

# Kostnader for nye småhus til høyere energistandard



Bygningskropp

TEK10-FR

TEK10-R16

PH

Alt-1  
Tiltaksliste

Alt-2  
Rammekrav

Alt-1  
Tiltaksliste

Alt-2  
Rammekrav

Alt-1  
Vestlandet

Alt-2  
Østlandet



SINTEF Fag

Kristian Stenerud Skeie, Anne Gunnarshaug Lien, Anna Svensson og Inger Andresen

# **Kostnader for nye småhus til høyere energistandard**

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 37

Kristian Stenerud Skeie, Anne Gunnørshaug Lien, Anna Svensson og Inger Andresen  
**Kostnader for nye småhus til høyere energistandard**

Emneord: merkostnader, passivhusnivå, TEK10, rammekrav, tiltaksliste, nye krav, kostnadsberegninger, energieffektivitetskrav

Prosjektnummer: 102000176

ISSN 1894-1583

ISBN 978-82-536-1525-7

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2016

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.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Byggforsk

Forskningsveien 3 B

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 73 59 30 00

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

[www.sintefbok.no](http://www.sintefbok.no)

## Sammendrag

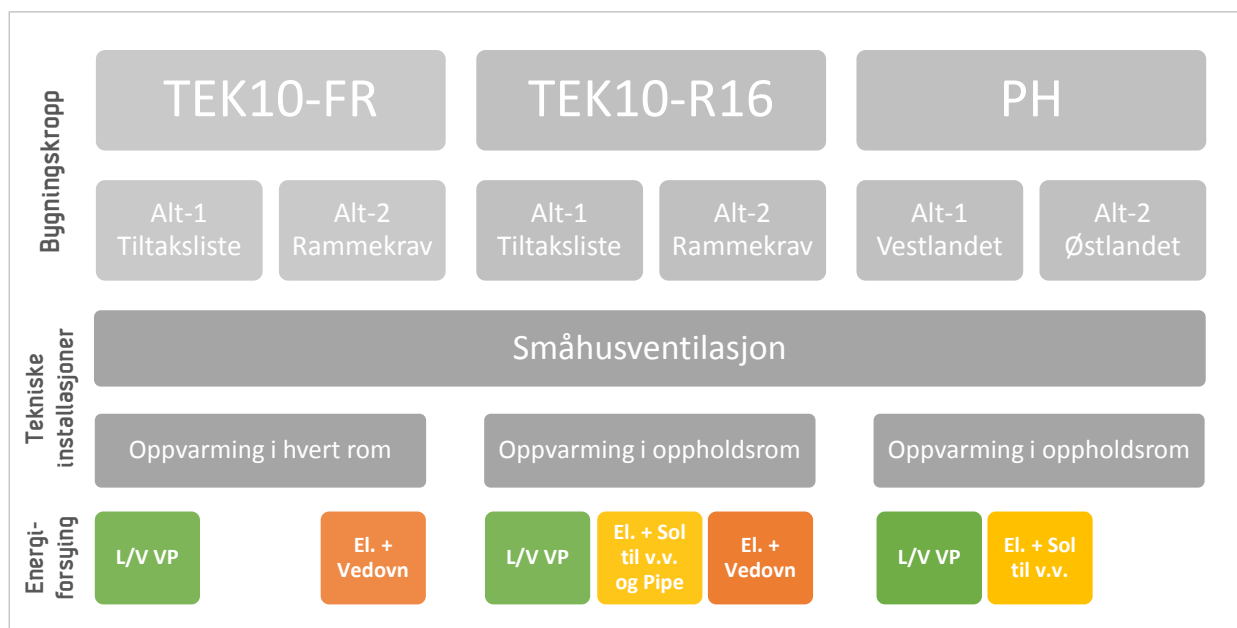
I studien som denne rapporten sammenfatter, har vi undersøkt hvor mye det koster å bygge én hustype i seks ulike varianter:

- to hus bygd i tråd med de tidligere energikravene i byggt teknisk forskrift (TEK 10), her kalt TEK10-FR
- to hus bygd etter de nye energikravene i TEK 10, her kalt TEK10-R16
- to hus bygd i tråd med standarden for passivhusboliger (NS 3700), her kalt PH

Hustypen som er brukt til kostnadsberegningene, har et oppvarmet bruksareal (BRA) på 130 m<sup>2</sup>. Det er en liten, arealeffektiv enebolig hvor ytterflatene er relativt store i forhold til gulvarealet. Et kostnadsgrunnlag er utarbeidet basert på ulike løsninger for bygningskropp og energiforsyning. Bruksarealet er det samme for alle beregningene og gir likt salgbart areal for alle variantene selv om tykkelsen på ytterveggene varierer. Kostnader for ventilasjons- og energiforsyningsløsninger er innhentet fra leverandører.

Etter TEK10 (før og etter revisjonen i 2016) kan kravet til energieffektivitet tilfredsstilles enten med tiltaksmetoden (tiltaksliste) eller med rammekravmetoden. Det reviderte forskriftskapittelet åpner opp for at kravet til energiforsyning kan nås med skorstein, eller med vannbåret varme i stue eller tilsvarende rom. Hvis oppvarmingsbehovet er innenfor kravet i passivhusstandarden, bortfaller kravet til energiforsyning. De ulike kombinasjonene som det er regnet på, er illustrert i figur 1. Hovedforskjellen mellom alternativ 1 (tiltaksliste) og 2 (rammekrav) er veggtykkelsen. Veggtykkelsen er redusert med rammekravmetoden fordi det gir den mest kostnadseffektive løsningen totalt sett.

Merkostnadene er delt mellom materialer og arbeidskostnader. Antall arbeidstimer brukt i kalkylene til oppføring av bygningskroppen, er vist, og hvordan størrelsesforholdet endres med de ulike nivåene.



Figur 1 – Illustrasjon av alternativer som er vurdert i studien for å oppnå energikravene i TEK 10 før revisjon (TEK10-FR), etter revisjon 2016 (TEK10-R16) og passivhusnivå etter Norsk Standard 3700 (PH). Forkortelsen L/V VP står for luft/vann varmepumpe. Sol betyr solfanger til oppvaring av varmtvann (v.v.).

English: Illustration of calculated solution sets to meet the energy requirements in the Norwegian building code (TEK 10) before (TEK10-FR) and after 2016 revision (TEK10-R16), and alternatives to meet the Norwegian passive house standard (NS 3700).

Resultatene viser at de største variasjonene gjelder kostnader for tykkere yttervegger. Merkostnaden for bygningskroppen er beregnet til 1 100–1 500 kr/m<sup>2</sup> for passivhusnivå og til ca. 320 kr/m<sup>2</sup> for TEK10-R16-nivå dersom man deler de beregnede merkostnadene på gulvarealet (130 m<sup>2</sup> BRA). Sammenlignet med tidligere studier fra de siste fire årene, er merkostnadene for passivhusnivå ca. 100–500 kr/m<sup>2</sup> høyere i våre beregninger. Variasjonene i resultatene kan delvis forklares med ulike forutsetninger. De beregnede merkostnadene ved å bygge denne hustypen etter de reviderte energiforskriftene er i samme størrelsesorden som i utredningene utført av bl.a. Rambøll (Smits, 2013) og Multiconsult (Almås 2012, 2014) for DiBK i perioden 2012–2015.

Det er store variasjoner i innhentede pristilbud på oppvarmingsløsninger. Siden boligen er en arealeffektiv enebolig med tre til fire soverom, vil det være avgjørende for lønnsomheten å dimensjonere varmesystem etter beregnet oppvarmingsbehov og forventet varmtvannsforbruk. Resultatene viser at forenklet vannbåret system med oppvarming kun i noen rom, kan være besparende.

Et viktig resultat er at ifølge beregningene betyr oppbyggingen av ytterveggen mest for kostnadene. Det kan tyde på at det er et potensial for å redusere kostnadene ved gjennomtenkt utforming av ytterveggene. De mest kostnadseffektive TEK10-variantene (Alt-2 i figur 1) som er beregnet, synligjør også at kostnadene kan bli lavest ved bruke av rammekravmetoden, ved å omfordele U-verdier mellom tak, vegg, vindu og gulv, samt ved å optimalisere vindusarealet. I TEK10-FR var det rom for omfordeling, mens for nivået etter TEK10-R16 gir rammekravmetoden mest spillerom. Å følge tiltakslista vil imidlertid gi en mer energieffektiv bygningskropp.

## English Summary

This report examines how much it costs to build one house type in six different configurations:

- two variants built in line with the previous energy requirements in the Norwegian building regulations (TEK 10-FR)
- two variants built to the new energy requirements of TEK 10 (TEK10-R16)
- two variants built in line with the standard for passive houses, NS 3700 (PH)

The house used for cost calculations has a heated floor space (BRA) of 130 m<sup>2</sup>. This is a small, area efficient detached house where the building envelope is relatively large in relation to the floor area. The cost basis is compiled based on different building envelope solutions and heating systems. The usable floor area is the same for all the calculations and provides a fixed sellable area. Costs for ventilation and energy supply systems are obtained from suppliers.

In the regulations on technical requirements for building works TEK10 (before and after revision) the requirements for energy efficiency are met either by adhering to a list of energy measures, or by calculating the total net energy need of the building and documenting that it falls within the energy budget stipulated in the building code. The revised energy chapter in TEK10 allows houses to comply either by installing a chimney (a stove is not required), or by applying hydronic heating in the living

room or equivalent room. This energy supply requirement does not apply if the heating demand is within the requirement of the passive house standard. The different combinations investigated are illustrated in Figure 1. The main difference between option 1 and 2 is that the wall thickness is reduced in an attempt to put together the most cost-effective packages that complies with the total net energy need requirement.

The additional costs are shown differentiated between materials and labour costs. Stipulated hours used in the calculations for the construction of the building shell are shown, and how the aspect ratio changes with the different ambition levels.

The results show that the major variations in terms of increased costs are attributed to thicker exterior walls. The additional cost for the building envelope is estimated to 1 100–1 500 NOK/m<sup>2</sup> for passive house level and to about 320 NOK/m<sup>2</sup> for revised TEK10-R16 level if you normalize the estimated additional cost of the floor area (130 m<sup>2</sup> BRA). Compared with previous studies from the past four years, the additional costs for passive house level are ca. 100–500 NOK/m<sup>2</sup> higher in our calculations. The variations in results can be partly explained by different assumptions. The estimated additional cost to construct this house type with the revised energy codes falls in the same range as in the studies conducted by Rambøll (Smits, 2013) and Multiconsult (Almås 2012, 2014) for DiBK in the period 2012–2015.

There are large variations between the collected estimates of heating systems. Because the object is a space efficient detached house with three to four bedrooms, it will be crucial for the profitability to dimension the heating system based on the calculated heating needs and anticipated hot water consumption. According to the results a simplified hydronic system with heat dissipation only in some central rooms, can be effective.

The primary conclusion from the calculations is the high cost due to construction of the external walls. This indicates that there is a potential for reducing the cost by a well-planned design and construction of the external walls. The most cost-effective TEK10 variants (Alt-2 in Figure 1) which are calculated in this study also visualize that costs can be minimized by redistributing U-values between ceiling, wall, window and floor, as well as optimizing the window placement. TEK10 before revision of the energy chapter had more room for redistribution within the list of energy efficiency measures. To follow the revised measures, however, results in a more energy efficient building envelope.

## Innhold

Forord .....	7
1 Innledning .....	8
1.1 Vurdere lønnsomhet av å bygge med høyere energistandard .....	8
1.2 Behov for kunnskap om kostnader ved høyere energikrav for småhus .....	9
1.3 Tidligere rapporter om kostnader for energieffektive boliger .....	9
1.4 Om prisbegreper .....	10
2 Innhentning av kostnadsdata og beregning av merkostnader .....	11
2.1 Kataloghuset som ble brukt i beregningene .....	11
2.2 Kostnadsunderlag .....	11
3 Beskrivelse av løsninger og konsepter .....	13
3.1 Beregnede løsninger for bygningskroppen .....	13
3.2 Valgte løsninger for energiforsyning .....	16
4 Kostnadene til bygningskroppen .....	20
4.1 Bygningsdelene som er påvirket .....	20
4.2 Beskrivelse av hver bygningsdel .....	22
4.3 Kalkulerte arbeidstimer .....	25
4.4 Merkostnader for berørte bygningsdeler .....	27
4.5 Indirekte merkostnader for andre bygningsdeler .....	28
5 Kostnader for energiforsyning .....	29
6 Lønnsomhetsberegninger – forenklet tilbakebetalingstid .....	30
7 Diskusjon og sammenligning med andre studier .....	31
7.1 Ytterveggen betyr mest .....	31
7.2 Sammenligning med oppdragsrapporter for reviderte energikrav i 2015 .....	31
7.3 Sammenligning med oppdragsrapporter for utredning av passivhusnivå .....	32
7.4 Flere aspekter som har betydning for kostnader .....	33
8 Litteraturliste .....	36



## Forord

Prosjektet er støttet av Husbanken (Kompetansetilskudd) og midler fra forskningsprosjektet EBLE.

Om EBLE:

EBLE – **E**valuering av **B**oliger med **L**avt **E**nergibehov – er et norsk forskningsprosjekt hvor målet er å øke kunnskapen om boliger på passivhus- og nesten nullenerginivå gjennom en omfattende evaluering av pilotprosjekter.

EBLE er eid av Lavenergiprogrammet og finansiert av Norges Forskningsråd, Enova, og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK). I tillegg involverer prosjektet en rekke partnere fra byggeindustrien i Norge: SKANSKA, Fjogstad-Hus, Jadarhus, Block Watne, OBOS, Veidekke, Mesterhus, Heimdal Bolig og Boligprodusentenes Forening. SINTEF Byggforsk har prosjektledelse og er ansvarlig for forskningsarbeidet.

# 1 Innledning

## 1.1 Vurdere lønnsomhet av å bygge med høyere energistandard

Skjerping av byggeforskriftenes krav til energistandard for nye bygg gir redusert energibruk, samtidig som det fører til at kostnader ved oppføring av nye bygninger øker. Vi sparer noe, men må betale mer i forkant. Energistandarden for nye hus i Norge er forholdsvis høy sammenlignet med andre europeiske land. Hvorvidt ytterligere forbedringer er lønnsomt, vurderes av både myndighetene og byggenæringen. Myndighetene har ansvar for å redusere energibruk og klimagassutslipp. De skal også sørge for at vi bygger nok boliger og yrkesbygninger til en overkommelig pris. Byggenæringen må levere bygg til en overkommelig pris og samtidig sikre en lønnsom næringsvirksomhet.

Energikravene i TEK10 er skjerpet fra 01.01.2016 med ett års overgangsordning. Utarbeidingen av denne rapporten er for en stor del gjennomført før nye energikrav ble offentliggjort som en revisjon av TEK10. I høringsforslaget til endringen var tiltaksmodellen foreslått fjernet, men ble likevel videreført for boliger. I tillegg ble innstramningene på energirammene mindre enn først foreslått.

I denne rapporten omtales to stadier for Byggeteknisk forskrift:

1. Byggeteknisk forskrift før siste revisjon (TEK10-FR)
2. Byggeteknisk forskrift etter revisjonen som gjelder fra 1.1.2016 (TEK10-R16)

I TEK10-R16 er hele kapittel 14 Energi revidert og består nå av §§ 14-1–14-5. Energikravene gjelder fra 1. januar 2016, med ett års overgangstid. Det betyr at det fram til 1. januar 2017 kan prosjekteres etter energikravene som gjaldt fram til 1. januar 2016.

Skjerpede energikrav i høringsforslaget til revidert energikapittel i TEK10 skulle imøtekomme ambisjoner om passivhusnivå passivhusnivå som vedtatt i klimaforliket i 2012. Målet med denne rapporten har vært å vise kostnadskonsekvensene av revidert TEK10 og ytterligere skjerping til passivhusstandard som definert i NS 3700. Kostnadene ved å bygge nye småhus med høyere energistandard enn å bygge etter kravene i TEK10 før revisjon (TEK 10-FR), er beregnet og vurdert i forhold til energibesparelsen som oppnås.

