



OSLO METROPOLITAN UNIVERSITY
STORBYUNIVERSITETET

OsloMet – storbyuniversitetet
Institutt for Bygg- og energiteknikk
Energi og miljø i bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

OPPGAVE/KANDIDAT NR.

12

TILGJENGELIGHET

Åpen

Telefon 67 23 50 00
www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

MASTEROPPGAVENS TITTEL	DATO
Vurdering av metoder for beregning av effektbehov på romnivå.	15.06.2020
	ANTALL SIDER/ANTALL VEDLEGG
	58/4
FORFATTER	VEILEDER
Oda Theis	Tor Arvid Vik

UTFØRT I SAMARBEID MED	KONTAKTPERSON

SAMMENDRAG

Ved hjelp av intervjuer, beregninger og simuleringer har denne oppgaven vurdert om underdimensjonering på romnivå kan forekomme i nye bygg. Det er sammenlignet beregningsmetoder for effektdimensjonering på romnivå for både stasjonære og dynamiske beregninger. Det er undersøkt til hvor stor grad ventilasjon, vinduets U-verdi, termisk masse, klimadata og beregningsprogram påvirker rommets dimensjonerende effektbehov. Det viser seg at underdimensjonering av effektbehov på romnivå kan forekomme når det anvendes stasjonære beregninger.

Samspill mellom varmeanlegg, ventilasjonsanlegg, uteklima og bygningsmaterialer er avgjørende for å kunne estimere et riktig effektbehov til romoppvarming. Nye og energisparende tekniske anlegg, er mer komplekst og behovstyrt i dagens byggebransje enn de var tidligere. Stasjonær beregning av effektbehov er derfor mangelfull nettopp fordi den er stasjonær. Ved å benytte dynamiske beregningsmetoder vil man kunne forutsi forventet effektbehov ved riktige forutsetninger for regulering av ventilasjon-og varmeanlegg, klima og bygningens termiske egenskaper.

3 STIKKORD

Effektbehov til varme

Vurdering av beregningsmetoder

Romnivå

Forord

Denne rapporten er resultatet av arbeidet med avsluttende masteroppgave på studiet Energi og miljø i bygg ved universitetet OsloMet. Masteroppgaven er utarbeidet våren 2020, og teller 30 studiepoeng.

Coronaepidemien som traff Norge denne våren gjorde det utfordrende å gjennomføre arbeidet med denne oppgaven som planlagt. Jeg vil i den sammenheng takke Torbjørn Stensrud for hjelpen med å komme i kontakt med dyktige fagpersoner innen VVS-faget for gjennomføring av intervjuer. En stor takk til alle fagpersonene som tok seg tid til å besvare spørsmål i forbindelse med forskningsarbeidet.

Jeg må også få takke jobben min, Structor Tekniske Systemer, for forståelse og muliggjøring av å kunne ta en mastergrad ved siden av jobb. Takk til Ine Rundberget for umettelig oppmuntring og støtte gjennom arbeidet tilknyttet masteroppgaven. Takk til Peter Schild for utarbeiding og tilgang til nye klimafilmer.

Jeg avslutter nå fem år på OsloMet. Jeg må derfor rette stor takk til universitetet som har vært med på å gi meg de beste forutsetninger til å ta fatt i arbeidslivet.

Sist men ikke minst, må jeg få takke Tor Arvid Vik for god veiledning til innhold og oppgavestruktur. Tusen takk for god oppfølging fra start til slutt!

Abstract

Using interviews, calculations and simulations, this thesis assessed whether heating calculations at room level is sufficient in new buildings. Comparative methods for power dimensioning at room level have been compared for both stationary and dynamic calculations. It has been investigated to what extent ventilation, the window's U-value, thermal mass, climate data and calculation program influence the room's design power requirements. The interview result indicates that several methods are used to estimate the power requirements for space heating. In most cases, the calculation is made stationary. Dynamic calculations are used to compare the stationary power demand with dynamic simulation, or the dynamic simulations are used only to investigate thermal indoor climate in the room.

The crucial difference between stationary and dynamic computation is that dynamic computation takes into account variations in heat additions inside the room and varying outdoor temperatures and solar radiation. In this paper, it has been shown that rooms can become under-dimensioned when heat additions from ventilation and room heating are varied.

The study has also shown that thermal mass plays a crucial role in the user's ability to regulate setpoint temperature in the room. It takes a long time to reach the desired room temperature in rooms with high thermal mass. In addition to time constant for temperature increase, high thermal mass can be advantageous and energy saving. During periods where outdoor temperature drops over a short period of time, the thermal mass maintains the room temperature by its storage capacity and conductivity, so that heat effect is stored in the structure. This makes power supply in the room sufficient under these conditions.

Interaction between heating systems, ventilation systems, outdoor climate and building materials is crucial in order to be able to estimate the correct power demand for room heating. New and energy-saving technical plants are more complex and need-driven in today's construction industry than they were before. Stationary calculation of power requirements is therefore deficient precisely because it is stationary. By using dynamic calculation methods, it is possible to predict the expected power requirements under the right conditions for the regulation of ventilation and heating systems, climate and the building's thermal properties.

