

Overoppvarming i passivhus samanlikna med hus med lågare isolasjonsstandard

Siri Birkeland Solheim

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Arvid Dalehaug, BAT

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgåvetittel: Overoppvarming i passivhus samanlikna med hus med lågare isolasjonsstandard	Dato: 11.06.12		
	Tal på sider (inkl. vedlegg): 114		
	Masteroppgåve	x	Prosjektoppgåve
Namn: Siri Birkeland Solheim			
Faglærer/rettleiar: Arvid Dalehaug			
Eventuelle eksterne faglege kontaktar/rettleiarar:			

Ekstrakt

Det er stadig aukande interesse og fokus på energieffektivitet i byggesektoren, og passivhus er i dag på veg til å verte forskriftskrav i Noreg. Det er likevel stor ueinighet i om passivhusa er godt nok utreda for konsekvensar i bruk til at dette kan skje i nærmaste framtid. Mykje av kritikken som vert retta mot passivhus er at det vert store problem med overvarme om sommaren.

I denne rapporten er det presentert erfaringar frå passivhus i Noreg, Sverige og Danmark og gjennomført simuleringar. Målet er å finne ut om det er eit større problem med overvarme i passivhus enn i andre hus med lågare isolasjonsstandard.

Erfaringane og simuleringane presentert i rapporten viser at isolasjonsevna ikkje har betydeleg innverknad på det termiske inneklimate. Problem med overvarme vil difor oppstå i like stor grad i passivhus og bygg med lågare isolasjonsstandard. Simuleringane viser vidare at både passivhus og hus med lågare isolasjonsstandard vil har store problem med overvarme dersom det ikkje vert iverksatt tiltak for å hindre det. Tre strategiar for å redusere problemet er

- Forhindre varmetilskot
- Planlegge metode for å fjerne varmeoverskot
- Sørgje for tilstrekkeleg varmelagring

Dersom desse strategiane vert gjennomført, vil den gode isolasjonsevna i passivhus stenge varmen ute og på denne måten sikre eit betre termisk inneklimate på varme dagar enn hus med lågare isolasjonsstandard.

Stikkord

1. Passivhus
2. Overoppvarming
3. Solskjerming
4. Termisk komfort

Forord

Denne rapporten er skrevet som eit avsluttande arbeid for avgangsstudentar ved Noregs teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Arbeidet er tilknyttet institutt for Bygg, Anlegg og Transport, BAT, med fordjupingsretning Bygnings- og materialteknikk.

Arbeidet med denne masteroppgåva har gitt meg moglegheit til å nytte kunnskap eg har tileigna meg gjennom fem års studie på NTNU. Emnet eg har valt å sjå på er overvarme i passivhus. Energieffektivitet i bygg er eit tema som vekker stadig aukande interesse, og passivhus er for fullt på veg inn til å verte vanleg byggemetode i Noreg. Likevel har passivhus hatt eit blanda rykte her til lands, spesielt med tanke på inneklima, og det er mange sterke meiningar om passivhus. Dette engasjementet er med på å gjere passivhus til eit spennande tema å arbeide med.

På grunn av at det ikkje er mange ferdigstilte passivhus i Noreg har mykje av tida med arbeidet gått til å leite etter erfaringar om overvarme i Noreg og Norden. Det har også gått med ein del tid til å lære å bruke dataprogrammet SIMIEN som er brukt til å gjennomføre simuleringane i rapporten.

Eg vil rette ein spesiell takk til Arvid Dalehaug ved NTNU for hans innsats som rettleiar. Han har bidrege med rettleiing og hjelp, særleg i prosessen med utføring av simuleringane.

Siri Birkeland Solheim, 11.juni 2012

Samandrag

På grunn av eit stort fokus på energibruk i samfunnet, er det ei stadig aukande interesse for passivhus i Noreg. Likevel er ikkje all omtale av husa positiv og dei vert blant anna kritisert for å vere uuthaldeleg varme om sommaren. Mange er no redd for at passivhus skal verte standard i Noreg utan at det har vorte gjennomført tilstrekkelege utredningar av konsekvensane av dei i bruk.

Erfaringar med overvarme frå nokre eksisterande passivhus i Noreg, Sverige og Danmark, presentert i denne rapporten, antyder at det vil vere store problem med overvarme i passivhus dersom det ikkje vert innført tiltak for å hindre det. Overvarme kan likevel relativt lett verte forhindra ved å implementere tre strategiar.

Den første strategien går på å forhindre overflødig varme i bustaden. Det viktigaste for å oppnå dette er å installere tilstrekkeleg solskjerming, men kontroll på internlaster og godt planlagt orientering og bygningsform er også gode tiltak. Den andre strategien er å planleggje ein metode for å fjerne det overflødig varme tilskotet som har klart å trenge inn i bygget. For å gjer dette på ein effektiv måte må ein legge til rette for moglegheit for lufting gjennom vindauge eller andre opningar. Nattventilasjon er til dømes eit godt tiltak. Den siste strategien er å sørgje for tilstrekkeleg varmelagring slik at varmen som ikkje vert fjerna med ein gong, kan lagrast fram til det vert moglegheit for å kvitte seg med den. Dette vert gjort ved å sikre at huset har ein viss del eksponert termisk masse som har god varmelagringsevne.

Vidare i denne rapporten er det presentert resultat av gjennomførte simuleringar av ein einebustad og ein rekkehusbustad, simulert både ut frå passivhusstandard og TEK97-standard. Desse simuleringane viser at sjølv om det er eit problem med overvarme i passivhus, så er ikkje dette eit problem som er spesielt for passivhusa. Resultata viser at eit hus med lågare isolasjonsstandard, som TEK97-hus, vil ha like store problem.

Simuleringane viser også at eit hus med lågare isolasjonsstandard vil følgje utetemperaturen i større grad enn passivhus. Dette fører til at vanlege hus generelt vil vere varmare enn passivhus når utetemperaturen er høg og lågare når utetemperaturen er låg. Grunnen til dette er at den gode isolasjonsstandard i passivhus vil stenge varmen ute. Det er likevel avgjerande å sikre at passivhus har ein måte å kvitte seg med overskotsvarme på, til dømes moglegheit for lufting, slik at varmen som klarer å kome seg inn ikkje vert stengt inne.

Abstract

An increasing focus on energy efficiency in buildings contributes to a growing popularity of the passive house concept in Norway. Yet not all mention of the houses is positive, and among other things they often get criticized for the thermal comfort in the summer. Many experts are now afraid that passive houses will be implemented as standard building method before it has been carried out adequate impact assessment of them in use.

Experiences with overheating from some existing passive houses in Norway, Sweden, and Denmark, presented in this study, suggests that there will be major problems with overheating in passive houses if it is not implemented measures to prevent it. But they also show that overheating can relatively easy be prevented by implementing three strategies.

The first strategy is to prevent excess heat in the dwelling. The most important step to achieve this is to install sufficient shading of the sun, but control of internal loads and well-planned orientation and building form is also good measures. The second strategy is to plan a method to remove the excess heat that has managed to penetrate into the building. To do this effectively one must ensure opportunity for ventilation through windows or other openings. Night ventilation is for example a good measure. The last strategy is to ensure sufficient heat storage so that the heat that is not removed immediately, can be stored until it can be removed. This can be done by ensuring that the house has exposed thermal mass with good heat capacity.

In this study it is presented results of simulations of a single-unit dwelling and an apartment in a terrace house, simulated according to the Norwegian Passive House standard and the technical regulations from 1997. These simulations show that although there is a problem with overheating in passive houses, it is not a problem unique for these kinds of houses. The results show that a house with lower insulation standards, as house build according to the technical regulations from 1997, has as much problem with overheating as a passive house.

The simulations also show that a house with lower insulation standard will follow the outdoor temperature to a greater extent than a passive house. This means that regular houses generally will be warmer than passive house when the outdoor temperature is high and lower when the outdoor temperature is low. The reason for this is that the good insulation standard in passive houses will block the heat out. However, it is crucial to ensure that the passive house has a way to get rid of the excess heat, such as the opportunity for ventilation through window, so that the heat that is able to get in is no blocked from coming out again.

Innhald

Forord	III
Samandrag.....	V
Abstract	VII
Figurliste	3
Tabelliste	7
Definisjonar og omgrep.....	9
1. Innleiing.....	11
1.1. Bakgrunn.....	11
1.2. Føremål og oppbygging	11
1.3. Avgrensing	12
1.4. Metode	12
2. Litteraturstudie.....	13
2.1. Kva er termisk komfort.....	13
2.1.1. To hovudretningar om termisk komfort	14
2.2. Definisjon av overvarme og krav i forskrifter	16
2.3. Passivhus og overvarme	18
2.4. Erfaringar frå passivhus i Noreg og Norden	19
2.4.1. Lindås, Sverige	19
2.4.2. Värnamo, Oxtorget i Sverige	20
2.4.3. Frillesås i Sverige	21
2.4.4. Lidköping, Sverige.....	22
2.4.5. Alingsås, Sverige	23
2.4.6. Vejle, Danmark	24
2.4.7. Odense, Danmark.....	25
2.4.8. Fyllingsdalen, Noreg	26
2.4.9. Tromsøya, Noreg.....	27
2.5. Metodar for å unngå overtemperatur i passivhus	28
2.5.1. Forhindre varmetilskot.....	28

2.5.2.	Planlegge metode for å fjerne varmeoverskot	35
2.5.3.	Sørgje for tilstrekkeleg varmelagring	38
2.6.	Brukarane	39
3.	Simulering.....	41
3.1.	Einestad	41
3.1.1.	Inputparametrar.....	41
3.1.2.	Basissimulering.....	44
3.1.3.	Simulering utan solskjerming	46
3.1.4.	Simulering med plassering i Ålesund og Bodø	47
3.1.5.	Simulering med lufting gjennom vindauge	49
3.1.6.	Simulering med jamt fordelt areal av vindauge.....	51
3.1.7.	Simulering med frikjøling på nattetid	53
3.1.8.	Simulering med frikjøling og betong som termisk masse	55
3.1.9.	Simulering med færre dagar	56
3.1.10.	Årssimulering.....	58
3.2.	Rekkehusbustad.....	59
3.2.1.	Inputparameter	59
3.2.2.	Basissimulering og simulering utan solskjerming	60
3.2.3.	Ålesund og Bodø.....	62
3.2.4.	Lufting gjennom vindauge.....	63
3.2.5.	Frikjøling med og utan ekstra termisk masse	63
3.2.6.	Rotert plassering	65
3.3.	Simulering frå Lavenergiprogrammet	67
4.	Oppsummering.....	71
5.	Konklusjon	73
6.	Vidare arbeid.....	75
	Bibliografi	77
	Vedlegg.....	81

Figurliste

Figur 1: Samvirke av parameterar som påverkar termisk komfort.....	14
Figur 2: Avisartiklar om overvarme i passivhus.....	18
Figur 3: Rekkehus i Lindås (Andresen & Dokka, u.d.a).....	20
Figur 4: Venstre: Eit av husa i Värnamo. Høgre: Målt innetemperatur i åtte leilegheiter i løpet av vår, sommar og haust 2007, med manglande temperaturar i periodane 15.05-21.05 og 31.07-13.08 (Janson, 2010)	21
Figur 5: Venstre: Eit av husa i Frillesås. Høgre: Målt innetemperatur i leilegheitene i Frillesås frå 1. februar 2007 til 1. februar 2008 (Janson, 2010)	22
Figur 6: Måling av innetemperatur i leilegheit utan bebuarar, solskjerming og gardiner i perioden 1. februar til 27. mars 2007 (Janson, 2010)	22
Figur 7: Venstre: Einebustaden i Lidköping. Høgre: Temperaturutvikling i fellesrommet i andre etasje i perioden 27. april 2008 til 14. september 2008 (Janson, 2010)	23
Figur 8: Venstre: Bustadblokka i Alingsås. Høgre: Temperaturutvikling i 6 av leilegheitene i perioden 1. april 2009 til 1. april 2010 (Janson, 2010)	24
Figur 9: Venstre: Eit av dei 10 husa ved Vejle (Zeta Invest A/S, Middelfart Sparekasse, Isover, 2008). Høgre: Temperaturar i juni 2010 i hus utan solskjerming (Larsen & Brunsgaard, 2010)	25
Figur 10: Sørfasaden av barnehagen i Odense (Denizou, et al., 2011)	26
Figur 11: Burettslaget i Fyllingsdalen (Denizou, et al., 2011).....	26
Figur 12: Einebustaden på Tromsøya (Andresen, et al., 2007)	27
Figur 13: Screen duk (Norsol, u.d.).....	31
Figur 14: Screen duk i inaktivert og aktivert stilling (Kristiansen, 2011).....	32
Figur 15: Persienner i aktivert stilling (Kjells markiser, u.d.).....	32
Figur 16: Markise (Hareide AS, u.d.).....	33
Figur 17: Strålingsbalanse for ei forseglra rute med LE-belegg på høvesvis inste og ytste rute (Novakovic, et al., 2007).....	34
Figur 18: Forskjellige ventilasjonsmåtar ved bruk av naturleg ventilasjon (Larsen, 2011).....	36
Figur 19: Endring i romvarmebehov ved endring av huset sin varmekapasitet (Larsen, 2011)	39
Figur 20: Planteikning av einebustaden	42
Figur 21: Temperaturutvikling i TEK97-huset med solskjerming	45
Figur 22: Temperaturutvikling i passivhuset med solskjerming	45
Figur 23: Temperaturutvikling i sone 1 og 2 i husa utan solskjerming	46
Figur 24: Maks. innetemperatur i sone 1 med og utan solskjerming i Ålesund og Bodø	47
Figur 25: Maks. innetemperatur i sone 2 med og utan solskjerming i Ålesund og Bodø	47
Figur 26: Resultat sone 1 med og utan solskjerming i Ålesund	48
Figur 27: Resultat sone 2 med og utan solskjerming i Ålesund	48
Figur 28: Resultat sone 1 med og utan solskjerming i Bodø	49
Figur 29: Resultat sone 2 med og utan solskjerming i Bodø	49

Figur 30: Resultat sone 1 med lufting	51
Figur 31: Resultat sone 2 med lufting	51
Figur 32: Resultat sone 1 utan solskjerming og jamt fordelt vindauge	52
Figur 33: Resultat sone 1 utan solskjerming og jamt fordelt vindauge	52
Figur 34: Resultat sone 1 med solskjerming og jamt fordelt vindauge	53
Figur 35: Resultat sone 2 med solskjerming og jamt fordelt vindauge	53
Figur 36: Resultat sone 1 med frikjøling.....	54
Figur 37: Resultat sone 2 med frikjøling.....	54
Figur 38: Resultat sone 1 med frikjøling og bæresystem i betong	56
Figur 39: Resultat sone 2 med frikjøling og bæresystem i betong	56
Figur 40: Samanlikning av maks. innetemperatur ved 3dagar- og 5dagarssimulering	57
Figur 41: Resultat sone 1 etter 3- og 5dagarssimulering	57
Figur 42: Resultat sone 2 etter 3- og 5dagarssimulering	57
Figur 43: Maks. temperatur i sone 1 for kvar månad i passivhus og TEK97-hus med og utan solskjerming.....	58
Figur 44: Planteikning rekkehusbustad	59
Figur 45: Resultat sone 1 med solskjerming	61
Figur 46: Resultat sone 2 med solskjerming	61
Figur 47: Resultat sone 1 utan solskjerming	61
Figur 48: Resultat sone 2 utan solskjerming	61
Figur 49: Resultat sone 1 med og utan solskjerming i Ålesund	62
Figur 50: Resultat sone 2 med og utan solskjerming i Ålesund	62
Figur 51: Resultat sone 1 med og utan solskjerming i Bodø	62
Figur 52: Resultat sone 2 med og utan solskjerming i Bodø	62
Figur 53: Resultat sone 1 med lufting	63
Figur 54: Resultat sone 2 med lufting	63
Figur 55: Resultat sone 1 med frikjøling.....	64
Figur 56: Resultat sone 2 med frikjøling.....	64
Figur 57: Resultat sone 1 med frikjøling og bæresystem i betong	64
Figur 58: Resultat sone 2 med frikjøling og bæresystem i betong	64
Figur 59: Resultat sone 1 med solskjerming og fasade mot aust/vest	65
Figur 60: Resultat sone 2 med solskjerming og fasade aust/vest	65
Figur 61: Resultat sone 1 utan solskjerming og fasade mot aust/vest	66
Figur 62: Resultat sone 2 utan solskjerming og fasade mot aust/vest	66
Figur 63: Tiltakspakke for einebustaden. Resultata er vist for kjøkken-allrommet.....	67
Figur 64: Operativ temperaur for tilfella med endra parameter i tillegg til basissimuleringar og simuleringa med termisk masse, utvendig solskjerming og lufting.	69
Figur 65: Temperatur utvikling i sone 1 i passivhuset.....	71
Figur 66: Temperatur utvikling i sone 1 i TEK97-huset	71
Figur 67: Temperaturutvikling i sone 1 i passivbustaden (i rekkehuset)	72

Figur 68: Temperaturutvikling i sone 1 i TEK97-bustaden (i rekkehuset)..... 72

Tabelliste

Tabell 1: Overslagsverdier for solfaktoren for solskjerming med ulike plasseringer i kombinasjon med klart glas (Bryn, et al., 2012b)	30
Tabell 2: Total solfaktor for eit glasfelt med ulike typer solskjerming (Standard Norge, 2011) .	31
Tabell 3: Areal av fasade og vindauge i ein bustaden	42
Tabell 4: Opningar mellom sonene	43
Tabell 5: Energiforsyninga i passivhuset	43
Tabell 6: Energiforsyninga i TEK97-huset	44
Tabell 7: Maksimal innetemperatur i TEK97-huset og passivhuset	44
Tabell 8: Maksimal innetemperatur i husa med moglegheit for lufting gjennom vindauge ...	50
Tabell 9: Fordeling av vindaugsarealet mellom sonene	51
Tabell 10: Maks. innetemperatur ved bruk av frikjøling	54
Tabell 11: Maks. innetemperatur ved å nytte termisk masse og frikjøling	55
Tabell 12: Fordeling av vindauge i rekkehusbustaden	60
Tabell 13: Varigheit i timar for den operative temperaturen over 26 °C, 27 °C og 28 °C i løpet av eit år	68
Tabell 14: Endra parameterar	68

Definisjonar og omgrep

Bueining

Eining som kan verte nytta som eigen bustad

Bustad

Bygning eller del av bygning, som har eigen inngang, eige kjøkken, toalett og opphaldsrom, og er bygd eller ombygd som heilårsbustad og registert som bustad i nasjonalt register for landets grunneigendomar, eigarar, adresser og bygningar. Bustad omfattar einebustad, seksjon av rekkehus og leilegheit (Standard Norge, 2010)

Bustadblokk

Ei bygning som er satt saman av fleire leilegheiter som er plassert over og under kvarandre, og ved sidan av kvarandre

BRA

Bruksareal etter NS 3940 (Standard Norge, 2011)

Frikjøling

Nytting av ei «gratis» kuldekjelde utandørs for å kjøle ned bygningar. Brukar lite eller ingen energi (Asplan Viak KanEnergi, u.d.)

Internt varmetilskot

Varmetilskot innanfor oppvarma del av bruksareal på grunn av varme frå menneske, utstyr og prosessar (Standard Norge, 2011)

Leilegheit

Del av ei bygning som vert nytta som bustad i ei bygning med minst to etasjar, tre bueining og felles inngang (Standard Norge, 2010)

Rekkehus

Eit hus som består av fleire bustadar som er bygd saman. Bustadane i rekkehuset deler to fasadar med dei to nabobustadane, sett vekk i frå bustadane på enden av rekkehuset.

SFP-faktor

Står for spesifikk vifteeffekt. Det er eit mål på viftene sin effektivitet (effekt delt på luftmengde) (ProgramByggerne, 2010)

Solfaktor

Del av den totale solvarmen som slepp inn i bygget gjennom eit vindauge og ei eventuell solskjerming

TEK10/ TEK97

Forskrift om tekniske krav til byggverk gjeldane frå høvesvis 2010 og 1997

Varmegjenvinning

Varme frå avtrekksluft som vert overført til tilluft for å redusere varmetap på grunn av ventilasjon (Standard Norge, 2011)

Ventilasjon

Prosess som omfattar å tilføre eller fjerne luft frå rom ved hjelp av naturlege eller mekaniske drivkrefter (Standard Norge, 2011)

Ventilasjonsanlegg

Komponentar for både luftbehandling (temperatur- og fuktregulering og filtrering), inntak, avkast og transport av ventilasjonsluft til og frå oppvarma del av bruksareal (Standard Norge, 2011)

1. Innleiing

1.1. Bakgrunn

Tal på passivhus er stadig aukande i Noreg, og det går no mot at passivhuskonseptet, eller ein variant av dette, kan verte forskriftskrav i løpet av nokre få år (Boligprodusentenes Forening, 2011). Sjølv om tilveksten på nybygg berre er på 1-2 % per år, vil den lange levetida til bygg føre til at 1/3 av bygningsmassen i 2040 består av hus som er bygd etter 2010 (Bramslev, 2010). Dette gjer at det er viktig å sikre at hus som vert bygd i dag både gjer minst mogleg skade på miljøet, samstundes som det sikrar eit godt og sunt innklima for bebuarane.

Eit passivhus er eit hus som har rundt 20 % av energibehovet til eit vanleg hus. For å oppnå dette nyttar ein mest mogleg passive tiltak, som til dømes ekstra varmeisolerings, ekstra god tettleik og varmegjenvinning. To hovudkriterier som må vere oppfylt for at eit hus skal kunne verte kategorisert som eit passivhus er:

- Energibehovet til romoppvarming må ikkje overstige $15 \text{ kW/m}^2\text{år}$
- Maksimalt effektbehov til romoppvarming må ikkje overstige 10 W/m^2 (Andresen & Dokka, u.d.b).

I seinare tid har det vore mykje fokus i media på at passivhus ikkje er godt nok utreda for konsekvensar i bruk, og at den tette ytterkonstruksjonen kan føre til dårleg innklima i bygget. Det er retta kritikk mot at det er eit for einsretta fokus på å redusere energiforbruket, og at det ikkje vert utført nok berekningar på korleis tiltaka påverkar innklimaet. Resultatet av dette kan vere at husa vert ubehagelige å bu i, og dette kan igjen føre til bebuarane gjer handlingar for å hindre overvarme og andre innklima problem som gjer at energiforbruket i passivhus vert mykje høgare enn berekna.

På grunn av at det er få passivhus i drift i Noreg i dag, har ein ikkje mange erfaringar med korleis innklimaet i desse husa er i norsk klima. Dette har gjort det vanskeleg å avkrefte eller bekrefte rykta om passivhus. I denne masteroppgåva er føremålet likevel å finne svar på myten om overvarme i passivhus. Dette er gjort ved gjennomførte simuleringar og litteraturstudie.

1.2. Føremål og oppbygging

Føremål med oppgåva er som nemnt å undersøke om det er eit større problem med overvarme i passivhus enn i hus med lågare isolasjonsstandard, samt å undersøke korleis ein redusere eit eventuelt problem med overvarme. Dette er vorte gjort ved å innhente erfaringar frå eksisterande passivhus i Noreg, Sverige og Danmark, samt ved simulering i dataprogrammet SIMIEN.

Oppgåva er todelt. Den første delen består av litteraturstudiet og den andre delen omhandlar dei utførde simuleringane. I litteraturstudiet vert det presentert korleis

overvarme oppstår, erfaringar med overvarme frå passivhus i Norden og ulike tiltak som kan redusere eit eventuelt overvarmeproblem.

I simuleringdelen vert det presentert simuleringar gjort i dataprogrammet SIMIEN. Simuleringane gir ein presentasjon av korleis temperaturutviklinga ved eit sommartilhøve er i eit passivhus i forhold til temperaturutviklinga i eit hus med lågare isolasjonsstandard. Dette er gjort ved å simulere ein tenkt einebustad og ei rekkehusleilegheit etter både passivhusstandard og TEK97-standard. Det er også gjort fleire simuleringar av ulike tiltak for å redusere overvarme der det er sett på temperaturutviklinga i begge husa ved innføringa av tiltaka.

Oppgåveteksta er lagt ved som vedlegg 1.

1.3. Avgrensing

Det er mange tiltak som kan ha innverknad på innetemperaturen i eit bygg. I denne rapporten har det vorte fokusert mest på dei tiltaka som er forventa å ha størst effekt på innetemperaturen i norsk klima. Dette fører til at det er gått meir innpå nokre av tiltaka, medan andre berre vert nemnt. Det er heller ikkje sett på energibruk og kostnader i forbindelse med innføring av tiltaka. Dette er dermed noko som må verte vurdert når ein skal bestemme kva tiltak som er mest hensiktsmessig å innføre.

I oppgåva er det berre sett på sommartilhøve av bygga, det er difor ikkje sett på kva effekt tiltaka har på temperaturen på vinterstid.

1.4. Metode

Innhenting av litteratur om overvarme i passivhus er for det meste gjort gjennom søk på internett. Sidan det ikkje finst mange passivhus i Noreg endå har det vore ei utfordring å finne erfaringar med overvarme frå norsk klima. Dei få passivhusa som finst i Noreg har anten ikkje vore i drift over mange sommarperiodar, eller så er det ikkje gjort oppfølging av det termiske innklimaet etter huset var ferdigstilt. Sidan erfaringa frå norske passivhus er så avgrensa, har det vorte sett på erfaringar frå svenske og danske passivhus. Sidan Sverige og Danmark har eit klima som ikkje er veldig ulikt frå norsk klima, har det vorte antatt at erfaringar frå desse husa er gjeldande for norske passivhus.

Erfaringane er innhenta er frå forskjellige hald og dette har ført til at informasjonen om prosjekta har vore av ulik detaljeringsgrad. Nokon av prosjekta har temperaturmålingar frå sommartilhøve, medan andre berre har intervju med bebruarane. Dette har ført til at nokon overvarmeerfaringar er meir talfasta enn andre.

2. Litteraturstudie

I dette litteraturstudiet vil det verte introdusert kva termisk komfort er, kva aspekt som har betydning for den termiske komforten i bustadar, og kva krav dagens standardar set til inneklima og overvarme. Det vil også verte presentert kva erfaringar som er vorte gjort med temperaturutviklinga i passivhus i Noreg og Norden, samt kva faktorar som kan påverke overvarme og korleis ein kan unngå det.

2.1. Kva er termisk komfort

Termisk komfort er definert som ein sinnstilstand der vi uttrykker full tilfredsheit med dei termiske omgjevnadane (Novakovic, et al., 2007), og det vil dermed vere individuelt ved kva temperatur ein opplever overvarme i eit hus og i kor stor grad dette er eit problem. Dei fysiologiske kriteriene som må vere oppfylt for å oppleve termisk komfort er:

- Hudtemperatur, 32-34 °C
- Kjernetemperatur, 37-38 °C
- Sveittesekresjon (hudvåtheitsgrad), <0,25 (Novakovic, et al., 2007)

Eit hus kan ha mange forskjellige bebuarar i løpet av levetida som alle har forskjellige ynskjer for temperaturen. Sidan det vil vere vanskeleg å designe huset for å tilfredstille alle, vert målet å tilfredstille flest mogleg. Dette kan verte gjort ved å sikre eit tilpassingsdyktig hus som kan verte tilpassa bebuarane og deira behov.

Sjølv om temperatur ved termisk komfort er individuell, og dermed ikkje kan verte satt til ein bestemt temperatur, er det gjort undersøkingar som tyder på at produktiviteten fell med ca. 1 % for kvar grad som avviker frå 21,75 °C (Seppänen, et al., 2006). Det er dermed stort sannsyn for at brukarane vil verte misnøgde og gjere tiltak dersom eit passivhus har eit høgt tal timar over eller under 22 °C over året. Dersom slike tiltak kan verte utført og sørgje for å redusere tida temperaturen avviker frå 22 °C, er det likevel mogleg for bebuarane å oppleve termisk komfort sjølv om den operative temperaturen ikkje er 22 °C til alle tider. For å sikre slike tiltak må huset vere tilpassingsdyktig. Det er viktig at denne tilpassingsdyktigheita vert planlagt med fokus på at tiltaka som er mogleg å gjennomføre ikkje fører til auke i energibruken (Bryn, et al., 2012a).

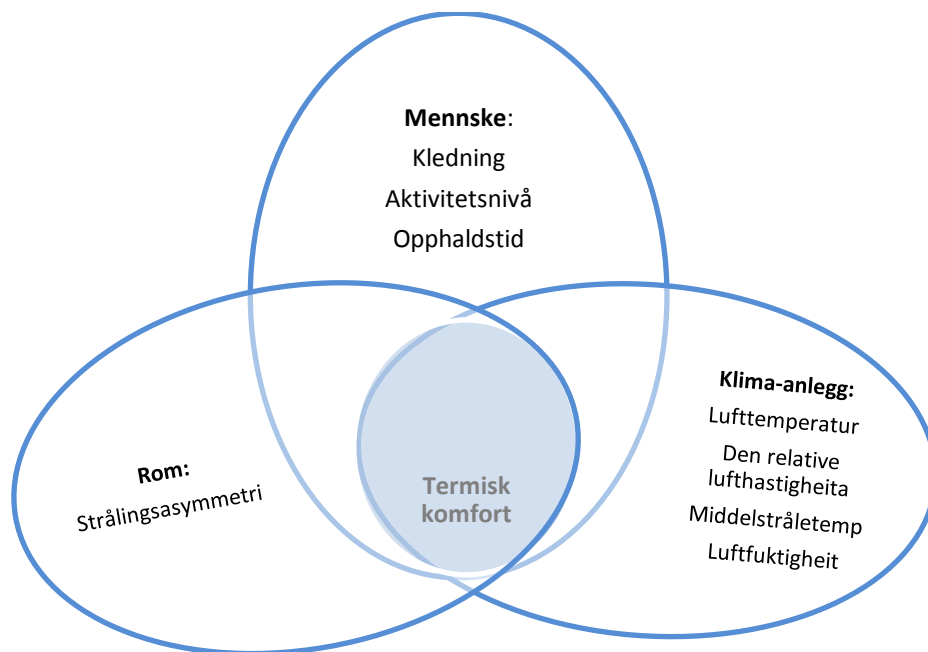
2.1.1. To hovudretningar om termisk komfort

Innan vitenskapen om termisk komfort finst det i dag to hovudretningar, termisk komfort basert på varmebalansen og adaptiv termisk komfort.

2.1.1.1. *Termisk komfort basert på varmebalansen*

Retninga der den termiske komforten er basert på varmebalansen, tek utgangspunkt i teoriar om fysiologi og varmebalansen mellom menneske og omgjevnadane (Bryn, et al., 2012a). Parameterar som har vesentleg betydning for den termiske komforten i denne modellen er:

- Lufttemperaturen
- Aktivitetsnivået
- Kledningen
- Middelstråletemperaturen (temperatur av flate og vinkelforhold til personen)
- Den relative lufthastigheita
- Luftfuktigheit
- Strålingsasymmetri
- Opphaldstid



Figur 1: Samvirke av parameterar som påverkar termisk komfort

Under denne modellen for termisk komfort finn ein også PMV- og PPD-modellane som høvesvis skildrar antatt gjennomsnittleg tilfredsheit og antatt prosent som er misfornøgde med det termiske inneklimate.