Potensialet for energisparing er større ved renovering og oppgradering av eksisterende småhus til samme standard som nye hus enn ved ytterligere skjerping av energikravene for nye hus. Varmetapstallet<sup>1</sup> for en typisk bolig fra 1960 er ca. 2,0 W/(m<sup>2</sup>K) uten varmegjenvinning av ventilasjonslufta. For en bolig bygd etter TEK10-FR er varmetapstallet rundt 0,85 W/(m<sup>2</sup>K), og for en bolig bygd etter TEK10-R16 er det omtrent 0,72 W/(m<sup>2</sup>K). Kostnadene for å oppgradere eksisterende småhus til samme standard som nye småhus skal beregnes og vurderes ut fra energibesparelsen i forskningsprosjektet SEOPP. Prosjektet avsluttes i 2016 ([www.seopp.net](http://www.seopp.net)). Selv om mål for energibruk for nye boliger og mål for energibruk i eksisterende boligmasse innebærer ulike problemstillinger, er det gode grunner til å se energibruk i nye og eksisterende boliger i sammenheng. Først og fremst

---

<sup>1</sup> Varmetapstallet er bygningens samlede varmetap i Watt ved én grads temperaturskjell delt på oppvarmet bruksareal. Varmetapstallet som er henvisning til inkluderer ventilasjonsvarmetap i tillegg til varmetap gjennom bygningsdeler som følge av transmisjonstap og luftlekkasjer i bygningskroppen.

gjelder det "to graders-målet" og spørsmålet om hvor det er samfunnsøkonomisk mest lønnsomt å redusere CO<sub>2</sub>-utslipp fra byggesektoren. I tillegg vil tekniske løsninger for å oppnå høyere energistandard for nye boliger også virke inn på hvilke løsninger som velges ved oppgradering av eldre boliger: Mange aktører i boligbransjen opererer både i nybygg- og rehabiliteringssegmentet.

## **1.2 Behov for kunnskap om kostnader ved høyere energikrav for småhus**

Høringsutkastet til revidert TEK10 ble sendt ut 16. februar 2015 med høringsfrist 18. mai 2015. Mer enn 200 høringssvar ble gitt. Forventninger til kostnadene er kommentert i mange av svarene. Innspillene fra Boligprodusentene var bl.a. at de foreslåtte kravene ville føre til økninger i byggekostnadene som verken er samfunnsøkonomisk eller privatøkonomisk lønnsomme, og at kravene ville gi lavere energibesparelser enn det DiBK hadde kommet fram til.

I forbindelse med utarbeiding av nye energinivåer i TEK10, er det gjennomført tre utredninger med betraktninger omkring kostnadseffektivitet av foreslåtte løsninger (Almås 2012), (Smits 2013) og (Almås 2014). De tre rapportene har delvis blitt kritisert av Boligprodusentenes forening med hensyn til kostnadsanslagene for småhus. Man har hevdet at kostnadene ikke er godt nok dokumentert og at lønnsomheten ikke er så god som det framstilles i rapportene (Boligprodusentenes Forening, 2013 og 2015).

På denne bakgrunn er det behov for en grundigere analyse av kostnader og lønnsomhet for ulike løsninger som tilfredstiller høyere energikrav for småhus. Hensikten er å peke på hva som skal til for å oppnå lønnsom utførelse og for å oppnå ønsket nivå for energiytelsen.

## **1.3 Tidligere rapporter om kostnader for energieffektive boliger**

Rapporten *Kostnadsoptimalitet Energiregler i TEK* (Almås 2012) er skrevet av SINTEF Byggforsk og Multiconsult på oppdrag fra DiBK. Rapporten omhandler både oppgradering av eksisterende bygninger og oppføring av nybygg. I 2013 kom rapporten *Energiregler 2015. Forslag til endringer i TEK for nybygg* (Smits 2013), utarbeidet av Rambøll på oppdrag av DiBK. Her er det for en stor del tatt utgangspunkt i kostnadstall fra (Almås 2012), men gjort noen bredere analyser av privatøkonomisk og samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Det er også gjort en liten studie på småhus, som er referert i vedlegget, men datagrunnlaget er begrenset. I rapporten *Konsekvensvurdering Energiregler 2015* (Almås 2014) har Multiconsult på oppdrag fra DiBK gjennomført økonomiske konsekvensutredninger av forslag forventet i 2015 til nye energikrav for bygninger, der det er regnet på lønnsomheten for ulike energiltak.

En annen aktuell rapport er *Hva betyr kvalitetskrav for byggekostnader og boligtilbud?* (Kvinge 2012), bestilt fra Husbanken. Problemstillingen er kostnader ved økte krav til universell utforming og energistandard. I rapporten beskrives sammenhenger mellom myndighetsbestemte kvalitetskrav til boliger, byggekostnader, fortjeneste, boligpriser og boligtilbud. Kostnadene er basert på offentlig statistikk fra perioden 2000 til 2011.

#### 1.4 Om prisbegreper

I diskusjoner om kostnader er det nødvendig å spesifisere hvilke prisbegreper som brukes. Figur 2 viser hvilke kostnader som er inkludert i begrepene byggekostnad, produsentpris, byggherrekostnad og salgspris. I (Kvinge 2012) er salgspriser brukt. I de andre rapportene som omtales ovenfor, er produsentprisen beregnet. Salgspris varierer med marked, boligstandard og tomtepriser. Markedspriser og tomtepriser varierer også mye mellom ulike deler av landet. I denne rapporten er produsentprisen brukt. Produsentprisen vil ha lokale variasjoner som følger markedet. Lokale variasjoner i lønnskostnader og andre kostnader må derfor vurderes i hvert enkelt prosjekt.

Prisbegreper i bygge- og anleggsvirksomheten			
Entreprenør	Boligprodusent / Utbygger / Byggherre		Boligeier
<b>Byggekostnad</b>	<b>Produsentpris</b>	<b>Byggherrekostnad</b>	<b>Salgspris</b>
Materialer			
Arbeidstimer			
Rigg og drift			
Fortjeneste	Prosjekterende, generelle kostnader		
	Tomt, utomhusarbeider		
		Salgskostnader	
		Fortjeneste	

Figur 2 – Prisbegreper i bygg- og anleggsvirksomheten, tilpasset etter kilde: Statistisk sentralbyrå (<http://www.ssb.no/bygg/prisbegrep.gif>)

## 2 Innhenting av kostnadsdata og beregning av merkostnader

### 2.1 Kataloghuset som ble brukt i beregningene

En modifisert utgave av konseptboligen Trend fra Norgeshus er brukt til kostnadsberegningene. Boligen har et oppvarmet bruksareal (BRA) på 130 m<sup>2</sup>. Boligen har i første etasje inngang, stue, kjøkken, kombinert bad og vaskerom og en bod. Andre etasje har tre til fire soverom og ett bad. Første etasje har livsløpsstandard med mulighet for å avdele et soverom i stuedelen. Eneboligen er liten, lang og smal, hvor ytterflatene er relativt store i forhold til arealet. Det gir konservative tall for bygningskroppen ut fra størrelsen på boligen. For større eneboliger og leilighetsbygg vil forholdet mellom yttervegg og gulvareal være annerledes, med mindre ytterveggsareal per kvadratmeter gulvareal. Både totalt varmetap og kostnader fordelt på kvadratmeter gulvflate blir høyt når ytterflatene er store i forhold til bruksarealet.



Figur 3 – Kataloghuset Trend fra Norgeshus, perspektivtegning og plantegninger

Bruksareal (BRA): 130 m<sup>2</sup>, bebygd areal (BYA) mellom: 73,8–81,3 m<sup>2</sup>

Utvendig bredde for bindingsverk: 5,9–6,4 m, utvendig lengde for bindingsverk: 12,1–12,7 m

### 2.2 Kostnadsunderlag

Kostnadsgrunnlaget er basert på ulike løsninger for bygningskropp og energiforsyning. Bruksarealet er det samme for alle beregningene og gir konstant salgbart areal. Carport, sportsbod, veranda, balkong og andre utendørsarbeider er ikke vurdert. Hustypen kan bygges på mange slags tomter. Huset er her antatt oppført på ferdig avrettet og drenert underlag. Merkostnadene ved større BYA-avtrykk er dermed ikke tatt med. Kataloghuset hadde i utgangspunktet mange vinduer, og et samlet dør- og vindusareal på over 25 % av bruksarealet. Vindusarealet er redusert fra 26 til 20 % av BRA. To vinduer på østfasaden og en av flere glassdører på sørfasaden ble tatt ut for å kunne oppfylle kravet i tiltakslista i TEK10-FR om 20 % vindusareal uten omfordeling. Kostnader for tapt areal (romtapskostnader) ved økt veggtykkelse er ikke beregnet.

Merkostnadene for bygningskroppen er beregnet av arkitekt- og ingeniørfirmaet Unikus AS. Kalkyleprogrammet Byggassistenten er brukt til kostnadsberegningene. Materialkostnader, vanlige fraktkostnader, arbeidstidskostnader, rabatter og fortjeneste er inkludert. I denne sammenligningen er priser hentet fra Mesterhus sine prisdata. Alle kostnader er oppgitt inkludert mva.

Kostnader for ventilasjons- og energiforsyningsløsninger er innhentet fra leverandører.

Lønnsomhetsanalyse – forenklet tilbakebetalingstid – for de ulike løsningene med forskjellige energisystemer er vist i kapittel 6.

### 3 Beskrivelse av løsninger og konsepter

#### 3.1 Beregnede løsninger for bygningskroppen

I TEK10 (før og etter revisjonen) kan kravet til energieffektivitet tilfredsstilles på to måter for boliger: ved å bruke henholdsvis tiltaksmetoden (med tiltaksliste) eller rammekravmetoden. Uavhengig av dokumentasjonsmåte er det gitt minstekrav til gjennomsnittlige U-verdier på klimaskjermens ulike deler og til bygningens lufttetthet. For tiltaksmetoden er det mulig å fravike kravene i tiltakslista ved å omfordele varmetap mellom komponentene, så lenge boligens varmetapstall ikke øker. For rammekravmetoden kan man benytte verdier for produkter og løsninger som er prosjektert (prosjekterte verdier). Rammekravet for kataloghuset Trend på 130 m<sup>2</sup> er 132 kWh/m<sup>2</sup> (120 + 1 600/BRA) etter TEK10-FR og 112 kWh/m<sup>2</sup> (100 + 1 600/BRA) etter TEK10-R16.

Energiberegninger og kostnadsberegninger er gjennomført for seks alternative utførelser av kataloghuset Trend, to på TEK10-FR nivå, to på TEK10-R16 nivå og to på passivhusnivå. For TEK10-nivåene er det gjennomført en beregning med tiltaksmetoden og en med rammekravmetoden. Hensikten har vært å vise hva konsekvensene kan bli for valg av løsninger og for kostnader når ytelsen til prosjekterte verdier er bedre enn verdiene i tiltakslista.

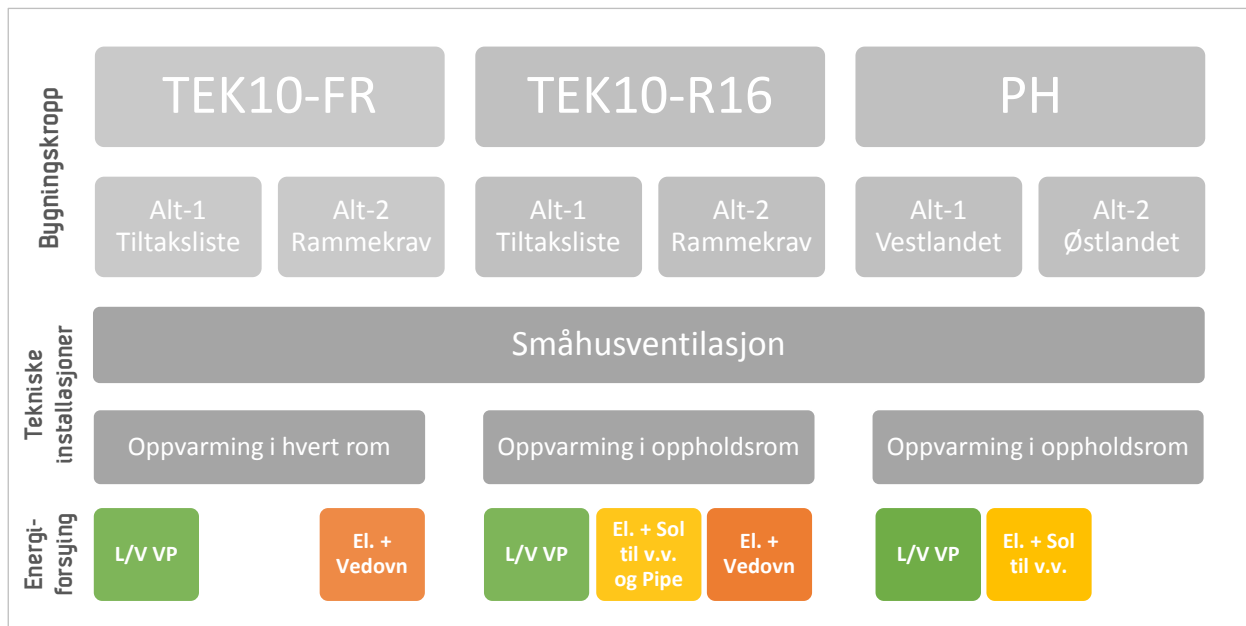
For TEK10-FR- og TEK10-R16-nivåene er en beregning (Alt-1) altså gjennomført med tiltaksmetoden og en (Alt-2) med rammekravmetoden.

- TEK10-FR er byggt teknisk forskrift før siste revisjon.
- TEK10-R16 er revidert byggt teknisk forskrift som gjelder fra 1.1.2016 med ett års overgangstid.
- Passivhus Vest er beregnet for Sandnes-klima og Passivhus Øst er beregnet for Oslo-klima.

TEK10-FR alternativ 1 er gjennomført med tiltaksmetoden, og verdiene fra tiltakslista er benyttet uten omfordeling. TEK10-FR alternativ 2 er gjennomført med rammekravmetoden, og det er benyttet prosjekterte verdier for vanlige utførelser for vinduer, lufttetthet, varmegjenvinning og spesifikk vifteeffekt (SFP). De prosjekterte verdiene fra ventilasjonsleverandører er betydelig bedre enn de som er å finne i tiltakslista, med varmegjenvinning på 89 % mot 70% i tiltakslista, og med SFP på 1,1 kW/(m<sup>3</sup>/s) mot 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s) i tiltakslista.

I høringsforslaget til revidert TEK10 var det foreslått innskjerpinger som skulle gi 26 % reduksjon av energibehovet. Forslag til rammekrav for småhus var 97 kWh/m<sup>2</sup>. Arealkorrigert for kataloghuset Trend blir det 99 kWh/m<sup>2</sup>. Tiltaksmetoden var foreslått fjernet. I den endelige forskriftsendringen ble tiltaksmetoden videreført for boliger, og rammekravet ble lagt på ca. 110 kWh/m<sup>2</sup> (100 + 1 600/BRA). For TEK10-R16Alt-1 har vi derfor valgt å basere oss på ytelsesnivåene som ligger til grunn for rammekravet i høringsforslaget, men moderert det til å følge ytelsene i tiltakslista i TEK10-R16. Det innebærer forbedring av eneboligens luftlekkasjetall, SFP og temperaturvirkningsgrad for ventilasjonssystemet, overgang i fra tolags til trelags vinduer og økt isolasjonstykkelsen i gulvet. Kravnivået i TEK10-R16 legger også opp til at vindusarealet kan økes opp til 25 % av BRA uten å omfordele varmetap, og en kuldebroverdi på maks 0,05 W/(m<sup>2</sup>K). For TEK10-R16 alternativ 2 er prosjekterte verdier for ventilasjonssystemet valgt. Verdiene er litt bedre enn de som ligger til grunn i tiltakslista før revisjon, med varmegjenvinning på 89 % mot 80 %, og med SFP på 1,1 kW/(m<sup>3</sup>/s) mot 1,5

kW/(m<sup>3</sup>/s) i den reviderte tiltakslista. Veggykkelsen som tilfredsstiller minstekravet med U-verdi 0,22 (200 mm isolasjon), er valgt. Se oversikt over ytelser for de seks utførelsene i tabell 1 og figur 4.



