



## Energioptimalisering favoriserer løsninger som fører til dårlig inneklima

### Integrert dynamisk simulering av termisk inneklima og energibruk over året

Søren Gedsø

M.Sc., Erichsen & Horgen AS, Nydalsveien 36, 0483 Oslo, Norge,  
sge@erichsen-horgen.no

Ida H. Bryn

Dr.ing., Erichsen & horgen AS, Nydalsveien 36, 0483 Oslo, Norge,  
ihb@erichsen-horgen.no

Arnkell J. Petersen

M.Sc., Erichsen & Horgen AS, Nydalsveien 36, 0483 Oslo, Norge,  
ajp@erichsen-horgen.no

### Abstrakt

Tanken med passivhus er å designe bygg med lavt energibruk uten å gå på kompromiss med komforten i bygget. Dagens praksis for dokumentering av det termiske inneklimate og energibehovet er ofte å foreta to uavhengige beregninger. I energiberegningen styres gjerne kjøle- og varmebehovet etter en gjennomsnittslufttemperatur i hele sonen og sonen kan ofte være en hel etasje. Simulering av termisk komfort utføres gjerne for utvalgte rom, som regnes som en sone. Det er derfor ikke praksis å regulere klimapådraget etter lokal termisk komfort i energiberegningene.

Avhengig av fasadens egenskaper vil termisk komfort kunne variere i betydelig grad i rommet. Er det store glassflater vil termisk komfort være dårligere nær fasaden både sommer og risiko for høyere energibruk enn det som ofte simuleres. Formålet med denne artikkelen er å foreta en integrert dynamisk simulering for å analysere og dokumentere det termiske inneklimate samt energibruk til kjøling og oppvarming i løpet av et helt år. Simuleringen tar utgangspunkt i et vanlig cellekontor med stor andel glass i ytterfasaden. Det er blitt foretatt en analyse som gjennomgår ulike scenarioer for å undersøke hvor stor innflytelse styringen av varme- og kjølebehovet har på det termiske inneklimate og energibehovet til kjøling og oppvarming. Styringsprinsippene, som benyttes, går på om styringen foretas etter lufttemperaturen eller operativ temperatur, samt ved ulik plassering av setpunktet i kontoret.

Innvendig solavskjerming er svært mye brukt i næringsbygg, men denne studien viser at solenergien akkumuleres i solskjermingen og at det blir høye temperaturer på den innvendige flaten av solavskjermingen.

Resultatene viser betydelig variasjon både i varighetskurvene for lufttemperaturen og den operative temperaturen i rommet. De viser også variasjon i energibruk til romoppvarming og -kjøling avhengig av regulering. Dette viser at både inneklimate og energibehovet er sensitivt i forhold til plassering av setpunktet, men også om romoppvarmingen og romkjølingen styres etter lufttemperaturen eller den operative temperaturen.

Denne problematikken er interessant i forhold til dagens praksis, hvor den faktiske styring av inneklimate foretas etter en temperatur, hvor påvirkningen fra lufttemperaturen og strålings-temperaturen er ukjent. I tillegg plasseres følere ofte langt inne i rommene. Slik styring fører derfor ofte til diskomfort og økt energibruk til romoppvarming og kjøling grunnet overstyring av brukeren.

**Nøkkelord:** energibruk, termisk inneklimate, dynamisk simulering, IDA ICE, komfort, romkjøling, romoppvarming, solavskjerming, integrert simulering, styring

## Innledning

Energioptimalisering er et begrep som får mer og mer fotfeste i byggebransjen og interessen for passivhus og andre lavenergibygninger er økende i hele Skandinavia. Med dagens byggekomponeanter er det ikke vanskelig å bygge/rehabiliterer bygg, slik at energibruken reduseres til et minimum. Det er derimot utfordrende å sikre et lavt energibruk samtidig med at komforten i bygningen sikres. Dagens praksis for beregning og simulering av energibruk og termisk inneklima er å foreta to uavhengige analyser, hvor det ofte ikke er konsistens mellom simuleringen av energibruk og simuleringen av termisk inneklima.

Formålet med denne artikkelen er å dokumentere energibehovet til romkjøling og romoppvarming samtidig med at det termiske inneklimaet ved ulike plasseringer i rommet tas i betraktning i løpet av et helt år. Tidligere beregninger har vist, at det er stort avvik mellom gjennomsnittlig operativ temperatur i rommet og variasjonen av den i dybden. Det er interessant å se hvordan dette fordeler seg over året og om det har noen betydning i forhold til lokalisering av føler både i forhold til termisk komfort og energibruk. Beregningene foretas for et vanlig cellekontor med stor andel glass i ytterfasaden. Notatet gjennomgår hvordan ulike solskjermingsløsninger og reguleringsstrategier gir ulik temperaturvariasjon i rommet og energibruk. Det er viktig å bemerke at energibruken i denne artikkelen er netto energibruk. Det tas derfor ikke hensyn til virkningsgrader for de tekniske systemene.

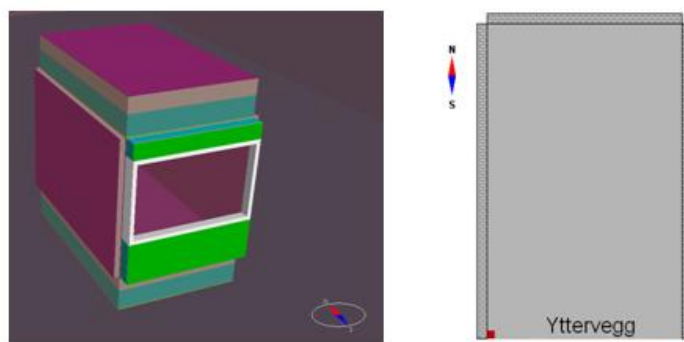
## Beregningsmetode

Beregningene er utført med det dynamiske simuleringsverktøy IDA ICE ver. 4.2 (IDA Indoor Climate and Energy), et program utviklet av Equa Simulation AB. Dette er et verktøy for full dynamisk beregning av inneklima og energiforbruk i bygninger. Programmet er bl.a. validert iht. CEN standard EN 15255:2007, EN 15265:2007, CIBSE TM33 og ANSI/ASHRAE Standard 140-2004.

IDA ICE har to ulike matematiske sonemodeller. I denne undersøkelsen er det benyttet den detaljerte sonemodellen, som i programmet benevnes Climate.