Termisk komfort basert på varmembalansen er den mest brukte av dei to hovudretningane og er grunnlaget for dagens mest brukte standardar i forhold til termisk komfort. Likevel er det ei stor avgrensing ved bruk av denne retninga ved design av bygningar. Denne avgrensinga er at ved bruk av PMV- og PPD-modellane må ein anta aktivitetsnivået og kledningsisolansen for bebuarane sjølv om aktivitetsnivå og kledning ikkje vil vere konstant i ein bustad. I tillegg tek ikkje metoden omsyn til at ikkje-termiske faktorar, som forventningar, demografi, bygningstype og samspel med inneklimatelet, kan ha innflytelse på opplevinga av termiske forhold (Bryn, et al., 2012a).

Sidan det i dag har vorte dokumentert at forventning til inne Temperaturen spelar ei viktig rolle i forhold til termisk kjensle, har retninga termisk komfort basert på varmembalansen vorte justert noko. Dette er gjort ved at P.O. Fanger, som er mannen bak PMV- og PPD-modellane, i samarbeid med Jørn Toftum har utvikla ePMV-modellen. Denne modellen er ei vidareutvikling av PMV-modellen der det er lagt til ein forventningsfaktor e som er ein talverdi i intervallet 0-1 og svarar til låg-høg forventning til det termiske inneklimatelet (Fanger & Toftum, 2002). Ved å ta omsyn til forventningar til inne Temperaturen samstundes som ein fortsatt baserar seg på eit menneske sin varmembalanse, meiner Fanger og Toftum at dei kombinerer det beste frå begge modellane.

2.1.1.2. *Adaptiv termisk komfort*

Den andre hovudretninga, adaptiv termisk komfort, har som føremål å definere ein metode som passar betre overeins med verkelege forhold og korleis menneske opplev dei verkeleg termiske forholda. Den adaptive metoden byggjar på teoriar om at menneske er tilpassingsdyktig i forhold til dei termisk omgjevnadane dei er i, samt at forventningane til dei termiske forholda kan ha betydning for den termiske opplevinga. Den grunnleggjande adaptive likninga er gitt ved (Bryn, et al., 2012a):

$$T_{co} = a * T_{ext,ref} + b$$

Der T_{co} er operativ komforttemperatur

a er gradienten til funksjonen (statistisk avleia frå analyse av feltdata)

$T_{ext,ref}$ er utandørs referansetemperatur (refererer til tidlegare temperaturforhold)

b er y -skjeringspunkt (statistisk avleia frå analyse av feltdata)

Metoden refererer altså til utetemperaturen over dei siste dagane/vekene. Dette er fornuftig sidan utetemperaturen ofte er avgjerande for brukarane sine forventningar til inneklimatelet den gjeldande dagen, og det er også desse forholda som ofte vert lagt til grunn for klesvalet om morgonen.

Adaptiv termisk komfort er eit relativt nytt omgrep og vart første gong introdusert som standard i 2004 (Bryn, et al., 2012a). Metoden er kritisert for å berre fokusere på temperaturforhold, og det vert hevda at den undervurderer effekten av andre

inneklimateparameterar som til dømes lufthastigheit og relativ fuktigheit. Studiar gjort av Brager og de Dear (Brager & de Dear, 1998) viser at det kan vere forskjell på tilbakemeldingar om termisk komfort mellom bygningar som er naturleg ventilert og bygningar med aircondition. Studien viste tendensar til at resultatane frå bygningar med aircondition passar godt overeins med resultat frå PMV modellen, medan brukarane av naturleg ventilerte bygningar har større toleranse for variasjonar i innandørs termiske forhold dersom dei kan ha kontroll over forholda. Dette er sannsynlegvis fordi bebuarar i naturleg ventilerte hus ikkje har så store forventningar til at temperaturen skal vere lik heile tida og er dermed meir tolerante for temperatursvingingar.

Dersom ein sikrar at passivhuset har tilpassingsmoglegheiter, er det grunn til å tru at det kan verte omfatta av den adaptive modellen, og at det dermed kan vere akseptabelt med litt større svingingar i innetemperaturen. Dette indikerer at bebuarane av passivhus kan tillate høge innetemperaturar, og fortsatt vere i termisk komfort, i periodar der utetemperaturen er høg.

2.2. Definisjon av overvarme og krav i forskrifter

Problem med overvarme oppstår når temperaturen over ei viss periode er for høg til at bebuarane er i termisk komfort. Sidan menneske opplever og toler temperatur ulikt, samstundes med at termisk komfort er avhengig av kledningen og aktiviteten til bebuarane, er det vanskeleg å gi ein eksakt temperatur for når overvarme oppstår. Teknisk forskrift stiller heller ikkje nokon spesifikke krav til innetemperaturen, men formulerer det på denne måten: «termisk inneklima i rom for varig opphold tilrettelegges ut fra hensyn til helse og tilfredsstillende komfort ved foresatt bruk» (TEK10, 2010). Sidan «tilfredsstillende komfort» er personavhengig er det vanskeleg å tolke eit temperaturintervall ut frå denne formuleringa. Vegleiinga til TEK10 (VTEK) frå Statens bygningstekniske etat er meir spesifikk i ordlyden og anbefalar at innetemperaturen vert halde mellom 19-26 °C (Statens Bygningstekniske etat, 2011). Det vert likevel tatt førehald om at det kan vere akseptabelt med temperaturar over 26 °C i korte periodar dersom utetemperaturen er over høgste normaltemperatur i eit normalår. Høgste normaltemperatur er her definert som den høgste temperaturen som har varigheit på meir enn 50 timar i eit normalår (referanseår). Vidare i denne rapporten er det tatt utgangspunkt i at overvarme hovudsakeleg oppstår ved temperaturar over 26 °C.

Når ein snakkar om innetemperatur i forhold til termisk komfort for bebuarane, snakkar ein ofte om den operative temperaturen og ikkje den faktiske lufttemperaturen. Operativ temperatur er eit omgrep som vert brukt som mål for menneske sin opplevde temperatur. Temperaturen vert rekna som middelveien av lufta sin temperatur og strålingstemperaturen frå omgjevnaden. Faktorar som kan påverke den operative temperaturen er stråling frå sola inn vindauge, stråling frå overflatene til varmekjelder i rommet og stråling frå eit stort vindauge eller ein kald vegg med låg overflatetemperatur

(Astma- og allergiforbundet, u.d.). Den operative temperaturen er viktig når ein snakkar om overvarme fordi den kan forklare at brukarane opplev overvarme sjølv om den faktiske lufttemperaturen ikkje er særleg høg.

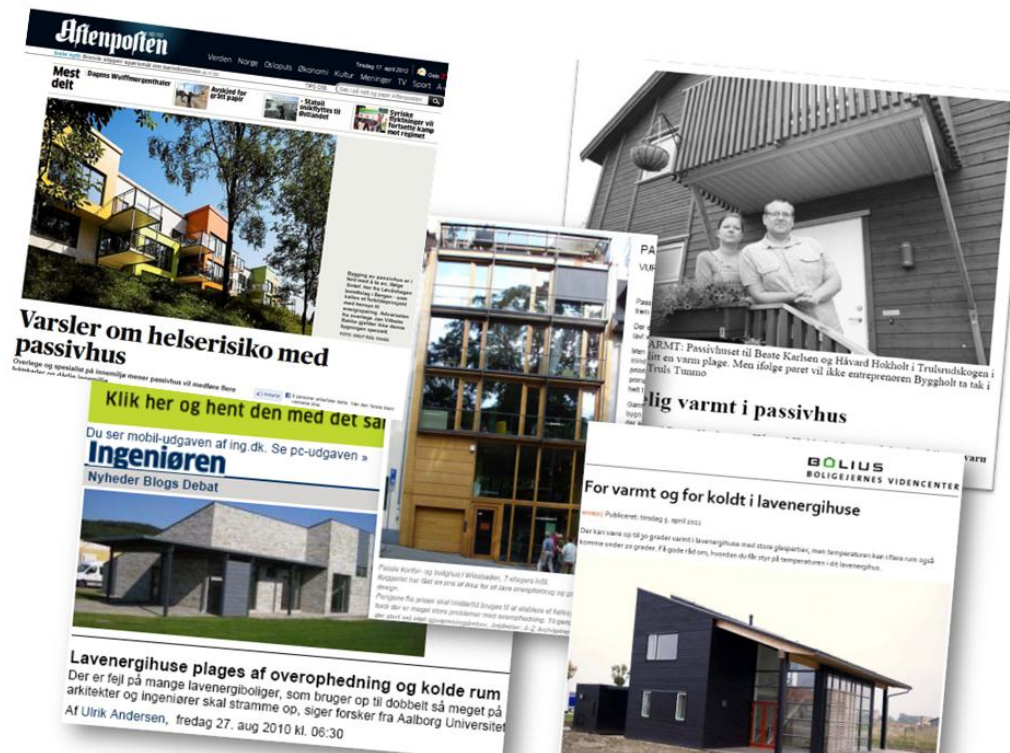
I Teknisk forskrift er det satt få spesifikke krav til bygg for å hindre overvarme. Nokon krav som er satt er at arealet av vindauge og dører ikkje skal vere på meir enn 20 % av oppvarma BRA, og at total solfaktor for glas/vindauge skal vere mindre enn 0,15 på ei solbelasta fasade. Det første kravet kan likevel verte unngått dersom varmetapstalet til bygningen ikkje aukar, medan det andre berre kan verte unngått dersom det er dokumentert at bygningen ikkje har kjølebehov (TEK10, 2010).

I VTEK er det vidare lista opp nokre tiltak som kan verte gjennomførte for å bidra til å unngå overtemperatur, men det er ikkje satt krav til gjennomføring av dei. Desse tiltaka er (Statens Bygningstekniske etat, 2011):

- Redusert areal av vindauge i solbelasta fasadar
- Eksponert termisk masse
- Utvendig solskjerming på solutsatte fasadar (S, A, V)
- Vindauge som kan verte opna slik at det er moglegheit for gjennomlufting
- Plassering av luftinntak/utforming av ventilasjonsanlegg slik at temperaturstigning i anlegget på grunn av høg utetemperatur vert minimal (<2 grader)

2.3. Passivhus og overvarme

Det er stor ueinighet om passivhus fører til eit betre eller dårlegare inneklima, og temaet har vore, og er fortsatt, mykje diskutert og kritisert i media. Mange av avisoppslaga om passivhus har omhandla overvarme i husa om sommaren (Figur 2).



Figur 2: Avisartiklar om overvarme i passivhus

Overvarme i hus oppstår når ein ikkje klarer å kvitte seg med overskotsvarme. Denne overskotsvarmen kjem frå varmekjelder, solinnstråling eller internlaster frå belysning, teknisk utstyr og menneske. Varmetilskot frå varmekjelder kan lett verte stoppa ved å skru av varmekjelda, medan varme frå internlaster kan verte redusert ved å nytte energieffektiv belysning og teknisk utstyr. For å hindre varmetilskot på grunn av solinnstråling er det avgjerande å nytte effektiv solskjerming. På grunn av at det føreligg motstridande ynskjer i forhold til solinnstråling i bygg, kan det likevel vere vanskeleg å finne balansegangen mellom korleis ein ska nytte seg av solinnstrålinga og korleis ein skal skjerme huset mot den. På den eine sida ynskjer ein å avgrense vindaugsarealet mot sør for å hindre overvarme, på den andre sida ynskjer ein store vindaugsareal mot sør for å sikre godt dagslys i huset. Dagslys er viktig med tanke på trivsel og helse i bustadar og har samstundes høge verdiar for Lumen/W slik at det er ei effektiv form for belysning og reduserer behovet for kunstig belysning (Bryn, et al., 2012a). Ideelt sett skulle ein ynskje at vindauge hadde reflektert all solenergien, men sloppe gjennom det synlege lyset som ein ynskjer å bruke til belysning. Dette er likevel ikkje teoretisk mogleg ettersom det synlege delen av sollyset inneheld ca. 45 % av energien (Uvsløkk, 2001).

Når solstrålar treff eit vindauge i ein bustad vil noko av strålinga verte reflektert, noko vil verte absorbert i glasa og noko vil verte overført gjennom vindauge. Glasa har den eigenskapen at dei lett slepp gjennom kortbølja stråling, medan dei blokkerar langbølja stråling (Dokka & Hermstad, 2006). For å redusere strålinga inn i eit rom er det gunstig med fleire lag med glas i vindauge slik at alle glasa reflekterer og absorberer noko av varmen og mindre varme slepp inn i rommet. Den varmen som slepp inn vil varme opp overflater og interiør i rommet, for deretter å bli frigitt frå overflatene som langbølja stråling som ikkje slepp ut gjennom glasa og dermed vert stengt inne i bustaden. Dette kan på solfylte dagar føre til eit betydeleg varmetilskot. Varmen som vert absorbert i glaset vil også kunne føre til temperaturauke ved at det vert ein temperaturauke i vindauge, og dette gjer at ein får ei sekundær varmefrigjering i form av konveksjon og langbølja stråling både på innsida og utsida av glaset (Novakovic, et al., 2007). Sidan passivhus er veldig godt isolerte hus med lågt lekkasjetal, og dermed lågt varmetap gjennom bygningskroppen, fører det til at det vert vanskelegare å kvitte seg med varmen som er stengt inne dersom det ikkje er store temperaturgradientar mellom inne- og utetemperaturen. På grunn av dette kan til og med små varmetilskot føre til auka temperatur innandørs som igjen kan påverke den termiske komforten betrakteleg.

2.4. Erfaringar frå passivhus i Noreg og Norden

I Noreg er fortsatt passivhus eit relativt nytt fenomen, og det er avgrensa med erfaringar frå ferdigbygde passivhus i norsk klima. Ved bygging av passivhus i Noreg er det difor lett å ta utgangspunkt i erfaringar frå Tyskland, då dei har ei relativ lang fartstid innanfor design og utføring av passivhus. Likevel er det viktig å ta omsyn til at klimaet i Noreg og klimaet i Tyskland er ganske forskjellig. Dermed vil ikkje nødvendigvis løysingar som fungerer godt i Tyskland vere gode løysingar i Noreg. Til dømes viser det seg at det er viktigare med utvendig solskjerming i Norden enn i Tyskland sidan sola står lågare på himmelen her nord. Dette fører også til at det heller ikkje vil fungere like godt med fast solskjerming (overbygg) i Noreg.

Erfaringar frå Noreg, Sverige og Danmark er dei beste erfaringane å ta tak i ved bygging i Noreg. Sjølv om klimaet varierer mellom dei nordiske landa er det stort sett samanliknbart. Alle erfaringar må likevel verte vurdert i forhold til klimaet på byggeplassen.

Nedanfor er det presentert erfaringar med overvarme frå nokre passivhusprosjekt som er gjennomført i Norden.

2.4.1. Lindås, Sverige

I Lindås vart dei første passivhusa i Sverige ferdigstilt i 2001. Desse bygga består av fire rekkehus med totalt 20 bustadar over to plan med loft. Rekkehusa har balansert ventilasjon med verkingsgrad på ca. 80 %, energieffektive kvitevarer og belysning, samt solfangarar på taket i kvar bustad med eit areal på 5 m² som forvarmar ca. 40 % av tappevatnet. Rekkehusa er primært baserte på «passive» varmetilskot, som solvarmetilskot og tilskot frå personar,

utstyr og belysning, men på dei kaldaste vinterdagane kan eit lite varmeelement i ventilasjonsanlegget verte aktivert (Andresen & Dokka, u.d.a). Husa har også ein omløpsventil (by-pass) som vert opna når det ikkje er behov for gjenvinning av varme frå avtrekksluft. Solskjerming i husa består av fast solskjerming av balkongar og takoverheng mot sør og husa har ingen vindauge mot aust eller vest.

I perioden 2001-2003 vart det gjennomført oppfølgingsmålingar og ei samanfating av kvalitative intervjuar med brukarane av bustadane. Gjennom desse intervjuar var det ingen av bebuarane som melde om problem med overvarme, anna enn at det kan verte varmt når det er mange besøkande i bustadane. Dette vart likevel ikkje sett på som eit stort problem då det lett kunne verte handtert ved å lufte.



Figur 3: Rekkehus i Lindås (Andresen & Dokka, u.d.a)

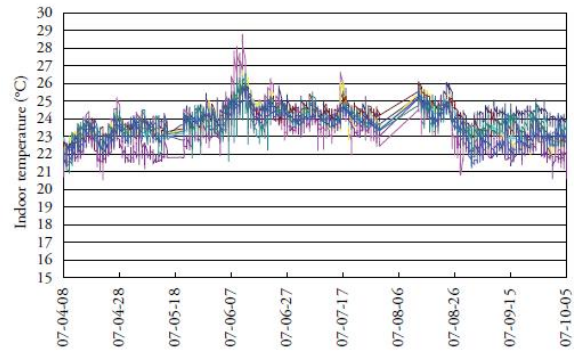
2.4.2. Värnamo, Oxtorget i Sverige

I ei doktoravhandling frå Lund Universitet i Sverige (Janson, 2010) har Ulla Janson tatt føre seg prosessen frå design til evaluering for fire passivhusprosjekt som er gjennomført i Sverige. Erfaringane presentert for dei fire passivhusprosjekta frå Sverige er henta frå denne avhandlinga.

I 2006 vart 5 hus med til saman 40 leigeleilegheiter i passivhusstandard ferdigstilt i Värnamo i Sverige. Bustadane er på 2,5 etasjar og er utstyrt med solfangarar på taket for å bidra til produksjon av varmtvatn. Kvar bustad har eit mekanisk ventilasjonssystem med varmegjenvinning og eit elektrisk varmebatteri som leverar varme til tillufta på kalde dagar. Innandørstemperatur er planlagt til å vere 20°C, men den kan verte justert av bebuarane. Det er også nytta vel gjennomtenkt solskjerming for å hindre at innetemperaturen vert for høg om sommaren. Denne solskjerminga består av balkongar og bodar som er plassert utanfor inngangen til leilegheitene.

Innandørstemperaturen i 8 av bustadane vart målt i perioden 2. februar 2007 til 18. januar 2008. Desse målingane viser at den gjennomsnittlege temperaturen i bustadane varierte mellom 20,6-26,5 °C. Som ein kan sjå av Figur 4 vart det ikkje målt temperaturar over 29 °C,

men nokre av bustadane passerte 26 °C i dei varmaste periodane om sommaren. Med bakgrunn i desse målingane kan ein ikkje seie at bustadane i Värnamo har store problem med overvarme. Dei fleste bustadane er berre så vidt over 26 °C i korte periodar, og det er berre ein av bustadane som overstig 27 °C. Det var ingen av bebuarane som klagar på for høge innetemperaturar gjennom samtalar med dei.

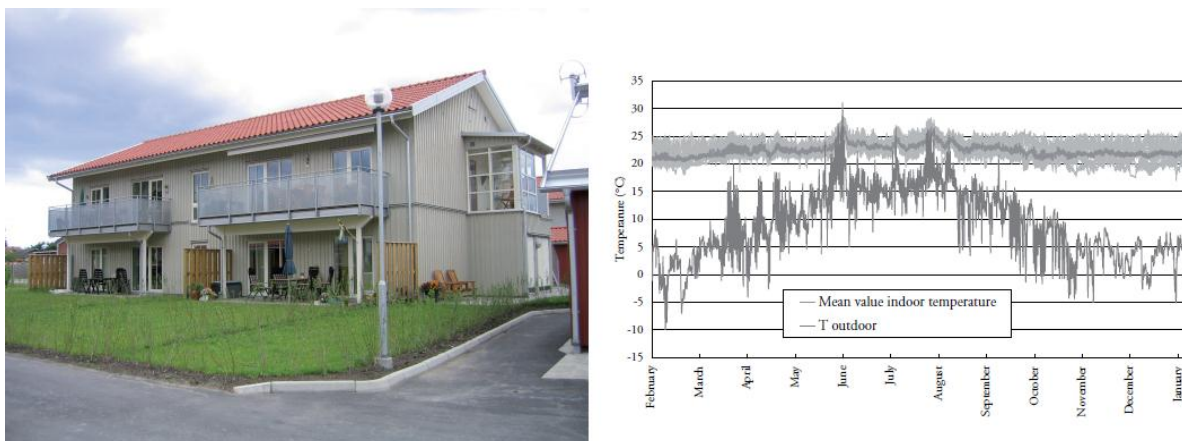


Figur 4: Venstre: Eit av husa i Värnamo. Høgre: Målt innetemperatur i åtte leiligheiter i løpet av vår, sommar og haust 2007, med manglande temperaturar i periodane 15.05-21.05 og 31.07-13.08 (Janson, 2010)

2.4.3. Frillesås i Sverige

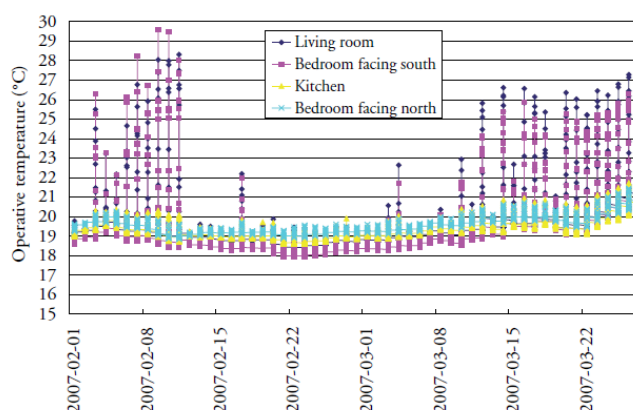
I desember 2006 vart 3 passivhus med 4 bustadar i kvart bygg ferdigstilt i Frillesås i Sverige. Kvar leiligheit har eit ventilasjonsaggregat installert med ein luft-til-luft varmevekslar. Leiligheitene vert varma opp av tillufta, men under kalde periodar, når dette ikkje er nok for å halde temperaturen på 20 °C, vert eit ettervarmebatteri brukt til oppvarming. Solskjerminga består av fast skjerming i form av balkongar for leiligheitene i første etasje. For oppvarming av varmevatn på solrike dagar er det montert solfangarar på eit eige bygg, ein «varmesentral». Totalt er rundt 52 m² solfangarar montert.

I perioden 1. februar 2007 til 1. februar 2008 vart det gjennomført temperaturmålingar i alle leiligheitene (Figur 5). Gjennomsnittleg lufttemperatur i perioden mai til september varierte innanfor intervallet 20,6-26,8 °C, og gjennom samtalar med bebuarane nemnde nokre av dei at dei hadde problem med høge innandørs temperaturar.



Figur 5: Venstre: Eit av husa i Frillesås. Høgre: Målt innetemperatur i leiligheitene i Frillesås frå 1. februar 2007 til 1. februar 2008 (Janson, 2010)

I tillegg til innetemperaturmålingane i leiligheitene, vart det gjennomført målingar av den operative temperaturen i ei leiligheit utan bebuarar, solskjerming og gardiner, i perioden 1. februar til 27. mars 2007. Målingane frå denne leiligheita viser at den operative temperaturen kan vere noko høgare enn den målte lufttemperaturen, noko som blant anna kan skuldast høg solinnstråling. I eit av soveromma som vendte mot sør kunne ein oppleve overvarme allereie første veka i februar. Dette gjaldt likevel berre sørvendte soverom og stue, dei andre romma i leiligheita hadde betydeleg lågare innetemperaturar, jf. Figur 6. I heile måleperioden vart det målt operative temperaturar som varierte mellom 29,6 og 17,9 °C. Desse temperaturane kunne mest sannsynleg vorte redusert betrakteleg med utvendig solskjerming.



Figur 6: Måling av innetemperatur i leiligheit utan bebuarar, solskjerming og gardiner i perioden 1. februar til 27. mars 2007 (Janson, 2010)

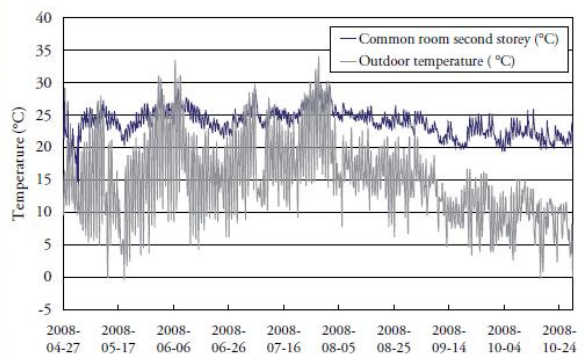
2.4.4. Lidköping, Sverige

Ein einbustad i passivhusstandard vart ferdigstilt i april 2007 i Lidköping i Sverige. Huset er bygd i to etasjar og det er utstyrt med mekanisk ventilasjon installert i første etasje med ein luft-til-luft varmevekslar med automatisk by-passfunksjon. Når denne funksjonen er aktiv går utelufta direkte til tillufta utan å passere varmegjenvinnaren eller varmebatteriet. Ekstra

varme til kalde dagar vert tilført tillufta frå eit vassbåret varmebatteri som er kopla til fjernvarmeanlegget. Originalt var ikkje fellesrommet i andre etasje utstyrt med vindauge som kunne verte opna, og einaste solskjerming i huset bestod av eit statisk overheng mot sør.

Gjennom samtalar med bebuarane vart det rapportert om høge temperaturar i 2.etasje dei første sommarmånadane. Dette vart deretter bekrefta av målingar som vart gjennomført i løpet av sommaren 2008 i fellesrommet i 2.etasje. Desse målingane viser at innetemperaturen var høgare enn 25 °C i lengre periodar i løpet av sommaren (Figur 7).

For å redusere overvarmen i fellesrommet, forsøkte bebuarane å lufter ut varmen gjennom soveromvindauge i 2.etasje ved å opne dørene mellom soveromma og fellesrommet. Dette førte likevel til at overvarmeproblemet spreidde seg til soveromma. Eit anna tiltak bebuarane forsøkte var å plassere puter i vindauga på fellesrommet for å skjerme mot solinnstråling. Dette førte til at vindauga sprakk og måtte verte bytta ut. Sidan det vart uttrykt eit stort ynskje frå bebuarane om moglegheit for lufting, vart dei gamle vindaua bytta ut med nye vindauge som var mogleg å opne. Det vart i tillegg installert rullegardiner og innvendige persienner i ettertid. Til saman førte desse tiltaka til eit mykje betre inneklimate for bebuarane.



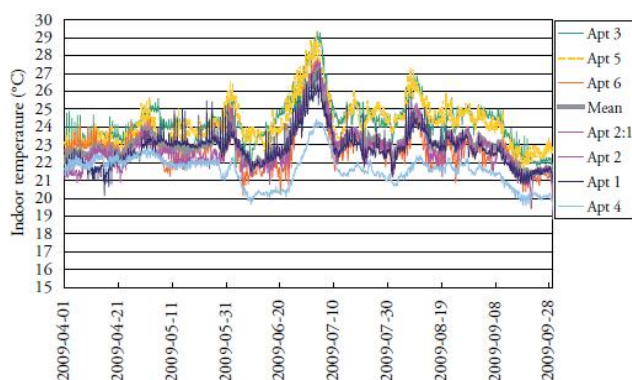
Figur 7: Venstre: Einebustaden i Lidköping. Høgre: Temperaturutvikling i fellesrommet i andre etasje i perioden 27. april 2008 til 14. september 2008 (Janson, 2010)

2.4.5. Alingsås, Sverige

Som eit demonstrasjonsprosjekt vart ei bustadblokk frå 1970 med 18 leilegheiter renovera til passivhusstandard i Alingsås i Sverige med byrjing i april 2007. Målet var å finne ut om det var mogleg å renovere bygningen til passivhusstandard, og dermed finne ut om ein skulle gjere dette med 40 bygg med totalt 300 leilegheiter i Brogården som var klare for oppussing. Bygget var eit av mange, for det meste prefabrikkerte, bygningar som vart bygd i tidsrommet 1963-1975 i Sverige. Desse bygningane har lik bygningskonstruksjon og det vart difor forventa at ein kunne bruke erfaringane frå denne renoveringa i forbindelse med rehabiliteringa av rundt 350 000 leilegheiter over heile Sverige.

Etter renoveringa har tal på leilegheiter vorte redusert frå 18 til 16. Kvar leilegheit har ein separat ventilasjonseining med ein luft-til-luft varmevekslar. Ekstra varme på kalde dagar vert tilført til tillufta frå eit varmebatteri. Det er også installert solfangarar på taket som vert nytta til oppvarming av varmtvatn. Det er ikkje installert anna solskjerming enn den faste skjerminga som balkongane gir.

Ut frå samtaler med bebuarane kom det fram at dei som budde i første etasje opplevde komfortable innetemperaturar om sommaren (leilegheit 1 og 4), medan dei som budde i tredje etasje (leilegheit 3 og 6) opplevde veldig høge innetemperaturar og diskomfort. Dette vart også stadfesta av målingar av innetemperaturen som var gjennomført i 6 av leilegheitene, ei i kvar etasje i kvar trappeoppgang, i perioden 1. april 2009 til 1. april 2010. Resultatet av målingane er vist i Figur 8. Leilegheit 6 hadde ingen form for solskjerming, medan bebuarane i leilegheit 3 hadde installert innvendige persienner. Det er antatt at mykje av problemet med overvarme ville vore unngått dersom ein hadde hatt tilstrekkeleg solskjerming i alle leilegheitene.



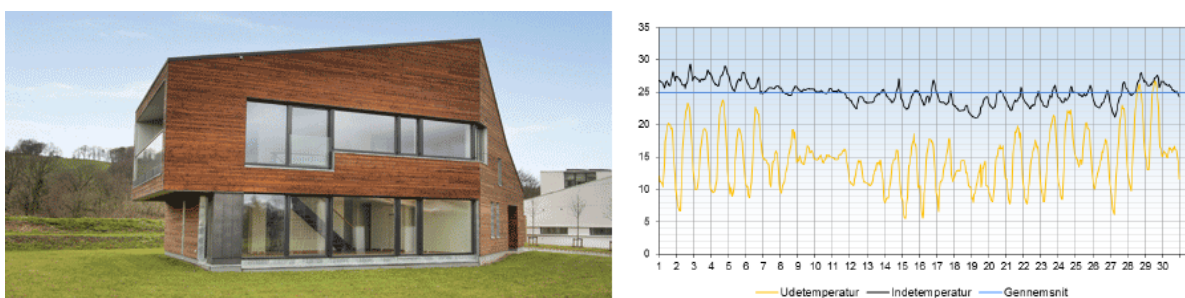
Figur 8: Venstre: Bustadblokka i Alingsås. Høgre: Temperaturutvikling i 6 av leilegheitene i perioden 1. april 2009 til 1. april 2010 (Janson, 2010)

2.4.6. Vejle, Danmark

I Danmark vart det i 2008 bygd 10 ulike hus, kalla Komforthusa, med passivhusstandard. Dette prosjektet var den første større gruppe av passivhus som vart bygd i Danmark. Husa er forskjellige både med tanke på størrelse, arkitektonisk utforming og byggetekniske løysingar. Ventilasjonssystemet i husa vart utstyrt med ein by-passmodul slik at ein kan skru av varmegjenvinninga i varme periodar. Dei fleste husa vert oppvarma via luft frå huset sitt kompaktaggat og vert supplert med golvvarmesystem i enkelte rom eller el-radiatorar. Husa har forskjellige design av solskjerming, nokre utan solskjerming, nokre med fast solskjerming (takutstikk) og nokre med persienner.

Det vart oppretta eit forskingsprosjekt av Universitetet i Aalborg som gjennom tre år følgde energiforbruket og inneklimate i 8 av dei 10 husa. I den forbindelse har det vorte gjort målingar av innetemperaturen i husa, og desse er presentert i rapporten om Komforthusa (Larsen & Brunsgaard, 2010).

