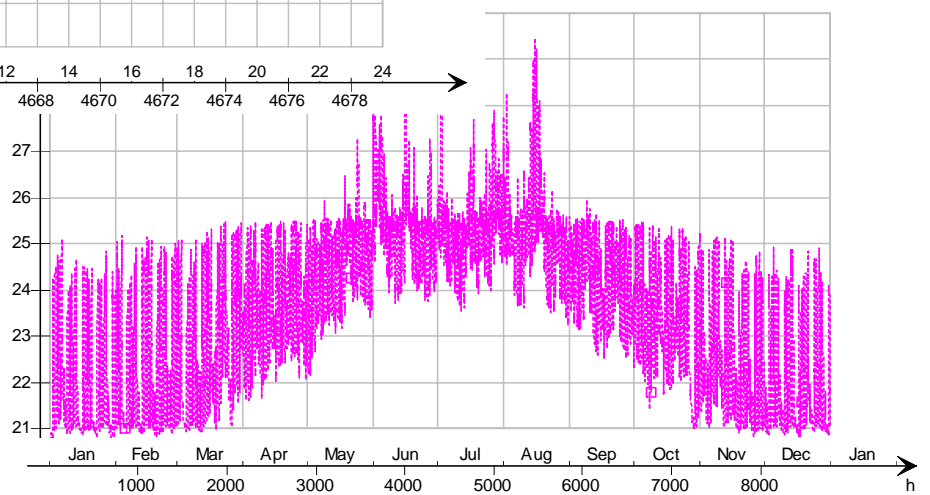
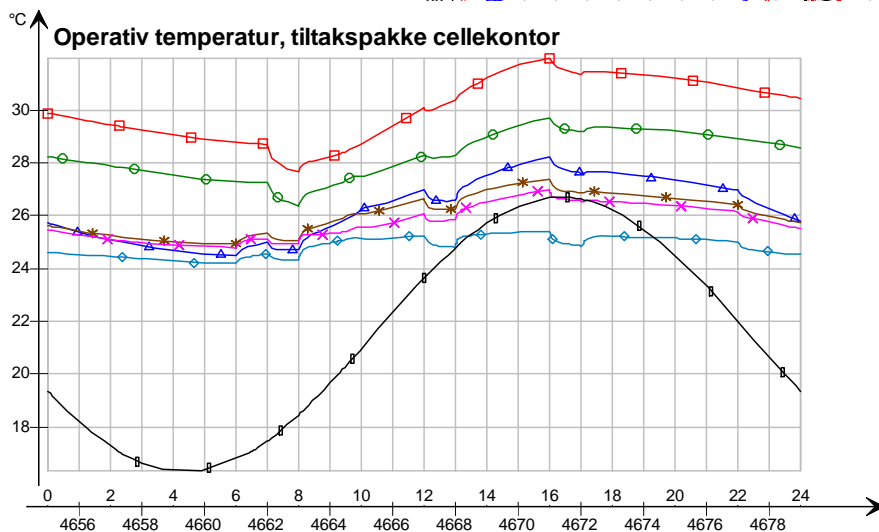
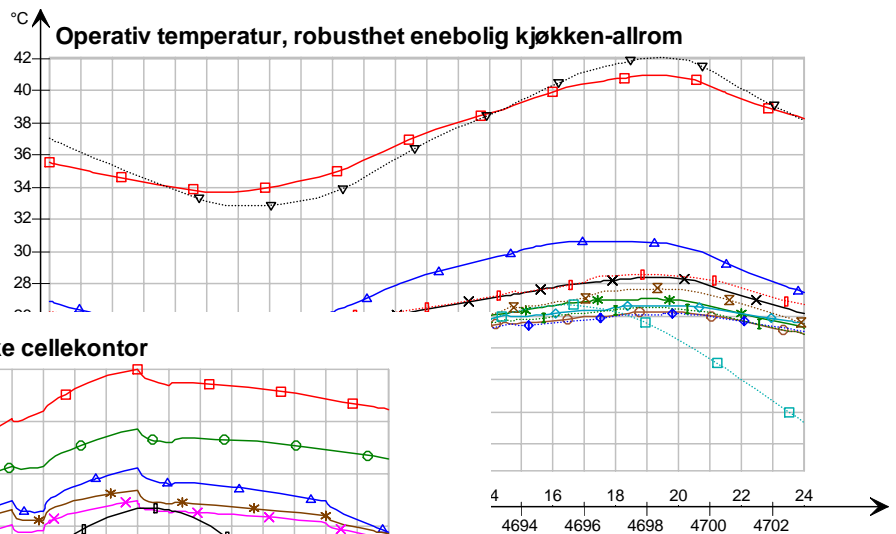


Ida H. Bryn, Arnkell J. Petersen, Line R. Karlsen og Søren Gedsø

Tiltak mot høye temperaturer i passivhus

Del I – Teori, erfaringer, anbefalinger og case-studier



Tiltak mot høye temperaturer i passivhus

Del I – Teori, erfaringer, anbefalinger og case-studier

Redaktør : Arnkell J. Petersen

Forfattere : Ida H. Bryn, Arnkell J. Petersen, Line R. Karlsen og Søren Gedsø

År : 2012

Kopirett : Erichsen & Horgen A/S

ISBN : 978-82-92982-02-0



28. februar 2012

k:\ajp\10106-overtemperatur\05-rapporter\tiltak mot høye temperaturer i passivhus - del i.docx

TILTAK MOT HØYE TEMPERATURER I PASSIVHUS DEL I – TEORI, ERFARINGER, ANBEFALINGER OG CASE-STUDIER

Prosjektansvarlig:

Arnkell Jónas Petersen

Forfattere:

Arnkell Jónas Petersen

Ida H. Bryn

Line Røseth Karlsen

Søren Gedsø

Ansvarsområde:

Rapportskrivning og –kvalitetssikring

Rapportskrivning og –kvalitetssikring

Litteraturstudie

Beregninger, rapportskrivning

Oppdragsgiver:

Lavenergiprogrammet

Oppdragsgivers referanse:

Gunnar Grini

Sammendrag:

Problemer tilknyttet høye temperaturer i passivhus har vært i fokus de siste år. Denne veilederen har til formål å drøfte sannsynlig omfang av dette problemet, hvordan passivhus kan designes slik at veldig høye temperaturer ikke forekommer samt hvordan tiltak mot høye temperaturer kan forankres i foreskrifter, veiledninger og standarder.

Denne veilederen er delt i to:

- Del I som omfatter oppsummering av status i dag fra kartlagte prosjekter samt beregninger og anbefaling for boliger, skole og kontor.
- Del II som inneholder en utdypning av litteraturstudiet samt anbefalinger for forskrifter, veiledninger og standarder.

Konklusjonene er sammenfallende, dvs. at det er mulig å oppnå god termisk komfort i passivhus med:

1. Begrensning av vindusareal; god, fortrinnsvis utvendig, solskjerming og reduserte varmelaster
2. Tilrettelegge for fjerning av varmeoverskudd med ulike klimatiseringsløsninger avhengig av bygnings kategori.
3. Demping av temperatursvingningene med termisk masse.

Det gis forslag til skjerpede preaksepterte løsninger for å oppfylle termisk komfort i boliger og andre bygg. Alternativt må termisk komfort dokumenteres på romnivå. Det er viktig at disse forutsetningene er konsistente med de som benyttes i energiberegningen.

Det foreslås en rekke FOU temaer knyttet til å utvikle bedre kunnskap om hvordan praktisk oppnå bedre termisk komfort i boliger og andre bygg. Det er også behov for standardiserte klimadata for beregning av overtemperatur samt metode for beregning av dette. Energistandardene (NS 3031, 3700 og 3701) bør inkludere krav til dokumentasjon av inneklima som er konsistent med dagslys og energiberegningene.

Stikkord gruppe 1:

Termisk inneklima, inneklima, temperatur, passivhus, termisk komfort

Antall sider:

35

INNHALDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	3
2. LITT TEORI, ERFARINGER OG ANBEFALINGER	4
2.1 ERFARINGER OM OVERTEMPERATURER OG TERMISKE FORHOLD I PASSIVHUS	4
2.2 PROPORSJONER OG ENERGIMENGDER	5
2.3 DESIGN FOR Å UNNGÅ OVERTEMPERATURER I PASSIVHUS	6
3. CASE-STUDIER	9
3.1 BEREGNINGSMETODE	9
3.2 ENEBOLIG	10
3.2.1 <i>Beregningsforutsetninger</i>	11
3.2.2 <i>Tiltakspakke</i>	12
3.2.3 <i>Robusthet</i>	15
3.2.4 <i>Diskusjon</i>	17
3.3 KONTOR	18
3.3.1 <i>Beregningsforutsetninger</i>	19
3.3.2 <i>Tiltakspakke</i>	20
3.3.3 <i>Robusthet</i>	22
3.3.4 <i>Diskusjon</i>	24
3.4 SKOLE	26
3.4.1 <i>Beregningsforutsetninger</i>	26
3.4.2 <i>Tiltakspakke</i>	28
3.4.3 <i>Robusthet</i>	32
3.4.4 <i>Diskusjon</i>	33
4. OPPSUMMERING	35

1. INNLEDNING

Problemstillingen knyttet til overtemperatur i bygninger kan være aktuell ved oppføring av bygninger på passivhusnivå. Det har vært benyttet som ankepunkt mot den planlagde revisjon av byggeforskrifter mht. å tilnærme disse passivhusnivå.

Denne veilederen har til formål å belyse problemets omfang, hvilke tiltak som kan benyttes til å redusere/eliminere høye temperaturer og tiltakenes robusthet. Ytterligere foreslås det endringer i både forskrifter, veiledninger og standarder.

Veilederen er delt i to deler, hvor del I er henvendt til de som arbeider med design og utførelse av bygg. Og del II er henvendt til de som ønsker mer dybdegående forståelse om termisk komfort og temperaturer i passivhus, samt interessenter om hvordan regelverk bør justeres for å ivareta temperaturforhold i passivbygg.

Rapportens Del I er strukturert slik:

- **Litt teori, erfaringer og anbefalinger** – Hvor det trekkes på erfaringer fra passivhus og oppsummeres med anbefalinger til tiltak mot høye temperaturer.
- **CASE-studier** – Hvor det presenteres tre tiltakspakker mht. å redusere høye temperaturer i passivhus, og deres effektivitet samt robusthet testes på en bolig, en skole og et kontor.

Rapportens Del II er strukturert slik:

- **Litteraturstudie** – Hvor forskningsresultater og erfaringer tilknyttet termisk komfort på generelt grunnlag, adaptive komfortkriterier, temperaturforhold i passivhus og design av passivhus mht. temperaturforhold presenteres.
- **Forslag til standarder og foreskrifter** – Hvor det foreslås hvilke endringer er hensynsmessig å innarbeide i gjeldende standarder og foreskrifter, samt hvilke områder er egnet til bruk av adaptive komfortkriterier.
- **Videre arbeider** – Hvor det fremlegges anbefalinger til videre arbeider innenfor emnet.

Det innværende dokument er rapportens del I.

2. LITT TEORI, ERFARINGER OG ANBEFALINGER

Klimatisering av bygninger er den største posten på energiregnskapet til de fleste bygninger i Norge. Siden formålet med klimatiseringen først og fremst er å oppnå klimatiske forhold som flest mulig brukere er fornøyd med, er det i et energiperspektiv viktig hvordan blant annet akseptable termiske forhold definerer og hvordan disse oppnås uten å øke energibehovet, da gjerne ved hjelp av passive teknologier.

Det er gjennomført en litteraturstudie knyttet til disse emnene som er presentert i del II. Det inneværende kapitlet oppsummerer hovedkonklusjonen av litteraturstudiet mht. temperaturforhold i passivhus og gir anbefalinger til robuste løsninger for å unngå overtemperaturer i passivhusbygg.

2.1 Erfaringer om overtemperaturer og termiske forhold i passivhus

Passivhus er godt isolert fra utendørs klima og enhver varmebelastning vil være vanskelig å nøytralisere dersom det ikke er store temperaturgradienter mellom innetemperatur og utetemperatur. I passivhus kan derfor til og med små varmebelastninger føre til økt innendørs temperatur som kan påvirke den termiske komforten betraktelig. I det følgende gjennomgås erfaringer om temperaturforhold fra passivhusbygg. Det har vært begrenset dokumentasjon å oppdrive fra Norge samt for andre bygningskategorier enn boliger, men erfaringene som har vært tilgjengelig gir en illustrasjon av problematikken og de indikerer også hvilke løsninger som kan være aktuelle for å unngå problemene. Litteraturstudiet i del II beskriver hvilke undersøkelser erfaringene er hentet fra.

Erfaringer fra passivhus i Norden og Sentral-Europa viser til både gode og ikke fullt så gode erfaringer om termiske forhold i passivhusbygg. Fellesnevneren for disse erfaringene er at det er særs nødvendig med effektiv solskjerming og luftemuligheter i passivhusbygg for å oppnå tilfredsstillende termiske forhold om sommeren. I de prosjektene der det er funnet overtemperaturproblemer viser evalueringer at solskjerming mangler eller at den ikke har vært i bruk og at det er begrenset med luftemuligheter. Basert på kvalitative undersøkelser er muligheten for lufting ansett som viktig for brukere av passivhus for å unngå overtemperaturer. Disse funnene indikerer at det allerede tidlig i en designfase av et passivhusbygg må legges til rette for luftemuligheter av et visst omfang samt effektiv solskjerming. Disse behovene fordrer til en integrert designprosess hvor arkitekter og ingeniører samarbeider fra en tidlig fase siden både luftemuligheter og solskjerming vil ha innflytelse på fasadens utforming. Naturlig ventilasjonssystemer for både natt og dag har utfordringer knyttet til tyverisikring, forurensing og støy. Dette gjelder både boliger, skoler og næringsbygg. Disse utfordringene må adresseres allerede i designfasen. Dersom dette ikke løses tilfredsstillende er det fare for at systemet ikke brukes og at problemer vil oppstå i bruksfasen.

Videre er det påpekt at det er behov for å kunne kjøre ventilasjonsanlegget uten varmegjenvinning i perioder med stor varmebelastning for at ventilasjonsanlegget skal kunne kjøle ned bygget. Alternativt kan en ha løsninger med naturlig ventilasjon i disse periodene og kun avtrekk fra kjøkken og bad. Med slike løsninger er det imidlertid avgjørende å ha kontroll på regulering av varmeanlegget slik at en ikke lufter og varmer samtidig.