## Beregningsmodell og –forutsetninger

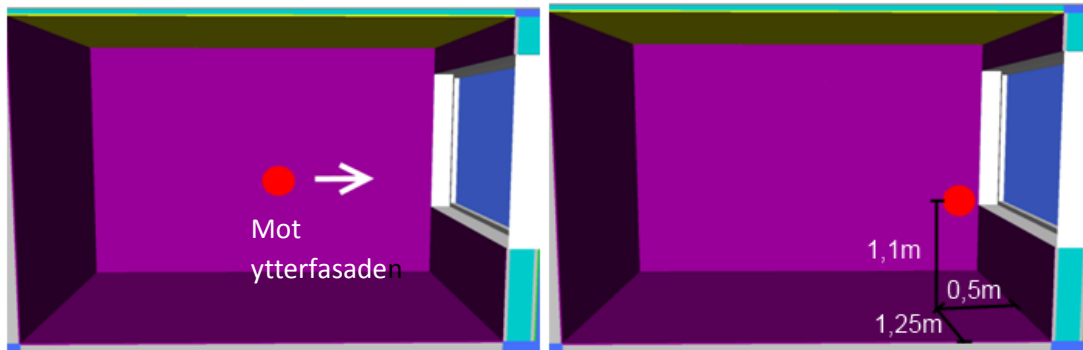
Beregningsmodellen er et vanlig cellekontor med et gulvareal på 10 m<sup>2</sup>. Ytterfasaden er i sørlig retning og inneholder et vindu som har samme bredde som cellekontoret og en høyde på 1,6 m. Ytterfasaden har en brystning på 0,8 m. Plantegning og 3D modell av cellekontoret er illustrert på Figur 1.



**Figur 1** 3D-modell og plantegning av cellekontoret

Alle innvendige flater i cellekontoret, dvs. innervegger, himling og gulv, er antatt adiabatisk, dvs. at det er ingen varmestrøm gjennom disse overflatene.

I beregningen av den operative temperaturen brukes både den gjennomsnittlige operative temperaturen og den retningsbestemte operative temperaturen. Den retningsbestemte operative temperaturen mot ytterfasaden er vist på Figur 2. For simuleringene foretatt i denne undersøkelse beregnes den operative temperaturen som en funksjon av plasseringen i rommet. I cellekontoret tar beregningene utgangspunkt i at brukeren plassert midt i rommet 0,5 m fra vinduet og temperaturen beregnes i 1,1 m høyde fra gulvet, svarende til hodehøyde for en sittende person i henhold til Byggforsk 421.501, se Figur 2.



**Figur 2** Retningsbestemt operativ temperatur mot ytterfasaden. Plassering av bruker i cellekontoret.

## Beregningsforutsetninger

De sentrale beregningsforutsetningene for cellekontoret fremgår av Tabell 1.

**Tabell 1** Sentrale beregningsforutsetninger.

U-verdi yttervegg	[W/m <sup>2</sup> K]	0,16
U-verdi vindu	[W/m <sup>2</sup> K]	1,2
g-verdi vindu	[-]	0,36
Direkte solstråling gjennom vindu	[-]	0,33
Normalisert kuldebro	[W/m <sup>2</sup> K]	0,06
Lekkasjetall n <sub>50</sub>	[h <sup>-1</sup> ]	0,7
Ventilasjonsmengde i drift (CAV)	[m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h]	10
Tilluftstemperatur	[°C]	18 °C
Driftstid ventilasjonsanlegg	Hverdager	6:00-18:00
Lokal kjøling	[W]	700
Settpunkt kjøling (lufttemperatur)	[°C]	25
Settpunkt romoppvarming (lufttemperatur)	[°C]	21
Belysning	[W/m <sup>2</sup> ]	8,0
Utstyr	[W/m <sup>2</sup> ]	11,0
Personer	[W/m <sup>2</sup> ]	5,4
Driftstid internlast	Hverdager	6:00-18:00
Volum	[m <sup>3</sup> ]	27
Golvareal	[m <sup>2</sup> ]	10
Veggareal	[m <sup>2</sup> ]	2,8
Vindusareal	[m <sup>2</sup> ]	4

Nedenstående tabell viser solavskjermingsfaktorene for de solavskjermingstypene.

**Tabell.2** Solavskjermingsfaktorene for solavskjermingstypene

	g <sub>glass</sub>	t <sub>glass</sub>	g <sub>multiplier</sub> solskjerming	t <sub>multiplier</sub> solskjerming	g <sub>system</sub>	t <sub>system</sub>
Innvendig	0,36	0,33	0,64	0,16	0,23	0,05
Utvendig	0,36	0,33	0,14	0,09	0,05	0,03

Analysene foretatt i denne artikkelen er beregnet på romnivå. Energibruken til romkjøling og romoppvarming kan derfor ikke direkte sammenlignes med energibruk på bygningsnivå.

## Simuleringsliste

Det er foretatt ulike simuleringer, hvor 3 faktorer varieres:

- Solavskjerming
- Sensorplassering for styring av varme- og kjølepådrag

- Styring av varme- og kjølepådrag for romoppvarming og romkjøling i forhold til lufttemperatur og operativ temperatur

Hele simuleringslisten fremgår av Tabell 3. Undersøkelsen tar utgangspunkt i simulering A.1 *innv. Forrest*, hvor brukeren er plassert i henhold til Figur 2, det brukes innvendig solavskjerming og varme- og kjølepådraget styres etter lufttemperaturen. For simulering A.1 *innv. Forrest* og B.1 *utv. Forrest* er det foretatt en analyse av scenarioene, hvor modellene oppfyller kravene til den norske passivhusstandard NS 3701:2012-Yrkesbygninger.