Figur 4 – Illustrasjon av løsningsalternativer som er vurdert i studien for å oppnå energikravene i TEK10 før revisjon (TEK10-FR), etter revisjon 2016 (TEK10-R16) og i Norsk Standard 3700 for passivhus.

Ved å utføre en energiberegning med prosjekterte verdier er veggykkelsen redusert både for TEK10-FR alternativ 2 og for TEK10-R16 alternativ 2 til minstekravet, med U-verdi 0,22 W/(m<sup>2</sup>K) uten å havne utenfor rammekravet til netto energibehov<sup>2</sup>.

I TEK10-R16 er minstekravene for isolasjon i tak og vegg uendret, mens minstekravet for vinduer er endret fra 1,6 til 1,2 W/(m<sup>2</sup>K). Minstekravene gjelder gjennomsnitt for bygningsdelen. Det betyr at en fortsatt for eksempel kan ha takvinduer eller små vinduer med høyere U-verdi enn 1,2 W/(m<sup>2</sup>K), så lenge minstekravet oppfylles i gjennomsnitt for hele huset.

Kataloghuset Trend hadde i utgangspunktet mange vinduer, og et samlet dør- og vindusareal på over 25 % av bruksarealet. To vinduer på østfasaden og en av flere glassdører på sørfasaden ble tatt ut for å kunne oppfylle kravet i tiltakslista i TEK10-FR uten omfordeling. Å redusere glass- og vindusandelen til 20 % gjør det mulig å komme i mål med kravene i standarden for passivhus uten å øke isolasjonstykkelsene betydelig. Det bidrar til en mer realistisk kravspesifikasjon for passivhus, med arbeids- og materialkostnader for hus som faktisk kan komme til å bli bygd.

I Norge er boligbygninger utført som passivhus definert i NS 3700, mens passivhusutførelse for yrkesbygninger er definert i NS 3701. Passivhus har ekstra varmeisolasjon, ekstra god lufttetthet og varmegjenvinning for å redusere energibehovet. Det overordnede kravet i passivhusstandarden er kravet til netto energibehov til oppvarming beregnet for lokalt klima (summen av romoppvarmings- og

<sup>2</sup> Ofte kan man oppnå det samme med energitiltaksmetoden i TEK10 gjennom omfordeling av varmetapsbudsjettet, men en forbedring av SFP vil ikke ha noen effekt på varmetapstallet. For å få gevinst med lavere SFP må energirammemetoden benyttes.



ventilasjonsvarmebehov per BRA). Passivhusstandarden stiller et minimumskrav til varmetapstallet (transmisjons- og infiltrasjonstap per BRA). Det stilles også minimumskrav til enkelte bygningsdeler. I tillegg er det krav til hvor stor andel av varmebehovet som skal dekkes med annen energiforsyning enn elektrisitet og fossile brensler.

For beregningen av Passivhus alternativ 1 (PH-VEST) er det valgt ytelse på bygningskroppen som oppfyller passivhusnivå i Sandnes-klima. Passivhus alternativ 2 (PH-ØST) oppfyller passivhusnivå i Oslo-klima. Forskjellen er økt isolasjonstykkelse i yttervegg og på kaldt loft.

Tabell 1 – Kravspesifikasjon for bygningskroppen til eneboligen ved tre ulike ambisjonsnivåer<sup>3</sup>.

		TEK10-FR Alt-1	TEK10-FR Alt-2	TEK10-R16 Alt-1	TEK10-R16 Alt-2	PH-VEST Alt-1	PH-ØST Alt-2	
Yttervegg	U-verdi	0,17	0,21	0,17	0,21	0,124	0,106	W/(m <sup>2</sup> K)
	Beskrivelse	Isolasjon 200+48mm. Bindingsverk av heltre, isolasjon med λ 35.	Isolasjon 200mm. Bindingsverk av heltre, isolasjon med λ 35.	Isolasjon 200+48mm. Bindingsverk av heltre, isolasjon med λ 35.	Isolasjon 200mm. Bindingsverk av heltre, isolasjon med λ 35.	Isolasjon 300+48mm, λ 35, I-profil og 48mm innvendig påføring.	Isolasjon 350+48mm, λ 35. I-profil og 48mm innvendig påføring.	
Yttertak	U-verdi	0,13 (0,125)	0,13 (0,125)	0,13 (0,125)	0,13 (0,125)	0,11 (0,106)	0,10 (0,097)	W/(m <sup>2</sup> K)
	Beskrivelse	Isolasjon 300mm, λ 35. Himling mot kaldt loft. I-bjelke.	Isolasjon 300mm, λ 35. Himling mot kaldt loft. I-bjelke.	Isolasjon 300mm, λ 35. Himling mot kaldt loft. I-bjelke.	Isolasjon 300mm, λ 35. Himling mot kaldt loft. I-bjelke.	Isolasjon 350mm, λ 35. Himling mot kaldt loft. I-bjelke.	Isolasjon 400mm, λ 35. Himling mot kaldt loft. I-bjelke.	
Gulv	U-verdi	0,183 (0,154)	0,183 (0,154)	0,114 (0,102)	0,114 (0,102)	0,114 (0,102)	0,114 (0,102)	W/(m <sup>2</sup> K)
	Beskrivelse	Gulv på grunn. Isolasjon 200mm EPS, λ 38. Betongplate 80mm Ekv. U-verdi 0,15	Gulv på grunn. Isolasjon 200mm EPS, λ 38. Betongplate 80mm Ekv. U-verdi 0,15	Gulv på grunn. Isolasjon 350mm EPS, λ 38. Betongplate 80mm Ekv. U-verdi 0,10	Gulv på grunn. Isolasjon 350mm EPS, λ 38. Betongplate 80mm Ekv. U-verdi 0,10	Gulv på grunn. Isolasjon 350mm EPS, λ 38. Betongplate 80 Ekv. U-verdi 0,10	Gulv på grunn. Isolasjon 350mm EPS, λ 38. Betongplate 80mm Ekv. U-verdi 0,10	
Vinduer & ytterdører	U-verdi	1,2	1,2	0,80	0,75	0,75	0,75	W/(m <sup>2</sup> K)
	Glass lustr. / solfaktor	80/63	80/63	72/51	72/51	72/51	72/51	LT% / g%
Kuldebro-verdi	Normalisert per BRA	0,03	0,05	0,05	0,05	0,028	0,028	W/(m <sup>2</sup> K)
Lufttetthet	Lekkasjetall	2,5	1,5	0,6	1,0	0,6	0,6	h <sup>-1</sup>
Varme-gjenvinner	Temp.virk.	70 %	89 %	80 %	89 %	89 %	89 %	
Spes. vifteeffekt	SFP-faktor	2,5	1,1	1,5	1,1	1,1	1,1	kW/(m <sup>3</sup> /s)

<sup>3</sup> PH Alt-1 er spesifisert for å oppnå kravene i NS-3700 til passivhus i Sandnes-klima (BKS Sola\_v140821.epw TEK-sjekk klimafil), mens PH Alt-2 er spesifisert for å oppnå passivhuskriteriene i Oslo (årsmiddeltemperatur for Oslo i NS-3031 normalklimafil). Med BKS Blindern\_v140821.epw TEK-sjekk klimafil ville PH Alt-1 være innenfor kravet til oppvarmingsbehov i Oslo-klima, pga. mildere vintre og en høyere årsmiddeltemperatur på 6,8°C grader i perioden 1992–2014 mot 6,3°C i NS-3031 normalklimafil som brukes i evaluering mot TEK.

Netto energibehov er beregnet med TEK-sjekk<sup>4</sup>, og resultatene presenteres per kvadratmeter oppvarmet areal og totalt for boligen. Tabellen viser at TEK-versjonene overoppfyller rammekravet noe (vindusarealet kunne vært større). I TEK10-R16 Alt-1 som følger tiltakslista, kan summen av vindus- og ytterdørareal være inntil 25 % av BRA.

Tabell 2 – Netto energibehov for hvert ytelsesnivå

		TEK10-FR Alt-1	TEK10-FR Alt-2	TEK10-R16 Alt-1	TEK10-R16 Alt-2	PH-VEST Alt-1	PH-ØST Alt-2	
<b>Klimasted</b>		Oslo	Oslo	Oslo	Oslo	Sandnes	Oslo	
<b>Spes. Netto energibehov</b>	Romoppv.	50,2	53,0	33,0	39,4	14,0	20,9	kWh/m <sup>2</sup>
	Vent.oppv.	10,0	2,0	5,4	1,9	0,6	1,6	kWh/m <sup>2</sup>
	V.vann	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	kWh/m <sup>2</sup>
	El. spes.	38,4	33,3	34,6	33,2	33,0	33,1	kWh/m <sup>2</sup>
	<b>Total</b>	<b>128</b>	<b>118</b>	<b>103</b>	<b>104</b>	77	85	kWh/m <sup>2</sup>
<b>Krav til energieffektivitet</b>		≤ 132	≤ 132	≤ 112	≤ 112	≤ 22 til oppv.behov	≤ 22 til oppv.behov	kWh/m <sup>2</sup>
<b>Netto energibehov</b>	Romoppv.	6 494	6 853	4 267	5 102	1 808	2 714	kWh
	Vent.oppv.	1 291	258	702	243	75	204	kWh
	V.vann	3 854	3 854	3 854	3 854	3 854	3 866	kWh
	El. spes.	4 969	4 304	4 480	4 295	4 275	4 293	kWh
	<b>Total</b>	<b>16 607</b>	<b>15 269</b>	<b>13 302</b>	<b>13 494</b>	<b>10 011</b>	<b>11 077</b>	kWh

### 3.2 Valgte løsninger for energiforsyning

Oppvarmingssystemet må utformes for å gi god komfort over flere kalde dager, uten betydelig varmetilførsel fra internlaster og soltilskudd. Ved fastsetting av dimensjonerende effektbehov brukes stedets gjennomsnittlige laveste utetemperatur i 3 dager de siste 30 årene. For Oslo betyr det en dimensjonerende utetemperatur (DUT) på -20 grader over en tredagers periode<sup>5</sup>, hvor oppvarmingssystemet bør kunne levere komfortabel temperatur konstant over lengre tid (stasjonære forhold). Dette er i praksis en situasjon som oppstår sjelden og gir en konservativ beregning av effektbehov.

Dimensjonerende effektbehov er vist i tabell 3. Tabellen viser både den vanlige beregningen av maksimal effekt til oppvarming ved DUT (Manuell beregning), og en dynamisk timesberegning med internlaster (TEK-sjekk). Med nattsenkning, eller ved bruk av høyere innetemperaturen enn i standarden (21 grader), vil effektbehovet øke. Størstedelen av oppvarmingssesongen vil effektbehovet til romoppvarming begrenses til 5–15 W/m<sup>2</sup>. Internlaster står gjerne for 4–5 W/m<sup>2</sup> når boligen er i bruk. Det betyr at hvis oppvarmingssystemet og varmeavgivelsen til rom er dimensjonert for DUT, vil det likevel operere på betraktelig lavere effekt det meste av tiden. Avhengig av valget av oppvarmingssystem, brukes ulike måter for å dekke topplasten på de kaldeste dagene.

<sup>4</sup> TEK-sjekk v.150801, SINTEF Byggforsk Kunnskapssystemer (Schild 2015).

<sup>5</sup> DUT for Oslo over normalperioden 1971–2000. Ref. BKS 451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring.

Tabell 3 – Dimensjonerende og brutto effektbehov for hvert ytelsesnivå. Verdier markert med (\*) gjelder Sola, dT: 33 K (utetemperatur -12 grader og innetemperatur 21 grader). Forutsatt nattsenkning av innetemperatur er fra 21 grader om dagen til 19 grader om natta.

		TEK10-FR Alt-1	TEK10-FR Alt-2	TEK10-R16 Alt-1	TEK10R-16 Alt-2	PH-VEST Alt-1	PH-ØST Alt-2	
Manuell, DUT -21°C	Dim. varmetap	0,92	0,85	0,68	0,70	0,53	0,50	W/(m <sup>2</sup> K)
	Dimensjonerende effekt ved dT= 41K	38	35	28	29	22 (18*)	21	W/m <sup>2</sup>
Dynamisk, TEK-sjekk	Effekt romoppv.	26	27	18	18	(13*)	15	W/m <sup>2</sup>
	Med nattsenkning	38	38	30	30	(24*)	26	W/m <sup>2</sup>
	Effekt vent.oppv.	5	4	4	4	(2*)	4	W/m <sup>2</sup>
	Brutto effekt sum	31	31	22	22	15*	19	W/m <sup>2</sup>
Tillegg	Effekt v.vann	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	W/m <sup>2</sup>

I TEK10-R16 er kravet til energiforsyning i småhus dekket ved å ha skorstein som er tilrettelagt for montering av vedovn. Dersom man har vannbåret varme i stue eller tilsvarende rom (unntak for soverom, bad og rom med lavere temperatur), eller dersom man tilfredsstiller kravet til årlig netto oppvarmingsbehov i passivhusstandarden, så er også kravet til energiforsyning oppnådd.

Det betyr at kostnaden for å montere og klargjøre pipe må medregnes når solvarme for tappevann er valgt (se figur 37). I stedet kunne det vært montert vannbåret varme i stue eller tilsvarende rom koblet til varmtvannstanken for å tilfredsstille kravet til energiforsyning. Når bygningskroppen har passivhusutførelse (kravet til oppvarmingsbehov i NS3700 er tilfredsstilt), stilles det ikke krav til energiforsyning i den reviderte forskriften. Passivhusstandarden åpner opp for å bruke solvarme for tappevann uten at vannbåret romoppvarming eller skorstein må installeres i boligen. I alternativ c, basert på elektrisk oppvarming og lukket ildsted som dekker 20 % av romoppvarmingsbehovet, er det tatt med en tilleggskostnad for vedovn. Så lenge huset har skorstein som er tilrettelagt for montering av vedovn, så er imidlertid det reviderte kravet tilfredsstilt.

Detaljer for de tre energiløsningene som det er hentet inn kostnadstall for, er listet opp i tabell 4. Dekningsgraden for varmebehov (tappevann, romoppvarming og ventilasjonsvarme) er oppgitt for hvert alternativ. Den avhenger av beregnet oppvarmingsbehov for de ulike nivåene.

Tabell 4 – Energiforsyningsalternativer. Dekningsgraden varierer med beregnet oppvarmingsbehov. Alle de tre alternativene er beregnet med elektrisk ventilasjonsvarmebatteri som har 96 % systemvirkningsgrad.

	Alternativ a	Alternativ b	Alternativ c
Oppvarmingssystem	Vannbåret varme med ca. 4,5 kW luft-vann varmepumpe.	Solvarme for tappevann. Panelovner og el.kabler.	Lukket ildsted og el. oppv. Panelovner og el.kabler.
Systemfaktor	SCOP ~ 2,7 Romoppv. η 0,9021 Tappevann, 0,98	Romoppv. η 0,92 Tappevann (el.) η 0,98	Vedovn, η 0,6264 Romoppv. η 0,92 Tappevann, η 0,98
Dekningsgrad	Varmepumpe dekker 68-77% av varmebehov.	Solfanger dekker 59-64% av tappevann. 26-36% av varmebehov.	Vedovn dekker 20 % av romoppv. 10-13 % av varmebehov.