Målingane som er vist i Figur 9 viser at det kan oppstå overtemperaturar i nokre av leilegheitene store delar av dagen om sommaren. I dei husa der det ikkje er utvendig solskjerming har bebuarane heller ikkje valt å installere innvendig solskjerming. Dette har ført til at det vart målt ein middel innetemperatur på 24,9 °C i juni i 2010. Det er antatt at problemet med overvarme kunne vore unngått dersom alle husa hadde hatt god solskjerming, samt at husa hadde vore planlagt for nattventilasjon. I rapporten om Komforthusa er det også lagt vekt på at det burde ha blitt gjennomført enkle inneklimaberekningar slik at ein oppdaga overtemperaturproblemet og at bustadane då kunne vore designa slik at desse problema kunne vore unngått. Det viste seg også at sidan det var opp til bebuarane sjølv å skifte mellom sommar drift og vinter drift på ventilasjonssystemet, var det mange som ikkje nytta seg av denne funksjonen.



Figur 9: Venstre: Eit av dei 10 husa ved Vejle (Zeta Invest A/S, Middelfart Sparekasse, Isover, 2008). Høgre: Temperaturar i juni 2010 i hus utan solskjerming (Larsen & Brunsgaard, 2010)

2.4.7. Odense, Danmark

SINTEF og NTNU har gjennomført ei undersøking av sju energieffektive bygg i Europa der dei blant anna har sett på innetemperaturen om sommaren i dei bygga som har erfaring frå sommarbruk (Denizou, et al., 2011). Eit av desse bygga er ein barnehage i Odense i Danmark som vart ferdigstilt sommaren 2009.

Barnehagen har ein av langveggane, der leikearealet er plassert, orientert mot sør, medan kontor, kjøkken og andre sekundær funksjonar er plassert mot nord. På sørfasaden er ca. 40 % av det totale glasarealet plassert, og skjeringa mot solinnstråling består av eit takutstikk som skjermar andre etasjen, samt ein balkong som skjeringar første etasjen. Begge utstikka er på 1,3m. Som ekstra skjering er det planta nokre lauvtre som skal beskytte mot solstråling om sommaren og tillate låg solstråling å kome gjennom på vinteren.

Det er ikkje gjennomført målingar av innetemperaturen i bygget, men gjennom samtale med brukarane kom det fram at dei fleste var relativt fornøgde med innetemperaturen på sommaren. Det vart likevel meldt om at det i korte periodar kunne bli for varmt i leikeområdet. Noko av grunnen til dette kan vere at takutstikka ikkje stikk langt nok ut for å gi tilstrekkeleg skjering for heile leikeområdet, og ein kan gå ut i frå at temperaturen kunne blitt redusert dersom det vart investert i persienner eller anna regulerbar utvendig solskjerming.



Figur 10: Sørfasaden av barnehagen i Odense (Denizou, et al., 2011)

2.4.8. Fyllingsdalen, Noreg

Eit anna bygg SINTEF og NTNU undersøkte ligg i Noreg og er eit burettslag i Fyllingsdalen i Bergen. Burettslaget vart ferdigstilt i byrjinga av 2010 og består av fire bygningar. Dei to bygningane lengst mot vest er bygd i passivhusstandard og er 2-3 etasjar høge med 28 leilegheiter. Dei to resterande husa er bygd i lågenergi-standard og er opptil 5 etasjar høge med totalt 52 leilegheiter. Alle leilegheitene har balansert ventilasjon med høgeffektiv roterande varmegjenvinnar. Passivhusleilegheitene har også to solfangarar kvar på taket som gir varmtvatn, dekkjer noko av golvvarmen på badet og varmen til ein radiator i stua. Bygningane er godt solvendte, noko som gir gode lys- og solforhold til dei enkelte bustadane (Norske arkitekters landsforbund, 2011). Det vart ikkje planlagt noko solskjerming for leilegheitene, dette var det opp til bebuarane å bestille sjølv.

Det er heller ikkje i dette prosjektet gjort målingar av innetemperaturen, men det er gjennomført intervju med bebuarane. I dette intervjuet rapporterte alle dei intervjuja om alt for høge temperaturar om sommaren, og nokre meinte at det kunne bli så varmt som 40 °C på det meste. Grunnen til det store problemet med overvarme kan vere at leilegheitene har eit stort vindaugsareal i stua, og at oppvarming på grunn av solinnstråling er høg sidan det viste seg at det var få av bebuarane som hadde bestilt solskjerming. Det er også sannsynleg at problemet kunne vore redusert dersom ventilasjonsanlegget hadde hatt ein by-passfunksjonen slik at varmen i avtrekkslufta ikkje vart brukt på nytt i varmevekslaren.



Figur 11: Burettslaget i Fyllingsdalen (Denizou, et al., 2011)

2.4.9. Tromsøya, Noreg

I ein rapport SINTEF gav ut i 2007 (Andresen, et al., 2007) vert det presentert sju passivhusprosjekt i Noreg om var under konstruksjon, produksjon, planlegging eller som var ferdigstilt i 2007. Berre eit av desse prosjekta hadde erfaring frå sommarbruk når rapporten kom ut. Dette var ein einebustad på Tromsøya i Tromsø.

Einebustaden vart ferdigstilt i 2005 og var det første passivhusprosjektet som stod ferdig i Noreg. Ventilasjonsanlegget er kopla til ei jord-til-luft rørslynge som er gravlagd under kjellaren og ei kompakt varmepumpe med varmegjenvinning. Bustaden er også utstyrt med utvendig, automatisk solskjerming.

Det er gjort målingar på innetemperaturen i bygget og desse viste at innetemperaturen var på 22-23 grader på dei varmaste dagane. Dette vil altså seie at det ikkje er problem med overvarme i bustaden. Grunnen til den låge innetemperaturen kan verte forklart med at bustaden har installert effektiv utvendig solskjerming, samstundes med at klimaet i Tromsø er kaldare enn mange andre stadar i landet. Det er grunn til å tru at dess lengre nord ein kjem i Noreg, dess mindre problem vil det vere med overvarme då klimaet er kaldare enn lengre sør.



Figur 12: Einebustaden på Tromsøya (Andresen, et al., 2007)

2.5. Metodar for å unngå overtemperatur i passivhus

Ut frå undersøkingane og erfaringane med overvarme i passivhus, kan ein anta at det vil oppstå problem med overvarme i husa dersom det ikkje vert gjort tiltak for å forhindre det. Overordna er det tre strategiar som kan verte implementert for å redusere innnetemperaturen, og det bør verte gjort i følgjande rekkjefølgje:

- Forhindre varmetilskot
- Planlegge metode for å fjerne varmeoverskot
- Sørgje for tilstrekkeleg varmelagring (SINTEF Byggforsk, 2009)

2.5.1. Forhindre varmetilskot

For å forhindre varmetilskot er det viktig å stoppe varmen før den kjem inn i bygget. Dette kan til dømes verte gjort ved å ha god solskjerming, ha ei eigna bygningsform og ha kontroll på internlaster (SINTEF Byggforsk, 2009).

2.5.1.1. *Internlaster*

Det er tre typar internlaster som gir varmetilskot i eit bustadhus. Dette er varme frå menneske, varme frå belysning og varme frå teknisk utstyr. Det er ikkje mogleg å gjere noko med varmetilskotet frå bebuarane i huset, men det er mogleg å redusere dei andre lastene ved å nytte seg av energieffektivt utstyr og belysning, samt å redusere forbruket. Det viktigaste ein kan gjere for å få til dette er å informere brukarane om energieffekten dette har og auke bevisstheita deira i forhold til bruk av belysning og utstyr slik at dei skrur av utstyr og lys som ikkje er i bruk.

2.5.1.2. *Orientering og bygningsform*

I dag er det vanleg å orientere hus slik at det største vindaugsarealet er mot sør for å nytte seg av solinnstrålinga til dagslys og varmetilskot. Dette kan likevel vise seg å vere ugunstig i passivhus. På grunn av godt isolerte fasadar og energiglas i vindauge har desse husa eit redusert behov for soltilskot for å halde huset varmt om vinteren. Store vindauge mot sør kan dermed føre til overvarme om sommaren og ved solfylte dagar om våren og hausten. I passivhus er det dermed viktig å finne eit optimalt vindaugsareal som tek vare på behovet for dagslys, hindrar for mykje overoppvarming om sommaren og hindrar eit for stort varmetap om vinteren.

Eit tiltak for å redusere overvarmeproblemet kan dermed vere å fordele glasareala i passivhus jamt over fasadane. På denne måten kan ein også oppnå ein positiv effekt på lysforholda i bygget sidan dagslyset vert jamnare distribuert, ein får betre lys i nordvendte rom og reduserer blanding i sørvendte rom (Larsen, 2011). Ei jamn fordeling av vindauge kan også vere gunstig ved at bygget vert friare med tanke på plassering i terrenget og ein kan rotere bygget slik det er mest gunstig i forhold til tomta.

Eit anna tiltak som kan redusere problemet med overvarme er å ha ei hensiktsmessig plassering av romma. Sidan soverom er rom bebuarane ofte ynskjer å halde kaldare enn andre rom, kan det vere gunstig å plassere desse mot nord der solinnstrålinga er låg. Stua og kjøkkenet kan ofte gjerne halde ein høgare temperatur og kan dermed verte plassert mot sør.

2.5.1.3. Solskjerming

Mykje av varmetilskotet i eit hus om sommaren kjem frå solstråling inn i bygget. Tilstrekkeleg solskjerming er dermed noko av det viktigaste ein må sørge for for å hindre overvarme. Solskjerming kan skje på forskjellige måtar, nokre døme er:

- Naturleg skjerming gjennom nytting av vegetasjon, tre og terrenget rundt bygget
- Fast utvendig skjerming i form av bygningsutstikk
- Innvendig skjerming i form av persienner og gardiner
- Mellomliggande skjerming inne i glaset
- Regulerbar utvendig skjerming i form av persienner, markiser eller screen

Det er viktig å vurdere solskjerminga tidleg i prosessen slik at ein på best mogleg måte kan legge til rette for den solskjerminga som verkar mest fornuftig i kvart enkelt tilfelle. I denne vurderinga må ein evaluere både energibehov, dagslys og termisk komfort. Det kan også vere ein fordel å etablere automatisk skjerming i staden for skjerming som krev ein aktiv brukar. På denne måten kan ein sikre god solskjerming utan at det er avhengig av bebuarane.

Naturleg skjerming

Naturleg skjerming gjennom å nytte seg av kringliggande vegetasjon kan sjeldan erstatte anna solskjerming, men det kan vere eit alternativ i kombinasjon med ein anna skjermingsmetode. Denne type skjerming kan til dømes verte gjort ved å plassere lauvtre strategisk til slik at dei sørger for skjerming av direkte sollys om sommaren, medan dei slepp gjennom sollyset på vinteren når lauva er vekk. Dette vil ikkje vere det beste solskjermingsalternativet for eit passivhus då passivhuset har svært lågt oppvarmingsbehov og dermed kan solinnstrålinga føre til overtemperaturproblem sjølv om vinteren. Det må også verte tatt i betraktning at det tek lang tid for vegetasjon å vekse seg stor nok til å bidra til solskjerming, samt at det vil krevje stell frå bebuarane.

Naturlig skjerming kan også skje i form av skjerming frå kringliggande bygningar eller kuperingar i terrenget.

Regulerbar skjerming

Regulerbar skjerming har den fordel at ein kan sikre effektiv skjerming mot solinnstråling når det er behov for det, samstundes som ein kan nytte seg av dagslyset og sikre utsikt når solbelastninga på fasaden er låg eller ikkje-eksisterande.

I Noreg har det vore og er fortsatt mest vanleg å nytte seg av innvendig solskjerming i form av gardiner eller persienner, medan utvendig solskjerming vert sett på som unødvendig på grunn av det kalde klimaet. Erfaringar frå passivhusa presentert i delkapittel 2.4, viser likevel at innvendig skjerming ikkje er tilstrekkeleg effektivt for å hindre overoppvarming, og det vil dermed vere nødvendig med dynamisk utvendig solskjerming. Noko av grunnen til dette er at sola står lågt på himmelen store delar av året i dei nordiske landa slik at solinnstrålinga gjennom vindauge er høg.

Tabell 1 angir overslagsverdiar på solfaktoren for solskjerming med ulik plassering i kombinasjon med klart glas. Ved låg solhøgde vil sola stråle inn mot eit vindauge med rundt 700 W/m^2 , og dersom ein har klart glas i dette vindauge vil rundt 500 W/m^2 av soltilskotet sleppe inn i huset (Bryn, et al., 2012b). Dette inneberer at utvendig solskjerming kan redusere soltilskotet til ca. 84 W/m^2 , medan innvendig solskjerming berre reduserer soltilskotet til 350 W/m^2 .

Tabell 1: Overslagsverdiar for solfaktoren for solskjerming med ulik plassering i kombinasjon med klart glas (Bryn, et al., 2012b)

Solskjerming	Solfaktor _{system}
Utvendig	0,12 ¹
Mellomliggande	0,25
Innvendig	0,50

Grunnen til at innvendig solskjerming er det dårligaste alternativet av dei tre, er at solvarmen slepp inn i bygget før den vert reflektert. Dersom ein likevel vel å nytte seg av innvendig skjerming er det viktig at den reflekterer og ikkje absorberer den kortbølga solstrålinga. Dersom skjerminga absorberer mykje av varmen, kan denne varmen igjen verte frigjort både ved stråling og konveksjon frå begge sider av skjerminga. På denne måten vil skjerminga bidra til overvarme i rommet.

Ved bruk av mellomliggande skjerming får ein noko av det same problemet med varme som kan verte frigjort ved stråling og konveksjon. Dette kjem av at det innvendige glaset vert varma opp og får vesentleg høgare flatetemperatur. Denne varmen kan forårsake diskomfort lokalt (Bryn, et al., 2012a). Både persienner og screen kan verte brukt som mellomliggande skjerming.

Utvendig solskjerming har den fordel at den blokkerar solstrålane før dei er kjem inn i bygningen eller konstruksjonen. Det er likevel stor variasjon i effektiviteten til ulike typar utvendig solskjerming. Tabell 2 viser den totale solfaktoren for eit glasfelt dersom ein nyttar seg av dei tre typane regulerbar utvendig solskjerming; persienner, screen og markiser.

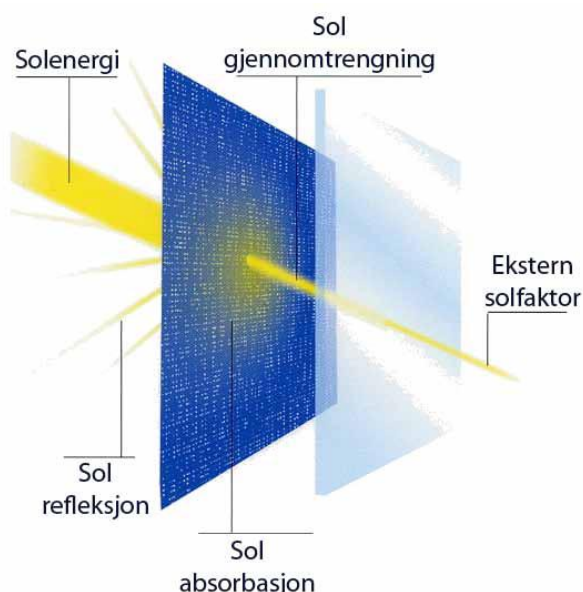
¹ Solfaktoren for utvendig solskjerming i tabellen svarar til ein tett duk eller persienner med 45 graders vinkel

Solfaktoren for glaset i vindauge er 0,40, noko som svarar til solfaktoren for eit trelags vindauge med energiglas (Standard Norge, 2011).

Tabell 2: Total solfaktor for eit glasfelt med ulik type solskjerming (Standard Norge, 2011)

Solskjerming	Total solfaktor ²
Lyse persienner, 80 mm lamellar	0,05
Screen	0,04
Markise ³	0,15 ⁴

Screen



Figur 13: Screen duk (Norsol, u.d.)

Av dei tre alternativa på regulerbar utvendig solskjerming er det screenen som kjem ut som den mest effektive, minimalt betre enn persienna. Ein screen er ei utvendig rullegardin med ein perforert duk i ein kassett som vert styrt ved bruk av snor, sveiv eller motor. Den kan verte styrt manuelt eller automatisk. Stoffet som duken er laga av har ein open struktur som slepp inn dagslys samstundes som direkte sollys vert stengt ute. Bruk av screen har ikkje vore veldig vanleg i Noreg, men i følgje bedrifter, er bruken i stadig vekst og dei melder om ei vekst på over 100 % dei siste 2-3åra (Kristiansen, 2011).

Fordelane ved bruk av screen er:

- Hindrar innsyn, men bevarer utsyn
- Lett å halde rein med hageslange og svamp
- Kassetten kan verte montert under vassbrett på dei fleste vindauge og vert dermed mindre synlege
- Det er styreskinner i aluminium i sidene som held på plass botnlista og gjer at duken helg seg stram i ulike posisjonar og på denne måten gir god stabilitet i sterk vind (Norsol, u.d.)

² Disse verdiane gjeld for alle fasadeorienteringar og for breddegrader frå 58 ° til 72 ° nord

³ Ved utrekningane for markisa er det antatt at vindauge totalt er 1,4 m høgt og 1,2 m breidt, at markisa er montert 10 cm over vindauge og stikk ut 10 cm på kvar side av vindauge, markisa har ein diffus soltransmisjon på 8 % og at markisa dekker halve høgda av vindauge i aktivert tilstand.

⁴ Talet er for solstråling om sommaren og for vindauge som vender mot sør

Dei fleste leverandørane oppgir at screenen kan tole vind opp mot 12-16 m/s, noko som er om lag det same som vanlege persiennene toler. Likevel oppgir nokre leverandørar, som KRS Gruppen AS, at dei kan levere screen som toler vind opp mot 25 m/s (KRS Gruppen AS, u.d.).



Figur 14: Screen duk i inaktivert og aktivert stilling (Kristiansen, 2011)

Persiennar

Persiennar er om lag like effektive som screener og er eit godt og vanleg alternativ for solskjerming i passivhus. Når persienna ikkje er i bruk, kan ho hevast og ho vert då skult i ein kassett over vindaugget. Denne kassetten er litt større enn den for screenen, og den viser dermed betre igjen i fasaden. På same måte som for screenen kan persienna verte styrt manuelt eller automatisk. Fordelar ved bruk av persiennar er:

- Kan verte samankopla opp til 20 m² (Kjells markiser, u.d.)
- Tåler vind og vêr veldig godt. Kan ha innebygd vindlås som gjer at den held den innstilte lamellvinkelen sjølv i sterk vind
- Har fleire innstillingsmoglegheiter. Ein kan stille den til å skjerme for alt innsyn og utsyn, eller den kan verte stilt i vinkel for å sikre dagslys og utsyn samstundes som den skjermar for direkte solinnstråling



Figur 15: Persiennar i aktivert stilling (Kjells markiser, u.d.)

Markiser

Markiser er det tredje alternative for bruk som utandørs regulerbar solskjerming. Desse har likevel vist seg å ikkje vere like effektive som persienner og screen, i tillegg til at det er mindre haldbare i vêt og vind. Grunnen til at den har lågare solskjermingseffekt kan vere at markisene ikkje skjermar for overflatestråling frå kringliggande omgjevnadar. Markisene har også ein kassett som den vert lagra i når den ikkje er i aktivert stilling. Denne kan verte styrt manuelt eller automatisk og mange av dei har ein sensor som gjer at markisa trekker seg inn dersom det er mykje vind slik at den beskyttar markisa og sørgjar for at den ikkje vert øydelagt. Fordelane med bruk av markise er:

- Beheld opptil alt utsyn
- Kan skjerme over ein eventuell uteplass utanfor vindauge i tillegg



Figur 16: Markise (Hareide AS, u.d.)

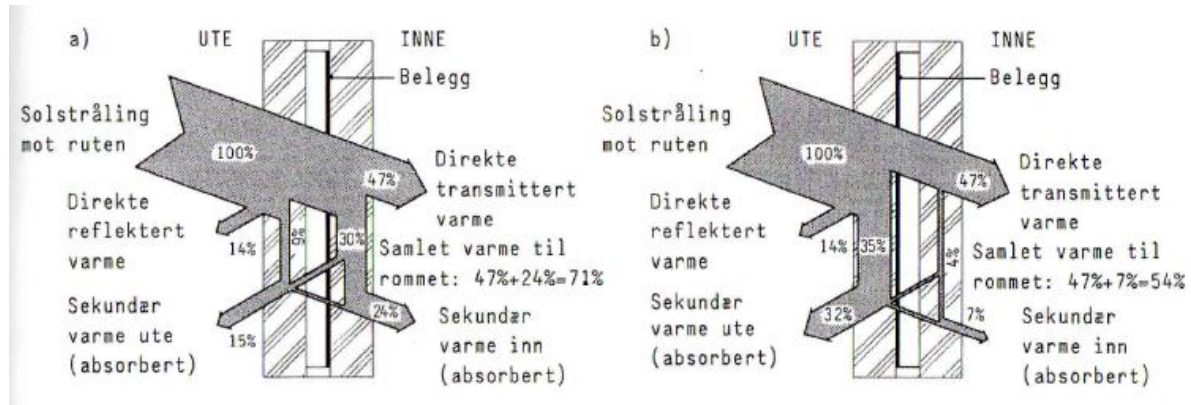
2.5.1.4. Skjerming i glaset

Ved bruk av utvendig solskjerming vil det som regel alltid vere noko av solstrålinga som slepp igjennom. For å oppnå ein betre total solfaktor er det effektivt å nytte seg av vindauge med god solfaktor. Dette kan verte gjort på fleire måtar.

Det enklaste alternativet er å nytte vindauge med fleire lag glas. Kvart glas i ei glasrute vil absorbere ein viss del av solstrålinga og den vil reflektere ein viss del. Dess fleire lag med glas ein har, dess meir av solstrålinga vert absorbert og reflektert. I tillegg vil spaltene mellom laga ha ein viss varmemotstand. Dette fører til at fleire lag glas i vindauge vil redusere delen av solstrålinga som slepp inn i huset. Passivhus nyttar som regel vindauge med tre lags glas, noko som er eit lag meir enn standard vindauga.

Eit anna alternativ, som gjerne vert brukt i kombinasjon med trelagsglas, er LE-belegg. LE-belegg står for lågemisjonsbelegg og er eit veldig tynt sjikt av metall eller metallsaltar som vert påført glaset. Belegget kan også verte kalla selektivt belegg fordi det reflekterer

langbølgs stråling, men slepp igjennom kortbølgs. Metallet som vert brukt kan til dømes vere tinnoksid eller gull, og det er gjeld å finne ein balansegang som gjer at belegget er tjukt nok til at ein oppnår tilstrekkeleg varmerefleksjon, men tynt nok til at det ikkje hindrar dagslystransmisjonen og utsikta for mykje (Novakovic, et al., 2007).



Figur 17: Strålingsbalanse for ei forsegla rute med LE-belegg på høvesvis inste og ytste rute (Novakovic, et al., 2007)

LE-belegg er i dag brukt i energiglas som er gunstige glas å bruke i passivhus. Eit vindaug med energiglas er eit vindaug som har eit termoglas der det eine av glasa er glas med LE-belegg. I tillegg til LE-belegget er også luftspalta mellom glasa fylt med argongass som er tyngre enn luft slik at isoleringseffekten vert forbetra (Norsk vinduskompani, u.d.). Eit vindaug med trelagsrute og energiglas kan ha ein solfaktor ned i 0,40.

Solskjermingsevna i glas er i dag under kontinuerleg utvikling. Målet er å finne ei løysing der eit mest mogleg fargenøytralt glas kan tilby ei effektiv skjerming av solinnstråling slik at det ikkje er nødvendig med anna solskjerming i tillegg. Sjølv om det finst løysingar på markedet i dag som kan tilby effektiv solskjerming, vil dei fleste av desse hindre utsyn og nytting av dagslys i relativt stor grad på grunn av fargen i glaset. Desse løysingane er dermed ikkje veldig populære i bustadhus.

Ei anna løysing som kan vere meir aktuell i bustadhus er smarte vindaug. Smarte vindaug er fellesnemninga på vindaug som kan tilpasse transmisjonen, og dermed innstråling av lys og varme, etter behov. I Noreg er ikkje smarte vindaug vanleg hos forhandlarane, men det er mogleg å bestille frå andre land. Dei fleste typane av smarte vindaug er likevel fortsatt under testing og vurdering for optimalisering. Døme på slike vindaug er:

- *Termokrome vindaug* som forandrar eigenskapar når temperaturen til materiale i glaset forandrar seg
- *Fotokrome vindaug* som endrar optiske eigenskapar når lysintensiteten vert forandra
- *Elektrokrome vindaug* som forandrar transmisjonen gjennom å variere ei påtrykt elektrisk spenning.

- *Gasokrome vindauge* der glaset er påført eit belegg som kan endre optiske eigenskapar gjennom bruk av hydrogengass
- *Glas med flytande krystallar* som endrar transmisjonen ved å endre orientering av krystallane gjennom eit påsatt elektrisk felt

Det positive med smarte vindauge er at ein kan forandre transmisjonen etter behov. Det vil seie at når det ikkje er behov for skjerming mot solinnstrålinga, vil vindauga vere som vanlege vindauge slik at ein har vanleg utsyn og kan nytte seg av dagslyset. Problemet med desse vindauga er at nokon av dei krev straumtilførsel for å halde seg gjennomsiktige eller for å forandre seg. Vindauga er også kompliserte og er difor ein del dyrare enn vanlege vindauge, i tillegg til at utsynet vil verte svekka relativt kraftig når skjerma er aktivert.

2.5.2. Planlegge metode for å fjerne varmeoverskot

Det vil alltid vere noko varme som slepp inn i bygget, sjølv når ein nyttar tiltak for å hindre det. Den andre strategien for å hindre overvarme er dermed å finne løysingar for å fjerne varmeoverskotet som slepp inn i huset.

Eit av krava som vert satt til passivhus er at det ikkje er tillat å bruke mekanisk kjøling av romluft og/eller tilluft ved hjelp av kjølemaskiner (Standard Norge, 2010), og dermed må ein nytte seg av såkalla passive kjølingssystem for å få ned temperaturen. Ved bruk av passive kjølingssystem kan ein nytte seg av passive tiltak eller ein kombinasjon av passive og aktive tiltak. Dei passive tiltaka vert ofte rekna som dei beste metodane då dei har låg innverknad på energiforbruket, men ofte kan det lønne seg å nytte aktive tiltak i botnen og passive midlar ved høglast scenarioer. Dette er fordi dei aktive tiltaka kan gi moglegheit for gjenvinning av energi og riktig utforma kan dei også gi liten belastning (Bryn, et al., 2012a). Eit døme på dette er å bruke ventilasjonsanlegget i botnen, samt nytte seg av lufting gjennom vindauge når varmen er på topp.

Passive kjølingssystem kan inkludere:

- Kjøling gjennom ventilasjonsanlegget
- Naturleg ventilasjon
- Nattventilasjon

2.5.2.1. *Kjøling gjennom ventilasjonsanlegget*

I passivhus er det vanleg å bruke balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Eit slikt ventilasjonssystem har ei ventilasjonsvifte som fjernar fuktig og forureina luft, ei vifte som tilfører ny og rein luft, og ein varmegjenvinnar som gjenvinner varmen i den brukte innelufta og nyttar den til å forvarme utelufta (Flexit, u.d.). Fordelane med eit balansert ventilasjonssystem er at det sikrar god luftkvalitet i huset utan trekk, er energisparande ved at systemet gjenvinner varme frå ventilasjonslufta og at systemet tilfredsstillar krava i passivhusstandarden (NS 3700). Ulempa med systemet er at det nyttar energi til viftedrift,

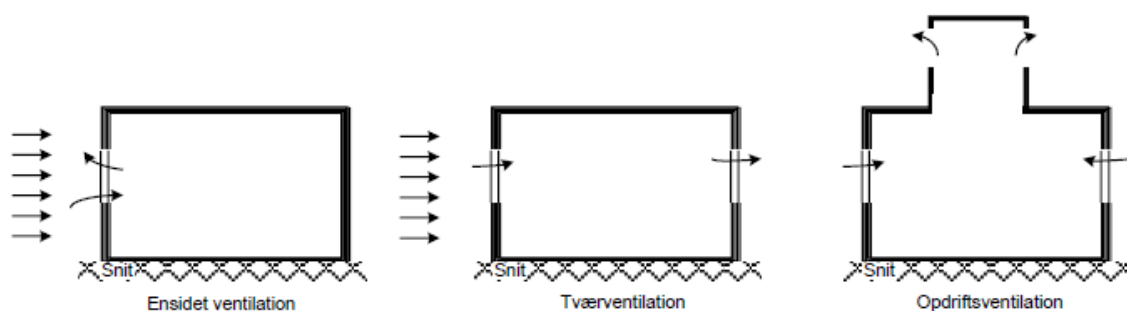
oppvarming og eventuelt kjøling, samstundes med at ventilasjonssystemet ofte også vert brukt om natta i varme periodar. Det er difor viktig å nytte system med låg SFP.

Eit balansert ventilasjonsanlegg kan både vere med å redusere overvarmen og auke overvarmen. Erfaringar frå bruk av balansert ventilasjon med varmegjenvinning i passivhus, tilseier at varmegjenvinninga kan føre til auka overvarme på sommaren. Det er dermed lurt at ventilasjonssystemet har ei dekobling eller ei omgåing (by-passfunksjon) av varmevekslarfunksjonen når det ikkje er varmebehov (Sikander, et al., 2011). På denne måten kan ein skifte mellom sommarkrift og vinterdrift på ventilasjonssystemet og dermed hindre varm tilluft som fører til overvarme, samstundes med at anlegget kan ha ein kjølande effekt.

På grunn av store svingingar i varmebelastninga i eit hus, er likevel ikkje kjøleeffekten til ventilasjonsanlegget så stor at anlegget kan fjerne all varmen momentant. Difor er det ofte behov for å kunne nytte seg av naturleg ventilasjon i tillegg til ventilasjonsanlegget (Bryn, et al., 2012b). Naturleg ventilasjon er også avgjerande for å hindre overvarme dersom anlegget ikkje har by-passfunksjon, og då kan eit godt alternativ vere å skru ventilasjonsanlegget heilt av i varme periodar og heller nytte seg av naturleg ventilasjon med berre avtrekk frå kjøkken og bad.

2.5.2.2. *Naturleg ventilasjon*

Ved bruk av naturleg ventilasjon forbetrar ein komforten og/eller reduserer innnetemperaturen ved å nytte ventilasjon gjennom vindauge og/eller andre opningar. Denne ventilasjonen kan fungere veldig bra dersom det er vind og moglegheit for tverrventilasjon slik at luftskifte er stort. Dersom dette ikkje er tilfellet og luftskiftet er lågt, bør ein nytte seg av vifter for å få tilstrekkeleg ventilasjonseffekt. Den mest effektive luftinga skjer ved bruk av tverrventilasjon eller oppdriftsventilasjon, men det er også mogleg å nytte seg av ein-sidig ventilasjon eller kombinere dei forskjellige ventilasjonsmåtarane.



Figur 18: Forskjellige ventilasjonsmåtar ved bruk av naturleg ventilasjon (Larsen, 2011)

Dersom ein vel å skru av ventilasjonsanlegget og berre nytte seg av naturleg ventilasjon om sommaren, kan ein god idé vere å nytte seg av hybrid ventilasjon i ein overgangsperiode på våren og hausten. Hybrid ventilasjon er ei krysning mellom naturleg og balansert ventilasjon,

der anlegget nyttar naturlege drivkrefter for å redusere forbruket av elektrisitet til vifter (Marton, 2008). Ved å nytte seg av hybrid ventilasjon kan anten mekanisk eller naturleg ventilasjon verte valt avhengig av utetemperatur slik at ein oppnår god komfort og lågt energiforbruk.