Det kan synes som løsninger med fast solskjerming gir en robust løsning, men forhold knyttet til hvilken innvirkning dette har på dagslysforhold er ikke belyst. Fast solskjerming skjermer godt mot sol med stor høyde, men slipper inn lav vintersol. Erfaringer fra Danmark viser at det vil være nødvendig med dynamisk utvendig solskjerming i Nordiske land hvor solen står lavt på himmelen store deler av året. Dette vil spesielt være viktig for øst og vestvendte vinduer/glassarealer. En utvendig dynamisk løsning vil være effektiv i å hindre store deler av soltilskuddet når det er tilstede samtidig som dagslyset kan utnyttes og det er utsikt når solbelastningen på fasaden er lav eller ikke-eksisterende. Erfaringer viser imidlertid også at selv om det er lagt til rette for lufting og solskjerming og utstyrt disse funksjonene med automatisk styring, så kan overstyring av denne automatikken forekomme dersom systemene genererer støy eller dersom solskjermingen for eksempel hindrer en fin utsikt. Dette kan tyde på at det er behov for bedre styringssystemer, i tillegg til at det er behov for å informere brukerne om hvilken konsekvens deres overstyring vil ha i forhold til overtemperaturer. Overstyring av automatiske kontroller er også noe en bør ha i mente ved beregninger i en designprosess og det kan være en fordel å gjennomføre beregninger med ulike styringsstrategier. Dersom solskjerming og lufteluger imidlertid ikke er automatisert, krever dette en aktiv bruker. Det kan da være nødvendig med spesiell opplæring av brukerne av passivhusbygninger i forhold til hva de kan gjøre for å forhindre overtemperaturer.

2.2 Proporsjoner og energimengder

For å få kjennskap til energimengdene det arbeides med, gjennomgås det i heretter en forenklet varmebalanse for et solbelastet rom et vårdøgn. Varmebalansen tar utgangspunkt i proporsjoner og energimengder i forhold til soltilskudd, ventilasjonsmengde og varmelagring som illustreres med et eksempel.

Sol

Sola stråler inn på et vindu med rundt 700 W/m^2 ved lav solhøyde. Med et klart glass slippes det gjennom ca. 500 W/m^2 . For å redusere soltilskuddet ytterligere kan det benyttes solskjerming. Tabell 2-1 angir overslagsverdier for solskjerming med ulik plassering i kombinasjon med klart glass. Det fremgår av tabellen at utvendig solskjerming kan redusere soltilskuddet til ca. 85 W/m^2 .

Solskjerming	g_{system}
Utvendig	0,12
Mellomliggende	0,25
Innvendig	0,5

Tabell 2-1 Eksempelverdier av g-verdier for klart glass med utvendig, mellomliggende og innvendig solskjerming.

Det fremgår av tabellen at utvendig solskjerming er det desidert beste valget mht. å redusere soltilskudd. Verdiene tabellen tilsvarer en tett duk eller persienner med 45° vinkel. Ved en duk som slipper gjennom en del sol eller mer horisontale lameller vil verdiene øke for alle alternativene. Her vil det derfor være et motsetningsforhold mellom det å kunne se ut og få inn dagslys og det å holde solvarmen ute. I tillegg vil blanding være en viktig faktor for arbeidsplasser. For

konkrete råd og utdyping rundt glass og solskjerming henvises til ENOVAs veileder for utforming av glassfasader. Denne gir veiledning om både termisk komfort og dagslysforhold.

Ventilasjon

100 m³/h luft kan fjerne ca. 200 W varme dersom temperaturstigningen på lufta er 6 °C.

Varmelagring

1 m² betong kan lagre ca. 117 Wh dersom vi tillater 4 °C temperaturstigning. Over 12 timer tilsvarer det 9,7 W/m² i snitt. Dette må fjernes om natta. Det tilsvarer en luftmengde på 7,5 m³/hm² dersom vi har en temperaturforskjell på 4 °C.

Eksempel

Dersom vi har et rom med betonggulv på 10 m² med 2 m² vindu mot sør som ventileres med 50 m³/h luft har vi følgende et typisk vårdøgn:

Det kommer inn 1000 W sol om dagen uten solskjerming. Dette reduseres til ca. 200 W hvis vi har dynamisk utvendig solskjerming, da den er ikke for hele tiden. Ventilasjonen kan fjerne ca. halvparten av solenergien hvis vi aksepterer 6 °C temperaturøkning. Gulvet kan akkumulere ytterligere ca. 100 W. Dermed er rommet vårt i noen lunde termisk balanse denne dagen. Uten solskjerming ville vi hatt et varmeoverskudd, som ville ha ført til en akkumulering av varme og høyere temperaturer i løpet av dagen.

Som det fremkommer er marginene små og det helt avgjørende med effektiv solskjerming og reduksjon av andre interne varmelaster.

Erfaringene og eksemplet munner ut i en designprosedyre som kort beskrives i neste avsnitt.

2.3 Design for å unngå overtemperaturer i passivhus

For å unngå overtemperaturer i bygninger uten mekanisk kjøling bør designen av bygget gjennomføres i prioritert rekkefølge:

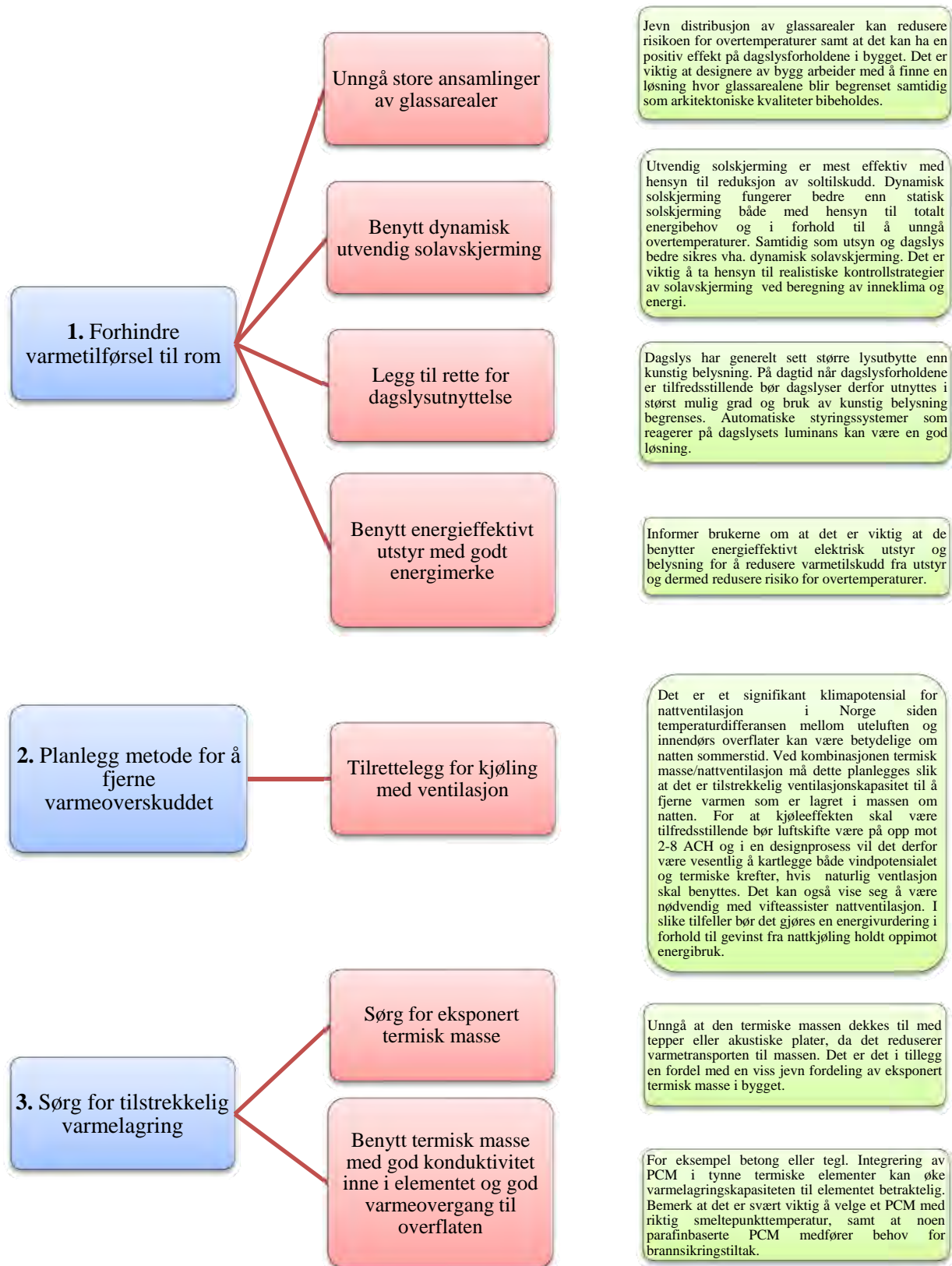
1. Forhindre varmetilførsel til rom
2. Planlegge metode for å fjerne varmeoverskudd
3. Sørge for tilstrekkelig varmelagring

Forhindring av varmetilskudd kan gjøres ved å unngå store ansamlinger av glassareal, utstyre bygget med utvendig dynamisk solskjerming, legge til rette for dagslysutnyttelse samt informere brukerne om viktigheten av å benytte energieffektiv belysning og elektrisk utstyr.

Fjerning av det resterende varmeoverskuddet skjer gjerne med ventilasjon eller lokal kjøling. I passivhussammenheng unngås i dag vannbåren kjøling slik at luftbasert kjøling gjerne benyttes. Det kan skje ved mekanisk og/eller naturlig ventilasjon både dag og natt. Ofte er svingningene i belastningene store og ventilasjonen har ikke kapasitet til å fjerne alt momentant.

Termisk masse vil kunne dempe svingningene. Når det skal sørges for tilstrekkelig varmelagring er det viktig å benytte et materiale med tilfredsstillende konduktivitet inne i elementet og en god varmeovergang til overflaten. Den termiske massen må være eksponert til rommet. Når det legges til rette for varmelagring er det også viktig med en metode for å fjerne varmeoverskuddet. I norsk klima kan passiv kjøling med nattventilasjon være en egnet strategi for å fjerne varmeoverskudd. Denne strategien må implementeres allerede tidlig i en designprosess siden både fasadeutforming og orientering kan ha betydning for effektiviteten til naturlig nattventilasjon. Luftskifte mellom 2-8 ACH har vist seg å være effektivt i forhold til termisk komfort. Det kan vise seg å være nødvendig med vifteassistert nattventilasjon for å oppnå ønskede luftmengder, da må evalueringer i forhold til energibehov og kjøleeffekt gjennomføres.

Figur 2-1 skisserer det ovenfor nevnte forslaget til en fornuftig designprosedyre i tre steg og gir forslag til tiltak for å gjennomføre designprosedyren. Noe mer utdypende kommentarer til de ulike tiltakene er gitt i de grønne boksene og det refereres til litteraturstudiet i del II for mer detaljer rundt de ulike tiltakene.



Figur 2-1 Forslag til designprosedyre for å unngå overtemperaturer i passivhusbygg.

3. CASE-STUDIER

I det etterfølgende gjennomgås tre casestudier basert på bygningskategoriene bolig, kontor- og skolebygg, hvor det termiske inn klima simuleres. Beregningene tar utgangspunkt i kravene til varmetapstallene for passivhus fra de norske standarder NS 3700:2010 ”Kriterier for passivhus og lavenergihus - Boligbygninger” og prNS 3701 ”Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger”. Det termiske inn klimaet beregnes for henholdsvis det dimensjonerende sommerdøgn og et vårdøgn for å belyse overtemperaturproblematikken både på sommeren og på våren.

De bygningskategorier som arbeides med i det etterfølgende er:

- Eneboliger
- Skoler
- Kontor

For hver bygningskategori er det i det følgende oppsatt en tiltakspakke som skal sikre et godt og robust termisk inn klima for passive bygninger. Disse tiltakspakkene er sammensatt basert på det foregående litteraturstudiet, og inneholder de mest robuste passive tiltak i norsk kontekst som forventes å bidra til et mer robust og tilfredsstillende termisk inn klima.

For hvert passivt tiltak vil det termiske inn klimaet bli evaluert slik det tydelig fremgår hvilken innflytelse på temperaturnivået i bygningene de enkelte tiltak har. Det bør bemerkes at det er flere tiltak, enn de tiltakene som inngår tiltakspakkene, som kan redusere temperaturene i bygningene. Kombinasjonene er uttalige, og det er ikke hensynsmessig å inkludere en utdypende undersøkelse av mulige kombinasjoner her.

Tiltakspakkene er sammensatt mht. å benytte passive løsninger, som er driftssikre og robuste for endringer i de forutsetninger som benyttes her. Alternative tiltakspakker kan benyttes men bør da ikke implementeres uten en dynamisk simulering av forventet inn klima i bygget.

En sammenligning av det termiske inn klimaet for den opprinnelige bygningen og bygningen med hele tiltakspakken er vist, slik effekten av de passive tiltakene tydelig fremgår. Sist i hvert avsnitt undersøkes tiltakspakkens robusthet, i forhold til hva som kan gå galt, eksempelvis hvis driftspersonell overstyrer solskjermingen eller at varmelaster fra utstyr økes betraktelig i forhold til det simulerte.

3.1 Beregningsmetode

Beregningen er utført med det dynamiske simuleringsverktøyet IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy), et program utviklet av Equa Simulation AB. Dette er et verktøy for full dynamisk beregning av inn klima og energiforbruk i bygninger. Programmet er særdeles godt validert sammenlignet med de mest vanlige programmer i Norge, idet det er validert iht. EN 15255:2007, EN 15265:2007 og ASHRAE 140-2004 m.m.

