor. For boligbygg over 250 m² ble klimakorrigeringsfaktoren fastsatt til 2,1 kWh/m² per grad som årsmiddeltemperaturen er lavere enn Oslo klima (6,3 °C). For boligbygg under 250 m² måtte det i tillegg innføres en klimakorrigeringsfaktor av arealkorrigeringsleddet som vist i tabell 1.2-1.

NS 3700 krever at lokale klimadata skal benyttes ved beregning av oppvarmingsbehovet. I mildt klima med årsmiddeltemperatur over 6,3 °C skal oppvarmingsbehovet beregnes med lokale klimadata, mens oppvarmingskravet gjelder som om boligen lå i klima med årsmiddeltemperatur 6,3 °C (Oslo klima). Dette gjør det lettere å tilfredsstille oppvarmingskravet i mildt klima enn i Oslo klima eller kaldere klima.

I kaldt klima vil den lavere årsmiddeltemperaturen gi større energiramme for oppvarming. Tanken er at om lag samme konstruksjoner og komponenter skal benyttes i passivhus i kaldt klima som i Oslo klima.

Men årsmiddeltemperatur gir ingen fullgod klimakorrigeringsfaktor. Årsmiddeltemperaturen kan være den samme for et sted med kald vinter og varm sommer som for et sted med mild vinter og kjølig sommer. Oppvarmingsbehovet kan likevel være mye høyere for stedet med kald vinter. Tilsvarende vil soltilskuddet være forskjellig for ulike deler av landet. Det vil være mindre sol om vinteren i Nord-Norge enn i Sør-Norge, og dermed mindre gratisvarme fra solen. Det er derfor ingen automatikk i at passivhus som tilfredsstiller oppvarmingskravet i ett gitt klima, også vil tilfredsstille oppvarmingskravet i et annet klima med en annen årsmiddeltemperatur.

Arealkorrigeringsfaktoren i NS 3700 tar heller ikke hensyn til bygningsformen. Ettplans småhus vil relativt sett ha større overflateareal per kvadratmeter golvflate enn to-plans småhus med samme

bruksareal. Selv om energiltakene vist i tabell 1.2-2 gjør at én bolig tilfredsstiller kravet, er det ikke dermed sagt at en annen bolig gjør det med de samme energiltakene.

1.2.2 Minstekrav til varmetapstall

NS 3700 stiller minstekrav til spesifikt varmetapstall som er totalt varmetap på grunn av transmisjon, ventilasjon og infiltrasjon dividert på oppvarmet bruksareal. I høringsutkastet prNS 3700:2012 er det foreslått å fjerne ventilasjonsvarmetapet fra varmetapstallet. Følgende minstekrav gjelder for passivhus:

Tabell 1.2-3 Minstekrav til spesifikt varmetapstall i NS 3700:2010 og høringsutkast prNS 3700:2012

Oppvarmet bruksareal	Spesifikt varmetapstall (W/K per m ² BRA)	
	NS 3700:2010	prNS 3700:2012 ¹⁾
$A_{fi} < 100 \text{ m}^2$:	0,60	0,53
$100 \text{ m}^2 \leq A_{fi} < 250 \text{ m}^2$	0,55	0,48
$A_{fi} \geq 250 \text{ m}^2$:	0,50	0,43

¹⁾ I prNS 3700:2012 er ventilasjonsvarmetapet fjernet fra varmetapstallet.

Minstekravet til varmetapstall vil være mest aktuelt som dimensjonerende kriterium i de mildeste delene av landet der det er lettere å tilfredsstille oppvarmingskravet.

1.2.3 Minstekrav til bygningsdeler og komponenter

NS 3700 stiller minstekrav til bygningsdeler og komponenter som vist i tabell 1.2-4. Normalisert kuldebroverdi $\leq 0,03 \text{ W/K per m}^2 \text{ BRA}$ vil normalt være det mest utfordrende minstekravet.

Tabell 1.2-4. Minstekrav til bygningsdeler og komponenter etter NS 3700:2010 og høringsutkast prNS 3700:2012

Bygningsdel/komponent	Minstekrav	
	NS 3700:2010	prNS 3700:2012 ²⁾
U-verdi yttervegg ¹⁾	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	ingen krav
U-verdi tak ¹⁾	$\leq 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Ingen krav
U-verdi golv ¹⁾	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Ingen krav
U-verdi vindu ¹⁾	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-verdi dør ¹⁾	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	
Normalisert kuldebroverdi ³⁾	$\leq 0,03 \text{ W/K per m}^2 \text{ BRA}$	$\leq 0,03 \text{ W/K per m}^2 \text{ BRA}$
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner	$\geq 80 \%$	$\geq 80 \%$
Lekkasjetall	$\leq 0,6 \text{ luftveksling/time}$	$\leq 0,6 \text{ luftveksling/time}$
SFP	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

¹⁾ Gjennomsnittlig U-verdi for bygningsdelen

²⁾ Minstekravet til yttervegg, tak og golv er fjernet prNS 3700:2012. Minstekravet til vinduer og dører er slått sammen til én gjennomsnittsverdi for alle vinduer og dører

³⁾ Det skal foretas beregning av normalisert kuldebroverdi. Standardverdi for normalisert kuldebroverdi fra NS 3031 tabell A.4 kan ikke benyttes

1.2.4 Minstekrav til energiforsyning

NS 3700 stiller krav til energiforsyning. Beregnet mengde levert elektrisk og fossil energi skal være mindre enn totalt netto energibehov fratrukket 50 % av netto energibehov til varmtvann.

Med standardverdi for varmtvann lik $30 \text{ kWh}/\text{m}^2$ (ref NS 3031 tabell A.1), vil 50 % av netto energibehov til varmtvann tilsvare $15 \text{ kWh}/\text{m}^2$. I praksis innebærer derfor energiforsyningskravet i NS 3700 at minst $15 \text{ kWh}/\text{m}^2$ må dekket med "fornybar" energiforsyning.

En kontroll opp mot energiforsyningskravet innebærer å beregne:

- totalt netto energibehov for bygget med lokalt klima (dette tilsvarer en energirammeberegning etter TEK10, bare at TEK10 krever standard referanseklima)
- mengde levert energi som dekkes av elektrisitet og fossil energi

1.3 Styring av byggeprosess

NS 3700 stiller krav om beregning av normalisert kuldebroverdi og måling av lekkasjetall i ferdigstilt bygning. De skal også utarbeides en rapport. For øvrig stiller ikke NS 3700 strengere krav knyttet til byggeprosessen enn det som formelt kreves for vanlige boligbygg etter TEK10.

Men ved passivhusbygging er likevel sikkerhetsmarginene noe trangere, og man har ikke den samme bufferen for mindre feil i prosjektering og utførelse som man har for TEK10-bygg. Det er spesielt viktig å følge rutinene for kvalitetssikring for prosjektering av energibehov, fuktsikring under byggeprosessen og utførelse av vindtetting. Det må sikres at ytelsen til ventilasjonsanlegget tilfredsstillende det som er antatt ved prosjektering av energibehov. Dette gjelder både luftmengder, årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad og SFP-faktor. Tilsvarende må det sikres at leverte vinduer tilfredsstillende det som er antatt i energiprosjekteringen. Dette gjelder både U-verdi og solfaktor for vinduene.

1.4 Inneklima

Det er tilrettelagt for godt inneklima i moderne lavenergiboliger. De godt isolerte konstruksjonene gir høyere temperatur på innvendig overflater enn i dårligere isolerte boliger, samtidig som den tette klimaskjermen forhindrer ubehagelige luftlekkasjer gjennom bygningskroppen. Ventilasjonsanlegget skal sørge for å tilføre rikelige mengder friskluft til oppholdsrommene i boligen.

1.4.1 Termisk komfort

Termisk komfort er et subjektivt begrep. Det som er optimalt temperaturnivå for én person, er ikke nødvendigvis optimalt temperaturnivå for en annen person. *PPD-indeksen* uttrykker den prosentvise andelen av en gruppe personer som vil være misfornøyd med et gitt termisk inneklima for en gitt påkledning/aktivitet. Fordi oppfatningen av termisk komfort er forskjellig, vil det aldri være ett klima som tilfredsstillende alle. Standarden NS-EN ISO 7730 angir at den laveste PPD-indeksen man kan regne med å oppnå er 5 %. Blant en gruppe på 100 personer vil det derfor alltid være 5 stykker som ikke er helt fornøyd med den termiske komforten.

Operativ temperatur brukes som referanse for termisk komfort. Vanligvis beregnes operativ temperatur, t_{op} , som gjennomsnittet av lufttemperatur og gjennomsnittlig strålingstemperatur. Dette gjelder for lufthastigheter mindre enn 0,2 m/s eller når forskjellen mellom lufttemperaturen og gjennomsnittlig strålingstemperatur er mindre enn 4 °C:

$$t_{op} = 0,5 \cdot (t_a + t_r)$$

hvor

t_a er lufttemperatur

t_r er gjennomsnittlig strålingstemperatur

I godt isolerte boliger vil forskjellen mellom operativ temperatur og lufttemperaturen være liten.

Varme eller kalde golv kan føre til at føttene føles for kalde eller for varme. Varmeutvekslingen mellom føtter og golv er avhengig av golvtemperatur, golvmateriale og fottøy. Med normalt innendørs fottøy betyr golv materialet lite, og overflatetemperaturen vil være avgjørende for komforten. Golv materialet spiller imidlertid stor rolle for hva som oppfattes som komfortabel

temperatur der folk går barføtt. Med tynne sokker eller barføtt kjennes det kaldere å gå på flis- og laminatgolv enn på tregolv. Spesielt flisgolv kjennes kalde, og av komfortsyn kan det være nødvendig å ha på golvvarmeanlegget også når det ikke er oppvarmingsbehov i boligen.

NS-EN 15251:2007 anbefaler temperaturgrenser for bygninger med og uten kjøling. For bygg med kjøling anbefales maksimal innetemperatur 26 °C. For bygg uten kjøling angir NS-EN 15251 en adaptiv temperaturmodell som åpner for at det kan aksepteres høyere innetemperaturen enn 26 °C når det er varmt ute. Standarden beskriver at andre krav kan stilles til maksimal innetemperatur i bygg uten mekanisk kjøling enn i bygg med mekanisk kjøling. Standarden beskriver at brukerne i bygg uten kjøling vil kunne tilpasse seg varmere forhold ved å åpne vinduer og kle seg lettere, og at denne temperaturløsningen er sterkt knyttet til utendørs klimaforhold. Med standard referanseklime blir anbefalt øvre temperaturgrense med en slik adaptiv temperaturmodell 28,4 °C, mens som sagt 26 °C er anbefalt øvre grense for bygg med kjøling.

Veiledningen til TEK10 § 13-4 anbefaler 26 °C som øvre temperaturgrense, og sier at denne grensen maksimalt bør overskrides 50 timer i et normal år. Samtidig sier veiledningen at det for boligbygging uten installert kjøling bør kunne aksepteres noe høyere innetemperatur i korte perioder. Veiledningen henviser samtidig til standarden NS-EN 15251. I bygg med mulighet for vinduslufting åpner veiledningen til TEK10 derfor for høyere innetemperatur enn 26 °C.

1.4.2 Luftkvalitet - ventilasjonsmengde

Det stilles ikke andre eller strengere krav til ventilasjonsmengde i passivhus enn i vanlige boliger. Kravene i teknisk forskrift gjelder selvsagt, og samme verdi for minste, spesifikke luftmengde gjelder for NS 3700 som for en forskriftsberegning etter NS 3031.

TEK10 angir minste luftmengde $1,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, men åpner for reduksjon av luftmengdene ned til $0,7 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ når boligen eller rommene ikke er i bruk. Det forutsettes da at ventilasjonsmengdene tilsvarende økes når boligen eller rommene er i bruk, slik at snittverdien $1,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ sikres.

Generelt bør det advares mot å redusere ventilasjonsmengdene i moderne boliger under 0,5 luftskifte i timen. Det er verdt å merke seg at inneklimatestandarden NS-EN 15251 gir bedre inneklimatekategori når ventilasjonsmengdene øker.

1.4.3 Dagslys

Å sikre tilstrekkelige dagslysforhold er en noe større utfordring i passivhus enn i hus med standard utførelse. Trelags glass slipper gjennom mindre dagslys enn tolags glass. For trelags er typisk lystransmisjonsfaktor (LT) rundt 70 %, mens den er knappe 80 % for tolags glass. Tykkere vegger og dypere vindusmyg gjør også at mindre dagslys slipper inn gjennom vinduene. Dette må hensyntas i prosjekteringen.

1.5 Passivhus og energimerking

Det er relativt godt samsvar mellom innretningen av kravene i NS 3700 og energikravene i teknisk forskrift (TEK10). Det er mindre samsvar mellom kravene i NS 3700/TEK10 og hva som gjelder for beregning av energi- og oppvarmingskarakteren i energimerkeordningen.

- TEK10 og NS 3700 har hele bygget som referanse, mens energimerkeordningen sier at energiattesten skal utstedes individuelt for hver enkelt boenhet, basert på det beregnede energibehovet til boenheten.
- TEK10 og NS 3700 har netto energibehov som referanse, uten hensyn til virkningsgrader i varmesystemet. For boligbygg vil netto energibehov i stor grad være styrt av varmetapet på grunn av transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon. Energimerkeordningen har levert energibehov som referanse for energikarakteren. To boliger med samme netto energibehov etter TEK10 vil kunne få forskjellig levert energibehov og dermed forskjellig

energikarakter, avhengig av hva slags energisystem som er installert. Valg av varmeanlegg betyr mye for energikarakteren, og installasjon av varmepumpe vil normalt gi stor gevinst.

- NS 3700 og energimerkeordningen adresserer andel av energiforsyningen som dekkes av *elektrisitet* og/eller fossile brensel, og likestiller dermed all elektrisitetsbruk, uavhengig om den går til panelovner, varmekabler, varmepumpe, eller el-kjel i et vannbårent varmeanlegg. TEK10 angir derimot at en andel av netto varmebehov skal kunne dekkes med annet enn *direktevirkende* elektrisitet og/eller fossile brensel. Med direktevirkende elektrisitet menes da elektrisitet til panelovner, varmekabler og el-kolber, men ikke elektrisitet til drift av kompressoren i en varmepumpe.

Disse ulikhetene gjør at det ikke er entydig gitt hva slags energimerke et bygg vil få som tilfredsstillende krav til lavenergi- og passivhus etter NS 3700. For å oppnå energikarakter A må passivhus normalt ha installert varmepumpe og/eller solfanger, mens passivhus med varmforsyning basert på biobrensel eller fjernvarme normalt vil få energikarakter B. Tilsvarende vil lavenergihus etter NS 3700 kunne få energikarakter A dersom det er installert varmepumpe.

Tabell 1.5-1. Grunnlag for krav i TEK10/NS 3700 og energimerkeordningen

Tema	TEK10	NS 3700	Energimerking
Beregningsforutsetning	Hele bygningen		Individuelt for hver boenhet
Beregningspunkt	Totalt, netto energibehov	Netto oppvarmingsbehov	Totalt, levert energibehov
Energiforsyning	Andel av totalt, netto varmebehov som dekkes med annet enn direktevirkende elektrisitet og/eller fossile brensel	Andel av normert tappevannsbehov som dekkes med annet enn elektrisitet og/eller fossile brensel	Andel av varmebehov som dekkes med annet enn elektrisitet og/eller fossile brensel

1.6 Prosjektering med BIM

Det pågår nå en omfattende utvikling innenfor BIM-området som vil påvirke måten vi i framtiden planlegger, prosjekterer og gjennomfører byggeprosjekter [KRD, 2012]. Anmeldelses- og arbeidstegninger utarbeides i dag ved hjelp av BIM-verktøy som f.eks. DDS, ArchiCAD og Revit. Men potensialet som ligger i disse BIM-verktøyene utnyttes ikke. De nevnte BIM-verktøyene er alle IFC-kompatible, hvilket betyr at de kan utveksle informasjon på det åpne formatet IFC (Industrial Foundation Classes). Bygningsinformasjonsmodeller som er utviklet i ett program kan eksporteres på IFC-formatet og importeres inn i et annet IFC-kompatibelt program, for å bli videreutviklet og beriket der.

Kommunal- og regionaldepartementet presenterer i bygningsmeldingen "Gode bygg for et bedre samfunn" en framtidvisjon for den digitale byggeprosessen. Det beskrives en framtid hvor utbyggeren laster ned fra internett en digital modell av tomte med tilhørende infrastruktur, og hvor det automatisk blir samlet inn informasjon fra alle relevante offentlige og private register (kartdata, eiendomsdata, nabolister, geologiske forhold, modell av eksisterende bygninger osv.). Utbyggeren utvider den digitale modellen med det nye byggverket, og basert på informasjonen i den digitale modellen kan utbyggeren allerede i en tidligfase vurdere alternativer, analysere miljøkonsekvenser og kalkulere kostnader. Den digitale modellen inneholder all informasjon som kreves for å få offentlig tillatelse og for å gjennomføre byggeprosessen. Myndighetene har også innrettet byggereglene slik at utbyggeren gjennom hele modelleringsprosessen kan sjekke modellen opp mot lov- og forskriftskrav. Alle relevante myndigheter forholder seg til den samme BIM-modellen, og denne BIM-modellen gir all informasjon som er nødvendig for å søke om byggetillatelse. Når byggetillatelse gis, tilføres modellen denne informasjon. Under oppføring beriker entreprenøren modellen med informasjon om materialene, komponentene og tekniske installasjoner som inngår i

bygget. Ved ferdigstillelse inneholder den digitale bygningsmodellen all informasjon som er nødvendig for at eieren skal kunne forvalte og drifte bygget på en optimal måte, og det forutsettes at bygningsmodellen blir oppdatert når det senere gjøres små eller store endringer i bygget.

BIM-begrepet har flere betydninger:

- BIM-prosessen omhandler informasjonsoverføring mellom fasene og gjenbruk og gjenbrukbarhet av data. Informasjonen kan være innenfor et fagfelt, eller knyttet til grensesnitt mellom fagfelt. De som tar fram informasjonen må legge denne på sted der andre kan finne den, og de som har tilgang til informasjonen må benytte den. Klarer man å utveksle informasjon på en effektiv måte, vil det gi muligheter for bedre samhandling og flere iterasjonsprosesser uten å bruke mer tid eller ressurser.
- BIM-modellen er den meste brukte formen av BIM-begrepet. BIM-modellen er en geometrisk 3D-modell av bygget som skal oppføres, og inneholder informasjon om egenskaper til objektene i modellen. Dette kan være informasjon om kostnader, materialeegenskaper og miljøinformasjon. Den tredimensjonale modellen også synliggjør kollisjoner og konflikter mellom for eksempel ventilasjonskanaler, byggtekniske strukturer og elektriske anlegg, slik at dette kan rettes opp allerede i prosjekteringsfasen, og ikke på byggeplassen. BIM-modellen gir informasjon om materialer og komponenter som inngår i bygget, og kan bl.a. brukes som grunnlag for bestilling og kalkyler.
- BIM-modellering er selv prosessen med å skape den digitale 3D-modellen. Modelleringen erstatter både tegningsprosessen og dokumentasjon. I modelleringen er det viktig å følge "kjøreregler" for oppbygging av BIM-modellen, slik at andre kan lese modellen og få tilgang til all informasjon som den inneholder.

1.6.1 Åpen BIM

I BIM-sammenheng skilles det mellom proprietære og åpne filformater. Proprietære filformater er unike lagringspråk for hvert enkelt BIM-program, og kan bare leses av disse programmene. Åpne filformater kan også leses av andre BIM-programmer. I bygg- og anleggssektoren er det bred enighet om å bruke IFC (Industrial Foundation Classes) som det åpne filformatet for utveksling av informasjonsberikede modeller.

Begrepet buildingSMART brukes gjerne om teknologien som kreves for å utnytte åpen BIM. Det pågår nå et stort arbeid internasjonalt med å utvikle buildingSMART-teknologien. Målet er å videreutvikle lagringsformatet IFC, skape enighet om terminologien (IFD – Industry Foundation Dictionary) og koble dette til relevante forretningsprosesser (IDM – Information Delivery Manual)

En IFC-modell er bygget opp av objekter (IFC Object) som omfatter alle fysiske objekter som vegger, bjelker og dekker, samt romobjekter og konseptuelle objekter som aksennett og byggegrenser. Alle fysiske objekter er klassifisert med de tre egenskapene IFC Type, IFC Position og IFC Structural Function.

- IFC Type beskriver hvilken type objekt det er, for eksempel en vegg, et dekke, et vindu eller en trapp.
- IFC Position beskriver IFC-objektets plassering i forhold til "klimaskallet". Objektet klassifiseres som *interior* dersom alle sider vender inn mot byggets innside, eller mot en yttervegg. Objektet klassifiseres som *exterior* om minst én side vender mot "utsiden" av bygningskroppen. Denne klassifiseringen av objektene er spesielt viktig for beregning av energibehovet.
- IFC Structural Function beskriver om IFC-objektet har en bærende eller ikke-bærende funksjon i konstruksjonsmodellen.

Boligprodusentenes Forening har utviklet en veileder for BIM-prosjektering som inneholder en sjekklister for bruk av BIM-verktøy i energiprosjekteringen [Boligprodusentene, 2012].

1.6.2 Geometrisk uttrekk fra BIM-modell

Manglende eller mangelfull prosjektering er i dag en generell hovedutfordring. Mye av prosjekteringen skjer ”stykkevis og delt”, hvor hvert fag prosjekterer sine løsninger mer eller mindre uavhengig av de andre fagene. Med passivhuskrav må vi endre prosjekteringsrutinene og ta i bruk mer detaljerte energisimuleringsprogrammer. Samtidig må vi gjøre det enklere å bruke disse programmene.

De som prosjekterer energibruken i boliger bruker i dag mye tid på å hente areal- og volumdata fra tegningen eller fra BIM-modellen, og deretter manuelt overføre disse verdiene til eksternt energisimuleringsprogram. Det som faktisk gjøres i de dynamiske energisimuleringsprogrammene er å modellere bygget på nytt ved å beskrive orientering av bygget, arealer og volumer. Fokus i energisimuleringen blir mest å framskaffe geometriske inndata til beregningene, og ikke analysere resultater og optimalisere energiytelsen til bygget. Den manuelle overføringen av data gjør det tungvint å vurdere endringer av bygget, og erfaring viser at det ofte blir feil når arealer og volumer skal avleses og overføres manuelt.

Flere BIM-programmer har applikasjoner som henter geometrisk informasjon fra BIM-modell for overføring til energiberegningsprogram. Dette gjør det vesentlig enklere å framskaffe geometriske inndata til energiberegningsprogrammet, samtidig som inndata blir mer korrekte. Men applikasjonene har vært utviklet i utlandet for et internasjonalt marked, og de har ikke hentet geometriske data som er i samsvar med måten vi beregner varmetap og energibehov i Norge. Utvendige mål har vært referansen, mens vi i Norge bruker totale innvendige mål. Bruk av de utenlandske applikasjonene har derfor gitt for store arealer, og feil grunnlag for beregning av normalisert kuldebroverdi opp mot norske krav.

Flere norske programleverandører av BIM-programmer har nå utviklet egne applikasjoner som henter geometrisk informasjon fra BIM-modell som er i samsvar med totale innvendige mål i NS 3031.

Kapittel 2 Beregning av energibehov etter NS 3031 og NS 3700

NS 3700 angir kravene som stilles til lavenergihus og passivhus, men henviser til NS 3031 for beregningsreglene som skal benyttes for å dokumentere tilfredstillelse av disse kravene. NS 3031 er en norsk standard for beregning av energiytelse i bygg. NS 3031 er basert på de internasjonale CEN- og ISO-standardene for beregning av energibehov i bygninger, og henviser til disse for mer detaljerte beregninger. Dette gjelder for eksempel NS-EN ISO 6946 for beregning av U-verdier, NS-EN ISO 10211 for bestemmelse av kuldebroverdier, NS-EN 13829 for måling av luftlekkasjer og NS-EN 15316 for bestemmelse av systemvirkningsgrader i varmeanlegg.

NS 3031 fastlegger regler for beregning av:

- bygningens varmetapstall, som er varmetransportkoeffisienten for transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon, dividert på bygningens oppvarmede bruksareal (BRA)
- totalt netto energibehov som er bygningens energibehov uten hensyn til virkningsgrader i energisystemet eller tap i energikjeden. Rammekravsmodellen i TEK10 henviser til totalt netto energibehov.
- levert energi som er total energi, fordelt på energivare, som leveres over bygningens systemgrense for å dekke bygningens samlede energibehov, inkludert systemtap som ikke kan gjenvinnes. Energikarakteren i energiattesten henviser til levert energi
- primærenergi som er energi i sin opprinnelige form som ikke er blitt omdannet eller gått over andre energiformer. EUs reviderte bygningsenergidirektiv (2010/31/EU) henviser til primærenergi.

NS 3031 kompletterer også de internasjonale standardene ved å inneholde tabeller med normerte inndata som skal brukes i Norge ved beregning av energibehov opp mot energikrav i byggt teknisk forskrift (TEK10), krav i standardene NS 3700 og NS 3701 til passivhus og lavenergibygg, og utstedelse av energiattest i følge energimerkeordningen.

I det følgende presenteres viktige inndata for beregning etter NS 3031.

2.1 Valg av beregningsprogram

NS 3031 angir tre alternative måter å beregne oppvarmings- og kjølebehovet:

- månedsberegning (stasjonær metode) etter NS-EN ISO 13790
- forenklet timeberegning (dynamisk metode) etter NS-EN ISO 13790
- detaljerte, validerte beregningsprogrammer (dynamisk metode) etter NS-EN 15265

Alle disse tre metodene er dermed godkjent brukt for å dokumentere tilfredsstillelse av krav til passivhus og lavenergihus i NS 3700. NS 3031 beskriver detaljert hvordan månedsberegning skal utføres. For dynamiske beregninger henviser NS 3031 til forenklet timeberegning i standarden NS-EN ISO 13790 eller beregningsprogrammer som er validert etter NS-EN 15265.

2.1.1 Månedsstasjonær beregning

For enkle bygninger med normalt glassareal og uten kjøling vil månedsstasjonær beregning kunne gi tilstrekkelig nøyaktighet i resultatene. Med enkle bygninger menes bygninger med liten grad av dynamiske påvirkninger. For bygg med kjølebehov vil dynamiske beregninger gi best nøyaktighet.

NS 3031 beskriver formlene for en månedsstasjonær beregning. Varmetap og oppvarmingsbehov beregnes separat for hver måned gjennom året. Det benyttes månedlige klimadata med gjennomsnittsverdier for utetemperatur og solstråling. Klimadata for standard referanseklime er gitt i vedlegget til standarden og vist i tabellen under.

Tabell 2.1-1 Månedsmiddeltemperatur for standard referanseklime i NS 3031:2007 + A1:2011

Måned	Ute-temperatur	Nord	Øst	Sør	Vest
	°C	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²
Januar	-3,7	6	11	28	11
Februar	-4,8	17	32	61	32
Mars	-0,5	25	55	106	55
April	4,8	50	112	135	112
Mai	11,7	75	124	134	124
Juni	16,5	98	166	150	166
Juli	17,5	83	142	140	142
August	16,9	54	109	142	109
September	11,5	36	66	113	66
Oktober	6,4	16	37	70	37
November	0,5	7	18	44	18
Desember	-2,5	3	9	28	9
Snitt	6,3				

Det er mulig å håndregne det månedsstasjonære energibehovet, men i praksis vil det bli såpass mange beregninger at man må benytte databaserte programmer, regneark eller tilsvarende. Dessuten krever en månedsberegning av energibehovet nesten like mye inndata som mer avanserte, dynamiske energiberegningsprogrammer, så merarbeidet for en mer detaljert simulering er beskjedent.

2.1.2 Dynamiske beregningsprogrammer

Dynamiske beregningsprogrammer regner energibehovet gjennom hele året for tidssteg på én time eller mindre. Programmene beregner varmebalansen for hvert tidssteg, og dersom det overskudd på varme i et tidssteg, for eksempel på grunn av stor solbelastning, så tas denne overskuddsvarmen med inn i neste tidssteg.