Sjølv om det er mange fordelar ved å nytte seg av naturleg ventilasjon er det også ei rekke utfordringar forbunde med det. Dette kan til dømes vere:

- *Tjuverisikring* – Utan tjuverisikring av opningar som vert nytta til naturleg ventilasjon, reduserer ein tidsrommet det er mogleg å nytte seg av det. Med tjuverisikring mogleggjer ein lufting sjølv når bebuarane ikkje er heime og når dei ligg og søv
- *Støy og luftforureining* – I områder der det er mykje støy og luftforureining vil mange bebuarar velje å ikkje nytte seg av naturleg ventilasjon
- *Trekk* – Bruk av naturleg ventilasjon vil i mange tilfelle føre til trekk. Dette kan vere brytsamt for bebuarar og kan føre til at dei ikkje nyttar seg av naturleg ventilasjon
- *Regulering* – Ved manglande regulering kan det fører til at lufting og oppvarming skjer på same tid, og at ein dermed bruker unødvendig energi
- *Allergi* – For personar med pollenallergi kan det vere problematisk å lufte om sommaren

For å sikre at det er vert nytta naturleg ventilasjon på ein effektiv måte, er det viktig at det vert set fokus på dette tidleg i designprosessen. På denne måten kan ein finne løysingar for utforming og orientering som er gunstig for å oppnå god effekt.

Dersom det er vanskeleg å nytte seg av naturleg ventilasjon i eit hus kan ein vurdere å installere eit balansert ventilasjonsanlegg med større kapasitet for å auke ventilasjonsmengda og kvitte seg med meir av overskotsvarmen på den måten.

2.5.2.3. Nattventilasjon

Målet med nattventilasjon er å nytte seg av frikjøling på natta for å redusere temperaturtoppane i dei varmaste periodane på dagen. Ved nytting av nattventilasjon slår ein av oppvarmingsanlegget og alle komponentar i ventilasjonsanlegget, for så å ventilere bygget med store mengder kjølig natteluft og på denne måten kjøle ned bygningskroppen. Den avkjølte bygningskroppen kan så, ved hjelp av stråling og naturleg konveksjon, absorbere og lagre varme fram til innetemperaturen søkk neste natt og bygget vert avkjølt igjen.

Det kalde klimaet som er i Skandinavia gjer at bruk av frikjøling har stort potensial her. Sjølv på sommaren når dagane er varme, er nettene forholdsvis kalde. Dette gir ein høg temperaturdifferanse mellom luft og bygningsstrukturen på natta slik at ein oppnår ei effektiv konvektiv kjøling av bygningsmassen (Artmann, et al., 2006).

For å oppnå tilstrekkeleg kjøleeffekt ved bruk av nattventilasjon er det tre føresetnader:

- Bygget må ha eit minimum av tilgjengeleg termisk masse som kan lagre nok varme på dagtid
- Ventilasjonen må ha eit stort luftskifte på natta. Erfaringar tilseier at dette bør ligge mellom ca. $4-8 \text{ h}^{-1}$ i konstruksjonar med høg termisk masse (Artmann, et al., 2006)
- Strategien med naturleg ventilasjon bør verte implementert tidleg i ein designprosess slik at utforminga av fasade og orientering sikrar god nok effektivitet

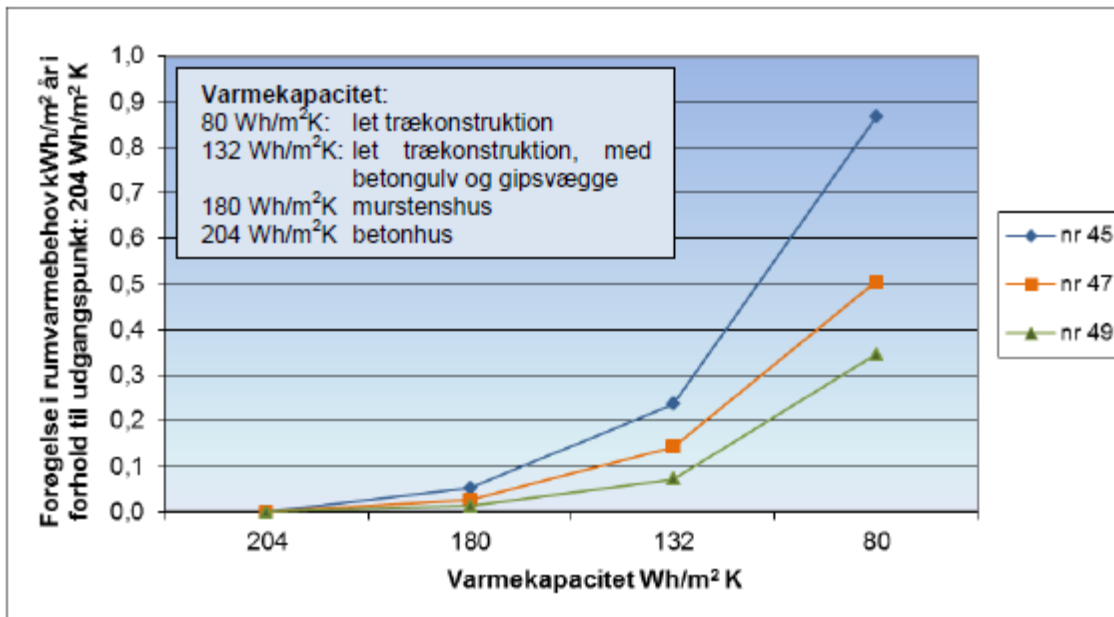
Utandørsklima og luftskiftetalet for frikjøling er dei viktigaste faktorane for kor effektivt kjølinga vil vere, men parameterar som interne laster og del termisk masse har også ein signifikant effekt på kjøleytinga og termisk komfort. Det er antatt at utetemperaturen bør vere minst 3 °C kaldare enn gjennomsnittleg overflatetemperatur i rommet for at det skal vere effektivt å nytte seg av frikjøling (Artmann, et al., 2006).

Dersom ein ikkje klarer å oppnå eit stort nok luftskifte ved bruk av frikjøling, kan nattventilasjon verte gjennomført ved hjelp av mekanisk eller hybrid ventilasjon. I slike tilfelle må ein gjere energievalueringar på kor stort energibruk ein får og kor stor effekten av kjølinga vert.

2.5.3. Sørge for tilstrekkeleg varmelagring

Den tredje strategien for å hindre overvarme i passivhus består av å sikre at varmen som slepp inn i rommet, og ikkje vert fjerna med ein gong, vert lagra til det er mogleg å fjerne den. Alle material i eit bygg vil absorbere noko av varmen i rommet og dermed bidra til temperaturutjamning. Dette kan vere gunstig for å kunne lagre varmen på dagtid for så å kvitte seg med den på natta gjennom nattventilasjon. Sjølv om alle material absorberer varme, vil varmelagringsevna for ulike material variere mykje. Til dømes er varmelagringsevna for betong, tegl, tre og lett mineralull slik i forhold til kvarandre: 80:35:13:1 (Novakovic, et al., 2007). Det vil seie at for ei gitt auking i overflatetemperaturen, lagrar ei betongskive meir enn seks gongar så mykje varme som ei treskive som er like tjukk.

I Figur 19 kan ein sjå endringa i romvarmebehov ved endring av huset sin varmekapasitet. Figuren viser at varmebehovet stig med minkande termisk masse i konstruksjonen, men ein kan også sjå at stigninga er avhengig av utforminga av huset elles. Aukinga i romvarmebehov kan variere mellom 0,35 til 0,9 i forhold til utgangspunktet for eit hus med ein varmekapasitet på $80 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. Ein kan også sjå at forskjellen i varmebehov stig kraftig frå ein lett trekonstruksjon med betonggolv og gipsveggar som har ein varmekapasitet på $132 \text{ Wh/m}^2\text{K}$, til ein lett trekonstruksjon med varmekapasitet på $80 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. Dei tre forskjellige husa som er brukt i denne figuren er henta frå Komforthusprosjektet i Vejle Danmark (Larsen, 2011).



Figur 19: Endring i romvarmebehov ved endring av huset sin varmekapasitet (Larsen, 2011)

I passivhus kan ein nytte seg av varmelagringsevna i tunge bygningsmateriale både om vinteren og sommaren. Om vinteren vil den termiske massen absorbere varme frå soltilskot og internlastar på dagtid, for deretter å gradvis frigi varmen til rommet på kvelden og natta. Dette vil jamne ut temperatursvingingane og redusere behovet for oppvarming (Høseggen, et al., 2009). Om sommaren vil den termiske massen fortsatt absorbere varme på dagtid og dermed redusere innnetemperaturen. Det avgjerande i varme periodar, er at varmen som er lagra vert fjerna på natta slik at den ikkje vert frigitt til eit allereie oppvarma rom. Dersom ein nyttar nattventilasjon i kombinasjon med termisk masse er det rapportert om at ein kan redusere maksimal innnetemperatur med 2-6 °C, og energisparing på kjøling spenner seg i litteraturen frå 5-36 %, avhengig av klima og bygningstype (Høseggen, et al., 2009).

Termisk masse som vert bruk i bygget bør ha god konduktivitet inni elementet og god varmeovergang på overflata. Den må også vere eksponert til rommet, og det er då dei ytste 5-10 cm i den termiske massen mot rommet som kan verte aktivert som termiske reservoar over døgnet (Artmann, et al., 2006).

2.6. Brukarane

Dersom ein planlegg passivhuset ut frå dei tre strategiane som er presentert, skal det vere godt rusta mot overvarme. Likevel kan verknaden av nokre av desse tiltaka verte redusert, eller i nokre tilfelle verke mot si hensikt, dersom brukarar overstyrer tiltaka eller dersom dei ikkje vert brukt riktig. Undersøkingar viser at brukarane sin oppførsel kan gi ein variasjonsfaktor på heile 3-4 i bustaden din energiforbruk. Det er dermed viktig at bebruarane får ei grundig innføring i kva handlingar som kan påverke huset sin effekt og korleis dei kan påverke huset til å fungere optimalt. Kommunikasjon, opplysning og opplæring er viktige

aspekt å ha fokus på (Larsen, 2011). Opplæring er spesielt viktig dersom huset krev ein aktiv brukar.

For å gjer det enklare for bebuarane og for å sikre at systema vert brukt rett, kan det vere fornuftig at passivhus har automatisk styring på ein del system som solskjerming, lufting og ventilasjon. Dette er ei god løysing både for å sikre at energibruken vert haldt nede og for å sikre eit godt termisk inneklima. Det vil også vere gunstig for bebuarane då dei slepp å vere like aktive. Automatisk styring vil likevel ikkje ta vekk behovet for informasjon og bevisstgjering av bebuarane, då bebuarane i mange tilfelle vil overstyre automatikken dersom dei ikkje veit kva konsekvensen er. Overstyring av solskjerming kan til dømes skje dersom bebuarane er sjuke, har permisjon eller har andre grunnar som gjer at dei er heime på dagtid. I slike tilfelle kan bebuarane ynskje å få inn meir dagslys, eller få betre utsikt, og dermed fjerne solskjerming og auke problemet med overvarme (Larsen, 2011). Overstyring kan også førekome dersom systemet generer støy, eller dersom det er mykje støy utanfor huset slik at bebuarane stenger av lufteopningar.

3. Simulering

Gjennom litteraturstudiet tilseier erfaringar og studiar (jf. delkapittel 2.4) at overvarme er eit problem i passivhus dersom det ikkje vert gjort tiltak for å hindre det. Likevel bør ein evaluere denne påstanden med tanke på kva som er tilfelle i andre eksisterande bygningar som ikkje er passivhus. Dersom det viser seg at vanlege hus med ein lågare isolasjonsstandard opplev like mykje overvarme som passivhus, er ikkje overvarme eit problem som er forbunde med passivhuset, men eit problem som er forbunde med bustader generelt.

I dette kapittelet vil det verte presentert resultat frå simuleringar utført i SIMIEN. Simuleringane er av ein tenkt einebustad og ein tenkt bustad i eit rekkehus. Begge bustadane er simulerte både etter passivhusstandard og TEK97-standard. Målet med simuleringane er å sjå om det er større problem med overvarme i passivhus i forhold til hus med lågare isolasjonsstandard, her representert ved TEK97-huset. Det er også blitt gjort fleire simuleringar for å sjå på kva parameterar som er med på å påverke overvarme i husa.

Rekkehusbustaden og einebustaden er simulert med sommarsimulering over ei periode på 5 dagar frå 1. juli til 5. juli, og romluftstemperaturen ved simuleringstart er satt til 19 °C. Grunnen til at simuleringa vert kjørt over fleire dagar, er for å sjå korleis temperaturen utviklar seg i ei periode der det er fleire varme dagar i strekk. Alle presentasjonane av temperaturutviklinga gjennom døgnet er frå det siste døgnet i simuleringperioden, 5. juli.

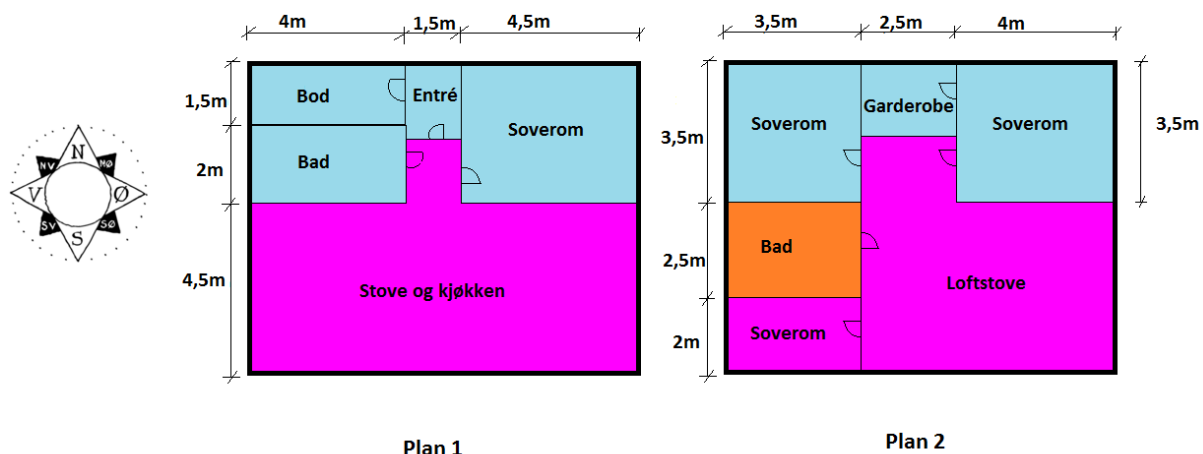
3.1. Einebustad

Dei gjennomførte simuleringane for einebustaden er:

- Basissimulering med solskjerming
- Simulering utan solskjerming
- Simulering med plassering i Ålesund og Bodø
- Simulering med lufting gjennom vindauge
- Simulering med jamt fordelt areal av vindauge
- Simulering med frikjøling på natta
- Simulering med frikjøling og betong som termisk masse
- Simulering med færre dagar
- Årssimulering

3.1.1. Inputparametrar

Dei to simulerte einebustadane er like i utforming og plassering. Huset er eit toetasjes hus som har plassering i Oslo, eit samla oppvarma golvareal på 160m² og ei etasjehøgde på 2,5m. Huset er delt inn i tre soner som er vist på planteikninga i Figur 20. Sone 1, som er rosa, er vendt mot sør og har dermed høg solinnstråling medan sone 2, som er blå, er vendt mot nord med låg solinnstråling. Den siste sona er ei sone som ligg midt i bygget vendt mot vest, denne er oransje.



Figur 20: Planteikning av einebustaden

Areal av fasaden og vindauga er som vist i Tabell 3. Alle vindauga mot sør, aust og vest i bygget har lik solskjerming som består av utvendig, lyse persienner med 80mm lamellar. Solfaktor i aktivert og ikkje-aktivert stilling er høvesvis 0,05 og 0,40. Persiennene vert styrt automatisk og utvendig solflux for aktivering er 100 W/m^2 . Vindauga mot nord har inga solskjerming.

Tabell 3: Areal av fasade og vindauga i einebustaden

	Areal av fasade	Areal av vindauga sone 1	Areal av vindauga sone 2	Areal av vindauga sone 3	Totalt areal
Nord	54m^2	-	$4,75 \text{ m}^2$	-	$4,75\text{m}^2$
Sør	54m^2	12 m^2	-	-	12m^2
Aust	$43,2\text{m}^2$	3 m^2	3 m^2	-	6m^2
Vest	$43,2\text{m}^2$	$2,66 \text{ m}^2$	$1,84 \text{ m}^2$	$0,5 \text{ m}^2$	5m^2

Areal av vindauga og dører er på totalt 19,8 % av oppvarma golvareal, noko som er under grensa på 20 % som er gitt i TEK10 (TEK10, 2010).

Innsida av veggane og taket er kledd med trepanel på 15 mm der effektiv varmekapasitet er $4,6 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. Golvet består av parkett på 14 mm og ei 22 mm sponplate med ein effektiv varmekapasitet på $4,6 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. Elles er sonene satt til å vere middels møblerte med ein varmekapasitet på $4 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ (SIMIEN, 2012).

Ventilasjonssystemet er balansert ventilasjon med ei luftmengde på $1,2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ (Standard Norge, 2011) der normal tillufttemperatur er $19 \text{ }^\circ\text{C}$ og tillufttemperatur om sommaren (mai til august) er $12 \text{ }^\circ\text{C}$. Den låge tillufttemperaturen om sommaren skal svare til effekten av ein by-passfunksjon på ventilasjonsanlegget. På denne måten unngår ein varmegjenvinning i systemet og sikrar at ventilasjonsanlegget ikkje fører til eit auka problem med overvarme.

Passivhuset har eit lekkasjetal på 0,60 1/h og TEK97-huset har eit lekkasjetal på 4 1/h (Statens bygningstekniske etat, 1997). Det er vidare antatt eit luftskifte på grunn av infiltrasjon på 2 m³/h gjennom veggane som grensar til sone 3 og 5 m³/h gjennom veggane som grensar til sone 2, medan det er antatt at det ikkje er luftskifte gjennom golvet som skiljar dei forskjellige sonene. Det vert også luftskifte gjennom opningane mellom sonene. Desse er definert slik:

Tabell 4: Opningar mellom sonene

	Tal på dører	Totalt opningsareal	Open i driftstida
Dører mellom sone 1 og 2	5	10 m ²	50 %
Dører mellom sone 1 og 3	1	2 m ²	40 %

3.1.1.1. *Passivhuset*

Ved simulering av passivhuset er det tatt utgangspunkt i krava gitt i NS 3700:2010, samt eit døme på passivhus av Tor Helge Dokka og Sverre Holøs (Dokka & Holøs, 2011). Alle verdiar som er antatt, samt val av inputparametrar som ikkje er tatt frå krava i NS 3700:2010, er kommentert i vedlegg B.

Bustaden er antatt å verte forsynt med energi gjennom elektrisitet, varmepumpe, solenergi og biobrensel, med fordeling som vist i Tabell 5. Effekten av kjølebatteri og lokal kjøling vert satt til 0 ved simulering, men SIMIEN krevjar at ein oppgir energiforsyninga til dei i programmet.

Tabell 5: Energiforsyninga i passivhuset

	Elektrisitet	Varmepumpe	Solenergi	Biobrensel
Romoppvarming	0 %	70 %	10 %	20 %
Oppvarming av tappevatn	0 %	75 %	25 %	0 %
Varmebatteri ventilasjon	0 %	100 %	0 %	0 %
Kjølebatteri ventilasjon	100 %	0 %	0 %	0 %
Lokal kjøling	100 %	0 %	0 %	0 %
El.spesifikk energibehov	70 %	0 %	30 %	0 %

Passivhuset har vorte evaluert mot passivhusstandard i SIMIEN, resultatet av denne simuleringa er vist i vedlegg C.

3.1.1.2. TEK97-huset

Ved simulering av TEK97-huset er det tatt utgangspunkt i krava gitt i TEK97 (TEK97, 1997). U-verdiar, samt alle verdiar som er antatt og val av inputparameter som ikkje er tatt frå krava i TEK97, er kommentert i vedlegg B.

Energiforsyninga i TEK97-huset er antatt å vere elektrisitet og vedovn med fordeling som vist i Tabell 6. Effekten av kjølebatteriet og den lokale kjølinga vert også her satt til 0 ved simulering.

Tabell 6: Energiforsyninga i TEK97-huset

	Elektrisitet	Bio
Romoppvarming	80 %	20 %
Oppvarming av tappevatn	100 %	0 %
Varmebatteri ventilasjon	100 %	0 %
Kjølebatteri ventilasjon	100 %	0 %
Lokal kjøling	100 %	0 %
El.spesifikk energibehov	100 %	0 %

3.1.2. Basissimulering

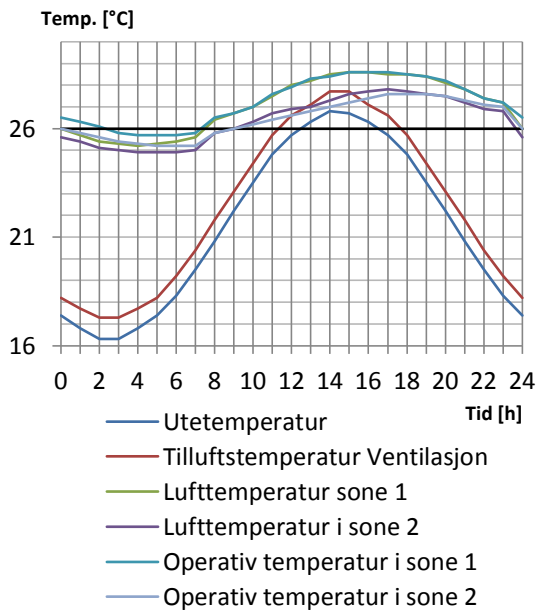
Den første simuleringa er utført med verdiane gitt innleiingsvis. Dei fleste av dei andre simuleringane vert samanlikna med denne.

Tabell 7 viser at det er minimale forskjellar på maksimumstemperaturane i TEK97-huset og passivhuset, men at passivhuset er minimalt kjøligare.

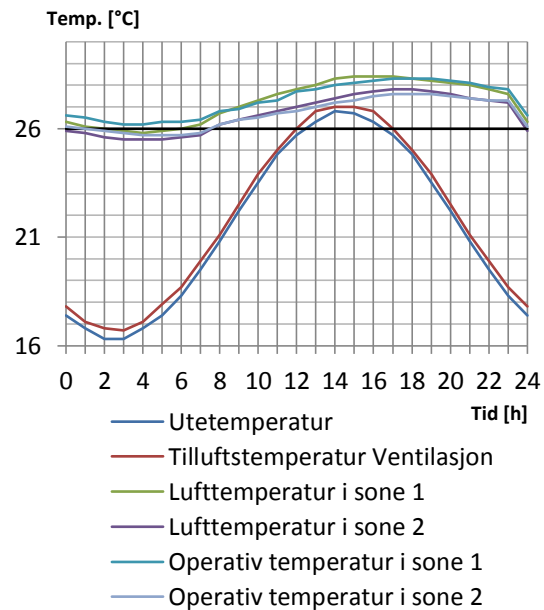
Tabell 7: Maksimal innetemperatur i TEK97-huset og passivhuset

	TEK97-huset		Passivhuset	
	Sone 1	Sone 2	Sone 1	Sone 2
Maks. lufttemperatur	28,6 °C	27,7 °C	28,4 °C	27,7 °C

Figur 21 og Figur 22 viser temperaturutviklinga i høvesvis TEK97-huset og passivhuset over eit døgn. Ein kan sjå at dei høgste innetemperaturane som forventast er i sone 1 der solinnstrålinga er størst, men sidan dei fleste soverom ofte vert plassert i sone 2, er det viktig å vurdere innetemperaturen i denne sona også.



Figur 21: Temperaturutvikling i TEK97-huset med solskjerming



Figur 22: Temperaturutvikling i passivhuset med solskjerming

Figurane viser ikkje berre at maksimaltemperaturane er høge, men dei viser at dei høge innetemperaturane varar store delar av dagen. Ein kan dermed konkludere med at begge husa har store problem med overvarme. Det er berre på natta at innetemperaturen går under anbefalt innetemperatur frå VTEK på 26 °C (Statens Bygningstekniske etat, 2011). På denne tida er det TEK97-huset som viser seg å vere kjøligast med temperaturar ned i 25 °C mot passivhuset som ligg på rundt 26 °C.

Temperaturutviklinga i dei to husa er relativ lik, men passivhuset har ei jamnare utvikling medan TEK97-huset har større variasjon. Grunnen til dette er at passivhuset har ein tettare konstruksjon som både held varme betre ute, men som også held betre på varmen når den først har kome inn. TEK97-huset derimot, har ein mindre tett konstruksjon og følgjer dermed forandringa i utetemperaturen i større grad. På denne måten slepp det inn meir varme på dagtid, men det klarer også å kvitte seg med meir av varmen når det vert kjøligare på natta. TEK97-huset har i tillegg eit høgare varmetilskot på grunn av at det er nytta mindre energieffektive løysingar til belysning og teknisk utstyr enn i passivhuset (Vedlegg D). Dette er også med på å bidra til at innetemperaturen aukar på dagtid.

Ein annan detalj ein kan merke seg ut frå resultatet i Figur 21 og Figur 22, er at tillufttemperaturen i TEK97-huset er høgare enn i passivhuset. Dette kjem av at det skjer ei temperaturauking i tilluftvifta (Mysen, et al., 2000), og sidan TEK97-huset har ein høgare SFP-faktor (2,5 mot passivhuset på 1) er vifta sin effektforbruk høgare og lufta vert dermed tilført meir varme.

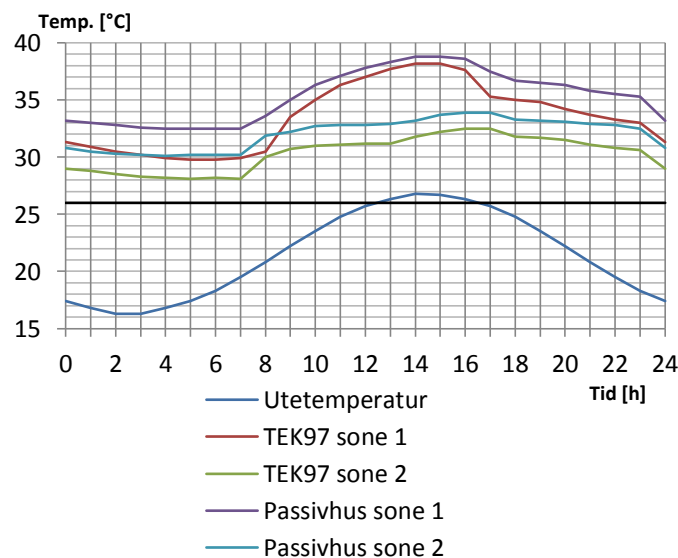
I figurane kan ein sjå at SIMIEN gir ut verdiar for både faktisk lufttemperatur og operativ temperatur i sine resultat. Utvikling av desse er veldig like, men ein kan sjå at den faktiske

lufttemperaturen er lågare enn den operative temperaturen på natta. Sidan den operative temperaturen er middelværdien av lufta sin temperatur og strålingstemperaturen frå omgjevnadane, er det nærliggande å tru at forskjellen skuldast stråling frå oppvarma møblar og liknande. Forskjellen er likevel så liten at den kan verte neglisjert, og det er dermed berre tatt med den faktiske lufttemperaturen i resultatgrafane i dei neste delkapitla.

3.1.3. Simulering utan solskjerming

I Noreg kan det verke som det har vore, og er fortsatt, ei generell haldning om at det ikkje er nødvendig med utvendig solskjerming sidan det norske klimaet er forholdsvis kaldt. Dette har ført til at mange av bustadane i Noreg i dag ikkje nyttar seg av utvendig solskjerming, men heller nyttar innvendige persienner eller gardiner ved behov. Med bakgrunn i dette er det valt å kjøre ei simulering for å finne ut korleis temperaturutviklinga i husa vert dersom ingen av dei nyttar utvendig solskjerming.

Resultatet frå simuleringane i Figur 23 viser at begge husa vil få veldig store problem med overvarme. TEK97-huset held seg litt kjøligare enn passivhuset med ein maksimaltemperatur på 38,5 °C i sone 1, mot 40,4 °C i passivhuset, men 2 °C forskjell er ikkje stort når temperaturen er så høg. Elles er temperaturutviklinga relativ lik den ein kunne sjå i basissimuleringa, med at TEK97-huset har lågare temperaturar om natta, men at temperaturen stig forholdsvis meir på dagtid.



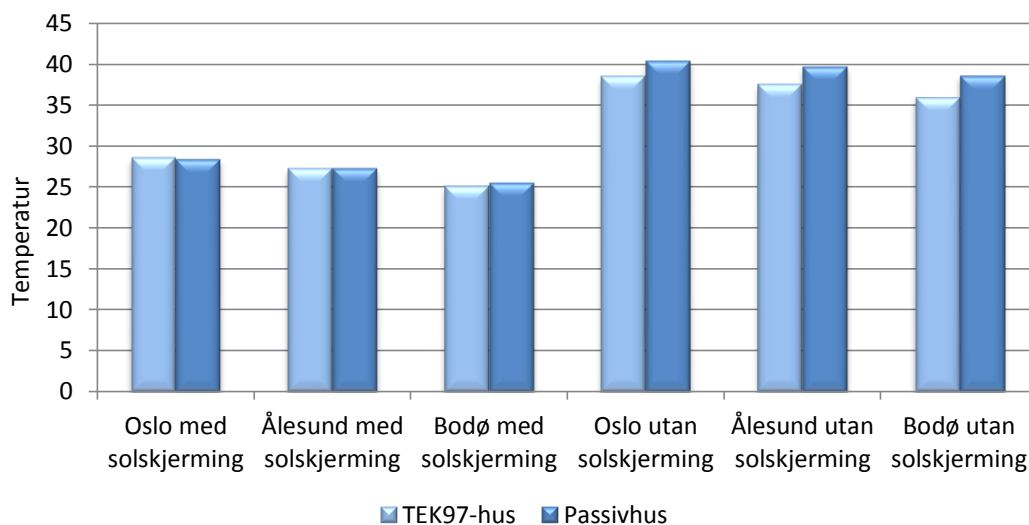
Figur 23: Temperaturutvikling i sone 1 og 2 i husa utan solskjerming

Det er ikkje uventa at passivhuset får store problem med overvarme dersom det ikkje er nytta utvendig solskjerming, då huset er forholdsvis tett og dermed stenger mykje av eit eventuelt varmetilskot inne. Det som er meir interessant er at TEK97-huset får eit nesten like stort problem. Det viser seg dermed at begge husa vil ha problem med å ha tilfredsstillande termisk komfort dersom det ikkje vert nytta utvendig solskjerming.