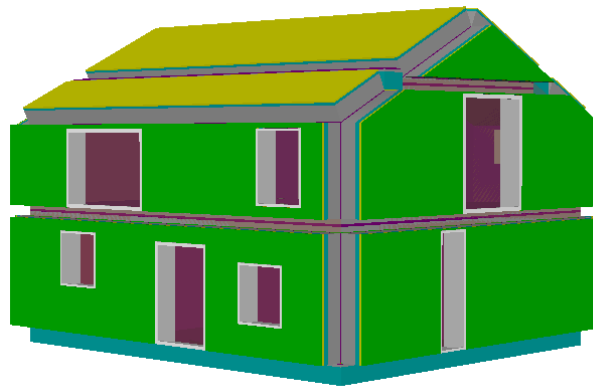
IDA ICE har to matematiske beregningsmodeller, hvor den mest detaljerte brukes i denne rapporten. Dette medfører at den operative temperatur, som beregnes i det følgende, er avhengig av

hvor brukeren er plassert i sonen, dvs. at den operative temperaturen er en funksjon av plasseringen i sonen. I tillegg til dette skal det bemerkes at den operative temperaturen ikke inkluderer direkte stråling, bare sekundær stråling via flater og solskjerming. Dermed vil den reelle operative temperatur bli høyere i direkte sol.

I simuleringene av det termiske inn klimaet er det simulert med dimensjonerende sommerdøgn for Oslo gjentatt tre ganger mht. å forestille et sommerdøgn etter en varm periode. Ved simuleringer av vårdøgn benyttet et skyfritt vårdøgn fra klimadataen fra NS 3031, som gjentas 3 dager. Det samme klimadatasettet benyttes også ved årssimuleringer.

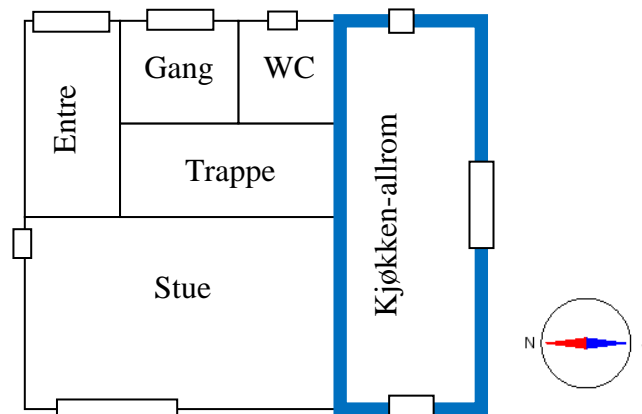
3.2 Enebolig

Boligen som modelleres er en enebolig på to plan med et bruksareal på 140 m² med et nettovolumen over bruksarealet på 365 m³. En 3D modell av beregningsmodellen fremgår av Figur 3-1.



Figur 3-1 3D modell av den simulerte eneboligen. Modellen ses fra SV.

I simuleringen av det termiske inn klimaet i boligen modelleres hele boligen, hvor hvert rom modelleres som individuelle soner, hvor det er plassert åpninger mellom hver sone. I det følgende fokuseres på kjøkkenallrommet, da det antas at dette rommet er kritisk i forhold til det termiske inn klimaet. Kjøkken-allrommet er plassert på plan 2 med et vindusareal på 30 % av gulvarealet i rommet, hvor størstedelen av vindusarealene er plassert mot sør. Plantegningen av plan 2 fremgår av Figur 3-2, hvor kjøkken-allrommet er markert med blå og vindusplasseringen er markert. Bemerk at plasseringen av vinduene ikke er målfaste.



Figur 3-2 Plantegning av plan 2. Området markert med blå viser sonen som benyttes i ved vurdering av det termiske inn klimaet.

Som beskrevet i avsnitt 3.1 beregnes den operative temperaturen som en funksjon av brukerens plassering i rommet. I kjøkken-allrommet er brukeren plassert i rommets senter.

3.2.1 Beregningsforutsetninger

De overordnede beregningsforutsetninger for simulering av det termiske innklimaet i eneboligen fremgår av Tabell 3-1 til Tabell 3-3, mens Tabell 3-4 viser beregningsforutsetningene for kjøkkenallrommet.

U-verdi vegg	[W/m ² K]	0,10
U-verdi tak	[W/m ² K]	0,10
U-verdi vindu	[W/m ² K]	0,70
g-verdi vindu	[-]	0,50
Lekkasjetall n ₅₀	[h ⁻¹]	0,6
Normalisert kuldebro	[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
Personer	[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 3-1 Beregningsforutsetninger for enebolig.

Yttervegg	Innervegg	Tak	Gulv mot grunn	Innvendig gulv/himling
Gipsvegg,	Gips	Takstein	Tre	Parkett
Luft,	Luft	Luft	Luft	Trebjelker med isolering
Isolering	Gips	Isolering	Isolering	Luft
Tre		Gips		Gips

Tabell 3-2 Generell konstruksjonsoppbygning. For ytterveggen, taket og gulvet mot grunn representerer de øverste cellene de innvendige materialeg.

BRA	[m ²]	140
Etasjer	[stk]	2
Oppvarmet volumen	[m ³]	365
Yttervegger inkl. vinduer	[m ²]	160
Vinduer og dører	[m ²]	28
Vindusandel N/Ø/S/V	[%]	7/25/24/44
Tak	[m ²]	92
Vinduer og dører av BRA	[%]	20

Tabell 3-3 Forutsetninger for hele boligen.

Oppvarmet gulvareal	[m ²]	24
Oppvarmet volumen	[m ³]	64,8
Yttervegger inkl. vinduer	[m ²]	29,5
Vegg mot andre rom	[m ²]	18,7
Tak	[m ²]	42
Vinduer Ø	[m ²]	0,6
Vinduer S	[m ²]	4,8
Vinduer V	[m ²]	1,8
Vindusareal av gulvareal	[%]	30

Tabell 3-4 Forutsetninger for sonen.

3.2.2 Tiltakspakke

Det er oppsatt en tiltakspakke mht. å sikre et tilfredsstillende inneklima, idet det tas utgangspunkt i det foregående litteraturstudiet. Tiltakene er som valgt mht. effektivitet, robusthet mod endringer i forutsetninger og driftssikkerhet. Tiltakene implementeres i den anbefalte rekkefølge i henhold til beskrivelsen i avsnitt 2.3, dvs. første prioritet er å forhindre varmetilførselen til rommet, kun deretter arbeides det med å fjerne den innkomne varme og sist varmelagring.

Andre tiltakspakker kan medvirke til å sikre et tilfredsstillende inneklima, men effektiviteten og forventede temperaturforhold bør da belyses egne dynamisk simuleringer av inneklimaet i det aktuelle bygget, slik at et godt termisk inneklima sikres.

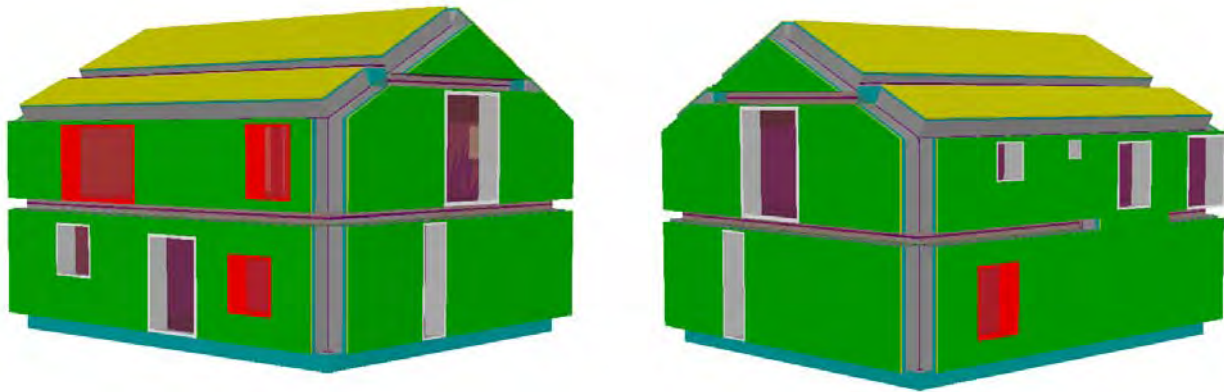
Tiltakene fremgår av Tabell 3-5.

Nr.	Navn	Beskrivelse
1	Basis	Basissimuleringen er den opprinnelige bolig som oppfyller kravene i NS3700 med hensyn på varmetapstallet. Utover dette antas det at ingen personer er hjemme mellom klokken 8:00-16:00 og at internlasten fra utstyr fordobles mellom 16-22. I tillegg til dette antas ingen internlast fra belysning.
2	Utvendig solskjerming	Som simulering 1, men med utvendig solskjerming. Solskjermingsfaktoren for solskjermingen er 0,14, dvs. den totale solskjermingsfaktoren er 0,07. Solskjermingen er på, når den direkte transmitterte solstrålingen gjennom vinduet er over 100 W/m ² . Dette svarer til 200 W/m ² eksternt på bygget.
3	Lufting	Som simulering 2, men med mulighet for lufting. Luftingen skjer når romlufttemperaturen er over 22 °C mellom 16:00 og 8:00, dvs. utenfor normal arbeidstid og at utetemperaturen er lavere enn romlufttemperaturen. Det åpnes 2 vinduer på plan 1 og to vinduer på plan 2 slik at luften kan strømme fra plan 1 til 2, se evt. Figur 3-3.
4	Termisk masse	Som simulering 3, men med betong i gulvkonstruksjonen rett under parketten. Betonggulvet har en tykkelse på 10 cm.

Tabell 3-5 Tiltakspakke for enebolig.

I tiltakspakken anbefales det å bruke utvendig solskjerming. Dette skyldes at denne solskjermingen er mer effektiv i forhold til å redusere solstrålingen. Ulempen ved å bruke innvendig solskjerming er at solskjermingen er plassert inne i rommet og varmen har allerede sluppet inn. Dette fører til at den innvendige solskjermingen oppvarmes av solstrålingen. En del av den absorberte varme transmitteres videre ut i rommet ved hjelp av varmestralingen fra den innvendige solskjermingen, resten avgis konvektivt til luften. I tillegg til dette er det inkludert variabel solskjerming slik at dagslyset ikke unødvendig reduseres.

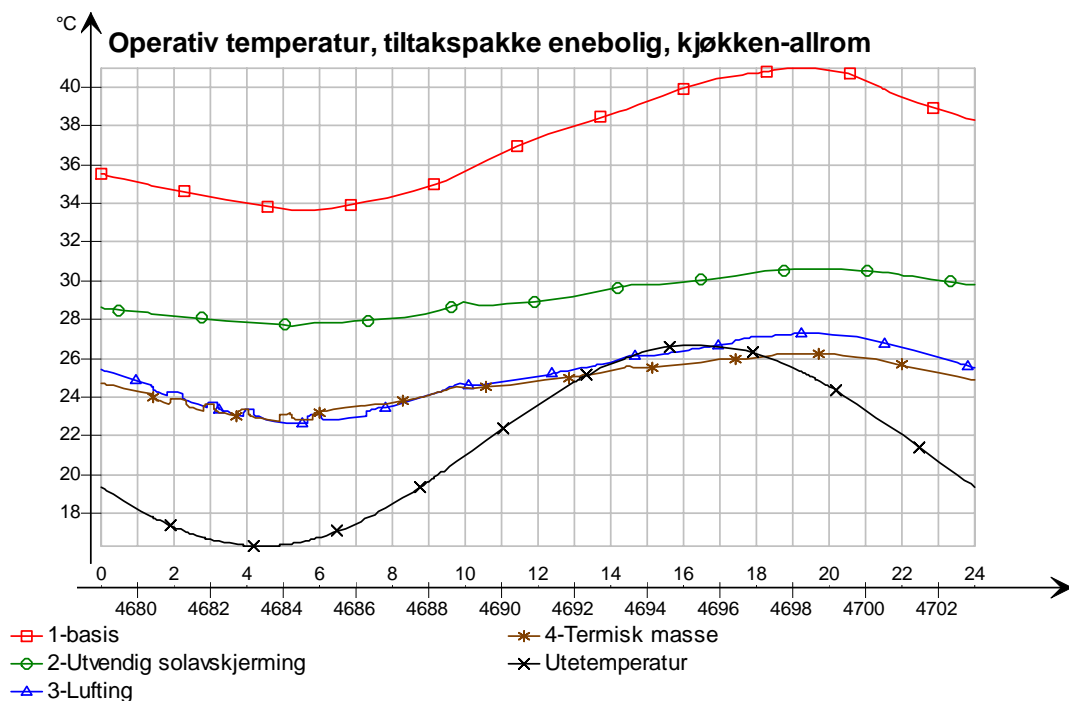
Vinduene som brukes til lufting i eneboligen for tiltak 3 er fremhevet med rød på Figur 3-3. Det totale åpningsarealet på 2,2 m² er fordelt likt mellom vinduene.



Figur 3-3 Vinduene markert med rød er vinduene som brukes til lufting i tiltak 3. Vindusåpningene har et totalt åpningsareal på 2,2 m² fordelt likt mellom vinduene. Eneboligen ses fra SV til venstre og SØ til høyre.

3.2.2.1 Resultater

Det termiske inneklima for det dimensjonerende sommerdøgn for kjøkken-allrommet, med simuleringmodellene beskrevet i tiltakspakken, fremgår av Figur 3-2.

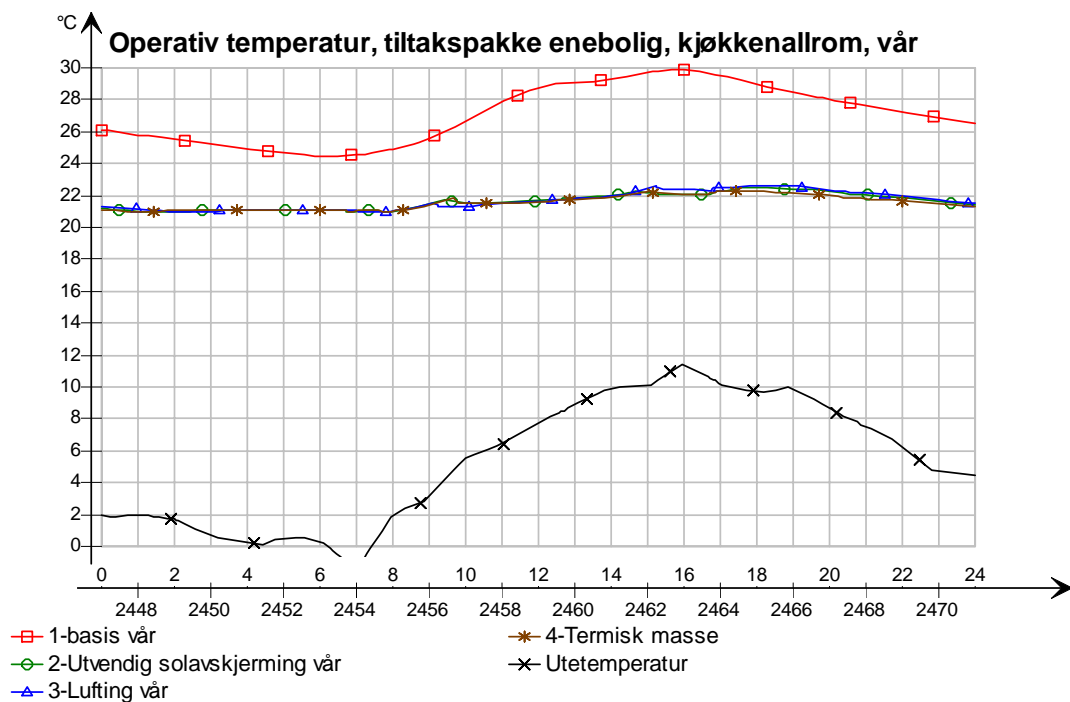


Figur 3-4 Tiltakspakken for eneboligen. Resultatene er vist for kjøkken-allrommet. Bemerkt at de enkelte tiltakene inneholder endringene foretatt i de forrige tiltak, dvs. at eksempelvis tiltak 4 også inneholder utvendig solskjerming og lufting.