I utgangspunktet er huset prosjektert med elkabler i bad og hall og panelovner på til sammen 9 800 Watt (75 W/m<sup>2</sup>) i TEK10-FR-utførelse. For TEK10-R16 er antallet panelovner begrenset til sentralt

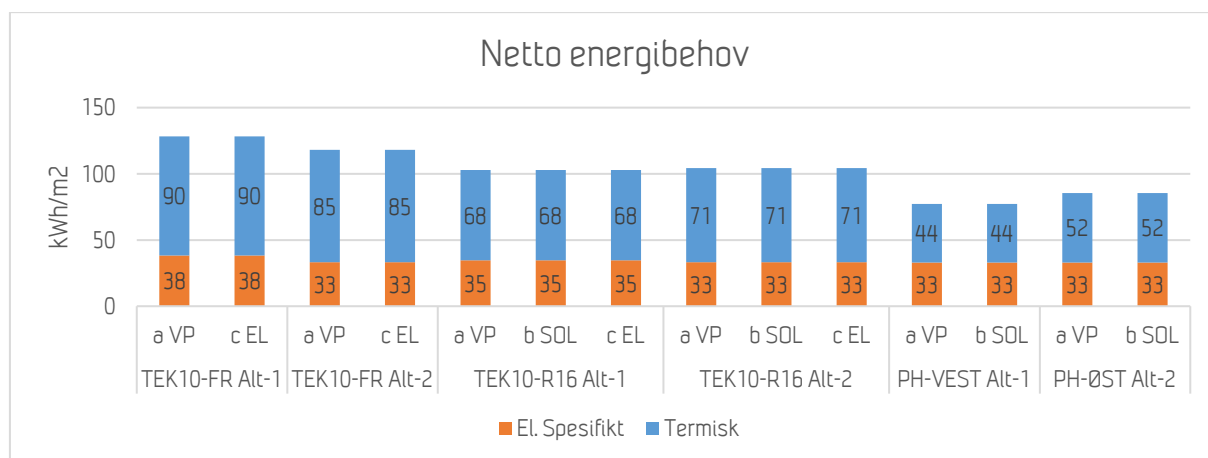
plasserte ovner i kjøkken og stue i hver etasje. For passivhusnivå er størrelsen på panelovnene redusert ut fra at passivhuset har enda lavere effektbehov, mens gulvvarme på to bad og vindfang er beholdt i alle alternativene. Det samme prinsippet er brukt i dimensjoneringen og innhenting av priser på vannbåret oppvarmingssystem (Tabell 5).

Tabell 5 – Levert energi til bygning beregnet for hvert energiytelsesnivå og energiforsyning

Energiforsyning	TEK10-FR				TEK10-R16						PH-VEST		PH-ØST		
	Alt 1a	Alt 1c	Alt 2a	Alt 2c	Alt 1a	Alt 1b	Alt 1c	Alt 2a	Alt 2b	Alt 2c	Alt 1a	Alt 1b	Alt 2a	Alt 2b	
Vannbåret varme med luft-vann VP	•		•		•			•			•		•		
Solvarme for tappevann og el. oppv.						•			•			•		•	
Skorstein		•		•		•	•		•	•					
Lukket ildsted og el. oppv.		•		•			•			•					
Levert energi, bygning	Alt 1		Alt 2		Alt 1			Alt 2			Alt 1		Alt 2		
Direktevirkende el.	69	123	56	111	55	87	99	52	89	100	43	61	46	68	kWh/m <sup>2</sup>
El. til VP & solenergi	23		24		18	1		20	1		12	1	15	1	kWh/m <sup>2</sup>
Biobrensel: Vedovn		16		18			11			13					kWh/m <sup>2</sup>
Total	91	139	80	129	73	88	110	72	90	113	55	62	61	69	kWh/m <sup>2</sup>

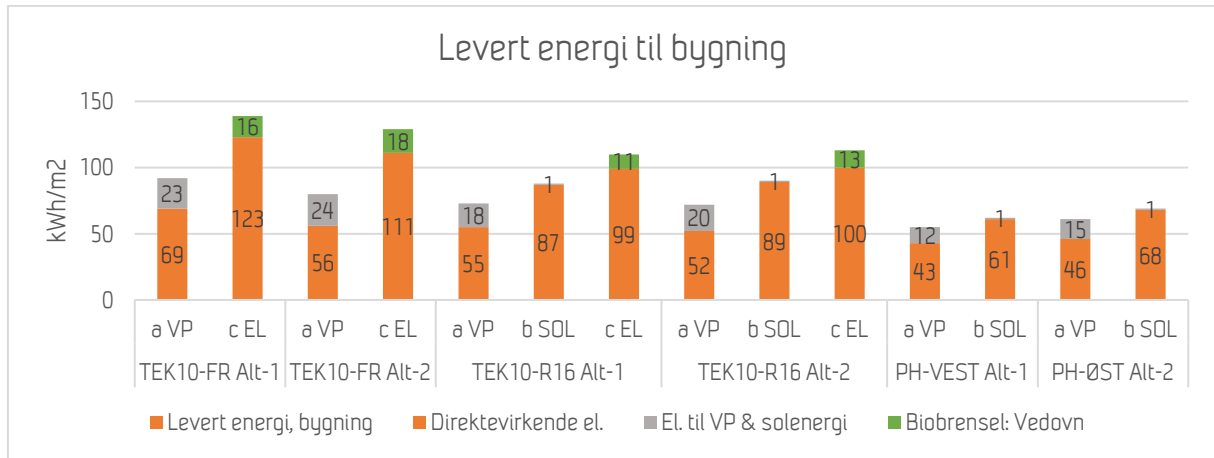
For TEK10-FR Alt-1, hvor energibehovet er beregnet etter verdiene i tiltaksmodellen, går det mer energi til oppvarming av tillufta. Det ekstra oppvarmingsbehovet dekkes av et elektrisk varmebatteri i beregningen. I beregninger med 80 % eller høyere virkningsgrad for varmegjenvinner, blir imidlertid energibehovet til ettervarming av ventilasjonslufta svært lite. Det vil påvirke resultatene, siden det ikke er regnet noen merkostnad for å forbedre varmegjenvinningsgraden fra 70 % i tiltakslista til ytelsen på 89 % som er gitt i prosjektet.

Figur 5 viser beregnet netto energibehov fordelt mellom termisk og el-spesifikt energibehov. Tallene er hentet fra tabell 2, hvor postene er beskrevet i større detalj.



Figur 5 – Sammenstilling av netto energibehov til bygningen. Variasjonen i el-spesifikt energibehov skyldes variasjoner i pumpe- og vifteenergi.

Figur 6 viser beregnet levert energi til boligen fra tabell 5.

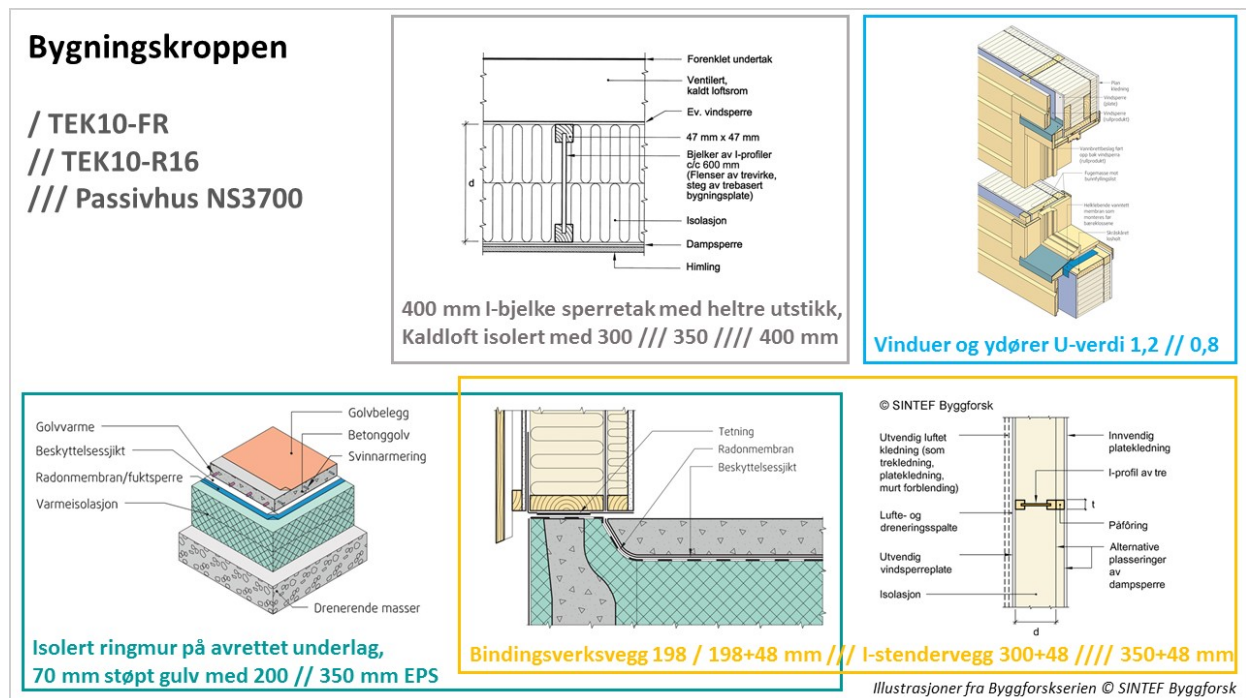


Figur 6 – Sammenstilling av levert energi til bygningen

## 4 Kostnadene til bygningskroppen

### 4.1 Bygningsdelene som er påvirket

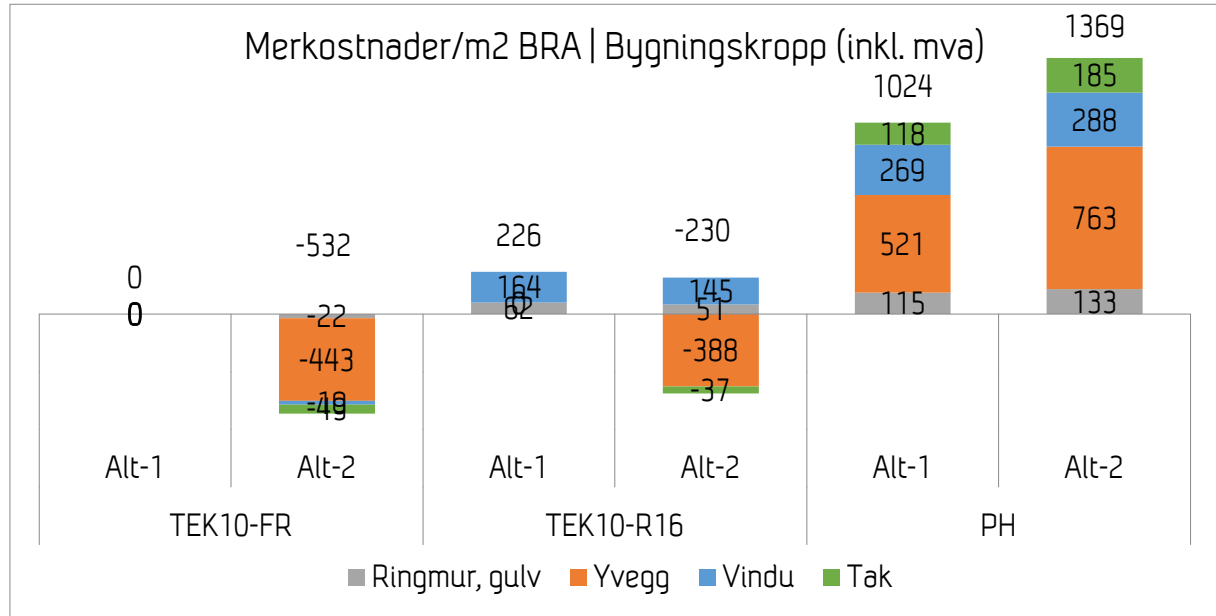
Over 75 % av den delen av byggekostnadene som er kalkulert i prosjektet omfatter selve bygningskroppen. Kostnadene for bygningskroppen er vist fordelt mellom arbeids- og materialkostnader for hver bygningsdel. Systemgrensen går på de bygningsdelene som har betydning for å oppnå energiambisjonsnivåene. En oversikt over oppbygging av bygningskroppen er illustrert i grove trekk i figur 7. Forskjellene i utførelse mellom nivåene er beskrevet i tabell 1 i kapittel 3.



Figur 7 – Illustrasjoner av berørte bygningsdeler. Veiledende illustrasjoner fra Byggeforskserien 523.701, 521.111, 471.401, 471.403 og 471.013.

Innvendige overflater som er medregnet, er sponplatekleddning i himling i begge etasjene, gulv i andre etasje og på innvendig side av ytterveggene. Arbeidskostnadene er justert med vanlige fraktkostnader, timelønner og øvrige påslag/reguleringer gitt at prosjektet skulle vært levert til en boligeier i Trondheimsregionen. Det er kun snekkertimer for selve bygningskroppen som er medregnet. Kostnader til materialbruk og arbeid med innvendige vegger, innerdører, våtromsoverflater og andre fag som elektriker og rørlegger, er ikke med i beregningen. Arbeid med å gjøre tomta byggeklar er heller ikke medregnet. Det er tatt utgangspunkt i at fundamentering av ringmur kan gjøres på avrettede drenerende masser.

I den samlede oversikten under er kostnadene for ventilasjonsanlegget ikke inkludert Figur 8. Det er ofte det samme ventilasjonssystemet som brukes i TEK10 og passivhus. Derfor har vi benyttet det samme tilbudet for komplett anlegg, inkludert montering og styresystem for alle beregningene.



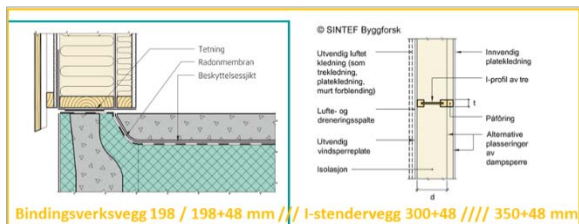
Figur 8 – Oppsummert merkostnad for bygningskroppen på hvert nivå sammenlignet med TEK10-FR Alt-1.

Ved endringer grunnet tykkere konstruksjoner vil bygget vokse noe i størrelse, og kostnadene endre seg tilsvarende. For alle alternativene er det valgt å beholde samme innvendige areal (m<sup>2</sup> BRA) og la utvendige mål variere etter de forskjellige alternativene. Det er her sett bort fra utebod og balkongløsning. Målene som er oppgitt i tabell 6, er bare for selve bygningskroppen.

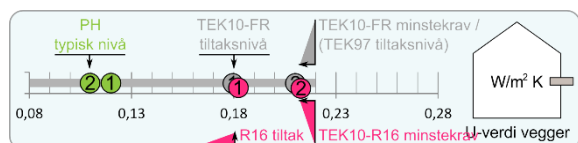
Tabell 6 – Størrelsesforhold for bygningskroppen på de ulike energiytelsesnivåene.

	Bruksareal (BRA)	Bebygd areal (BYA)
Enhet	BRA [m <sup>2</sup> ]	BYA[m <sup>2</sup> ]
TEK10-FR alt-1	129,8	75,6
TEK10-FR alt-2	129,8	73,8
TEK10-R16 alt-1	129,8	75,6
TEK10-R16 alt-2	129,8	73,2
PH-VEST alt-1	129,8	79,4
PH-ØST alt-2	129,8	81,3

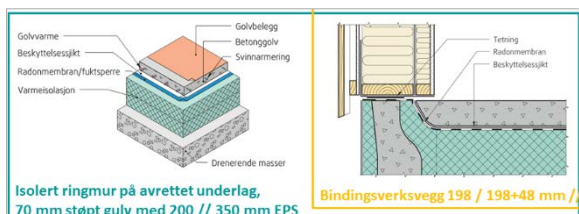
## 4.2 Beskrivelse av hver bygningsdel



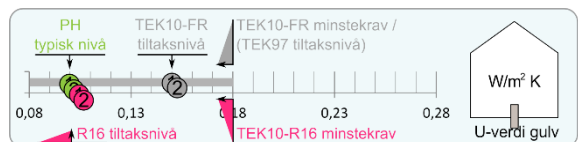
Figur 9 – Illustrasjon av vegger for de ulike kravnivåene. (Kilde: Byggforskserien 471.401 U-verdier. Vegger med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere. 471.403 Vegger med bindingsverk av I-profiler av tre.)



Figur 10 – Midlet U-verdi vegger for de ulike kravnivåene



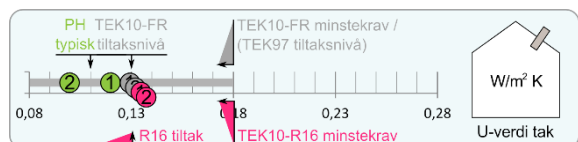
Figur 11 – Illustrasjon av gulv for de ulike kravnivåene (Kilde: Byggforskserien 521.111 Golv på grunnen med ringmur. Utførelse)



Figur 12 – Midlet U-verdi gulv for de ulike kravnivåene



Figur 13 – Takoppbygging for de ulike kravnivåene (Kilde: Byggforskserien 471.013 U-verdier. Tak.)