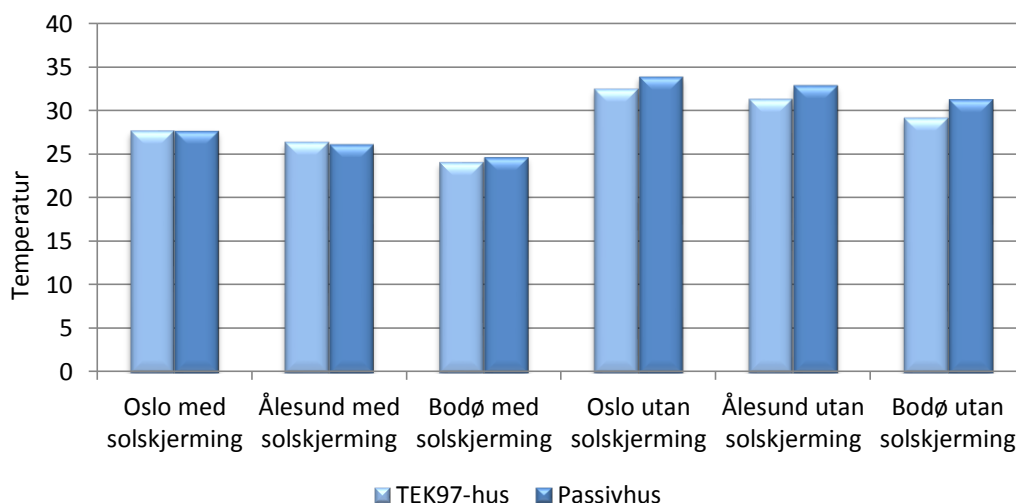
3.1.4. Simulering med plassering i Ålesund og Bodø

Dei to første simuleringane er som nemnt utførde med ei plassering av husa i Oslo. Det er likevel slik at Noreg er eit langt land med eit varierende klima. For å sjå på korleis passivhuset klarer seg på forskjellige stadar i Noreg har det vorte gjennomført to simuleringar der einaste endring som er gjort er plasseringa. Desse husa er plassert i Ålesund og Bodø.

Figur 24 og Figur 25 nedanfor samanliknar maksimaltemperatur i høvesvis sone 1 og sone 2 i passivhuset og TEK97-huset med forskjellig lokalisering.



Figur 24: Maks. innetemperatur i sone 1 med og utan solskjerming i Ålesund og Bodø

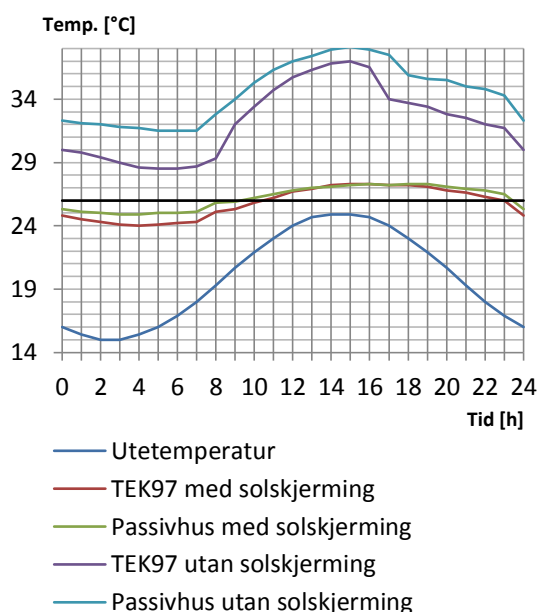


Figur 25: Maks. innetemperatur i sone 2 med og utan solskjerming i Ålesund og Bodø

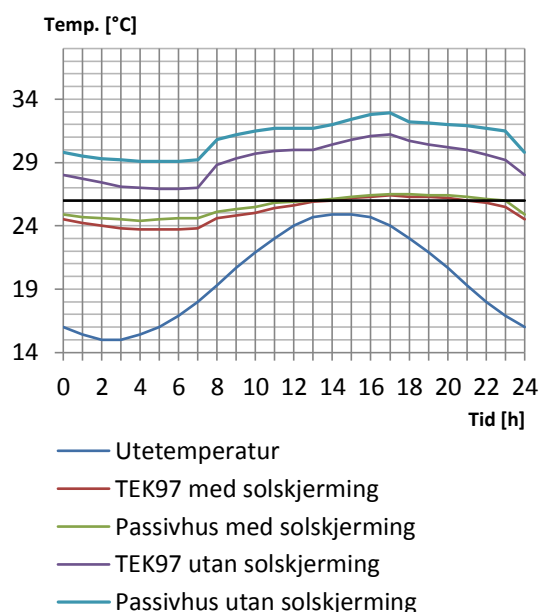
Som ein ser av diagramma er det minimale forskjellar mellom passivhuset og TEK97-huset både i Ålesund og Bodø når husa er utstyrt med utvendig solskjerming. Forskjellen er litt større i tilfellet der ingen av husa er utstyrt med solskjerming. I dette tilfellet har passivhuset

ein litt høgare maksimaltemperatur. Vidare kan ein også sjå at problemet med overvarme vil verte redusert dess lengre nord ein kjem. Dette er naturleg sidan utetemperaturen vert lågare lengre nord. Høgste utetemperatur i løpet av døgnet i simuleringane er 25 °C og 22,1 °C i høvesvis Ålesund og Bodø, medan den er 26,8 °C i Oslo.

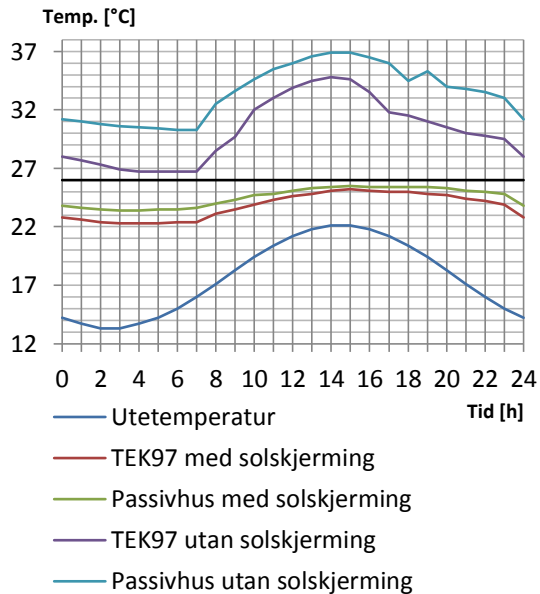
I Figur 26, Figur 27, Figur 28 og Figur 29 er temperaturutviklingane i begge sonene vist for plassering i Ålesund og Bodø. Figurane viser temperaturutvikling for huset både med og utan solskjerming. Ut frå desse figurane kan ein sjå at medan det må fleire tiltak til for å få ned innetemperaturen i Oslo til eit akseptabelt nivå, så er utvendig solskjerming det einaste nødvendige tiltaket ein treng for å få ned innetemperaturen i Bodø.



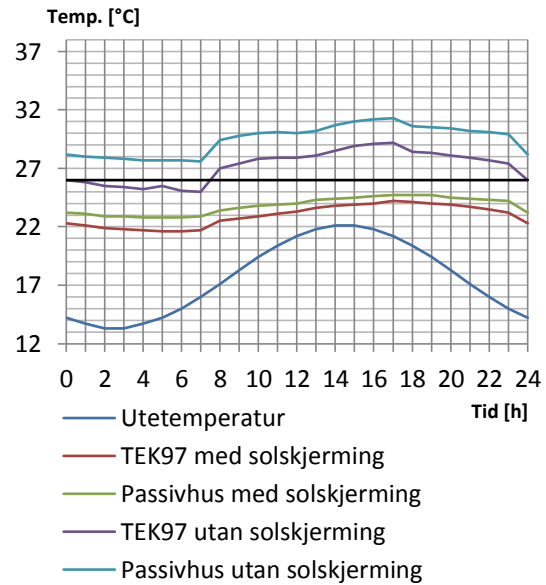
Figur 26: Resultat sone 1 med og utan solskjerming i Ålesund



Figur 27: Resultat sone 2 med og utan solskjerming i Ålesund



Figur 28: Resultat sone 1 med og utan solskjerming i Bodø



Figur 29: Resultat sone 2 med og utan solskjerming i Bodø

3.1.5. Simulering med lufting gjennom vindaug

Ved lufting gjennom vindaug i eit passivhus eliminerer ein isolasjonsfordelen huset har i forhold til andre hus. Dette vil seie at passivhuset vil fungere om lag som eit vanleg hus og det er evna til å skjerme for sola som vert avgjerande. Passivhus har ei betre evne til å skjerme for sola enn eit TEK97-hus sidan vindauga er tettare og består av fleire lag glas. I simuleringa er vindauga i passivhuset satt til å vere av tre lags glas med energiglas med ein solfaktor på 0,40 (Standard Norge, 2011), medan vindauga i TEK97-huset er satt til å vere to lags glas med ein solfaktor på 0,51 (SIMIEN, 2012). Dette indikerer at det er passivhuset som teoretisk sett skal klare å halde varmen best ute i varme periodar når ein nyttar seg av lufting gjennom vindaug.

For å sjekke ut dette er det gjennomført ei simulering der basishuset vert simulert med lufting gjennom to vindaug i sone 1 og to vindaug i sone 2. Alle vindauga er antatt å vere topphengslet og ha eit samla opningsareal på 2,2 m² (1,1m² per sone). Det er vidare bestemt at luftinga skjer i månadane mai til september, at driftstida er utanom arbeidstid (16-07) og at luftinga skal skje i samsvar med standarden EN 15242. Denne standarden gir ein formel for opningsandelen for eit vindaug som er (CEN, 2007):

$$R_{opw} = Y_{wind} \times Y_{temp}$$

Der R_{opw} er opninga av vindaug i forhold til maksimumsopning

Y_{wind} er vindfaktoren

Y_{temp} er temperaturfaktoren

Faktorane er vidare gitt ved

$$Y_{wind} = 1 - 0,1V_{met}$$

$$Y_{temp} = \frac{\theta_e}{25} + 0,2$$

Der V_{met} er vindhastigheita (m/s)
 θ_e er utetemperatur (°C)

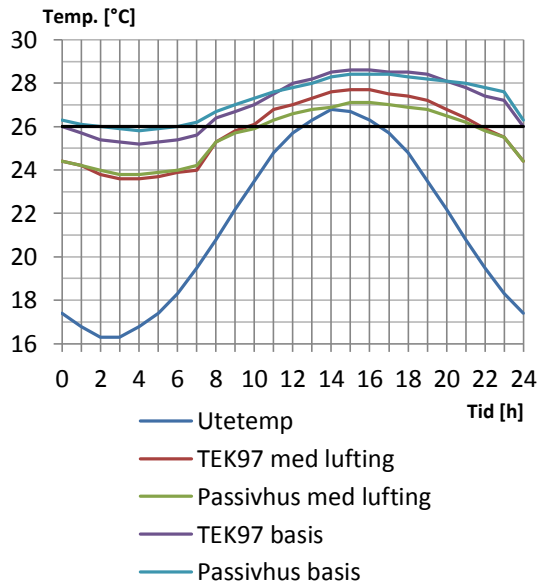
Standarden gir altså ein funksjon for lufteopninga som er avhengig av temperatur og vind, og som seier at lufteopninga minkar ved aukande vind og minkande temperatur. Når temperaturen vert -5 °C eller under, eller ved vindhastigheit på 10 m/s eller meir, er det inga lufting. Dette fører til at ved å bruke lufting i samsvar med standarden, vil vindauga vere kontinuerleg opne i driftstida, og dermed også på nattetid.

Tabell 8 viser maksimal innetemperatur i husa samanlikna med basissimuleringa. Det viser seg at luftinga vil redusere maksimaltemperaturen med 0,9 °C i TEK97-huset og 1,3-1,4 °C i passivhuset.

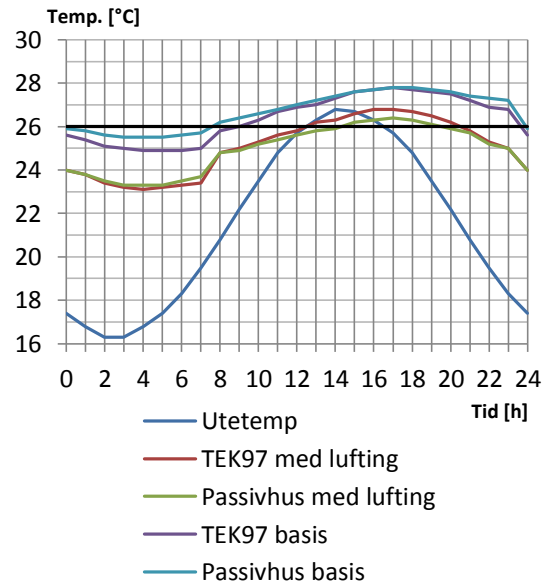
Tabell 8: Maksimal innetemperatur i husa med moglegheit for lufting gjennom vindauga

	TEK97-huset		Passivhuset	
	Sone 1	Sone 2	Sone 1	Sone 2
Maks. temp med lufting	27,7 °C	26,8 °C	27,1 °C	26,3 °C
Maks. temp basissimulering	28,6 °C	27,7 °C	28,4 °C	27,7 °C

Av Figur 30 og Figur 31 kan ein sjå at forventningane om at passivhuset vil fungere som eit vanleg hus vert stadfesta gjennom simuleringane. Dette viser seg gjennom at passivhuset og TEK97-huset får lik innetemperatur på nattetid når det ikkje er solinnstråling i bygget. På dagtid vil passivhuset klare å halde ein lågare innetemperatur enn TEK97-huset sidan solskjerminga er betre.



Figur 30: Resultat sone 1 med lufting



Figur 31: Resultat sone 2 med lufting

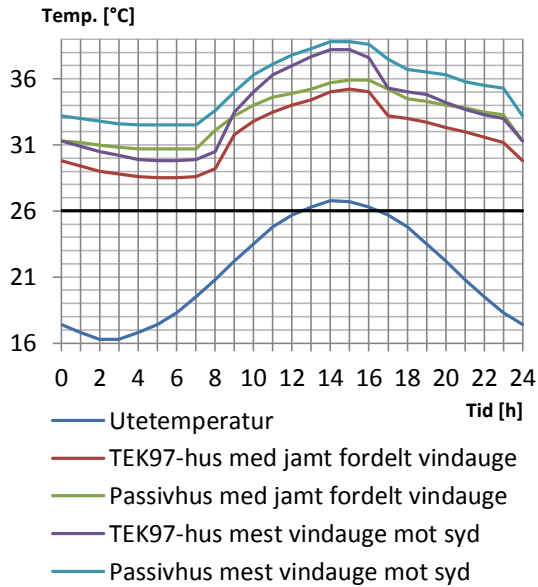
3.1.6. Simulering med jamt fordelt areal av vindaug

Det har vist seg gjennom erfaring og undersøkingar at det ikkje er gunstig å ha eit stort areal av vindaug mot sør i passivhus. Sidan passivhuset ikkje har behov for å nytte seg av gratis varme frå sola, kan store areal av vindaug mot sør føre til overvarme og diskomfort i huset. I denne simuleringa er det sett på konsekvensane det har for innetemperaturen dersom ein fordelar arealet av vindaug jamt over alle fasadane. I simuleringa er det tatt utgangspunkt i basishuset men vindauga har vorte plassert slik at kvar fasade har eit vindaugsareal på 7 m^2 fordelt mellom sonene som vist i Tabell 9.

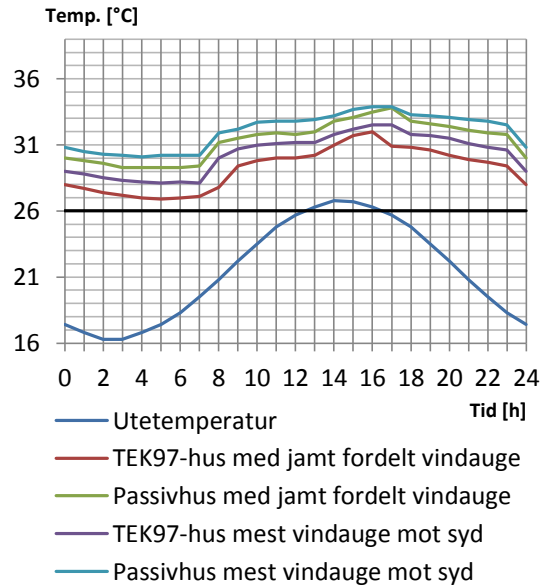
Tabell 9: Fordeling av vindaugsarealet mellom sonene

	Sone 1	Sone 2	Sone 3
Nord	-	7 m^2	-
Sør	7 m^2	-	-
Aust	$3,5 \text{ m}^2$	$3,5 \text{ m}^2$	-
Vest	3 m^2	$3,5 \text{ m}^2$	$0,5 \text{ m}^2$

Dersom ein bustaden ikkje er utstyrt med solskjerming kan ein sjå av Figur 32 og Figur 33 at ei jamn fordeling av vindauger vil gi ein reduksjon i innetemperatur gjennom heile dagen. Forskjellen vil vere størst midt på dag når sola står i sør, og innetemperaturen i sone 1 vil då vere opptil 3 °C lågare.

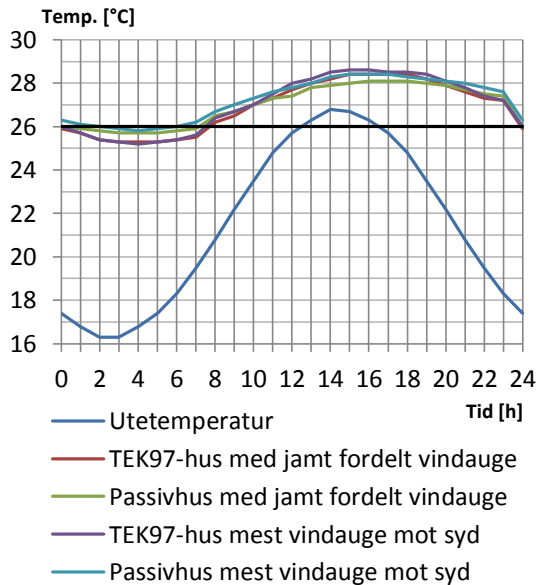


Figur 32: Resultat sone 1 utan solskjerming og jamt fordelt vindauger

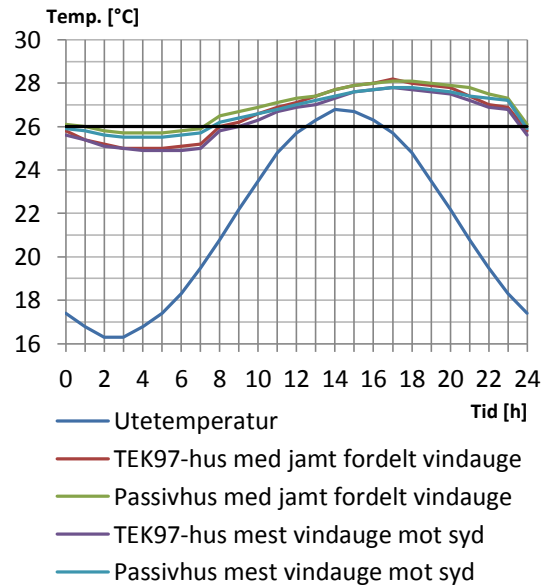


Figur 33: Resultat sone 1 utan solskjerming og jamt fordelt vindauger

Dersom ein bustaden er utstyrt med utvendig automatisk solskjerming, vil ikkje ei jamn fordeling av vindaugsarealet ha noko nemneverdig effekt på innetemperaturen, korkje i positiv eller negativ retning (jf. Figur 34 og Figur 35). Dette viser at den brukte solskjerminga er effektiv.



Figur 34: Resultat sone 1 med solskjerming og jamt fordelt vindaug



Figur 35: Resultat sone 2 med solskjerming og jamt fordelt vindaug

Ut frå desse simuleringane kan ein sjå at det kan vere ein fordel å fordele vindaugsarealet jamt mellom alle fasadane. Sjølv om det ikkje har ein positiv effekt dersom ein brukar effektiv utvendig solskjerming, så kan det gi effekt dersom solskjerminga vert overstyrt eller av andre grunnar ikkje skulle fungere optimalt. Det vil også vere ein fordel med tanke på å sikre godt lys i heile bustaden, ikkje berre i romma som vender mot sør.

3.1.7. Simulering med frikjøling på nattetid

Frikjøling på nattetid skal vere effektivt for å kvitte seg med overskotet av varme huset har samla i løpet av ein varm dag. På denne måten kan ein starte neste dag med lågare innnetemperaturar og dermed hindre ekstrem innnetemperatur midt på dagen. Det er også effektivt for å sikre ein behageleg temperatur i bustaden om natta.

I denne simuleringa er basishuset simulert med eit luftskifte ved frikjøling på $6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, noko som er fem gongar normalventilasjonen. Frikjølinga vert aktivert når minst to av desse kriteriene vert oppfylt:

- Gjennomsnittleg utetemperatur i driftstida overstig **20 °C**
- Gjennomsnittleg romlufttemperatur i driftstida overstig **22 °C**
- Maksimal romlufttemperatur i driftstida overstig **24 °C**

Samstundes vert frikjølinga avbrote dersom ein av desse kriteriene inntreff

- Tillufttemperaturen vert lågare enn grenseverdien på **12 °C**
- Romlufttemperaturen vert lågare enn grenseverdien på **18 °C**

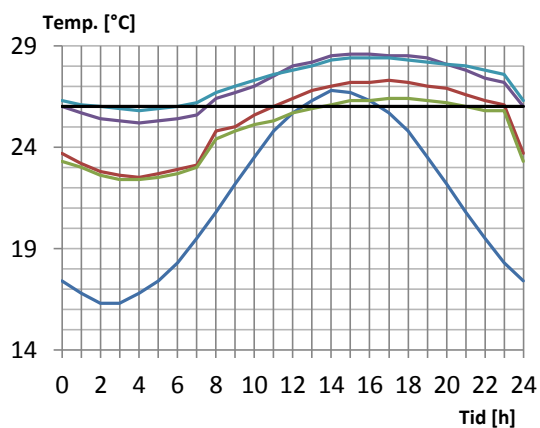
Av Figur 36 og Figur 37 kan ein sjå at bruk av frikjøling er eit effektivt tiltak for å redusere overvarme i begge husa. Tabell 10 viser at maksimal innetemperatur vert redusert med rundt 2 °C i passivhuset og 1,2 °C i TEK97-huset. Det er altså passivhuset som har størst effekt av tiltaket og dermed er innetemperaturen i dette huset jamt litt kjøligere enn i TEK97-huset. Grunnen til at passivhuset har større effekt av frikjølinga er at passivhuset har ei betre isolasjonsevne enn eit TEK97-hus. Denne isolasjonsevnen fører til ein positiv eigenskap og ein negativ eigenskap i forhold til overvarme. Den positive er at passivhus har ei god evne til å halde ute varmen, den negative er at den har problem med å kvitte seg med den varmen som klarer å trenge inn. Ved å nytte seg av frikjøling får passivhuset ein effektiv måte å kvitte seg med overskotsvarme om natta, slik at huset har ei betre evne til å halde varmen ute på dagtid.

TEK97-huset har som nemnt tidlegare eit større varmetilskot på dagtid, men det kvittar seg også betre med overskotsvarmen i løpet av natta. På grunn av dette får ikkje TEK97-huset ein like stor effekt av frikjøling då det ikkje er like mykje av varmen som vert lagra i huset, og dermed er det ikkje like mykje varme å bli kvitt.

Effekten av frikjølinga viser seg igjen i grafane ved eit hopp i temperaturen (oppover) når frikjølinga vert avslutta kl. 07 på morgonen, og ved at temperaturen fell når frikjølinga startar kl. 23 på kvelden.

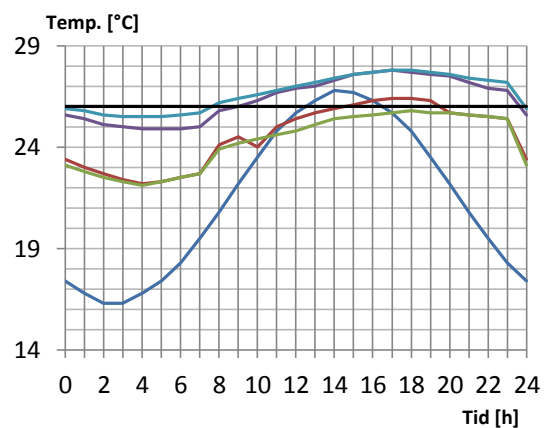
Tabell 10: Maks. innetemperatur ved bruk av frikjøling

	TEK97-huset		Passivhuset	
	Sone 1	Sone 2	Sone 1	Sone 2
Maks. temp med frikjøling	27,2 °C	26,4 °C	26,4 °C	25,7 °C
Maks. temp basissimulering	28,6 °C	27,7 °C	28,4 °C	27,7 °C



— Utetemperatur
 — TEK97 med frikjøling
 — Passivhus med frikjøling
 — TEK97 basis
 — Passivhus basis

Figur 36: Resultat sone 1 med frikjøling



— Utetemperatur
 — TEK97 med frikjøling
 — Passivhus med frikjøling
 — TEK97 basis
 — Passivhus basis

Figur 37: Resultat sone 2 med frikjøling

Ved å nytte seg av frikjøling ser ein at passivhuset nesten er kvitt problemet med overvarme då maksimaltemperaturen berre er på 26,4 °C. Likevel er tidsrommet temperaturen er over 26 °C for lang (frå kl. 13-21).

Det er også verdt å nemne at den operative temperaturen på natta i simuleringa er på om lag 1 °C over den faktiske temperaturen (vedlegg E), og at bebuarane dermed vil oppleve temperaturen om natta til å ligge mellom 23 °C og 24 °C. Grunnen til dette er sannsynlegvis at sjølv om ein luftar huset med kjølig natteluft, og dermed raskt når ein kjøligare lufttemperatur, tek det tid før ein får kjølt ned overflatene i huset. Dermed vil strålinga vere stor frå møblane til den kjøligare innelufta.

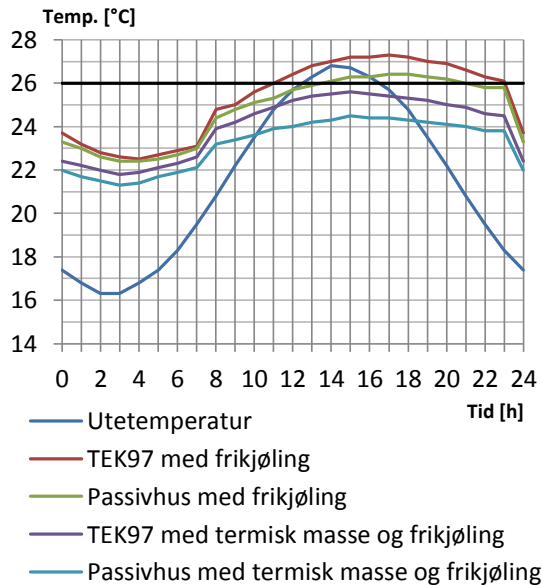
3.1.8. Simulering med frikjøling og betong som termisk masse

For å betre effekten av frikjølinga kan det vere eit alternativ å nytte seg av meir termisk masse. Det er kjent at termisk masse skal kunne redusere overvarme ved å lagre varmen om dagen dersom ein klarer å kvitte seg med denne varmen i løpet av natta. I simuleringa med frikjøling og betong som termisk masse er det difor sett på kva som skjer dersom ein nyttar betong som bæresystem i basishuset og dermed aukar den termiske massen. Det er gått ut i frå at det er 14mm parkett oppå betongen på golvet.

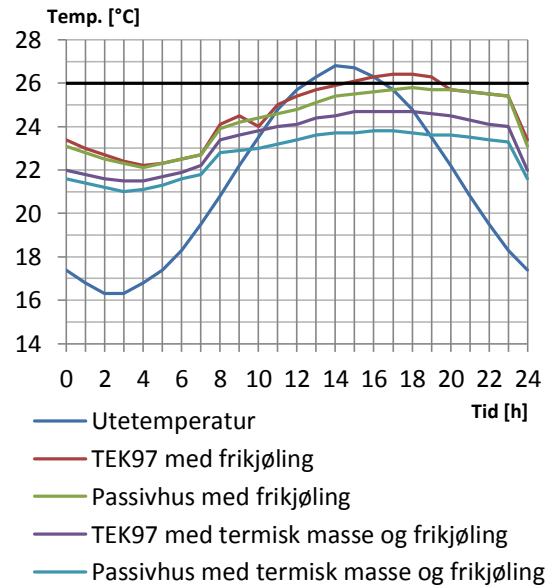
Av Figur 38 og Figur 39 kan ein sjå at innetemperaturen vert redusert enda meir dersom ein nyttar seg av betong som termisk masse i tillegg til frikjøling. Den største reduksjonen ser ein på dagtid, då temperaturane er redusert med om lag 2 °C i forhold til tilfellet der ein berre nytta frikjøling. Dette viser at den termiske massen lagrar noko av varmen på dagtid og dermed reduserer temperaturstigninga. Ved bruk av frikjøling og betong som termisk masse kan ein unngå problem med overvarme både i passivhuset og TEK97-huset.

Tabell 11: Maks. innetemperatur ved å nytte termisk masse og frikjøling

	TEK97-huset		Passivhuset	
	Sone 1	Sone 2	Sone 1	Sone 2
Maks. temp med frikjøling og termisk masse	25,6 °C	24,8 °C	24,4 °C	23,8 °C
Maks. temp med frikjøling	27,2 °C	26,4 °C	26,4 °C	25,7 °C



Figur 38: Resultat sone 1 med frikjøling og bæresystem i betong



Figur 39: Resultat sone 2 med frikjøling og bæresystem i betong

Eit problem med å bruke betong som termisk masse til varmelagring i bustadar, er at mange ikkje vil ha eksponert betong på veggjar og golv. Dette fører til at betongoverflater vert dekkja med andre material som panel eller plater som ikkje har like god varmelagringskapasitet. På denne måten reduserer ein effekten av den termiske massen mykje.

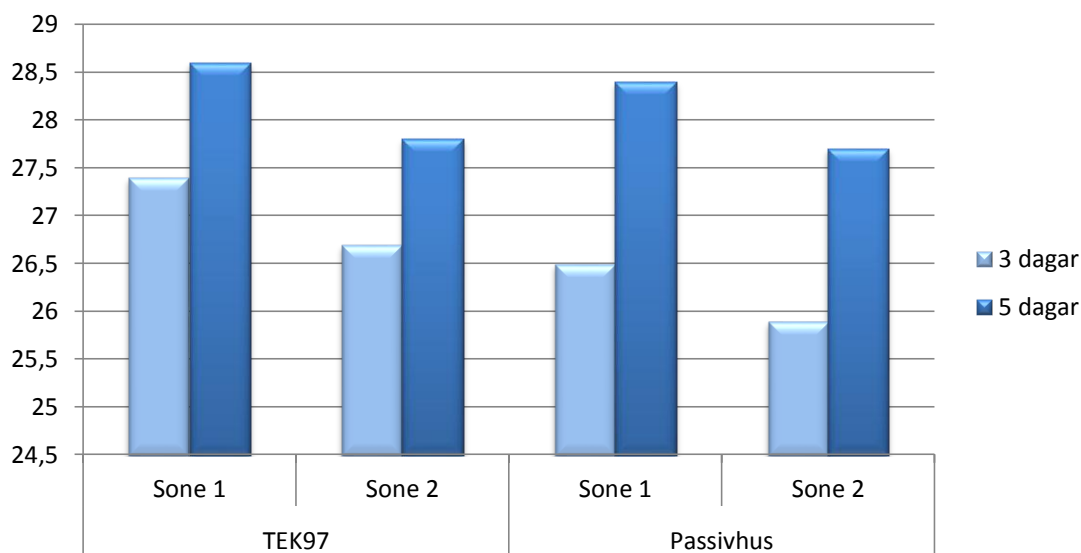
3.1.9. Simulering med færre dagar

I sommarsimuleringa i SIMIEN vert temperturutviklinga for eit døgn med dimensjonerande sommarforhold brukt gjennom fleire døgn for å sjekke korleis innnetemperaturen vert etter ei periode med høg utetemperatur. Når bygget er plassert i Oslo er minimumstemperaturen ute i simuleringa på ca. 16,2 °C og maksimumstemperaturen på ca. 26,8 °C.