Sammendrag

Ved hjelp av intervjuer, beregninger og simuleringer har denne oppgaven vurdert om underdimensjonering på romnivå kan forekomme i nye bygg. Det er sammenlignet beregningsmetoder for effektdimensjonering på romnivå for både stasjonære og dynamiske beregninger. Det er undersøkt til hvor stor grad ventilasjon, vinduets U-verdi, termisk masse, klimadata og beregningsprogram påvirker rommets dimensjonerende effektbehov.

Intervjuresultatet tilsier at det benyttes flere metoder for å estimere effektbehov til romoppvarming. I de fleste tilfeller gjøres beregningen stasjonært. Det anvendes dynamiske beregninger for å sammenligne det stasjonære effektbehovet med dynamisk eller så benyttes simuleringverktøy kun for å undersøke termisk inneklimate i rommet.

Den avgjørende forskjellen mellom stasjonær og dynamisk beregning er at dynamisk beregning tar hensyn til variasjoner i varmetilskudd inne i rommet og varierende utetemperaturer og solinnskudd. I denne oppgaven er det vist at rom kan bli underdimensjonert når varmetilskudd fra ventilasjon og romoppvarming varierer.

Undersøkelsen har også vist at termisk masse spiller en avgjørende rolle når brukeren skal kunne regulere settpunkttemperatur i rommet. Det tar lang tid å nå ønsket romtemperatur i rom med høy termisk masse. Forutenom tidskonstant for temperaturøkning, kan høy termisk masse være fordelaktig og energisparende. I perioder hvor utetemperatur synker over kort tid, ivaretar den termiske massen romtemperaturen ved at dens lagringsevne og treghet gjør at varmeeffekt lagres i konstruksjonen. Dette gjør av effekttilførsel i rommet er tilstrekkelig under disse forutsetningene.

Samspill mellom varmeanlegg, ventilasjonsanlegg, uteklimate og bygningsmaterialer er avgjørende for å kunne estimere et riktig effektbehov til romoppvarming. Nye og energisparende tekniske anlegg, er mer komplekst og behovstyrt i dagens byggebransje enn de var tidligere. Stasjonær beregning av effektbehov er derfor mangelfull nettopp fordi den er stasjonær. Ved å benytte dynamiske beregningsmetoder vil man kunne forutsi forventet effektbehov ved riktige forutsetninger for regulering av ventilasjon-og varmeanlegg, klima og bygningens termiske egenskaper.

Innhold

Forord	i
Abstract	ii
Sammendrag	iii
Innholdsfortegnelse	vii
Tabelloversikt	ix
Figuroversikt	xi
Symboloversikt	xii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn for valg av tema	1
1.2 Formål og Problembeskrivelse	2
1.3 Omfang og begrensninger	2
1.4 Oppgavens oppbygging	3
2 Teori	5
2.1 Termisk inneklime	5
2.2 Termisk komfort	6
2.2.1 PMV-indeks	6
2.2.2 PPD-indeks	6
2.2.3 Operativ temperatur	6

2.3	Grunnlag for dimensjonering av effektbehov	7
2.3.1	Transmisjonstap	7
2.3.2	Infiltrasjonstap	8
2.3.3	Varmetapskoeffisienten	8
2.3.4	Internlast	8
2.3.5	Dimensjonerende utetemperatur (DUT)	8
2.3.6	Termisk masse	9
2.3.7	Soltilskudd	9
3	Krav og forutsetninger	11
3.1	TEK17 - Byggeteknisk forskrift	11
3.1.1	TEK17 §13-4 krav til termisk inneklima	11
3.1.2	TEK17 §13-3 krav til ventilasjon	12
3.1.3	TEK17 §14-2: krav til energieffektivitet:	12
3.2	Arbeidsmiljøloven §444	13
3.2.1	Temperatur	13
3.2.2	Ventilasjon	13
3.3	Norsk Standard	13
3.3.1	NS-EN 12831-1	14
3.3.2	NS 3031	14
3.3.3	NS-EN 15251	14
4	Metode	15
4.1	Intervjumetode	16
4.1.1	Intervjuspørsmål	16
4.1.2	Intervjuprofiler	17
4.2	Rommodell	19
4.3	Stasjonær beregningsmetode	22
4.3.1	Effektbehov til romoppvarming i henhold til NS-EN 12831-1	22
4.3.2	Transmisjonsvarmetap	23
4.3.3	Infiltrasjonsvarmetap	23
4.3.4	Varmetap som følger av ventilasjon	23
4.3.5	Gjennoppvarmingsbehov ved nattsinking	24
4.4	Dynamisk beregningsmetode	24
4.4.1	SIMIEN	24
4.4.2	IDA ICE	25
4.5	Gullstandard	26

5	Resultat og Diskusjon	27
5.1	Intervju	27
5.2	Beregning av effektbehov	31
5.2.1	S.1 og S.3 Effektbehov til kontor med maks luftmengder og DUT	33
5.2.2	S.2 og S.4 Effektbehov til gjenoppvarming ved nattsinking	34
5.2.3	D.1-D.4 Gullstandarden	36
5.2.4	D.5 Virkning av dynamisk simulering over en kalt periode.	41
5.2.5	D.6-D8 Test av klimafil i SIMIEN og IDA ICE	42
5.2.6	D.9-D.10 Påvirkning på effektbehov ved redusert U-verdi på vindu	43
5.2.7	D.11-D.12 Virkning av lavere tilluftstemperatur på effektbehov .	44
5.2.8	D.13-D.16 Hvor lang tid det tar å øke temperaturen i et rom med tre grader hvis brukeren kan justere temperaturen	46
5.3	Forslag til forbedring av eksisterende metodikk og praksis	48
5.3.1	Stasjonær beregningsmetode	48
5.3.2	Dynamisk beregningsmetode	49
6	Konklusjon	51
7	Videre arbeid	53
	Referanser	55
	Vedlegg	59