**Tabell 3** Simuleringsliste

Sim. nr./navn	Solavskjerming	Styring	Målepunkt
A.1 <i>innv. Forrest</i>	Innvendig	$t_{\text{luft}}$	$(x,y,z)=(1,25;0,5;1,1)$ Dvs. <u>forrest</u> i rommet
A.2 <i>innv. Senter</i>			$(x,y,z)=(1,25;2,1,1)$ Dvs. i rommets <u>senter</u>
A.3 <i>innv. Bakerst</i>			$(x,y,z)=(1,25;0,5;1,1)$ Dvs. <u>bakerst</u> i rommet
A.4 <i>innv. Forrest</i> $t_{\text{op}}$		$t_{\text{op}}$	$(x,y,z)=(1,25;0,5;1,1)$ Dvs. <u>forrest</u> i rommet
B.1 <i>utv. Forrest</i>	Utvendig	$t_{\text{luft}}$	$(x,y,z)=(1,25;0,5;1,1)$ Dvs. <u>forrest</u> i rommet
B.2 <i>utv. Senter</i>			$(x,y,z)=(1,25;2,1,1)$ Dvs. i rommets <u>senter</u>
B.3 <i>utv. Bakerst</i>			$(x,y,z)=(1,25;0,5;1,1)$ Dvs. <u>bakerst</u> i rommet
B.4 <i>utv. Forrest</i> $t_{\text{op}}$		$t_{\text{op}}$	$(x,y,z)=(1,25;0,5;1,1)$ Dvs. <u>forrest</u> i rommet

## Resultater

I dette avsnittet sammenlignes varighetskurvene for lufttemperaturen og den operative temperaturen samt energibruken til romoppvarming og -kjøling. Det skal bemerkes at varighetskurvene som vises i avsnittet inneholder bare driftstimerne. Cellekontoret er i drift fra 6:00-18:00 alle hverdager, dvs. total antall driftstimer blir 3120 h/år. Scenarioene som sammenlignes er:

- Ulik solavskjerming
- Ulik sensorplassering
- Ulik referansetemperatur ( $t_{\text{luft}}/t_{\text{op}}$ )

Scenariot med ulike solavskjerminger inneholder et studie ved bruk av beregningsforutsetninger som oppfyller kravene i den norske passivhusstandard NS 3701:2012 for yrkesbygninger.

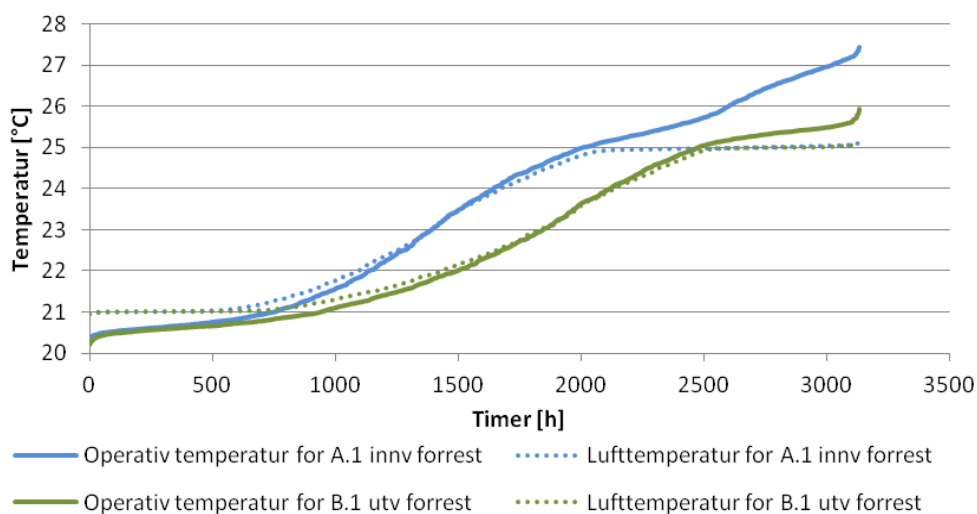
### Ulike solavskjermingsløsninger

Varighetskurven for lufttemperaturen og den operative temperaturen forrest i rommet i driftstiden ved innvendig og utvendig solavskjerming gjennom et år fremgår av Figur 3. Setpunktet for romoppvarming og -kjøling er henholdsvis 21 °C og 25 °C.

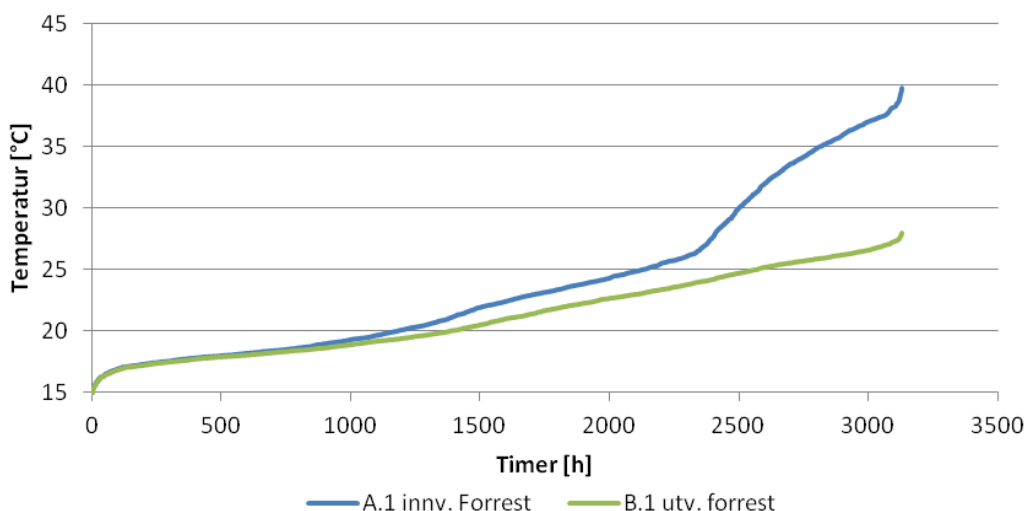
Ser vi på de operative temperaturene er de ca 750-900 timer under 21 °C. Dette skjer ved lave utetemperaturer der overflatetemperaturen på vinduet og eller solskjermingen blir lav. Forskjellen mellom den innvendige og utvendige solskjermingen skyldes at den innvendige solskjermingen slipper varmen inn, noe som bidrar positivt til termisk komfort om vinteren.

Begge solavskjermingene gir høyere operativ temperatur enn lufttemperaturen, når denne er over 25 °C. Den innvendige gir vesentlig høyere operativ temperatur enn den utvendige og også betydelig lengre periode med bl.a. operativ temperatur over 25 °C. Problemet med ineffektive solskjermingsløsninger er høye overflatetemperaturer på vinduet og solavskjerming. Dette fører til stor varmestråling inn i rommet, økt strålingstemperatur og dermed økt operativ temperatur. Figur 4

viser varighetskurvene for overflatetemperaturen for vinduet for bruk av innvendig og utvendig solavskjerming.