Standarden NS-EN 15265 er en "test"-standard for å vurdere nøyaktigheten til dynamiske beregningsprogram. Standarden beskriver et referanserom på 19,8 m² og tolv alternative utførelser og bruksbelastninger for rommet. Testingen av dynamiske beregningsprogrammene skjer ved å beregne varme- og kjølebehovet for rommet for de tolv alternativene, og deretter sammenligne resultatene med "fasitsvaret" gitt i standarden. NS-EN 15265 angir tre nøyaktighetsnivåer; A, B og C. NS 3031 krever at dynamiske simuleringprogrammer minst skal tilfredsstille nivå C for å være godkjent. Nivå C betyr at varme- og kjølebehovet ikke skal avvike mer enn 15 % fra fasitsvaret for noen av de tolv beregningsalternativene.

De mest aktuelle, dynamiske beregningsprogrammene for norske boligbyggere er TEK-sjekk Energi, SIMIEN og VIP-Energy. Alle disse tre programmene tilfredsstiller kravene til nøyaktighetsnivå B i NS-EN 15265. Dette betyr at programmene regner mer nøyaktig enn det som kreves for å bli godkjent som validert program ihht. krav i NS 3031.

- TEK-sjekk er utviklet av SINTEF Byggforsk og kan lastes ned av alle abonnenter av SINTEF Byggforskserien (BKS). Programmet har et regnearks-grensesnitt som gir god oversikt over inndata.
- SIMIEN er utviklet av Programbyggerne ANS og krever noe mer inndata enn TEK-sjekk. SIMIEN er mye brukt, særlig for prosjektering av yrkesbygg.
- VIP-Energy er utviklet av svenske Structural Design Software in Europe AB (StruSoft). Programmet har mange integrerte funksjoner som gir brukeren mulighet til selv å beregne U-verdier, kuldebroverdier og virkningsgrader til varmeanleggene. Det kreves relativt høy energikompetanse for å kunne benytte VIP-Energy.

2.2 Klimadata

NS 3700 angir at netto spesifikt energibehov til oppvarming skal beregnes etter NS 3031 med representative klimadata for stedet der bygningen oppføres. Lokale klimadata med månedsverdier for et referanseår skal utarbeides fra oppdaterte klimadatabaser etter NS-EN ISO 15927-1.

Det foreligger foreløpig få klimafilere for Norge som kan brukes for dynamiske, timesbaserte beregninger. Standard referanseklime som skal benyttes for beregninger opp mot krav i TEK10 og energimerkeordningen er å anse som representativt for Oslo klima. Timesverdier for standard referanseklime kan lastes ned fra www.standard.no/ns3031.

I tillegg til standard referanseklime tilbyr TEK-sjekk klimafilere for Bergen, Trondheim, Stavanger, Kristiansand, Fredrikstad, Tromsø og Ringsaker.

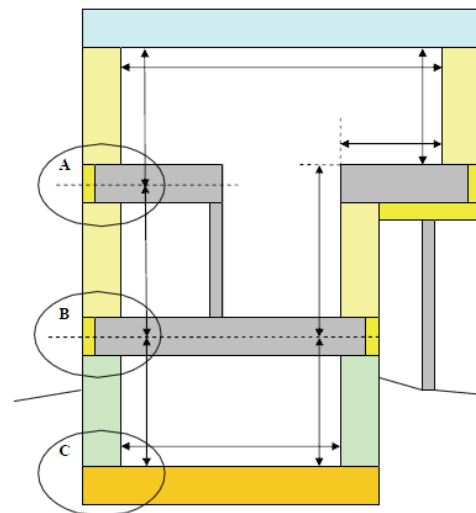
2.3 Geometriske inndata

2.3.1 Arealer og volum

Arealene av de ulike bygningsdelene må oppgis sammen med luftvolumet til bygningen.

Arealene oppgis som totalt innvendig mål. Vertikalt måles f.eks. arealet av ytterveggene fra overkant av nederste golv til underkant av øverste himling. Horisontalt måles arealet mellom innsiden av ytterveggene. For vinduer og dører skal det regnes med utvendige karm mål.

Luftvolumet oppgis som luftvolum over oppvarmet BRA. Volumet av etasjeskillere skal ikke tas med i luftvolumet. Ved nedføret himling skal volumet mellom nedføret himling og overliggende dekkekonstruksjon ikke trekkes fra. Med nedføret himling menes en "løs" systemhimling, og ikke en fast, nedlektet og lufttett himling på undersiden av et dekke.



Figur 2.3.1 Totalt innvendig mål. [Gustavsen m.fl., 2008]

2.3.2 Orientering

For å kunne beregne soltilskuddet må energiberegningsprogrammene ha opplysninger om orienteringen til vinduer og glassflater.

2.3.3 Temperatursoning

Temperatursoning, hvor det skilles mellom fullt oppvarmede, delvis oppvarmede og uoppvarmede soner, har tradisjonelt vært viktig for å redusere energibehovet i boliger. Uoppvarmede rom har fungert som en buffer mellom de oppvarmede sonene og utelufta, og bidratt til å redusere varmetapet fra huset. Uoppvarmede og delvis oppvarmede soner har også vært orientert mot nord, mens de fullt oppvarmede oppholdssonene ble orientert mot sør for å utnytte solvarmen best mulig.

I moderne, godt isolerte boliger med lavt varmetap og lite oppvarmingsbehov er temperatursoning mindre avgjørende fordi det i praksis ikke vil oppstå så store temperaturskjeller mellom de ulike sonene. I rom uten varmeanlegg vil interne varmelaster bidra til å holde temperaturen oppe, og varme vil overføres fra varme til uoppvarmede soner gjennom åpne dører. Men hvis enkelte rom bevisst skal holdes kjøligere enn andre rom, så er det viktig å sikre at varmetapet fra de oppvarmede rommene til disse kjølige rommene blir minst mulig.

Norske småhus er vanligvis i to etasjer, pluss eventuell sokkel- eller kjelleretasje. Soverommene ligger ofte i andre etasje med stue og kjøkken i første etasje. Varm luft stiger oppover og soverommene i andre etasje vil i høy grad kunne holdes oppvarmet med varme fra etasjen under. Nordmenn ønsker å ha det relativt kjølig på sine soverom, noe som ytterligere reduserer behovet for oppvarming. Men mange sover med åpent vindu, og dette kan være energimessig uheldig dersom den kalde lufta som trekker inn gjennom vinduet får sive ned og avkjøle etasjen under. Det er derfor viktig å forhindre at åpne vinduer på soverommene fører til en nedkjøling av hele huset. Dette gjøres best ved å lukke døra inn til soverommet, alternativt ved å ha lukkede trapperom.

Det er en fordel å ha egen entre som en sluse mellom ytterdøra og de oppvarmede sonene i huset. En lukket dør fra entreen inn til huset forhindrer at kald luft trekker inn i boligen når ytterdøra står åpen.

2.4 Inndata – transmisjonsvarmetap (U-verdier og kuldebroer)

Det samlede transmisjonsvarmetapet fra en bygning beregnes ved å multiplisere arealet av hver enkelt bygningsdel med den tilhørende U-verdien for bygningsdelen, og legge til for kuldebrovirkningen av felter i konstruksjonen som har høyere varmetap enn konstruksjonen for øvrig. Samlet varmetap for bygningsdelene mot det fri angis som:

$$H_D = \sum_i U_i A_i + \sum_k \psi_k l_k + \sum_j \chi_j \quad [W/K]$$

der:

U_i er varmegjennomgangskoeffisienten (U-verdien) for bygningsdelen
 A_i er arealet av bygningsdelen, basert på totale innvendige mål
 ψ_k er kuldebroverdien for lineære kuldebroer, beregnet ut fra totale innvendige mål
 l_k er lengden på lineære kuldebroene, basert på totale innvendige mål,
 χ_j er varmegjennomgangskoeffisienten for en punktformig kuldebro

2.4.1 U-verdi - varmegjennomgangskoeffisient

U-verdien til en bygningsdel angir hvor mye varme som strømmer gjennom et areal på 1 m² ved en konstant temperaturforskjell på 1 K (1 Kelvin = 1 °C) mellom omgivelsene på varm og kald side av bygningsdelen. En godt isolert bygningsdel har derfor lav U-verdi. NS-EN ISO 6946 angir at U-verdien er gitt av formelen:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [W/(m^2K)]$$

hvor:

R_T er total varmemotstand for golvkonstruksjonen [m²K/W]

U-verdi for golv

For å beregne U-verdien til golv på grunnen, kreves ikke bare informasjon om varmeisolasjonsegenskapene til selve golvet, men også opplysninger om størrelse på golvet, omkrets og grunnforhold. Normalt vil energiberegningsprogrammene automatisk beregne U-verdien og varmetapet mot grunnen, basert på inndata som er lagt inn i programmet.

I TEK-sjekk Energi oppgis U-verdien for golv på grunnen som U-verdien til golvkonstruksjonen alene, eksklusive varmemotstanden i grunnen:

$$U_{golvkonstr} = \frac{1}{R_{si} + R_{golvkonstr} + R_{se}} \quad [W/(m^2K)]$$

hvor:

$R_{golvkonstruksjon}$ er varmemotstanden til den isolerte golvkonstruksjonen (golvbelegg, betongplate, isolasjon)

R_{si} og R_{se} er innvendig og utvendig overgangsmotstand [m^2K/W]

For nedadrettet varmestrøm kan R_{si} og R_{se} settes lik hhv. $0,17 m^2K/W$ og $0,04 m^2K/W$ [SINTEF Byggforsk 471.008, 1998]. Varmemotstanden til golvkonstruksjonen kan settes lik:

$$R_{golvkonstruksjon} = R_{pukk} + R_{isol} + R_{betongplate} + R_{parkettunderlag} + R_{parkett}$$

I praksis vil denne varmemotstanden være styrt av tykkelsen og kvaliteten på isolasjonen:

$$R_{isol} = \frac{d_{isol}}{\lambda_{isol}} \quad [m^2K/W]$$

hvor:

d_{isol} er isolasjonstykkelse [m]

λ_{isol} er varmeledningsevnen til isolasjonsmaterialet [$W/(mK)$]

Tabell 2.4-1 viser beregnet U-verdi for golvkonstruksjonen medregnet varmemotstanden til innvendig og utvendig overgangsmotstand, isolasjonssjikt, betongplate, parkettunderlag og parkett. Det er sett bort fra varmemotstanden til pukk lag under isolasjonen.

Tabell 2.4-1 U-verdi for golvkonstruksjonen for golv på grunnen ($W/(m^2K)$). Medregnet innvendig og utvendig overgangsmotstand ($R_{si} + R_{se} = 0,21 m^2K/W$), og varmemotstand til isolasjonssjikt, 80 mm betongplate, 2 mm parkettunderlag og 15 mm parkett (til sammen $0,19 m^2K/W$)

Isolasjonstykkelse mm	Isolasjonskvalitet		
	$\lambda = 0,031 W/(mK)$	$\lambda = 0,033 W/(mK)$	$\lambda = 0,038 W/(mK)$
200	0,146	0,155	0,177
250	0,118	0,125	0,143
300	0,099	0,105	0,121
350	0,086	0,091	0,104
400	0,075	0,080	0,092

U-verdi for yttervegger

Bindingsverksvegger i tre kan bygges opp på mange måter. Man kan benytte vanlig konstruksjonsvirke eller I-profiler og komposittstendere som f.eks. Iso3-stenderen. Veggene kan lektes ut innvendig eller utvendig, og trykkfast isolasjon kan brukes for å redusere varmetapet gjennom veggene. Veggene kan også utføres som en dobbeltvegg med to separate vanger.

U-verdien til en bindingsverksvegg påvirkes av mengden treverk i veggene. Med enkle sviller og 0,6 m c/c avstand mellom stenderne, er andelen bindingsverk $2,45 m/m^2$. Dette er å anse som en minimumsverdi for vegger uten vinduer. Med normal vindusandel vil treandelen i ytterveggene typisk ligge rundt $3,5 m/m^2$ for småhus.

Figur 2.4-2 til 2.4-5 viser beregnet U-verdi for ulike bindingsverksvegger i tre. U-verdiene er oppgitt med tre signifikante siffer (tre desimaler). U-verdiene presenteres for to treandeler ($L'' = 2,45$ og $3,5 m/m^2$) og tre isolasjonsklasser ($\lambda = 0,033, 0,035$ og $0,037 W/(mK)$). U-verdien for veggene ligger ca $0,01 W/(m^2K)$ høyere med treandel $3,5 m/m^2$ enn med treandel $2,45 m/m^2$.

Tabell 2.4-2 U-verdi, $W/(m^2K)$, for bindingsverksvegger av trestendere, med og uten krysslekting. Treandel $L'' = 2,45 m/m^2$ og $3,5 m/m^2$. Isolasjonsklasse $\lambda = 0,033 W/(mK)$, $0,035 W/(mK)$ og $0,037 W/(mK)$ [SINTEF Byggforsk, 2012]



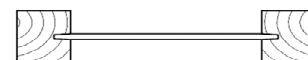
Isolasjons- tykkelse (mm)	Konstruk- sjon	$L'' = 2,45 m/m^2$ (veggfelt uten vindu)						$L'' = 3,5 m/m^2$ (veggfelt med normal vindusandel for småhus)					
		36 mm stender			48 mm stender			36 mm stender			48 mm stender		
		$\lambda = 0,033$	$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,037$	$\lambda = 0,033$	$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,037$	$\lambda = 0,033$	$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,037$	$\lambda = 0,033$	$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,037$
200	198 148+48	0,187	0,195	0,203	0,196	0,204	0,212	0,200	0,208	0,216	0,214	0,221	0,229
225	223	0,168	0,175	0,182	0,176	0,183	0,190	0,179	0,186	0,193	0,192	0,199	0,205
250	246 198+48	0,153	0,160	0,166	0,161	0,168	0,174	0,164	0,170	0,177	0,176	0,182	0,188
275	223 + 48	0,138	0,144	0,151	0,144	0,150	0,156	0,149	0,155	0,161	0,158	0,164	0,170
300	296 246+48	0,129	0,134	0,140	0,136	0,141	0,147	0,138	0,144	0,149	0,148	0,153	0,159
350	346 296 + 48	0,111	0,116	0,121	0,117	0,122	0,127	0,119	0,124	0,129	0,129	0,133	0,137
400	396 246+48	0,098	0,102	0,106	0,103	0,108	0,112	0,105	0,109	0,113	0,113	0,117	0,121

Tabell 2.4-3 U-verdi, $W/(m^2K)$, for bindingsverksvegger med dobbelt stenderverk og mellomliggende isolasjon. Treandel $L'' = 2,45 m/m^2$ og $3,5 m/m^2$. Isolasjonsklasse $\lambda = 0,033 W/(mK)$, $0,035 W/(mK)$ og $0,037 W/(mK)$. [SINTEF Byggforsk, 2012]



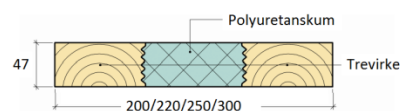
Isolasjons- tykkelse (mm)	Konstruk- sjon	$L'' = 2,45 m/m^2$ (veggfelt uten vindu)						$L'' = 3,5 m/m^2$ (veggfelt med normal vindusandel for småhus)					
		36 mm stender			48 mm stender			36 mm stender			48 mm stender		
		$\lambda = 0,033$	$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,037$	$\lambda = 0,033$	$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,037$	$\lambda = 0,033$	$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,037$	$\lambda = 0,033$	$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,037$
250	98+48+98	0,144	0,151	0,158	0,149	0,156	0,163	0,151	0,158	0,165	0,157	0,165	0,172
300	148+48+98	0,123	0,129	0,135	0,127	0,133	0,139	0,129	0,135	0,141	0,135	0,141	0,147
300	98+98+98	0,118	0,124	0,130	0,121	0,127	0,133	0,122	0,128	0,134	0,126	0,133	0,138
350	198+48+98	0,107	0,112	0,117	0,111	0,116	0,121	0,112	0,117	0,122	0,118	0,123	0,128
350	148+98+98	0,103	0,108	0,114	0,106	0,111	0,116	0,107	0,112	0,118	0,111	0,116	0,122
400	246+48+98	0,094	0,099	0,103	0,098	0,102	0,107	0,099	0,104	0,108	0,105	0,109	0,114
400	198+98+98	0,091	0,096	0,100	0,094	0,099	0,103	0,095	0,100	0,104	0,099	0,104	0,109

Tabell 2.4-4 U-verdi, $W/(m^2K)$, for bindingsverksvegger av I-profiler. Treandel $L'' = 2,45 m/m^2$ og $3,5 m/m^2$. Isolasjonsklasse $\lambda = 0,033 W/(mK)$, $0,035 W/(mK)$ og $0,037 W/(mK)$. [SINTEF Byggforsk Ucalc, 2012]

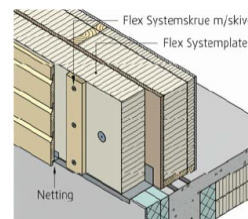


Isolasjons- tykkelse (mm)	Konstruksjon	$L'' = 2,45 m/m^2$ (veggfelt uten vindu)			$L'' = 3,5 m/m^2$ (veggfelt med normal vindusandel for småhus)		
		$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$	$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$
170	170	0,219	0,228	0,237	0,235	0,245	0,254
200	200	0,188	0,196	0,204	0,202	0,210	0,218
220	220 170 + 48x48	0,171	0,179	0,187	0,185	0,193	0,201
240	240	0,158	0,165	0,172	0,170	0,176	0,184
250	200 + 48x48	0,151	0,158	0,165	0,164	0,171	0,178
270	220 + 48x48	0,141	0,147	0,154	0,153	0,159	0,165
290	240 + 48x48	0,131	0,138	0,143	0,142	0,148	0,154
300	300	0,127	0,133	0,139	0,137	0,143	0,149
350	350 300 + 48x48	0,110	0,115	0,120	0,119	0,124	0,129
400	400 350 + 48x48	0,097	0,101	0,106	0,104	0,108	0,113
450	400 + 48x48	0,086	0,090	0,094	0,093	0,097	0,101

Tabell 2.4-5 U-verdi, $W/(m^2K)$, for bindingsverksvegger av Iso3-stender. Treandel $L'' = 2,45 m/m^2$ og $3,5 m/m^2$. Isolasjonsklasse $\lambda = 0,033 W/(mK)$, $0,035 W/(mK)$ og $0,037 W/(mK)$. [SINTEF Byggforsk, 2012]



Isolasjons- tykkelse (mm)	Konstruksjon	$L'' = 2,45 m/m^2$ (veggfelt uten vindu)			$L'' = 3,5 m/m^2$ (veggfelt med normal vindusandel for småhus)		
		$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$	$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$
200	200	0,171	0,179	0,187	0,176	0,184	0,191
220	220	0,154	0,162	0,169	0,159	0,166	0,172
250	250	0,135	0,142	0,148	0,138	0,144	0,151
250	200 + 48x48	0,140	0,147	0,154	0,147	0,153	0,159
270	220 + 48x48	0,129	0,135	0,141	0,135	0,141	0,146
300	300	0,117	0,122	0,128	0,120	0,126	0,131
300	250 + 48x48	0,115	0,121	0,127	0,119	0,125	0,130
350	300 + 48x48	0,102	0,106	0,111	0,106	0,110	0,115



Tabell 2.4-6 U-verdi, $W/(m^2K)$, for bindingsverksvegger med utvendig, trykksterk isolasjon. Treandel $L'' = 2,45 m/m^2$ og $3,5 m/m^2$. Trykksterk isolasjon: $\lambda = 0,033 W/(mK)$. Isolasjon i bindingsverksvegg:

$\lambda = 0,033 W/(mK)$, $0,035 W/(mK)$ og $0,037 [SINTEF Byggforsk, 2012]$

Isolasjons-tykkelse (mm)	Konstruksjon	$L'' = 2,45 m/m^2$ (veggfelt uten vindu)						$L'' = 3,5 m/m^2$ (veggfelt med normal vindusandel for småhus)					
		36 mm stender			48 mm stender			36 mm stender			48 mm stender		
		$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$	$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$	$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$	$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$
300	100 + 148 + 48x48	0,122	0,126	0,129	0,124	0,128	0,131	0,132	0,135	0,138	0,136	0,140	0,143
300	150 + 148	0,121	0,123	0,126	0,123	0,126	0,128	0,129	0,132	0,134	0,135	0,137	0,139
350	100 + 148 + 48x48	0,105	0,107	0,110	0,106	0,109	0,112	0,113	0,115	0,118	0,117	0,119	0,122
350	200 + 148	0,104	0,106	0,107	0,106	0,107	0,109	0,111	0,113	0,115	0,116	0,117	0,119
400	200 + 148 + 48x48	0,092	0,094	0,096	0,093	0,095	0,097	0,099	0,101	0,103	0,102	0,104	0,106
400	250 + 148	0,091	0,092	0,094	0,092	0,094	0,095	0,098	0,099	0,100	0,102	0,103	0,104
450	250 + 148 + 48x48	0,082	0,083	0,085	0,083	0,084	0,086	0,088	0,090	0,091	0,091	0,092	0,094

U-verdier for tak

For alle takkonstruksjonene er det regnet med senteravstand 600 mm mellom taksperrere eller undergurtene i takstolene.

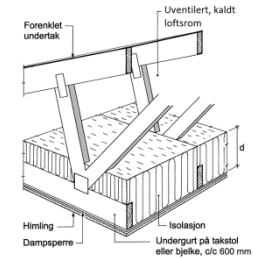
Tabell 2.4-7 U-verdi, $W/(m^2K)$, for skråtak med sperrer av heltre med kombinert undertak og vindsperre. [SINTEF Byggforsk, 2012]

Isolasjons-tykkelse (mm)	Sperrehøyde (mm)	U-verdi og isolasjonsklasse					
		36 mm sperre			48 mm sperre		
		$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$	$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$
300	296	0,132	0,138	0,143	0,137	0,143	0,148
350	346	0,114	0,119	0,124	0,118	0,123	0,128
400	396	0,100	0,104	0,109	0,104	0,108	0,113
450	446	0,089	0,093	0,098	0,093	0,097	0,101
500	496	0,081	0,084	0,088	0,084	0,087	0,091

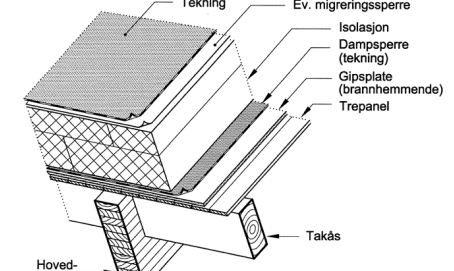
Tabell 2.4-8 U-verdi, $W/(m^2K)$, for skråtak med sperrer av I-bjelker med kombinert undertak og vindsperre. [SINTEF Byggforsk, 2012]

Isolasjons-tykkelse (mm)	Sperrehøyde (mm)	U-verdi og isolasjonsklasse		
		$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$
300	300	0,129	0,135	0,141
350	350	0,111	0,116	0,121
400	400	0,098	0,102	0,107
450	450	0,087	0,091	0,095
500	500	0,079	0,083	0,086

Tabell 2.4-9 U-verdi, $W/(m^2K)$, for tak med kaldt, uluftet loft. [SINTEF Byggforsk, 2012]

	Isolasjons-tykkelse (mm)	U-verdi og isolasjonsklasse					
		48 x 98 mm undergurt			48 x 148 mm undergurt		
		$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$	$\lambda=0,033$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,037$
	300	0,115	0,121	0,128	0,119	0,125	0,131
	350	0,099	0,104	0,11	0,101	0,107	0,112
	400	0,086	0,091	0,096	0,088	0,093	0,098
	450	0,077	0,081	0,085	0,078	0,083	0,087
	500	0,069	0,073	0,077	0,07	0,074	0,078

 Tabell 2.4-10 U-verdi, $W/(m^2K)$, for kompakt tak med bærende undertak av tre [SINTEF Byggforsk, 2003]

	Isolasjons-tykkelse (mm)	U-verdi og isolasjonsklasse				
		$\lambda=0,031$	$\lambda=0,034$	$\lambda=0,035$	$\lambda=0,036$	$\lambda=0,038$
	300	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13
	350	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
	400	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
	450	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
	500	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08

U-verdi for vinduer og dører

U-verdien til vinduer påvirkes av de varmetekniske egenskapene til glassruta, karm- og ramme konstruksjonen og avstandslisten mellom glassene. For dører må man også ta hensyn til egenskapene til de opake feltene (brystning, dørbblad uten glass).

U-verdien (U_w) til vinduer og dører beregnes ved å arealveie U-verdiene for karm- og ramme-konstruksjonen, glassfeltet og eventuelle opake felter (felter uten glass), og legge til det ekstra varmetapet (kuldebrovirkningen) på grunn av avstandslisten mellom rutene i glassfeltet. NS-EN ISO 10077-1 angir at U-verdien beregnes som:

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum A_f U_f + \sum l_g \psi_g + \sum l_p \psi_p}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_f}$$

hvor

U_w er U-verdien for vinduet eller døra

A_g er arealet av glassruta

A_p er arealet av opake felter i vinduet/døra (for eksempel brystningsfelt)

A_f er arealet av karm- og rammekonstruksjonen

U_g er U-verdien til glassruta

U_p er U-verdien til opake felter i vinduet/døra

U_f er U-verdien til karm- og rammekonstruksjonen

l_g er omkretsen av glassruta

l_p er omkretsen av det opake feltet (brystningen)

ψ_g er den lineære kuldebroen langs randen av glassfeltet (avstandslista)

ψ_p er den lineære kuldebroen langs randen av det opake feltet

I vanlige vinduer er det ikke noen opake felter. A_p , U_p og ψ_p vil da være lik null.

Tradisjonelle trevinduer har en karm- og rammekonstruksjon med U-verdi rundt 1,5 og 1,6 $W/(m^2K)$. U-verdien til karmen er da vanligvis dårligere enn U-verdien til glassruta. Dypere karm vil gi noe bedre U-verdi for karmen. Slankere karm- og rammekonstruksjoner vil også redusere

arealandelen som karm og ramme utgjør av vinduet, øke glassandelen som isolerer bedre, og dermed bedre vinduets U-verdi. Største forbedring i U-verdien for karmen oppnås ved å isolere karmen, for eksempel ved å integrere et isolasjonssjikt i karmen. Dette sjiktet kan f.eks. være isolasjonsskum med (PUR).

Faste vinduer har vanligvis noe bedre U-verdi enn åpningsbare vinduer fordi karm- og rammeandelen er mindre. Poster og gjennomgående sprosler i vinduet øker varmetapet og forhøyer U-verdien til vinduet. Sprosler eller avstandslistene av metall som legges mellom glassene i en isolerrute, vil også øke varmetapet gjennom ruta. Utenpåliggende sprosler påvirker ikke U-verdien til vinduet.

Kuldebroverdien (ψ_g) for glasslisten uttrykker varmetapstillegget i tilslutningen mellom karm/ramme, glassruta og glasslist. Kuldebroverdien for en gitt type avstandslist kan variere noe, avhengig av egenskapene til glassruta og karm- og rammekonstruksjonen.

U-verdien til glassruta (U_g) oppgis som senter U-verdi. U-verdien kan forbedres betraktelig ved å øke antall glass, endre avstanden mellom glassene, dekke glassene med usynlige lavemisjonsbelegg og fylle varmeisolerende edelgasser mellom dem. Lavemisjonsbelegg og flere glass vil redusere tilførselen av solenergi og dagslys til rommet. Avstanden mellom glassene og gassfylling i hulrommet påvirker ikke de sol- og lystekniske egenskapene til glassruta. En moderne trelags rute med lavemisjonsbelegg og argon gassfylling har senter U-verdi rundt $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [Pilkington, 2012]. Til sammenlikning har en "gammeldags" forseglede tolags rute uten lavemisjonsbelegg og gassfylling en senter U-verdi rundt $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Vindusleverandøren bør oppgi U-verdien for hvert enkelt vindu i leveransen, med tilhørende opplysninger om solfaktor og lystransmisjon. NS 3700 krever at gjennomsnittsverdien for vinduer og dører i passivhus ikke skal være større enn $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. I praksis må vinduene da ha isolerende karm-/rammeløsning, avstandslist med lavt varmetap og trelags isolerglass. Egnede trelagsvinduer for passivhus vil typisk ha en U-verdi i underkant av $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, solfaktor rundt 0,50 og lystransmisjon vel 70 %.