Tabeller

4.1	Intervjuprofil av intervjuobjekter	18
4.2	Inndata for beregning av stasjonær effektbehov på romnivå	21
4.3	TEK17 Minimumskrav til energieffektivitet	22
5.1	Stasjonært effektbehov til romoppvarming med dimensjonerende utetemperatur 19,8°C og maks luftmengder	32
5.2	Resultat Dynamisk beregning del 1	32
5.3	Resultat Dynamisk beregning del 2	33
5.4	Effektbehov til romoppvarming med ny klimafil	36
5.5	Oppsummering av temperaturforløp til figur 5.3	40
5.6	Effektbehov ved anvendelse av ny klimafil og IWEC 2	42
5.7	Simuleringsresultat for endring av U-verdi på vindu	43
5.8	Simuleringsresultat: Tilluftstemperatur redusert ved 1°C og VAV styres etter tilstedeværelse.	44
5.9	Simuleringsresultat: Romtemperatur skal øke 3°C fra 20°C til 23°C . . .	46

Figurer

1	Symboloversikt	xii
2.1	Påvirkningsfaktorer for effektdimensjonering	7
4.1	Rommodell med lengdemål	19
4.2	Plantegning av beregningsmodell	20
4.3	Snittegning av beregningsmodell	20
5.1	Effektbehov og temperaturforløp det døgnet maks effektbehov inntreffer.	37
5.2	Effektbehov og operativ temperatur i kontor med nattsending og CAV og VAV ventilasjon.	38
5.3	Romtemperatur over kald periode	40
5.4	Påvirkning av utendørs temperaturfall på kontorets operativ temperatur. . .	41
5.5	Romtemperatur ved VAV, tilstedeværelse og 379W effektbegrensning . .	45
5.6	Tidsbruk til temperaturøkning av operativ temperatur i kontor fra 20°C til 23°C.	47
7.1	Beregningsresultat for stasjonær beregning av kontor	67
7.2	Inndata stasjonær beregning kontor 1	67
7.3	Inndata stasjonær beregning kontor 2	68
7.4	Input data IDA ICE 1	69
7.5	Input data IDA ICE 2	70
7.6	Dimensjonerende verdier og nøkkelverdier for simulering i SIMIEN . . .	71
7.7	Temperaturer ved simulering i SIMIEN	71
7.8	Varmetilskudd/oppvarming/kjøling SIMIEN	72
7.9	Varmetapsbudsjett i SIMIEN	72

Symboloversikt

Forklaring	Symbol	Enhet	Bruksområde
Overflateareal av alle bygningselementer av et oppvarmet rom som er i kontakt med uteluft eller uoppvarmede rom	$A_{fasade,rom} [m^2]$	m^2	Brukes for å beregne transmisjonsvarmetapet.
Areal av hele byggets fasade.	$A_{fasade,bygg} [m^2]$	m^2	Brukes til arealvektning av normalisert kuldebroverdi for å beregne transmisjonsvarmetapet.
Bygningsdelers areal	$A [m^2]$	m^2	For å beregne U-verdi per areal for bygningsdeler.
Spesifikt varmekapasitet til luft ved konstant trykk	$C_p [Wh/(kgK)]$	$Wh/(kgK)$	Bygningsdata, design, ventilasjonskonsept
Dimensjonerende utetemperatur	θ_e	$^{\circ}C$	Brukes for å beregne varmetap som følger av infiltrasjon transmisjon, ventilasjon og dimensjonerende effektbehov.
Innelufttemperatur/Romtemperatur	θ_{int}	$^{\circ}C$	Brukes for å beregne infiltrasjonstap, transmisjonstap og dimensjonerende varmebehov
Dimensjonerende varmeeffekt for et oppvarmet rom.	Φ_{HL}	W	Dimensjoneringsgrunnlag for varme emisjon og distribusjon.
Tilluftstemperatur	θ_{intv}	$^{\circ}C$	Brukes for å beregne varmetap som følger av ventilasjon.
Dimensjonerende varmeeffekt for et oppvarmet rom.	Φ_{HL}	W	Dimensjoneringsgrunnlag for varme emisjon og distribusjon.
Effektbehov ved transmisjonsvarmetap.	$\Phi_{T,e}$	W	Brukes for å beregne dimensjonerende effektbehov
Effektbehov ved infiltrasjonsvarmetap	$\Phi_{inf,e}$	W	Brukes for å beregne dimensjonerende effektbehov
Effektbehov ventilasjonsvarmetap	Φ_{Vt}	W	Effekt som må tilføres for å forhindre at ventilasjon reduserer ønsket temperatur i rommet.
Effektbehov til gjenoppvarming	Φ_{hu}	W	Brukers hvis bygningen benytter nattsinking og må øke effekt på kort tid.
Interne varmetilskudd	Φ_{gain}	W	Internlaste som belysning, personer og prosesser (teknisk utstyr som avgir varme).
Varmetapskoeffisienten til bygningskroppen	$H_{tr,inf}$	W/K	Kan benyttes til å beregne dimensjonerende varmeeffektbehov.
Bygningens lekkasjetall	n_{50}	h^{-1}	Brukes for å beregne infiltrasjonsvarmetap. Målt ved 50 Pa trykkforskjell ute og inne.
Infiltrasjonskoeffisient	f_{qv}	$[-]$	Brukes for å beregne infiltrasjonsvarmetap.
Ventilasjonsluftmengde	q_{vent}	m^3/h	Brukes for å beregne varmetap som følger av ventilasjon i rommet.