**Figur 3** Sammenligning av varighetskurver for lufttemperaturen og den operative temperatur ved bruk av innvendig og utvendig solavskjerming. Bemerk varighetskurven inneholder utelukkende driftstimer.



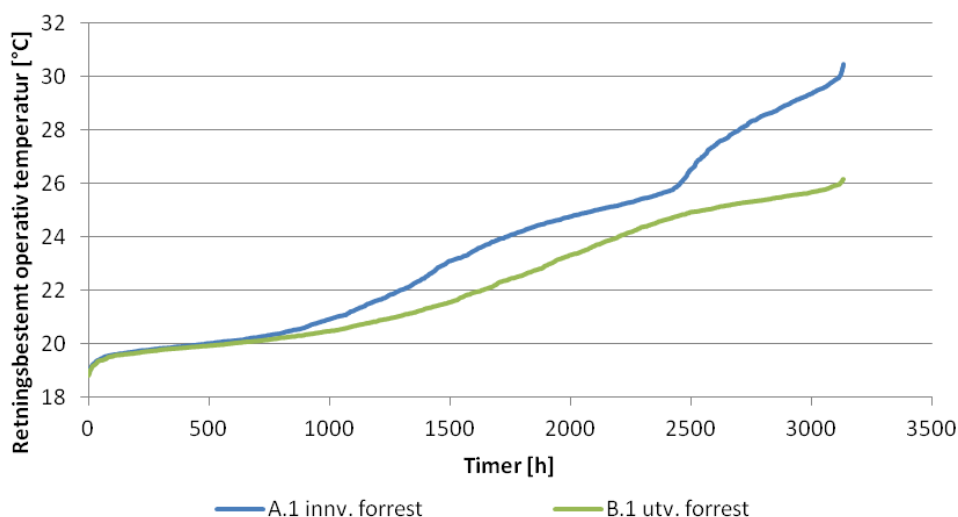
**Figur 4** Sammenligning av overflatetemperaturen for vinduet for bruk av innvendig og utvendig solavskjerming. Bemerk varighetskurvene inneholder utelukkende driftstimer.

Forskjellen i varigheten for lufttemperaturen og den operative temperaturen skyldes utelukkende solavskjermingseffektivitetene. I modellen med innvendig solavskjerming er solavskjermingen plassert inne i rommet, hvilket fører til at varmestrålingen fra solavskjermingen inn i rommet blir større. Resultatene viser tydelig at valg av solavskjermingsløsning har stor innflytelse på den operative temperaturen i cellekontoret gjennom et helt år. Valg av solavskjermingsløsning har derfor stor innflytelse på både den termiske komforten i cellekontoret, men også energibehovet til kjøling. En effektiv solavskjermingsløsning vil derfor både redusere energibehovet til kjøling og forbedre den termiske komforten. Ulempen ved utelukkende å bruke utvendig solavskjerming gjennom et helt år,

er at solavskjermingen blir brukt mot blanding på vinteren og reduserer dermed varmetilskuddet fra solen selv om det er et oppvarmingsbehov.

Det kan være grunn til å anta at de store avvikene mellom lufttemperatur og operativ temperatur fører til at folk endrer termostaten i retning av å oppnå mer tilfredsstillende operativ temperatur. Konsekvensen av en slik mulig adferd undersøkes i et senere avsnitt.

Figur 5 viser varighetskurven for den retningsbestemte operative temperaturen mot ytterfasaden ved ulike solavskjermingsløsninger i driftstiden i løpet av et helt år. Resultatene viser spesielt store forskjeller i den siste fjerdedel av varighetskurven, hvor den utvendige solavskjermingen ikke fører til nevneverdige timer over 26 °C. Varighetskurvene viser dermed at modellen med utvendig solavskjerming har et mer stabilt termisk inn klima i løpet av et helt år, da den retningsbestemte operative temperaturen mot ytterfasaden er redusert sammenlignet med modellen med innvendig solavskjerming. En ser også at retningsbestemt operativ temperatur er under 20 °C hele 500 timer i løpet av et år, noe som understøtter ideen om at en stillesittende bruker vil oppfatte det som kaldt i rommet i denne perioden og justere termostaten hvis mulig.



**Figur 5** Varighetskurve for den retningsbestemte operative temperaturen mot ytterfasaden ved ulike solavskjermingsløsninger i driftstiden i løpet av et helt år.

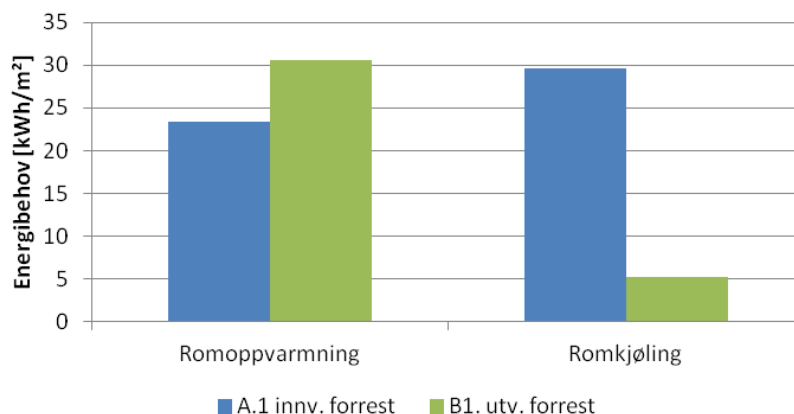
Netto energibehov til lokal kjøling og romoppvarming ved ulike solavskjermingsløsninger fremgår av Figur 6 og Figur 7. Resultatene viser at utvendig solavskjerming fører til en betydelig reduksjon i energibehov til kjøling, men et større energibehov til oppvarming.

Styringen av solavskjermingen endres ikke fra sommer til vinter, da at solavskjermingen brukes mot blanding på vinteren. Denne styringen betyr at en mer effektiv solavskjerming fører til et økt oppvarmingsbehov og et redusert kjølebehov. Resultatene viser imidlertid at besparelsen på energibehovet til kjøling er langt større enn økningen i oppvarmingsbehovet. Det kan derfor være grunn til å vurdere å benytte en kombinasjon av utvendig og innvendig solskjerming dersom en vil optimalisere klima og energibruk.