Figur 14 – Midlet U-verdi tak for de ulike kravnivåene

## Yttervegger

Ytterveggene er utført i 198 mm heltre bindingsverk for TEK-nivå. TEK10-FR og R16 Alt-1 har i tillegg 48 mm innvendig påføring. For passivhusnivå er det brukt 300–350 mm I-stendere i tillegg til 48 mm innvendig påføring.

- TEK10 FR og R16 Alt-1 har samme isolasjon, 200 + 50mm,  $\lambda$  35.
- TEK10 FR og R16 Alt-2 har samme isolasjon, 200 mm,  $\lambda$  35.
- PH Alt-1 lokalisert i Oslo (350 + 50 mm) har 50 mm mer isolasjon enn PH Alt-1 lokalisert i Sandnes (300 + 50 mm),  $\lambda$  35.

## Gulv på grunnen

Det er benyttet isolert ringmurselement med såleblokk og støpt gulv på plastisolasjon. TEK10-R16 bolig har veggtykkelser som TEK10-FR. Men bedre U-verdi på gulvet oppnås ved å øke fra 200 til 350 mm EPS. TEK10-R16 og PH har lik tykkelse på isolasjonslaget i gulvet, men ulik veggtykkelse. Se figur 7 for oppbygging av gulv og ringmur.

## Himling i 2. etasje

Huset har kaldt loft og 400 mm I-profil sperretak. For bolig etter TEK10-FR og TEK10-R16 er isolasjonstykkelsen i loftsbjelkelaget uendret. Kostnadene påvirkes også marginalt når BYA økes grunnet tykkere vegger. For å oppnå passivhusstandarden i Oslo-klima (Alt-2) er isolasjonstykkelsen økt med 100 mm i forhold til om boligen står i Sandnes (Alt-1).

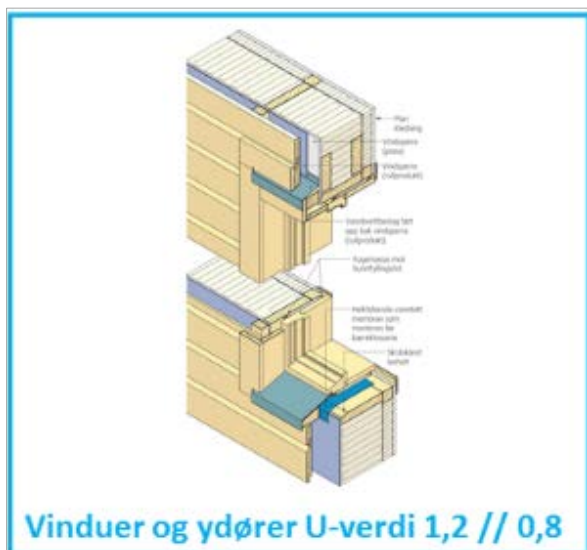
## Yttertak

Yttertaket er kun indirekte påvirket som følge av veggtykkelse, det vil si at takflateareal øker noe.

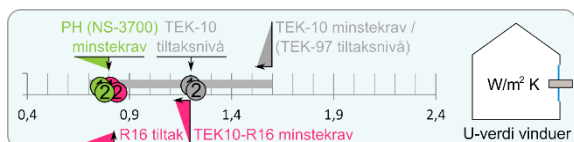
## Møne, raft og gavl

For løsninger rundt møne, raft og gavl gjelder det også at løpemeter mønestein, vindski, takrenne og underkledning øker med tykkere vegg.

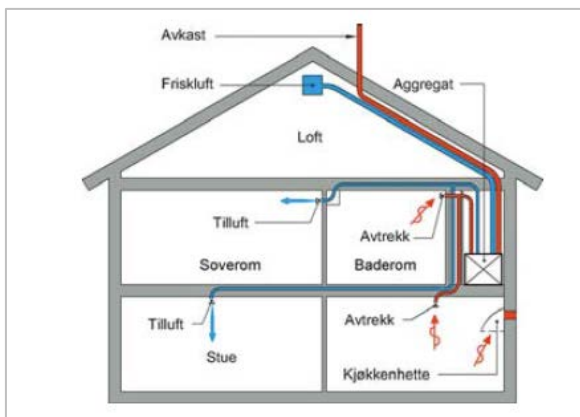




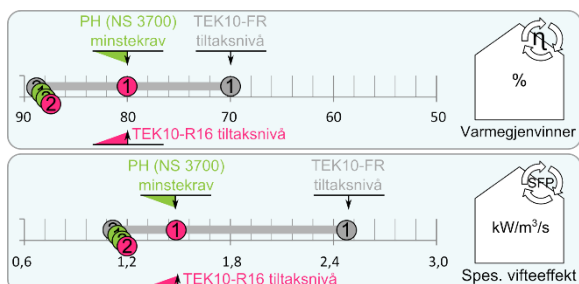
Figur 15 – Illustrasjon av vindu i vegg (Kilde: Byggforskerien 523.701 Innsetting av vindu i vegger av bindingsverk)



Figur 16 – Midlet U-verdi for vinduer, glassfelt og ytterdører for de ulike kravnivåene



Figur 17 – Illustrasjon av ventilasjonsanlegg. (Kilde: Byggforskerien 552.303 Balansert ventilasjon i småhus)



Figur 18 – Temperaturvirkningsgrad på varmegjenvinner og spesifikk vifteeffekt for de ulike kravnivåene

## Vindu og ytterdører

For vinduer er det lagt til grunn samme arbeidskostnad for innsetting. TEK10-FR bolig bruker to-lags vinduer, mens det er de samme tre-lagsvinduene som er benyttet på TEK10-R16 og passivhus bolig. Variasjonen i materialkostnader kommer av at forskjellige stendere er brukt i ytterveggene (omramming o.l.). Det er ikke beregnet mertid for håndtering og innsetting av trelags vinduer. Hvis to personer ikke kan sette inn vinduet, men må bruke kran som følge av overgangen til trelagsvinduer, så vil det gå mer tid til innsetting og merkostnader til leie av kran.

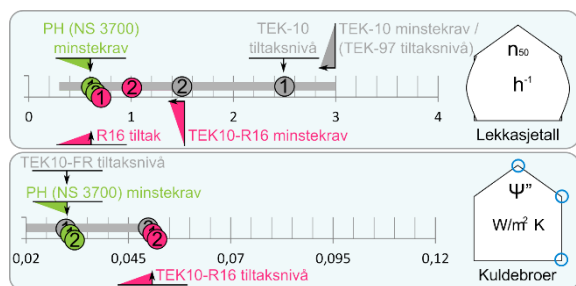
Huset har en ytterdør og to vindusdører (én glassdør i vanlig størrelse og en stor skyvedør). Figur 16 illustrerer ytelsene som er brukt i energiberegningene. Det er de samme trelagsvinduene som benyttes i TEK10-R16 og PH variantene, og disse vinduene og dørene har en U-verdi på  $0,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  i snitt. Denne verdien er også benyttet i energiberegningene for passivhus og TEK10-R16 Alt-2 som bygger på prosjekterte verdier. For TEK10-R16 Alt-1-bolig er det brukt en U-verdi på  $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , som tilsvarer ytelsen i tiltakslista.

## Etasjeskiller

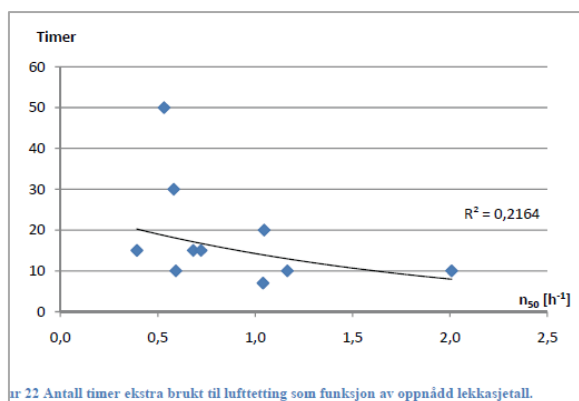
Til etasjeskiller er det antatt plattformkonstruksjon med 250 mm I-bjelkelag og sponplatehimling. Tykkere yttervegger øker arealet av etasjeskilleren, med tilhørende kostnadsøkning.

## Ventilasjon

Samme pristilbud på ventilasjonsanlegg og installasjon av anlegget er benyttet. Dermed varierer ikke kostnadene for ventilasjon mellom nivåene. I TEK10-FR Alt-1 og TEK10-R16 Alt-1 er det brukt ytelsene for varmegjenvinner og spesifikk vifteeffekt som gjenspeiler tiltakskravet, mens det for de andre nivåene er brukt ytelsene som er prosjektert og beregnet for dette anlegget av ventilasjonsleverandøren.



Figur 19 – Lekkasjetall og normert kuldebroverdi for de ulike kravnivåene.



Figur 20 – Ekstra timer brukt til tetting som funksjon av oppnådd lekkasjetall for flere eneboligprosjekter oppført av flere tømmerfirmra (Gullbrekken og Vågen, 2010)

### Lekkasjetall og kuldebroer

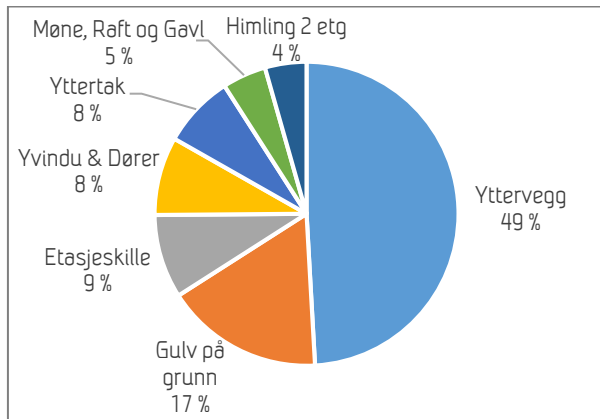
Det er vanskelig å vurdere merkostnader for å bedre lekkasjetallet utover dagens standard. Kostnader kan være forbundet med ekstra arbeidstimer til å lage gode overganger, og eventuelt ekstra arbeid til utbedringer for å nå målet. Ved behov for gjentatte forbedringer kan ekstra lekkasjetester i vindtettsfasen også være en merkostnad. Når tetthetskravet er høyere, kan det dessuten tenkes at det brukes mer tape for å være sikker på å nå målet. I en masteroppgave fra NTNU (Gullbrekken og Vågen, 2010) ble flere firma i Trøndelag bedt om å registrere antall timer de brukte med fokus på å nå et lavere lekkasjetall enn det de var vant til. Den gang var det kravet i TEK07 på 2,5 omsetninger per time som skulle utprøves, men som en kan se av Figur 20 oppnådde de fleste lekkasjetall under 1,0 per time med fokuset de hadde på lavere lekkasjetall. En kan se en sammenheng mellom oppnådd

lekkasjetall og antall arbeidstimer, noe som vil endres med erfaring.

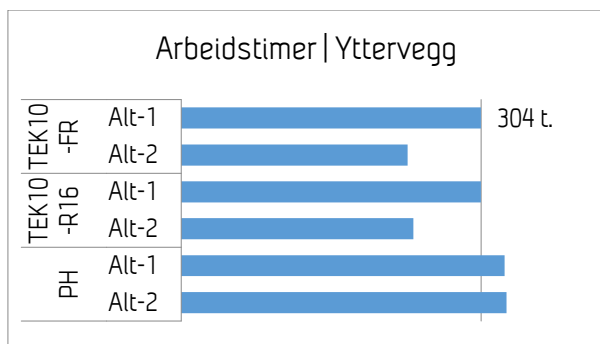
I vår kostnadsberegning har vi lagt til en merkostnad forbundet med å oppnå et lavere lekkasjetall enn 0,6 h<sup>-1</sup> på 100 kr/m<sup>2</sup>. Anslaget er ment å ta høyde for både økte arbeidstimer og materialkostnader som ekstra tape. Størrelsen på anslaget er usikker, og det er ikke gjennomført noe nærmere studie av merkostnader for å forbedre lekkasjetallet i denne rapporten. Det er verd å påpeke at for TEK10-R16 Alt-2, der prosjekterte verdier er brukt til energiberegning mot rammekravet, er lekkasjetallet satt til 1,0 som også vil være innenfor det nye minstekravet på 1,5 per time.

Når det gjelder minimering av kuldebroer, så er ringmuren av stor betydning i småhus. Vindusplassering er en annen viktig post i kuldebroregnskapet. Plassering av vinduene dypere i veggen vil gi dypere vannbrettbeslag og merarbeid med tetting rundt og særlig under vinduet. For å kunne benytte en kuldebroverdi bedre enn 0,05, må man sette opp et kuldebrobudsjett. Å lage et slikt budsjett kan være en prosjekteringskostnad avhengig av størrelsen på prosjektet og graden av kompleksitet. For den aktuelle boligtypen forelå kuldebrobudsjett med referanser til kuldebroatlasen i Byggforskserien i prosjekteringsunderlaget.

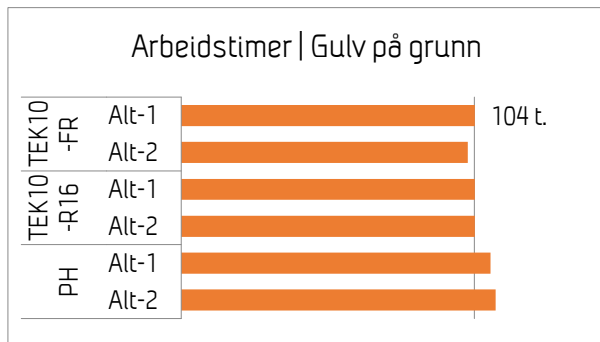
For passivhusalternativene er kuldebrobudsjett lagt ved som vedlegg. Når ytelsen til bygningskroppen er på passivhusnivå, utgjør kuldebro langs ringmuren en stor del av regnskapet. For å oppnå kravet på 0,03 W/(m<sup>2</sup>K) per m<sup>2</sup> gulv, vil det være nødvendig å isolere ringmurselementet med 5 cm isolasjonsplate utvendig. Slik ekstra isolasjon er ikke medregnet i merkostnad for passivhusnivå.



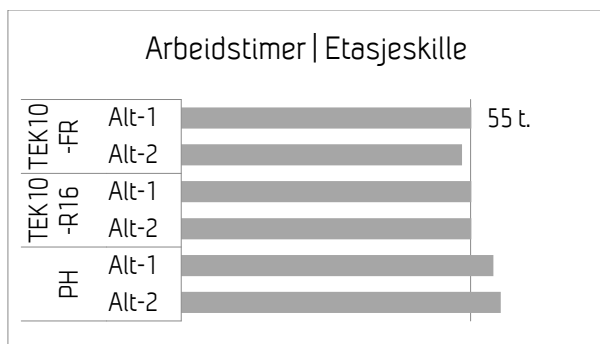
Figur 21 – Fordeling av kalkulerede arbeidstimer for bygningskropp, TEK-10 Alt-1



Figur 22 – Kalkulerede arbeidstimer for yttervegg



Figur 23 – Kalkulerede arbeidstimer for gulv på grunn



Figur 24 – Kalkulerede arbeidstimer for etasjekiller

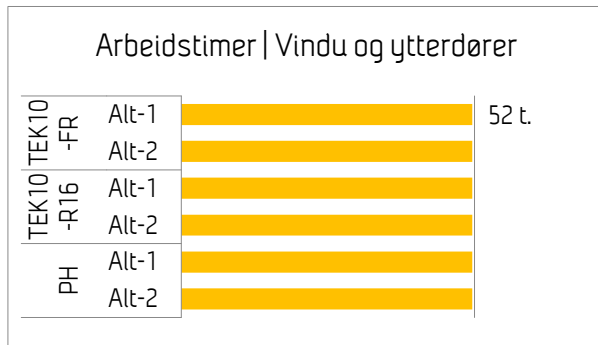
### 4.3 Kalkulerede arbeidstimer

Den kalkulerede arbeidstiden for tømmerarbeidet til å utføre bygningskroppen, er vist for hvert nivå per bygningsdel i figur 17 til 24. Arbeidstidene er direkte proporsjonale med arbeidskostnadene i kalkylen som ble presentert i kapittel 4.4.