Figur 1: Symboloversikt

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn for valg av tema

Energieffektivisering er et sentralt tema i dagens samfunn noe som i stor grad også gjelder byggebransjen. TEK17 stiller strenge krav til bygningsskallet, energi, oppvarming og ventilasjon. Det har i noen faglige sammenhenger vært snakk om at nybygg kan ha utfordringer med innetemperatur, spesielt knyttet til årstidene sommer og vinter. Overtemperatur i nybygg på sommerstid er et mye diskutert tema. Undertemperatur vinterstid er imidlertid et tema som stadig blir nevnt, men da med manglende forklaring på hva årsaken kan være.

Overdimensjonering av effektbehov på bygningsnivå er et tema som er kjent i byggebransjen. Aktører i bransjen hevder imidlertid at problemstillingen er omvendt. På tross av at anlegg er overdimensjonert på bygningsnivå, er den underdimensjonert på romnivå. Dette betyr at det til tider er for liten effekt til romoppvarmingen, selv om anlegget som sådan kan fremstå som overdimensjonert. Dette gjelder i rom med forholdsvis lang tidskonstant, der brukeren opplever at det tar urimelig lang tid fra han hever settpunkttemperaturen til det nye settpunktet er nådd.

Beregning av varmeeffektbehov foregår vanligvis med stasjonær beregning av et dimensjonerende døgn i regneark basert på NS-EN 12831-1. Kjøleeffektbehov beregnes gjerne med en årssimulering eller et dimensjonerende døgn i Simien. Disse metodene har vesentlige svakheter. Metoden beskrevet i NS-EN 12831-1 er stasjonær og fanger ikke opp konsekvenser av varierende varmetilskudd. I tillegg er klimadatafiler for årssimulering ikke optimale for effektdimensjonering. Dimensjonerende døgn med syntetisk sinusurvekli-

ma er en grov og unøyaktig forenkling av både solstråling og utetemperatur. Statistisk sett er dette også et klima som neppe forekommer i virkeligheten, da solstråling, temperatur og relativ luftfuktighet gjerne er satt sammen fra ulike kilder. Næringen trenger derfor å få utviklet bedre metoder for å kunne beregne varme- og kjøleeffektivitet i bygninger, slik at man unngår over- og underdimensjonering. Metodene bør, så langt som mulig, være basert på nåværende praksis, slik at ikke rådgivernes hverdag endres i vesentlig grad [1].

1.2 Formål og Problembeskrivelse

Målet med oppgaven vil være å undersøke om underdimensjonering av varmeanlegg på romnivå er en utfordring i nye bygg, samt å finne frem til retningslinjer som kan supplere effektstandarder NS-EN 12831-1 for å kunne dimensjonere varmeavgivere på romnivå. Jeg vil i tillegg undersøke termisk inneklima i nybygg med særskilt fokus på vinterforhold. Samt vurdere retningslinjer for beregning av effektbehov til romoppvarming som samsvarer med krav til termisk komfort. Følgende forskningsspørsmål er formulert:

1. Er det riktig at underestimering av effektbehov på romnivå i energieffektive bygninger er et problem?
2. Hvordan er dagens praksis for beregning av effektbehov på romnivå?
3. Hvor stort effektbehov gir en mest mulig korrekt simulering, det vil si en slags Gullstandard sammenlignet med:
 - (a) Beregning med det som er vanlig metode i næringen?
 - (b) Vintersimulering i SIMIEN?
4. Hvilke faktorer bidrar til at effektbehov til romoppvarming kan bli underdimensjonert?
5. Hvilken betydning har avvik mellom de ulike metodene for termisk komfort?

1.3 Omfang og begrensninger

1. Det er kun vurdert krav og standarder tilnyttet næringsbygg, da modellen er et kontor hvor disse kravene og standardene er gjeldende.
2. Denne oppgaven vurderer kun effektbehov og termisk inneklima tilnyttet romoppvarming i en vintersituasjon. Det er ikke vurdert effektbehov eller termisk inneklima tilknyttet sommersituasjon.

3. Termisk inneklime i denne oppgaven vil vurderes opp mot operativ temperatur og PPD-indeks. Det vil ikke vurderes lokale faktorer for termisk ubehag som trekk, asymmetrisk strålingstemperatur, vertikal lufttemperaturdifferanse og gulvtemperatur.