Det er regnet tre like døgn etter hverandre og resultatet av siste døgn vises i Figur 3-4. Resultatene viser at det kan forekomme temperaturer på drøyt 40 °C hvis det ikke inkluderes noen tiltak i det hele tatt. Til basissimuleringen skal det bemerkes at verken innvendig solskjerming eller vinduslufting er implementert. Det termiske inneklimaet kan derfor ikke direkte sammenlignes med det klimaet vi kjenner i våre boliger, da det som regel benyttes både gardiner og vinduslufting i noen grad i bebodde boliger.

Den utvendige solskjermingens innflytelse på det termiske innklimaet er veldig stor, og simuleringene viser viktigheten i å implementere slike solskjermingsløsninger. I tillegg fører variable solskjermingsløsninger til et bedre dagslysnivå i rommet i løpet av et år, enn hvis det benyttes faste solskjermingsløsninger som solskjermingsglass eller overheng. Simuleringene viser ytterligere at vinduslufting bør implementeres og at et forholdsvis moderat luftskifte i boligen som en helhet på 1 h^{-1} er tilstrekkelig i dette tilfellet. Bemerk dog at luftskiftet i det aktuelle rom er betydelig, eller 13 h^{-1} i det aktuelle rommet, noe av dette direkte utenfra og noe fra andre rom i bygget. I tillegg oppnås en stabiliserende effekt på det termiske innklimaet ved å eksponere termisk masse i boligen. Det skal bemerkes til tiltak 3 og 4 at vindusåpningene brukes hovedsakelig mellom 19:00-01:00 og 7:00-8:00, selv om kontrollen tillater nattbruk.

Tilsvarende simuleringer med tiltakspakken er foretatt for et vårdøgn, Forutsetningene for vårdøgnklimaet er skyfri himmel og utetemperatur mellom $-1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Resultatene for simuleringene fremgår av Figur 3-5 hvor utemperaturen under simuleringsperioden fremgår.



Figur 3-5 Simulering av tiltakspakken for et skyfritt vårdøgn. Bemerk at de enkelte tiltakene inneholder endringene foretatt i de forrige tiltak, for eksempel inneholder tiltak 4 også tiltak 2 og 3.

Vårsimuleringen av tiltakspakken for eneboligen viser høye temperaturer når solskjerming ikke inkluderes, og at akseptabelt innklima kan oppnås allerede etter implementering av dette tiltaket. Den høye solstrålingen om våren kan derfor føre til overtemperaturer selv om utemperaturen ikke kommer over $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Overtemperaturproblematikken utenfor sommersesongen bør derfor også inkluderes i evalueringen av det termiske innklimaet.

Varigheten for den operative temperaturen over $26 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ og $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i løpet av et år fremgår av Tabell 3-6. I disse årssimuleringene er personene til stede i boligen hele dagen i løpet av helgene og lufting er likeledes mulig hele døgnet for tiltak 3 og 4 i helgen. Driftstiden for internlasten fra utstyret er uendret. Bemerk at timene som inngår i tabellen inneholder bare timer hvor brukerne er til stede i boligen, dvs. at hverdager mellom 8-16 inngår ikke. Tabellen tydeliggjør innflytelsen på det termiske innklima fra de enkelte tiltakene på årsbasis.

	>26 °C	>27 °C	>28 °C
1-Basis	2617	2386	2141
2-Utvendig solskjerming	1552	1214	838
3-Lufting	99	14	3
4-Termisk masse	14	0	0

Tabell 3-6 Varigheten for den operative temperaturen over 26 °C, 27 °C og 28 °C i løpet av et år.

Effektiviteten til de tiltak som implementeres er intern avhengig, og vil avhenge av den rekkefølgen de implementeres i. Det er ikke hensynsmessig å inkludere en utdypende analyse av dette i en veileder som dette, men det er foretatt en del studier av avhengigheten ved utforming av tiltakspakken. I det etterfølgende avsnitt er det undersøkt hvor robust tiltakspakken er for endring i forutsetningene.

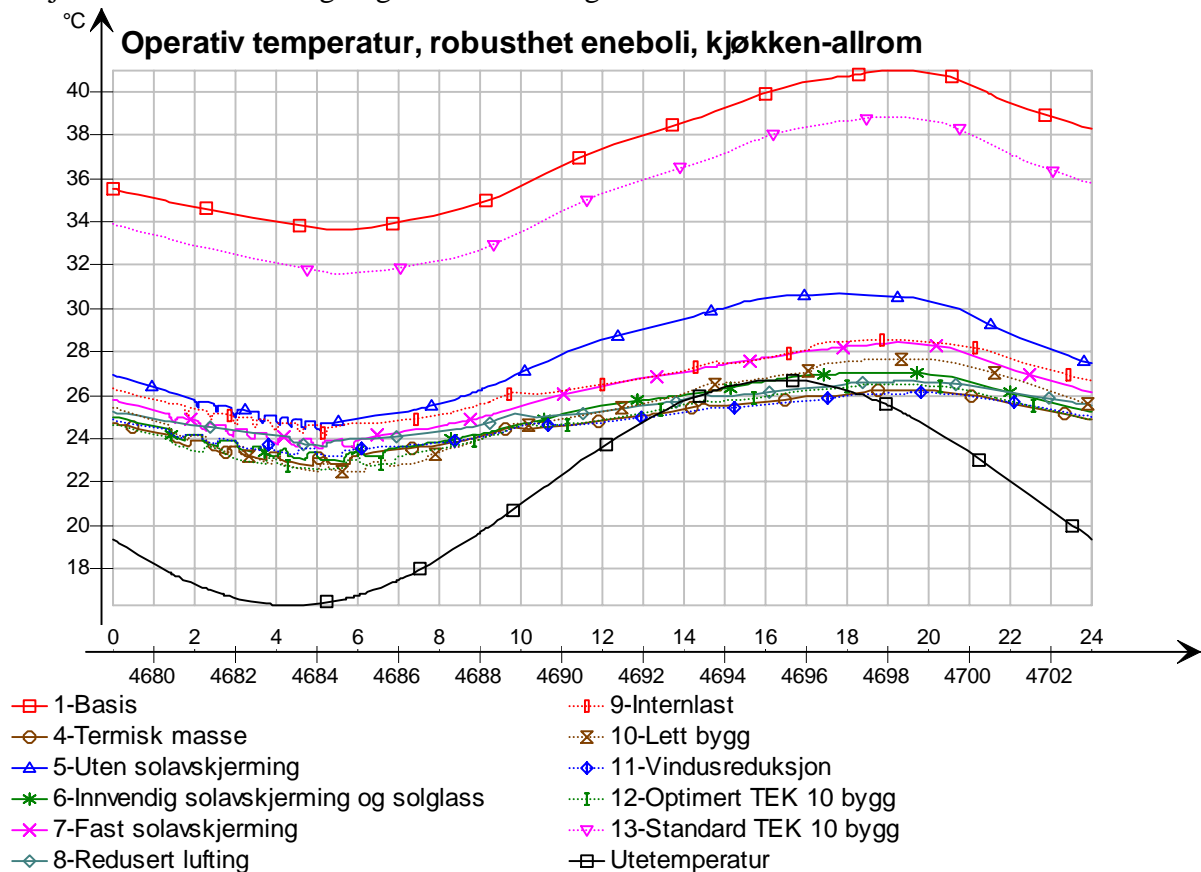
3.2.3 Robusthet

I tillegg til tiltakspakken, presentert i forrige avsnitt, undersøkes enkelte parametre som kan føre til et dårligere inneklima. For boligen undersøkes innflytelsen av variasjon av solskjerming, redusert naturlig ventilasjon og økt internlast fra utstyr og lignende, se Tabell 3-7. Alle simuleringene tar utgangspunkt i simulering nr. 4, dvs. hvor alle de passive tiltakene er implementert i boligen. Bemerk at robusthetssimuleringene tar utgangspunkt i det dimensjonerende sommerdøgn.

Nr.	Navn	Beskrivelse
5	Uten solskjerming	Utvendig solskjerming brukes ikke, dvs. ingen solskjerming inkluderes i simuleringen. Dette svarer til at brukerne overstyrer den utvendige solskjermingen eller at den ikke installeres.
6	Innvendig solskjerming	Utvendig solskjerming erstattes med innvendig solskjerming og solskjermingsglass, dvs. at solskjermingsfaktoren for skjerming økes fra 0,14 til 0,65 og g-verdien for glasset reduseres fra 0,5 til 0,25.
7	Fast solskjerming	Utvendig solskjerming erstattes med fast solskjerming, dvs. et overheng på 1 m som har samme bredde som de enkelte vinduene.
8	Redusert lufting	Åpninger for naturlig ventilasjon reduseres med 50 %. Dette svarer til et maksimalt luftskifte på 0,5 h ⁻¹ for boligen som en helhet.
9	Internlast	Internlast fra utstyr økes fra 2 W/m ² til 15 W/m ² .
10	Lett bygg	Betong i gulvkonstruksjonen fjernes og erstattes av trebjelker.
11	Vindusvariasjon	Vindusarealet reduseres til maksimum 20 % pr gulvareal i hele boligen. Vindusarealet blir totalt redusert med 5 m ² .
12	Optimert TEK10 bygg	Materialeverdier settes til de samme om i minstekravene i TEK07, dvs. $U_{vegg}=0,22$ W/m ² K, $U_{tak}=0,18$ W/m ² K, $U_{gulv}=0,18$ W/m ² K, $U_{vin}=1,6$ W/m ² K, $n_{50}=3$ h ⁻¹ . I tillegg til dette antas en normalisert kuldebroverdi på 0,06 W/m ² K.
13	Standard TEK10 bygg	Som simulering 1, men med beregningsforutsetningene for TEK 07, dvs. med forutsetningene beskrevet for simulering 12.

Tabell 3-7 Forutsetninger for robusthetssimuleringene for enebolig

Figur 3-6 viser den operative temperaturen for robusthetssimuleringene, samt temperaturen det dimensjonerende sommerdøgn og basissimuleringen.



Figur 3-6 Den operative temperatur for robusthetssimuleringene for det dimensjonerende sommerdøgn. Bemerk at simulering 5-12 tar utgangspunkt i tiltak 4, mens simulering 13 tar utgangspunkt i simulering 1.

Sammenligningen mellom basissimuleringen (passivhus) og tiltak 13 (TEK10) samt tiltak 4 (optimert passivhus) og 12 (optimert TEK10) viser at boliger med høyere varmetapstall og infiltrasjon ikke nødvendigvis fører til et betydelig bedre eller dårlige termisk innklima om sommeren enn boliger bygget etter passivprinsippet. Det er derimot utformingen av klimaskjermingen og integrering av passive løsninger, som fører til et varierende termisk innklima boligene imellom.

Sett bort fra tiltak 13 er det valg av solskjerming og størrelsen på internlastene som har størst innflytelse på robustheten av det termiske innklimaet. Spesielt simuleringen uten solskjerming, som viser hva skjer når brukerne overstyrer solskjermingen, har stor betydning for det termiske innklimaet. Det er derfor av stor betydning at brukerne av boligen forstår hvorfor de enkelte passive tiltak er inkludert og hvordan de bør benyttes/styres. Internlastene i tiltak 9 er økt betraktelig og er kanskje i overkant den virkelige internlast, da folk har tendens til å være utenfor en varm sommerdag og ikke sitte inne foran fjernsynet.

Sammenligningen av resultatene fra tiltak 4 og tiltak 8 viser at temperaturen i boligen er forholdsvis stabil i forhold til endringer i lufting og termisk masse. I begge simuleringene er det imidlertid lufting på natten, hvilket kan være vanskelig hvis vindusåpningene ikke er tyverisikret.

3.2.4 Diskusjon

De foregående avsnitt viser at det er mulig å sikre et robust inneklime ved bruk av forholdsvis enkle passive løsninger. Ytterligere er det vist at de viktigste tiltak er å redusere solbelastning og muliggjøre lufting.

Tiltakspakkens robusthet er god, med unntak av at frafall av, eller valg av verre, solskjerming vil påvirke temperaturforholdene betraktelig. Ytterligere vil en økning i internlasten kunne være av avgjørende betydning.

En tyverisikring av vindusåpningene eller generell tyverisikring av åpninger til den naturlige ventilasjon vil føre til større mulighet for utnyttelse av dette ventilasjonsprinsippet og vil muliggjøre lufting selv når brukerne av boligen ikke befinner seg i boligen.