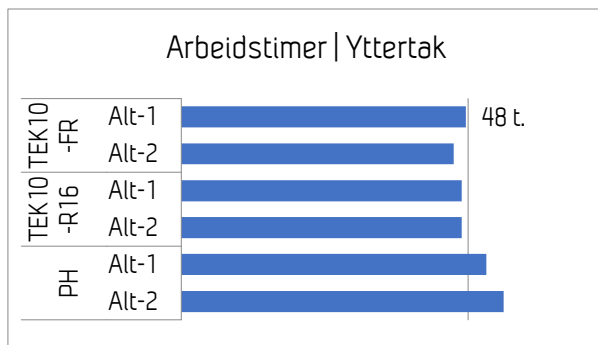
Figur 21 viser at halvparten av tidsbruken går til arbeidet med ytterveggen, 17 % til gulv på grunn, 17 % sammenlagt for møne, raft, gavl, yttertak og himling i andre etasje. Omtrent halvparten av 17 %, det vil si ca. 8,5 % av tiden, brukes til de resterende bygningsdelene; etasjekiller (9 %), og vindu pluss ytterdører (8 %).

Den kalkulerede tidsbruken for å oppføre ytterveggene utgjør halvparten av tiden beregnet til å oppføre bygningskroppen. I tillegg er forskjellen mellom nivåene størst her. Figur 22 synliggjør at forskjellene kun skyldes tykkelsen på ytterveggene, da denne er lik for TEK10-FR og TEK10-R16 Alt-1 og TEK-10-FR og TEK10-R16 Alt-2. Det er imidlertid ikke medregnet ekstra tid for å oppnå lavere lekkasjetall enn i referansenivået, som beskrevet i forrige kapittel.

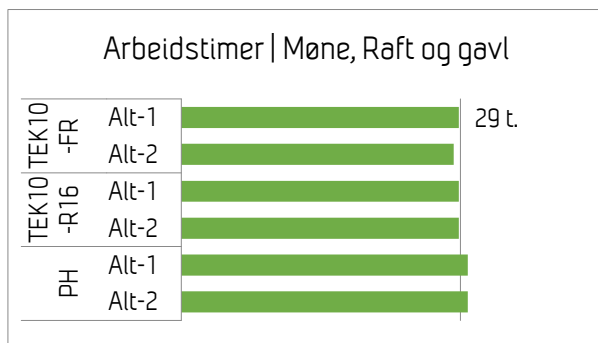
For gulv på grunnen ser vi at arbeidstidene ikke er knyttet til ekstra isolasjonstykkelser siden TEK10-FR og TEK10-R16 har tilsvarende timebruk, men ulike U-verdi i gulv (figur 23). De små forskjellene oppstår på samme måte som for etasjekilleren (figur 24). Arbeidstimer og kostnader for utgraving av byggegroppen er ikke inkludert i kalkylene.



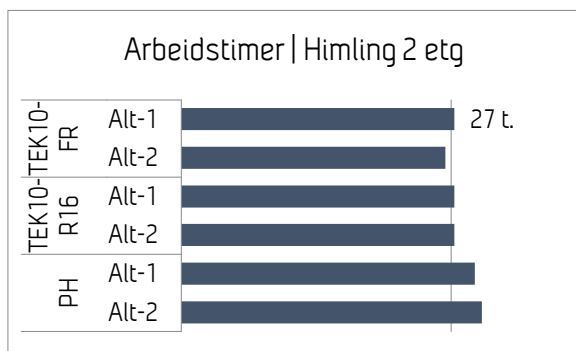
Figur 25 – Kalkulerte arbeidstimer for vinduer og dører



Figur 26 – Kalkulerte arbeidstimer for yttertak



Figur 27 – Kalkulerte arbeidstimer for møne, raft og gavl



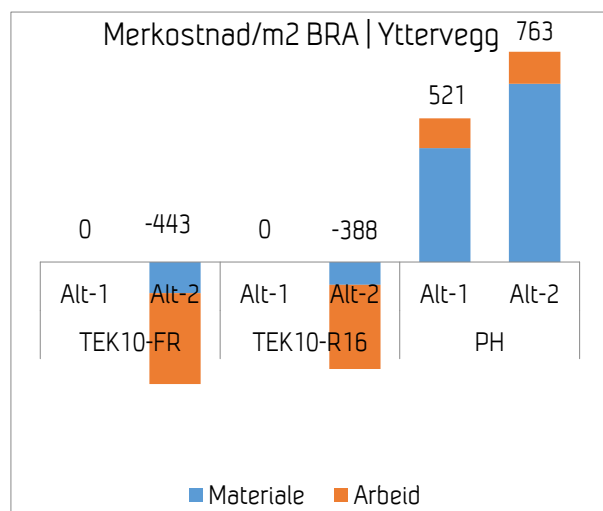
Figur 28 – Kalkulerte arbeidstimer for gulv på grunnen

For ytterdører og vinduer er det som nevnt i kapittel 4.2 ikke lagt til mertid for å gå ifra tolags til trelags glass. Derimot er det i materialkostnaden tatt med merkostnader for ekstra treverk, losholt og føring rundt vindu, som må medregnes når tykkelsen på veggen endres (se figur 30 og figur 32).

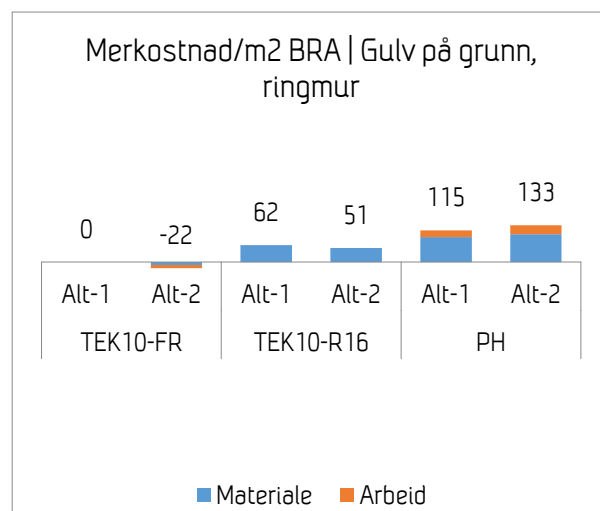
For yttertak, løsning for møne, raft og gavl, i tillegg til himling i andre etasje, kan variasjonen i arbeidstimer også knyttes direkte til tykkelsen på ytterveggene. I tillegg har passivhusnivåene henholdsvis 50 og 150 mm mer isolasjon i loftsbjelkelaget.

#### 4.4 Merknad for berørte bygningsdeler

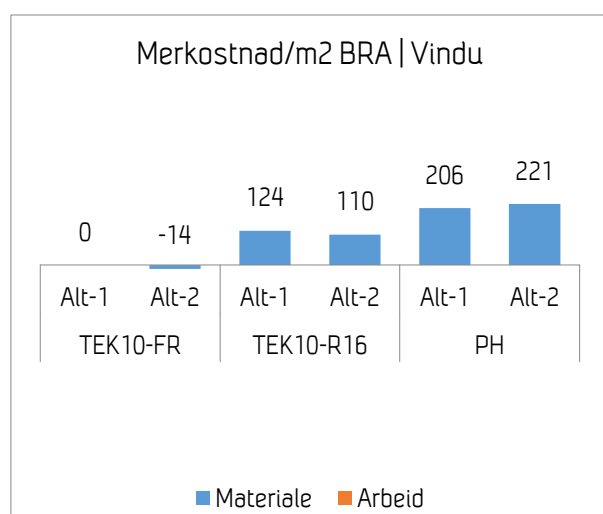
Kostnadsforskjellene er mest betydelige for de bygningsdelene som er direkte berørt av økte krav. Ytterveggen peker seg ut. Spesielt tydelig er den beregnede innsparingen i arbeidsoperasjoner ved å ikke føre på veggen innvendig med 48 mm. I praksis kan det være andre grunner enn isolasjonstykkelse som avgjør om man velger å føre på ytterveggen. Et eksempel er om man ønsker å ha inntrukket dampspærre. Et annet er om man skal ha stående panel, og ikke platekledning på innvendig side av veggen. At passivhusveggene blir dyrere, har i høy grad sammenheng med valg av en annen type stender for å kunne bygge en tykkere vegg, og flere arbeidsoperasjoner. Gulv på grunnen er direkte berørt ved mer isolasjon som gir et lite kostnadstillegg. Gulvet er dessuten indirekte berørt med litt større overflate for passivhusnivå enn begge TEK-10 Alt-2. For vindu og dører er det ikke beregnet noen merknad for arbeidet ved overgangen fra tolags til trelags glass. Når det likevel er en variasjon i merknaden for materialer, så skyldes det at føringer og det som er nødvendig av stenderverk rundt vinduene er regnet til vindu, men er senere i rapporten lagt til merknaden for yttervegg i kapittel 7 for å kunne sammenligne med andre studier.



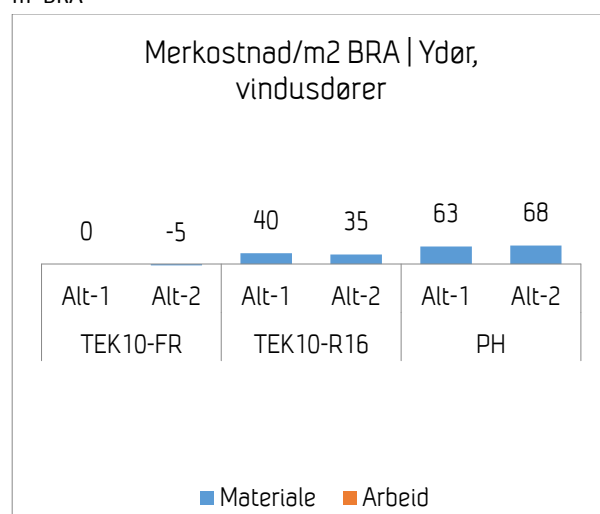
Figur 29 – Merknad inkl. mva. for yttervegg, per m<sup>2</sup> BRA



Figur 31 – Merknad inkl. mva. for gulv på grunnen, per m<sup>2</sup> BRA



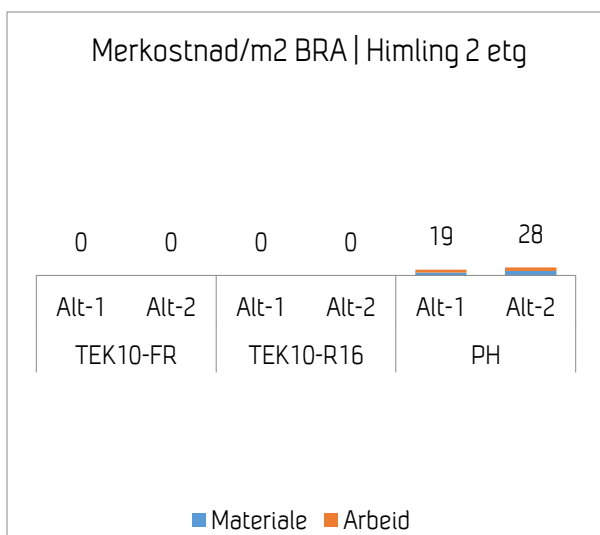
Figur 30 – Merknad inkl. mva. for vindu, per m<sup>2</sup> BRA



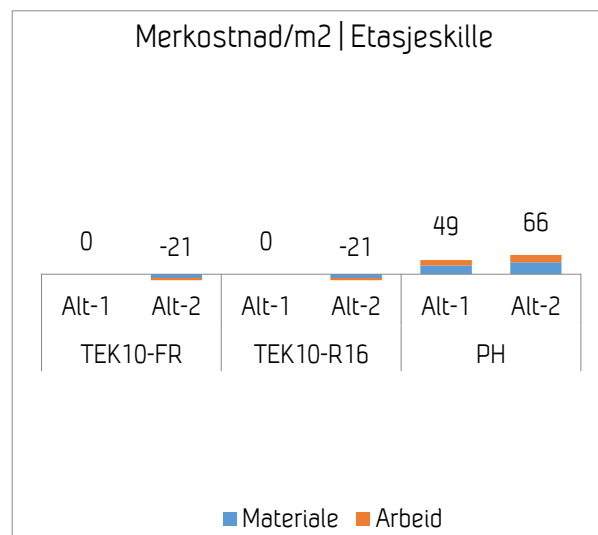
Figur 32 – Merknad inkl. mva. for ytterdør/vindusdør, per m<sup>2</sup> BRA.

#### 4.5 Indirekte merkostnader for andre bygningsdeler

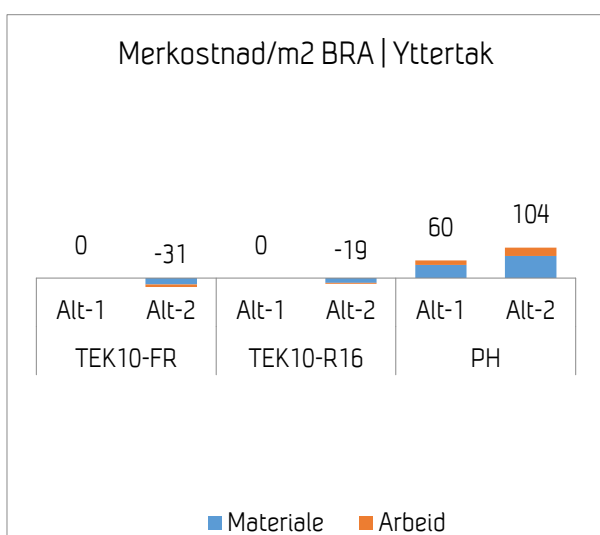
Under vises merkostnadene som er beregnet for andre bygningsdeler som følge av at husets grunnflate økes når tykkelsen øker for ulike veggoppbygginger, mens bruksarealet opprettholdes for alle nivåene. Det kalles indirekte merkostnader for andre bygningsdeler. For passivhusnivået blir taket også direkte berørt ved at isolasjonstykkelsen og stenderdimensjoner er økt. I dette tilfellet er imidlertid merkostnaden relativt liten.