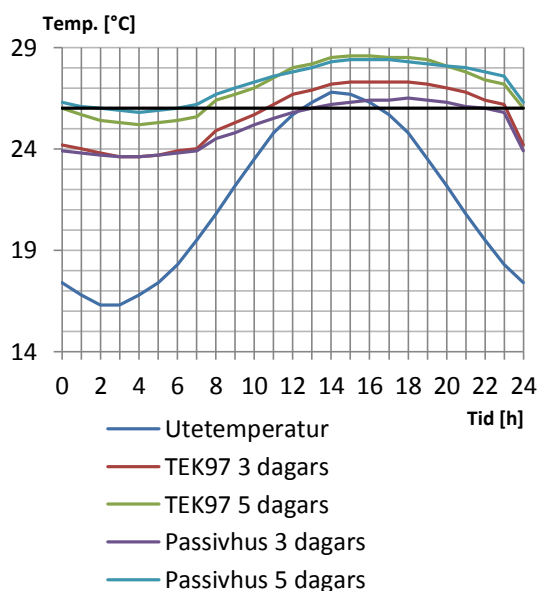
I simuleringane som er utført tidlegare i kapittelet har det vorte simulert med denne temperaturen over fem døgn. Likevel er det ikkje veldig ofte det er lange periodar med temperaturar opp mot 27 °C i Noreg, og det kan difor diskuterast om det skal vere nødvendig å dimensjonere alle bygg for å tole så lange periodar med varme. På grunn av dette er det gjennomført ei simulering der basishuset vert kjørt over ei periode på 3 dagar og resultatet er samanlikna med resultatet frå 5dagarssimuleringa for å sjå på forskjellen.

Ut frå Figur 40, som viser maksimal innnetemperatur for 3- og 5 dagars simulering, ser ein at forskjellen på maksimaltemperaturen i passivhuset etter 3 og 5 dagar er stor. Etter 3 dagars simuleringa er maksimaltemperaturen i passivhuset på under 26,5 °C, og problemet med overvarme er betrakteleg redusert. Resultatet frå TEK97-huset gir ikkje like stor forskjell, og som Figur 41 viser har huset problem med overvarme store delar av døgnet også i 3 dagars simuleringa. Ut frå desse resultatata ser ein at passivhuset sin gode isolasjonsevne fører til at varmen vert haldt ute lengre, og dermed tek det lengre tid før passivhuset får problem med

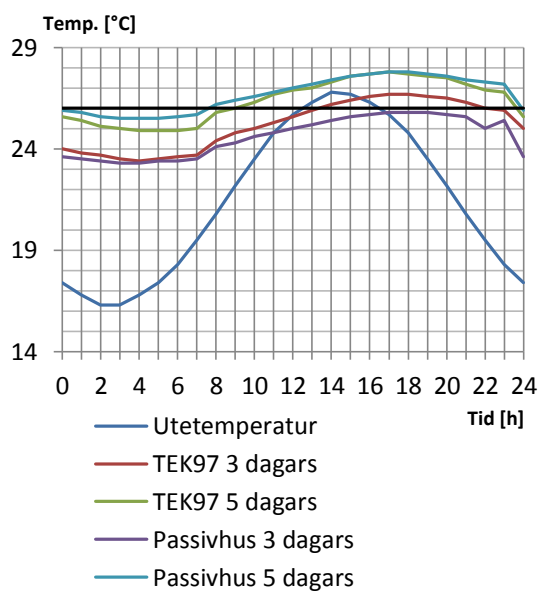
overvarme. På grunn av relativt korte periodar med høg varme i Noreg, er der grunn til å tru at eit passivhus med tilstrekkeleg utvendig solskjerming vil oppleve mindre problem med overvarme enn eit TEK97-hus med same solskjerming.



Figur 40: Samanlikning av maks. innetemperatur ved 3dagers- og 5dagarssimulering



Figur 41: Resultat sone 1 etter 3- og 5dagarssimulering

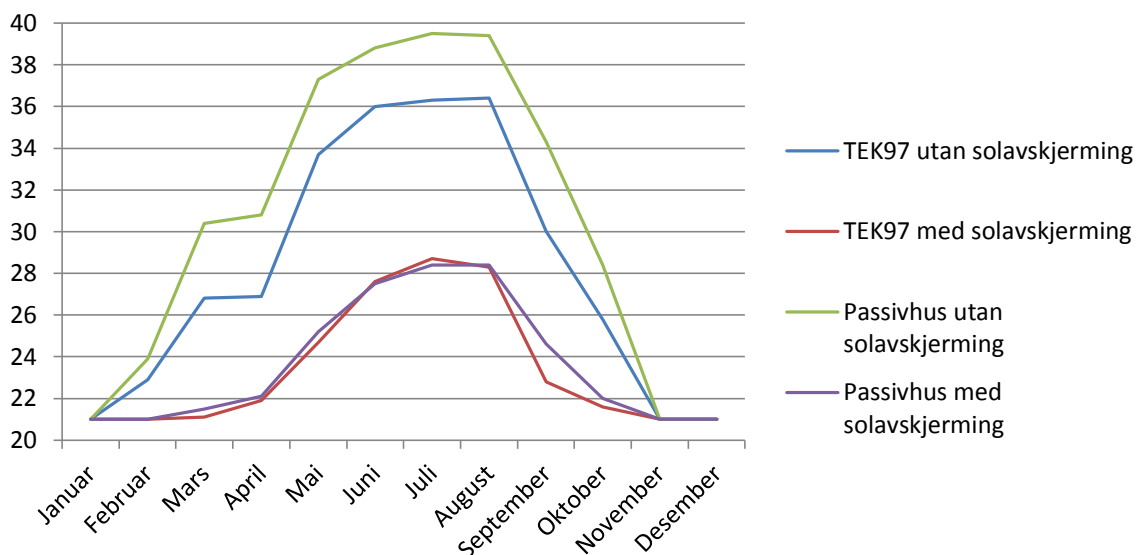


Figur 42: Resultat sone 2 etter 3- og 5dagarssimulering

3.1.10. Årssimulering

På grunn av passivhuset sin gode isolasjonsstandard vert huset fortare påverka av tilført varme enn eit TEK97-hus og det fører til at det har eit mindre behov for oppvarming. Dette er likevel ikkje nødvendigvis positivt med tanke på overvarme. Passivhuset sin evne til å halde på tilført varme fører til at det vert tidlegare varmt om våren, og seinare kaldt om hausten i passivhus. Dette kan føre til at eit eventuelt problem med overvarme vil starte tidlegare i passivhus enn i andre hus med lågare isolasjonsstandard.

For å undersøke dette er det gjennomført ei årssimulering i SIMIEN med basishuset med og utan solskjerming, der det er sett på maksimal innetemperatur i begge bygga i kvar måned. På Figur 43 kan ein sjå maksimal temperatur i sone 1 for kvar måned gjennom eit år.



Figur 43: Maks. temperatur i sone 1 for kvar måned i passivhus og TEK97-hus med og utan solskjerming

Figuren viser at dersom ein ikkje nyttar solskjerming, vil passivhuset oppleve høge temperaturar innandørs allereie i mars og desse problema kan vare ved til ut i oktober. Det viser seg at også TEK97-huset kan få temperaturar over 26 grader allereie i mars/april til ut september, men at problemet ikkje er like stort som i passivhuset. Dersom ein nyttar seg av solskjerming vil korkje TEK97-huset eller passivhuset oppleve problem med overvarme anna enn i dei tre sommarmånadane juni, juli og august. Ein kan difor slå fast at eit eventuelt problem med overvarme berre vil kome tidlegare i passivhuset i forhold til TEK97-huset dersom ein ikkje nyttar seg av solskjerming.

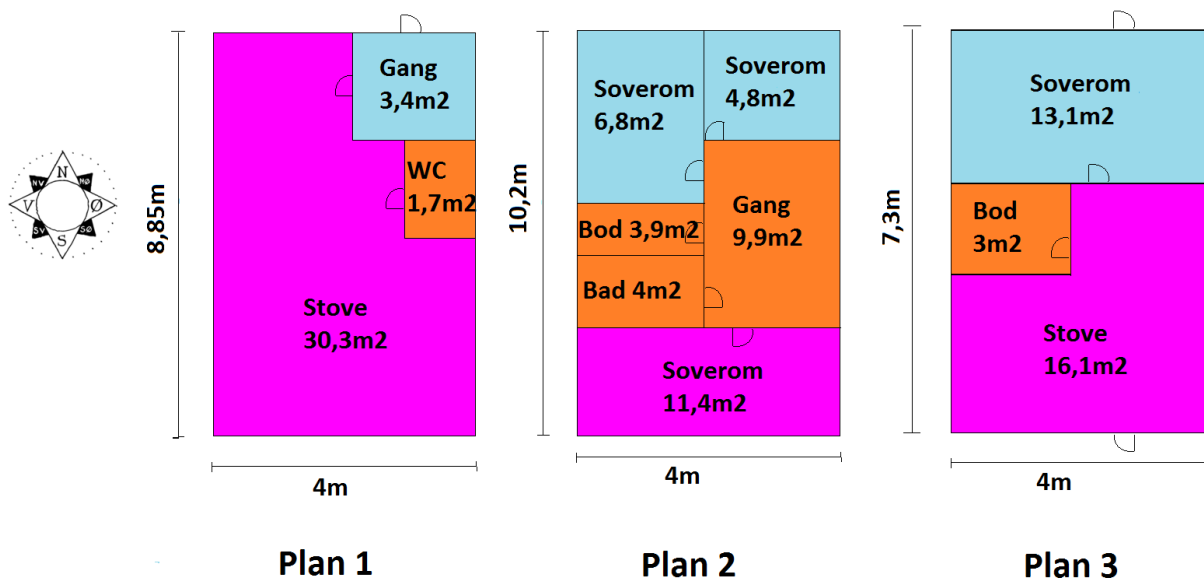
3.2. Rekkehusbustad

Dei gjennomførte simuleringane i rekkehusbustaden er:

- Basissimulering med og utan solskjerming
- Simulering med plassering i Ålesund og Bodø
- Simulering med lufting gjennom vindauge
- Simulering med frikjøling med og utan betong som termisk masse
- Simulering med rotert plassering

3.2.1. Inputparameter

Dei to simulerte rekkehusbustadane er som einebustadane like i utforming og plassering. Utforming av bustaden er henta frå prospektet til prosjektet Vålerenggata 22 (Peab Bolig AS, 2011). Bustaden er på tre etasjar med plassering i Oslo, har eit samla oppvarma golvareal på 108,4 m² og ei etasjehøgde på 2,5m. Huset er delt inn i tre soner som er vist på planteikninga i Figur 44. Sone 1, som er rosa, er vendt mot sør og har dermed høg solinnstråling medan sone 2, som er blå, er vendt mot nord med låg solinnstråling. Den siste sona består av rom utan vindauge og har dermed inga solinnstråling.



Figur 44: Planteikning rekkehusbustad

Alle vindauge vender mot sør og nord, og alle dei sørvendte har lik solskjerming som i einebustaden medan vindauge mot nord har inga solskjerming. Fordelinga av vindauge er som vist i Tabell 12.

Tabell 12: Fordeling av vindauge i rekkehusbustaden

	Areal av fasade	Areal vindauge i sone 1	Areal vindauge i sone 2	Totalt areal
Nord	30 m ²	1,5 m ²	4 m ²	5,5 m ²
Sør	30 m ²	7 m ²	-	7 m ²

Areal av vindauge og dører er på totalt 17 % av oppvarma golvareal, noko som er under grensa på 20 % som er gitt i TEK10.

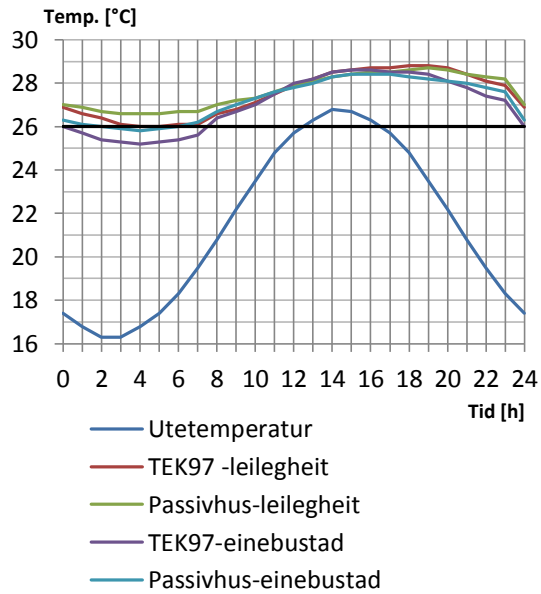
Andre inputparameterar som U-verdi, ventilasjon, termisk masse og liknande er satt til å vere det same som i einebustaden. Det er også gjennomført ei evaluering mot passivhusstandard for passivbustaden. Resultatet av denne er vist i vedlegg F.

Dei forskjellige simuleringane er gjennomførde på same måte og med same inputforandringar som i tilsvarande simulering av einebustaden.

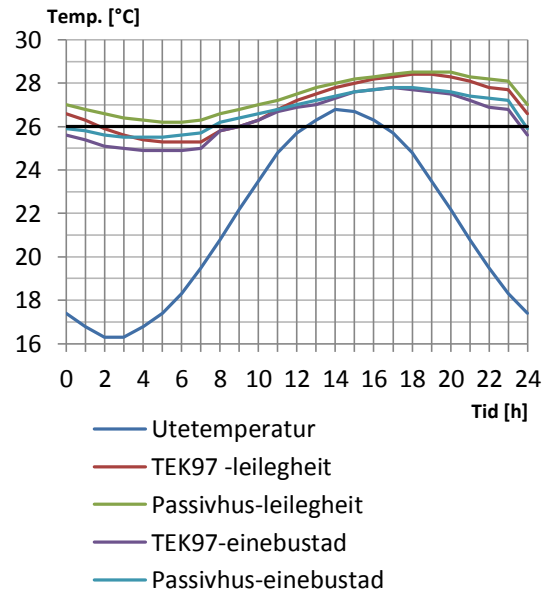
3.2.2. Basissimulering og simulering utan solskjerming

Figur 45 og Figur 46 nedanfor viser resultatet av basissimuleringa samanlikna med basissimuleringa for einebustaden. Av figurane kan ein sjå at forskjellen på overvarmeproblemet i rekkehusbustadane og einebustadane ikkje er veldig forskjellig når alle husa er utstyrt med automatisk utvendig solskjerming. Likevel kan ein sjå at rekkehusbustadane jamt over har litt høgare temperaturar, og då særleg om natta. Dette kan forklarast ved at rekkehusbustadane har eit mindre varmetap enn einebustaden. Medan einebustaden har varmetap gjennom fire vegggar har rekkehusbustaden berre varmetap gjennom to. Dette kan gjere at den ikkje klarer å kvitte seg med like mykje av overvarmen på natta.

Forskjellen på rekkehusbustaden i passivhusstandard og TEK97-standard er relativ liten, men den er størst om natta og i sone 2. Dette kan vere fordi TEK97-bustaden klarer å kvitte seg med meir varme ved luftlekkasje gjennom konstruksjonen, noko som er spesielt merkbar på natta når utetemperaturen er kjøligare. TEK97-bustaden har også eit større varmetilskot på grunn av sol sidan vindauge ikkje skjermar like godt som passivhuset sine vindauge, og dette fører til at varmen stig meir i TEK97-huset når solinnstrålinga er størst (sone 1 midt på dagen). Dermed er det ikkje like stor forskjell i innetemperaturen på dette tidspunktet.

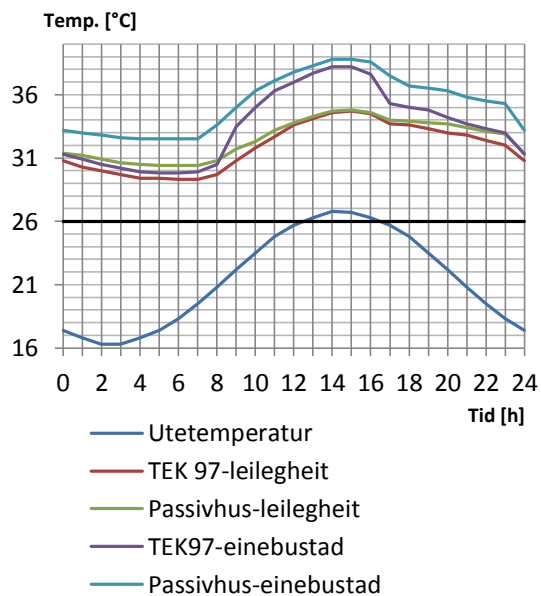


Figur 45: Resultat sone 1 med solskjerming

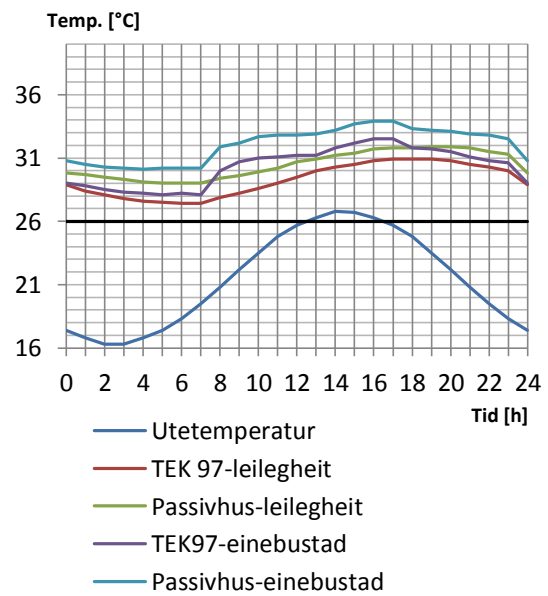


Figur 46: Resultat sone 2 med solskjerming

Resultatet frå simuleringa utan solskjerming, som er vist i Figur 47 og Figur 48, viser at det vil vere eit stort problem med overvarme i rekkehusbustadane, men at det likevel vil vere betrakteleg lågare enn for einebustaden. Dette kan forklarast ved at rekkehusbustadane berre har vindauge mot nord og sør, og dermed har den låg solinnstrålinga når sola står i aust eller vest om morgonen og kvelden.



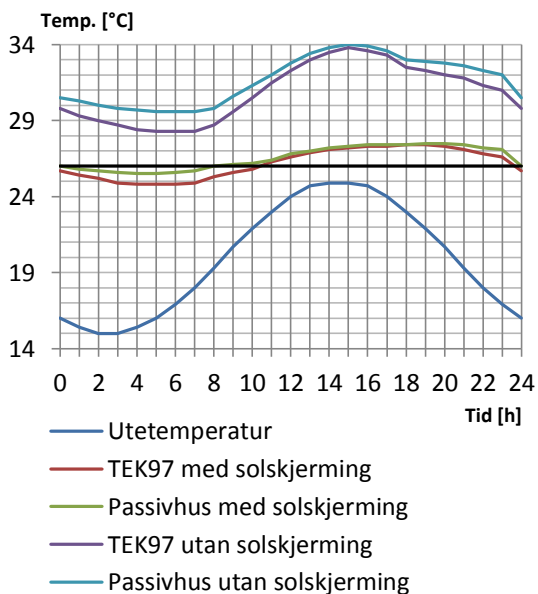
Figur 47: Resultat sone 1 utan solskjerming



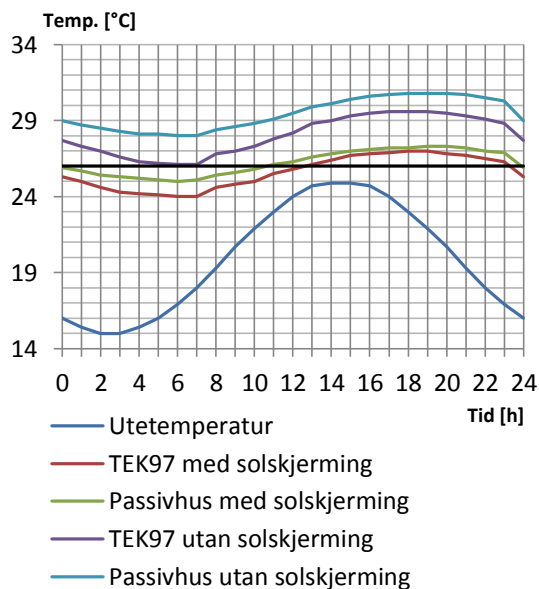
Figur 48: Resultat sone 2 utan solskjerming

3.2.3. Ålesund og Bodø

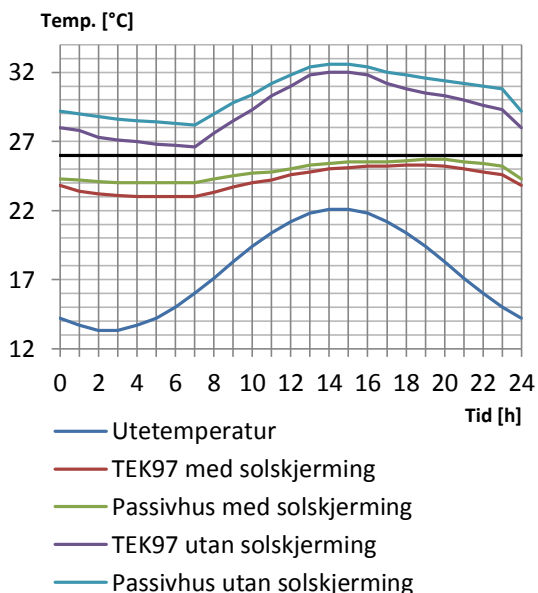
Simuleringane med plassering i Ålesund og Bodø gir dei same indikasjonane som ved simulering av einebustaden. Utan tilstrekkeleg solskjerming vert det problem med overvarme, men problemet vert redusert ved bruk av solskjerming og plassering lengre nord.



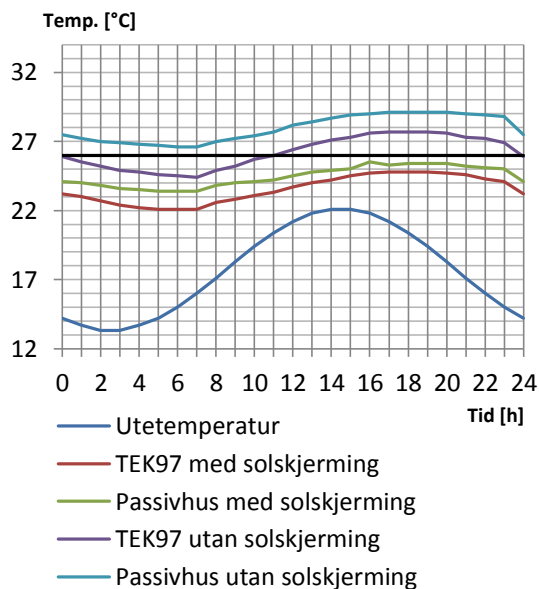
Figur 49: Resultat sone 1 med og utan solskjerming i Ålesund



Figur 50: Resultat sone 2 med og utan solskjerming i Ålesund



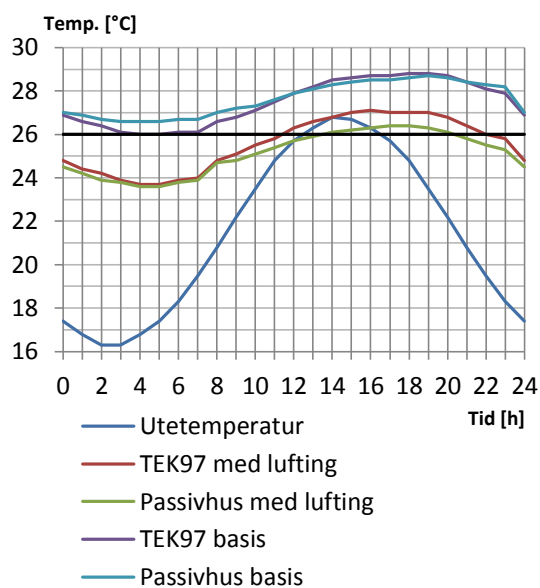
Figur 51: Resultat sone 1 med og utan solskjerming i Bodø



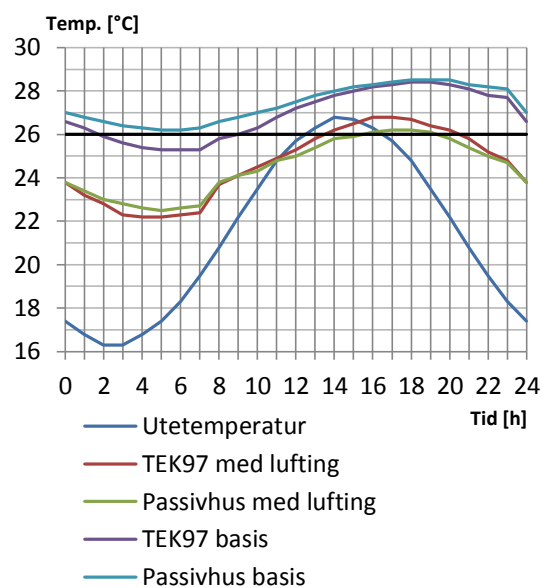
Figur 52: Resultat sone 2 med og utan solskjerming i Bodø

3.2.4. Lufting gjennom vindauge

I simuleringa med lufting gjennom vindauge er luftinga satt til å vere lik luftinga i einebustaden, med eit opningsareal på totalt $2,2 \text{ m}^2$ ($1,1 \text{ m}^2$ i sone 1 og $1,1 \text{ m}^2$ i sone 2). Resultatet frå simuleringa er vist i Figur 53 og Figur 54 der det vert samanlikna med basistilfellet (med solskjerming). Ein kan sjå at resultatet viser det same som ved simulering av einebustaden. Passivbustaden og TEK97-bustaden har lik tempertur på nattetid medan passivbustaden held seg litt kjøligare midt på dag.



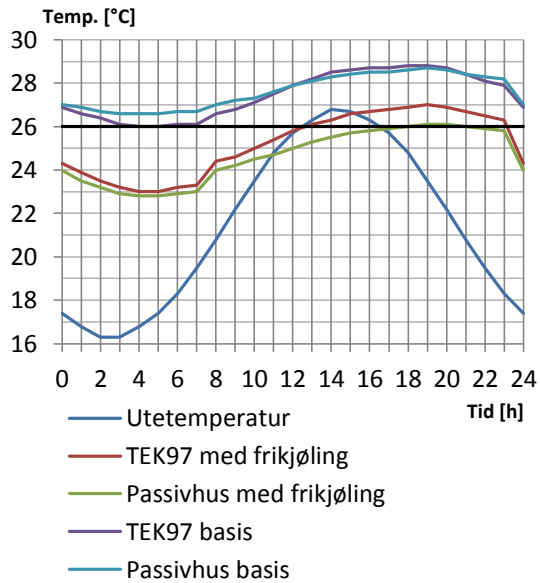
Figur 53: Resultat sone 1 med lufting



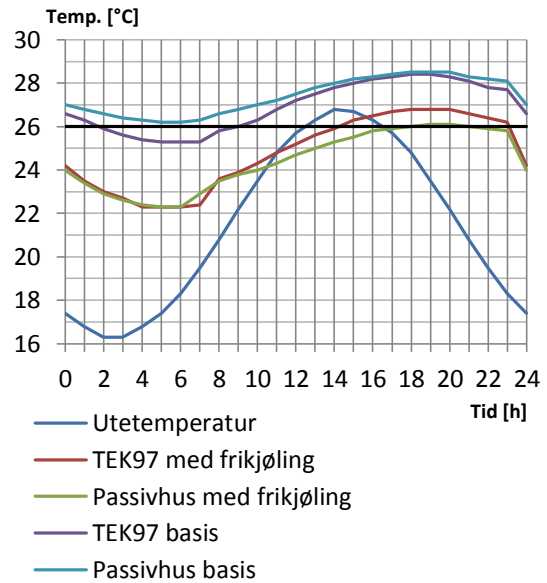
Figur 54: Resultat sone 2 med lufting

3.2.5. Frikjøling med og utan ekstra termisk masse

Resultatet frå simuleringane med frikjøling utan ekstra termisk masse viser også dei same tendensane som simuleringane av einebustaden gjorde. Forskjellen er at rekkehusbustadane har ein litt større effekt av frikjølinga enn einebustaden (jf. Figur 55 og Figur 56). Dette er naturleg sidan desse bustadane har eit lågare varmetap enn einebustaden og dermed har dei eit større varmeoverskot å kvitte seg med. Ved bruk av frikjøling i rekkehusbustadane kan ein sjå at problemet med overvarme kan forsvinne heilt i passivhuset.

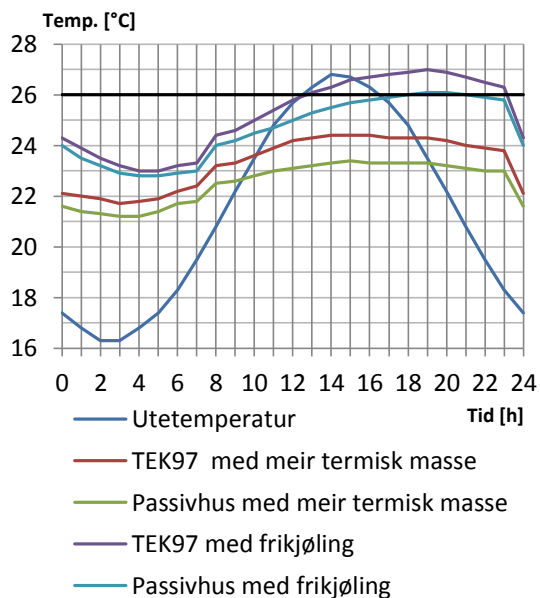


Figur 55: Resultat sone 1 med frikjøling

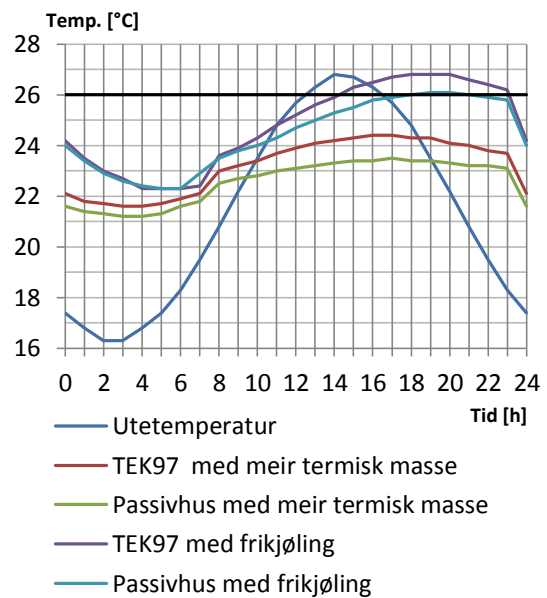


Figur 56: Resultat sone 2 med frikjøling

Ved innføring av meir termisk masse saman med frikjølinga, vil både passivbustaden og TEK97-bustaden oppnå termisk komfort over heile døgnet (jf. Figur 57 og Figur 58). Temperaturutviklinga viser at betong som termisk masse vil føre til at innetemperaturen vert redusert med 2-2,5 °C på det meste, og at effekten er størst på natta og på ettermiddagen.