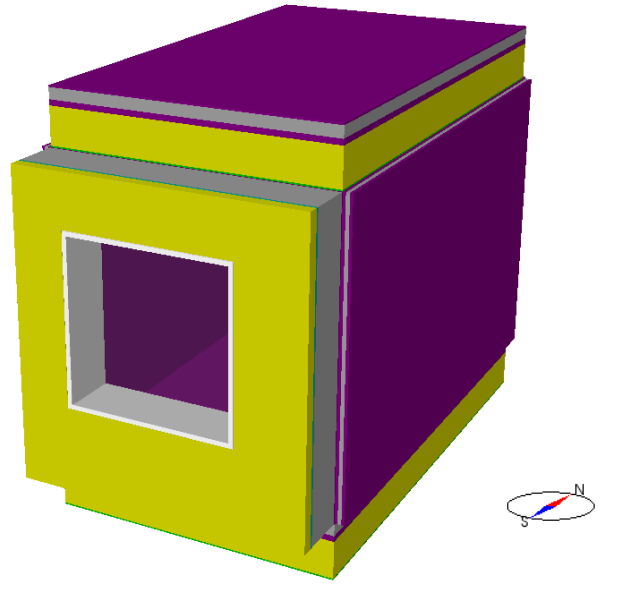
For personer med pollenallergi og lignende kan avhengigheten av vinduslufting om sommeren være problematisk. Det samme gjelder i områder med mye støy og luftforurensing. Dette kan avhjelpes ved å øke ventilasjonsmengden fra det mekaniske ventilasjonsanlegget slik at over-skuddsvarmen i boligen fjernes, men dette vil kun ha begrenset nytte da luftmengden er som regel for lav til å kunne påvirke innetemperaturen betydelig. Dette krever dog at brukerne i boligen er påpasselig med å rengjøre filtret i ventilasjonsanlegget nøye. For andre brukere kan det være fordelaktig å stenge av ventilasjonssystemet sommerstid, idet luften har en tendens til å være noen grader varmere enn uteluften.

Sammenligning av temperaturvarigheten på dagsbasis sommer og vår med varigheten på årsbasis viser at i et dårlig designet bygg kan det forekomme høye temperaturer allerede tidlig om våren, da innetemperaturen primært avhenger av solstrålingen men ikke av utetemperaturen. Ytterligere er det vist at ved implementering av tiltakspakken oppnås et tilfredsstillende inneklime hele året, med bare noen få timer over 26 °C.

Beregningen viser at det er sannsynlig at høye temperaturer forekommer i hus bygget iht. TEK07/TEK10 i et lignende omfang som i passivhus. Dermed kan det konkluderes at høye temperaturer er mer relatert til bygningsdesign og mangel på solskjerming, heller enn U-verdier og tetthet.

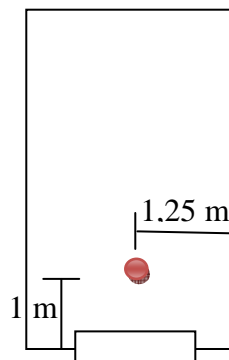
3.3 Kontor

Kontoret som modelleres er et vanlig cellekontor med et gulvareal på 10,8 m² og et nettovolumen over gulvarealet på 28 m³. Cellekontoret er plassert slik at det kun er ytterfasaden, som er en del av klimaskjermen. En 3D modell av beregningsmodellen fremgår av Figur 3-7. Det bemerkes at ytterfasaden er mot sør.



Figur 3-7 3D modell av beregningsmodellen sett fra SØ. Gulvarealet i cellekontoret er 10,8 m³ med en romhøyde på 2,7 m. Vinduet har et areal på 2,25 m².

I avsnitt 3.1 ble det beskrevet at den operative temperaturen er avhengig av brukerens plassering i rommet. I cellekontoret er brukeren plassert midt i rommet 1 m fra vinduet, se Figur 3-8. Cellekontoret har en total dybde på 4 m.



Figur 3-8 Plassering av brukeren i rommet

3.3.1 Beregningsforutsetninger

De generelle beregningsforutsetninger for beregningsmodellen fremgår av Tabell 3-8 og Tabell 3-9, mens Tabell 3-10 viser de sonespesifikke beregningsforutsetninger.

U-verdi vegg	[W/m ² K]	0,1
U-verdi tak	[W/m ² K]	0,1
U-verdi vindu	[W/m ² K]	0,7
g-verdi vindu	[-]	0,25
Lekkasjetall n ₅₀	[h ⁻¹]	0,6
g-verdi solskjerming	[-]	0,6
Normalisert kuldebro	[W/m ² K]	0,03
Totalt varmetapstall	[W/m ² K]	0,52
Ventilasjonsmengde (VAV)	[m ³ /hm ²]	3,6-8
Ventilasjonsmengde utenfor drift	[m ³ /hm ²]	1
Driftstid ventilasjonsanlegg		7:00-17:00
Personer	[W/m ²]	10
Belysning	[W/m ²]	4
Utstyr	[W/m ²]	10
Driftstid internlast, dvs. personer, belysning og utstyr.	100 %	8:00-12:00
	50 %	12:00-13:00
	100 %	13:00-16:00

Tabell 3-8 Generelle beregningsforutsetninger for beregningsmodellen.

Yttervegg	Innervegg	Innvendig gulv/himling
Gipsvegg,	Gips	Parkett
Isolering	Luft	Trebjelkelag med isolering
Luft	Gips	Luft
Murstein		Gips

Tabell 3-9 Generell konstruksjonsoppbygging. For ytterveggen mot grunn representerer de øverste cellene det innvendige materialeg.

Oppvarmet gulvareal	[m ²]	10,8
Oppvarmet volumen	[m ³]	28
Yttervegger inkl. vinduer	[m ²]	6,9
Vegg mot andre rom	[m ²]	29,7
Vinduer S	[m ²]	2,25
Vindusareal pr gulvareal	[%]	21

Tabell 3-10 Sonespesifikke beregningsforutsetninger

Ventilasjonsmengden i cellekontoret styres etter romlufttemperaturen, ved et settpunkt på 25 °C. I ventilasjonsanlegget er det ikke inkludert kjøling og det medtas en temperaturøkning på tilluften over viften på 1 °C. Tilluftens minimumstemperatur er satt til 18 °C, og vil ved utetemperaturer høyere enn 17 °C være 1 °C høyere enn utetemperaturen.

Solskjermingen styres hvor mye direkte solstrålingen som transmitteres gjennom vinduet. Sett-punktet for solskjermingen er satt til 50 W/m² solstråling innvendig, hvilket svarer til en ekstern direkte solstrålingen på 200 W/m². Det er regnet med en g-verdi på vinduet på 0,25, dette tilsvarer gjerne et vindu med lystransmisjon på 50 %. Dette er den laveste anbefalte verdien før det merkbart går utover opplevelse av dagslys i rom med moderate mengder glass. Fordelen med lav g-verdi på vinduet er at det også beskytter når solskjermingen ikke er aktivert. Dette har stor betydning ved store glassarealer og ved dårligere solskjerming enn utvendig. Den totale solskjermingsfaktoren for vinduet og solskjermingen er 0,15 i henhold til kravet til rom med kjøling i TEK 10.

3.3.2 Tiltakspakke

Det er oppsatt en tiltakspakke mht. å sikre et tilfredsstillende inneklima, idet det tas utgangspunkt i det foregående litteraturstudiet. Tiltakene er som valgt mht. effektivitet, robusthet mod endringer i forutsetninger og driftssikkerhet. Tiltakene implementeres i den anbefalte rekkefølge i henhold til beskrivelsen i avsnitt 2.3, dvs. første prioritet er å forhindre varmetilførselen til rommet, kun deretter arbeides det med å fjerne den innkomne varme. Tiltakene fremgår av Tabell 3-11.

Andre tiltakspakker kan medvirke til å sikre et tilfredsstillende inneklima, men effektiviteten og forventede temperaturforhold bør da belyses egne dynamisk simuleringer av inneklimaet i det aktuelle bygget, slik at et godt termisk inneklima sikres.

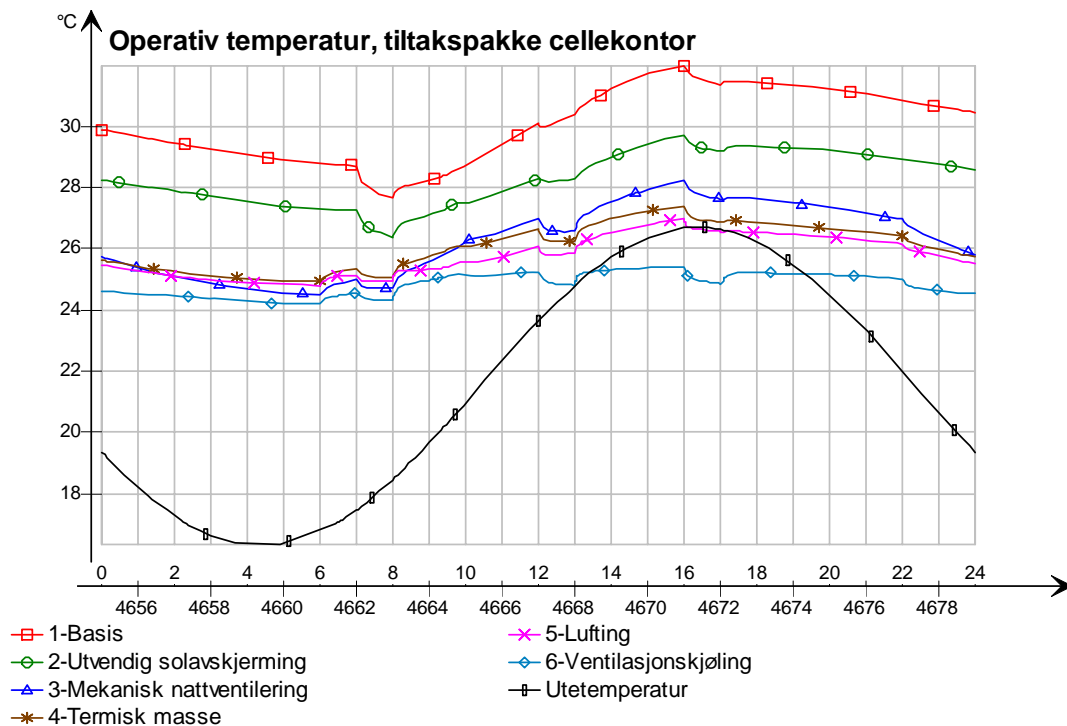
Nr.	Navn	Beskrivelse
1	Basis	Basissimuleringen er det opprinnelige cellekontor som oppfyller kravene i NS 3701 i forhold til varmetapstallet. Imidlertid er internlastene økt til totalt 24 W/m ² inklusiv personbelastning.
2	Utvendig solskjer-ming	Som simulering 1, men med utvendig solskjerming. Solskjermingsfaktoren for solskjermingen er 0,14, dvs. den totale solskjermingsfaktoren er 0,04.
3	Mekanisk nattventi-lering	Som simulering 2, men med økt mekanisk nattventilering. Driftstiden for den mekaniske nattventileringen er 22:00-6:00 og ventilasjonsmengden varierer mellom 3,6-8 (m ³ /h)/m ² og etter romluftstemperaturen.
4	Termisk masse	Som simulering 3, men med 100 % eksponert betonghimling, og betongdekker under tregulvet.
5	Lufting	Som simulering 4, men med mulighet for lufting. Når romlufttemperaturren er over 25 °C åpnes vinduet og ensidig naturlig ventilasjon brukes til å ventilere cellekontoret. Åpningsarealet er 0,2 m ² svarende til et luftskifte på 3 h ⁻¹ og åpnes bare når rommet er i bruk.
6	Ventilasjonskjøling	Som simulering 5, men med ventilasjonskjøling. Tilluftstemperaturen for ventilasjonen settes til 18 °C.

Tabell 3-11 Tiltakspakke for cellekontorer.

Enkelte scenarier for avvik fra tiltakspakken er vist i robusthetssimuleringene i avsnitt 3.3.3.

3.3.2.1 Resultater

Den operative temperaturen for tiltakspakken er gitt i Figur 3-9, sammen med utetemperaturen. Det er som før beregnet med tre like sommerdøgn.



Figur 3-9 Den operative temperaturen for tiltakspakken og utetemperaturen for det dimensjonerende sommerdøgn. Bemerk at de enkelte tiltakene inneholder endringene foretatt i de forrige tiltak, dvs. at eksempelvis tiltak 4 også inneholder utvendig solskjerming og mekanisk nattventilering.

Den operative temperaturen er maksimalt 32 °C for basissimuleringen. Det er lavere enn for boligalternativet primært fordi kontoret har vesentlig høyere luftmengder og en samlet g-verdi på 0,15 som er kravet i TEK 10.

Ved implementeringen av utvendig solskjerming får vi en reduksjon av innetemperaturen på 2 °C. Den beskjedne innflytelse den utvendige solskjermingen har, skyldes for en stor del kravet fra TEK 10 om total solskjermingsfaktor på 0,15 for solbelastede fasader. Dermed er solskjermingen i utgangspunktet forholdsvis god. Bemerk dog at kombinasjonen utvendig solskjerming og lysere glass er å foretrekke mht. å sikre gode dagslysforhold.

Varigheten på den operative temperaturen over 26 °C, 27 °C og 28 °C i løpet av året fremgår av Tabell 3-12. Timene som inngår i tabellen er bare timer i driftstiden, dvs. timer fra 8-16. I tillegg skal det bemerkes at ingen personer er tilstede i helgene.

	>26 °C	>27 °C	>28 °C
1-Basis	495	268	138
2-Utvendig solskjerming	211	81	25
3-Mekanisk nattventilering	58	14	0
4-Termisk masse	34	0	0
5-Lufting	13	0	0
6-Ventilasjonskjøling	0	0	0

Tabell 3-12 Varighetstall for timer over 26 °C, 27 °C og 28 °C i løpet av et år. Varighetstallene inkluderer kun driftstimer.

Resultatene for tiltak 3-5 viser at det er vanskelig å få den operative temperaturen under utetemperaturen, og under 26 °C det dimensjonerende sommerdøgn, uten bruk av kjøling. Tiltak 4 og 5 klarer imidlertid at reduseres antall timer med operative temperatur over 26 °C til under 50 timer i løpet av et år.

Det er dermed nødvendig å benytte ventilasjonskjøling, hvis den operative temperaturen skal reduseres til under 26 °C for det dimensjonerende sommerdøgn med beregningsforutsetningene gitt i avsnitt 3.3.1. Antall timer over 26 °C er på nivå med arbeidstilsynets anbefaling allerede etter implementering av tiltak 3, og at en god margin oppnås allerede ved tiltak 4.

Det bør bemerkes at timene som inngår i disse varighetene kun inkluderer driftstimer, dvs. timer i intervallet 8:00-16:00 på hverdager. Denne driftstiden er noe kortere enn det som er vanlig å benytte ved klimasimuleringer av kontorbygg, men anses å representere et realistisk bruk av et gjennomsnittskontor. Ved lengre driftstider vil timene over 26 °C øke.