Utvendig kondens kan forekomme på moderne vinduer under spesielle værforhold. Fortrinnsvis skjer dette på trelagsruter, men det kan også forekomme på tolagsruter. Redusert varmetap gjennom den høyisolerende glassruta gjør at utvendig overflatetemperatur på glassruta blir lavere enn for en "vanlig" rute. Netto varmestråling fra glassruta til en klar himmel kan føre til at overflatetemperaturen på glassruta blir lavere enn utendørs lufttemperatur. Overflatetemperaturen kommer under duggpunkttemperaturen for utelufta. Fuktighet i utelufta vil dermed kunne kondensere på glassruta og ikke forsvinne før solstråling, vind og varmegjennomgang gjennom ruta har fordampet kondensen. Høsten er den mest utsatte årstiden, med kalde, klare netter og høy luftfuktighet. Kondens vil oftere forekomme på vinduene i de kalde rommene, som soverom, vaskerom o.l.

Strålingsutvekslingen fra glasset mot himmelen kan reduseres ved å trekke vinduet inn i veggen eller på annen måte skjerme mot himmelen. Utvendig lavemisjonsbelegg kan redusere strålingsutvekslingen betraktelig. Bruk av utvendig solskjerming om natten vil også gi mindre avstråling fra vinduet mot den kalde himmelen, og dermed og redusere risikoen for utvendig kondens. Boligkjøper bør informeres om at utvendig kondens kan forekomme i passivhus.

2.4.2 Kuldebroer

Kuldebroer er felter i en konstruksjon med lavere isolasjonsevne enn omliggende konstruksjon eller bygningssdel. I disse feltene oppstår en lokal, sterk varmestrøm og et ekstra varmetap.

I konstruksjoner hvor det benyttes materialer med stor varmeledningsevne, kan kuldebroene ha stor betydning og øke varmetapet gjennom konstruksjonen. Kuldebroene kan også føre til kondensproblemer, sverting av innvendige overflater og ubehag for brukerne. Men for passivhus vil

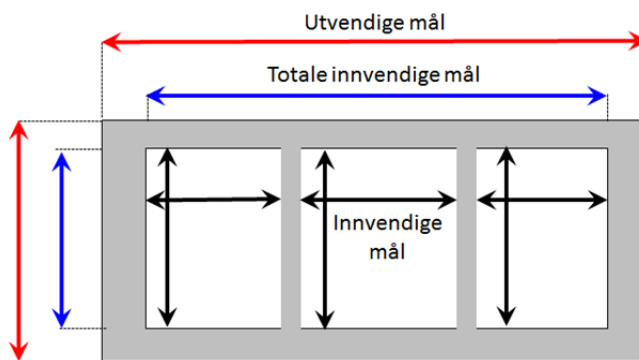
kravene til varmeisolasjon være så strenge, at det det i praksis ikke er relevant å snakke om risiko for termisk sverting og kondensering på grunn av kuldebroer.

I tillegg til disse kuldebroene som skyldes felter med dårligere isolasjonsevne, har vi geometriske kuldebroer som er endret varmetap i et område på grunn av forskjell mellom innvendige og utvendige arealer. Slike geometriske kuldebroer har vi i veggjørner, i tilslutningen mellom golv og yttervegg og i tilslutningen mellom yttervegg og tak. Hvor store de geometriske kuldebroene er; avhenger av måten kuldebroene kalkuleres. I tillegg til den geometriske effekten, må virkningen av økt konsentrasjon av stendere og spikerslag etc. tilslutningene legges til kuldebroverdien.

Den internasjonale beregningsstandarden NS-EN ISO 14683 åpner for tre alternative måter å kalkulere geometriske kuldebroer:

- utvendige mål
- totale innvendige mål
- innvendige mål

I Norge har vi valgt totale innvendige mål som referanse for beregningene i NS 3031, og dermed også som referanse for krav til normalisert kuldebroverdi i TEK10 og NS 3700.



Figur 2.4-1 Utvendige mål, totale innvendige mål og innvendige mål etter NS-EN ISO 14683

Utadgående hjørner fungerer som en "kjølebuffel" og gir økt nedkjøling av overflatene nær hjørnet. Det økte varmetapet gjennom ytterveggen rundt de utadgående hjørner ivaretas gjennom et eget kuldebrotilllegg for slike hjørner. Med innvendige mål blir dette kuldebrotilllegget større enn om utvendige mål lå til grunn for beregningen. Samme kuldebroverdier kan derfor ikke brukes for alle de tre kuldebroalternativene i NS-EN ISO 14683.

Når totale innvendige mål brukes som referanse, gir dette større kuldebrotilllegg enn om utvendige mål lå til grunn for vurderingen. Når det i passivhussammenheng refereres til "kuldebrofrie" konstruksjoner, så har dette ofte vært med henvisning til utenlandske prosjekter hvor kuldebroene er beregnet med grunnlag i utvendige mål, og ikke totale innvendige mål som her i Norge. Med totale innvendige mål som referanse er det urealistisk å oppnå kuldebrofrie bygg.

Det har vært mye usikkerhet knyttet til kuldebroverdier. Da energikravene ble skjerpet i 2007, ble det for småhus i energitiltaksmodellen innført et krav om maksimal kuldebroverdi 0,03 W/K per m² oppvarmet BRA. For større bygg var kravet 0,06 W/K per m² oppvarmet BRA. Disse kuldebrokravene er videreført i TEK10. I ettertid har det vist seg at størrelsen på kuldebroene i småhus ble undervurdert da forskriftsnivået 0,03 W/K per m² oppvarmet BRA ble fastsatt i 2007. Dette gjelder spesielt kuldebrovirkningen av tilslutningen mellom golv på grunnen og yttervegg, men også virkningen av de geometriske kuldebroene som i småhus kan utgjøre en betydelig andel av det samlede kuldebrovarmetapet. Forskriftsnivået ble derfor utilsiktet ambisiøst. I stedet for å regne nøyaktig på kuldebroer, som intensjonene var med forskriftskjerpelsen, har de fleste valgt å bruke sjablongverdi for normalisert kuldebro fra NS 3031.

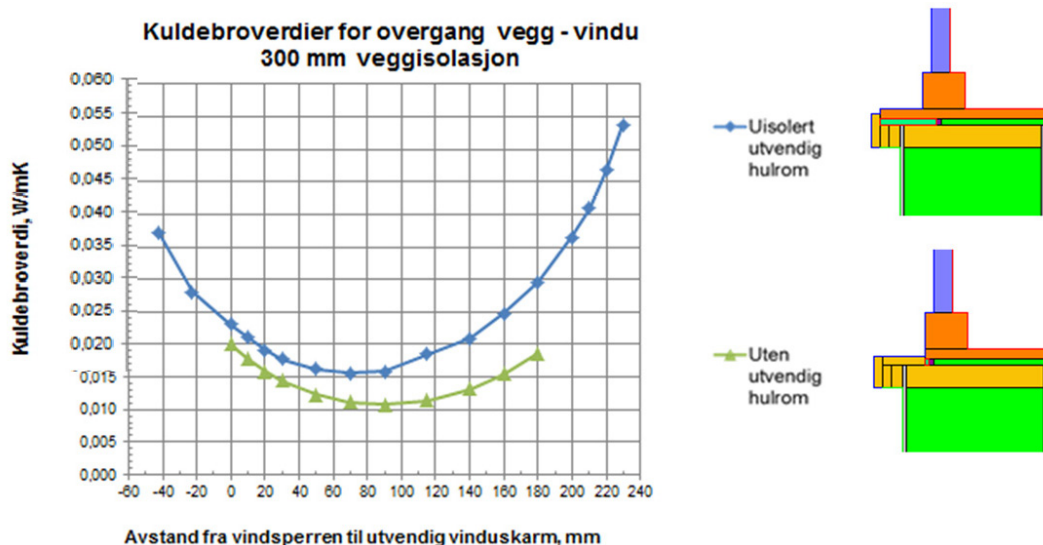
SINTEF Byggforsk reviderer nå grunnlaget for beregning av kuldebroer, og nye anvisninger med kuldebroer er under utarbeidelse. Det kan forekomme noen endringer i forhold til tidligere oppgitte kuldebroverdier.

Kuldebro rundt vinduer og dører

Kuldebroen rundt vinduer påvirkes av hvor i vegglivet vinduet er plassert. Figur 2.4-2 viser kuldebroverdi for overgang mellom vegg og vindu som funksjon av avstanden fra vindspærre til utvendig side av vinduskarm. Figuren gjelder for 300 mm veggisolasjon.

Optimal vindusplassering er ca 70 til 90 mm innenfor vindspærresjiktet. Kuldebroverdien vil da nærme seg 0,010 W/(mK). Tidligere var det vanlig å trekke vinduene utenfor vindspærresjiktet. Med liggende kledning var det vanlig å trekke vinduet 42 mm utenfor vindspærresjiktet slik at det fluktet med utvendig side av kledningen. Med stående kledning var det tilsvarende vanlig å trekke vinduet 48 mm utenfor vindspærresjiktet. Som det framgår av figuren vil kuldebroverdien da ligge rundt 0,04 W/(mK). Med tanke på hvor mange løpemeter omringning det er rundt vinduer og dører, blir dette et relativt betydelig varmetap.

I passivhus er det i praksis svært vanskelig å tilfredsstille kravet til normalisert kuldebroverdi uten å montere vinduene litt inn i veggen. Det må da monteres en helklebende, vanntett membran under vinduet og ca. 50 mm opp langs sidene i vindussmyget slik at eventuelt regnvann som kommer inn på sidene eller under vinduet ikke kommer videre ned i veggen, men ledes ut igjen. For regntettingen rundt vinduer henvises det til SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 88 "Tetteløsninger rundt vindu- regntetthet" [Skogstad og Asphaug, 2012].

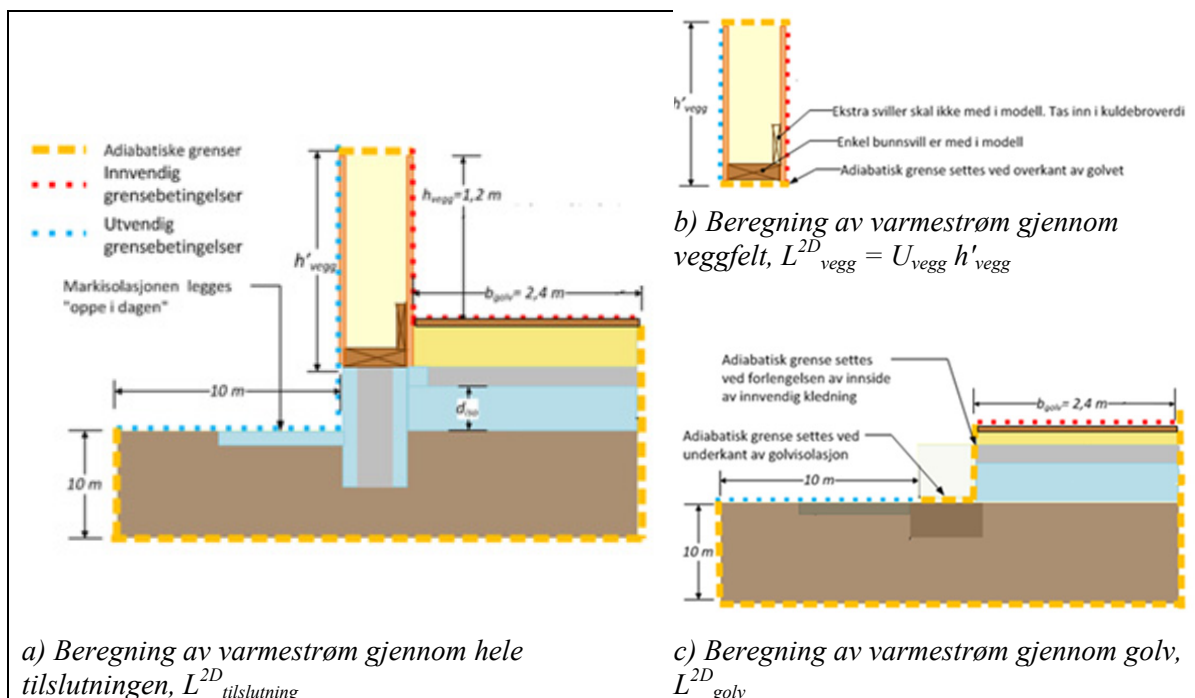


Figur 2.4-2 Kuldebroverdi rundt vinduer som funksjon av avstand fra vindspærren til utvendig vinduskarm. [Lavenergiprogrammet, 2012]

Kuldebroer i tilslutningen mellom yttervegg og fundament

Det er litt komplisert å beregne kuldebroer mot grunnen. Figur 2.4-3 viser hvordan tilslutningen mellom golv på grunnen og yttervegg skal modelleres for å beregne kuldebroverdien i et to-dimensjonalt beregningsprogram. Varmestrømmen gjennom innvendige og utvendige grensebetingelser beregnes for det modellerte tilfellet i a). Deretter modelleres ytterveggen og golvet hver for seg som vist i b) og c), og varmemestømmene gjennom innvendige og utvendige grenser beregnes på tilsvarende måte. Kuldebroen for tilslutningen mellom golv og yttervegg beregnes som:

$$\psi = L_{\text{tilslutning}}^{2D} - L_{\text{golv}}^{2D} - L_{\text{vegg}}^{2D} \quad [W/(mK)]$$

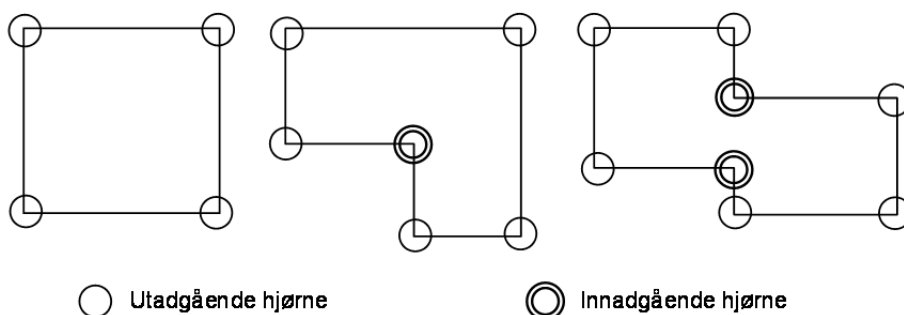


Figur 2.4-3 Modellering av tilslutningen mellom golv på grunnen og yttervegg i et todimensjonalt beregningsprogram for kuldebroer

For tilslutningen mellom golv og yttervegg vil det i praksis være svært utfordrende å oppnå lavere kuldebroverdi enn 0,05 W/(mK). Samtidig kan kuldebroverdien fort bli veldig mye større, særlig om det blir kontakt mellom betongplate og mur/betong i ringmuren. Godt isolert ringmur og god isolasjon mellom betongplate og ringmur er avgjørende for en lav kuldebroverdi. Å støpe golvet sammen med ringmuren vil normalt gi alt for store kuldebroer, også for normale TEK10-bygg.

Kuldebro i veggjørner

I bindingsverkskonstruksjoner vil utadgående veggjørner ha en kuldebro rundt 0,03 W/(mK), mens innadgående hjørner vil ha kuldebroverdi rundt -0,06 W/(mK) (dvs. negativ verdi). Utformingen av grunnplanet avgjør antall utadgående og innadgående hjørner. De fleste boliger har grunnplan med rette vinkler i hjørnene. Da vil det som et minimum alltid være fire utadgående hjørner. I tillegg vil det være ett utadgående hjørne for hvert innadgående hjørne i grunnplanet.



Figur 2.4-4 Utadgående og innadgående hjørner

Kuldebro mellom yttervegg og golvbjelkelag i tre

Tilslutningen mellom yttervegg og golvbjelkelag i tre vil være liten, og for de aktuelle isolasjonstykkelser vil verdien i praksis avrundes til 0,00 W/(mK) [SINTEF Byggforsk 471.017, 2008]

Kuldebroer i tilslutningen mellom yttervegg og tak

Kuldebroverdien for tilslutningen mellom yttervegg og tak vil være beskjedent for bindingsverkskonstruksjoner. Som en forenkling kan det regnes med en kuldebroverdi på 0,03 W/(mK) for alle vanlige bindingsverkskonstruksjoner. Denne kuldebroverdien skyldes i hovedsak geometriske forhold (utvendig overflateareal blir større enn innvendig overflateareal).

Kuldebrovirkning av losholter, ekstra stendere og sviller i bindingsverksvegger

Kuldebrovirkning av losholter, ekstra stendere og sviller i bindingsverksvegger integreres normalt i veggens U-verdi. Men det vil kunne være en avveining mellom hva som naturlig hører med i veggens U-verdi, og hva som bør betraktes som separat U-verdi. Søylar og forsterkinger i en vegg for å ta opp større laster fra overliggende etasjer, kan for eksempel betraktes som kuldebroer.

Generelt kan kuldebroverdien for gjennomgående treverk settes lik 0,01 W/(mK) for både 36 og 48 mm virke. Dette tilsvarer et påslag i veggens U-verdi på 0,01 W/(m²K) for hver meter ekstra stender eller svill i vegg. Under avsnittet om U-verdi for vegger ble det således angitt at veggens U-verdi øker med ca 0,01 W/(m²K) når treandel øker fra 2,5 m/m² til 3,5 m/m².

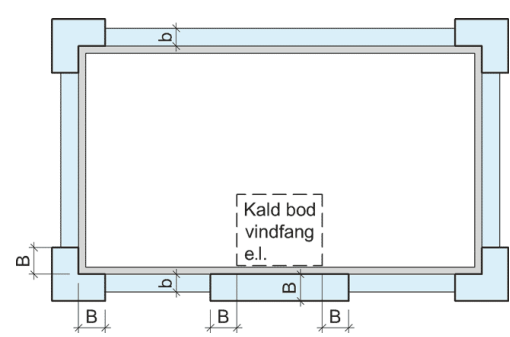
Med utviklingen på BIM-området får vi en mer detaljert beskrivelse av veggens oppbygging, og vi får et bedre grunnlag for kunne beregne nøyaktig varmetapet gjennom vegg. Det vil da være naturlig å beregne reell treandel og reelt varmetap, og ikke basere oss på samme sjablongmessige antakelser om antall løpemeter treverk per kvadratmeter veggflate.

2.4.3 Frostsikring og markisolasjon

Ringmuren bør ha utvendig og innvendig isolering, og prefabrikkerte ringmurselementer har dette. Markisolasjon anbefales generelt i alle deler av landet for å hindre nedkjøling av grunnen og økt varmetap fra golvet/kjellerveggen. Markisolasjon er spesielt viktig i kalde strøk for å hindre gjennomfrysing av ringmuren. Tabell 2.4-10 viser anbefalt markisolasjon for å hindre at frost trenger inn under fundamentet i telefarlig grunn. Bredden på markisolasjonen økes ved hjørnene, kalde boder og vindfang. Tabellen angir også anbefalt tykkelse på innvendig og utvendig ringmursisolasjon for å forhindre frostgjennomslag av ringmuren. For maksimal frostmengde på 25 000 h°C (tilsvarer Oslo klima), anbefales det 50 mm tykk markisolasjon med bredde 500 mm (900 mm rundt hjørnene) og 50 mm innvendig og utvendig isolasjon av ringmuren.

Tabell 2.4-10 Nødvendig frostsikring av både innvendig og utvendig isolerte ringmurer i telefarlig grunn [SINTEF Byggforsk 521.112, 2005]

Maksimal frostmengde h°C	Markisolasjon		Ringmur- isolasjon Tykkelse mm
	Tykkelse mm	Bredde/hjørne mm	
15 000	50	300/600	50 × 2
20 000	50	400/600	50 × 2
25 000	50	500/900	50 × 2
30 000	50	800/1 200	50 × 2
35 000	50	900/1 500	50 × 2
40 000	70	1 000/1 500	50 × 2
45 000	70	1 200/1 800	50 × 2
50 000	100	1 300/1 800	100 × 2
55 000	100	1 700/2 400	100 × 2
60 000	100	1 900/2 400	100 × 2



2.5. Inndata - ventilasjon og varmegjenvinning

2.5.1 Luftmengder

Ventilasjonsanlegget skal sørge for at nødvendig friskluft tilføres boligen. Luftkvaliteten skal ikke reduseres som en følge av at bygningskroppen blir mer lufttett. Byggteknisk forskrift angir at frisklufttilførselen til boenheter skal være minst $1,2 \text{ m}^3$ pr. time pr m^2 når rommene eller boenheten er i bruk. Uten varmegjenvinning tilsvarer dette et ventilasjonsvarmetap på vel 7 000 kWh i året for en enebolig på 150 m^2 BRA i Oslo klima. Med god varmegjenvinning kan ventilasjonsvarmetapet reduseres ned mot 1 000-1 200 kWh. I passivhus er det avgjørende med høyeffektiv gjenvinning av ventilasjonsvarmen.

NS 3700 krever at det ved beregning av energibehov skal legges til grunn reelle luftmengder dimensjonert ut fra materialbelastning (emisjoner), personbelastning og andre belastninger. Standarden setter samtidig en nedre begrensning på luftmengdene som vist i tabell 2.5-1. Disse minste luftmengdene er de samme som gjelder i NS 3031 for beregning opp mot offentlige krav. I mindre boenheter vil avtrekk fra våtrom og kjøkken normalt være dimensjonerende og føre til større, spesifikke luftmengder. For leiligheter under 110 m^2 er derfor minste tillatte luftmengde avhengig av størrelsen på boenheten (A_{fl}). For boenheter over 110 m^2 er minstekravet $1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Med romhøyde 2,4 m tilsvarer dette et luftskifte på 0,5 luftvekslinger per time.

Tabell 2.5-1 Minste tillatte luftmengde som skal brukes ved beregning av energibehovet i passivhus [NS 3700, 2010].

Boenhetsens størrelse	Minste spesifikke luftmengde $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
$A_{fl} < 110 \text{ m}^2$	$1,6 - 0,007 \times (A_{fl} - 50)$
$A_{fl} \geq 110 \text{ m}^2$	1,2

2.5.2 Type ventilasjon

I praksis må vi ha en form for mekanisk ventilasjon for å sikre kravet til luftmengdene i byggeteknisk forskrift. Dette kan både være et rent mekanisk ventilasjonsanlegg og et ventilasjonsanlegg basert på naturlige drivkrefter, men hvor vifter bidrar til å opprettholde nødvendig ventilasjonsmengde når de naturlige drivkreftene i form av vind og termisk oppdrift ikke er store nok. Slik vifteassistert, naturlig ventilasjon blir gjerne omtalt som hybrid ventilasjon.

I de fleste passivhus velges mekanisk balansert ventilasjon som gir god kontroll på luftmengdene og tilrettelegger for god varmegjenvinning av ventilasjonsluften. Med et fornuftig utformet kanalnett med lavt trykkfall og energieffektive vifter, vil også strømforbruket til drift av anlegget være beskjedent.

Fire hovedtyper varmegjenvinning er aktuelle i passivhus:

- roterende varmevekslere
- kammervekslere
- motstrømsvekslere
- varmepumpegjenvinnere

Roterende varmevekslere og kammervekslere er regenerative (sykliske) varmegjenvinnere. De gjenvinner fuktigheten som kondenserer i varmeveksleren og behøver ikke kondensavløp. Motstrømsveksleren er rekuperativ (statisk) og gjenvinner ikke fuktighet. Fuktighet i inneluften vil kondensere når luften kjøles ned, og motstrømsveksleren må derfor ha eget kondensavløp. Motstrømsveksleren er også utsatt for ising når det er kaldt om vinteren. Slik ising tetter igjen varmegjenvinneren og reduserer varmegjenvinningsgraden. Men også regenerative gjenvinnere kan få noe problemer med gjenfrysing i meget strenge kuldeperioder. Varmepumpegjenvinnere skiller seg litt ut i forhold til de andre varmevekslerne, og omtales senere.



Figur 2.5-1 Eksempler på moderne ventilasjonsaggregater for småhus. Begge med roterende varmeveksler, energieffektive EC vifter og bypass for tilkobling til komfyravtrekk. Flexit (venstre) og Systemair (høyre)

NS 3700 stiller krav om at årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad i passivhus minst skal være 80 %. Denne virkningsgraden skal beregnes etter normativt tillegg H i NS 3031. Virkningsgraden skal ta hensyn til varmebehovet til frostsikring av varmegjenvinneren. Dersom virkningsgraden er målt for hele aggregatet, og ikke for varmeveksleren alene, skal det korrigeres for tilført varme fra ventilasjonsviftene. De ledende leverandørene av boligventilasjonsaggregater oppgir temperaturvirkningsgraden for selve varmeveksleren etter NS-EN 308, og ikke for hele aggregatet.

Med god varmegjenvinning vil frisklufta bli varmet opp til ønsket tillufttemperatur når den passerer varmegjenvinneren. Det kan imidlertid være enkelte veldig kalde dager hvor effekten fra gjenvinneren ikke er tilstrekkelig. Noen aggregater har derfor innebygget et varmebatteri for ettervarming av tillufta opp til ønsket nivå. Normalt vil dette være et elektrisk varmebatteri integrert i aggregatet. Dersom det ønskes vannbåren varme på denne oppvarmingen løses dette ved å montere et batteri på kanalstrekket etter aggregatet.

Varmepumpegjenvinnere

Varmepumpegjenvinnere skiller seg litt ut fra de andre gjenvinnerne. Varmepumpe henter varme fra avtrekksluften og overfører denne varmen til tillufta, til romoppvarming og/eller til varmtvann. I henhold til NS-EN ISO 13790 er det kun varme fra avtrekksluften som overføres til tillufta som betraktes som ventilasjonsvarmegjenvinning. I følge denne standarden regnes det ikke som ventilasjonsvarmegjenvinning om varmen fra avtrekksluften overføres til for eksempel tappevann eller romoppvarming [NS-EN ISO 13790, 2008]. Varme fra avtrekksvarmepumpen kan i stedet tas med ved beregning av levert energi [NS-EN ISO 13789, 2007].

Tillegg N i NS 3031:2010 + A1:2011 angir en metode for å beregne varmegjenvinning med ventilasjonsvarmepumper som overfører varme fra ventilasjonsluft til ventilasjon, varmtvann og romoppvarming. Ventilasjonsluften kjøles ned i avtrekksvarmepumpen. Tillegg N beskriver at det kan regnes varmegjenvinning for avkjøling av ventilasjonsluft ned til utetemperaturnivå, og at det ved ytterligere avkjøling av ventilasjonsluften ikke skal anses som varmegjenvinning, men som omgivelsesvarme. Dette blir tilsvarende som for en luft/luft eller luft/vann-varmepumpe som henter varme ved å senke temperaturen i uteluften.

Den gjenvunne andelen av varmen som varmepumpen henter ut kan trekkes fra netto energibehov. Den tilhørende kompressorenergien skal samtidig legges til netto energi. Den fornybare andelen av varmen som varmepumpen henter ut kan trekkes fra på levert energi. Også her skal den tilhørende kompressorenergien legges til levert energi. Normerte verdier for innetemperatur og varmtvannsbehov skal benyttes ved beregning av gjenvunnet varme i avtrekksvarmepumpene.

Tillegg N skiller på denne måten mellom varmegjenvinning og energiforsyning. Senkes avkast-temperaturen under utetemperaturen, kan denne varmen godskrives opp mot krav til energiforsyning i NS 3700 og TEK10 § 14-7.

Samtidig er det verdt å merke seg at NS 3700 stiller minstekrav til årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad. Gjenvunnet varme fra avtrekksluften som overføres til tilluften må derfor være ivaretatt før det kan regnes reduksjon av netto energibehov og levert energi. "Fornybar"-andelen som kan krediteres opp mot energiforsyningskravet i NS 3700 vil derfor bli mer begrenset.