1.4 Oppgavens oppbygging

Oppgaven oppbygging består av seks hovedkapitler. Kapittel 1 inneholder bakgrunn for oppgaven, formål og problembeskrivelse, samt omfang og begrensninger. Kapittel 2 er teorikapitlet. Her blir teoretisk grunnlag for parametre og beregningsmetoder presentert. Kapittel 3 berskiver krav og forutsetninger for oppgaven. Kapittel 4 er metodekapitlet, hvor metode og forutsetninger for stasjonær og dynamisk beregning blir beskrevet. I dette kapitlet presenteres også beregningsmodell for oppgaven, samt metode for intervju. Kapittel 5 er resultat- og diskusjonskapitlet for intervjuene og stasjonær og dynamisk beregning av beregningsmodellen, i tillegg til vurdering av termisk inneklime. Dette kapitlet presenterer også forslag til forbedring av eksisterende metodikk. Kapittel 6 er konklusjonskapitlet. Kapittel 7 presenterer mulig videre arbeid, etterfulgt av referanseliste.

Kapittel 2

Teori

For å beregne effektbehov til romoppvarming, er det viktig å forstå bakgrunnen for faktorer som påvirker beregningsmetoden og reelt effektbehov på romnivå. I dette kapittelet presenteres teori rundt romoppvarming. Hva påvirker varmebehovet, hvilke faktorer er dominerende og hvilke parametre brukes for å anslå termisk komfort i inneklimate?

2.1 Termisk inneklimate

Termisk inneklimate består av lufttemperatur, strålingstemperatur, lufthastighet og relativ luftfuktighet. Lufttemperatur er den viktigste faktoren i termisk inneklimate. Dette er faktoren som utgjør størst ubehag når den blir for høy eller lav. Strålingstemperatur er temperaturen på overflater som utgjør en strålingsveksling mellom disse overflatene. Et eksempel på strålingstemperatur, er den temperaturen man opplever hvis man sittet nært et vindu på kalde dager når utetemperaturen er lav. Lufthastighet er luftens hastighet i oppholdsonen. Ved høy lufthastighet i et rom opplever man trekk som kan gi termisk ubehag. Det som påvirker lufthastigheten i rommet, er mekanisk ventilasjon, naturlig ventilasjon (åpne vinduer eller utettheter i bygningskonstruksjonen) eller høy bevegelse i rommet. Relativ luftfuktighet uttrykker fuktinnholdet i luften i forhold til mettet vanninnhold i luft ved samme temperatur. For lav relativ luftfuktighet kan medføre tørr hud og irriterte slimhinner. For høy relativ luftfuktighet kan medføre bygningsmessige skader i form av fukt som kondenseres på overflater eller trekker inn bak en skadet fuktsperre i vegg, som igjen kondenserer i isolasjonen [2].

2.2 Termisk komfort

Termisk komfort er en subjektiv følelse eller oppfatning av termisk innelima. Når en person opplever termisk komfort er personen tilfreds med det termiske innelimaet. Personers termiske komfort er avhengig av bekleddning, aktivitetsnivå og det termiske innelimaet [3].

2.2.1 PMV-indeks

PMV-Indeks (Predicted Mean Vote) er et mål for å beskrive gjennomsnittlig tilfredshet av det termiske innelimaet. Den måles i en skala fra -3 til +3, hvor -3 er kaldt og 3 er varmt. For å bestemme PMV-index for en gruppe mennesker, må hver person angi en verdi fra -3 til 3. Den totalt gjennomsnittlige verdien beskriver opplevd termisk innelima. Hvis resultatet av PMV-index er 0, kan man anta at gruppen med mennesker er fornøyd med det termiske innelimaet [4].

2.2.2 PPD-indeks

PPD-Indeks (Percent Preceived Dissatisfied) forutsier prosentandelen av et normalisert utvalg mennesker som vil være misfornøyd med et gitt termisk innelima ved gitt bekleddning og aktivitetsnivå. Termisk komfort er subjektivt, så det er utfordrende å bestemme et termisk innelima som tilfredstiller alle brukere. PPD-indeksen beregnes for å kunne anslå hvor stor prosent misnøye man vil kunne forvente ved det bestemte termiske innelimaet. En PPD-indeks på 5% ansees som en akseptabel andel misfornøyd [5].

2.2.3 Operativ temperatur

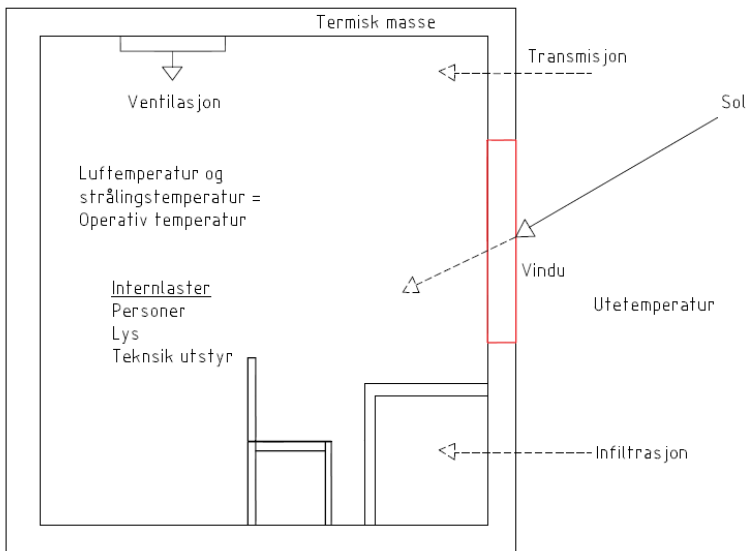
Operativ temperatur er et temperaturmål som kombinerer effekten av lufttemperatur og strålingsutvekslingen med omgivende overflater. Operativ temperatur inkluderer strålingstemperaturen og har derfor et bedre anslag for å kunne si noe om hvilke temperatur som oppleves i rommet. Ved optimal operativ temperatur er PMV-indeksen 0 [6].