Alle tiltak for å fjerne varmeoverskuddet ved ventilering vil føre til et økt energiforbruk. Økningen vil sannsynligvis være minst for vinduslufting og størst for ventilasjonskjøling. Selv om erfaringen tilsier at brukerne åpner vinduer for lufting selv om varmeanlegget står på, noe som ofte fører til unødvendig pådrag særlig når termostaten står plassert rett under vinduet. Dette kan raskt føre til svært høyt energiforbruk.

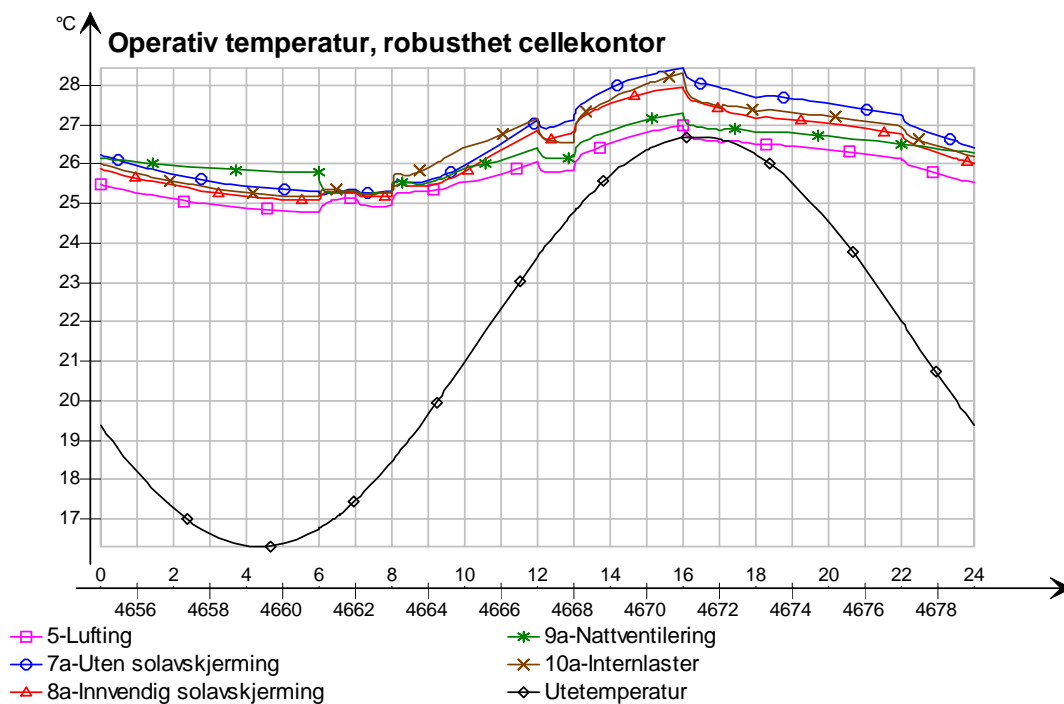
3.3.3 Robusthet

I tillegg til tiltakspakken, presentert i forrige avsnitt, undersøkes enkelte parametre som kan føre til et dårligere inneklima. For cellekontoret undersøkes innflytelsen av variasjon av solskjerming, redusert naturlig ventilasjon og økt internlast fra belysning og utstyr, se Tabell 3-13. Disse robusthetssimuleringene simuleres 2 ganger, både med utgangspunkt i tiltak 5 og 6, dvs. med og uten ventilasjonskjøling hvor alle de passive tiltakene er inkludert.

Nr.	Navn	Beskrivelse
7	Uten solskjerming	Utvendig solskjerming brukes ikke. Dette svarer til at brukerne overstyrer solskjermingen.
8	Innvendig solskjerming	Utvendig solskjerming erstattes med innvendig solskjerming. Denne solskjermingen er lik solskjermingen brukt i basissimuleringen.
9	Nattventilering	Nattventilasjon reduseres til ventilasjonsmengden brukt i basissimuleringen, dvs. 1 (m ³ /h)/m ² .
10	Internlast	Den totale internlasten økes fra 24 W/m ² til 48 W/m ²

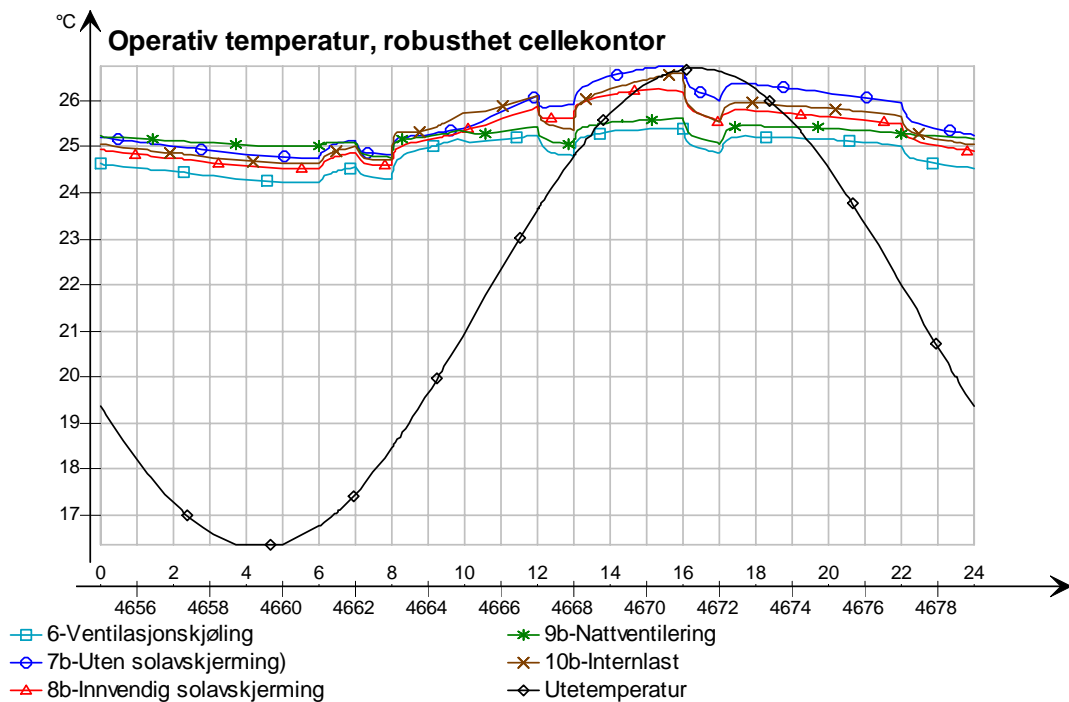
Tabell 3-13 Robusthetssimuleringene for cellekontoret.

Følgende figur viser robusthetssimuleringen hvor utgangspunktet er tiltak 5, dvs. uten ventilasjonskjøling.



Figur 3-10 Robusthetssimuleringene med utgangspunkt i tiltak 5, dvs. uten ventilasjonskjøling.

Figur 3-11 viser robusthetssimuleringene som tar utgangspunkt i tiltak 6, dvs. med ventilasjonskjøling.



Figur 3-11 Robusthetssimuleringene med utgangspunkt i tiltak 6, dvs. med ventilasjonskjøling

Begge serier av robusthetssimuleringer viser samme tendens for temperaturvariasjonen for de enkelte robusthetssimuleringene. Tiltakene med varierende solskjerming og med økte internlast fører alle til temperaturstigninger på over 1 °C, mens redusert nattventilering fører til mindre enn 0,5 °C forskjell. Ingen av de enkelte robusthetsanalysene fører til en temperaturøkning over 1,5 °C, men for robusthetssimuleringene med ventilasjonskjøling er det bare nattventileringen som kan fjernes uten å overskride 26 °C. Det er viktig å være oppmerksom på at årsaken til at temperaturøkningen ikke blir større ved økte internlast og soltilskudd kan ligge i at ventilasjonsstrategiene kjører automatisk med høyere luftmengder grunnet VAV. Det vil derfor få en energimessig konsekvens som ikke vises her.

Det er, som på eneboligen, endring av solskjermingstype og internlastene som fører til størst endringer i det termiske inneklimaet. Resultatene i robusthetssimuleringene viser bare endringene i det termiske inneklimaet ved endring av en parameter, men hvis flere parametre endres samtidig vil dette føre til større temperaturvariasjoner enn vist på figurene. Det er derfor viktig at beregningsforutsetningene i simuleringen av det termiske inneklimaet er så reelle som mulig slik at resultatene for simuleringen av det termiske inneklimaet blir troverdige.

Tiltakspakken for cellekontoret, vist i Tabell 3-11, fører altså med stor sannsynlighet til et godt termisk inneklima, særlig hvis kjøling av ventilasjonsluften medtas.

3.3.4 Diskusjon

De foregående avsnitt viser at det er mulig å sikre et robust inneklima ved bruk av forholdsvis enkle kombinasjoner av passive og aktive løsninger. Ytterligere er det vist at de viktigste tiltak er kvalitet på solskjerming og oppnådd temperatursenkning utenfor driftstid.

Det er mulig å holde antallet timer med temperaturer over 26 °C under 50 timer på årsbasis, uten at benytte ventilasjonskjøling, men temperaturen det dimensjonerende sommerdøgn vil være høyere enn dette. Ved disse betingelser kan tilfredsstillende inneklimate dokumenteres iht. adaptive komfort kriterier, men dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Fremgangsmåten med å prioritere reduksjon av belastninger, og først senere fjerning av varme, kan ses som unødvendig her da ventilasjonskjøling er et særdeles effektivt tiltak til reduksjon av varme. Her bør det bemerkes at denne fremgangsmåten er også viktig av energimessige hensyn, da ventilasjonskjølingens driftstid kan reduseres.

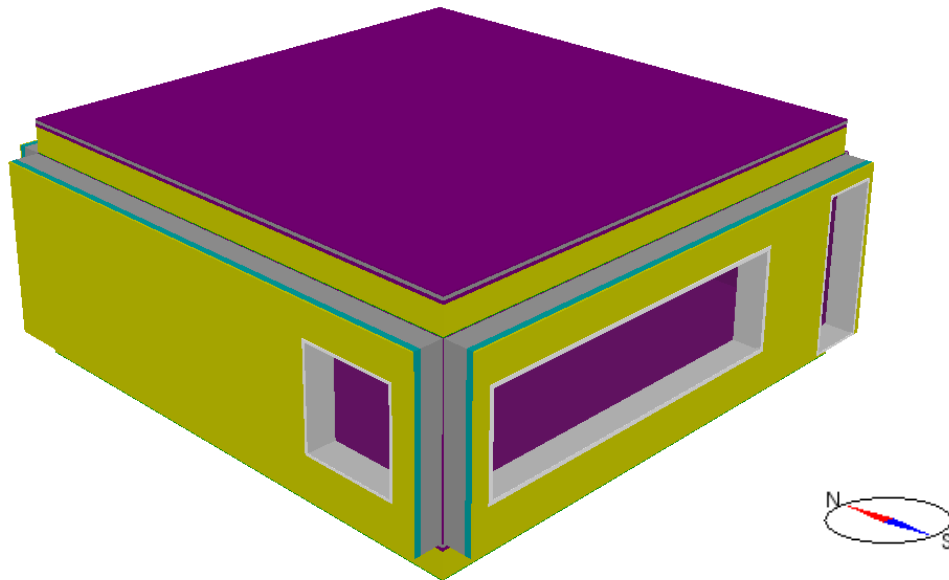
Det er her arbeidet med et cellekontor, mens mye av de kontorarealer som bygges i dag er kontorlandskap. Kontorlandskap vil ha en noe høyere tetthet på brukere, men imot kommer at samtidighet i bruk vil kunne føre til lignende beregningsforutsetninger. Det forventes derfor at disse resultater er overførbare til kontorlandskap, med unntak av lufting og dokumentasjon av adaptiv komfort. Idet dette krever en del samarbeidsvilje av brukerne, og det er lite sannsynlig at en bruker vil føle nok kontroll over luftingen til at dette påvirker deres oppfattelse av inneklimate. Adaptiv komfortmodell kan derfor ikke brukes her.

Tiltakspakkens robusthet er god, med unntak av at frafall av, eller valg av verre, solskjerming eller/og en betydelig økning av de interne laster. Dette gjelder særlig hvis ventilasjonskjøling ikke benyttes.

Bemerk at andre hensyn som ikke er inkludert her, som for eksempel en økning av vindusarealet, kan gi store utslag for temperaturnivået. Det er her arbeidet med moderate vindusarealer, idet dette anses som sannsynlig i passivhus.

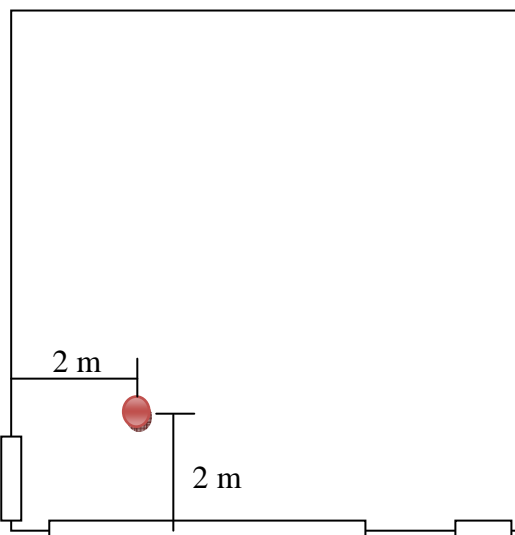
3.4 Skole

For skolescenarioet modelleres et klasserom på 68 m² og en romhøyde på 2,7 m. Klasserommet er modellert med 30 personer og har ytterfasade mot sør og vest. Verken gulvet eller himlingen er del av klimaskjermen. En 3D visualisering av beregningsmodellen fremgår av Figur 3-12.



Figur 3-12 3D visualisering av beregningsmodellen.

I avsnitt 3.1 ble det beskrevet at den operative temperaturen er en funksjon av brukerens plassering i rommet, dvs. det spesifikke beregningspunkt for den operative temperatur. I klasserommet er dette beregningspunktet plassert 2 m fra sørfasaden og 2 m fra vestfasaden, se Figur 3-13. Klasserommet er kvadratisk med målene 8,25 m x 8,25 m.



Figur 3-13 Plassering av beregningspunktet for den operative temperatur.