Rene avtrekksvarmepumper overfører ikke varme til tilluft, og vil derfor ikke tilfredsstillende det formelle minstekravet til årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad i NS 3700. Med slike avtrekksvarmepumper vil det heller ikke være noen oppvarming av den friske tillufta som tilføres boligen. I kalde perioder vil den kalde frisklufta som strømmer inn gjennom ventiler kunne oppleves som kald trekk, og bidra til å redusere den termiske komforten for beboerne. Med et avtrekksanlegg kan det også være vanskelig å styre friskluftmengdene til oppholdsrommene på en tilfredsstillende måte. Inneklimamessig sett er det derfor mindre fordelaktig med en ren avtrekksløsning.

2.5.3 SFP - vifter og viftestyring

NS 3700 stiller minstekrav om at SFP-faktoren under normal drift ikke skal være større enn $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Vifteenergi er en funksjon av de to faktorene:

- trykkfall gjennom hele ventilasjonssystemet, inkludert kanalsystemet, ventiler, rister, og komponentene i ventilasjonsaggregatet,
- virkningsgraden på komponentene i viftesystemet, inkludert motoren, elektronikken og selve viftebladene.

Riktig komponentvalg og god anleggsutforming av ventilasjonsanlegget i forhold til planløsning er nødvendig for å oppnå lav vifteeffekt og lav SFP-verdi. De fleste boligventilasjonsaggregater leveres nå med energieffektive EC-vifter med styring av viftehastigheten. De som prosjekterer ventilasjonsanleggene skal beregne SFP-faktoren individuelt for hvert ventilasjonsanlegg.

2.5.4 Husk tilluft til kjøkkenventilator!

Verken NS 3031 eller NS 3700 stiller krav om at energiberegningene skal ta hensyn til kjøkkenventilatoren, og de ekstra luftmengdene som trekkes ut over komfyr. Slik sett inngår ikke komfyravtrekket i det normerte energibehovet.

Men tilstrekkelig tilluft til kjøkkenventilator er en stor utfordring i passivhus. Kjøkkenhettas funksjon er å trekke matos ut av boligen. Osopptfangningsevnen påvirkes av utforming av hetta, luftmengde, plassering i forhold til vegg og høyde mellom komfyr og hetta. Med gunstig utforming kreves det minst $250 \text{ m}^3/\text{h}$ for å oppnå tilfredsstillende avtrekk. Med dårlig utforming kreves betydelig større avtrekksmengder. Mest utsatt er fritthengende ventilatorer. De tekniske spesifikasjonene kan vise avtrekkskapasiteteter mellom 500 og $1000 \text{ m}^3/\text{h}$. I passivhus vil dette ikke fungere.

Som et eksempel vil luftvolumet være ca 240 m^3 i en leilighet på 100 m^2 BRA. Med lekkasjetallskrav $0,6$ luftvekslinger per time i henhold til passivhusstandarden, tilsier dette en lekkasjeluftmengde på $144 \text{ m}^3/\text{h}$ ved 50 Pa trykkforskjell over klimaskjermen. Om den samme leiligheten har en kjøkkenventilator som krever et avtrekk på mer enn $500 \text{ m}^3/\text{h}$ for å fange opp matosen på en akseptabel måte, så sier det seg selv at dette ikke går uten at man åpner ett eller flere vinduer.

For at komfyravtrekk skal fungere i passivhus uten at man åpner vinduer og dører, må man velge kjøkkenventilator med gunstig osopptfangningsevne, og samtidig styre kjøkkenventilatoren opp mot ventilasjonsanlegget. Når kjøkkenventilatoren starter, skrur avtrekkavtrekksviftene i ventilasjonsaggregatet automatisk ned, samtidig som tilluftsviftene skrur opp. Ubalansen mellom tilluft og

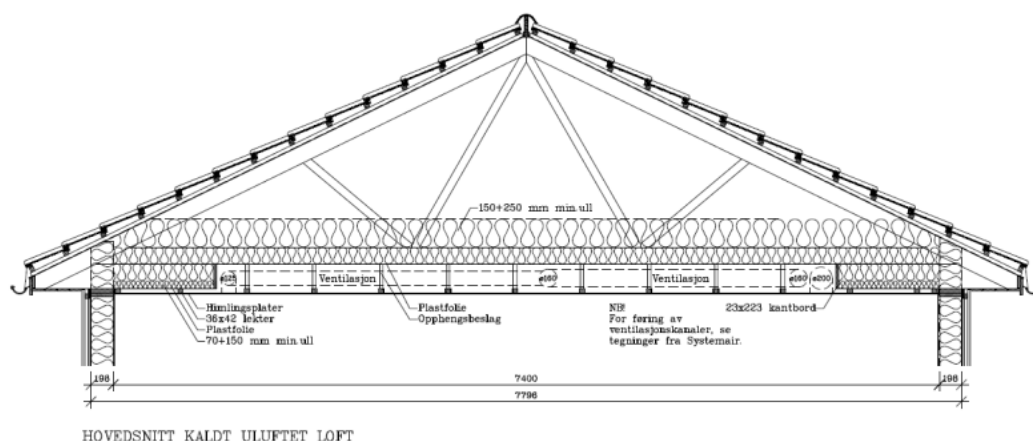
avtrekk kompensere for luften som trekkes ut over komfyren. Ventilasjonsleverandørene tilbyr slike løsninger.

2.5.5 Utforming av kanalnett

Ventilasjonsaggregatet og alle fordelingskanaler bør plasseres på varm side av klimaskjermen for å redusere varmetapet fra kanalene. Inntaks- og avkastkanaler må varmeisolereres innenfor klimaskjermen. Det er spesielt viktig at friskluftinntak og kanalstrek mellom inntak og filter er korte og lette å rengjøre.

For småhus med kaldt loft har det vært vanlig å plassere ventilasjonskanalene på det kalde loftsrommet. Dette gir stort varmetap fra kanalene om vinteren. En 160 mm kanal har et overflateareal på 0,5 m²/m. Varmetapet fra avtrekks- og tilluftskanalene vil være betydelig om disse er plassert på et kaldt loft. Om sommeren kan det også bli veldig varmt på loftet, som igjen kan gi uønsket temperaturheving i tilluftskanalene dersom de er lagt på loftet.

Figur 2.5-2 viser en fordelaktig løsning. Takstolen er hevet i midtpartiet for plass til montering av ventilasjonskanaler. Ventilasjonskanalene kan da legges på varm side av isolasjonen og dampsperran. Senere monteres himlingsplater i nedforingsstag.



Figur 2.5-2 Modifisert takstol for kaldt uluftet loft. Opphøyd midtparti for montering av ventilasjonskanaler på varm side av dampsperran. Himling monteres i nedforingsstag

Kanalnettet bør være så kort som mulig og med færrest mulig skarpe bend og avgreininger som øker trykkfallet og energibehovet for å transportere luft rundt i anlegget. To bend på 45° gir lavere trykkfall enn ett bend på 90°. Trange kanaler med høy hastighet på ventilasjonslufta øker effektbehovet og genererer støy. Lufthastigheten bør ligge under 4 m/s i hovedkanaler og under 2 m/s i gren- og bikanaler, eller enda lavere om det er mulig.

Det anbefales Spirokanaler av varmforsinket stål, med ferdig påsatte pakninger, og avfattet innvendig. Disse er fordelaktig både med hensyn til luftkvalitet, rengjøring, bestandighet, vedlikehold og motstand. Fleksible kanaler frarådes, da de er vanskelige å rengjøre og deformeres lett. Alle kanaler og kanaltilkoblinger i ventilasjonsanlegget skal være lufttette (EUROVENT Klasse B eller bedre). Kanalsystemer med fabrikkmonterte gummitetting er ideelle.

2.5.6 Drift og vedlikehold – Filterskifte og rengjøringsvennlighet

Godt renhold av komponentene i ventilasjonsanlegget er viktig for å opprettholde kapasiteten, unngå helserisiko og hindre brannfare.

Kanalnettet må være tilrettelagt for inspeksjon og rengjøring. Dette innebærer et kanalnett som er så kort som mulig og med god atkomst for rengjøringsutstyret. Kanalene skal være glatte innvendig, og gi lett atkomst for inspeksjon og rengjøring i hele sin lengde (inspeksjons-/renseluker). De mest aktuelle rengjøringsmetodene i boliger er manuell rengjøring med rengjøringsline via inspeksjonsluker og mer avanserte rengjøringsmetoder med motoriserte, roterende rengjøringsverktøy i kombinasjon med støvsuger.

Atkomsten til aggregatet må være enkel med hensyn til inspeksjon, vedlikehold og utskifting av filter. Det advares mot å plassere aggregatene på trange loft eller andre, lite tilgjengelige steder. Det beste er å plassere aggregatet i et teknisk rom, et vaskerom eller annet underordnet rom. De fleste aggregatene avgir noe støy, og de bør derfor ikke monteres på vegg mot for eksempel soverom.

Det rutinemessige vedlikeholdet kan brukeren selv foreta. Anleggene skal ha en lettfattelig bruksanvisning og vedlikeholdsinstruks. Disse bør ha en fast plass for oppbevaring ved aggregatet. Det anbefales at varmegjenvinneren rengjøres (innvendig, varmeveksleren, viftebladene, osv.) ikke sjeldnere enn hvert år. Luftinntak bør inspiseres, ev. rengjøres, årlig.

Filteret på tilluftsiden skal filtrere utelufta for urenheter (særlig støv og pollen) før dette tilføres aggregatet og deretter rommene i boligen. Filteret på avtrekksiden skal filtrere bort forurensninger (støv) fra boligen før dette kommer inn i aggregatets komponenter. Over tid fylles filterne opp og disse må skiftes. Enkel tilkomst for skifte av filter og lettfattelig prosedyre for hvordan dette gjøres er en viktig forutsetning for at dette skal oppleves enkelt av brukeren.

Leverandørene av ventilasjonsaggregater har abonnementsordninger som innebærer at nye filtre automatisk blir tilsendt når det er tid for filterskifte. Normalt intervall er skifte hvert år, men i forurensede strøk kan det være aktuelt med hyppigere skifter.



Figur 2.5-3 Brukt (ett år) og nytt posefilter. Innvendig side av inntakskanal etter 7 års drift

2.5.7 Luftoppvarming

Luftoppvarming er mye brukt som oppvarmingsmetode i passivhus andre land. Som det ble beskrevet i innledningen, gikk passivhuskonseptet opprinnelig ut på å isolere boligen så godt at hele oppvarmingsbehovet kunne dekket med ettervarming av tilluften i det balanserte ventilasjonsanlegget. For at ettervarmingen av ventilasjonsluft skulle være tilstrekkelig, måtte dimensjonerende varmebehov begrenses til 10 W/m^2 . I tysk klima tilsa dette et årlig oppvarmingsbehov på ca 15 kWh/m^2 .

Det er vesentlig kaldere i Norge, og det er i praksis ikke realistisk å oppnå så lavt varmetap at varmebehovet kan dekket med ettervarming av tilluft. En annen ulempe med luftoppvarming er at oppvarming skjer sentralt og tilføres alle rom som trenger friskluft. Rommene tilføres derfor varm luft, selv om det ikke er ønskelig med varmetilskudd (eksempelvis på soverom). Luftoppvarming er heller ikke fordelaktig med tanke på inneklima, og ledende inneklimaforskere advarer mot slik

oppvarming i norske boliger [Bakke, 2007]. Med bakgrunn i dette anbefales foreløpig ikke luftoppvarming i norske passivhus.

2.6 Inndata – infiltrasjon og luftlekkasjer

Infiltrasjon er utilsiktet luftveksling gjennom utettheter i klimaskjermen. Infiltrasjonen kommer i tillegg til luftmengdene gjennom ventilasjonssystemet, og regnes vanligvis ikke inn som en del av ventilasjonsmengden. I energiregnskapet regnes infiltrasjonen inn som en del av oppvarmingsbehovet.

NS 3031 angir at infiltrasjonen under drift kan beregnes som:

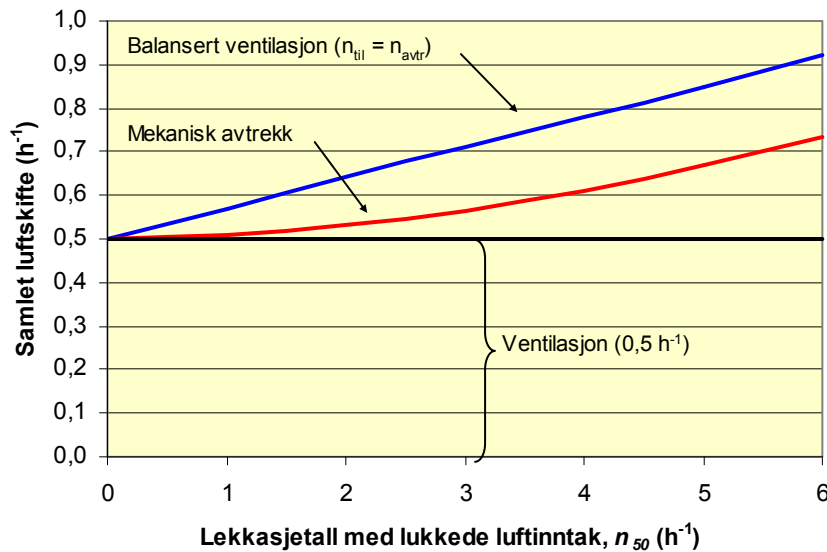
$$\eta_{inf} = \frac{n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left(\frac{\dot{V}_{til} - \dot{V}_{avtr}}{V \cdot n_{50}} \right)^2}$$

hvor:

- n_{inf} er infiltrasjonsluftmengden (h^{-1})
- n_{50} er lekkasjetall (h^{-1}) ved 50 Pa trykkforskjell over klimaskjermen. For naturlig og mekanisk avtrekksventilasjon vil n_{50} være noe høyere enn lekkasjetallet målt med lukkede luftinntak. Tillegget vil være rundt 1,0 luftvekslinger per time for mekanisk avtrekksventilasjon og rundt 2,0 luftvekslinger per time for naturlig ventilasjon. For balansert ventilasjon vil det ikke være noe tillegg for åpne tilluftinntak.
- e og f er terrengskjermingskoeffisienter som ved kontrollberegning mot offentlige krav skal settes lik henholdsvis 0,07 og 15. Koeffisienten 0,07 uttrykker moderat skjerming og koeffisienten 15 at det er mer enn én utsatt fasade.
- V er oppvarmet luftvolum i bygningen (m^3)
- \dot{V}_{til} er mengden luft som tilføres gjennom ventilasjonsanlegget (m^3/h)
- \dot{V}_{avtr} er mengden luft som trekkes ut av boligen gjennom ventilasjonsanlegget (m^3/h)

Med balansert ventilasjon vil luftmengdene som trekkes inn og ut gjennom utettheter i ytterkonstruksjonen komme i tillegg til lufta som trekkes gjennom ventilasjonsanlegget. Med avtrekksventilasjon vil en større andel av lufta som trekkes inn gjennom luftlekkasjer i ytterkonstruksjonen trekkes ut med ventilasjonslufta og inngå som en del av denne.

Figur 2.6-1 viser beregnet luftskifte i en bolig med balansert ventilasjon og mekanisk avtrekksventilasjon som funksjon av boligens lekkasjetall (n_{50}). For avtrekksventilasjon antas det antatt at åpne luftinntak øker lekkasjetallet med 1,0 luftveksling i timen. Infiltrasjonstillegget vil være større med balansert ventilasjon enn med mekanisk avtrekk. Med balansert ventilasjon vil infiltrasjonen være $0,04 \text{ h}^{-1}$ for lekkasjetall $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$, økende proporsjonalt til $0,18 \text{ h}^{-1}$ for lekkasjetall $n_{50} = 2,5 \text{ h}^{-1}$. Med mekanisk avtrekksventilasjon vil infiltrasjonen tilsvarende være $0,01 \text{ h}^{-1}$ for lekkasjetall $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$, økende til $0,05 \text{ h}^{-1}$ for lekkasjetall $n_{50} = 2,5 \text{ h}^{-1}$.



Figur 2.6-1 Samlet luftskifte (ventilasjon og infiltrasjon) som funksjon av lekkasjetall (n_{50}) i småhus med mekanisk avtrekk og balansert ventilasjon. Ventilasjonsmengden er antatt lik 0,5 luftvekslinger i timen. Infiltrasjonen er beregnet etter NS 3031 med moderat skjerming ($e = 0,07$). For mekanisk avtrekk antas det at åpne luftinntak øker lekkasjetallet med 1,0 luftveksling i timen

2.6.1 Anblåsning og gjennomblåsning

I bindingsverkskonstruksjoner er det to tettesjikt; utvendig vindsperre og innvendig dampsperre/-dampbrems. For å oppnå god lufttetthet må man planlegge slik at vind- og dampsperra i størst mulig grad kan monteres sammenhengende rundt hele bygningskroppen. Montering av sperresjikt mellom gjennomgående deler av bæresystemet (stendere, bjelker, sperrer etc.) bør derfor unngås. Kritiske tettedetaljer må på forhånd tegnes ut i detalj. Det gjelder:

- skjøter
- overganger for sperresjikt mellom tilstøtende bygningsdeler
- tetning rundt gjennomføringer i klimaskjermen
- fugetetning rundt vinduer og dører

Det skilles mellom anblåsning og gjennomblåsning som vist i figur 2.6-2. Med anblåsning menes at isolasjonssjiktet ikke er beskyttet mot vind, slik at vinden trenger inn i isolasjonssjiktet. Med gjennomblåsning menes at lufta trekker tvers gjennom isolasjonssjiktet. Den utvendige vindtettingen skal være tett og hindre anblåsning og gjennomblåsning av luft gjennom ytterkonstruksjonen. Den innvendige dampsperra eller dampbremsen skal hindre fukttransport ut i konstruksjonen og kondensering av luft. Den innvendige dampsperra/dampbremsen er også meget lufttett, og vil i stor grad bidra til å redusere luftlekkasjene gjennom klimaskjermen.

SINTEF Byggforsk anbefaler at utvendig vindsperre skal ha dampmotstand (s_d -verdi) $\leq 0,5$ m. Dampsperran skal samtidig ha dampmotstand (s_d -verdi) ≥ 10 m. Dersom det benyttes en dampbrems, skal denne minst være 10 ganger mer damptett enn utvendig vindsperre.

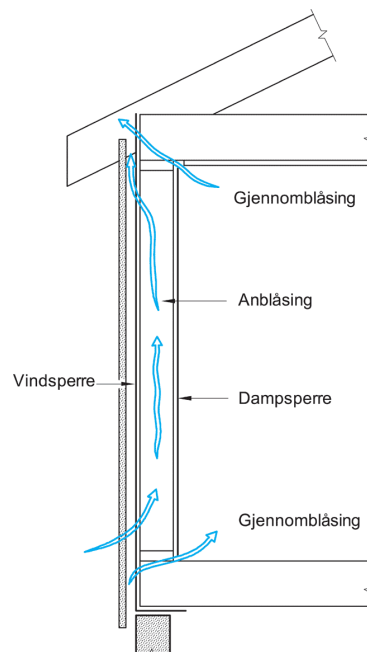
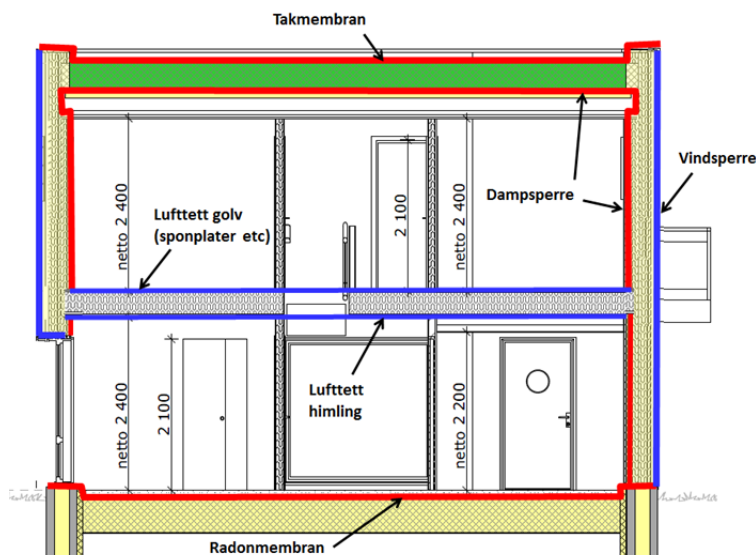
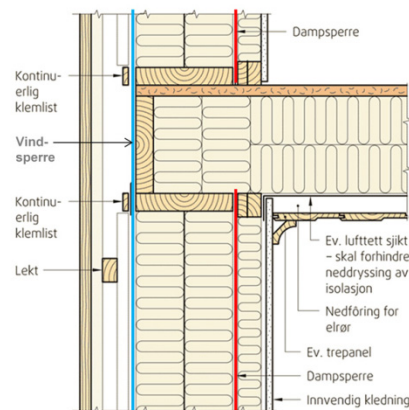


Fig. 2.6-2 Anblåsning og gjennomblåsning. [SINTEF Byggforsk 573.121, 2003]

Det bør søkes kontinuerlig og sammenhengene føring av vindsperre og dampsperre som vist i figur 2.6-3 og 2.6-4. Etasjeskillere bør ha lufttette sjikt på begge sider. Plategolv vil normalt være å anse som lufttett nok. Det samme gjelder platehimling med god tetting rundt eventuelle gjennomføringer. Kontinuerlig tetting i tilslutningen mot etasjeskilleren sikres ved å føre dampsperran på veggen i første etasje opp til det lufttette sjiktet på undersiden av etasjeskilleren. I etasjen over føres dampsperre på veggen ned til plategolvet. Utvendig kontinuerlig føring av vindsperran forbi etasjeskilleren hindrer luftlekkasjer og gjennomblåsing.



Figur 2.6-3 Kontinuerlig føring av innvendig og utvendig tettesjikt



Figur 2.6-4 Tetting ved tilslutning mellom etasjeskillere og yttervegg

Det er risiko for noe høyere fuktighet mot kantbjelken. Når dampsperran ikke føres forbi isolasjonen i mellombjelkelaget, kan fuktig luft kondensere mot kantbjelken når det er kaldt ute og gi høy luftfuktighet der. Dette gjelder spesielt når byggfukten tørker ut. Det vil hjelpe å montere stående isolasjon som presser litt til alle kanter ytterst ved kantbjelken. Stående isolasjon har litt større strømningsmotstand enn liggende isolasjon og vil begrense konveksjonen i isolasjonen og dermed tilførsel av fukt til kantbjelken.

Det er viktig å sørge for god tetting av alle skjøter i vindsperre og dampsperre. Klemte skjøter tetter godt. Det fins også spesialutviklede teip-løsninger som gir god tetting og god bestandighet. Oversikt over teiper med teknisk godkjenning finnes på www.sintefcertification.no.

Mange produsenter tilbyr komplette tettesystem med vind- og dampsperrer, mansjetter, teip-løsninger, fugemasser og membraner. Bruk av slike tetteprodukter sammen med god kvalitets-sikring av arbeidet og tidlig kontrollmåling av lekkasjetallet, gjør passivhuskravet 0,6 luftvekslinger per time til et oppnåelig mål.

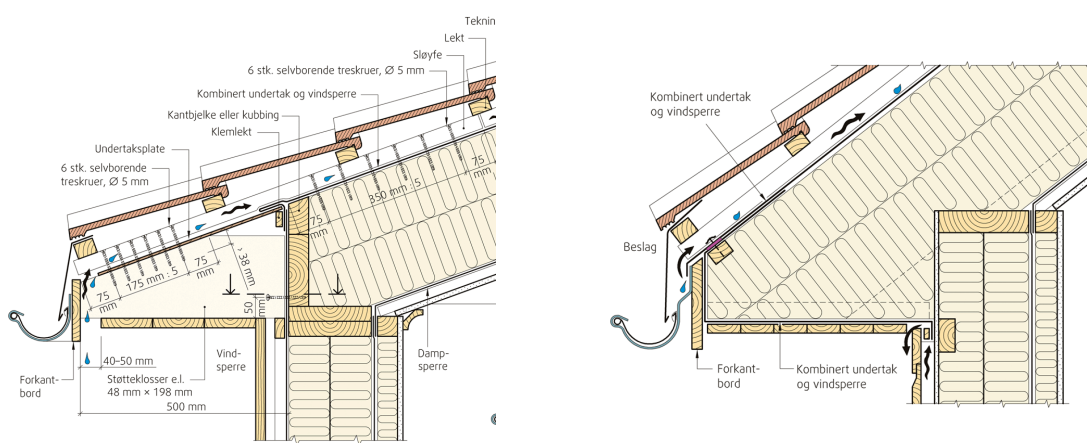
2.6.2 Inntrukket dampsperre

Inntrukket dampsperre gjør det mulig å montere skjult elektrisk anlegg på innsiden av dampsperra uten å perforere denne. Det er vanlig å lekte ut med 48 mm lekter. Men innvendig krysslekting og inntrukket dampsperre er noe mer arbeidskrevende enn en løsning med gjennomgående stender/-svill. Den tettere, innvendige dampsperra vil heller ikke nødvendigvis bety så mye for det endelige lekkasjetallet hvis det allerede er etablert en god ytre vindtetting.

Tidligere regnet man forbedring av U-verdien ved inntrukket dampsperre og innvendig krysslekting/påføring av bindingsverket. Med de tykkere isolasjonsnivåene vi har i passivhus, har slik krysslekting minimal innvirkning på U-verdien.

2.6.3 Detaljløsninger

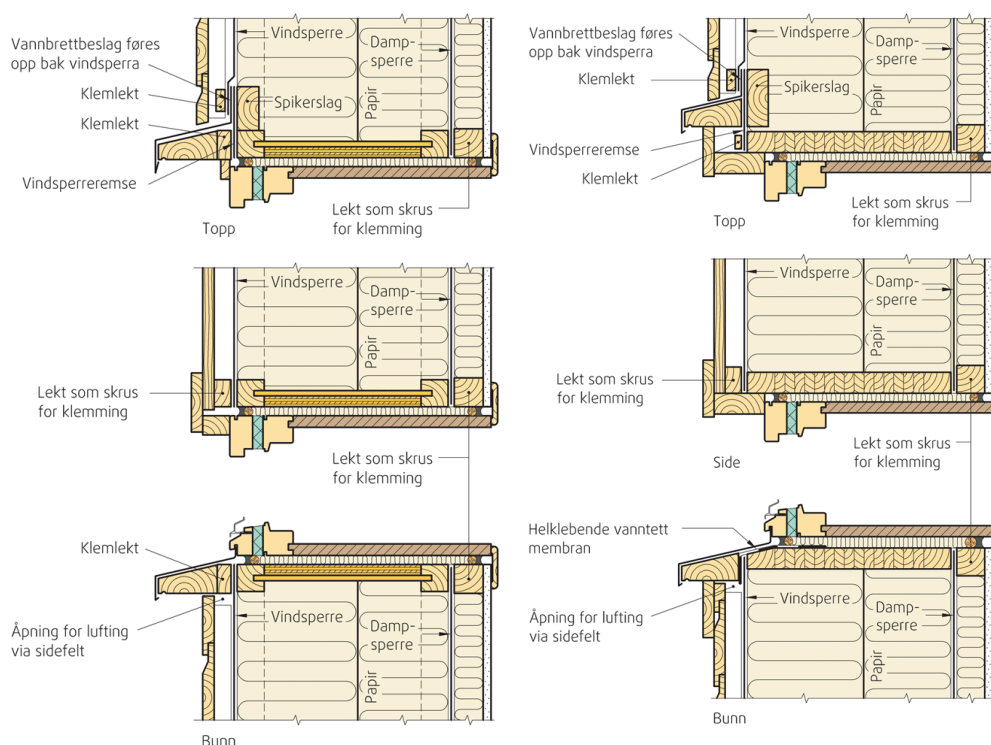
Tilslutningen mellom yttervegg og tak er utsatt for luftlekkasjer. For skråtak kan man enten avslutte taksperrene i vegglivet, føre vindsperre/undertaket forbi tilslutningen og etterpå bygge ut takutstikk med løse takutstikk som vist til venstre i figur 2.6-5. Undertaksbelegget må da føres litt utenfor vegglivet, brettes tilbake og ned på ytterveggen for at vann som har trengt inn gjennom taktekningen, skal ledes på utsiden av kledningen på ytterveggen. Alternativt kan vindsperra/-undertaksproduktet føres rundt takutstikk og kobles med vindsperrsjiktet på vegg som vist til høyre i figuren. Det må da sikres lufteåpninger nede ved raftet, for eksempel ved å benytte bøyde takrennekroker.