Operativ temperatur er avhengig av aktivitetsnivå og bekleddning. Aktivitetsnivå er varme-produksjon fra mennesker som følge av aktivitet og beneves som *Met*. Bekleddningsnivå er et tall som beskriver isolasjonsevnen, *Clo*, til den bekleddingen man vil forvente i et rom. På et bad vil det antas lav bekleddning, mens i et kontor hvor man normalt har noe mer bekleddning, kan det forventes høyere bekleddningsnivå.

2.3 Grunnlag for dimensjonering av effektbehov

Det er mange faktorer som påvirker rommets effektdimensjonering og termisk innneklima. Figur 2.1 viser forskjellige påvirkningsfaktorer i et rom som gir et tilskudd eller tap av varme. Varmebehovet i et rom er avhengig av transmisjonstap, infiltrasjonstap, tap som følger av ventilasjon, internlaste, soltilskudd, utetemperatur og termisk masse. Disse påvirkningsfaktorene vil presenteres i denne seksjonen.

Påvirkningsfaktorer effektbehov



Figur 2.1: Påvirkningsfatorer for effektdimensjonering

2.3.1 Transmisjonstap

En bygnings transmisjonstap sier noe om byggest egenskap til å holde på varme. Transmisjonstapet avhenger av U-verdi, areal og temperaturdifferanse inne og ute. U-verdi eller varmegjennomgangskoeffisienten er et mål på hvor godt et produkt eller et material isolerer. Den gir en verdi på hvor mye varme som passerer en kvadratmeter materiale ved en temperaturforskjell på 1 grad celsius. U-verdi er materialavhengig, og avhenger av tykkelse av materialet og materialets varmeegenskaper. Isolasjon har høy U-verdi, mens for eksempel materialer av tre har lav U-verdi.

2.3.2 Infiltrasjonstap

Infiltrasjonstap er varmetap som oppstår når luft trenger gjennom klimaskjermen i bygningsskallet. Drivkrefter for infiltrasjonstapet er vind som treffer klimaskjermen, samt trykkforskjeller mellom inne og ute. Infiltrasjonstapet avhenger av bygningens lekkasjetall. Lekkasjetallet beskriver hvor mye luft som trengs gjennom klimaskjermen med 50 Pa trykkforskjell per time. Lekkasjetallet er en normalisert verdi som tar utgangspunkt i samlet luftlekkasjemengde ved 50 Pa og byggets innvendige oppvarmet volum. Det reelle lekkasjetallet må måles, så tallet som anvendes i varmetapsberegning er tilsvarende det man forventer bygget skal oppnå ved ferdigstillelse [7].

2.3.3 Varmetapskoeffisienten

Varmetapskoeffisienten, eller varmetransportkoeffisienten, er summen av varmetap på grunn av transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon. Varmetapskoeffisienten er oppgitt i Watt per kelvin [W/K] og beskriver hvor mye varmeeffekt som føres ut gjennom fasaden per grad kelvin [8]. Varmetapskoeffisienten kan benyttes til effektdimensjonering, men den anvendes også til å beregne byggets varmetapstall.

2.3.4 Internlaster

Internlaster er varmetilskudd som følge av antall personer, utstyr, belysning eller pågående prosesser i et bygg. Ved effektdimensjonering på romnivå er det prosjektavhengig om internlaster inkluderes i beregningen, men kan i noen tilfeller være viktig å ta med. Som for eksempel vil et datarom produsere mye varme. Hvis internlasten i slikt rom ikke blir inkludert i effektberegningen, vil man risikere overdimensjonering av varmebehovet. Det anbefales likevel å ikke ta hensyn til internlaster i vanlige rom når man effektdimensjonerer på romnivå [9]. I denne oppgaven vil effektbehovet vurderes både med og uten internlaster ved både de stasjonære og dynamiske beregninger.

2.3.5 Dimensjonerende utetemperatur (DUT)

Dimensjonerende utetemperatur er den laveste gjennomsnittlige uteluftstemperaturen over enten ett, to, tre eller fire døgn. I parksis er det ett eller tre døgn som benyttes. Denne temperaturen varierer etter hvor i landet bygget befinner seg og er målt over en 30 års periode. Denne gitte temperaturen anvendes ved fastsetting av dimensjonerende effektbehov for romoppvarming [10]. Tredøgnets dimensjonerende utetemperatur i Oslo er $19,8^{\circ}\text{C}$. Denne temperaturen vil anvendes som DUT i oppgaven.

2.3.6 Termisk masse

Termisk masse beskriver materialers evne til å absorbere energi, oppbevare den, for deretter å frigi den. Ved å anvende tung termisk masse i konstruksjoner, vil denne fungere som energireservoar. Energireservoarets egenskaper i rom avhenger av evnen den har til å holde på varme (varmekapasitet), evnen den har til å lede varme (konduktivitet) og hvordan varmekapasitet og konduktivitet harmonerer med døgnsyklusen til de ytre påvirkninger av rommet [11]. Eksempler på materialer med tung termisk masse er betong og murverk. Mineralull er et eksempel på lett termisk masse. Denne isolerer godt, men den kan verken lede eller lagre varme.