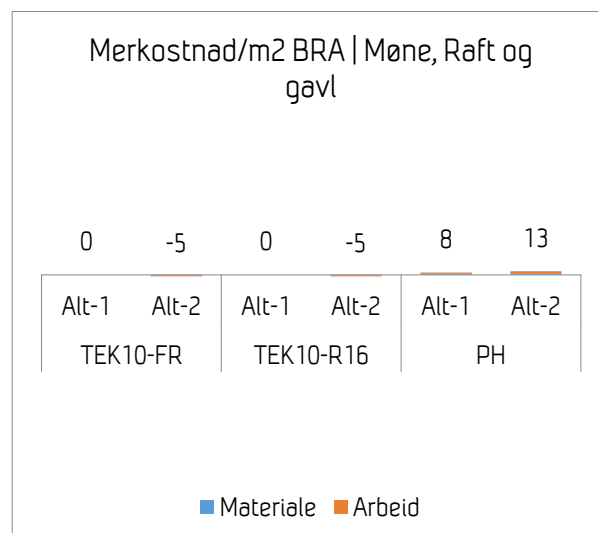
Figur 33 – Merkostnad inkl. mva. for himling, per m² BRA



Figur 35 – Merkostnad inkl. mva. for etasjekiller, per m² BRA



Figur 34 – Merkostnad inkl. mva. for yttertak, per m² BRA

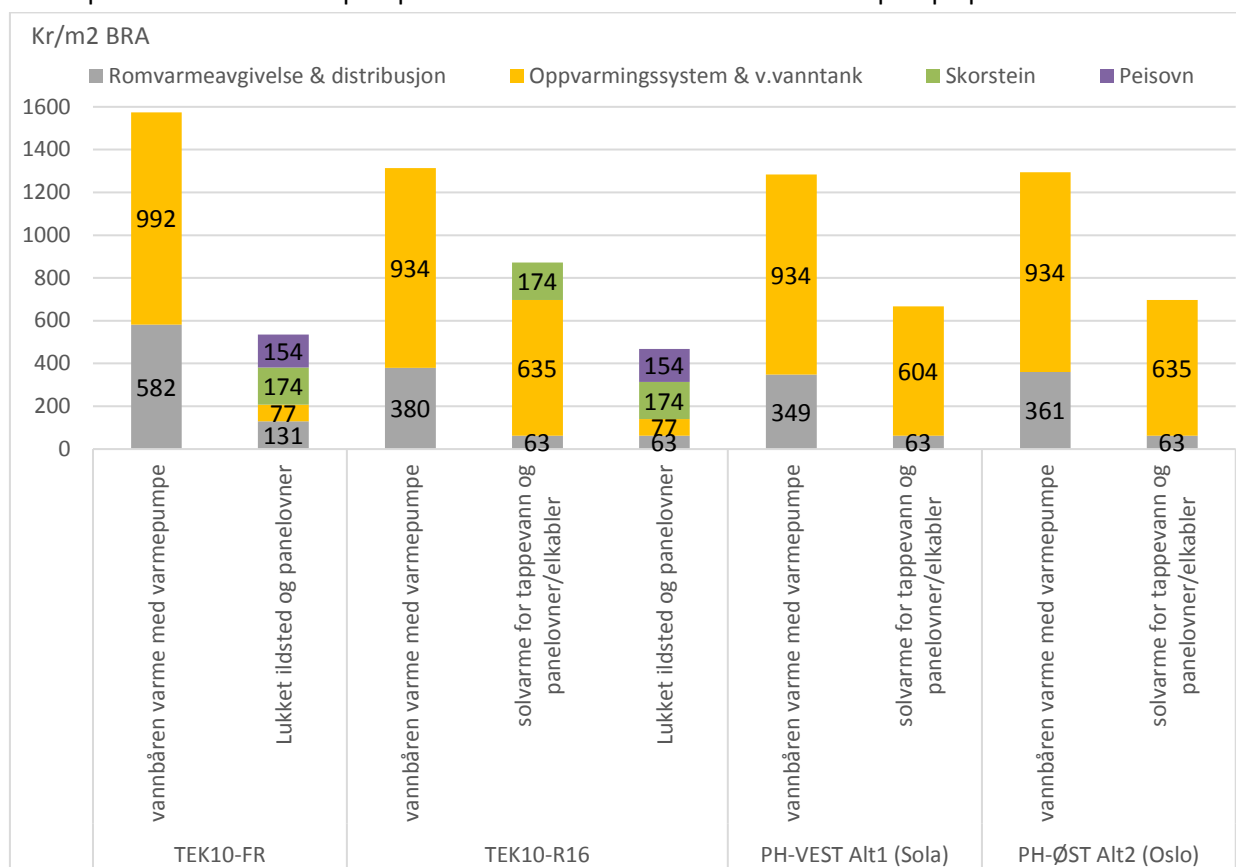


Figur 36 – Merkostnad inkl. mva. for møne, raft og gavnl, per m² BRA

## 5 Kostnader for energiforsyning

Det er innhentet priser fra 4 leverandører av solvarmesystemer, 3 leverandører av varmpumpesystemer, samt 2 rørleggere for installering av vannbåret varme. Samlet pris på energisystem og installering av anlegget viser stor spredning. Ved prisforespørsel på varmpumper og solfangeranlegg varierte tilbudene med opptil 100 %. Solvarmeanlegg for oppvarming av varmtvann varierte mellom 40–80 000 kr for en enebolig. Det samme gjelder varmpumpeanlegg. Selve luft-/vann-varmpumpa inkludert installering og 180 liters varmtvannstank har en kostnad på mellom 70 000–130 000 kr. Tilbudene på installering av vannbåret varme med gulvvarme i to bad og i entré var på 75 000–100 000 kr med radiatorer i hvert rom, og 30 000–50 000 med radiatorer bare i oppholdsrommene. Kostnad for oppbygging av elementpipe, eller stålpipes med feieluke, pipehatt o.l., varierte fra ca. 20–45 000 kr, 22 500 kr ble brukt i beregningen. For vedovn, røykrør og platting ble det brukt et anslag på 20 000 kr i beregningen.

Ved sammenligning av ulike oppvarmingsystemer til boligen er investeringskostnaden for et vannbåret system mer enn dobbelt så høy som for et system med direktevirkende elektrisitet (alt. a og c). Alternativ b, solvarme til kun tappevann, koster ca. 50 % mer enn alternativ c, direktevirkende elektrisitet. Det finnes mange andre alternative oppvarmingskilder som kunne vært vurdert. I en liten enebolig som denne blir det totale oppvarmingsbehovet og effektbehovet svært lavt på passivhusnivå. En luft-/vann-varmpumpe med lavere effekt enn 4–6 kW kunne vært vurdert for passivhusnivået, for eksempel en avtrekksvarmpumpe mot uteluft eller en varmtvannvarmpumpe på 1–2 kW.

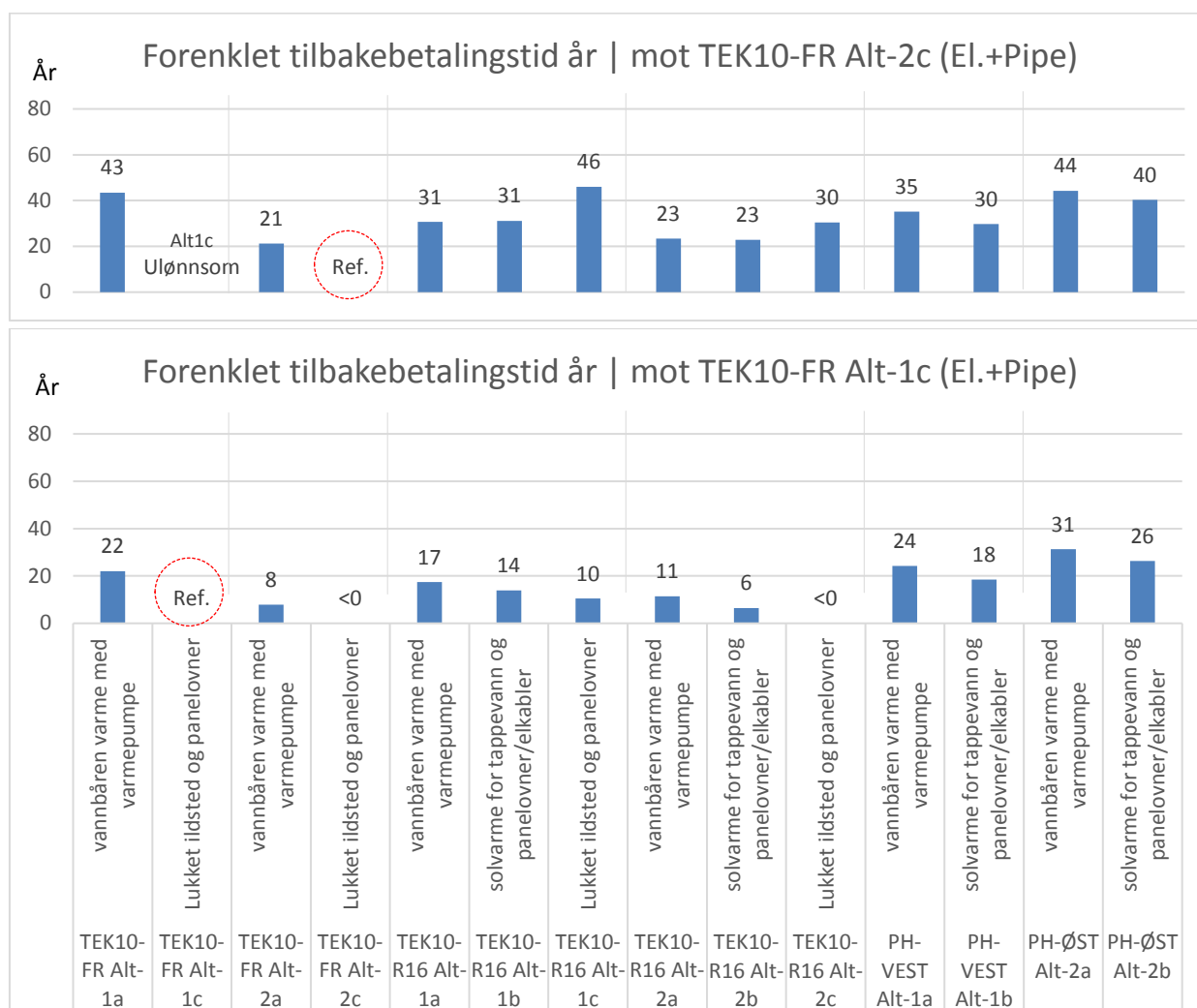


Figur 37 - Kostnad/m<sup>2</sup> BRA fordelt på energikilde (inkl. mva.). Varmtvannsbereder er inkludert i posten energiforsyning.

## 6 Lønnsomhetsberegninger – forenklet tilbakebetalingstid

Lønnsomheten er beregnet som forenklet tilbakebetalingstid for kombinasjoner av energiforsyning, oppvarmingssystem og forbedring av bygningskroppen utover TEK10-FR-nivå. I beregningen er det brukt en energikostnad på 1 kr/kWh. Figur 38 viser forenklet tilbakebetalingstid sammenlignet med TEK10-FR Alt-2c øverst og TEK10-R16 Alt-1c. I den øverste raden sammenlignes den kostnadseffektive TEK10-FR bygningsutførelsen som har elektrisk oppvarming og vedovn mot andre kombinasjoner.

I den nederste raden sammenlignes det mot TEK10-FR-varianten, som har ytelser fra tiltakslista. Det ikke er forbundet merkostnader til å forbedre effektiviteten til ventilasjonsvifter (SFP) og varmegjenvinnerens årsvirkningsgrad fra 70 % i tiltakslista til 89 % prosjektert. Mot de andre alternativene har energibesparelsen som oppnås ved å øke vifteeffektiviteten og varmegjenvinningen av en positiv innvirkning på nedbetalingstiden. Vi ser også i den nederste figuren at to av de andre kombinasjonene av elektrisk oppvarming og forbedret bygningskropp har lavere investeringskostnad enn TEK10 Alt-1c tiltakspakke (TEK10-FR Alt-2c og TEK10-R16 Alt-2c er markert med <0 i figur 38).



Figur 38 – Forenklet tilbakebetalingstid sammenlignet med referansenivå TEK10-FR Alt-2c øverst, og alternativ TEK10-FR Alt-1c nederst (merket Ref.). Alternativet merket som ulønnsomt har ingen energibesparelse og høyere investeringskostnad.



## 7 Diskusjon og sammenligning med andre studier

### 7.1 Ytterveggen betyr mest

Merkostnader og energibesparelser ved å bygge boliger med passivhusnivå sammenlignet med å bygge etter dagens forskriftskrav, er beregnet og diskutert i flere rapporter. Variasjonen i resultatene kan forklares med ulike forutsetninger. Sett på bakgrunn av hvor mye salgsprisene varierer med beliggenhet og lokalisering i store byer og i utkantstrøk, er variasjonene små.

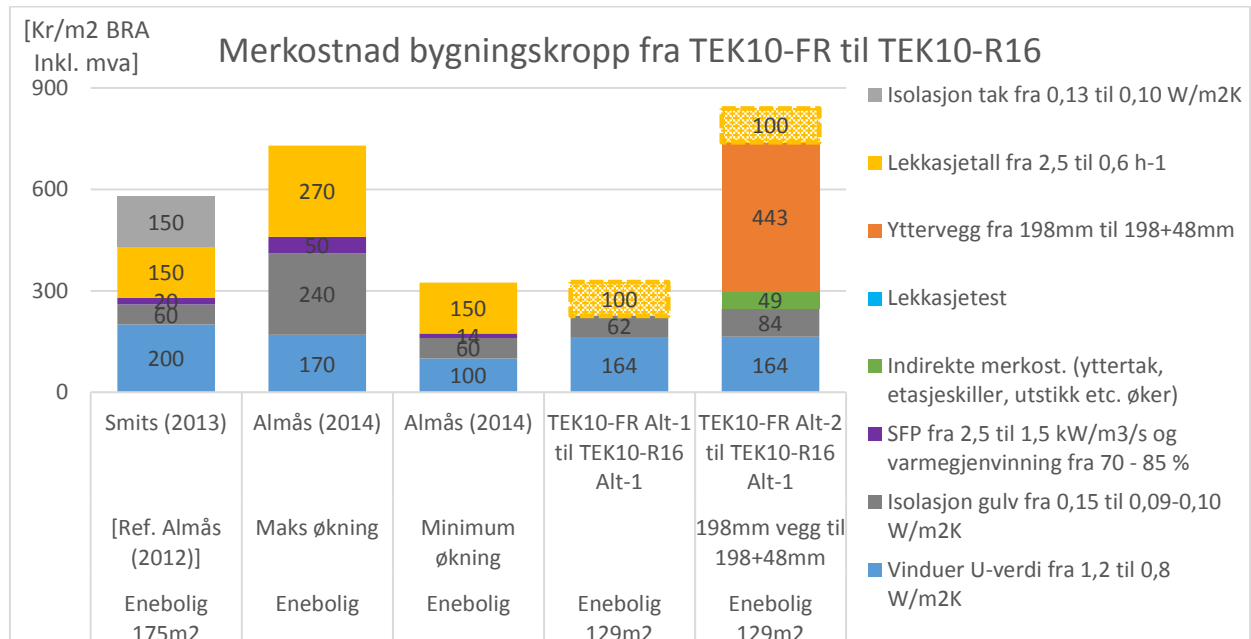
Det viktigste funnet i denne rapporten er at oppbygning av ytterveggen betyr mest for kostnadene. Det er dermed et stort potensial for å redusere både materialkostnader og arbeidskostnader ved å velge en gjennomtenkt utforming av ytterveggene. For å minimere kostnadene bør rammekravmetoden brukes framfor tiltaksmetoden og tiltakslista. Ved bruk av rammekravmetoden kan U-verdiene optimaliseres for tak, vegg, vindu og gulv ut fra byggekostnadene, og vindusarealet kan optimaliseres ut fra hensyn til til U-verdier og dagslys.

### 7.2 Sammenligning med oppdragsrapporter for reviderte energikrav i 2015

I figur 39 og figur 40 er våre resultater sammenlignet med resultater fra andre studier. I rapporten *Konsekvensvurdering av nye Energiregler 2015* (Almås 2014) er det beregnet forventet merkostnad for ulike energiltak. De stipulerte merkostnadene er oppsummert i et høringsnotat fra DiBK. Her er de vist i et visst spenn for å synliggjøre forskjellene som er funnet ut fra beregninger av konkrete pilot- og forbildeprosjekter.

Våre resultater samsvarer med det laveste anslaget med totale merkostnader på 300 kr/m<sup>2</sup>, men er ca. 50 kr/m<sup>2</sup> høyere hvis man legger den samme kostnaden for lekkasetall på passivhusnivå til grunn. Sammenligner man de kostnadseffektivevariantene (TEK10-FR Alt-2 og TEK10-R16 Alt-2, som bygger på rammemetoden), vil det være mulig å oppfylle rammekravet med et noe høyere lekkasjetall enn passivhusnivå, for eksempel 1,0 luftvekslinger per time for TEK10-R16 Alt-2.

I figur 39 er TEK10-FR Alt-1 sammenlignet med TEK10-R16 Alt-1. Men merkostnaden for bedre isolerte vinduer og gulv er den samme som om man sammenligner TEK10-FR Alt-2 mot TEK10-R16 Alt-2 (sett bort ifra lekkasjetallet). Figur 8 viser dette bedre. Sammenligningen vår viser også at vurderer man den kostnadseffektive TEK10-FR Alt-2 varianten mot TEK10-R16 Alt-1, som oppfyller den reviderte tiltakslista, så ligger merkostnaden i samme størrelsesorden som det høyeste anslaget i Almås 2012. Motsatt er den mest kostnadseffektive TEK10-R16 Alt-2 varianten rimeligere enn TEK10-FR Alt-1 med ytelse fra tiltakslista. Dette er illustrert i figur 8, men uten kostnad for forbedret lekkasjetall til 1,0 per time.