Figur 2.6-5 Venstre: Løse takutstikk, kombinert vindsperre/undertak. Høyre: Utstikkende sperreender. Kombinert undertak og vindsperre er ført rundt hele raftekassa. [SINTEF Byggforsk 525.102, 2012]

Figur 2.6-6 viser to alternative plasseringer av vinduer i bindingsverksvegger av tre. Til venstre er vinduet plassert så langt ut i veggen at sporet i bunnkarmen ligger i plan med vindsperran. Slik plassering gir enklere regntetting enn om vinduet er plassert lengre inn i veggen. Til høyre er vinduet trukket inn i veggen. Vinduet må da føres ut på utsiden. En inntrukket plassering av vinduet vil skjerme vinduet bedre og redusere mulighetene for utvendig kondens på superisolerte glassruter. Men en slik inntrukket plassering stiller strengere krav til beslag og tettedetaljer for å unngå fuktinntrenging og vannlekkasjer. Man må montere en vanntett, helklebende og heldekkende membran i smyget under vinduet og minst 50 mm opp langs sidene i smyget, samt ned over vindsperra under vinduet.

Hvorvidt det benyttes fugemasse, polyuretanskum, remser, teip, ekspanderende fugebånd eller papp til å tette rundt vinduer og dører betyr ikke så mye, så lenge arbeidet utføres med nøyaktighet.



Figur 2.6-6 Innsetting av vinduer i bindingsverksvegger av tre. [SINTEF Byggforsk 472.435, 2012]. Til venstre vindu som er plassert jevnt med vindsperrerijsik. Til høyre vindu som er plassert noe inn i veggen

2.7 Inndata om solskjerming

For å unngå overoppheting, vil det i passivhus det ofte være nødvendig med en eller annen form for solskjerming. Utvendig solskjerming stopper solvarmen utenfor rommet og er derfor mer effektivt enn innvendig solskjerming hvor solvarmen transmitteres gjennom glasset før den treffer solskjermingen.

Utvendig solskjerming kan være utvendige persienner, markiser og utvendige duker som et visst lysgjennomslipp og utsynsmuligheten. Fast utvendig solskjerming vil ha begrenset effekt som solskjerming på våre breddegrader hvor sola ofte står lavt. Fast utvendig solskjerming tar også mye av dagslyset fra himmelen på overskyede dager.

Ved bruk av energiberegningsprogrammet TEK-sjekk Energi skal det for glassfelt oppgis solskjermingsfaktor (F_s) for solskjermingen:

$$F_s = g_t/g_g$$

hvor

F_s er mellom 0 % (full skjerming) og 100 % (ingen solskjerming)

g_t er total solfaktor for kombinasjon av glassfelt og skjerming

g_g er solfaktor for glassfelt alene uten solskjerming

Tabell 2.7-1 viser noen veiledende verdier for solskjermingsfaktoren F_s .

Tabell 2.7-1 Veiledende verdier for solskjermingsfaktoren F_s [SINTEF Byggforsk 472.212, 2011]

Solskjerming	Solskjermingsfaktor F_s
Utvendig lyse persienner, 80 mm lameller	12 %
Innvendig lyse persienner, 28 mm lameller	76 %
Utvendig screen system	11 %
Innvendig screen system	86 %

2.8 Inndata - varmekapasitet, termisk masse

Varmekapasiteten påvirker oppvarmingsbehovet og innetemperaturen. Stor varmekapasitet bidrar til å jevne ut temperaturen ved at varme lagres i perioder med stort varmeoverskudd, for så å bli avgitt i perioder med mindre varmetilskudd. Dette jevner ut svingningene i innetemperaturen og reduserer energibehovet.

2.8.1 Normalisert varmekapasitet

TEK-sjekk Energi krever opplysninger om bygningens normaliserte varmekapasitet. Normalisert varmekapasitet (c'') beregnes som:

$$c'' = \frac{\sum_i A_i \cdot c_{eff,i}}{BRA} \quad [\text{Wh}/(\text{m}^2\text{K})]$$

hvor:

A_i er areal av innvendig delflate i (m^2)

$c_{eff,i}$ er effektiv varmekapasitet (c_{eff}) for innvendig delflate i ($\text{Wh}/\text{m}^2\text{K}$)

BRA er bygningens oppvarmete bruksareal (m^2)

Effektiv varmekapasitet for hver innvendig delflate i beregnes ved:

$$c_{eff,i} = \rho_i \cdot d_i \cdot c_i$$

hvor:

ρ_i er densitet (kg/m^3)

d_i er effektiv dybde (m)

c_i er spesifikk varmekapasitet ($\text{Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)

Effektiv dybde, d , velges ut fra følgende kriterier [NS-EN ISO 13786, 2007]:

- dybde inn til isolasjonsmateriale i konstruksjonen
- maksimalt halve konstruksjonstykkelsen
- maksimalt 0,1 m inntrengning (24 timers returperiode)

2.8.2 Beregnet varmekapasitet for småhus (eneboliger)

Tabell 2.8-1 viser beregnet normalisert varmekapasitet for tre småhus for alternative utførelser. De tre småhusene er Nora som er i ett plan, Maud som er i to fulle etasjer, men med "utbygg" i første etasje, og Karita som er i to fulle etasjer.




Som standard-konstruksjon for de tre husene er det antatt:

- golv på grunnen med betong, parkettgolv med 2,5 mm tykt polyetylen parkettunderlag mellom parkett og betong ($c_{eff} = 21,0 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$)
- lette inner- og yttervegger med gips kledning ($c_{eff} = 3,25 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$)
- lett takkonstruksjon med gips innvendig kledning ($c_{eff} = 3,25 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$)
- middels møblering ($c_{eff} = 4 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$)
- Maud og Karita antas å ha lett etasjeskiller (bjelkelag) med 14 mm parkett på 22 mm spon på oversiden, og gipsplate på undersiden ($c_{eff} = 10,4 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$)

Varmekapasiteten til betonggolvet med parkett og parkettunderlag er beregnet etter avsnitt A.3 i NS-EN ISO 13786.

Med standard-konstruksjonen ligger normalisert varmekapasitet rundt $30 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ for alle de tre husene. Velges det lett plate på mark-løsning uten betong, men med to lag gipsplater på golvet, reduseres normalisert varmekapasitet til litt over $20 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$.

Tabell 2.8-1 Beregnet normalisert varmekapasitet ($Wh/(m^2K)$) for tre kataloghus fra Mesterhus

Beskrivelse	Nora	Maud	Karita
			
Oppvarmet bruksareal (BRA)	127 m ² BRA	157 m ² BRA	172 m ² BRA
Grunnflate	127 m ²	92 m ²	86 m ²
Normalisert varmekapasitet, C"	Wh/(m ² K)	Wh/(m ² K)	Wh/(m ² K)
Standard konstruksjon	32	32	28
Lett golv på grunnen konstruksjon uten betong, men med to lag gips		24	21
Lettklinker 1 Yttervegger av lettklinkerblokker	45		
Lettklinker 2: yttervegger av lettklinkerblokker i første etasje, lettklinker-plank som etasjeskiller med nedsenket himling			46
Betong 1 - Eksponert betong innvendig i alle yttervegger i første etasje			59
Betong 2 - som Betong 1, men i tillegg betong etasjeskiller, eksponert på undersiden og parkett m/ parkettunderlag på oversiden			95
Betong 3 - som Betong 2, men nedsenket himling under etasjeskilleren, ikke eksponert betong			72

2.8.3 Beregnet varmekapasitet for leiligheter

Normalisert varmekapasitet er også beregnet for to alternativer for en leilighet på 100 m² oppvarmet BRA (7 m x 14,3 m):

- Alt 1: eksponert betong i leilighetskillevegger og himling, lette inner- og yttervegger med gips kledding, parkett og parkettunderlag på gulv: $c'' = 126 Wh/(m^2K)$
- Alt 2: som alternativ 1, men med nedsenket himling og ikke eksponert betonghimpling: $c'' = 81 Wh/(m^2K)$

Betong har stor varmekapasitet og bidrar til å øke byggets normaliserte varmekapasitet. Men dette betinger at betongen er eksponert. Som eksempelet viser, reduseres varmekapasiteten i leiligheten med hele 45 Wh/(m²K) når betongen blir kledd inn av en nedsenket himling.

2.9 Inndata om varmtvann

I en passivhusberegning etter NS 3700 skal det brukes standardiserte verdier for varmtvann hentet fra NS 3031. Standardisert verdi er et effektbehov til oppvarming av varmtvann på 5,1 W/m² i driftstiden. Med en normert driftstid i boliger på 16 timer i døgnet, alle dager i året, tilsvarer dette et årlig energibehov til varmtvann på 29,8 kWh/m². Dette er en fast verdi, uavhengig størrelse på boenheten og antall beboere.

I virkeligheten vil energibehovet til oppvarming av varmt tappevann kunne variere mye fra en husholdning til en annen, avhengig av antall personer i husholdningen og deres brukervaner. I snitt anslås oppvarming av varmtvann å utgjøre et sted mellom 3 000 og 4 000 kWh per år for en gjennomsnittsbolig. Store energibesparelser kan oppnås ved å bruke varmt vann med mer omtanke og forsiktighet. Dusjen kan gjøres hurtigere unna, varmtvannskranen behøver ikke å stå helt åpen når man vasker hendene, og oppvasken må ikke skylles under rennende, varmt vann.

Vannbesparende sanitærløsninger og tappearmaturer bidrar til å redusere varmtvannsforbruket. Sparedusj er en velkjent løsning. Vannforbruket til en sparedusj ligger mellom 8 og 14 l/minutt, mot mellom 15 og 20 l/minutt for standard dusjhoder. En fire minutter lang dusj krever mellom 1,5 og 2 kWh med sparedusjhode, og typisk mellom 2 og 3 kWh med vanlig dusjhode. De beste sparedusjene gir tilnærmet samme dusjkomfort som standard dusjhoder. Men besparelsen er ikke nødvendigvis fullt så stor som det reduserte vannforbruket tilsier. De finere vannstrålene fra en sparedusj gjør at vannet avkjøles raskere, og dette gir behov for å heve vanntemperaturen noe for å opprettholde komforten. Den reduserte vannmengden gjør også at det kan ta noe lenger tid med en sparedusj å bli bløt og å skylle av seg såpe- og sjamporester.

Mye energi går med til å varme opp tappevann, og mye energi brukes til å holde vannet varmt i akkumulatortanken eller berederen. En 200 liters tank/bereder vil ha et varmetap på rundt 700 kWh per år til rommet den står i. For en 300 liters tank/bereder vil tapet ligge rundt 1000 kWh. Store deler av året vil dette være overskuddsvarme som ikke bidrar til nyttig romoppvarming, men heller øker risikoen for overtemperatur i boligen. Varmtvannstanker og -beredere må generelt kunne sies å være relativt dårlig isolert sammenlignet med isolasjonsnivået som ellers kreves i passivhus.

Kort rørføring mellom varmtvannsberederen og tappestedet gjør at det varme vannet kommer raskere fram til tappestedet, og mindre mengde varmt vann blir stående i rørløringen til neste gang tappestedet skal brukes.

Varmegjenvinning av grått avløpsvann kan godskrives som fornybar varme opp mot krav til energiforsyning i NS 3700. Varmegjenvinning av grått avløpsvann er lite utbredt. Det er utviklet varmevekslere som overfører varmen fra det varme avløpsvannet til det kalde inntaksvannet. Men varmt tappevann må varmes opp til over 60 °C for å unngå vekst av Legionella bakterien. Det kalde inntaksvannet holder normalt 6 til 10 °C og må derfor varmes opp mer enn 50 °C. Når vi dusjer, bader, vasker hendene osv., blandes det varme vannet fra berederen med kaldt vann til ønsket temperatur. Derfor vil vannet som sendes til avløpet ikke lenger være varmt, men heller lunkent. Avløpsvannet fra en dusj holder for eksempel rundt 30 °C. Med 50 prosent varmegjenvinning vil varmen fra dusjvannet bare kunne heve det kalde inntaksvannet til knappe 20 °C, og det vil fortsatt være et behov for å heve temperaturen ytterligere 40 til 45 °C i varmtvannsberederen.

2.10 Inndata om elektrisk utstyr og belysning

Passivhus vil ha lavere varmebehov og kortere fyringssesong. En mindre andel av "gratisvarmen" som avgis fra utstyr og belysning kan utnyttes til romoppvarming. Varmetilskuddet fra elektrisk utstyr og belysning vil i stedet kunne føre til større risiko for overtemperatur og redusert komfort. Derfor er det gode grunner til å velge så energieffektiv belysning og teknisk utstyr som mulig i passivhus.

EU er en drivkraft for effektivisering av belysningsutstyr og elektriske apparater. Utfasingen av glødelampene gjør at vi kun får kjøpt mer energieffektive lyspærer. Dette reduserer varmetilskuddet vesentlig fra belysning. Effektbehovet til en LED-pære er for eksempel bare 15 – 25 % av effektbehovet til glødepære med tilsvarende lysutbytte.

Også for hvite- og brunevarer har det funnet sted en rivende teknologiutvikling. Selv om TV-apparatene er blitt større, er de samtidig blitt langt mer effektive. Nye, store TV-apparater bruker bare halvparten så mye strøm som de gjorde for få år siden. Effektbehovet til en 32-tommers flatskjerm fra Panasonic er for eksempel redusert fra 140 W i 2006 til 42 W i 2012¹.

¹ 2006: Panasonic Viera TX-32LXD80 (LCD-skjerm), 2012: Panasonic VIERA TX-XXL32ET5YW (LED-skjerm)

Energimessig sett er det fortsatt mye å hente på å benytte energieffektiv belysning og energieffektivt elektrisk utstyr. Men opp mot kriteriene i NS 3700 gir ikke bruk av slik utstyr gevinst. Energibehovet skal beregnes med standardiserte betingelser gitt i NS 3031. Det eneste som kan godskrives, er 20 % reduksjon av varmetilskuddet fra belysning dersom det er installert styringssystem for dagslys eller styringssystem for belysning basert på tilstedeværelse.

For dokumentasjon av tilfredsstillende av energikrav i TEK10 er disse tiltakene fordelaktige da de bidrar til å redusere totalt, netto energibehov. Men NS 3700 stiller bare krav til netto oppvarmingsbehov, og ikke til totalt, netto energibehov. Dersom det i passivhusberegningen legges inn at det er installert styringssystem for belysning, vil dette gi redusert varmetilskudd fra belysning og gjøre det mer utfordrende å tilfredsstillende passivhuskravet til oppvarming.

2.11 Inndata energiforsyning – levert energibehov

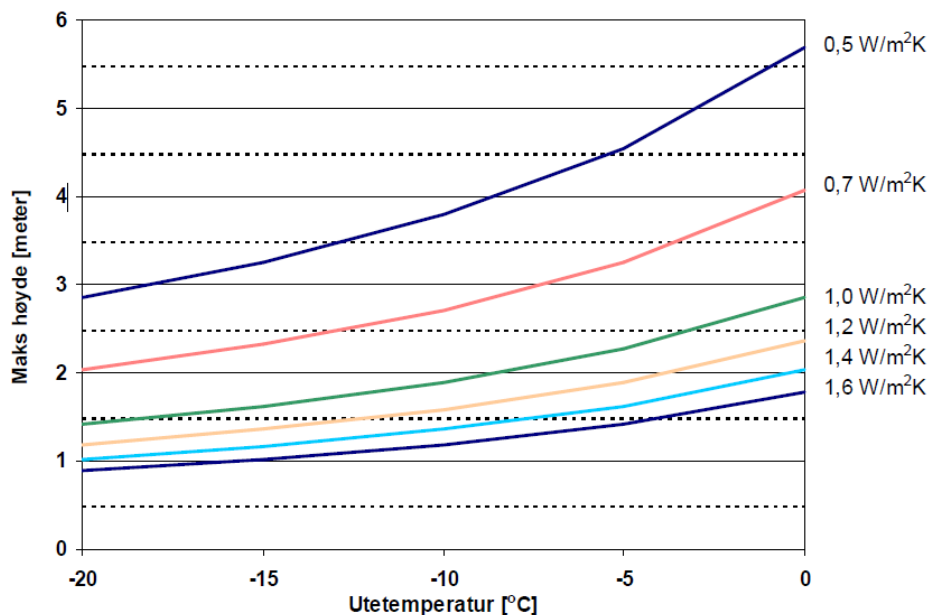
Energiforsyningskravet i NS 3700 angir at en varmemengde tilsvarende halvparten av varmtvannsbehovet skal dekkes med annet enn elektrisitet og fossile brensel. I passivhus vil energibehovet til oppvarming være om lag halvparten av energibehovet til varmtvann. Om oppvarming alene skal dekke hele dette energiforsyningskravet, må tilnærmet hele oppvarmingsbehovet dekkes med annet enn elektrisitet og fossile brensel. Dette virker ikke realistisk. I praksis ender vi derfor opp med en varmeløsning i passivhus som bidrar til oppvarming av varmtvann.

2.11.1 Oppvarmingsanlegg - plassering av varmekilder og heteflater - kaldrassikring

Selv om oppvarmingsbehovet er lavt, vil det også i passivhus være et oppvarmingsbehov når det er kaldt ute. Dette oppvarmingsbehovet bør søkes dekket på en så miljømessig fordelaktig og økonomisk forsvarlig måte som mulig.

Maksimal lufthastighet 0,15 m/s har blitt brukt som en grov ”tommelfingerregel” for hvor høy lufthastigheten kan være i oppholdssonen før det går utover den termiske komforten. Oppholdssonen begrenses horisontalt av golvet og et plan 1,8 m over golvet. Vertikalt begrenses oppholdssonen av loddrette plan parallelle med rommets vegger, i en avstand av 0,6 m fra disse.

Tradisjonelt har man plassert varmekildene under vinduene for å hindre kaldras og trekk. Med moderne vinduer som isolerer godt, er ikke kaldrassikring like viktig. Figur 2.11-1 viser beregnet maksimal høyde på glasset før lufthastighet fra kaldraset overskrider 0,15 m/s, målt 0,6 meter ut i rommet fra vinduet. Ved -20 °C kan et vindu med U-verdi 0,7 W/(m²K) være 2,0 meter høyt før det inntreffer en kaldraseffekt. Ved -10 °C kan vinduet være mer enn 2,5 meter høyt før samme kaldraseffekt inntreffer. Med godt isolerende 3-lags vinduer vil det i praksis ikke være behov for kaldrassikring under vinduene.



Figur 2.11-1 Beregnet maksimal høyde på vindu som funksjon av utetemperatur og U-verdi, før lufthastighet fra kaldraset overskrider 0,15 m/s, målt 0,6 meter ut i rommet fra vinduet

De høyisolerte konstruksjonene i passivhus gjør også at andre overflater vil være varmere enn i hus bygget med lavere energistandard. Den gode vindtetting i passivhus eliminerer også kald trekk på grunn av luftlekkasjer. I sum gjør dette at vi står mye friere i å plassere varmekildene i et passivhus. Forenklete oppvarmingsløsninger med lavere investeringskostnader er derfor velegnet.

Nattesenking av temperaturen er mindre viktig i passivhus enn i andre boliger. Det lave varmetapet og "termoseffekten" gjør at passivhusene holder bedre på varmen og bruker lenger tid på å kjøle seg ned når varmelegget skrus av. Mens temperaturen synker raskt i trekkfulle, gamle hus når varmelegget skrus av, vil det ta lang tid i passivhusene. Dersom varmelegget slås av i åtte timer når det er $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, vil temperaturfallet være $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ i et TEK10-hus, mot bare $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ i et passivhus. Har passivhuset i tillegg stor varmekapasitet, kan man faktisk oppleve at innertemperaturen knapt faller i løpet av natta om varmen slås av.

Radiatorer/fan-coil

I flere passivhusprosjekter er det valgt forenklet vannbåren varme med vannbåren gulvvarme på badet og én sentralt plassert radiator eller vifte-konvektor. I et OBOS-prosjekt på Rudshagen i Oslo ble en slik løsning valgt for 17 passivhus-eneboliger. Boligene er i to etasjer og har et oppvarmet bruksareal på 118 m^2 . Boligene ble levert med luft til vann varmpumpe, og romoppvarmingen skjer ved gulvvarme i de to badene i 1. og 2. etasje, samt i inngangspartiet i 1. etasje. I tillegg er det plassert en viftekonvektor sentralt i 1. etasje. Det er en ganske åpen planløsning, så varmen fra konvektoren spres godt. Noe av varmen vil også naturlig spre seg via trappen opp til 2. etasje. Varmebehov utover det viftekonvektoren avgir, blir på de kaldeste dagene dekket med elektrisk oppvarming.

Lavtemperatur takvarme

Lavtemperatur takvarme er et interessant alternativ i passivhus. Det lave varmebehovet i passivhus gjør at takflaten ikke må holde samme høye temperatur som i dårligere isolerte hus. Gamle myter om man med takvarme blir varm i hodet og kald på beina, gjelder derfor ikke. Lavtemperatur takvarme gir hovedsakelig strålingsvarme. Denne strålingen treffer golvet og varmer opp dette, og gir dermed en indirekte "gulvoppvarmingseffekt". SINTEF Byggforsk har beregnet at med lave varmebehov, gir takvarme tilnærmet samme termisk komfort som gulvvarme, med ganske lik temperaturgradient i oppholdssonen [Krog og Gundersen, 2006].

Lavtemperatur takvarme er byggeteknisk mindre utfordrende enn gulvvarme. Det stilles ikke de samme krav til styrke og stivhet, og det kan benyttes en lett konstruksjon med tynne himlingsplater som gir god rask oppvarmingstid/responstid for varmeanlegget og høy energieffektivitet. Takvarmesystemer kan også tenkes brukt til frikjøling med kaldt vann. Denne type kjøling er veldig effektiv; mer effektiv enn gulvkjøling. Dette kan være viktig i bygninger med risiko for overtemperatur. Takvarme kan være prefabrikkert eller bygningsintegrert. Begge løsninger byr på spennende utviklingsmuligheter for byggevareprodusenter.

2.11.2 Energiforsyning

Tabell 2.11-1 antyder hvilken varmforsyning som kan være egnet i passivhus.

Tabell 2.11-1 Egnede varmforsyning i passivhus [Lavenergiprogrammet, 2012]

	Varmtvann	Romoppvarming	Varmtvann og romoppvarming
Solfanger	X		(X)
Biobrensel		X	X
Varmepumpe luft-luft		X	
Varmepumpe luft-vann			X
Varmepumpe vann-vann			X
Fjernvarme			XX
Varmepumpe og solfanger			X(X)
Solfanger og biobrensel			XX

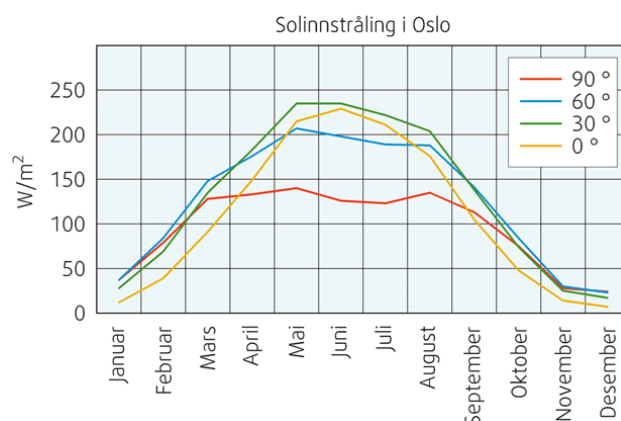
Solfangere

Solfanger er godt egnet til å dekke tappevann, men kan også bidra til dekning av deler av romoppvarmingsbehovet (eksempelvis vannbåren gulvvarme på bad). Solfangere kan dekke 40 – 70 % av varmebehovet til tappevann, avhengig solfangertype og solfangerareal. I en normal bolig vil et solfangerareal på 3-10 m² være for tappevannsvarming. Kombisystemer som også skal bidra til å dekke romoppvarming må være større.

Figur 2.11-2 viser eksempel på fasadeintegrert, vertikal solfanger. Figur 2.11-3 viser gjennomsnittlig solinnstråling (W/m²) per døgn på sørvendt flate med ulik vinkling i forhold til horisontalplanet. Sommerstid (april-september) gir vertikal vinkling minst solinnstråling. Men de øvrige månedene ligger innstrålingen for vertikal vinkling omtrent likt med de andre vinklingene.



Figur 2.11-2 Plane solfangere integrert i vegg. Foto: Aventa AS



Figur 2.11-3 Solinnstråling i Oslo. Gjennomsnittlig solinnstråling (W/m²) per døgn på sørvendt flate med ulik vinkling i forhold til horisontalplanet (0°) [SINTEF Byggforsk 552.455, 2011]

Varmepumper

Det fins flere typer varmpumper. De mest aktuelle varmpumpeløsningene i passivhus er varmpumper som utnytter varmen i utelufta (luft/vann- og luft/luft-varmpumper) og

varmepumper som utnytter gjenværende varme i avkastluften etter at tilluften er oppvarmet. På grunn av høye investeringskostnader er det mindre aktuelt med varmepumper som henter varme fra grunnen (borehull eller jordvarme).

Luft/luft-varmepumper vil kun dekke romoppvarming. Siden oppvarmingsbehovet er så beskjedent i passivhus, vil luft/luft-varmepumper ikke være tilstrekkelig til å dekke hele energiforsyningskravet i NS 3700. Luft/luft-varmepumper kan likevel være et supplement til f.eks. et solfangeranlegg som ikke gir tilstrekkelig varmebidrag.

Luft/vann-varmepumper er en mer egnet løsning for å dekke energiforsyningskravet. Varmepumpen produserer varmtvann, og med et forenklet varmeanlegg i huset (radiator eller viftekonvektor), vil varmepumpen også kunne dekke en vesentlig del av oppvarmingsbehovet.

Vedovner

Vedovner passer i utgangspunktet dårlig i passivhus, da de avgir for mye varme i forhold til varmebehovet. Det utvikles nå ovner med lavere effektavgivelse, og slike ovner vil være nyttig varmebidrag i passivhus, spesielt i de kaldeste periodene. Men varmen fra vedovnen vil ikke fordele seg så jevnt i huset, og det vil kunne oppstå en overtemperatur i rommet der ovnen er plassert.

Mange ønsker likevel en peisovn i huset for ”kosens” skyld. Vedovnen fungerer også som en viktig sikring dersom strømforsyningen skulle falle ut i lengre tid. Fordelen med vedovner er at de er basert på velprøvd teknologi og at mange har et positivt forhold til denne fyringsformen.

Pelletsovner

Biopellets-kamin er en mer egnet varmekilde i passivhus, da de reguleres ned til en effekt på under 2 kW. Pellets-kaminene kan også leveres med termostatstyring, slik at de slår seg av og på etter varmebehovet.

Pelletsovner har vanligvis automatisk mating fra et lager, termostatregulering og mulighet for automatisk opptenning. Pellets-kaminene gir bedre temperaturstyringsmulighet og dermed høyere energieffektivitet enn vedovner. Pelletsovner krever noe vedlikehold i form av asketømming og sotfjerning i opptenningskammeret. Ved normal bruk holder det med ukentlig vedlikehold.

Elektrisk oppvarming

Direkte elektrisk oppvarming, spesielt i form av elektriske varmeovner, er vanlig i norske boliger. Lave installasjonskostnader, minimalt vedlikeholdsbehov og billig elektrisk kraft gjorde elektrisk oppvarming til den klart gunstigste oppvarmingsformen. I passivhus vil elektrisk oppvarming være et supplement til annen energiforsyning basert på fornybare energikilder.