2.3.7 Soltilskudd

Soltilskudd beregnes ut i fra strålingsfluks angitt i lokale klimadata for et normalår og total solfaktor for glassfelt og solavskjerming. Solfaktoren, også kalt g-verdien er et tall som beskriver hvor mye av solenergien som slipper inn i rommet [12].

Kapittel 3

Krav og forutsetninger

I dette kapitlet presenteres de kravene og forutsetningene som er aktuelle for oppgavens tema om termisk inneklime og oppvarmingsbehov på romnivå. Her vil det kort oppsummeres hvilke rammer og krav som etterstreses i prosjektering av varmebehov og termisk inneklime i et rom.

3.1 TEK17 - Byggteknisk forskrift

TEK17 er en forskrift om de tekniske kravene til bygg, og beskriver grenser for minimum av egenskaper et bygg må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge. TEK17 beskriver veiledninger til kravene og preaksepterte ytelser som kan følges for å oppfylle kravene [13].

3.1.1 TEK17 §13-4 krav til termisk inneklime

Termisk inneklime i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensynet til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk.

TEK17 beskriver altså kravet til termisk inneklime i bygg. Dette er det alle må følge og skal etterstreses når man prosjekterer, bygger og drifter et bygg. TEK17 beskriver også veiledninger for oppnåelse av ønsket termisk inneklime, blant annet, anbefalte verdier for operativ temperatur. For såkalt lett arbeid beskriver veiledningen en temperaturskala mellom 19 -26°C [14]. Rommet som skal simuleres og beregnes er et kontor hvor man forventer aktivitet tilnærmet lik lett arbeid. I denne oppgaven er det derfor forutsatt 19 -26°C som nedre og øvre grense for operativ temperatur.

3.1.2 TEK17 §13-3 krav til ventilasjon

Frisklufttilførsel på grunn av forurensninger fra personer med lett aktivitet skal være minimum 26 m^3 per time per person. Ved annet aktivitetsnivå enn lett aktivitet, skal frisklufttilførselen tilpasses slik at luftkvaliteten blir tilfredsstillende.

Frisklufttilførsel på grunn av forurensning fra materialer, produkter og installasjoner skal være minimum:

- a) $2,5 \text{ m}^3$ per time per m^2 gulvareal når bruksenheten eller rommene er i bruk.*
- b) $0,7 \text{ m}^3$ per time per m^2 gulvareal når bruksenheten eller rommene ikke er i bruk.*

Dette kravet gjelder publikums- og arbeidsbygg. Ventilasjonsmengden for denne type bygg er satt til $26 \text{ m}^3/\text{h}$ per person. Denne luftmengden forutsetter lett fysisk aktivitet.

I tillegg til ventilasjon i forhold til personbelastning, beskriver TEK17 et luftmengdekrav som har til hensikt å fjerne avgassing fra materialer, produkter og installasjoner i bygget. Denne type forurensning vil beskrives som emisjonsbelastning i denne oppgaven. Luftmengdekrav til emisjonsbelastning summeres med krav til luftmengder for personer. Sammenlagt gir dette det totale luftmengdebehovet i et rom. Emisjonsbelastning på $2,5$ og $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ per m^2 gulvareal forutsetter at bygget er bygget med lavemitterende materialer.[15] Får å kunne anvende luftmengdekravet beskrevet i TEK17 §13-3 kreves det dokumentasjon på at materialer er lavemitterende. I denne oppgaven vil det derfor antas høyemitterende materialer som har et luftmengdekrav til emisjonsbelastning på $2,5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Dette vil da tilsvare den minste tillate luftmengden i og utenfor driftstid i beregningsmodellen.

3.1.3 TEK17 §14-2: krav til energieffektivitet:

*Det totale netto energibehovet for bygningen skal ikke overstige energiram-
mene i tabellen i bokstav a samtidig som kravene i § 14-3 oppfylles.*

Energirammen anviser til en tabell med oversikt over høyest tillat netto energibehov oppvarmet bruksareal per år avhengig av bygningskategori. For kontorbygg er totalt tillat netto energibehov $115 \text{ kWh}/\text{m}^2$ oppvarmet brukareal. TEK17 14-3 beskriver minimumskravet til energieffektivitet. For alle bygg gjelder krav til U-verdier for yttervegg, vindu, gulv

og tak, og lekkasjetall ved $50Pa$ trykkforskjell.[16]. Det stilles ikke direkte krav tilknyttet effektbehov til romoppvarming, men dette effektbehov må beregnes for å kunne vurdere energibehovet over et år som TEK17 beskriver i energirammekravet.

3.2 Arbeidsmiljøloven §444

Arbeidsmiljøloven §444 er en veiledning som beskriver klima og luftkvalitet på arbeidsplassen. Denne oppgaven vil ta utgangspunkt i et kontorbygg, og det medfører at denne veiledningen inkluderes i oppgaven. Veiledningen setter krav til at arbeidsplassen er utformet slik at arbeidstaker er sikret et forsvarlig inneklima med luft fri for helseskadelig, sjenerende eller belastende forurensinger.