Figur 57: Resultat sone 1 med frikjøling og bæresystem i betong

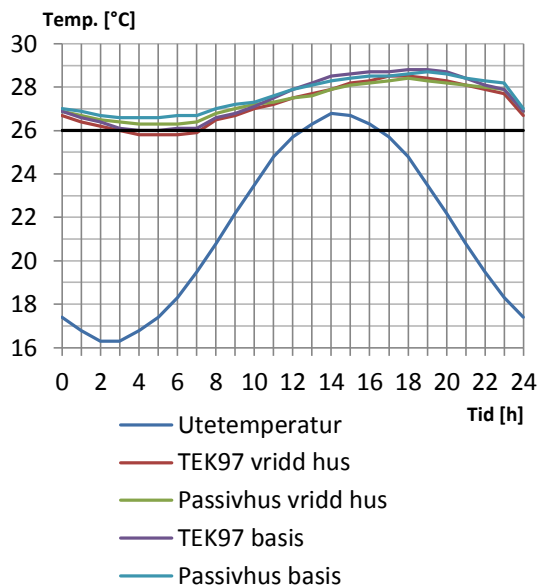


Figur 58: Resultat sone 2 med frikjøling og bæresystem i betong

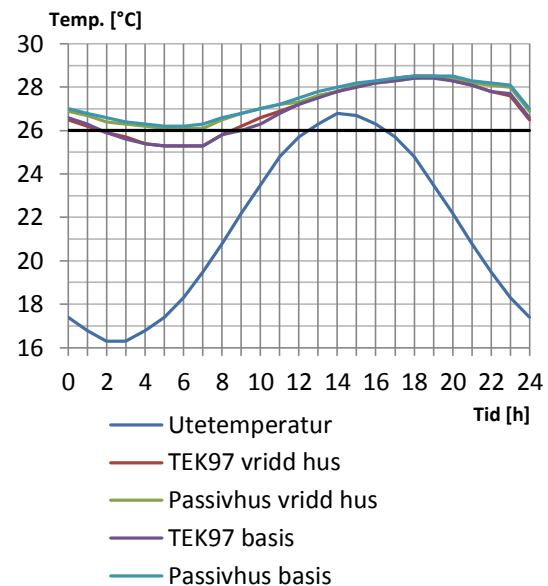
3.2.6. Rotert plassering

I ei rekkebustadar er det i dei fleste bustadane berre solinnstråling gjennom to fasadar då dei andre to grensar mot andre leilegheiter. I denne simuleringa er det difor sett på konsekvensen av å rotere rekkehuset slik at sørfasaden vender mot vest og nordfasaden mot aust. Simuleringane er gjort ved å rotere basishuset.

Ut frå Figur 59 og Figur 60 ser ein at ei rotering av huset ikkje vil utgjere store forskjellen på innetemperaturen dersom bustadane er utstyrt med utvendig automatisk solskjerming. Det vil altså ikkje vere nokon stor fordel eller ulempe om huset vert vendt. Vindauga mot vest og vindauga mot aust er utstyrt med same solskjerming som vindauga mot sør har i basissimuleringa.

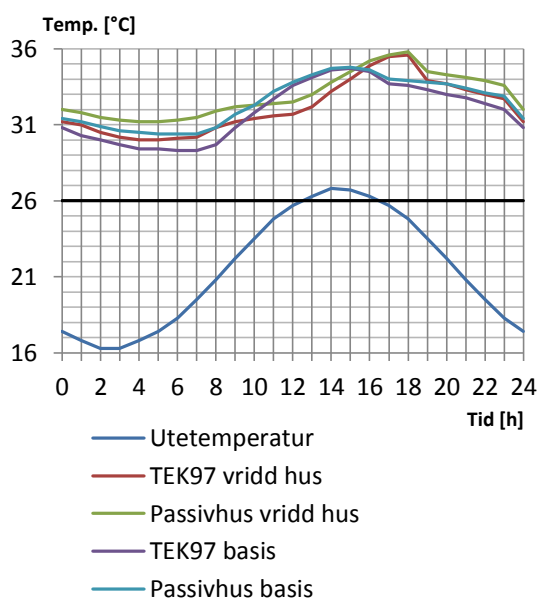


Figur 59: Resultat sone 1 med solskjerming og fasade mot aust/vest

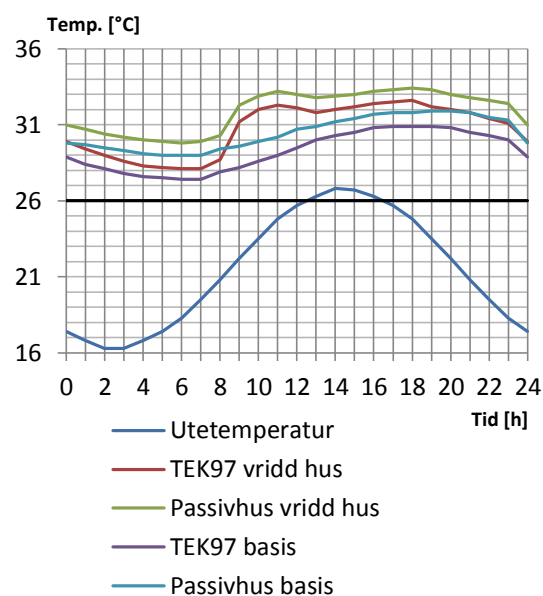


Figur 60: Resultat sone 2 med solskjerming og fasade aust/vest

Dersom ein ikkje nyttar utvendig automatisk solskjerming i leilegheitene, vil roteringa få ein større konsekvens. Ein ser av Figur 61 og Figur 62 at dette vil føre til auka temperatur på ca. 0,5-1 °C på natta. I sone 2 vil ein også få ein mykje høgare temperatur mellom kl. 09 og 12 på morgonen som kan vere over 3 °C høgare enn i leilegheitene som har vindaug mot sør og nord. I sone 1 derimot vil temperaturen vere lågare i tidsrommet 10-15 med temperaturar opptil 2 °C lågare, men temperaturane i tidsrommet 16-19 vil vere rundt 1,5 °C høgare. Grunnen til temperaturforskjellane er at solinnstrålinga i huset vil vere mykje større om morgonen og kvelden når sola står i aust og vest, medan midt på dag når sola står i sør vil solinnstrålinga vere mindre enn i basissimuleringa.



Figur 61: Resultat sone 1 utan solskjerming og fasade mot aust/vest



Figur 62: Resultat sone 2 utan solskjerming og fasade mot aust/vest

Generelt kan det vere ein fordel at rekkehuset er vendt med vindaug mot sør og nord i staden for aust og vest. På denne måten kan ein sikre ein betre innetemperatur dersom bebuarane skulle gløyme å nytte solskjerminga, overstyre den eller dersom den vert øydelagt. Orienteringa fører også til at den viktigaste perioda å bruke solskjerminga på er midt på dagen. På dette tidspunktet er bebuarane som regel på jobb eller skule og vil dermed ikkje overstyre solskjerminga. Bebuarane treng då ikkje nytte solskjerminga i like stor grad når dei er heime, og kan dermed nyte utsikta ut vindauga og sikre ei god utnytting av dagslyset.

3.3. Simulering frå Lavenergiprogrammet

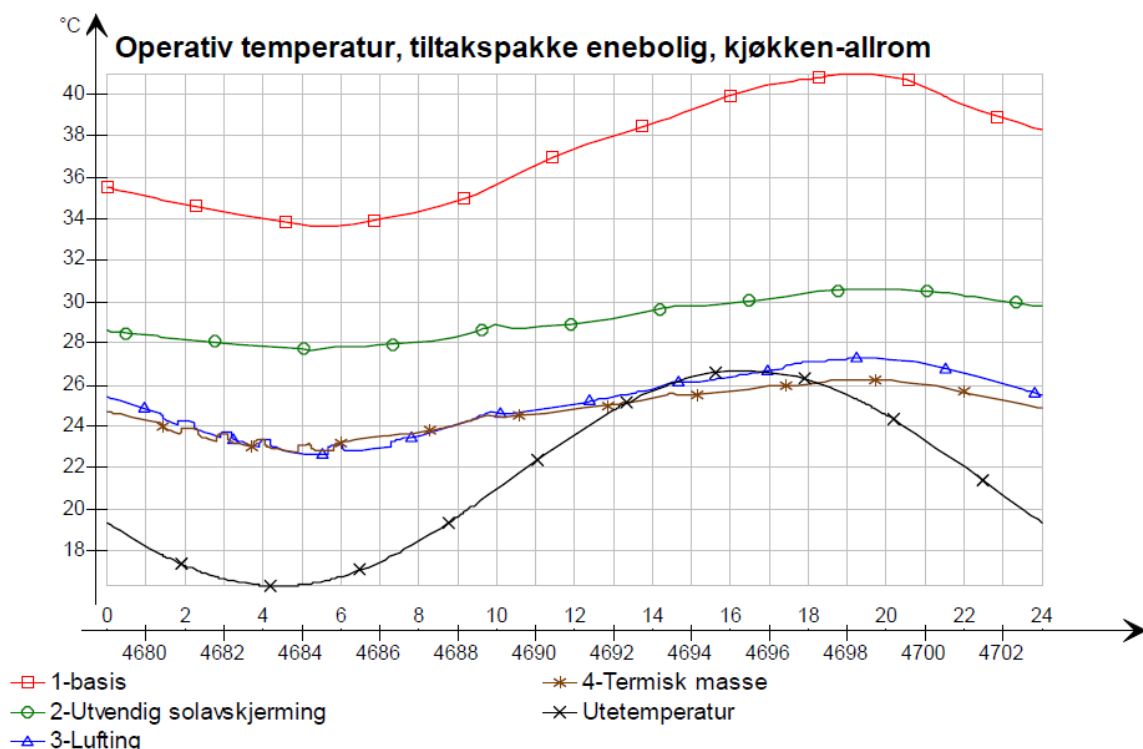
Andre simuleringar, gjennomført frå andre hald, stadefester funna som er gjort i simuleringane i denne rapporten. Til dømes har Lavenergiprogrammet utarbeida ein rettleiar for tiltak mot høge temperaturar i passivhus, der det vert gjennomført simuleringar av innetemperaturen i eit passivhus med plassering i Oslo (Bryn, et al., 2012b). Simuleringa i denne rettleiar er gjennomført ved bruk av det dynamiske simuleringsverktøyet IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy).

Huset er simulert for fire forskjellige tilfelle:

- Basissimulering utan solskjerming (1)
- Simulering med utvendig solskjerming (2)
- Simulering med utvendig solskjerming og moglegheit for lufting (3)
- Simulering med utvendig solskjerming, moglegheit for lufting og ved betonggolv (4)

Simuleringane er gjennomført for kjøkkenallrommet i huset som ligg i 2.etasje og med dimensjonerande sommardøgn for Oslo som er gjentatt tre gonga for å førestille eit sommardøgn etter ei varm periode. Berekningsvilkåra er vist i vedlegg G.

Resultatet av alle simuleringane er vist i Figur 63.



Figur 63: Tiltakspakke for einebustaden. Resultata er vist for kjøkken-allrommet

Som ein ser av figuren viser resultatet mykje det same som resultatet frå simuleringane i SIMIEN. Utvendig solskjerming vil redusere innetemperaturen betrakteleg, men vil ikkje vere

tilstrekkeleg for å unngå overvarme. Det er først når ein innfører både lufting, utvendig solskjerming og termisk masse at problemet med overvarme er vekk.

Ein kanskje lettare måte å sjå effekten av tiltaka er sjå på tal på timar den operative temperaturen er over 26 °C, 27 °C og 28 °C. Dette vart sjekka gjennom ei årssimulering, resultatet er vist i Tabell 13.

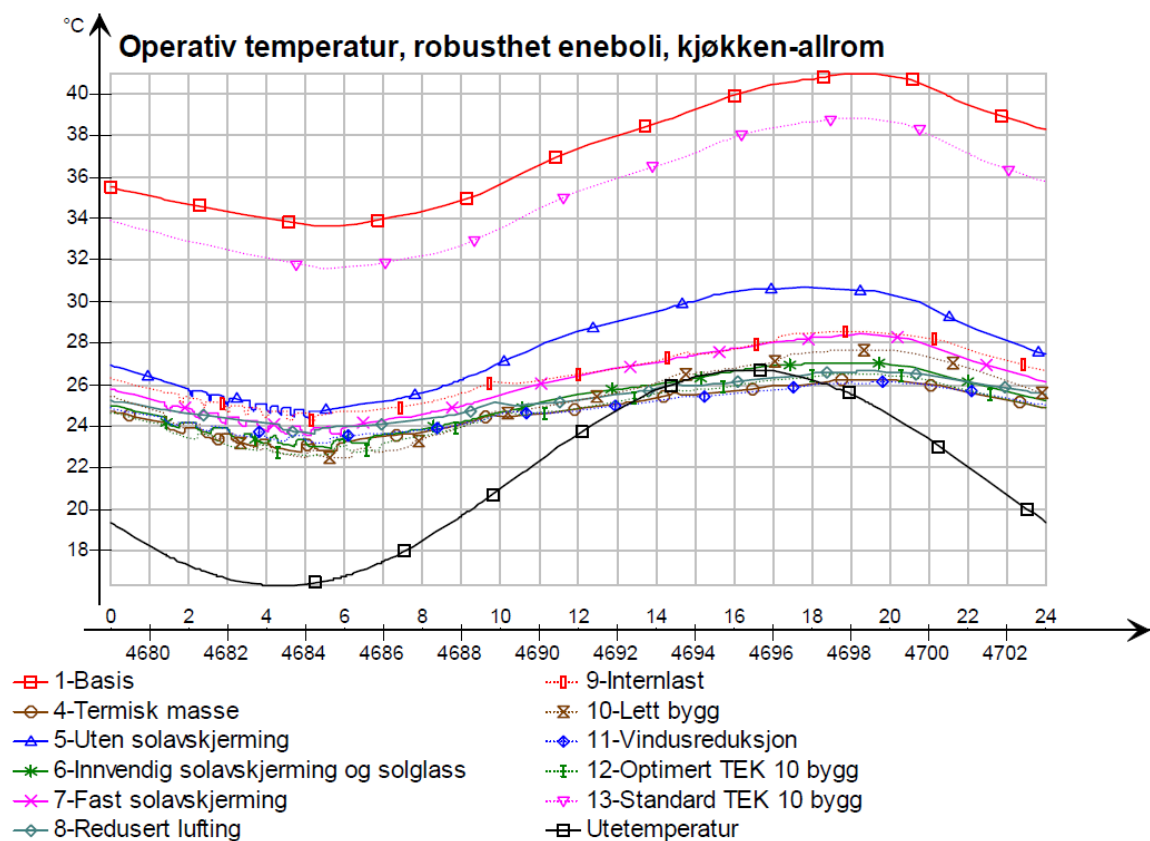
Tabell 13: Varigheit i timar for den operative temperaturen over 26 °C, 27 °C og 28 °C i løpet av eit år

	>26 grader	>27 grader	>28 grader
Basis	2617	2386	2141
Utvendig solskjerming	1552	1214	838
Lufting	99	14	3
Termisk masse	14	0	0

Vidare i undersøkinga vart det simulert med forandringar i ulike parameterar for å sjå korleis dette påverka det termiske innklimaet. I desse simuleringane vart det tatt utgangspunkt i simuleringa som var gjort av passivhuset med utvendig solskjerming, lufting og termisk masse, og dei ulike forandringane er dermed gjort på denne modellen. Dei ulike forandringane som var gjort er lista opp i Tabell 14 og resultatet frå simulering av kvar endring er vist i Figur 64.

Tabell 14: Endra parameterar

Namn	Skildring
Utan solskjerming (5)	I denne simuleringa ser ein på kva som skjer dersom brukarane overstyrar solskjerminga eller dersom den ikkje blir installert
Innvendig solskjerming (6)	Den utvendig solskjerminga vert bytta med innvendig solskjerming. G-verdien for glaset vert redusert frå 0,5 til 0,25 og solfaktoren for solskjerminga vert auka frå 0,14 til 0,65
Fast solskjerming (7)	Utvendig skjerming erstattas med fast solskjerming, dvs. eit overheng på 1 m som har same bredde som dei enkelte vindauga
Redusert lufting (8)	Opning for naturleg ventilasjon vert redusert med 50 %. Dette svarar til eit maksimalt luftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$ for bustaden som eining
Internlast (9)	Internlast frå utstyret vert auka frå 2 W/m^2 til 15 W/m^2
Lett bygg (10)	Betong i golvkonstruksjonen vert fjerna og erstattas av trebjelkar
Vindaugereduksjon (11)	Arealet av vindauga vert redusert til maksimum 20 % av golvareal i heile bustaden. Arealet blir totalt redusert med 5 m^2
Optimert TEK10 bygg (12)	Materialverdiar vert satt til dei same som i minstekrava i TEK07, $U_{\text{vegg}}=0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{tak}}=0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{golv}}=0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{vin}}=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $n_{50}=3 \text{ h}^{-1}$. I tillegg til dette går ein ut i frå ein normalisert kuldebruverdi på $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$
Standard TEK10 bygg (13)	Som basissimuleringa, men med berekningsføresetnaden for TEK07. Dette vil seie som tilfelle nr 12, men utan solskjerming, termisk masse eller moglegheit for lufting



Figur 64: Operativ temperaur for tilfella med endra parameter i tillegg til basissimuleringar og simuleringa med termisk masse, utvendig solskjerming og lufting.

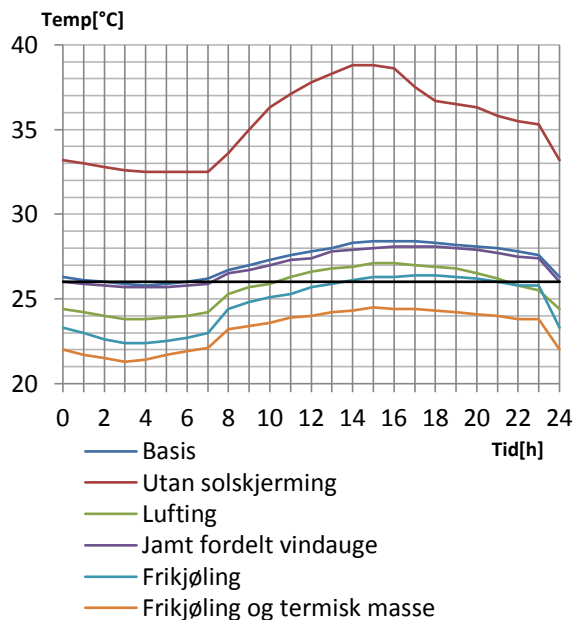
Ut frå desse simuleringane kan ein sjå at det standardiserte TEK10-huset, i likskap med passivhuset, har store problem med overvarme dersom det ikkje blir implementert tiltak for å hindre det. Dette bekreftar funna som vart gjort med TEK97-huset i simuleringane i denne rapporten, om at isolasjonsstandarden ikkje er avgjerande for om huset har problem med overvarme.

Simuleringane frå retteleiaren viser også at brukarane kan ha stor innverknad på innnetemperaturen. Dette kjem fram av simuleringa utan solskjerming (5) og simuleringa med auka internlast (9) der innnetemperaturen vert auka med høvesvis over 4 °C og over 2 °C på det meste, i forhold til det optimerte passivhuset (4).

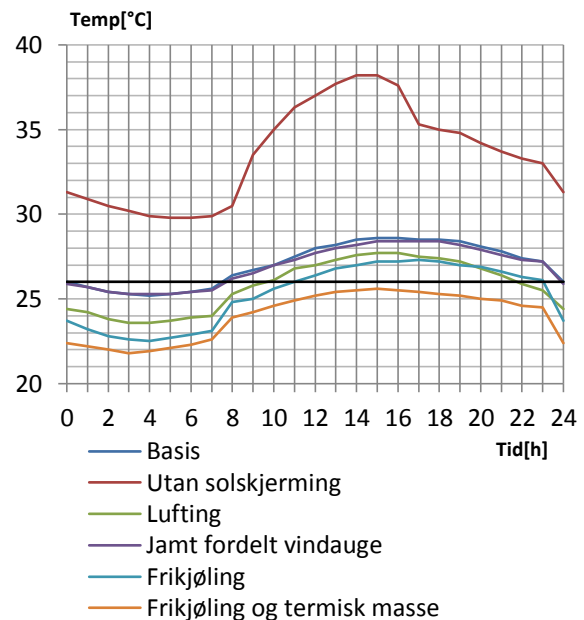
4. Oppsummering

Simuleringane som er gjennomført i SIMIEN bekreftar funna frå litteraturstudiet. Både erfaringar og simuleringar viser at passivhus vil ha store problem med overvarme dersom det ikkje vert innført tiltak for å hindre det. Likevel viser det seg at hus med lågare isolasjonsstandard vil ha om lag like store problem, der forskjellen berre er på rundt 2 °C med temperturar opp i 38-40 °C.

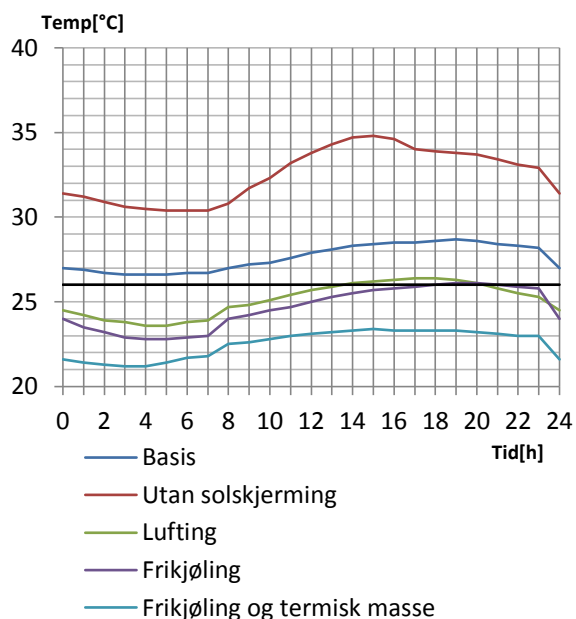
Effekten av dei forskjellige tiltaka i ein bustaden er oppsummert i Figur 65 og Figur 66, og effekten i rekkehusbustaden i Figur 67 og Figur 68. I denne oppsummeringa er det berre sett på temperaturutviklinga i sone 1 då innføring av tiltaka hadde om lag lik effekt for dei to sonene. Simuleringane med lufting, jamt fordelt vindauge, frikjøling og frikjøling og termisk masse som er tatt med i oppsummeringa, er alle simulert med utgangspunkt i basissimuleringa (altså med utvendig solskjerming).



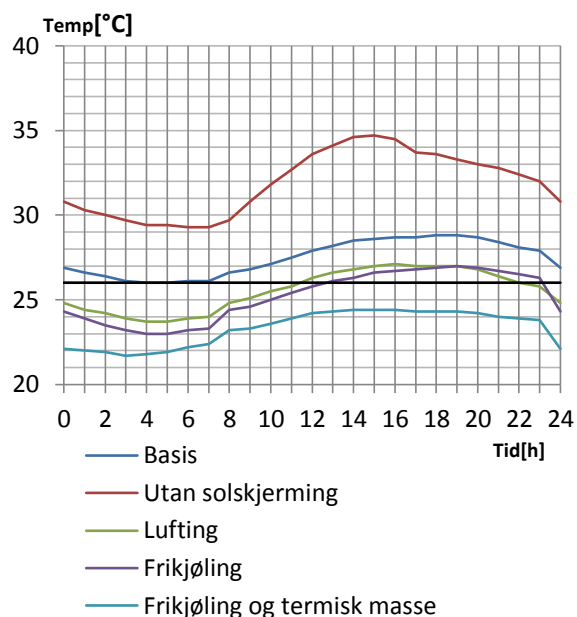
Figur 65: Temperatur utvikling i sone 1 i passivhuset



Figur 66: Temperatur utvikling i sone 1 i TEK97-huset



Figur 67: Temperaturutvikling i sone 1 i passivbustaden (i rekkehuset)



Figur 68: Temperaturutvikling i sone 1 i TEK97-bustaden (i rekkehuset)

Resultatet viser at overvarme vil vere eit stort problem i både einebustaden og rekkehusbustaden dersom det ikkje vert gjort tiltak for å hindre det, men problemet vil vere størst i einebustaden. Vidare viste det seg at utvendig solskjerming, i form av automatisk styrte persienner, vil vere eit godt tiltak for å redusere innnetemperaturen, men at det ikkje vil fjerne problemet med overvarme heilt.

Tiltaka frikjøling og lufting vil ha ei om lag like stor effekt i TEK97-huset/TEK97-bustaden, medan frikjølinga vil sikre større effekt i passivhuset/passivbustaden. I passivbustaden vil frikjøling, i tillegg til den utvendige solskjerminga, vere nok for hindre problemet med overvarme, medan det for TEK97-bustaden og begge einebustadane må innførast både frikjøling og eit bæresystem i betong før problemet med overvarme er heilt vekk.

Simuleringane viste også at problemet med overvarme vil verte mindre dess lengre nord ein kjem, og at isolasjonsstandarden i passivhus vil stengje ute varmen lengre enn eit hus med lågare isolasjonsstandard. Likevel vil tettleika også føre til at varmen som slepp inn vil verte stengt inne. Det er dermed avgjerande at passivhuset har ein måte å kvitte seg med overskotsvarmen, til dømes gjennom nattventilasjon. Dersom huset har det, kan passivhuset halde ein kjøligare innnetemperatur enn hus med lågare isolasjonsstandard i varme periodar.

5. Konklusjon

Mykje av kritikken mot passivhus er retta mot at det er eit dårleg termisk inneklima med overvarme på sommaren. Sjølv om dette kan vere sant dersom ein ikkje nyttar seg av tiltak for å hindre det, så viser det seg at isolasjonsevna ikkje er avgjerande for om det vert problem med overvarme eller ikkje. Det som viser seg å ha innverknad på det termiske inneklimaet, er utforming av klimaskjerminga og integrering av passive løysingar.

Både vanlege hus og passivhus vil i om lag like stor grad vere avhengig av tiltak for å unngå overvarme. Desse tiltaka vil vere eit kompromiss mellom energibruk, termisk komfort og dagslysbehov, og vil dermed ha innflytelse på fasaden si utforming. Arbeidet med å finne løysingar bør kome i gang tidleg i designfasa slik at ein kan få til ein integrert designprosess der arkitektar og ingeniørar samarbeider for å finne effektive løysingar. Det er også viktig å gjennomføre berekningar på inneklimaet for å sikre at løysingane vil fungere godt. Dersom tiltaka først vert gjennomført etter at huset er ferdigstilt, vil det vere vanskeleg å sikre effektive og gode løysingar, i tillegg til at det vil verte dyrare.

I dag byrjar det å verte ei innarbeidd forståing av at passivhus er avhengig av effektiv solskjerming for å ha ein tilfredsstillande termisk komfort. Sidan mange vanlege hus i Noreg ikkje nyttar utvendig solskjerming kan dette indikere at mange passivhus som vert bygd i dag har eit betre termisk inneklima enn vanlege hus. Dersom ein i tillegg innfører tiltak som sikrar at passivhuset har moglegheit for å kvitte seg med overskotsvarme gjennom naturleg ventilasjon, kan passivhus verte kvitt alle problem med overvarme.

Det er i dag få krav i teknisk forskrift for å forhindre problem med overvarme. Sidan det viser seg at det er avgjerande for både passivhus og hus med lågare isolasjonsstandard å innføre tiltak for å unngå problem med overvarme, kunne det ha vore fornuftig å stille krav til tiltak for alle nybygg for å sikre eit godt termisk inneklima. Dette vil vere spesielt viktig for passivhuset sidan tiltak som bebuarar gjennomfører for å hindre overvarme kan gå ut over effekten til huset, og dermed auke energiforbruket betrakteleg. Døme på krav som kunne vorte implementert i teknisk forskrift er krav til maksimal glasdél per rom i staden for for heile huset, moglegheit for lufting gjennom vindauge i alle rom, og tilstrekkeleg solskjerming på dei fasadane som er spesielt utsatt for solinnstråling.

6. Vidare arbeid

Sjølv om denne rapporten konkluderer med at det ikkje er større problem med overvarme i passivhus enn i hus med lågare isolasjonsstandard, er det behov for å samle inn fleire erfaringar frå ferdigstilte passivhus i norsk klima. Simuleringane som er presentert i denne rapporten er gjennomført med tenkte hus i tenkte forhold og resultatet kan dermed avvike frå korleis det vil verte i røyndomen. Det bør difor verte gjennomført studiar av fleire ferdigstilte passivhus i norsk klima over ei viss periode.

Slike studiar er no under utarbeiding. Lavenergiprogrammet har tatt initiativet og står som prosjekteigar til forskingsprogrammet EBLE (Seehusen , 2012). EBLE står for «Evaluering av boliger med lavt energibehov» og har fått ei støtte på sju millionar kroner frå Noregs forskingsråd. Målet med programmet er å verifisere robuste løysingar for passivhuset, og skal vere eit svar på all kritikken om at passivhus ikkje er godt nok utreda for konsekvensar i bruk. Sintef Byggforsk skal vere ansvarleg for det meste av forskinga og NTNU, Universitetet i Agder og ei gruppe aktørar frå byggenæringa skal vere med.

EBLE skal gjennomførast over ei periode på fire år og skal foreta systematiske undersøkingar av korleis passivhus fungerer i praksis i Noreg. Undersøkingane skal verte gjort gjennom feltstudiar i bustadar som er bygd, intervju med aktørar i byggeprosessen og seinare intervjuar med bebuarar. Dette vil vere eit godt skritt i retninga mot å utrede passivhus for bruk i norsk klima.

Bibliografi

Andresen, I., Dokka, T. H., Klinski, M. & Hahn, U., 2007. *Passive House Projects in Norway - an Overview*, Bregenz: Passive House conference .

Andresen, I. & Dokka, T. H., u.d.a. *Eksempler på passivhus*. [Internett]
Available at: http://passiv.no/eksempler_pa_passivhus
[Funnen 7. februar 2012].

Andresen, I. & Dokka, T. H., u.d.b. *Hva er et passivhus?*. [Internett]
Available at: http://passiv.no/hva_er_et_passivhus
[Funnen 15. februar 2012].

Artmann, N., Manz, H. & Heiselberg, P., 2006. *Potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in present and future climates in Europe*, Geneva: PLEA2006.

Asplan Viak KanEnergi, u.d. *Grunnvarme og energilagring*. [Internett]
Available at: <http://www.fornybar.no/sitepageview.aspx?sitePageID=1701>
[Funnen 3. juni 2012].

Astma- og allergiforbund, u.d. *Inneklima.com*. [Internett]
Available at: <http://www.inneklima.com/index.asp?context=&document=215>
[Funnen 25. april 2012].

Boligprodusentenes Forening, 2011. *Mal for gjennomføring og oppfølging av passivhusprosjekter*, s.l.: Husbanken.

Brager, G. S. & de Dear, R. J., 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, februar, pp. 83-96.

Bramslev, K., 2010. *Energieffektivisering av bygg - en ambisiøs og realistisk plan mot 2040*. [Internett]

Available at:
<http://www.tekna.no/ikbViewer/Content/809910/%28%29%20Energieffektivisering%20av%20bygg%20-%20en%20ambisi%F8s%20og%20realistisk%20plan%20mot%202040.pdf>
[Funnen 3. juni 2012].

Bryn, I. H., Petersen, A. J. & Karlsen, L. R., 2012a. *Tiltak mot høye temperaturer i passivhus. Del II - Litteraturstudie, forslag til regelverk og standarder samt videre arbeider*, s.l.: Erichsen & Horgen A/S.