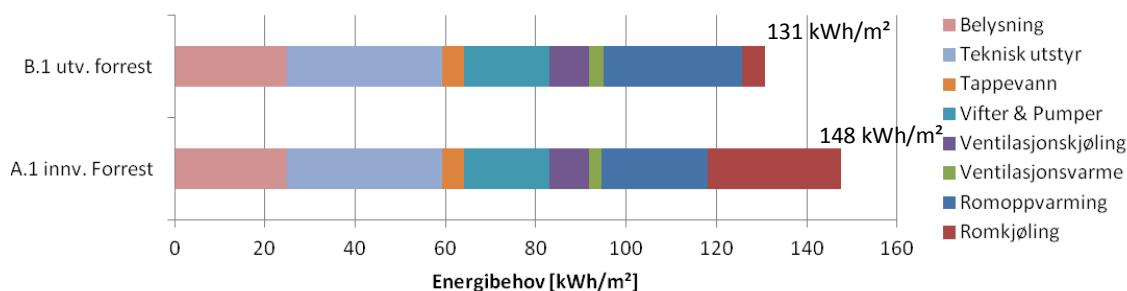
Problemet med dagens dokumentering av energibehov, er at det ikke tas hensyn til det termiske inn klimaet i tilstrekkelig grad. Denne problematikken fører til at energieffektivisering av bygg favoriserer løsninger som kan føre til dårlig inn klima dersom en ikke har lokal kjøling. Eksempelvis var scenarioet med innvendig solavskjerming mest energieffektiv, hvis det ikke var lokal kjøling i lokalet. Dette caset har imidlertid betydelig dårligere inn klima med stor risiko for at brukerne justerer



termostater slik at energibehovet dermed blir vesentlig høyere. Dette er spesielt gjeldene, hvis det ikke er implementert tiltak på styring av varme, ventilasjon og vinduslufting som hindrer lufting og oppvarming samtidig.



**Figur 6** Sammenligning av energibruk til romkjøling og romoppvarming ved bruk av innvendig og utvendig solavskjerming.



**Figur 7** Sammenligning av totalt energibehov til lokal kjøling og romoppvarming ved bruk av innvendig og utvendig solavskjerming.

### Ulike solavskjermingsløsninger for Passivhus

Det er foretatt en undersøkelse svarende til ovenstående, hvor modellen oppfylder kravene til den norske passivhusstandard, NS 3701:2012-Yrkesbygninger, for minstekravene til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall. De reviderte beregningsforutsetningene fremgår på Tabell 4.

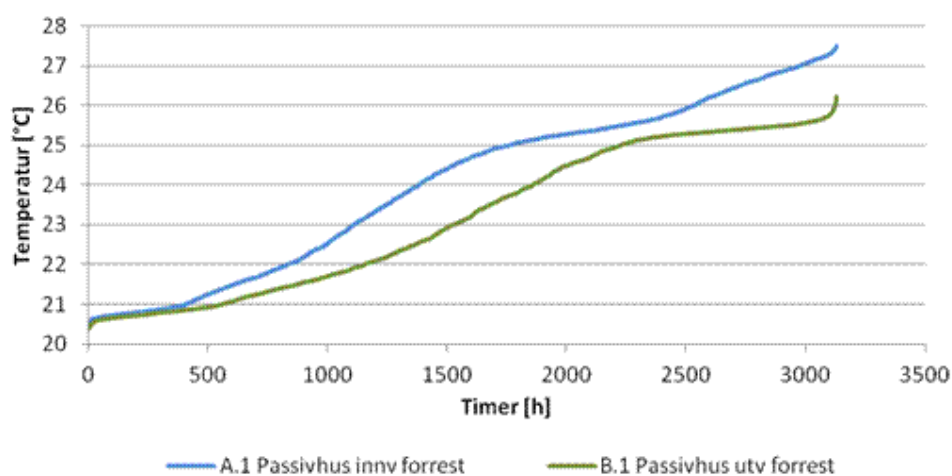
**Tabell 4** Reviderte beregningsforutsetninger. Forutsetningene oppfylder kravene til den norske passivhusstandard NS 3701.

$U_{vegg}$	[W/m²K]	0,1
$U_{vindu}$	[W/m²K]	0,8
Normalisert kuldebro	[W/m²K]	0,03
Infiltrasjon, $n_{50}$	[h <sup>-1</sup> ]	0,6
Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinning vent. anlegg	[%]	80

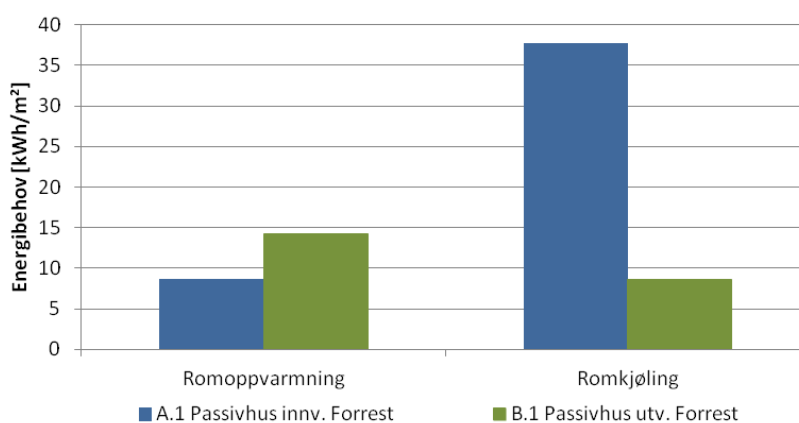
Figur 8 og Figur 9 viser varighetskurven for den operative temperaturen og energibruken til romoppvarming og romkjøling. Resultatene som fremgår på figurene viser samme tendenser som

beskrevet i forrige avsnitt. Det er tydelig at energioptimalisering favoriserer løsninger som fører til dårlig innelima. Det er derfor viktig å evaluere den termiske innelimaet samtidig med at byggets energiytelse analyseres. En optimalisering av byggets energiytelse gir derfor ikke mening, hvis innelimaet ikke inkluderes i optimaliseringsprosessen.