Kapittel 3 Eksempel på beregning av energibehov i passivhus etter NS 3700

Dette kapitlet viser beregning av energibehovet til et småhus i passivhusutførelse etter NS 3700. Energibehovet beregnes ved hjelp av programmet TEK-sjekk Energi. En brukerveiledning for programmet er gitt i SINTEF Byggforsk anvisning 472.212.

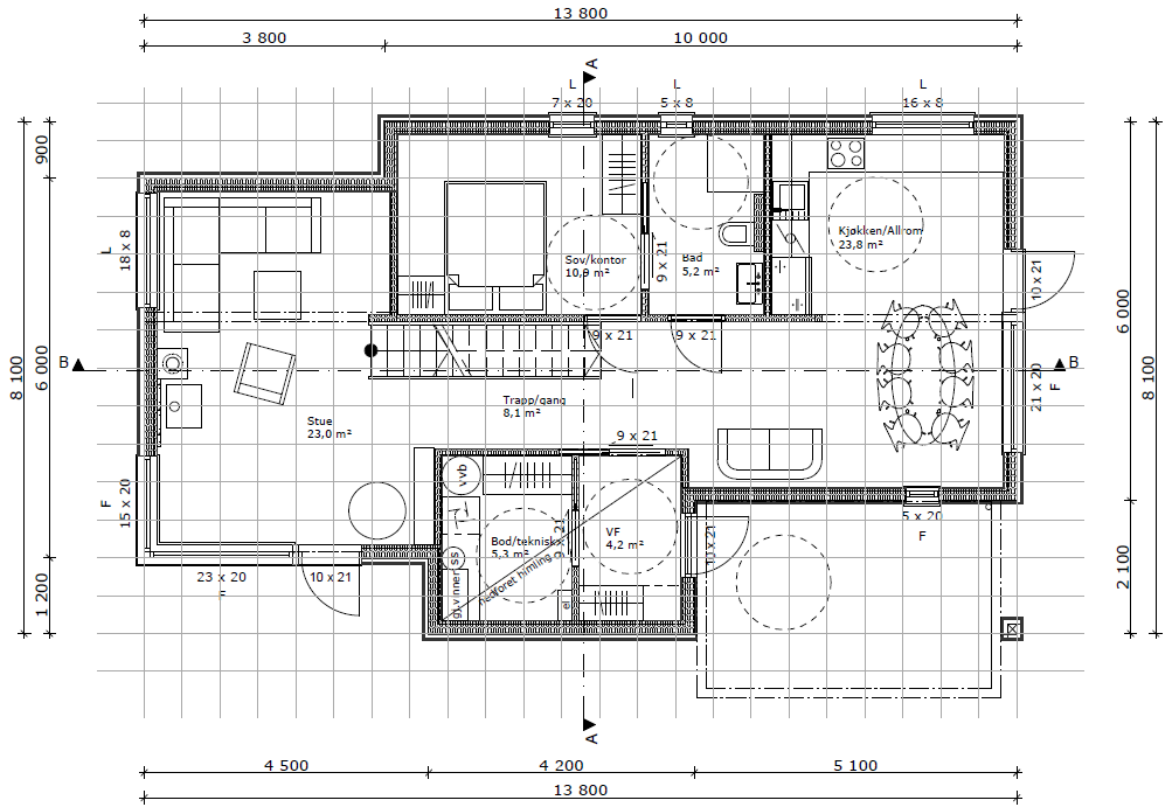
3.1 Presentasjon av Demohuset

Demohuset brukes som eksempel på beregning av energibehovet etter NS 3700. Demohuset er det virtuelle demonstrasjonshuset til Boligprodusentenes Forening. Demohuset er prosjektert i åpen BIM, og IFC-filer for fagområdene ARK, RIB, RIE, RIV Ventilasjon, RIV Sanitær og RIV Varme kan lastes fra nettsiden www.demohuset.no. Demohuset er i to fulle etasjer og basert på hustypen Asplund fra Norgeshus. Boligen har et totalt oppvarmet bruksareal på 166,6 m², fordelt på 83,3 m² i hver etasje.

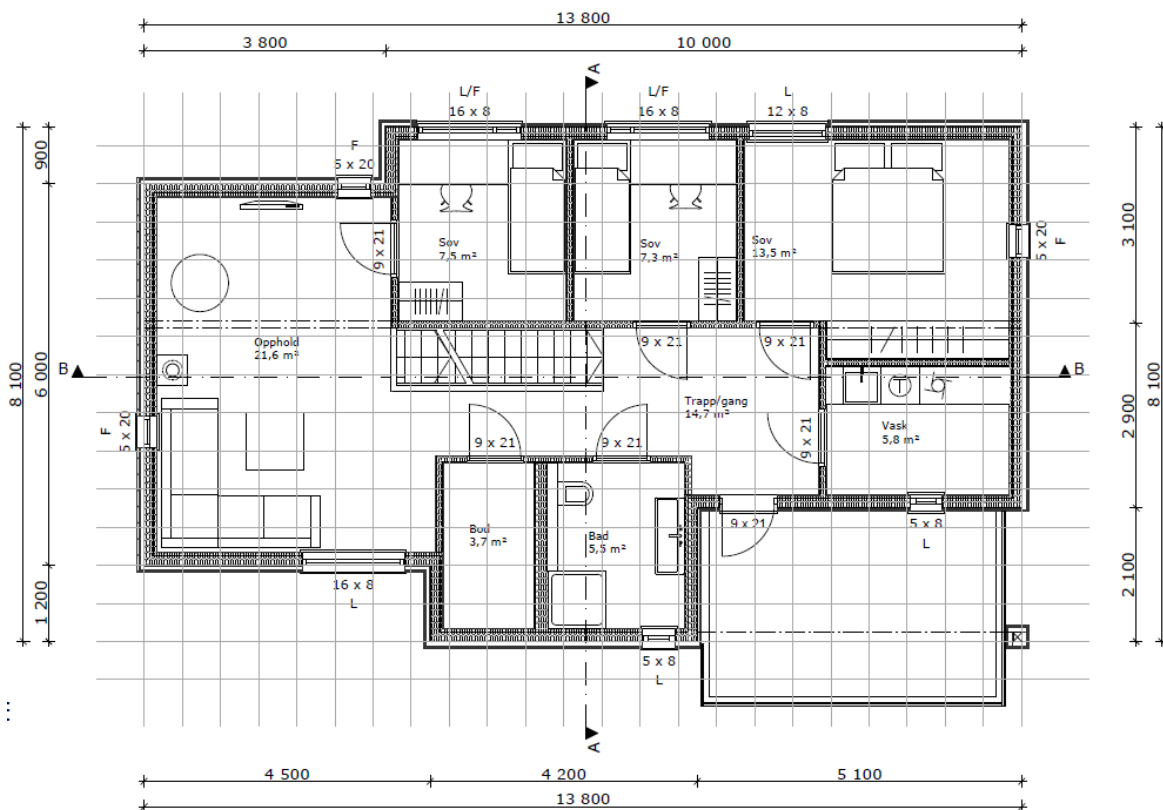


Figur 3.1-1 Demohuset – Boligprodusentenes eksempelbolig

Boligen er i utgangspunktet prosjektert i en vanlig TEK10-versjon. I det følgende antas Demohuset prosjektert og utført slik at huset tilfredsstillers krav til passivhus etter NS 3700.



Figur 3.1-2 Demohuset – Plan første etasje (NB! Plantegningen viser yttervegger med standard TEK10-tykkelse, ikke passivhusutførelse)



Figur 3.1-3 Demohuset – Plan andre etasje. (NB! Plantegningen viser yttervegger med standard TEK10-tykkelse, ikke passivhusutførelse)

3.1.1 Areal av vegger, tak, golv og vinduer/dører

Figur 3.1-4 viser hvordan klimaskjermen til Demohuset deles opp for energiberegningen. Arealet av dekkeforkantene skilles ut som egne arealer. Alle vinduer og dører angis som separate objekter.



Figur 3.1-4 Demohuset - Inndeling av klimaskjermen for en energiberegning. Etasjeskillere er skilt ut som egne bygningsdeler

Tabell 3.1-1 viser arealene av veggfeltene, vinduer og dører. Samlet dør- og vindusareal er 33,47 m², eller 20,1 % av oppvarmet BRA (166,6 m²). Dette er dermed på nivå med dør- og vindusandelen som ligger til grunn for krav i NS 3700 (20 %).

Tabell 3.1-1 Demohuset - Inndeling av fasadene for energiberegning

Bygningsdel	Konstruksjon	Orientering	Areal [m ²]	Vindu/dør				Netto veggareal [m ²]
				Type	Bredde [mm]	Høyde [mm]	Areal [m ²]	
Vegg N1-1	Yttervegg mot friluft	N (0°)	23					19,98
				16 x 8 L	1590	790	1,26	
				5 x 8 L	490	790	0,39	
				7 x 20 L	690	1990	1,37	
Vegg N1-ES	Yttervegg mot friluft	N (0°)	3,55					3,55
Vegg N1-2	Yttervegg mot friluft	N (0°)	23					19,55
				12 x 8 L	1190	790	0,94	
				16 x 8 L/F	1590	790	1,26	
				16 x 8 L/F	1590	790	1,26	
Vegg N2-1	Yttervegg mot friluft	N (0°)	9,12					9,12
Vegg N2-ES	Yttervegg mot friluft	N (0°)	1,41					1,41
Vegg N2-2	Yttervegg mot friluft	N (0°)	9,12					8,14
				5 x 20 F	490	1990	0,98	
Sum nordfasade			69,2				7,44	61,76
Vegg Ø1-1	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	5,04					2,98
				10 x 21 YD	988	2088	2,06	
Vegg Ø1-ES	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	0,78					0,78
Vegg Ø1-2	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	5,04					5,04
Vegg Ø2-1	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	13,4					7,18
				21 x 20 F	2090	1990	4,16	
				10 x 21 GD	988	2088	2,06	
Vegg Ø2-ES	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	2,07					2,07
Vegg Ø2-2	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	13,4					12,42
				5 x 20 F	490	1990	0,98	
Sum østfasade			39,73				9,26	30,47
Vegg S1-1	Yttervegg mot friluft	S (180°)	10,8					4,25
				23 x 20 F	2253	1990	4,48	
				10 x 21 GD	988	2088	2,06	
Vegg S1-ES	Yttervegg mot friluft	S (180°)	1,67					1,67
Vegg S1-2	Yttervegg mot friluft	S (180°)	10,8					9,54
				16 x 8 L/F	1590	790	1,26	
Vegg S2-1	Yttervegg mot friluft	S (180°)	9,08					9,08
Vegg S2-ES	Yttervegg mot friluft	S (180°)	1,4					1,40
Vegg S2-2	Yttervegg mot friluft	S (180°)	9,08					8,69
				5 x 8 L	490	790	0,39	
Vegg S3-1	Yttervegg mot friluft	S (180°)	12,24					11,26
				5 x 20 F	490	1990	0,98	
Vegg S3-ES	Yttervegg mot friluft	S (180°)	1,89					1,89
Vegg S3-2	Yttervegg mot friluft	S (180°)	12,24					9,99
				9 x 21 GD	890	2090	1,86	
				5 x 8 L	490	790	0,39	
Sum sørfasade			69,2				11,41	57,79
Vegg V1-1	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,16					2,16
Vegg V1-ES	Yttervegg mot friluft	V (270°)	0,33					0,33
Vegg V1-2	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,16					2,16
Vegg V2-1	Yttervegg mot friluft	V (270°)	13,4					9,02
				18 x 8 L	1790	790	1,41	
				15 x 20 F	1490	1990	2,97	
Vegg V2-ES	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,07					2,07
Vegg V2-2	Yttervegg mot friluft	V (270°)	13,4					12,42
				5 x 20 F	490	1990	0,98	
Vegg V3-1	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,88					2,88
Vegg V3-ES	Yttervegg mot friluft	V (270°)	0,44					0,44
Vegg V3-2	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,88					2,88
Sum vestfasade			39,72				5,35	34,37
Sum fasader			217,85				33,47	184,38

3.2 Inndata TEK-sjekk: "1. GENERELT"

Figur 3.2-1 viser inndata for "1. GENERELT". Her legges basisopplysninger inn om bygget, hvilket klima som skal benyttes, hva slags beregning som skal utføres og hva beregningen omfatter. Inndata om vindeksponering har kun betydning for styring av manuell og automatisk utvendig solskjerming. Det antas at solskjermingen trekkes opp når vindhastighet overstiger 10 m/s. Dette for å hindre at solskjermingen blir skadet i sterk vind. Inndata i TEK-sjekk om vindeksponering har for øvrig ingen betydning for den normerte kontrollberegningen. I kontrollberegningen mot offentlige krav benyttes standardverdier for terrengskjermingskoeffisientene e og f gitt i NS 3031.

1. GENERELT	Beskrivelse av bygning / adresse: Demohuset	Byggeår: 2013	Lokalt klima: Oslo
	Kunde / byggherre / referanse: Ole Olsen		Vindeksponering: Landlig Lave trær / boligstrøk / jordbruk
	Beregningen utført av firma: Boligprodusentenes Forening		Type kontrollberegning: NS 3700: Passivhuskriterier, bolig
	Beregningen utført av person: Lars Myhre		Beregningen omfatter: Hele bygningen

Figur 3.2-1 Inndata for Demohuset i TEK-sjekk Energi: "1. GENERELT"

3.3 Inndata TEK-sjekk: "2. BYGNINGEN"

Figur 3.3-1 viser bygningsdata for Demohuset.

2. BYGNINGEN	Bygningskategori: Småhus: Enebolig	Antall boenheter i bygget: 1	Dokumentasjon / kommentar
Dimensjoner	Oppvarmet del av bruksareal, BRA	166,6 m ²	(BRA for bygningskomplekset er 166,6 m ²)
	Oppvarmet luftvolum	400 m ³	
	Eksponert omkrets	42 m	
Bygningskropp	Normalisert kuldebroverdi, ψ^*	0,027 W/(m ² K)	
	Lekkasjetall (lekkasjetest), n_{50}	0,6	Luftvekslinger per time ved 50 Pa (h ⁻¹) (tilsvarer ca. 0,1 (m ³ /h)/m ²) (tidskonstant ca. 62 timer)
	Bygnings varmekapasitet	30 Wh/(m ² K)	(=0,6 omsetninger/time; 250 m ³ /h)
Ventilasjon	Ventilasjon, luftmengde (normal)	1,5 (m ³ /h)/m ²	Flexit AS: Prosjektert luftmengde (normal drift)
	Ventilasjon, luftmengde (natt/helg)	-	
	Virkningsgrad, varmegjenvinning	87 %	Opgitt virkningsgrad gjelder for: selve varmeveksleren
	Varmegjenvinner frostsikring	-10 °C	Flexit AS: Prosjektert temp virkningsgrad (NS-EN 308)
Klimatisering	Spesifikk vifteeffekt (normal)	1,3 kW/(m ² /s)	NS 3031:2007 +A1:2011, tabell H.1
	Styring av tilufttemperatur	V:19°C, S:17°C	Flexit AS: Prosjektert SFP-faktor
	Type kjøling (mekanisk eller lufting)	Vinduslufting	
	Nattsenkning (utenom brukstid)	Ja	Arealandel dører og åpningsbare vinduer
		Arealandel vinduer som kan åpnes: 41 %	

Figur 3.3-1 Inndata for Demohuset i TEK-sjekk Energi: "2. BYGNINGEN"

3.3.1 Dimensjoner

Oppvarmet bruksareal er 166,6 m². Innvendig romhøyde er 2,4 m i begge etasjer, og innvendig luftvolum 400 m³. Eksponert omkrets er 42 m

3.3.2 Bygningskropp (kuldebroer, lekkasjetall og varmekapasitet)

Normalisert kuldebroverdi

Tabell 3.3-1 viser at beregnet, normalisert kuldebro for Demohuset er 0,027 W/K per m² BRA og dermed tilfredsstiller passivhuskravet 0,03 W/K per m² BRA.

Tabell 3.3-1 Beregnet, normalisert kuldebroverdi for Demohuset i passivutførelse (166,6 m² BRA). Verandadører/glassdører er oppført under vinduer

	Antall	Lengde		Kuldebro verdi	Kuldebro tap	Referanser:
Første etasje	stk	m	lm	W/(mK)	W/K	
Yttervegg						
Tilslutning vegg-golv			42,1	0,050	2,11	Beregnet kuldebroverdi for ringmur av 35 cm ISO-blokk med 50 mm innvendig EPS-plate, og yttervegg av 30 cm Iso3-stender med 48 mm innvendig påføring.
Utadgående vegghjørner	7	2,59	18,1	0,03	0,54	SINTEF Byggforsk anvisning 471.017, pkt 72
Innadværende vegghjørner	3	2,59	7,8	-0,06	-0,47	SINTEF Byggforsk anvisning 471.017, pkt 72
Tilslutning vinduer-vegg			59,2	0,02	1,18	Beregning fra SINTEF Byggforsk
Tilslutning dører-vegg			6,2	0,02	0,12	Beregning fra SINTEF Byggforsk
Etasjeskiller mellom underetasje og første etasje			42,1	0	0,00	SINTEF Byggforsk anvisning 471.017, pkt 72
Andre etasje						
Utadgående vegghjørner	7	2,59	18,1	0,03	0,54	SINTEF Byggforsk anvisning 471.017, pkt 72
Innadværende vegghjørner	3	2,59	7,8	-0,06	-0,47	SINTEF Byggforsk anvisning 471.017, pkt 72
Tilslutning vinduer-vegg			44,6	0,02	0,89	Beregninger fra SINTEF Byggforsk
Tilslutning dører-vegg					0,00	
Vegg-tak			42,1	0,00	0,00	Tilleggsvarmetap tatt med ved beregning av U-verdi for tak
Sum					4,46	
Normalisert kuldebroverdi [W/K per m ² BRA]					0,027	

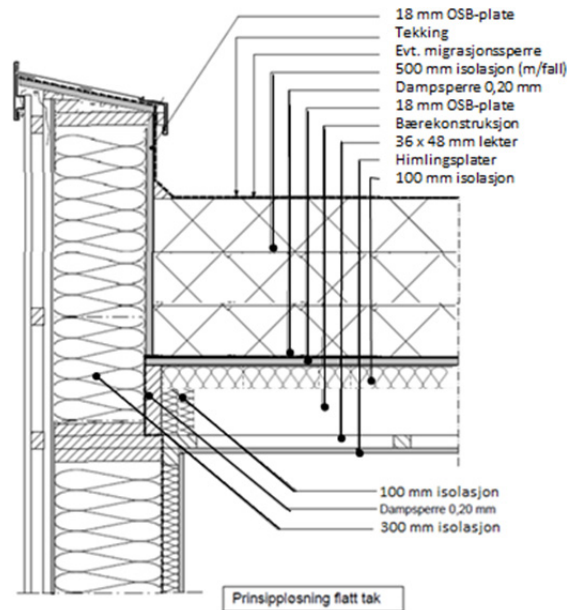
Følgende antakelser ligger til grunn for beregnet, normalisert kuldebroverdi:

For tilslutningen mellom yttervegg og golv er kuldebroverdien beregnet til 0,050 W/(mK). Det er da forutsatt en ringmur av 350 mm isoblokk med 50 mm innvendig isolasjon (EPS), og yttervegg med 300 mm Iso3-stender med 48 mm innlekting, mineralull klasse 0,033 W/(mK). Hensikten med den innvendige isolasjonen av ringmuren er primært å redusere varmeoverføringen mellom betongplata og den innvendige vangen i lettklinkerblokken. Dette kunne være løst med en mindre isolasjonsremse mellom betongplate og ringmur, men utførelsesmessig blir arbeidet lettere med en hel isolasjonsplate inn mot ringmuren. Radonmembran vil da enklere kunne legges inn mot isolasjonsplata og trekkes over murkronen.

For vinduer og dører antas det at disse trekkes noe innenfor veggens vindsperresjikt. Kuldebroen for tilslutningen mellom yttervegg og vindu/dør er antatt lik 0,02 W/(mK).

Kuldebroen for tilslutningen mellom yttervegg og kompakttak er en utfordring. Demohuset er prosjektert med kompakt tak med underliggende bæring av tresperrer 48 x 300 mm (f.eks. K-bjelke). På undersiden av sperrene er det montert gipsplater. Konstruksjonen er bygget opp som vist i figuren til høyre.

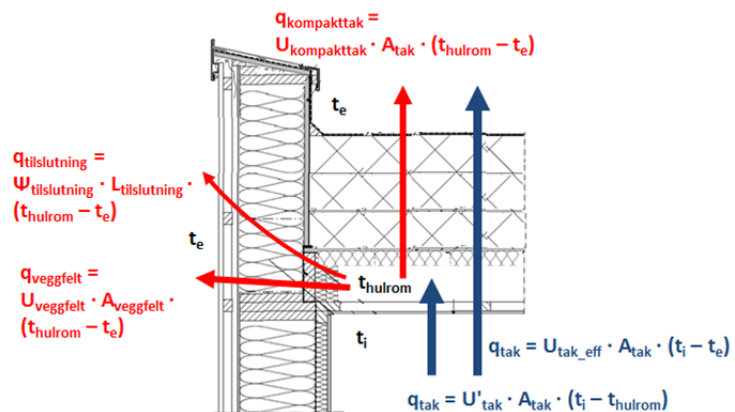
På oversiden av sperrene er det montert plater av 18 mm konstruksjonsfinér (OBS), med glidesjikt, dampsperre og 500 mm trykksterkt mineralull, klasse 36. På undersiden av OSB-platene, mellom sperrene, er det videre montert 100 mm mineralull klasse 33. Til sammen er det 600 mm isolasjon i taket, og U-verdien blir 0,06 W/(m²K).



Figur 3.3-2 Detalj overgang mellom yttervegg og kompakttak

I energiberegningen er det antatt at arealet av ytterveggene går opp til underkant av gipsplatehimlingen, og at luftvolumet også går opp til underkant av denne himlingen. Mellom sperrene er det et hulrom for føring av ventilasjonskanaler m.m. Dette hulrommet kan betraktes som et uoppvarmet rom.

Det kan settes opp en varmebalanse for hulrommet. Varmetilførselen fra den underliggende etasjen opp til hulrommet er lik varmetapet fra hulrommet til det fri gjennom det kompakte taket (antatt U-verdi 0,06 W/(m²K)), gjennom veggfeltet i hulrommet (antatt U-verdi 0,11 W/(m²K)), og gjennom den geometriske kuldebroen vi har i tilslutning mellom kompakttaket og veggfeltet i hulrommet (antatt kuldebroverdi 0,03 W/(mK)).



Figur 3.3-3 Varmebalanse for takkonstruksjonen

To ligninger settes opp:

$$(1) \quad U'_{tak} \cdot A_{tak} \cdot (t_i - t_{hulrom}) = U_{veggfelt} \cdot A_{veggfelt} \cdot (t_{hulrom} - t_e) + \Psi_{tilslutning} \cdot L_{tilslutning} \cdot (t_{hulrom} - t_e) + U_{kompakttak} \cdot A_{tak} \cdot (t_{hulrom} - t_e)$$

$$(2) \quad U'_{tak_eff} \cdot A_{tak} \cdot (t_i - t_e) = U_{veggfelt} \cdot A_{veggfelt} \cdot (t_{hulrom} - t_e) + \Psi_{tilslutning} \cdot L_{tilslutning} \cdot (t_{hulrom} - t_e) + U_{kompakttak} \cdot A_{tak} \cdot (t_{hulrom} - t_e)$$

Temperaturen i hulrommet (t_{hulrom}) vil ligge et sted mellom innetemperaturen (t_i) og utetemperaturen (t_e). Temperaturen i hulrommet kan løses ut ved å sette innetemperaturen lik 1 og utetemperaturen lik 0. Effektiv U-verdi for takkonstruksjonen kan da bestemmes til $U_{tak_eff} = 0,088$ W/(m²K). Denne verdien er brukt som U-verdi for takkonstruksjonen i beregningene.

En slik beregning av effektiv U-verdi for varmetapet gjennom gipsplatehimlingen gjør at kuldebrovirkningen av overgangen mellom yttervegg og tak ikke framkommer som en kuldebroverdi, men bakes inn i U-verdien for den flate takkonstruksjonen. Det kan argumenteres at dette er å undergrave kuldebrokravet i NS 3700. Samtidig vil det for slike takkonstruksjoner med fast, nedforet gipsplatehimling være mest naturlig å regne areal av yttervegger og luftvolum opp til underkant gipsplate, og ikke opp til underkant OSB-plate over taksperrene. Uansett beregningsmåte må det sikres at det samlede varmetapet blir det samme, uavhengig om varmetapet betraktes som en kuldebro eller en økning i U-verdien.

Lekkasjetall

Det forutsettes lekkasjetall 0,6 luftvekslinger per time, som også er minstekravet til passivhus etter NS 3700. Standarden krever måling av lekkasjetallet ved ferdigstillelse av bygget. Et så lavt lekkasjetall forutsetter godt prosjekterte tettedetaljer og god kvalitetssikring underveis i byggeprosessen. Det anbefales kontrollmålinger underveis i byggeprosessen, før bygget er helt ferdigstilt.

Varmekapasitet

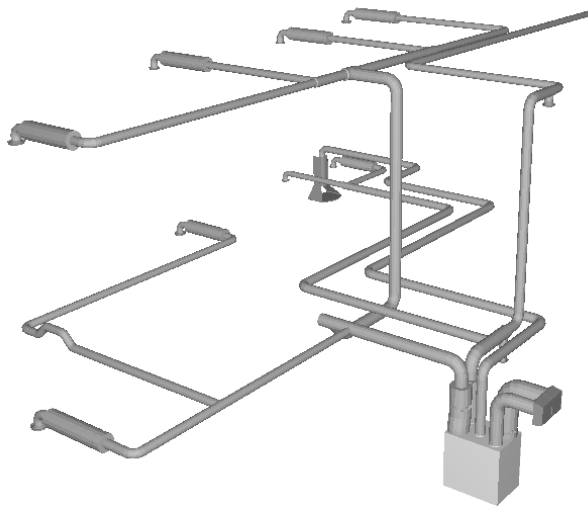
Varmekapasiteten er satt lik 30 Wh/(m²K). Det er da forutsatt parkett med parkettunderlag på betonggolvet, gipsplater på vegger og i himling.

3.3.3 Ventilasjon (luftmengder, SFP og temperaturvirkningsgrad)

Flexit AS har prosjektert ventilasjonsanlegget i Demohuset. Det er valgt et aggregat av typen UNI 3 med roterende varmegjenvinner. Prosjekterte luftmengder ved normal drift er 256 m³/h for tilluft og 257 m³/h for avtrekk. Med oppvarmet bruksareal 166,6 m² tilsvarer dette 1,5 m³/(h·m²) eller 0,63 luftvekslinger per time med romhøyde 2,4 m.

NS 3031:2007 angir at reelle luftmengder skal brukes i energiberegningene, forutsatt at disse ikke er lavere enn minsteluftmengden 1,2 m³/(h·m²) som er gitt i standardens tabell A.6. Dette er også minsteluftmengde etter TEK10 § 13-2.

Prosjektert ventilasjonsmengde i Demohuset er dermed 25 % høyere enn minstekravet i NS 3031 og det som ligger til grunn for kravnivået i NS 3700 (ref tabell 1.2-2).



Figur 3.3-4 Prosjektert ventilasjonsanlegg i Demohuset.

Effektbehovet er 47 W for tilluftsvifta og 45 W for avtrekksvifta. SFP-faktoren blir med dette 1,3 kW/(m³/s). Temperaturvirkningsgraden er 87 % for varmeveksleren i aggregatet målt etter NS-EN 308. Den høye varmegjenvinningen kompenserer for varmetapet som følger av de høyere ventilasjonsluftmengdene. Det antas frostsikringstemperatur -10°C som tilsvarer verdi gitt i tabell H.1 i NS 3031.