Figur 39 – Sammenligning av kostnader for tilnærmet TEK10-FR nivå. Ikke justert for prisstiging (2012–2015)

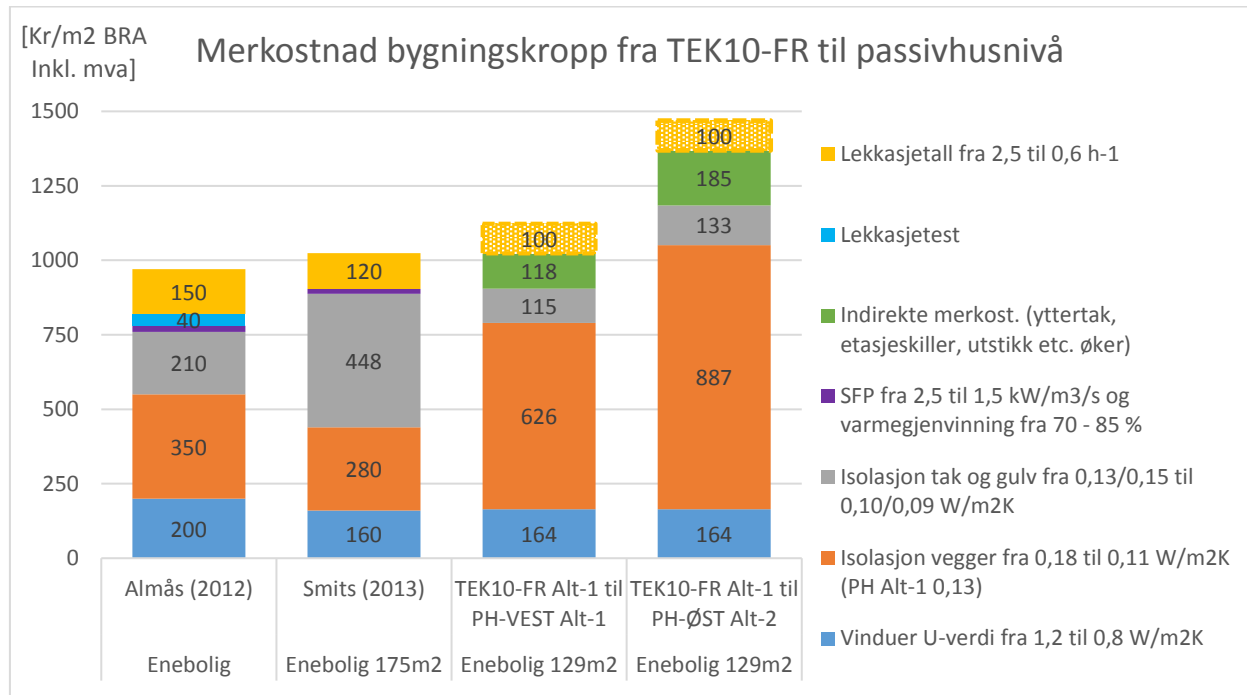
Smits 2013 (Vedlegg C, Rambøll-rapporten laget for DiBK) presenterer i kapittelet om kostnadsoptimalitet merkostnader for en mest mulig kostnadseffektiv tiltakspakke for småhus. Denne tiltakspakken er basert på konklusjoner fra Almås 2012. Ytelsene for bygningsdeler er på linje med kravnivået i TEK10-R16, i tillegg til at det er lagt til en kostnad for isolering av tak. Isolering av taket kan være et godt alternativ til å legge mer isolasjon i grunnen, og er vist med lys grå farge på den første søylen i figur 39. Siden ytelsene er på samme nivå, er det mulig å sammenligne dem med vår studie. Figur 39 viser omtrent samme påvirkning på kostnadene for hver enkelt bygningsdel som er berørt.

Oppdragsrapportene fra Rambøll (Smiths 2013) og Multiconsult (Almås, 2012, 2014) opererer med merkostnader for høyere krav til varmegjenvinningsgrad og vifteeffekt (SFP). Dersom man må øke aggregatstørrelsen, eller kanaldimensjonen med en størrelse, så kan det være et riktig anslag å medregne ekstra kostnader for ventilasjon i denne størrelsesorden (totalt et par tusen kroner). Men i utgangspunktet sammenfaller de nye kravene med typiske prosjekterte verdier for småhusventilasjon. For å klare kravet til netto oppvarmingsbehov i passivhusstandarden kan det i helt spesielle tilfeller være nødvendig å gå opp en aggregatstørrelse og med det forbedre årsvirkningsgraden for varmegjenvinner med et par prosent.

### 7.3 Sammenligning med oppdragsrapporter for utredning av passivhusnivå

I passivhusberegningen som presenteres i (Smits 2013), er Mesterhus modell MIA beregnet med dobbel stendervegg for å nå passivhusytelse. Denne boligen er på 175 m<sup>2</sup> og har dermed litt mindre veggareal per kvadratmeter BRA enn Trend-boligen som vi har regnet på.

I de analysene av bygge- og oppgraderingskostnader som ble gjennomført av Multiconsult og SINTEF Byggforsk (Almås i 2012), ble det funnet at merkostnaden per m<sup>2</sup> for å bygge passivhus var vesentlig lavere enn det man hadde beregnet i tidligere studier, der det ble stipulert 1 200–1 500 kr/m<sup>2</sup>. Kostnadsøkningen ble beregnet til rundt 1 000 kr/m<sup>2</sup> for en enebolig. Dobbelt stendervegg var løsningen som ble beregnet, men om tallene gjenspeiler en liten eller en større enebolig, er ikke oppgitt i rapporten. Våre tall er imidlertid i størrelsesorden 1 100–1 500 kr/m<sup>2</sup> for bygningskroppen.



Figur 40 – Sammenligning av kostnader for passivhus etter NS-3700. Ikke justert for prisstiging (2012–2015)

Treteknisk Institutt gjennomførte i prosjektet Entre (Clementz 2011) en kostnadsstudie som så nærmere på det mest fordyrende elementet i passivhuset – ytterveggen. Studien sammenlignet merkostnader for to ulike passivhusvegløsninger – dobbel stendervegg og I-stendervegg. Merkostnaden for å bygge passivhus ble beregnet for flere typehus. Totalt utgjorde den fra 717 til 1 073 kr per m<sup>2</sup> BRA. Kalkulasjonene viser små forskjeller mellom de ulike veggløsningene. Men et moment som kan trekkes fram, er at med I-stender ble monteringstiden redusert med opptil 50 timer i kalkylen sammenlignet med modellen med todelt yttervegløsninger.

I Nullenergiprojektet Skarpnes, som er et case i EBLE, ble passivhusstandarden oppfylt med en 300 mm tykk vegg (i Arendal-klima). De første husene ble bygd med dobbel stendervegg (3 x 100 mm isolasjon). Det tok lang tid, siden veggen måtte tørke ut før man kunne legge dampspærre (inntrukket 100 mm), og bygge opp bjelkelaget som hviler på den innerste delen av trelagsveggen. Bjelkelaget ble derfor konstruert på en provisorisk vegg. Den ble tatt bort senere når det tredje sjiktet i veggen kunne bygges. I tillegg måtte man isolere tre ganger. Til sammen tok det for lang tid, og en mer effektiv løsning ble utviklet. Løsningen som ble brukt i hus 4 og 5, var en 198 mm bindingsverksvegg med utvendig 50 mm kontinuerlig isolasjonsplate som Glava utviklet (50 + 200 mm isolasjon) og halvveis inntrukket bjelkelag. I tillegg ble det brukt reflekterende dampspærre og fôret på innvendig sånn at man fikk et uisolert hulrom (med plass til installasjoner på innsiden av veggen) som tilsvarer ca. 30 mm isolasjon. Den første veggen tok det ca. 120 timer lengre tid å konstruere per hus enn den andre typen (kilde: intervju med Skanska i forbindelse med EBLE prosjekt).

#### 7.4 Flere aspekter som har betydning for kostnader

Kostnader for hver bygningsdel er sammensatt av materialkostnader og arbeidstidskostnader. Skjerpning av energikravene betyr gjerne en økning av materialkostnader, for eksempel mer isolasjon og flere lag glass i vinduene. For å minimere økningen i kostnader er ofte økt effektivitet og mer rasjonelle byggeprosesser foreslått, som i eksempelet fra Skarpnes. Beregningene i denne rapporten viser

midlertid at reduserte arbeidstimer på byggeplassen ikke nødvendigvis vil føre til besparelser når mer fabrikkbearbeiding fører til at materialene koster mer. Eksempler er I-stendere og isolerte stendere. Nye isolasjonsprodukter kan imidlertid gi slankere konstruksjoner og dermed føre til mer rasjonelle arbeidsprosesser på byggeplassen.

Den største usikkerheten ligger i tidsbruken ved innføring av de nye kravene. Hvor mye tid tar egentlig sikring av tetthet rundt vinduene og oppføring av nye veggssystemer? En viktig barriere for å velge nye løsninger er selve beregningen av arbeidstiden. Kalkuleringsverktøyene som brukes, bygger på "erfaringstall" og inkluderer ikke beregning av besparelser for nye, rasjonelle løsninger. Resultatet blir gjerne at nye løsninger prises med et unødvendig høyt risikotillegg for å være på den sikre siden.

Kritikk rettet mot skjerpingen av energikravene i TEK har blant annet handlet om at energibesparelsen ikke vil bli så stor som forventet. Skjerpingen innebærer små endringer for varmetap gjennom klimaskjermen. Videre er det usikkerhet om gjennomførbarhet og varighet for et veldig lavt lekkasjetall, og usikkerhet knyttet til reell ytelse for gjenvinningsgraden for ventilasjonen. Ved å sammenligne kostnadseffektive løsninger for TEK10-FR og TEK10-R16, er det mulig å oppnå det nye rammekravet kun med økt fokus på lavt lekkasjetall, optimalisering av vindusutforming og vindustype. Det vil sannsynligvis føre til at fokus på lavt lekkasjetall og bruk av trelags vinduer blir vanlig. Slike grep er uansett fornuftige steg mot lavt energibruk i nye boliger. Et passivhusnivå med svært lavt varmetapstall og redusert kaldras fra vinduer vil i sin tur legge til rette for forenkling av oppvarmingsløsninger og medfølgende kostnadsbesparelser for varmesystemet.

Ved oppføring av boliger etter siste revisjon av energikravene i TEK10 kan altså god beregningskompetanse resultere i kostnadsoptimale løsninger. Det betyr også at prosjekteringen kan bli en utfordring for små byggmesterfirma dersom hvert hus skal "fin-optimaliseres". Utvikling av standardiserte løsninger og konsepter og informasjon om dem, kan gjøre det enklere. Gode rutiner for å sjekke og sikre tettheten vil være viktig for å sørge for at kravene er oppnådd.

Resultatene i rapporten viser at de største variasjonene gjelder kostnader for tykkere yttervegger. Ytterveggen har stor betydning for salgskostnadene for småhus, og mindre betydning for leiligheter. For eneboligen Trend er arealet for ytterveggene det dobbelte av gulvarealet. For et rekkehus vil ytterveggen være omtrent lik gulvarealet. For en leilighet vil arealet for ytterveggen være betydelig mindre enn gulvarealet. Vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved økte energikrav bør ta utgangspunkt i de bygningstypene vi kommer til å bygge mest av i framtiden. Boligblokker og prosjektbaserte utbygginger øker, mens eneboliger utgjør en stadig mindre andel av nye boliger. Det settes i gang ca. 30 000 boliger i året. Eneboliger utgjør knappe 30 %. Eneboliger bygd på andres tomt (EAT) utgjør anslagsvis 20 % til 30 % av alle eneboligene. Boligblokker og småhus som ikke er eneboliger, utgjør 70 %.

Krav om raskere og billigere boligbygging kobles ofte til at krav i byggereglene må bli enklere og at billige tomter må være tilgjengelig. Salgsprisen for boliger er stigende, samtidig som behovet for små og billige boliger øker. Prisstigningen skyldes delvis at markedsprisen øker når tilgangen på boliger er for lav, men må også sees i sammenheng med kostnadene ved å bygge. Nye krav til bygningskroppen, tekniske installasjoner, universell utforming, brann, lyd, dagslys og andre miljøtiltak fører til at kostnadene ved å bygge boliger stiger. Kostnadsberegningene som er presentert i denne rapporten,

viser at merkostnadene ved å bygge boliger med høyere energistandard for bygningskroppen er relativt små når de mest rasjonelle løsningene blir valgt. Kostnadene for varmeløsninger med fornybar energi viser at lønnsomheten varierer mye. Det er kun regnet på forenklet tilbakebetalingstid for kombinasjoner av oppvarmingssystem, energiforsyning og forbedring av bygningskropp ut fra referansenivået TEK10-FR med elektrisk oppvarming og vedovn (figur 38). For solvarme til tappevann i kombinasjon med forbedring av bygningskroppene til TEK10-R16 nivå varierer tilbakebetalingstiden med 6–23 år. For luft til vann varmepumpe som dekker størstedelen av romvarme og tappevann, i tillegg til forbedring av bygningskroppen til TEK10-R16-nivå, er forenklet nedbetalingstid 11–23 år (energikostnad på 1 kr/kWh).

Økt fokus på energibruk og klimagassutslipp gir et markedspotensial for energieffektive bygg og grunnlag for å utvikle nye løsninger. Når kravene skjerpes, starter en innovasjonsprosess mot konkurransedyktige og kostnadseffektive løsninger. Prosessen begynner gjerne allerede ved signaler om at kravene skjerpes. Denne effekten må tas med i vurderingen av konsekvensene ved økte krav. Mulighetene ligger i å unngå kostnadskrevende løsninger og videreutvikle løsninger som har potensial for forbedring med minimale kostnadsøkninger.

## 8 Litteraturliste

Almås A.J., Ramm B., Bøhn T.I. og Kristiansen A. (2014) "Konsekvensvurdering Energiregler 2015." Multiconsult AS, versjon 05, desember 2014. Oppdragsrapport for DiBK.

Almås A.J., Solbraa A., Jensen P., Eriksen G., Spjudvik P., Øyen B., Palm L.T., Listerud C., Bjørberg S., Simonsen I., Berg T.F. og Dokka T.H. (2012) "Kostnadsoptimalitet Energiregler i TEK." SINTEF Byggforsk og Multiconsult AS, desember 2012. Oppdragsrapport for DiBK.

Boligprodusentenes Forening (2013) "Merknader fra Boligprodusentenes Forening til Rambølls konsulentrapport «Energiregler 2015. Forslag til endringer i TEK for nybygg»", Oslo 29. august 2013.

Boligprodusentenes Forening (2015) "Boligprodusentenes høringsmerknader – Nye energikrav til bygg", Oslo 15. mai 2015.

Clementz C.A., Nore K., Steiner Y., Glasø G., Eide S., Bysheim K., Brunsell J.T. (2011) "ENTRÉ – energieffektive trenkonstruksjoner Delrapport 2 – Yttervegger i tre som kan tilfredstille passivhuskrav" ENTRÉ – Energy Efficient Timber Structures. Innovasjonsprosjekt ved Trebasert Innovasjonsprogram, Treindustrien og Fondet for Treteknisk Forskning. Norges Tretekniske Institutt, Oslo Juli 2011.

Kvinge T., Langset B., Nørve S. (2012) "Hva betyr kvalitetskrav for byggekostnader og boligtilbud?" NIBR-notat 2012:112. På oppdrag for Husbanken, Oslo 2012.

Smits F., Killingland M., Lånke A. F., Andresen I., Elvebakk K., Holthe F., Ragnøy M.M. og Holmesland M. (2013) "Energiregler 2015. Forslag til endringer i TEK for nybygg." Rambøll, juli 2013. Oppdragsrapport for DiBK.

Vågen M., Gullbrekken, L. (2010) "Lufttetthet for trehus", masteroppgave ved NTNU, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for bygg, anlegg og transport.

# KOSTNADER FOR NYE SMÅHUS TIL HØYERE ENERGISTANDARD

Hvor mye mer koster det å bygge småhus etter de nye energikravene i TEK10 eller som passivhus? Blir det en forskjell om kravene beregnes med tiltaksmetoden eller med rammekravmetoden? I denne rapporten er merkostnadene beregnet for materialer og arbeidstimer, og resultatene viser hvordan størrelsesforholdet endres med ulike løsninger for de ulike nivåene. Kostnadstall er vist for én hustype i seks ulike varianter:

- to varianter bygd i tråd med de tidligere energikravene i byggeteknisk forskrift (TEK 10)
- to varianter bygd etter de nye energikravene i TEK 10
- to varianter bygd i tråd med standarden for passivhusboliger (NS 3700)

Kostnader for ventilasjons- og energiforsyningsløsninger er også beskrevet.