Øvelsen foretatt i dette avsnittet avslører også at problematikken ikke utelukkende er relatert til byggenes varmetapskoeffisienter, bygningskomponenter, tekniske installasjoner osv., men relatert til byggets overordnede design og relatert til samspillet mellom de enkelte komponenter og systemer i bygget. Det er derfor viktig å benytte prosesser i design av bygninger som integrerer alle fagfeltene, slik at designprosessen forebygger problematikker som kan oppstå i den senere prosjekteringsfase eller i driftsfasen.



**Figur 8** Varighetskurver for den operative temperatur ved bruk av innvendig og utvendig solavskjerming ved bruk av passivhusnivåforutsetninger. Bemerk varighetskurven inneholder utelukkende driftstimer.

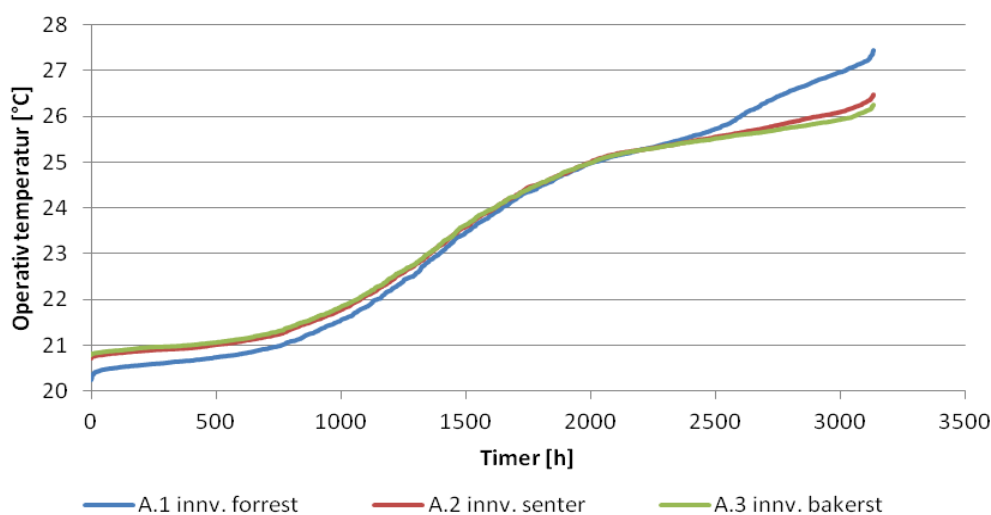


**Figur 9** Sammenligning av energibrukt til romkjøling og romoppvarming ved bruk av innvendig og utvendig solavskjerming ved bruk av passivhusnivåforutsetninger.

## Ulik plassering i rommet

Undersøkelsen i forrige avsnitt viste høye overflatetemperaturer ved bruk av innvendig solavskjerming og dermed risiko for stor temperaturvariasjon i rommet. Figur 10 viser varighetskurven for den operative temperaturen som funksjon av plasseringen av beregningspunktet for modellen med innvendig solavskjerming i driftstiden.

Varighetskurvene viser at temperaturvariasjonen er størst nærmest ytterfasaden, hvilket stemmer overens med overflatetemperaturene funnet i forrige avsnitt. Temperaturen ytterst ved fasaden er over 1 °C varmere enn de innerst i rommet i flere hundre timer. Resultatene viser en markant endring i antall timer den operative temperaturen overstiger 26 °C, når plasseringen av beregningspunktet varieres. Dette faktumet har stor konsekvens for evaluering av det termiske inneklimaet, da mange evalueringer baseres på et maksimum timeantall på 50 h over en operativ temperatur på 26 °C. Plasseringen av beregningspunktet får derfor stor betydning på om det termiske inneklimaet oppfylles. Rom med slike temperaturvariasjoner er også vanskelige å styre i forhold til varme- og kjølepådraget, da behovet varierer internt i rommet. I praksis betyr dette at plasseringen av sensorer får stor betydning for både det termiske inneklimaet og den tilhørende energibruken. Disse forholdene er spesielt gjeldende i kontorlandskap og klasserom, der en har stor romdybde og må ha stort glassareal i fasaden for å oppfylle dagslyskravet.

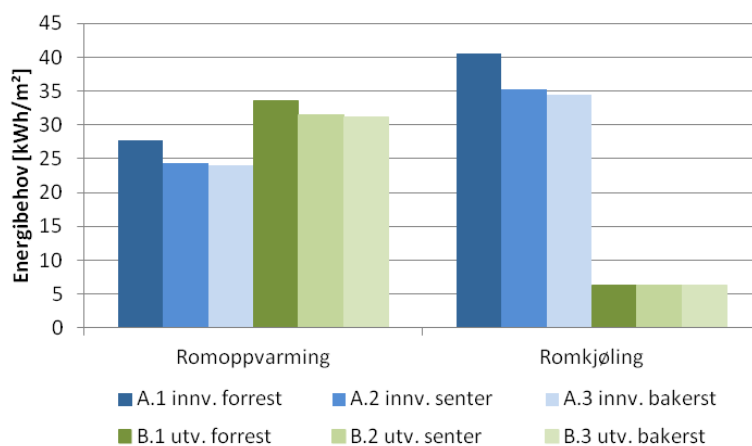


**Figur 10** Varighetskurve for den operative temperaturen som funksjon av plassering i rommet for simuleringmodellen med innvendig solavskjerming i driftstiden.

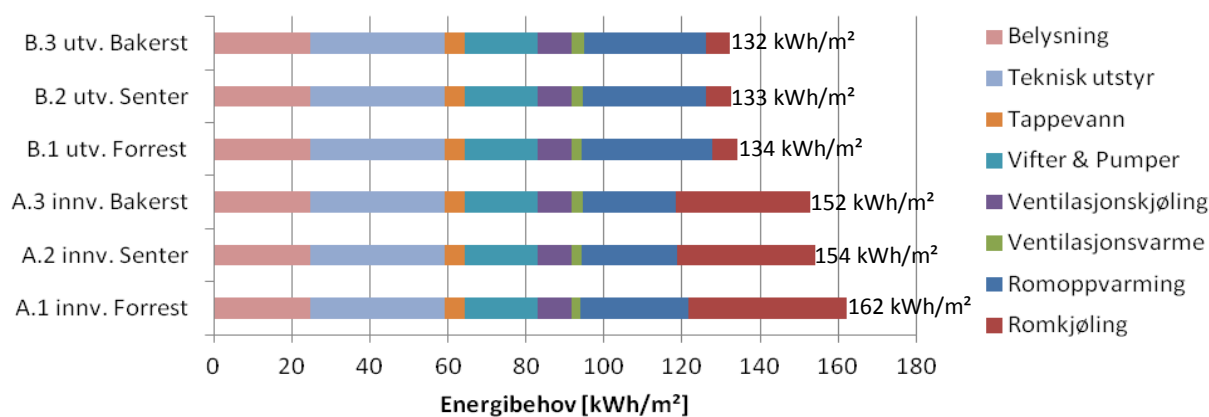
Resultatene viser også at det bør overveies om den operative temperaturen, som ligger til grunn for evalueringen av det termiske inneklimaet, skal beregnes i et predefinert punkt.