3.3.4 Klimatisering (styring av tilluftstemperatur, kjøling og nattesenkning)

Det antas at ventilasjonen styres med 19°C om vinteren og 17 °C om sommeren. Det antas vinduslufting, og at 41 % av vindusarealet i Demohuset kan åpnes.

3.4 Inndata TEK-sjekk: "3. KONSTRUKSJONSTYPER"

Figur 3.4-1 viser inndata for konstruksjonstypene som er valgt.

- For ytterveggene antas en 350 mm yttervegg utført med 300 mm Iso3-stender og 48 mm innvendig utføring. Det antas mineralull med varmeledningsevne 0,033 W/(mK) og duk som vindsperre. U-verdien til denne konstruksjon er 0,106 W/(m²K) med normal treandel $L'' = 3,5 \text{ m/m}^2$.
- For golv på grunnen antas det 350 mm isolasjon med varmeledningsevne $\lambda = 0,031 \text{ W/(mK)}$. Denne golvkonstruksjonen har U-verdi 0,086 W/(m²K) eksklusive varmemotstanden i grunnen (ref. tabell 2.4-1).
- For takkonstruksjonen antas det et kompakt tak med bæring av OSB-plater på 300 mm tresperrer, 500 mm overliggende isolasjon og nedforet himling på undersiden av sperrene. Det er lagt 100 mm isolasjon på undersiden av OSB-platene, mellom sperrene. Ekvivalent U-verdi for denne konstruksjonen blir 0,088 W/(m²K) som vist i beregningen av kuldebroer i avsnitt 3.3.2.

3: KONSTRUKSJONSTYPER						
Type	Beskrivelse	U-verdi W/(m ² K)	Ekstra motstand +ΔR _s (m ² K)/W	Type kledning (hulrom, farge)	Dokumentasjon / kommentar	
Yttervegg mot friluft	Iso3, 300+48x48 mm påføring, isol. kl 33, vindsperreduk	0,106	-	Uventilert, lys	Glava.no (15-16% treandel)	
Golv på grunnen	Betongdekke, 350 mm Super EPS80 - 31	0,086	(+jord)	-	Beregnet verdi: 1/(0,35/0,031+0,40)	
Flatt tak mot friluft	Kompakt tak (på OSB-plater og tresperrer), 500 mm isol kl 36	0,088	-	Uventilert, mørk	Spesialberegnet verdi for Demohuset, inkl effekt av h	

Figur 3.4-1 Inndata for Demohuset i TEK-sjekk Energi: "3. KONSTRUKSJONSTYPER"

3.5 Inndata TEK-sjekk: "4. TYPER VINDUER/DØR "

Figur 3.5-1 viser inndata for vinduer og dører. Det er lagt inn to vindustyper og to dørtyper. Den ene vindustypen (Type 2) antas å ha manuell utvendig solskjerming med solskjermingsfaktor 11 %.

4: TYPER VINDU / DØR							
Beskrivelse	U-verdi W/(m ² K)	Lysåpning F _v %	Solfaktor, glass g _{gl}	Solskjerming type	Solskjerming faktor F _s %	Utsprang ↓ [↔] [↗]	Dokumentasjon / kommentar
Vindu type 1	0,760	80 %	0,50	Ingen	100 %	0	Vindusskjema fra NorDan
Vindu type 2	0,760	80 %	0,50	Manuell (ute)	11 %	0	Vindusskjema fra NorDan
Dør type 1	0,780	3 %	0,50	Ingen	100 %	0	Vindusskjema fra NorDan
Dør type 2	0,780	80 %	0,50	Ingen	100 %	0	Vindusskjema fra NorDan

Figur 3.5-1 Inndata for Demohuset i TEK-sjekk Energi: "4. TYPER VINDUER/DØR"

Tabell 3.5-1 viser U-verdi, solfaktor og lystransmisjon for alle vinduene i Demohuset. Gjennomsnittlig U-verdi for vinduene (eksklusive ytterdør) er 0,76 W/(m²K). Solfaktoren er oppgitt til 0,50.

Tabell: 3.5-1 Inndata U-verdi og solfaktor for vinduene i Demohuset. [NorDan, 2012]

Vindu	Bredde	Høyde	U-verdi	Solfaktor	Lystransmisjon
	[mm]	[mm]	W/(m ² K)		[%]
5 x 8 L	490	790	0,93	0,50	71
5 x 8 L	490	790	0,93	0,50	71
5 x 8 L	490	790	0,93	0,50	71
5 x 20 F	490	1990	0,80	0,50	71
5 x 20 F	490	1990	0,80	0,50	71
5 x 20 F	490	1990	0,80	0,50	71
5 x 20 F	490	1990	0,80	0,50	71
7 x 20 L	690	1990	0,79	0,50	71
9 x 21 GD	890	2090	0,82	0,50	71
10 x 21 YD	988	2088	0,70	-	-
10 x 21 GD	988	2088	0,81	0,50	71
10 x 21 GD	988	2088	0,81	0,50	71
12 x 8 L	1190	790	0,82	0,50	71
15 x 20 F	1490	1990	0,66	0,50	71
16 x 8 L	1590	790	0,80	0,50	71
16 x 8 L/F	1590	790	0,85	0,50	71
16 x 8 L/F	1590	790	0,85	0,50	71
16 x 8 L/F	1590	790	0,85	0,50	71
18 x 8 L	1790	790	0,80	0,50	71
21 x 20 F	2090	1990	0,69	0,49	69
23 x 20 F	2253	1990	0,68	0,49	69
Gjennomsnitt			0,76	0,50	70

3.6 Inndata TEK-sjekk: "5. FASADER / BYGNINGSKROPPEN"

Figur 3.6-1 viser inndata for fasadene og bygningskroppen. Alle vinduene er lagt inn basert på en eksport fra BIM-fil (DDS). For hver fasade og hvert vindu/dør har programmet automatisk beregnet skyggevirksomhet på grunn av utspring og lagt dette inn i TEK-sjekk-fila. Fire vinduer antas å ha manuell solskjerming (Vindu Type 2)

5. FASADER / BYGNINGSKROPPEN		Himmelretning (grader fra N)	Brutto areal m ²	Vindus/dør-type	Vindu/dør m ²	Horisonten grader	Utspring ↑ [←→ →]	Dokumentasjon / kommentar
Vegg N1-1	Yttervegg mot friluft	N (0°)	23	Vindu type 1	1,26	10°	0,09/1,61+0,01;0,09/1,61+0,01	
				Vindu type 1	0,39	10°	0,08/0,50+0,00;0,08/0,50+0,00	
				Vindu type 1	1,37	10°	0,08/0,70+0,00;0,08/0,70+0,00	
Vegg N2-1	Yttervegg mot friluft	N (0°)	9,12			10°	0,90/3,80+0,00;0	
Vegg N1-ES	Yttervegg mot friluft	N (0°)	3,55			10°	0	Etasjeskiller
Vegg N1-2	Yttervegg mot friluft	N (0°)	23	Vindu type 1	0,94	10°	0,09/1,19+0,00;0,08/1,18+0,00	
				Vindu type 1	2,52	10°	0,09/1,59+0,00;0,08/1,58+0,00	
Vegg N2-ES	Yttervegg mot friluft	N (0°)	1,41			10°	0,90/3,80+0,00;0	
Vegg N2-2	Yttervegg mot friluft	N (0°)	9,12			10°	0,90/3,80+0,00;0	
				Vindu type 1	0,98	10°	0,99/0,64+0,14;0,08/0,48+0,00	
Vegg Ø1-1	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	5,04	Dør type 1	2,06	10°	0,00;0,5,06/2,09+0,00	
Vegg Ø2-1	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	13,4			10°	0	
				Vindu type 2	4,16	10°	0,09/2,11+0,01;0,14/2,34+0,24	
				Dør type 2	2,06	10°	0,09/2,09+0,00;0	
Vegg Ø1-ES	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	0,78			90°	0	
Vegg Ø1-2	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	5,04			10°	0,00;0,5,06/2,09+0,00	
Vegg Ø2-ES	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	2,07			10°	0	
Vegg Ø2-2	Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	13,4			10°	0	
				Vindu type 2	0,98	10°	0,08/0,48+0,00;0,08/0,48+0,00	
Vegg S1-1	Yttervegg mot friluft	S (180°)	10,8			10°	0,1,20/4,50+0,00	
				Vindu type 2	4,48	10°	0,09/2,27+0,01;1,29/4,32+2,06	
				Dør type 2	2,06	10°	0,00;0,1,20/1,93+0,93	
Vegg S2-1	Yttervegg mot friluft	S (180°)	9,08			10°	0	
Vegg S3-1	Yttervegg mot friluft	S (180°)	12,24			10°	0,00;2,10/5,11+0,01;0	
				Vindu type 1	0,98	10°	0,00;0,30;2,10/0,5+3,2,0	
Vegg S1-ES	Yttervegg mot friluft	S (180°)	1,67			10°	0,1,20/4,50+0,00	
Vegg S1-2	Yttervegg mot friluft	S (180°)	12,47			10°	0,1,20/4,50+0,00	
				Vindu type 1	1,26	10°	0,09/1,59+0,00;1,28/1,91+0,31	
Vegg S2-ES	Yttervegg mot friluft	S (180°)	1,4			10°	0	
Vegg S2-2	Yttervegg mot friluft	S (180°)	9,08			10°	0	
				Vindu type 1	0,39	10°	0,08/0,48+0,00;0,08/0,48+0,00	
Vegg S3-ES	Yttervegg mot friluft	S (180°)	1,89			90°	0	
Vegg S3-2	Yttervegg mot friluft	S (180°)	12,24			10°	0,00;2,10/5,11+0,01;0	
				Dør type 2	1,86	10°	0,00;2,10/1,15+0,25;0	
				Vindu type 1	0,39	10°	2,19/3,76+3,26;0,08/0,48+0,00	
Vegg V3-1	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,88			10°	4,46/1,19+0,00;0	
Vegg V1-1	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,16			10°	0,3,73/0,90+0,00	
Vegg V2-1	Yttervegg mot friluft	V (270°)	13,4			10°	0	
				Vindu type 1	1,41	10°	0,09/1,80+0,00;0,09/1,80+0,00	
				Vindu type 2	2,97	10°	0,09/1,52+0,02;0,09/1,52+0,02	
Vegg V3-ES	Yttervegg mot friluft	V (270°)	0,44			10°	4,46/1,19+0,00;0	
Vegg V3-2	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,88			10°	4,46/1,19+0,00;0	
Vegg V1-ES	Yttervegg mot friluft	V (270°)	0,33			10°	0,3,73/0,90+0,00	
Vegg V1-2	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,16			10°	0,3,73/0,90+0,00	
Vegg V2-ES	Yttervegg mot friluft	V (270°)	2,07			10°	0	
Vegg V2-2	Yttervegg mot friluft	V (270°)	13,4			10°	0	
				Vindu type 1	0,98	10°	0,08/0,48+0,00;0,08/0,48+0,00	
Gulv 21	Golv på grunnen	-	83,27			-	-	
Tak 22	Flatt tak mot friluft	-	40,71			10°	0	
Tak 23	Flatt tak mot friluft	-	42,6			10°	0	

Figur 3.6-1 Inndata for Demohuset i TEK-sjekk Energi: "5. FASADER / BYGNINGSKROPPEN"

3.7 Inndata TEK-sjekk: "6. ENERGIFORSYNING"

Figur 3.7-1 viser inndata om energiforsyning. Det er antatt et solvarmeanlegg som dekker 60 % av tappevannsbehovet.

6. ENERGIFORSYNING		Andel last dekket	Dokumentasjon / kommentar
Energivare	Systemtype (grunnforsyning øverst i listen, topplast-forsyning nederst)		
Sol	Solfanger, oppvarming av tappevannsbehov	60 %	NS 3031 Tillegg B (nrv=10)
Elektrisitet	Helektrisk småhus (termostatstyrte elektriske radiatorer, varmtvannsbereider, varmebatteri, forbruksstrøm)	100 %	Byggforsk

Figur 3.7-1 Inndata for Demohuset i TEK-sjekk Energi: "6. ENERGIFORSYNING"

3.8 Beregningsresultater

3.8.1 Beregnet varmetapsbudsjett

Tabell 3.8-1 viser beregnet varmetapsbudsjett for Demohuset. Bygget tilfredsstillende minstekravene med god margin. Tabellen viser gjeldende minstekrav i NS 3700:2010. I prNS 3700 foreslås det å ta bort minstekrav til vegger, tak og golv, samt at varmetapstallet ikke lenger skal inkludere ventilasjon. Demohuset vil også da tilfredsstillende minstekravene.

Tabell 3.8-1 Beregnet varmetapsbudsjett for Demohuset etter NS 3700:2010. TEK-sjekk Energi

Varmetapspost	Netto areal m ²	U-verdi [W/m ² K]		Varmetap [(W/K)/m ²]	
		Denne bygning	Passivhus minstekrav	Denne bygning	Passivhus varmetaps-ramme
Vegger	186,0	0,106	0,15	0,118	-
Tak	83,3	0,085	0,13	0,043	-
Gulv	83,3	0,080	0,15	0,040	-
Vinduer & dører	33,5	0,765	0,80	0,154	-
Kuldebro	166,6	$\psi''=0,03$	$\psi''=0,03$	0,027	-
Infiltrasjon	-	$n_{50}=0,6$	$n_{50}=0,6$	0,033	-
Ventilasjon	-	$\eta_{\text{år}}\approx 86,8\%$	$\eta_{\text{år}}=80\%$	0,066	-
Bygningens varmetapstall, H'' [(W/K)/m²]:				0,481	0,550

3.8.2 Beregnet netto oppvarmingsbehov

Tabell 3.8-2 viser beregnet netto oppvarmingsbehov. NS 3700:2010 sier at høyeste oppvarmingsbehov i et passivhus i standard referanseklime (årsmiddeltemperatur $\geq 6,3$ °C) er $15 + 5,4 \times (250 - A_{\text{f}}/100)$. Med oppvarmet bruksareal 166,6 m² blir kravet ≤ 20 kWh/m². Beregnet energibehov er 20,4 kWh/m², som avrundet blir 20 kWh/m². Demohuset tilfredsstiller dermed akkurat oppvarmingskravet til passivhus i NS 3700.

Tabell 3.8-2 Beregnet netto energibehov i Demohuset. Standard referanseklime. TEK-sjekk Energi

Energipost	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m ² år)
Romoppvarming	3 044	18,3
Ventilasjonsvarme	350	2,1
Varmtvann	4 962	29,8
Vifter	791	4,7
Pumper	-	-
Belysning	1 897	11,4
Teknisk utstyr	2 919	17,5
Romkjøling	-	-
Ventilasjonskjøling	-	-
Sum denne bygning:	13 963	84
Andel til oppvarming:	3 394	20
Passivhus-krav \leq	-	20

3.8.3 Beregnet energiforsyning

Det antas en litt større solfanger som dekker 60 % av varmtvannsbehovet. Øvrig energiforsyning er elektrisitet. Energiforsyningskravet i NS 3700 sier at levert energi fra elektrisitet og fossile brensel ikke skal overstige totalt, netto energibehov fratrukket halvparten av netto energibehov til tappevann.

Totalt, netto energibehov er 13 963 kWh som vist i tabell 3.8-2. Av dette er 4 962 kWh varmtvann. Maksimalt levert energi skal da ikke være større enn $13\,963 - 0,5 \cdot 4\,962 = 11\,482$ kWh.

Tabell 3.8-3 viser at energiforsyningen som er basert på elektrisk og fossilt er beregnet til 11 393 kWh. Dette er lavere enn kravet 11 482 kWh. Demohuset tilfredsstiller dermed energiforsyningskravet i NS 3700.

Tabell 3.8.3 Beregnet energiforsyning for Demohuset. Antatt solvarme som dekker 60 % av netto energibehov til varmtvann. Øvrig energiforsyning er elektrisk

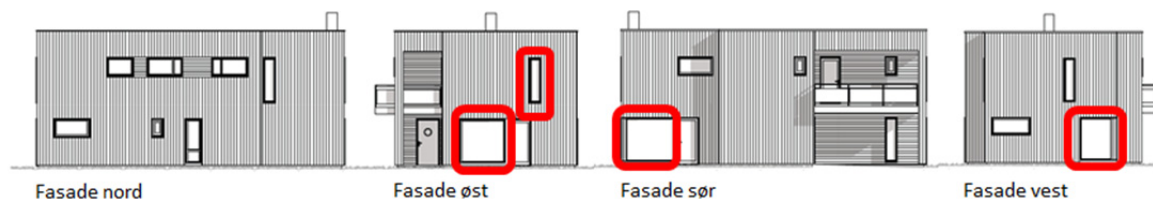
Energivare	Lvert energi kWh/år	Spesifikk levert kWh/(m ² år)	Dekningsgrad varmebehov
Direktevirkende el.	11 095	67,0	64,3 %
El. til VP & solenergi	298	2,0	35,7 %
Olje	-	-	-
Gas	-	-	-
Fjernvarme	-	-	-
Biobrensel	-	-	-
Annen fornybar	-	-	-
Sum denne bygning:	11 393	68	100,0 %
Andel fossilt & el:	11 393	100,0 %	-
Passivhus-krav ≤	11 482	100,0 %	-

3.8.4 Inneklima

Programmet TEK-sjekk Energi beregner innetemperaturen i bygget. Når bygget har vinduslufting, settes det som kriterium at beregnet innetemperatur ikke skal overskride inneklimakategori II i NS-EN 15251 i mer enn 50 timer i året. Denne grenseverdien 50 timer i året er valgt med henvisning til veiledningen til TEK10 § 13-4 som sier at det kan aksepteres 50 timers overskridelse av angitte temperaturgrenser i et normalår.

Simuleringen i TEK-sjekk viser at temperaturkravet etter inneklimakategori II i NS-EN 15251 overskrides 47 timer i året. Dette er mindre enn 50 timer. Innetemperaturen er dermed tilfredsstillende.

I beregningen er det antatt manuell solskjerming på fire vinduer mot øst, sør og vest, som vist i figur 3.8-1.



Figur 3.8-1 Manuell utvendig solskjerming i Demohuset.

TEK-sjekk estimerer også at gjennomsnittlig dagslysfaktor i boligen er 2,7 %, hvilket tilfredsstiller SINTEF Byggforsks anbefaling > 2,5 %.

3.9 Dokumentasjon (Tillegg J NS 3031:2007)

Bygningsbeskrivelse, adresse: Demohuset – passiv	Byggeår 2013. Kunde/ref: Ole Olsen
Lokalt klima: Oslo	(Landlig Lave trær / boligstrøk / jordbruk)
Type kontrollberegning: NS 3700: Passivhuskriterier, bolig	Hele bygningen er beregnet
Beregning utført av: Boligprodusentenes Forening	v/ Lars Myhre

SENTRALE INNDATA FOR ENERGIBEREGNINGEN, dokumentert iht. NS 3031:2007 Tillegg J:

Størrelser	Inndata	Dokumentasjon	
Bygningskategori	Småhus	Enebolig (1 boenhet)	
Arealer [m ²]	Yttervegger	186	Iso3, 300+48x48 mm påføring, isol. kl 33, vindspærreduk
	Tak	83	Kompakt tak (på OSB-plater og tresperrer), 500 mm isol kl 36 på oversiden, 100 mm kl 33 på undersiden
	Gulv	83	Betongdekke, 350 mm Super EPS80 - 31
	Vinduer, dører, og glassfelt	34	bl.a. Vindu type 1
Oppvarmet del av BRA (A _n) [m ²]	167	-	
Oppvarmet luftvolum (V) [m ³]	400	-	
U-verdi for bygningsdeler [W/(m ² ·K)]	Yttervegger	0,11	Byggforsk Ucalc, L ⁿ = 3,5 m/m ²
	Tak	0,09	Spesialberegnet verdi for Demohuset, inkl effekt av hulrom over himling
	Gulv	0,08	Beregnet verdi: 1 / (0,35/0,031+0,40)
	Vinduer, dører, og glassfelt	0,76	Vindusskjema fra NorDan
Arealandel for vinduer, dører og glassfelt (γ _{sol})	20 %	-	
Normalisert kuldebroverdi (ψ'') [W/(m ² ·K)]	0,027	Vedlegg 1 - separat beregning av kuldebroer	
Normalisert varmekapasitet (C'') [Wh/(m ² ·K)]	30	-	
Lekkasjetall (n ₅₀) [1/h]	0,6	Minstekrav i NS 3700	
Temperaturvirkningsgrad (η _T) for varmeveksler	87,0 %	Flexit AS: Prosjektert temp.virkningsgrad (NS-EN 308)	
Årsmiddel temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner pga. frostsikring (men ikke tillufttemperatur-styring)	86,8 %	Avkast>-10°C, Tilluft=V:19°C, S:17°C. NS 3031:2007 +A1:2011, tabell H.1	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, i driftstiden [kW/(m ³ /s)]	1,3	Flexit AS: Prosjektert SFP-faktor	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder, utenfor driftstiden [kW/(m ³ /s)]	-	-	
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde i driftstiden (V _{on} /A _n) [(m ³ /h)/m ²]	1,5	Flexit AS: Prosjektert luftmengde (normal drift)	
Gjennomsnittlig spesifikk mekanisk ventilasjonsluftmengde utenfor driftstiden (V _{on} /A _n) [(m ³ /h)/m ²]	-	-	
Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingsystemet	144 %	-	
Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatteri) [W/m ²]	32,6	med nattsenkning	
Settpunkt-temperaturer for oppvarming [°C]	21 (19 om natten)	Ventilasjonsluft settpunkt: 17/19°C sommer/vinter	
Årsgjennomsnittlig effektfaktor for kjølesystemet	-	-	
Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m ²]	-	-	
Settpunkt-temperaturer for kjøling [°C]	-	-	
Spesifikk pumpeeffekt (SPP) [kW/(ℓ/s)]	-	ingen pumper	
Driftstid for oppvarming, kjøling, lys, utstyr, varmtvann / ventilasjon / personer	16 / 24 / 24 timer/døgn	Hhv. 7/7/7 døgn/uke og 52/52/52 uker/år, jfr. NS 3031	
Spesifikk effektbehov for belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk varmetilskudd fra belysning i driftstiden (q'' _{lys}) [W/m ²]	1,95	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk effektbehov for utstyr i driftstiden [W/m ²]	3	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk varmetilskudd fra utstyr i driftstiden (q'' _{uts}) [W/m ²]	1,8	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk effektbehov for varmtvann i driftstiden (q'' _w) [W/m ²]	3,4	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk varmetilskudd fra varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Spesifikk varmetilskudd fra personer i driftstiden (q'' _{pers}) [W/m ²]	1,5	J.fr. NS 3031 Tillegg A	
Total solfaktor (g _T) for vindu og solavskjerming (Ø/S/V/N)	0,25/0,33/0,25/0,5	Type solskjerming: Manuell (ute)	
Gjennomsnittlig karmfaktor (F _F)	0,25	-	
Solskjermingsfaktor pga. horisont, nære bygninger, vegetasjon, og eventuelle bygningutspring	0,77	-	

KONKLUSJON FRA KONTROLLBEREGNINGEN:

► **Boligen tilfredsstillter kriteriene i NS 3700: Passivhuskriterier, bolig**

30. november 2012

dato

underskrift

Kapittel 4 Vurdering av inndata for energiberegning

Dette kapittelet viser hvordan endring av inndata påvirker beregnet oppvarmingsbehov.

4.1 Endret klima

Tabell 4.1-1 viser beregnet netto energibehov for Demohuset med klimadata for Oslo, Bergen og Trondheim.

Med Osloklima er oppvarmingsbehovet for Demohuset 20,4 kWh/m². Med Bergensklima reduseres oppvarmingsbehovet til 14,9 kWh/m², samtidig som kravet er det samme som i Oslo. Forskjellen er såpass stor at Demohuset i Bergen kunne leveres med 22 cm Iso3-stender i yttervegg (U-verdi 0,159 W/(m²K) med λ -verdi 0,033 W/(mK)) og likevel greie oppvarmingskravet 20 kWh/m² og kravet til spesifikt varmetapstall 0,55 W/K per m² BRA.

Med Trondheims klima beregnes oppvarmingsbehovet til 20,1 kWh/m², om lag det samme som med Osloklima. Men fordi årsmiddeltemperaturen er noe lavere i Trondheim enn i Oslo, heves oppvarmingsrammen fra 20 til 22 kWh/m². Dette viser at klimakorrigeringen i NS 3700 er noe grov, og at det er lettere å tilfredsstille passivhuskravet i Trondheims klima enn i Osloklima.

Tabell 4.1-1 Beregnet netto energibehov for Demohuset med tre alternative klima. Standard referanseklima (Oslo), Bergen og Trondheim

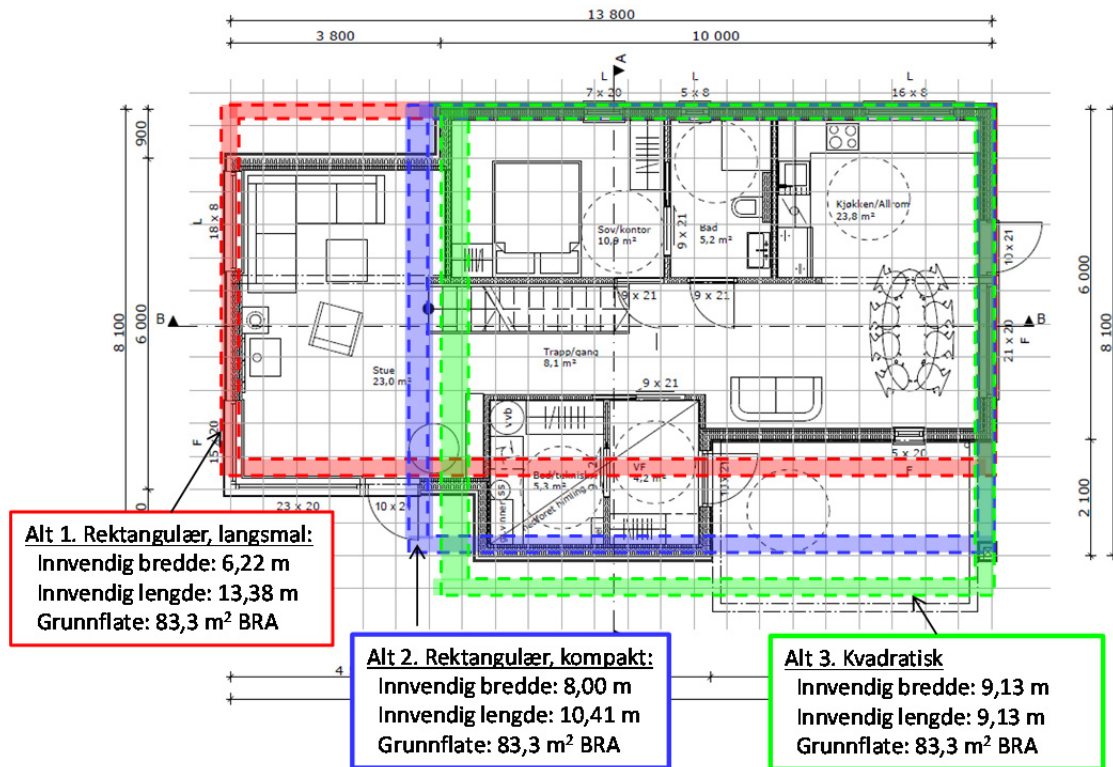
Energipost	Oslo		Bergen		Trondheim	
	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m ² år)	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m ² år)	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m ² år)
Romoppvarming	3 044	18,3	2 324	14,0	3 054	18,3
Ventilasjonsvarme	350	2,1	153	0,9	306	1,8
Varmtvann	4 962	29,8	4 962	29,8	4 962	29,8
Vifter	791	4,7	791	4,7	791	4,7
Pumper	-	-	-	-	-	-
Belysning	1 897	11,4	1 897	11,4	1 897	11,4
Teknisk utstyr	2 919	17,5	2 919	17,5	2 919	17,5
Romkjøling	-	-	-	-	-	-
Ventilasjonskjøling	-	-	-	-	-	-
Sum denne bygning:	13 963	84	13 046	78	13 929	84
Andel til oppvarming:	3 394	20	2 478	15	3 360	20
Passivhus-krav ≤	-	20	-	20	-	22

4.2 Endret bygningsform

Bygningsformen til demohuset er ikke optimal. En rektangulær bygningskropp uten innadgående hjørner vil redusere arealet av klimaskjermen noe per kvadratmeter golvareal. Dette vil igjen redusere det spesifikke varmetapet og det tilhørende oppvarmingsbehovet. Figur 4.2-1 viser tre alternative, mer kompakte bygningsform uten innadgående hjørner. Grunnflaten er beholdt uendret (83,3 m² BRA).