Bryn, I. H., Petersen, A. J., Karlsen, L. R. & Gredsø, S., 2012b. *Tiltak mot høye temperaturer i passivhus. Del I - Teori, erfaringer, anbefalinger og case-studier*, s.l.: Erichsen & Horgen A/S.

CEN, 2007. *EN 15242: Ventilation for buildings - Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration*, Brussel: European Committee for Standardization.

Denizou, K. et al., 2011. *User evaluations of energy efficient buildings*, Oslo: SINTEF Academic Press.

Dokka, T. H. & Hermstad, K., 2006. *Energieffektive boliger for fremtiden*, Trondheim: SINTEF Byggforsk.

Dokka, T. H. & Holøs, S., 2011. *Innklima og sommerkomfort i passivhus*. Oslo: s.n.

Fanger, O. P. & Toftum, J., 2002. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, Issue 6 juli, pp. 533-536.

Flexit, u.d. *Balansert ventilasjon*. [Internett]

Available at: <http://www.flexit.no/Produkter/Balansert-ventilasjon/>

[Funnen 25. mai 2012].

Hareide AS, u.d. *Markiser*. [Internett]

Available at: <http://www.hareide-as.no/markiser.html>

[Funnen 5. juni 2012].

Høseggen, R., Mathisen, H. M. & Hanssen, S. O., 2009. *The effect of suspended ceilings on energy performance and thermal comfort*, Trondheim: NTNU.

Janson, U., 2010. *Passive houses in Sweden - From design to evaluation of four demonstration projects*, Lund: Lund University.

Kjells markiser, u.d. *Kjells markiser*. [Internett]

Available at: <http://www.kjellsmarkiser.no/c-25-Persienner.aspx>

[Funnen 24. mai 2012].

Kristiansen, S. J., 2011. *Stadig flere huseiere velger screens*. [Internett]

Available at: <http://www.klikk.no/bonytt/vedlikehold/article686616.ece>

[Funnen 22. februar 2012].

KRS Gruppen AS, u.d. *Renson*. [Internett]

Available at: <http://www.krsgruppen.no/renson-losninger-og-muligheter>

[Funnen 22. februar 2012].

Larsen, T. S., 2011. *Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri - med henblik på forbedringer i fremtidens lavenergibyggeri*, Aalborg: Aalborg Universitet.

Larsen, T. S. & Brunsgaard, C., 2010. *Komforthusene - udvikling af passivhuskonceptet i en dansk kontekst*, Aalborg: Passivhus nordens.

Marton, I., 2008. *Hybrid ventilasjon*. [Internett]

Available at:

<http://www.byggemiljo.no/category.php/category/Hybrid%20ventilasjon/?categoryID=308>

[Funnen 25. mai 2012].

Mysen, M., Polak, K. & Valasjø, F., 2000. *Energieffektiv viftedrift. Prosjekteringsveiledning*, Oslo: Statsbygg.

Norsk vinduskompani, u.d. *Energiglass*. [Internett]

Available at: <http://norskvinduskompani.no/?id=1293>

[Funnen 24. mai 2012].

Norske arkitekters landsforbund, 2011. *Løvåshagen - flerbolighus med universell utforming og passivhus-/lavenergistandard*. [Internett]

Available at: <http://www.arkitektur.no/?nid=166292&lcid=1044>

[Funnen 23. mai 2012].

Norsol, u.d. *Produktark - screen*. [Internett]

Available at: <http://www.norsol.no/Modules/Page/viewPage.asp?modid=7273&level=7273>

[Funnen 22. februar 2012].

Novakovic, V. et al., 2007. *ENØK i bygninger. Effektiv energibruk*. Oslo: NTNU, SINTEF.

Peab Bolig AS, 2011. *Prospekt Vålerenggata 22*. [Internett]

Available at: http://www.valerenggata22.no/files/0.8150503274713631_Prospekt.pdf

[Funnen 19. mai 2012].

ProgramByggerne, 2010. *SIMIEN*. [Internett]

Available at: <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/bruk>

[Funnen 30. mai 2012].

Seehusen, J., 2012. *Hvor gode er egentlig passivhusene?*. [Internett]

Available at: <http://www.tu.no/bygg/2012/02/08/hvor-gode-er-egentlig-passivhusene>

[Funnen 22. mai 2012].

Seppänen, O., Fisk, W. J. & Lei, Q. H., 2006. *Room Temperature and Productivity in Office Work*, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Sikander, E., Ruud, S., Fyhr, K. & Svensson, O., 2011. *Erfarenhetsåterføring från de första passivhusen - innemiljö, beständighet och brukarvänlighet*, Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

SIMIEN, 2012. *Dataprogrammet SIMIEN*. s.l.:Programbyggerne.

SINTEF Byggforsk, 2009. *Prosjekt: Passiv klimatisering*. [Internett]
Available at: <http://www.sintef.no/Byggforsk/Bygninger/Energi/PROSJEKT-Passiv-klimatisering/>
[Funnen 16. april 2012].

Standard Norge, 2010. *NS 3700:2010 Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger*. s.l.:Standard Norge.

Standard Norge, 2011. *NS 3031:2007+A1:2011 Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*. s.l.:Standard Norge.

Statens bygningstekniske etat, 1997. *REN veiledning i teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997*, Oslo: Statens bygningstekniske etat.

Statens Bygningstekniske etat, 2011. *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. [Internett]
Available at: <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/>
[Funnen 3. desember 2011].

TEK10, 2010. *Byggteknisk forskrift per 01.04.2012*. [Internett]
Available at: www.lovdatabank.no
[Funnen 27. april 2012].

TEK97, 1997. *Forskrift om krav til byggverk - TEK. FOR-1997-01-22*. [Internett]
Available at: <http://oppslagsverket.dsb.no/content/arkiv/plan-bygg/forskrift-om-krav-til-byggverk/>
[Funnen 18. februar 2012].

Uvsløkk, S., 2001. *Byggdetaljer 571.954 Isolerruter: Lys- og varmetekniske egenskaper*, Oslo: SINTEF Byggforsk Kunnskapssenter.

Zeta Invest A/S, Middelfart Sparekasse, Ilover, 2008. *Komforthusene*. [Internett]
Available at: <http://komforthusene.dk/de+10+huse/stenagerv%C3%A6nget+43>
[Funnen 2. mai 2011].

Vedlegg

Vedlegg A – Oppgåvetekst

Vedlegg B – Inputverdiar til simuleringa

Vedlegg C – Evaluering av einebustaden mot passivhusstandarden

Vedlegg D – Varmetilskot i einebustaden i basissimuleringa

Vedlegg E – Temperaturutvikling i einebustaden med frikjøling med og utan termisk masse

Vedlegg F – Evalueringa av rekkehusleilegheita mot passivhusstandard

Vedlegg G – Bakgrunnsdata for simuleringane utført av Lavenergiprogrammet

MASTEROPPGÅVE

(TBA4905 Bygnings- og materialteknikk)

VÅREN 2012

for

Siri B. Solheim

Overoppvarming i passivhus samanlikna med hus med lågare isolasjonsstandard

BAKGRUNN

I marknaden for nye hus er det både frå produsentsida og brukarsida kome ytringar om at den gode isoleringa lufttettinga vil føre til overoppvarming i sommarhalvåret. Dette er det ikkje mykje grunnlag for å bekrefte eller avvise då det i Noreg er få passivhus i drift og endå færre som har vore brukte i nokre år. For å få meir innsikt i dette før den store bygginga av passivhus tek til, vil datasimulering av sommartilhøve vere ein effektiv og billig måte å unngå eller påvise at påstanden i marknaden er rett.

OPPGÅVE

Arbeidet skal gjennomførast i to deler.

Det skal gjennomførast eit litteraturstudium som grunnlag for datasimulering.

Programmet SIMIEN skal brukast til å simulere sommartilhøve i einbustader med varierende isolasjonsstandard og lufttettheit. Vindusareal, orientering, geografisk plassering, solavskjerming og termisk masse skal varierast i samsvar med det som er/var gjeldande status for dette ved innføring av nye versjonar av byggeforskriftene.

Målsetjing og føremål

Skaffe eit grunnlag for å vurdere om det er vesentleg større fare for overoppvarming i passivhus enn i andre einbustader i Norge.

GENERELT

Oppgåveteksten er meint som ei ramme for kandidatens arbeid. Justeringar vil kunne skje undervegs, når ein ser korleis arbeidet går. Eventuelle justeringar må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved vurderinga vet det lagt vekt på grundigheit i arbeidet og sjølvstendigheit i vurderingar og konklusjonar, samt at framstillinga er velredigert, klår, eintydig og ryddig utan å vere unødig voluminøs.

Det innleverte arbeidet skal innehalde:

- standard rapportframside (automatisk frå DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finn ein på sida <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- forord
- samandrag på norsk og engelsk (studentar som skriv masteroppgåve på eit ikkje-skandinavisk språk og som ikkje handterer eit skandinavisk språk, treng ikkje skrive samandrag av masteroppgåva på norsk)
- innhaldsliste med oversikt over figurar, tabellar og vedlegg
- om nødvendig ei liste med definisjon av viktige omgrep og forkortingar som er brukte i hovudteksten
- referansar til kjeldemateriale som ikkje er av generell karakter, dette gjelder også for munnleg informasjon og opplysningar.
- oppgåveteksten (denne teksten signert av faglærer) som Vedlegg 1.
- arbeidet skal ha komplett paginering (sidenummerering).

Arbeidet kan evt. utformast som ein vitenskapleg artikkel. Arbeidet skal då leverast også med rapportframside og tittelside og om naudsynleg med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Sjå elles «Råd og retningslinjer for rapportskriving ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finst på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Kva skal innleverast?

Rutinar knytt til innlevering av masteroppgåva er nærare forklart på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgåva skal tingast via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgåva til instituttkontoret 2-4 dagar seinare. Instituttet betalar for 3 eksemplar, der instituttet skal ha 2 eksemplar. Ekstra eksemplar må kostast av kandidaten/ ekstern samarbeidspartnar.

Ved innlevering av oppgåva skal kandidaten levere ein CD med arbeidet i digital form i pdf- og word-versjon med underliggjande materiale (til dømes innsamla data) i digital form (t.d. excel-filer). Vidare skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (frå DAIM) der både Ark-Bibl i SB I og Fellestenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med dei aktuelle signaturane skal underskrivast av instituttkontoret før skjemaet vert levert til Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samla inn under arbeidet med oppgåva, skal leverast inn saman med oppgåva.

Arbeidet er etter gjeldande reglement NTNU sin eigedom. Eventuell bruk av materialet kan berre skje etter godkjenning frå NTNU (og ekstern samarbeidspartnar der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatata av arbeidet til undervisnings- og forskingsformål som om det var utført av

ein tilsett. Ved bruk ut over dette, som utgjeving og annen økonomisk bruk, må det inngåast særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtalar om ekstern rettleiing, gjennomføring utanfor NTNU, økonomisk stønad m.m. gjer ein greie for her når dette er aktuelt. Sjå <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerheit (HMS):

NTNU legg stor vekt på tryggleiken til den enkelte arbeidstakar og student. Tryggleiken til den enkelte skal kome i første rekke og ingen skal ta unødige sjansar for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgåva få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgåva skal delta i feltarbeid, tokt, synfaring, feltkurs eller ekskursjonar, skal studenten setje seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m." Dersom studenten i arbeidet med oppgåva skal delta i laboratorie- eller verkstadarbeid skal studenten setje seg inn i og følgje reglane i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumenta finn ein på fakultetet sine HMS-sider på nettet, sjå <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studentar har ikkje full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom ein student ønskjer same forsikringsdekning som tilsette ved universitetet, vert det tilrådd at han/ho teiknar reiseforsikring og personskadeforsikring. Meir om forsikringsordningar for studentar finn ein under same lenke som ovanfor.

Innleveringsfrist:

Arbeidet med oppgåva startar 16. januar 2012.

Arbeidet skal leverast seinast ved registrering i DAIM innan 11. juni 2012 kl 1500.

Faglærer ved instituttet: NN

Rettleiar (eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartnar: MM

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 19.01.2012

Underskrift



Faglærer

Vedlegg B

Inputverdier til simuleringa

Passivhus

Tabell 1: Inputverdier til passivhuset

Kva	Verdi	Kjelde
Kuldebru	0,03 W/m ² K	TEK10
Lekkasjetall	0,60 W/m ² K	Dokka og Holøs
U-verdi vegg	0,09 W/m ² K	Dokka og Holøs
U-verdi tak	0,08 W/m ² K	Dokka og Holøs
U-verdi golv	0,08 W/m ² K	Dokka og Holøs
U-verdi vindauge	0,5 W/m ² K	Antatt
U-verdi dører	0,70 W/m ² K	Dokka og Holøs
SFP-faktor	1,00 kW/m ³ /s	Antatt
Verkingsgrad varmegjenvinnar	0,90	Antatt
Takhelling	Flatt	Antatt
Driftsstrategi oppvarming	Frå kl. 07.00 til kl. 23.00	Antatt
Internlast		
Belysning	1,95 W/m ²	NS 3031:2007+A1:2011
Teknisk utstyr	1,81 W/m ²	NS 3031:2007+A1:2011
Varmetilskot personar	1,5 W/m ²	NS 3031:2007+A1:2011

TEK97-hus

Tabell 2: Inputverdier til TEK97-huset

Kva	Verdi	Kjelde
Kuldebru	0 (inkludert i U-verdi)	TEK 97
U-verdi vegg	0,22	TEK 97
U-verdi tak	0,15	TEK 97
U-verdi golv	0,15	TEK 97
U-verdi vindauge og dører	1,6	TEK 97
Lekkasjetal	4	VTEK 97
SFP-faktor	2,5 kW/m ³ /s	Antatt (ingen krav i TEK 97)
Verkingsgrad varmegjenvinnar	0,60	VTEK 97 3. utgåve
Internlast		
Belysning	3 W/m ²	NS 3031, 4. utgåve (1987)
Teknisk utstyr	2,7 W/m ²	NS 3031, 4. utgåve (1987)
Varmetilskot personar	1,5 W/m ²	NS 3031, 4. utgåve (1987)



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
 Tid/dato simulering: 11:53 6/6-2012
 Programversjon: 5.000
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\passivhus med solskjerming.smi
 Prosjekt: Småhus
 Sone: Alle soner

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot passivhusstandarden	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller krav til energibruk
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3700 (tabell A.1)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller alle krav til passivhus

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,09
Varmetapstall tak	0,04
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,03
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,12
Varmetapstall kuldebroer	0,03
Varmetapstall infiltrasjon	0,03
Varmetapstall ventilasjon	0,04
Totalt varmetapstall	0,39
Krav varmetapstall	0,55

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	18,0 kWh/m ²	20,0 kWh/m ²
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m ²	0,0 kWh/m ²
Energibruk el./fossile energibærere	41,0 kWh/m ²	65,6 kWh/m ²



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
 Tid/dato simulering: 11:53 6/6-2012
 Programversjon: 5.000
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\passivhus med solskjerming.smi
 Prosjekt: Småhus
 Sone: Alle soner

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,09	0,15
U-verdi tak [W/m ² K]	0,08	0,15
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,07	0,13
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,62	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,03	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	90	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,00	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	2738 kWh	17,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	144 kWh	0,9 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	4765 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	467 kWh	2,9 kWh/m ²
3b Pumper	136 kWh	0,9 kWh/m ²
4 Belysning	1822 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	2803 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	12876 kWh	80,5 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte elektrisitet	3660 kWh	22,9 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystemer	2561 kWh	16,0 kWh/m ²
1c El. til solenergisystemer	337 kWh	2,1 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	644 kWh	4,0 kWh/m ²
6. Annen energivare (Pelletsovn)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	7202 kWh	45,0 kWh/m ²



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
 Tid/dato simulering: 11:53 6/6-2012
 Programversjon: 5.000
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\passivhus med solskjerming.smi
 Prosjekt: Småhus
 Sone: Alle soner

Referanseinformasjon beregning	
Evaluering mot passivhusstandarden	Beskrivelse
Beregning	Utført etter NS 3700:2010 med validert dynamisk timesberegning etter reglene i NS 3031
Kommune, gårds- og bruksnummer	
Konstruksjon og plassering	
Tekniske installasjoner	
Soneinndeling	
Arealvurdering	

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	163	
Areal tak [m ²]:	80	
Areal gulv [m ²]:	80	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	32	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	160	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	400	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,09	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,08	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,07	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,62	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	19,8	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	48	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	90	



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
 Tid/dato simulering: 11:53 6/6-2012
 Programversjon: 5.000
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\passivhus med solskjerming.smi
 Prosjekt: Småhus
 Sone: Alle soner

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert temperaturvirk. varmegjenvinner justert for frostsikring [%]:	90,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1,2	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1,2	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	2,37	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	2,0	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	2,0	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	4,0	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1,8	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3,4	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,0	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,5	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,11	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,71	



SIMIEN

Evaluering passivhus

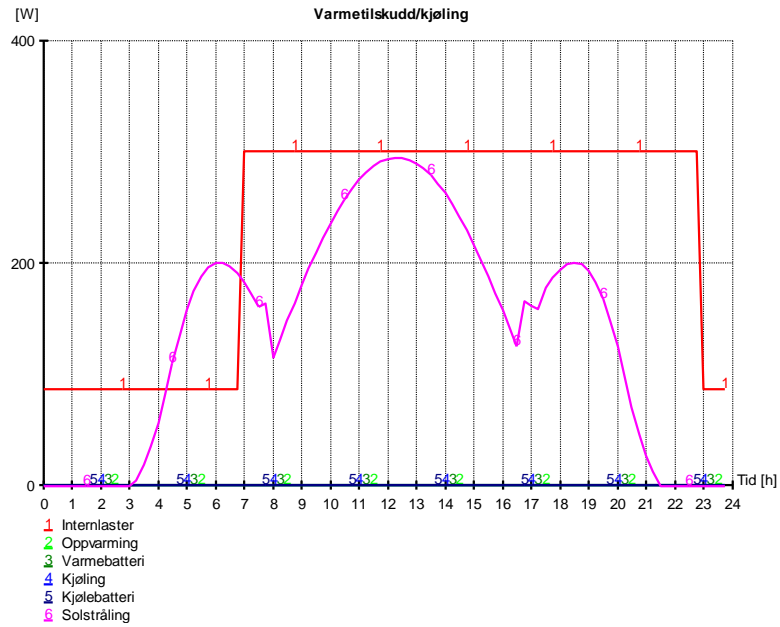
Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
Tid/dato simulering: 11:53 6/6-2012
Programversjon: 5.000
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\passivhus med solskjerming.smi
Prosjekt: Småhus
Sone: Alle soner

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Småhus
Simuleringsansvarlig	
Kommentar	

Vedlegg D

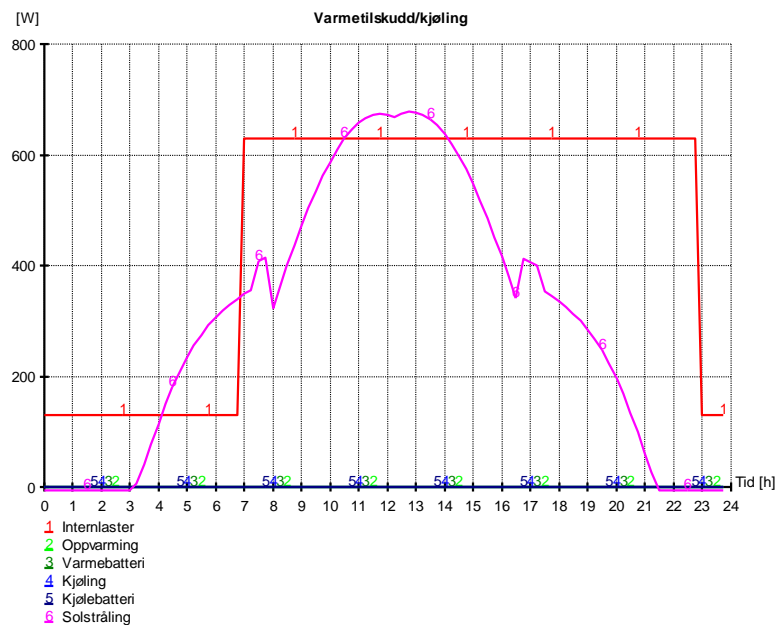
Varmetilskot i einebustaden i basissimuleringa

Passivhus



Figur 1: Varmetilskot i passivhuset i sone 1

TEK97-hus

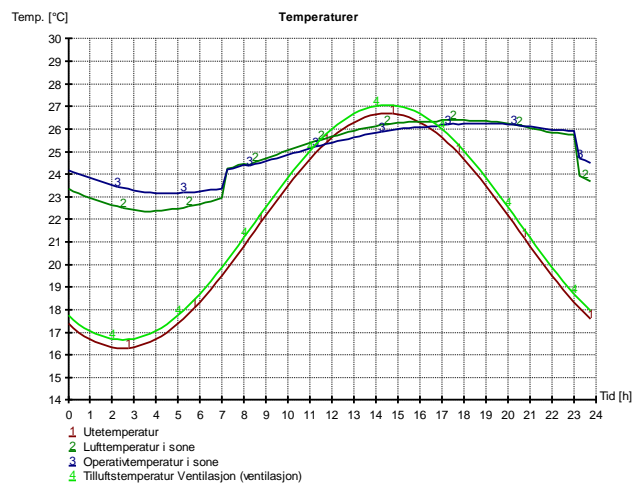


Figur 2: Varmetilskot i TEK97-huset i sone 1

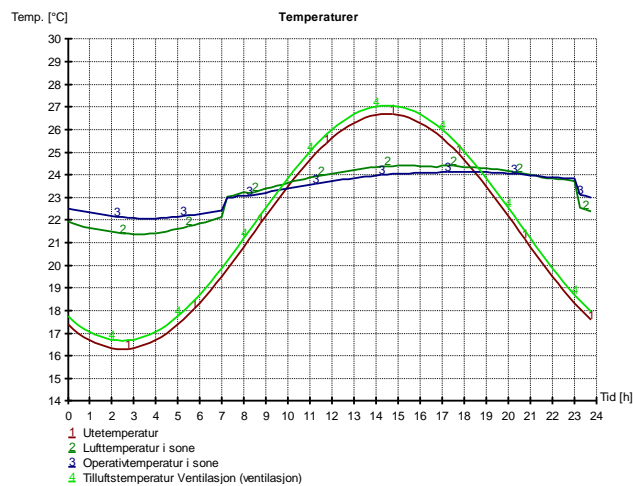
Vedlegg E

Temperaturutvikling i husa med frikjøling med og utan termisk masse

Passivhus

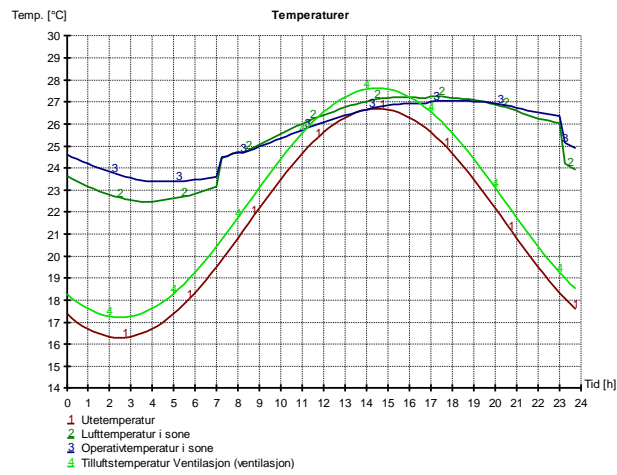


Figur 1: Temperaturutvikling i passivhuset med frikjøling i sone 1

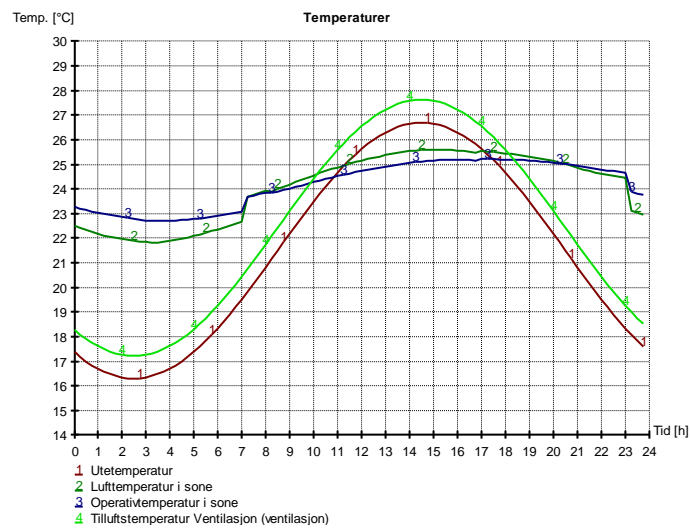


Figur 2: Temperaturutvikling i passivhuset med frikjøling og termisk masse i sone 1

TEK97-hus



Figur 3: Temperaturutvikling i TEK97-huset med frikjøling i sone 1



Figur 4: Temperaturutvikling i TEK97-huset med frikjøling og termisk masse i sone 1



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
 Tid/dato simulering: 11:56 6/6-2012
 Programversjon: 5.000
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\passivrekkehus med solskjerming.smi
 Prosjekt: Rekkehus
 Sone: Alle soner

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot passivhusstandarden	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller krav til energibruk
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3700 (tabell A.1)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller alle krav til passivhus

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,03
Varmetapstall tak	0,03
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,02
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,12
Varmetapstall kuldebroer	0,03
Varmetapstall infiltrasjon	0,03
Varmetapstall ventilasjon	0,04
Totalt varmetapstall	0,32
Krav varmetapstall	0,55

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	11,7 kWh/m ²	22,8 kWh/m ²
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m ²	0,0 kWh/m ²
Energibruk el./fossile energibærere	39,0 kWh/m ²	59,4 kWh/m ²



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
 Tid/data simulering: 11:56 6/6-2012
 Programversjon: 5.000
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\passivrekkehus med solskjerming.smi
 Prosjekt: Rekkehus
 Sone: Alle soner

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,09	0,15
U-verdi tak [W/m ² K]	0,08	0,15
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,06	0,13
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,66	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,03	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	90	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,00	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	1197 kWh	11,0 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	68 kWh	0,6 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	3228 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	317 kWh	2,9 kWh/m ²
3b Pumper	113 kWh	1,0 kWh/m ²
4 Belysning	1235 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	1899 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	8058 kWh	74,3 kWh/m ²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte elektrisitet	2495 kWh	23,0 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystemer	1513 kWh	14,0 kWh/m ²
1c El. til solenergisystemer	222 kWh	2,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	282 kWh	2,6 kWh/m ²
6. Annen energivare (Pelletsovn)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	4511 kWh	41,6 kWh/m ²



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
 Tid/dato simulering: 11:56 6/6-2012
 Programversjon: 5.000
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\passivrekkehus med solskjerming.smi
 Prosjekt: Rekkehus
 Sone: Alle soner

Referanseinformasjon beregning	
Evaluering mot passivhusstandarden	Beskrivelse
Beregning	Utført etter NS 3700:2010 med validert dynamisk timesberegning etter reglene i NS 3031
Kommune, gårds- og bruksnummer	
Konstruksjon og plassering	
Tekniske installasjoner	
Soneinndeling	
Arealvurdering	

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	40	
Areal tak [m ²]:	44	
Areal gulv [m ²]:	41	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	21	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	108	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	271	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,09	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,08	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,06	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,66	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	18,9	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	38	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	90	



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
 Tid/dato simulering: 11:56 6/6-2012
 Programversjon: 5.000
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: C:\...\passivrekkehus med solskjerming.smi
 Prosjekt: Rekkehus
 Sone: Alle soner

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert temperaturvirk. varmegjenvinner justert for frostsikring [%]:	90,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1,2	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1,2	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	2,45	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	2,0	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	2,0	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	4,0	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1,8	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3,4	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,0	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,5	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,20	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,74	



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering
Tid/dato simulering: 11:56 6/6-2012
Programversjon: 5.000
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\passivrekkehus med solskjerming.smi
Prosjekt: Rekkehus
Sone: Alle soner

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Boligblokker
Simuleringsansvarlig	
Kommentar	

Vedlegg G

Bakgrunnsdata for simuleringane utført av Lavenergiprogrammet

Tabell 1: Skildring av tiltaka

	Skildring
Basis	Basissimuleringa er simulert med verdiar for passivhus frå NS 3700:2010
Utvendig solskjerming	Som basissimuleringa, men det er i tillegg satt inn utvendig solskjerming. Denne solskjerminga har ein solfaktor på 0,14. Solskjerminga er på når den direkte transmitterte solstrålinga gjennom vindauge er over 100 W/m ²
Lufting	Som simuleringa med utvendig solskjerming men det er i tillegg mogleg å lufte gjennom vindauge. luftinga skjer når romluftstemperaturen er over 22 °C mellom kl. 16.00 og 08.00, det vil seie utan for normal arbeidstid og når utetemperaturen er lågare enn romluftstemperaturen. Ved lufting vert det opna 2 vindauge i første og 2 vindauge i andre etasje. Sjølv om kontrollen tillét nattbruk, vert opning av vindauge brukt hovudsakeleg mellom kl. 19.00-01.00 og 07.00-08.00
Termisk masse	I denne simuleringa har huset utvendig solskjerming og moglegheit for lufting gjennom vindauge i tillegg til at det er betong i golvkonstruksjonen rett under parketten. Betonggolvet har ein tjukkeleik på 10 cm

Tabell 2: Berekningsvilkår for einebustaden

U-verdi vegg	[W/m ² K]	0,10
U-verdi tak	[W/m ² K]	0,10
U-verdi vindauge	[W/m ² K]	0,70
g-verdi vindauge (solfaktor)	[-]	0,50
Lekkasjetal n₅₀	[h ⁻¹]	0,6
Normalisert kuldebru	[W/m ² K]	0,03
Totalt varmetapstall	[W/m ² K]	0,42
Ventilasjonsmengde (CAV)	[m ³ /hm ²]	1,2
Driftstid ventilasjonsanlegg		00:00-24:00
Personar	[W/m ²]	1,5
Brukstid		16:00-8:00
Utstyr	[W/m ²]	2
Driftstid utstyr	100 %	22:00-16:00
	200 %	16:00-22:00

Tabell 3: Generell konstruksjonsoppbygging. For ytterveggen, taket og golvet mot grunn representerer dei øvste cellene dei innvendige materiallag

Yttervegg	Gipsvegg	Luft	Isolering	Tre
Innervegg	Gips	Luft	Gips	
Tak	Takstein	Luft	Isolering	Gips
Golv mot grunn	Tre	Luft	Isolering	
Innvendig golv/himling	Parkett	Trebjelker med isolering	Luft	Gips

Tabell 4: Vilkår for bustaden

BRA	[m ²]	140
Etasjar	[stk]	2
Oppvarma volum	[m ³]	365
Yttervegger inkl. vindauge	[m ²]	160
Vindauge og dører	[m ²]	28
Vindaugedel N/A/S/V	[%]	7/25/24/44
Tak	[m ²]	92
Vindauge og dører av BRA	[%]	20

Tabell 5: Vilkår for sona (kjøkkenallrom)

Oppvarma golvareal	[m ²]	24
Oppvarma volum	[m ³]	64,8
Yttervegger inkl. vindauge	[m ²]	29,5
Vegg mot andre rom	[m ²]	18,7
Tak	[m ²]	42
Vindauge A	[m ²]	0,6
Vindauge S	[m ²]	4,8
Vindauge V	[m ²]	1,8
Vindaugeareal av golvareal	[%]	30