I den matematiske beregningsmodellen for IDA ICE varierer lufttemperaturen ikke i dybden av rommet. Energibruken til kjøling og oppvarming vil derfor ikke variere når beregningspunktet i cellekontoret flyttes ved bruk av lufttemperaturen som settpunkt. Derimot vil energibruken variere når settpunktet styres etter operativ temperatur. Strålingstemperaturen i den matematiske beregningsmodellen i IDA ICE er en funksjon av plasseringen i rommet, da vinkelforholdene mellom de enkelte overflater inngår i beregningen. En sammenligning av energibehovet til lokal kjøling med varierende plassering i cellekontoret fremgår av Figur 11 og Figur 12, der kjøle- og varmepådraget styres etter den operative temperaturen.

Resultatene viser at variasjonen i energibehovet er mindre jo mer effektiv solavskjermingen er. Dette betyr at en mer effektiv solavskjerming fører til et bedre termisk inneklima ved bruk av mindre energi. I tillegg fører en mer effektiv solavskjerming også til en mer robust løsning i forhold til plasseringen av beregningspunktet for settpunktstemperaturen. Tilsvarende ville vi sett mindre endring i energibehovet til oppvarming dersom vinduet hadde lavere U-verdi.



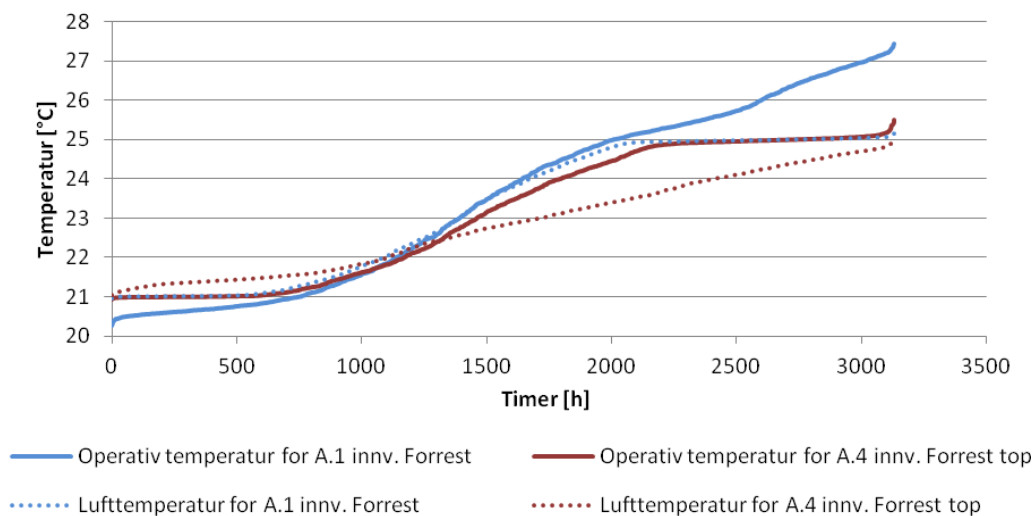
**Figur 11** Sammenligning av energibehovet til romkjøling ved ulike plassering av settpunktet (forrest, senter, bakerst). Settpunktet styres etter den operative temperaturen.



**Figur 12** Sammenligning av energibehovet til romkjøling ved varierende plassering av settpunktstemperaturen. Settpunktstemperaturen styres etter den operative temperaturen.

### Ulike referansetemperatur ( $t_{luft}/t_{op}$ )

Det termiske inneklimaet er svært avhengig av, om kjøle- og varmebehovet styres etter lufttemperaturen eller den operative temperaturen. Dette er spesielt gjeldende for dager med høye utetemperaturer og høy solstråling samt kalde vinterdager. Figur 13 viser en sammenligning av varighetskurvene for lufttemperaturen og den operative temperaturen ved styring av varme- og kjølebehovet enten etter lufttemperaturen (blå kurve) eller den operative temperaturen (rød kurve) for kontoret med innvendig solskjerming.



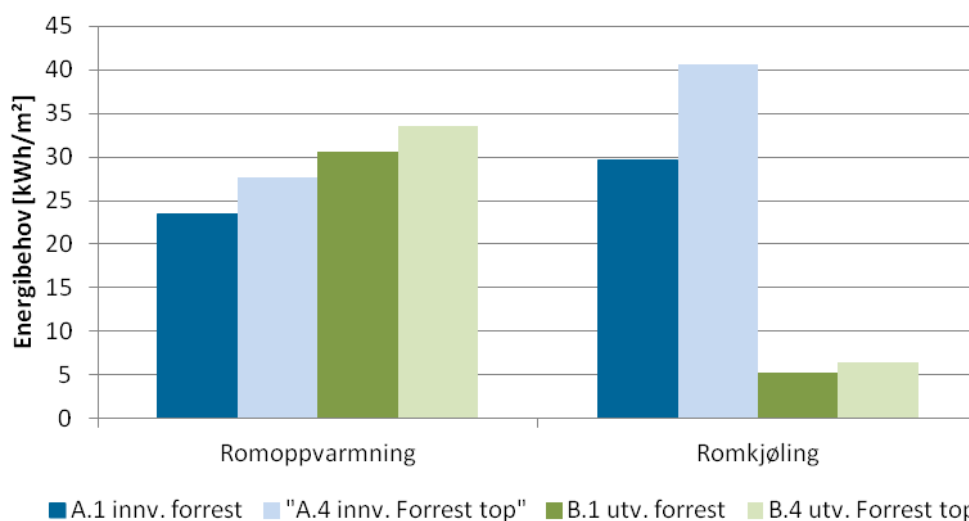
**Figur 13** Sammenligning av varighetskurver for den operative temperatur og lufttemperaturen for modellen med innvendig solavskjerming når det reguleres etter hhv lufttemperatur (blå) og operativ temperatur (rød). Varighetskurvene inneholder utelukkende driftstimer.