Alternativ 1 er en langsmal utførelse. Lengden på huset er beholdt (13,38 m innvendig), mens innvendig bredde er redusert til 6,22 m. Selv om bygningskroppen nå blir rektangulær, er det fortsatt en lang-smal utførelse. Alternativ 2 har en rektangulær grunnflate med bredde 8,00 m og

lengde 10,41 m. Alternativ 3 er en helt kvadratisk utforming, med innvendig bredde (og lengde) 9,13 m



Figur 4.2-1 Endret grunnflate for Demohuset. Rektangulær grunnflate

Tabell 4.2-1 sammenstiller beregnet energibehov for den originale utgaven og de tre alternative utgavene av Demohuset. I de alternative utgavene er alle vinduer og dører beholdt med samme størrelse og orientering som i originalversjonen. Det er kun arealet av ytterveggene som er endret, sammen med omkrets for bygget. Denne endringen av bygningsformen innebærer at ytterveggarealet reduseres med 15 m². Kuldebro lengdene påvirkes også. Oppvarmingsbehovet reduseres med 0,9 kWh/m² for den rektangulære, langsmale utgaven, 1,5 kWh/m² for den rektangulære, kompakte utgaven og 1,6 kWh/m² for den kvadratiske utgaven.

Tabell 4.2-1 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset med endret bygningsform. Standard referanseklime (Oslo)

	Original	Alt 1. Rektangulær, langsmal	Alt. 2 Rektangulær, kompakt	Alt. 3 Kvadratisk
Areal [m ²]				
Yttervegg	183,7	168,6	156,3	154,6
Vinduer og dører	34,1	34,1	34,1	34,1
Golv	83,3	83,3	83,3	83,3
Tak	83,3	83,3	83,3	83,3
Sum	384,5	369,4	357,0	355,4
Oppvarmingsbehov [kWh/m ² BRA]				
Romoppvarming	18,3	17,4	16,8	16,7
Ventilasjonsvarme	2,1	2,1	2,1	2,1
Sum	20,4	19,5	18,9	18,8

Selv om disse besparelsene ikke virker å være så store, ville Demohuset med alternativ 2, rektangulær, kompakt grunnflate, tilfredsstillende passivhuskravet med en yttervegg med U-verdi 0,120 W/(m²K). Dette kan for eksempel være en 30 cm bindingsverksvegg med gjennomgående Iso3-stender og mineralull $\lambda = 0,033$ W/(mK).

4.3 Endret orientering

Tabell 4.3-1 viser virkningen av endret orientering. Oppvarmingsbehovet øker 1 kWh/m² om boligen orienteres med hovedfasaden mot nord og ikke mot sør. Alle andre faktorer holdes uendret. Orientering mot vest og øst gir ca 0,5 kWh/m² økning i oppvarmingsbehovet i forhold til orientering mot sør.

Tabell 4.3-1 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset for ulike orientering. Standard referanseklime (Oslo)

Energi-post	Sørvendt		Vestvendt		Nordvendt		Østvendt	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Romoppvarming	3 044	18,3	3 104	18,6	3 199	19,2	3 134	18,8
Ventilasjonsvarme	350	2,1	352	2,1	355	2,1	355	2,1
Sum oppvarming	3 394	20,4	3 457	20,7	3 554	21,3	3 489	20,9

4.4 Endret varmekapasitet

Tabell 4.4-1 viser betydning av endret varmekapasitet på oppvarmingsbehovet. Virkningen av er størst når bygget er lett. En økning av normalisert varmekapasitet fra 10 til 20 Wh/(m²K) reduserer oppvarmingsbehovet med mer enn 2 kWh/m². En videre økning av varmekapasiteten fra 20 til 30 Wh/(m²K) gir litt over 1 kWh/m² i reduksjon, men så flater det ut. Gevinsten av å øke normalisert varmekapasitet utover 50-60 Wh/(m²K) vil være liten.

Tabellen viser også effekten av normalisert varmekapasitet på risikoen for overtemperatur i boligen. Når varmekapasiteten blir lavere enn 30 Wh/(m²K) overskrides inneklimategri II i NS-EN 15251 mer enn 50 timer i året.

Tabell 4.4-1 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset for ulike, spesifikk varmekapasitet. Standard referanseklime (Oslo)

	Spesifikk varmekapasitet (Wh/(m ² K))								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Oppvarmingsbehov (kWh/m²)									
Romoppvarming	21,4	19,3	18,3	17,8	17,6	17,5	17,3	17,3	17,2
Ventilasjonsvarme	2,5	2,3	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,8
Sum oppvarming	23,9	21,6	20,4	19,8	19,6	19,4	19,1	19,1	19,0
Inneklime (timer)									
Antall timer pr. år overskridelse av inneklimategri II i NS-EN 15251	95	71	47	29	16	7	2	0	0

4.5 Endret lekkasjetall (n₅₀)

Tabell 4.5-1 viser beregnet oppvarmingsbehovet for ulike lekkasjetall. Oppvarmingsbehovet endres med ca 0,5 kWh/m² når lekkasjetallet endres med 0,1 luftvekslinger per time. Oppvarmingsbehovet reduseres dermed med 1,0 kWh/m² når lekkasjetallet reduseres fra 0,6 til 0,4 luftvekslinger per time. Lekkasjetall 0,4 luftvekslinger per time er meget ambisiøst og krever god kvalitetssikring av utførelsen.

Tabell 4.5-1 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset for ulike lekkasjetall. Standard referanseklime (Oslo)

	Lekkasjetall, n_{50} (h^{-1})								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Oppvarmingsbehov (kWh/m²)									
Romoppvarming	15,9	16,3	16,8	17,3	17,8	18,3	18,8	19,2	19,7
Ventilasjonsvarme	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Sum oppvarming	17,9	18,3	18,9	19,4	19,9	20,4	10,9	21,3	21,8

4.6 Endrete U-verdier

De påfølgende tabellene viser hvordan oppvarmingsbehovet påvirkes av endret U-verdi i golv, yttervegg, tak og vinduer. Forbedret isolasjonsverdi vil gi små utslag på beregnet oppvarmingsbehov, og for flere av bygningsdelene vil det i praksis ikke være aktuelt å velge enda mer ambisiøse løsninger enn det som allerede er lagt til grunn for beregningene.

4.6.1 Endret U-verdi i golv

 Tabell 4.5-1 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset for ulike isolasjonstykkelser i golvkonstruksjonen. Isolasjon med λ -verdi 0,031 W/(mK). Standard referanseklime (Oslo)

	Tykkelse isolasjon (mm) /U-verdi golvkonstruksjon (W/(m ² K))				
	200 0,146	250 0,118	300 0,099	350 0,086	400 0,075
Oppvarmingsbehov (kWh/m²)					
Romoppvarming	19,7	19,1	18,6	18,3	18,0
Ventilasjonsvarme	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Sum oppvarming	21,8	21,2	20,7	20,4	20,1

4.6.2 Endret U-verdi i yttervegg

Tabell 4.5-2 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset for ulike U-verdier i vegg. Standard referanseklime (Oslo)

	U-verdi vegg (W/(m ² K))							
	0,090	0,100	0,106	0,110	0,120	0,130	0,140	0,150
Oppvarmingsbehov (kWh/m²)								
Romoppvarming	16,7	17,7	18,3	18,7	19,6	20,6	21,6	22,6
Ventilasjonsvarme	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2
Sum oppvarming	18,8	19,8	20,4	20,8	21,7	22,8	23,8	24,8

4.6.3 Endret U-verdi i tak

Tabell 4.5-3 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset for ulike U-verdier i tak. Standard referanseklime (Oslo)

	U-verdi tak (W/(m ² K))							
	0,070	0,080	0,088	0,090	0,100	0,110	0,120	0,130
Oppvarmingsbehov (kWh/m²)								
Romoppvarming	17,5	17,9	18,3	18,4	18,8	19,2	19,7	20,1
Ventilasjonsvarme	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2
Sum oppvarming	19,6	20,0	20,4	20,5	20,9	21,3	21,8	22,3

4.6.4 Endret U-verdi for vinduer

Tabell 4.5-4 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset for ulike U-verdier i vinduene. Antatt uendret solfaktor. Standard referanseklime (Oslo)

	U-verdi vinduer (W/(m ² K))							
	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82
Oppvarmingsbehov (kWh/m²)								
Romoppvarming	17,2	17,5	17,7	18,0	18,3	18,5	18,8	19,1
Ventilasjonsvarme	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Sum oppvarming	19,3	19,6	19,8	20,1	20,4	20,6	20,9	21,2

4.7 Endret temperaturvirkningsgrad

4.7.1 Endret temperaturvirkningsgrad, ventilasjon

Tabell 4.7-1 Beregnet netto oppvarmingsbehov for Demohuset for forskjellig temperaturvirkningsgrad. Standard referanseklime (Oslo)

	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad							
	92 %	90 %	88 %	87 %	86 %	84 %	82 %	80 %
Oppvarmingsbehov (kWh/m²)								
Romoppvarming	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3
Ventilasjonsvarme	0,9	1,2	1,7	2,1	2,5	3,3	4,2	5,2
Sum oppvarming	19,2	19,5	20,0	20,4	20,8	21,6	22,5	23,5

4.8 Diskusjon

Ambisiøse og kostnadsdrivende løsninger kreves for at Demohuset skal tilfredsstille passivhuskravet 20 kWh/m². Det må velges hele 600 mm isolasjon i taket og en 35 cm yttervegg med U-verdi 0,106 W/(m²K). Veggene er bygget opp med 300 mm Iso3-stender med 48 mm innvendig påføring og til sammen 350 mm isolasjon med λ -verdi 0,033 W/(mK).

Det kompakte taket er en utfordring. Effektiv U-verdi for taket er beregnet til 0,088 W/(m²K), og inkluderer da et "kuldebro"-tillegg for hulrommet over himlingen som vist i avsnitt 3.3.2. Dersom det i stedet velges et tradisjonelt kaldt loft med takstoler (W-takstoler), kan isolasjonstykkelsen reduseres til 500 mm uten at varmetapet øker. Det vil være vesentlig enklere og rimeligere å bygge en slik takstolskonstruksjon enn et kompakt tak med 500 mm trykksterk isolasjon, fallbygging og 100 mm isolasjon på undersiden, mellom taksperrer.

Et annet grep er å utføre bygningskroppen noe mer kompakt. Ved å velge en rektangulær, kompakt bygningsform (8,0 x 10,4 m), reduseres oppvarmingsbehovet med 1,5 kWh/m² som vist i tabell 4.2-1. Ytterveggen kan da utføres som en 30 cm vegg uten innvendig innlekting (U-verdi 0,120 W/(m²K)).

Endret takkonstruksjon og endret bygningsform påvirker selvsagt uttrykket til boligen. Men eksempelet illustrerer at det i Oslo klima er krevende å tilfredsstille passivhuskravet i NS 3700, og at det må velges gunstig bygningsform og fordelaktige konstruksjonsløsninger for å tilfredsstille standarden.

For andre klima, eksempelvis Bergen og Trondheim, vil det være vesentlig enklere å tilfredsstille passivhuskravet, og man står friere i valg av bygningsform og konstruksjonsløsninger.

Kapittel 5 Fuktsikring

Oppfukting av konstruksjonene i byggeperioden kan føre til råteskader, muggvekst og inneklimateproblemer. Dette gjelder for alle hus, også passivhus. Men uttørking av byggfukt tar noe lenger tid med de tykkere passivhuskonstruksjonene. Det er derfor ekstra viktig å unngå oppfukting av konstruksjonene i byggeperioden, og at de er tilstrekkelig uttørket ved innlukking.

Når isolasjon monteres inn i konstruksjonen, må fuktinnholdet i trevirket være under 20 vektprosent. I høyisolerte konstruksjoner er det en fordel at fuktinnholdet er så lavt som mulig. Det må sikres at fuktigheten måles på rett måte. Bunnsviller er mest utsatt, og trefukten bør måles med hammerelektroder med lengre elektrode som ikke bare "pirker" i overflaten. Dampsperra må monteres umiddelbart etter montering av isolasjonen for å hindre at fuktighet trenger utover i konstruksjonen.

Uttørking av byggfukt etter at konstruksjonen er lukket, kan likevel gi noe kondens eller rim på vindsperra i tak og vegger den første vinteren. Slik kondens og rim er vanligvis uproblematisk. For å redusere muligheten for at kondensvann kan renne ned langs innsiden av vindsperra og danne ansamlinger, kan det være en fordel å benytte vindsperrmateriale med en viss evne til kondensopptak.

Det er to årsaker til at passivhus bruker noe lenger tid på å tørke ut:

- de økte isolasjonstykkelsen gjør at det normalt er mer trevirke i konstruksjonen. Dette gjelder spesielt for ytterveggene. Mer trevirke gjør at mer fuktighet kan samles opp og må tørke ut
- de tykkere konstruksjonene gir lengre uttørkingsvei for fukten. Byggfukten må tørke utover, og 10 til 15 cm lengre uttørkingsvei til yttersiden av konstruksjonen tilsvarer forenklet en økt vanndampmotstand (s_d -verdi) på 0,10 til 0,15 m.

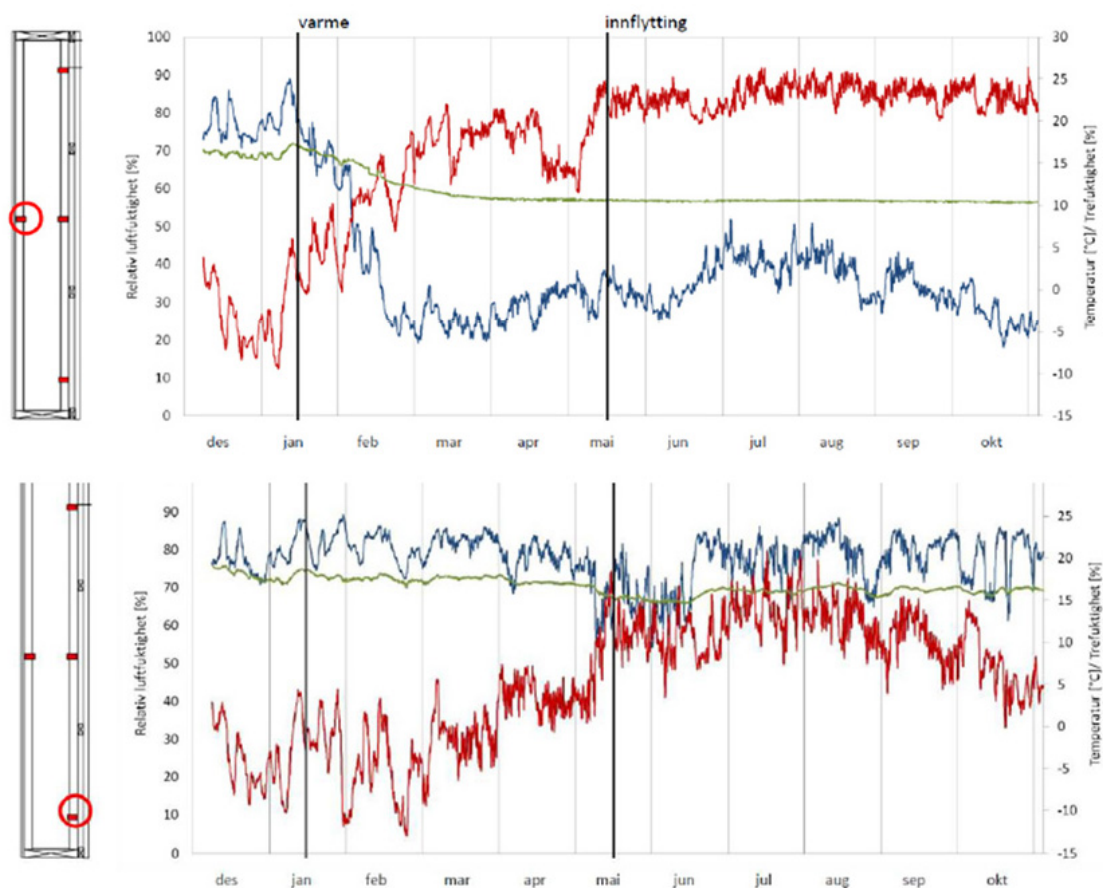
Ved tradisjonell bygging på byggeplass bør man sørge for at råbygget kommer opp og blir vær- og vindtettet så raskt som mulig. Det er viktig å hindre at materialer og konstruksjoner blir oppfuktet, men noe oppfukting er likevel ikke til å unngå med tradisjonell bygging.

Treandelen kan reduseres ved å velge konstruksjoner av I-profiler som magasinerer mindre byggfukt enn konstruksjoner av vanlig konstruksjonsvirke. Bunnsvillene er mest utsatt for fukt, og bruk av doble sviller gir lenger uttørkingstid; tilnærmet fire ganger så lang tid som med enkle sviller.

Figur 5-1 viser uttørkingsforløp for ytterveggen i et passivhus i Bodø oppført av Mesterhus. Det ble montert fuktlogger i ytterveggene. Den øverste figuren viser uttørkingsforløpet for en fuktlogger plassert midt på veggen, på varm side. Den nederste figuren viser tilsvarende uttørkingsforløp for en fuktlogger plassert ytterst i veggen, lavt nede. Figuren viser uttørkingsforløpet fra desember til oktober.

Trefuktigheten ligger rundt 17 % før veggen lukkes. I januar slås varmen på, og det er tydelig hvordan treverket på varm side av veggen tørker ut. Uttørkingsfasen for denne delen av veggen varer i ca to måneder. Fra mars stabiliserer trefuktigheten seg rundt 11 - 12 vekt-% fukt. På kald side av veggen er uttørkingen ikke like markant. Men også her er uttørkingen gjennom veggen stor nok til å unngå opphopning av fukt på kald side.

Loggingen av tempeatur, relativ luftfuktighet og trefuktighet viser at veggene i passivhuset i Bodø ikke er utsatt for temperatur- og fuktforhold som er gunstige for biologisk vekst. Det ble i tillegg foretatt luftprøver og teipprøver inne i konstruksjonen, og analyse av disse prøvene viste betryggende forhold.



Figur 5-1 Uttøringsforløp for passivhusprosjekt i Bodø. [Lavenergiprogrammet, 2012]

Kapittel 6 Lekkasjemåling

NS 3700 krever måling av lekkasjetallet i passivhus ved ferdigstillelse. Standarden NS-EN 13829 beskriver hvordan lekkasjetallet måles etter differansetrykkmetoden. Standarden spesifiserer ikke hva slags type måleutstyr som skal brukes, men stiller krav til målenøyaktighet, måleprosedyre, angivelse av resultater og prøvningsrapport, bl.a.:

- trykkmåler som måler trykkdifferanser med en nøyaktighet på +/- 2 Pa i området 0 Pa til 60 Pa.
- luftmengdemåler som måler luftmengde innenfor +/- 7 % av avlesningen, og at avlesningen av luftmengde skal korrigeres for luftdensitet
- termometer som måler temperaturen med en nøyaktighet på +/- 1 K
- Kapittel 5, 6 og 7 angir krav til måleprosedyre, angivelse av resultater og prøvningsrapport.

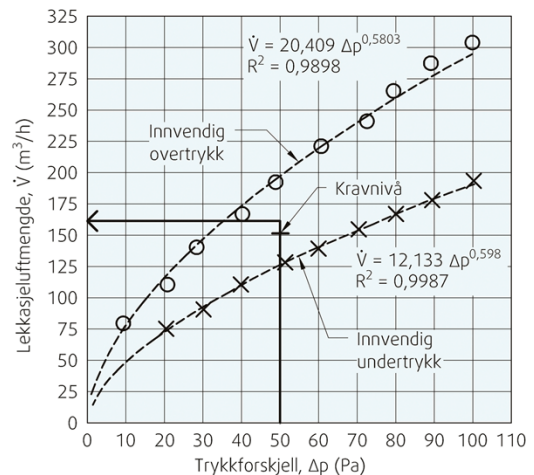
Standarden anbefaler to sett målinger, både overtrykks- og undertrykksmålinger, og midling av disse for beregning av lekkasjetall. Men standarden åpner samtidig for at standardens krav oppfylles kun med ett sett målinger.

For hvert sett måling skal det være minst fem datapunkter. Luftmengde og trykkforskjell skal altså måles for fem ulike verdier, og verdiene skal etterpå plottes inn i et diagram. Når parene med trykkforskjeller og luftmengde tegnes opp som x-y-kurve, får kurven en karakteristisk krum form som kan tilpasses følgende formel:

$$\dot{V} = C_L \cdot \Delta p^n \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

hvor

- \dot{V} er lekkasjeluftmengde [m^3/h]
- C_L er mengdeavhengig konstant
- Δp er trykkforskjell over konstruksjonen (Pa)
- n er karakteravhengig



Figur 6-1 Eksempel på kurver fra overtrykks- og undertrykksmåling

Luftvolumet som benyttes ved beregning av lekkasjetallet skal være det samme som luftvolumet som legges inn i energiberegningene. Kravet i NS 3700 gjelder ved ferdigstillelse av bygget. Lekkasjetallet skal dokumenteres ved måling, og at det utarbeides en målerapport.



Figur 7-1 "Blower door"-utstyr



Figur 7-2 Lekkasjemåleutstyr fra Flexit AS

Kapittel 7 Referanser

- [Bakke, 2007] Bakke, Jan V., "Oppvarming, varmekilder og inneklime. Allergi i praksis". 2007, nr.4, ss. 32-37
- [Boligprodusentene, 2010] Boligprodusentenes Forening, "Bolig 2020. Boligprodusentenes handlingsplan for passivhusnivå i 2020", 2010
<http://boligprodusentene.no/andre-rapporter/category172.html>
- [Boligprodusentene, 2012] Boligprodusentenes Forening, "Boligprodusentenes BIM-manual, versjon 2.0", november 2012
- [EU, 2010] EU, "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)", 2010
- [Gustavsen m.fl., 2008] Gustavsen A., Thue J.V., Blom P., Dalehaug A., Aurlien T., Grynning S. og Uvsløkk S., "Kuldebreor – beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk", Prosjektrapport 25, SINTEF Byggforsk, 2008
- [KRD, 2012] Kommunal- og regionaldepartementet, "Gode bygg for eit betre samfunn", Meld. St. 28 (2011-2012), 2012
- [Krog og Gundersen, 2006] Krog, B-R. og Gundersen, P. "Vannbåren tak- og gulvvarme – Laboratiemålinger". Prosjektrapport 397, Norges byggforskningsinstitutt, 2006
- [Lavenergiprogrammet, 2012] "Kurs passivhus prosjekterende", Kursmaterieill utarbeidet av SINTEF Byggforsk og Rambøll AS for Lavenergiprogrammet, 2012
- [NorDan, 2012] Vindusskjema for Demohuset. Leveranseskjema NO.0563164.A, NorDan, 16.11.2012
- [NS 3031, 2011] NS 3031:2007 +A1:2011 "Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data", Standard Norge, 2011
- [NS 3700, 2010] NS 3700:2010 "Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger", Standard Norge, 2010
- [NS 3701, 2012] NS 3701:2012 "Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Yrkesbygninger", Standard Norge, 2012
- [NS-EN 15251, 2007] NS-EN 15251:2007, "Inneklimeparametre for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, temperatur, belysning og akustikk", Standard Norge, 2007
- [NS-EN 15265, 2007] NS-EN 15265:2007, "Bygningers energiytelse. Beregning av bygningers energibehov til oppvarming og kjøling ved bruk av dynamiske metoder. Generelle kriterier og valideringsprosedyrer", Standard Norge, 2007
- [NS-EN 15316, 2007] NS-EN 15316-1:2007, "Varmesystemer i bygninger - Metode for beregning av systemets energikrav og systemvirkningsgrader – Del 1: Generelt", Standard Norge, 2007
- [NS-EN ISO 7730, 2005] NS-EN ISO 7730_2005 "Ergonomi i termisk miljø. Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende og kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort (ISO 7730:2005)", Standard Norge, 2005
- [NS-EN ISO 10077-1, 2006] NS-EN ISO 10077-1:2006, "Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder. Beregning av varmegjennomgangskoeffisient. Del 1: Generelt (ISO 10077-1:2006)", Standard Norge, 2006
- [NS-EN ISO 10211, 2007] NS-EN ISO 10211:2007, "Kuldebroer i bygningskonstruksjoner - Varmestrømmer og overflatetemperaturer - Detaljerte beregninger (ISO 10211:2007)", Standard Norge, 2007
- [NS-EN ISO 13786, 2007] NS-EN ISO 13786:2007 "Bygningskomponenters termiske egenskaper. Dynamiske termiske egenskaper. Beregningsmetoder", Standard Norge, 2007

- [NS-EN ISO 13790, 2008] NS-EN ISO 13790:2008, "*Bygningers energiytelse. Beregning av bygningers energibehov til oppvarming og kjøling. (ISO 13790:2008)*", Standard Norge, 2008
- [NS-EN ISO 14683, 2007] NS-EN ISO 14683:2007 "*Kuldebroer i bygningskonstruksjoner. Lineær varmegjennomgangskoeffisient. Forenklete beregningsmetoder og normalverdier*", Standard Norge, 2007
- [Pilkington, 2012] "*Glassfakta 2012. Et praktisk hjelpemiddel for valg av glass til bygg*", Pilkington,
<http://www.pilkington.com/europe/norway/norwegian/building+products/for+trade+customers/glass+handbook.htm>
- [prNS 3700, 2012] prNS 3700 "*Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*", Standard Norge, 2012
- [SINTEF Byggforsk, 2012] U-verdier beregnet med programmet Ucalc, SINTEF Byggforsk, 2012
- [SINTEF Byggforsk 471.008, 1998] Anvisning 471.008, "*Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946*", SINTEF Byggforsk, 1998
- [SINTEF Byggforsk 471.013, 2003] Anvisning 471.013 "*U-verdier. Tak*", SINTEF Byggforsk, 2003
- [SINTEF Byggforsk 471.017, 2008] Anvisning 471.017 "*Kuldebroer. Tabeller med kuldebroverdier*", SINTEF Byggforsk, 2008
- [SINTEF Byggforsk 472.212, 2011] Anvisning 472.212 "*Bruksanvisning for energiberegningsprogrammet TEK-sjekk Energi*", SINTEF Byggforsk, 2011
- [SINTEF Byggforsk 472.435, 2012] Anvisning 472.435 "*Passivhus i tre. Eksempler på detaljer for varmeisolering og tetting*", SINTEF Byggforsk, 2012
- [SINTEF Byggforsk 521.112, 2005] Anvisning 521.112 "*Golv på grunnen med ringmur. Varmeisolering, frostsikring og beregning av varmetap*", SINTEF Byggforsk, 2005
- [SINTEF Byggforsk 525.102, 2012] Anvisning 525.102, "*Isolerte skrå tretak med kombinert undertak og vindsperre*", SINTEF Byggforsk, 2012
- [SINTEF Byggforsk 552.455, 2011] Anvisning 552.455 "*Vannbaserte solfangere. Funksjon og energiutbytte*", SINTEF Byggforsk, 2011
- [SINTEF Byggforsk 573.121, 2003] Anvisning 573.121 "*Materialer til luft- og damptetting*", SINTEF Byggforsk, 2003
- [Skogstad og Asphaug, 2012] Skogstad, H B og Asphaug, O., Prosjektrapport 88 "*Tetteløsninger rundt vindu-regntetthet*", SINTEF Byggforsk, 2012
- [TEK10, 2010] Kommunal- og regionaldepartementet, "*Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*", 2010

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