3.4.1 Beregningsforutsetninger

De generelle beregningsforutsetninger fremgår av Tabell 3-14 og Tabell 3-15, mens de sonespesifikke beregningsforutsetninger fremgår av Tabell 3-16.

U-verdi vegg	[W/m ² K]	0,1
U-verdi gulv	[W/m ² K]	0,1
U-verdi vindu	[W/m ² K]	0,7
g-verdi vindu	[-]	0,4
Lekkasjetall n ₅₀	[h ⁻¹]	0,5
g-verdi solskjerming	[-]	0,4
Normalisert kuldebroverdi	[W/m ² K]	0,03
Totalt varmetapstall	[W/m ² K]	0,55
Ventilasjonsmengde (VAV)	[m ³ /hm ²]	4-20
Ventilasjonsmengde utenfor drift	[m ³ /hm ²]	1
Driftstid ventilasjonsanlegg		7:00-18:00
Personer	[W/m ²]	50
Belysning	[W/m ²]	4,5
Utstyr	[W/m ²]	10
Driftstid personer, belysning og utstyr		Se Figur 3-14

Tabell 3-14 Generelle beregningsforutsetninger.

Yttervegg	Innervegg	Innvendig gulv/himling
Gipsvegg,	Gips	Parkett
Isolering	Luft	Trebjelkelag med isolering
Luft	Gips	Luft
Tre		Gips

Tabell 3-15 Generell konstruksjonsoppbygning. For ytterveggen representerer de øverste cellene det innvendige materialeg.

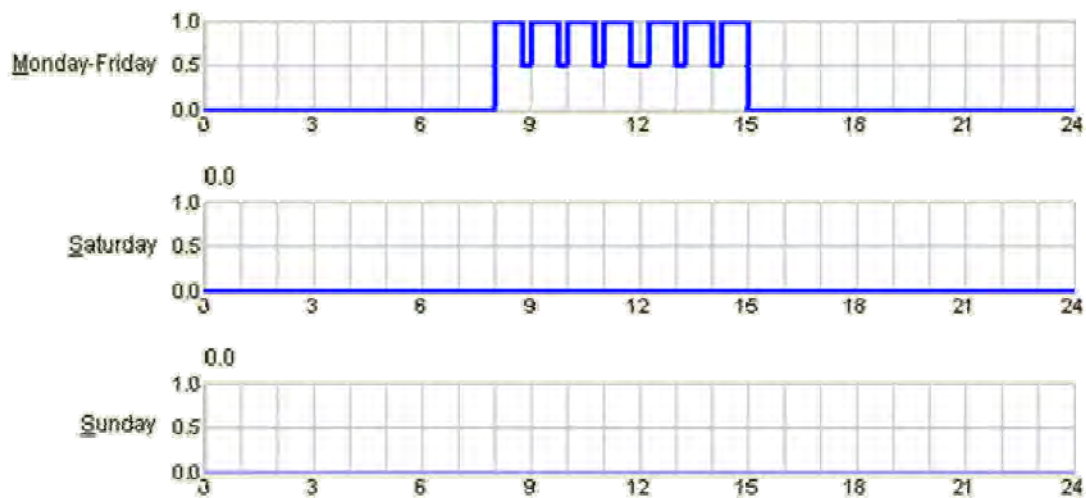
Oppvarmet gulvareal	[m ²]	68
Oppvarmet volumen	[m ³]	184
Yttervegger inkl. vinduer	[m ²]	45
Vegg mot andre rom	[m ²]	45
Vinduer S	[m ²]	11,3
Vinduer V	[m ²]	2,5
Vindusareal av gulvareal	[%]	20

Tabell 3-16 Sonespesifikke beregningsforutsetninger.

Ventilasjonsmengden i cellekontoret styrt etter temperatur- og CO₂-nivået i rommet. Settpunktet for temperaturstyring er 25 °C og styres etter romlufttemperaturen, mens settpunktet for CO₂ konsentrasjonen er 1100 ppm. I ventilasjonsanlegget er det ikke inkludert kjøling og det er inkludert en temperaturøkning på tilluften over viften på 1 °C. Tillufttemperaturen vil derfor alltid være 1 °C høyere enn utetemperaturen, med en minimumstemperatur for tilluften på 18 °C.

Solskjermingen styrer hvor mye direkte solstråling som transmitteres gjennom vinduet. Settpunktet for solskjermingen er satt til 80 W/m², hvilket svarer til en direkte ekstern solstråling på 200 W/m².

Driftstiden for internlastene, dvs. personer, belysning og utstyr er vist på Figur 3-14. Driften er oppsatt slik at internlastene er på mellom 8:00 – 15:00, hvor internlastene er 100 % i 45 min og deretter 15 min med 50 %, I tillegg er det lagt inn lunsjpause mellom 11:45 og 12:15 med 50 %.



Figur 3-14 Driftstider for personer, belysning og utstyr.

3.4.2 Tiltakspakke

Det er som før oppsatt en tiltakspakke mht. å sikre et tilfredsstillende inneklima, idet det tas utgangspunkt i litteraturstudiet. Tiltakene er som valgt mht. effektivitet, robusthet mot endringer i forutsetninger og driftssikkerhet. Tiltakene implementeres i den anbefalte rekkefølge i henhold til beskrivelsen i avsnitt 2.3, dvs. første prioritet er å forhindre varmetilførselen til rommet, kun deretter arbeides det med å fjerne og lagre den innkomne varme.

Andre tiltakspakker kan medvirke til å sikre et tilfredsstillende inneklima, men effektiviteten og forventede temperaturforhold bør da belyses med egne dynamiske simuleringer av inneklimaet i det aktuelle bygget, slik at et godt termisk inneklima sikres. Tiltakene fremgår av Tabell 3-17.

Nr.	Navn	Beskrivelse
1	Basis	Basissimuleringen er den opprinnelige modellen som oppfylder kravene i NS 3701 vedrørende varmetapstallet. Imidlertid er internlastene endret til 14,5 W/m ² for belysning og utstyr og 50 W/m ² for personer, idet dette er erfaringsmessig mer realistisk.
2	Utvendig solskjerming	Som simulering 1, men med utvendig solskjerming. Solskjermingsfaktoren for solskjermingen er 0,14, dvs. den totale solskjermingsfaktoren er 0,06. Solskjermingen er på, når den direkte transmitterte solstrålingen gjennom vinduet er over 80 W/m ² . Dette svarer til 200 W/m ² eksternt på bygget.
3	Mekanisk nattventilering	Som simulering 2, men med økt mekanisk nattventilering. Driftstiden for den mekaniske nattventileringen er 22:00-6:00 og ventilasjonsmengden er 4-10 m ³ /m ² h og styres etter temperaturen, dvs. VAV.

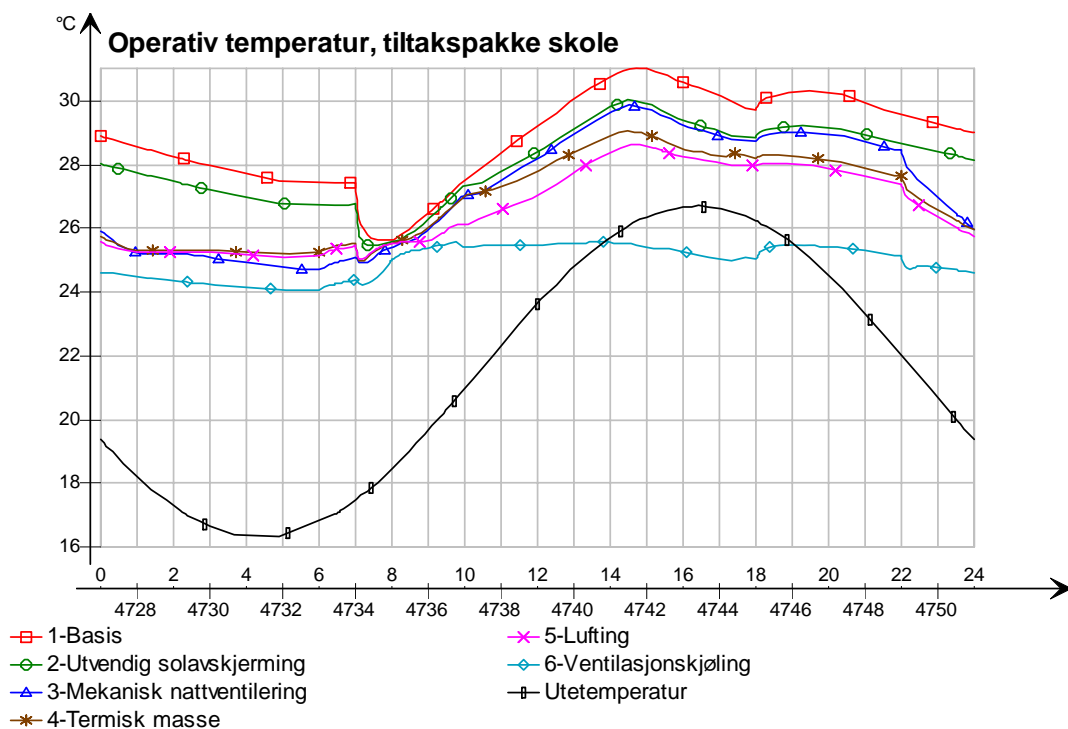
4	Termisk masse	Som simulering 3, men med 50 % eksponert betonghimling med en tykkelse på 0,3 m.
5	Lufting	Som simulering 4, men med mulighet for lufting. I pausene åpnes 2 vinduer svarende til et luftskifte på 1 h^{-1} , dvs. ca. 15 min pr. time.
6	Ventilasjonskjøling	Som simulering 5, men med ventilasjonskjøling. Tilluftstemperaturen for ventilasjonen settes til $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabell 3-17 Tiltakspakken for skole.

Effekten av enkelte relevante scenarier for avvik fra tiltakspakken er vist i robusthetssimuleringene som fremgår i avsnitt 3.4.3.

3.4.2.1 Resultater

Figur 3-15 viser den operative temperaturen for tiltakspakken, hvor underlaget for klimadataene er det dimensjonerende sommerdøgn. Utetemperaturen for det dimensjonerende sommerdøgn er likeledes vist på figuren.

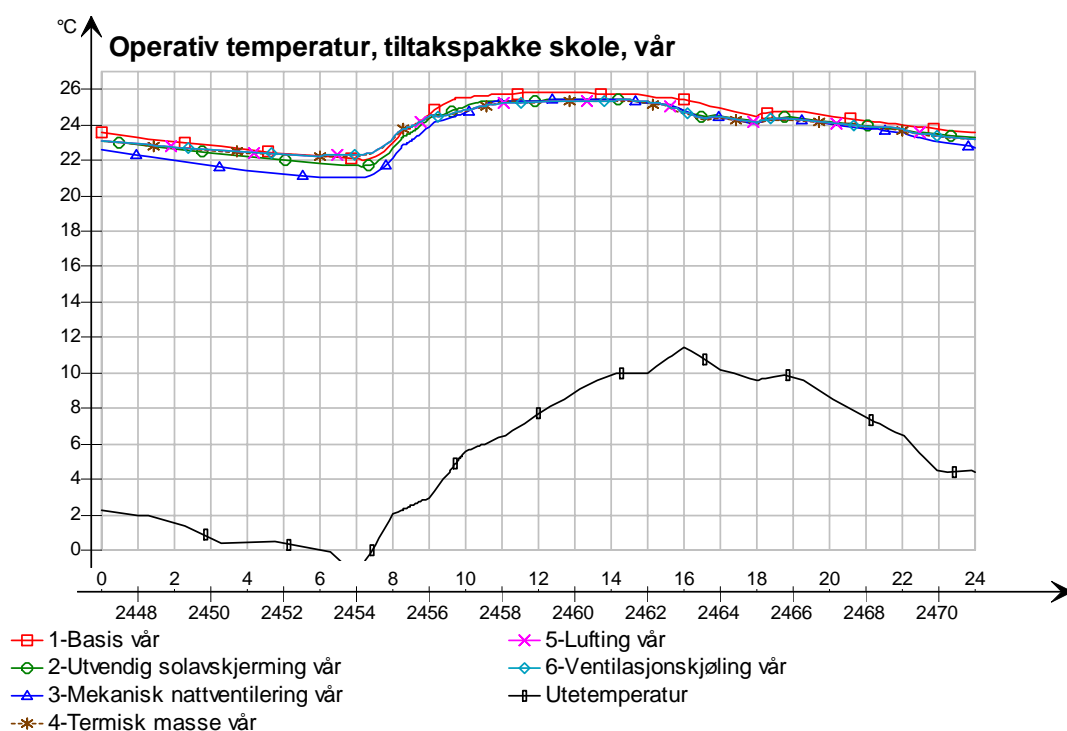


Figur 3-15 Den operative temperatur for tiltakspakken hvor underlaget for klimadataene er det dimensjonerende sommerdøgn. Bemerk at de enkelte tiltakene inneholder endringene foretatt i de forrige tiltak, dvs. at eksempelvis tiltak 4 også inneholder utvendig solskjerming og mekanisk nattventilering.

Av resultatene for tiltakspakken fremgår det, at den maksimale operative temperaturen er over $28 \text{ }^\circ\text{C}$ det dimensjonerende sommerdøgn for basis og tiltak 1 til 5. Disse tiltak har forholdsvis moderat effekt på temperaturen. Dette skyldes i at temperaturen i stor grad er drevet av de høye internlastene, og at ikke nok varme blir fjernet om natten til at dagen starter et lavt temperaturnivå. Dermed har de passive tiltak moderat effekt i dette høylastscenariet. Det er ikke før ventilasjonskjøling introduseres at temperaturen blir redusert til akseptabelt nivå.

Resultatene fra de enkelte tiltakene viser at utvendig solskjerming og termisk masse har størst innflytelse på det termiske innklimaet. Ytterligere vil effekten av termisk masse bli større, når ventilasjonsskjøling er implementert, da den termiske masse går gjennom en større temperaturendring. Økning av den mekaniske nattventileringen og lufting i driftstiden har imidlertid ikke stor effekt, hvilket skyldes at ventilasjonsmengden fra det mekaniske ventilasjonsanlegget i basissimuleringen allerede er høy og at utetemperaturen er høy når det luftes. Luftmengden fra det mekaniske ventilasjonsanlegget må være på det nivået som benyttes her, grunnet den store CO₂ belastning fra personene.