Ved styring av varme- og kjølepådraget etter den operative temperaturen, blir lufttemperaturen høyere på vinteren og lavere på sommeren. Dette skyldes at strålingstemperaturen er høyere enn lufttemperaturen på sommeren og lavere på vinteren. For å holde den operative temperaturen på det ønskede nivå, må lufttemperaturen derfor være høyere på vinteren og lavere på sommeren. Styring etter den operative temperaturen vil derfor føre til en høyere energibruk, men føre til et mer tilfredsstillende innklima.

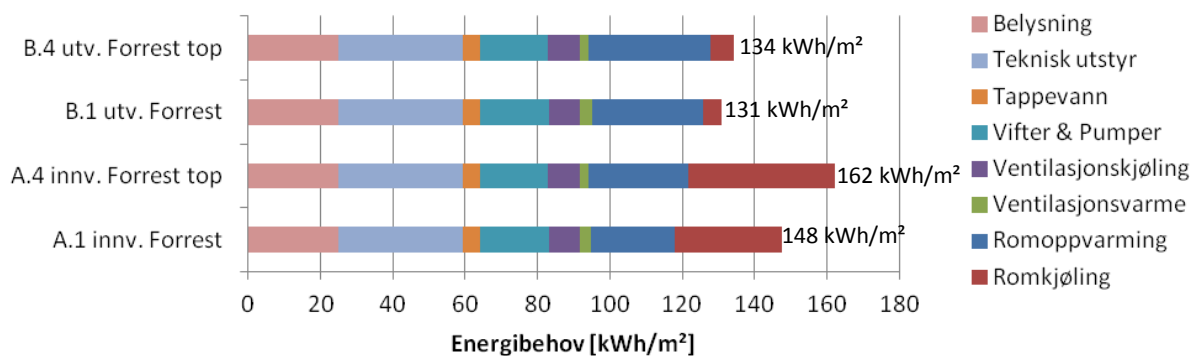
Den faktiske styringen avhenger av den spesifikke temperatursensor, men generelt blir slike sensorer påvirket av både konveksjon og stråling. Det betyr at den faktiske styringen ikke er lik styringen som benyttes i beregningsprogrammet. Ofte vil lufttemperaturen være den beste tilnærming til den faktiske styring, da denne temperaturen minner mest om den temperaturen som måles. Simuleringen, hvor den operative temperaturen brukes til å styre varme- og kjølepådraget vil imidlertid gi et bilde av energibruken, når styringen tar hensyn til hvordan brukerne opplever det temperaturnivået i sonen. Dette er interessant i områder, hvor brukerne selv har mulighet for å styre/kontrollere varme- og kjølepådraget.

En sammenligning av energibehovet til oppvarming og lokal kjøling hvor kjøle- og varmebehovet styres etter lufttemperaturen og den operative temperaturen er vist på Figur 14 og Figur 15. Forskjellene i energibehovene skyldes den før omtalte problematikken, hvor strålingstemperaturen vil være lavere på vinteren enn lufttemperaturen og høyere på sommeren. Resultatene viser at styring av kjøle- og varmpådraget ved bruk av den operative temperaturen har større innvirkning på energibehovet til lokal kjøling enn til romoppvarming. Resultatene viser også større innflytelse på scenarioet med innvendig solavskjerming, da dette scenarioet har den største temperaturforskjellen mellom luft- og strålingstemperaturen på sommeren og på vinteren.

For innvendig solskjerming fører beregning av energibruken ved styring etter lufttemperatur til ca 10 % lavere energibruk enn beregning etter operativ temperatur. Dette kan forklare noe av årsaken til stort avvik mellom beregnet og virkelig energibruk.



**Figur 14** Sammenligning av energibruken til romoppvarming og -kjøling, hvor varme- og kjølebehovet styres etter lufttemperaturen eller den operative temperaturen.



**Figur 15** Sammenligning av den totale energibruken hvor settpunktstemporene styres etter lufttemperaturen og den operative temperaturen.

## Konklusjon

Formålet med artikkelen å undersøke avhengigheten mellom termisk komfort og energibruk i løpet av et helt år.

Beregningene viser at dagens metode for beregning av energiytelsen til bygg kan favorisere løsninger som fører til dårlig termisk inneklima.

- Problematikken er ikke utelukkende relatert til byggenes enkelte varmetapskoeffisienter, bygningskomponenter, tekniske installasjoner osv., men relatert til byggets overordnede design og relatert til samspillet mellom de enkelte komponenter og systemer i bygget. Det er derfor viktig å ta høyde for hvilke konsekvenser en energioptimalisering har på inneklimaet i bygget. En energioptimalisering uten å ta hensyn til det termiske inneklimaet gir derfor ikke mening.
- Dagens standard for å dokumentere bygningers energiytelse bør endres til å inkludere konsistent evaluering av det termiske inneklimaet i løpet av året. Eventuell overskridelse av komfortkrav bør sanksjoneres.
- Beregningene viser store forskjeller i det termiske inneklimaet ulike steder i rommet. Dette er spesielt gjeldende ved innvendig solavskjerming. Det er fare for at dårlig inneklima ikke avdekkes i rom med mye glass og innvendig solskjerming med de simuleringsmodeller som stort sett brukes i dag. Ved styring av varme- og kjølebehovet i forhold til lufttemperaturen tas det ikke høyde for denne problematikken. Varme- og kjølebehovet skal styres etter den operative temperaturen i verste brukerplassering, hvis det skal tas høyde for dette
- Energibruken til romoppvarming og romkjøling samt det termiske inneklimaet er sensitiv i forhold til om varme- og kjølebehovet styres etter lufttemperaturen eller den operative temperaturen. I tillegg har plassering av setpunkt for styring av romoppvarming og romkjøling stor konsekvens for det termiske inneklimaet og tilhørende energibruk, når behovet styres etter den operative temperaturen.
- Det bør stilles krav til dokumentasjon av termisk komfort på en slik måte at det representerer hele oppholdssonen.

## Takk til

Prosjektet er finansiert av forskningsrådet i Norge og er et ledd i et større forskningsprosjekt i samarbeide med Glass & Fasadeforeningen i Norge og Erichsen & Horgen AS.