Det kan diskuteres om det termiske innklimaet i skoler skal dimensjoneres etter det dimensjonerende sommerdøgn, da de fleste skoler ikke driftes i sommerferien selv om det finnes unntak herfra. Figur 3-16 viser derfor den operative temperaturen for tiltakspakken, hvor underlaget for klimadataene er et skyfritt vårdøgn.



Figur 3-16 Den operative temperatur for tiltakspakken hvor underlaget for klimadataene er et skyfritt vårdøgn. Utetemperaturen fremgår av figuren. Bemerk at de enkelte tiltakene inneholder endringene foretatt i de forrige tiltak, dvs. at eksempelvis tiltak 4 også inneholder utvendig solskjerming og mekanisk nattventilering.

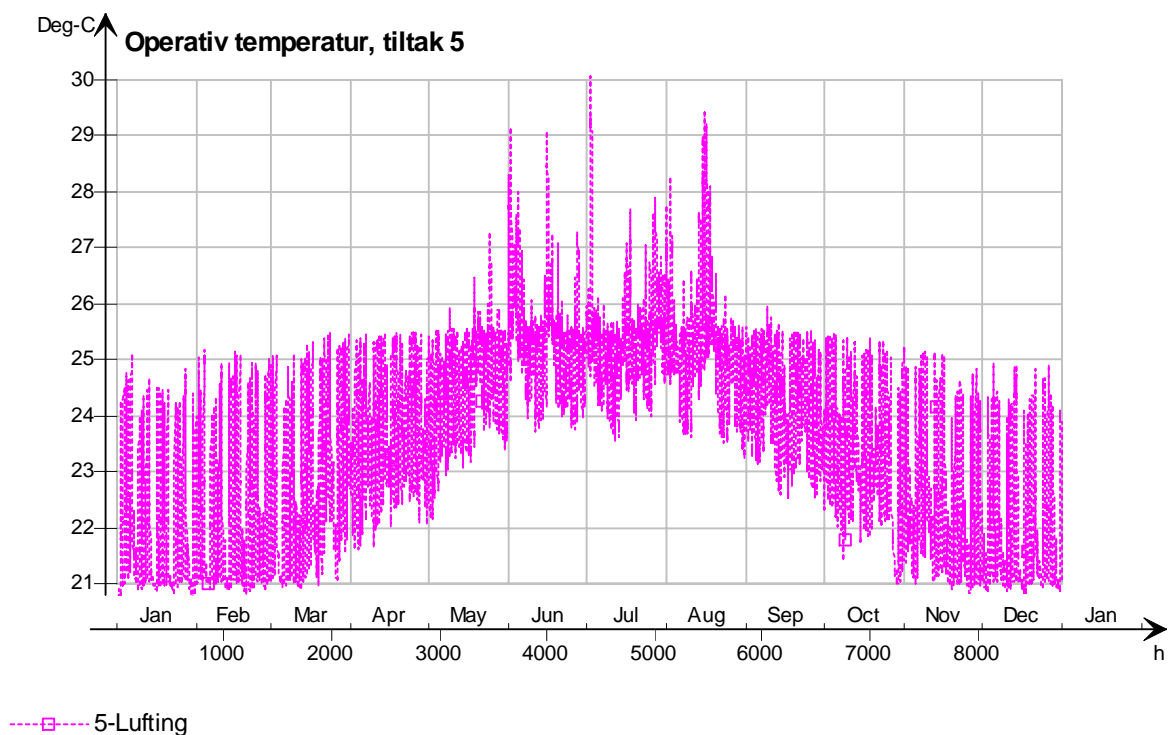
Den høye ventilasjonsmengde kombinert med den lavere utetemperaturen fører til at den operative temperaturen ikke overskrider 26 °C dette døgnet. Tilluftstemperaturen på våren er mye lavere enn på sommeren, hvilket fører til at varmeoverskuddet i rommet fjernes ved hjelp av det mekaniske ventilasjonsanlegget uten at ventilasjonsskjøling behøves.

Varigheten av timer med operative temperaturer over 26 °C, 27 °C og 28 °C i løpet av et år fremgår av Tabell 3-18. Timene som inngår i tabellen er kun driftstimer, dvs. timer tidsrommet 8:00-16:00 på hverdager.

	>26 °C	>27 °C	>28 °C
1-Basis	295	149	85
2-Utvendig solskjerming	187	103	52
3-Mekanisk nattventilering	173	92	46
4-Termisk masse	167	74	27
5-Lufting	90	40	16
6-Ventilasjonskjøling	0	0	0

Tabell 3-18 Varigheten av den operative temperaturen over 26 °C, 27 °C og 28 °C i løpet av et år. Bemerk at det bare er driftstimene som inngår i tabellen, dvs. timene mellom 8:00-16:00.

De fleste timer med høye temperaturer forekommer om sommeren, hvor bygget kanskje ikke driftes, se Figur 3-17 hvor operative temperaturen over året for tiltak 5 fremgår.



Figur 3-17 Variasjonen av den operative temperaturen i løpet av et år, etter implementering av tiltak 5, men uten ventilasjonskjøling.

Hvis varigheten av timer i skoleråret, her definert som 5 dagers uke med sommerferie 15/6-15-8, trekkes ut fås varigheten i Tabell 3-19.

	>26 °C	>27 °C	>28 °C
1-Basis	150	61	37
2-Utvendig solskjerming	75	43	25
3-Mekanisk nattventilering	69	39	22
4-Termisk masse	64	32	15
5-Lufting	40	20	8
6-Ventilasjonskjøling	0	0	0

Tabell 3-19 Varigheten av den operative temperaturen over 26 °C, 27 °C og 28 °C i løpet av et skoleår dvs. eksklusiv tidsrommet 15. Juni til 15. August. Bemerk at det bare er driftstimene som inngår i tabellen, dvs. timene mellom 8:00-16:00.

Det er derfor nærliggende å konkludere at det er mulig å unngå ventilasjonskjøling hvis denne begrensning i mulig brukstid aksepteres. Bemerk dog at det å inkludere ventilasjonskjøling medfører økt robusthet for endring i forutsetningene som haves ikke etter implementering tiltak 5.

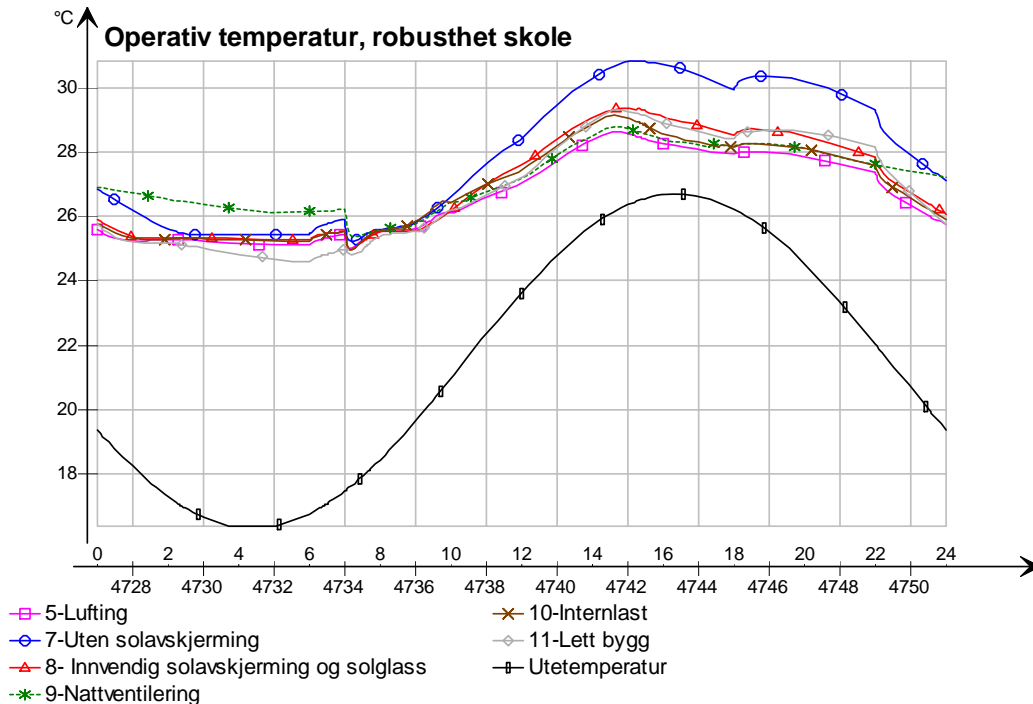
3.4.3 Robusthet

I tillegg til tiltakspakken for skoler, presentert i forrige avsnitt, undersøkes enkelte parametre som kan føre til et dårligere innklima. For skolen undersøkes innflytelsen av variasjon av solskjerming, redusert nattventilering, økt internlast fra belysning og utstyr samt fjerning av termisk masse, se Tabell 3-20. Alle simuleringene tar utgangspunkt i simulering nr. 5, dvs. hvor alle de passive tiltakene er implementert i boligen uten å inkludere ventilasjonskjøling og underlaget for klimadataene for simuleringene er det dimensjonerende sommerdøgn.

Nr.	Navn	Beskrivelse
7	Uten solskjerming	Utvendig solskjerming brukes ikke. Dette svarer til at brukerne overstyrer solskjermingen, eller at denne ikke installeres.
8	Innvendig solskjerming	Utvendig solskjerming erstattes med innvendig solskjerming og solskjermingsglass. Solskjerminens g-verdi økes dermed til 0,6 og g-verdien for glasset reduseres til 0,25.
9	Nattventilering	Nattventilering økes ikke, dvs. nattventileringen reduseres i til ventilasjonsmengden brukt i basissimuleringen.
10	Internlast	Internlast fra belysning og utstyr økes fra 14,5 W/m ² til 25 W/m ²
11	Lett bygg	Alle konstruksjoner erstattes med lette konstruksjoner

Tabell 3-20 Robusthetssimuleringene for skole

Den operative temperaturen for robusthetssimuleringene er vist på Figur 3-18.



Figur 3-18 Den operative temperaturen for robusthetsanalysene, hvor simulering 7-11 tar utgangspunkt i simulering 5. Underlaget for klimadataene er det dimensjonerende sommerdøgn i Oslo.

Resultatet av robusthetssimuleringene viser at den utvendige solskjermingen har størst innflytelse på det termiske innklimaet og fører til en temperatur økning på 2 °C. De resterende tiltakene fører til en maksimal temperaturøkning på 1 °C enkeltvis.

Bemerk at et betydelig større utslag fås for alle robusthetssimuleringene hvis det beregnes uten ventilasjonskjøling.

3.4.4 Diskusjon

De foregående avsnitt viser at det er mulig å sikre et robust innklima ved bruk av en forholdsvis enkel kombinasjon av passive og aktive løsninger. Ytterligere er det vist at de viktigste hensyn er kvalitet på solskjerming, internlast, oppnådd temperatursenkning utenfor driftstid.

Akseptabelt innklima krever ventilasjonskjøling, hvis bygget skal kunne driftes i sommermånedene. Hvis bygget ikke driftes i sommerferien, kan derimot ventilasjonskjøling utelates.

Beregningene viser en forholdsvis moderat effekt av lufting i pauser ved sommertilstand, dette er sannsynligvis forårsaket av at utetemperaturen er på nivå med innetemperaturen. Drivkraften for ensidig ventilasjon og effekten av det luftskifte som fås er dermed moderat. Det er etter vår vurdering lite realistisk at forutsette at det luftes under hele brukstiden, grunnet forstyrrelser fra bruk av utearealer. Det kan også tenkes at vinduslufting er problematisk hvis noen av brukerne har pollenallergi.

Her er det benyttet 20 W teknisk utstyr per bruker, noe som svarer til en iPad per elev eller en

liten bærbar per to elever. Det bør bemerkes at det er vår erfaring at det opereres med høyere tekniske laster ved planlegging av skoler. Det er faktisk ikke uvanlig at det opereres med en bærbar på 50 W per elev. Slike laster er etter vår erfaring urealistiske mht. det virkelige bruk av skoler, og vil alltid medføre mer omfattende klimatekniske installasjoner som for eksempel ventilasjonskjøling med høy luftmengde og/eller vannbåren kjøling.

4. OPPSUMMERING

Den innværende del av rapporten omhandler teori, erfaringer og anbefalinger til design prosedyre mht. å redusere timer med av høye temperaturer i passivhus. Designprosedyren er enkel å følge og har kun tre steg:

1. Forhindre varmetilførsel til rom
2. Planlegge metode for å fjerne varmeoverskudd
3. Sørge for tilstrekkelig varmelagring

Designprosedyren er utdypet og vist implementert på en bolig, et cellekontor og et klasserom. Hvor det er vist at akseptable termiske forhold kan sikres uten omfattende klimainstallasjoner.

Rapporten indikerer at høye temperaturer i passivhus, ikke er forårsaket av at byggene materialekvaliteter. Men heller av uhensynsmessig bygningsdesign som ikke tar hensyn til solens innflytelse på temperaturforholdene i bygget, og hvilke tiltak kan redusere timer med høye temperaturer. Noe som stemmer med rapportforfatterens erfaring fra mange byggeprosjekter.

Den foreslåtte designprosedyren bør derfor vurderes implementert langt flere byggeprosjekter enn de som har passivhusambisjoner.

Erichsen & Horgen A/S

Erichsen & Horgen A/S er Norges største selvstendige rådgiverfirma innen VVS, klima, kulde, energi og miljø, med hovedkontor i Nydalen i Oslo. Firmaet ble grunnlagt i 1925 og har i dag ca. 80 ansatte.

Erfaring gjennom mange tiår har lagt grunnlaget for Erichsen & Horgen A/S' nåværende virksomhet, med prosjektering av landbaserte bygg i alle kategorier; boliger, helsebygg, idrettsanlegg, kulturbygg, laboratoriebygg, næringsbygg, undervisningsbygg og verneverdige bygg, samt forsknings- og utviklingsoppdrag. Firmaet har en lang tradisjon for å arbeide med forsknings- og utviklingsoppdrag og har deltatt aktivt i utforming av regelverk, standarder og veiledende materiale innen for VVS, energi og inneklimate.

Erichsen & Horgen A/S har som mål at være ledende innen prosjektering av miljø- og energiriktige bygg i Norge. Vår styrke skal være gjennom høyt kvalifiserte medarbeidere å løse problemstillinger på en faglig god og helhetlig måte. Denne styrken skal bidra til verdiskapning for våre oppdragsgivere og å styrke vår konkurransevne.

ISBN 978-82-92982-02-0