3.2.1 Temperatur

Arbeidsmiljøloven beskriver i veiledningen at lufttemperaturen i årstidene da det er oppvarmingsbehov skal holdes under $22^{\circ}C$ og at individuell reguleringsmuligheter bør etterstrebes.[17]. De anbefalte verdiene oppgitt i arbeidsmiljøloven om operativ temperatur samsvarer med TEK17 §13-4 veiledning om $19-26^{\circ}C$ for lett arbeid.

3.2.2 Ventilasjon

I forhold til ventilasjon sier arbeidsmiljøloven at forurensing skal så langt som det er mulig fjernes ved kilden. Ventilasjon skal behovsvurderes, og laveste akseptable luftmengder som aksepteres i nybygg er $7 l/s$ per person pluss $0,7 l/s$ per m^2 gulv. Dette inkluderer person-og emisjonsbelastningen. Ved bruk av disse luftmengder antas det lavemitterende materialer. Arbeidsmiljøloven samsvarer med TEK17 når det gjelder luftmengdebehov i publikumsbygg. [18]

3.3 Norsk Standard

Norsk Standard utvikler standarder som beskriver løsninger som samsvarer med krav tilknyttet TEK17. De gjør norske, europeiske og internasjonale standarder tilgjengelige, og bidrar til at de tas i bruk. I kravspesifikasjoner og beskrivelser blir det ofte referert til standarder fra Norsk standard. De aktuelle standardene for denne oppgaven er NS-EN 12831-1, NS 3031 og NS-EN 15251. Disse blir beskrevet i denne seksjonen.

3.3.1 NS-EN 12831-1

NS 12831-1 er en standard som beskriver metoder for effektdimensjonering på rom- og bygningsnivå. Effektbehovet er definert som den effekten som trengs for å opprettholde settpunktstemperatur under dimensjonerende forhold.[19]. Standarden beskriver beregningsmetode ved stasjonære forhold.

3.3.2 NS 3031

NS 3031 er en norsk energistandard som brukes for å beregne energibehov i et bygg, for så å kontrollere bygninger opp mot energirammekravet i TEK17, dokumentere teoretisk energibehov etter energisertifikat for bygninger, vurdere virkning av mulige energiltak på eksisterende bygninger ved å beregne energibehovet med og uten energiltak. [20]. Denne standarden er ikke anvendt i denne oppgaven, men siden den nevnes i resultatkapittelet, er det valgt å inkludere beskrivelse av denne standarden i oppgaven.

3.3.3 NS-EN 15251

NS-EN 15252 er en europeisk standard som angir inneklimateparametrene som påvirker bygningens energiytelse. Den beskriver hvordan inneklimateparametre skal fastsettes for dimensjonering av bygningens tekniske systemer og beregning av bygningens energiytelse. Den gir parametre som kan anvendes som dimensjonerende grunnlag for å utarbeide et godt inn klima.[21] . Anbefalte verdier tilknyttet termisk inn klima er henter fra denne standarden.

Metode

Oppgaven undersøker om underdimensjonering av varmeanlegg på romnivå er et reelt problem, og om det i dag benyttes løsninger som ikke gir tilfredsstillende termisk komfort. Det har blitt utført intervjuer med sentrale personer i VVS-miljøet med bred kompetanse innen varmedimensjonering og erfaringer knyttet opp til oppgavens problemstilling. For å kunne avkrefte/bekreftede påstanden om underdimensjonering på romnivå, var det essensielt å snakke med personer som har erfaring med dimensjonering av effektbehov, drift og regulering av varmeanlegg, og utdanning innenfor relevante fagfelt.

Det er undersøkt om i hvor stor grad internlaster, ventilasjon, nattsenkning og termisk masse påvirker termisk inneklime og dimensjonerende effektbehov ved både stasjonære og dynamiske beregninger. For de stasjonære beregningene er det beregnet effektbehov til et fiktivt kontor, med og uten internlaster, og med nattsenkning ved å bruke DUT for Oslo. For de dynamiske beregningene er det anvendt nye klimadata som er logget og målt i perioden fra 1993 til 2013. De dynamiske beregningene er gjennomført ved bruk av simuleringsverktøy IDA ICE og SIMIEN. Den nye klimadatafilen er kun anvendt i IDA ICE. For simulering av dynamisk effektbehov i SIMIEN ble det brukt integrert klimadata for Oslo Blinderen.

Det ble gjort en analyse av effektbehovet i en beregningsmodell som ble sammelignet med:

1. Stasjonær metode basert på NS-EN 12831-1 beregnet med to forskjellige metoder.
2. En "Gullstandard" som tilsvarer en dynamisk beregning av effektbehov på romnivå,

hvor nye klimadata er anvendt. En mer detaljert beskrivelse av denne metoden blir beskrevet i seksjon 4.5.

3. Vintersimulering i SIMIEN.

4.1 Intervjumetode

Det er i denne oppgaven blitt lagt vekt på å intervju sentrale personer i fagmiljøet for å undersøke utfordringer og metode tilknyttet effektdimensjonering på romnivå. I intervjuene er det lagt vekt på å undersøke intervjuobjektets erfaringer med forekomst av underdimensjonering på romnivå, metode for beregning av effektbehov og årsaker tilknyttet feil og mangler innen effektdimensjonering på romnivå.

Intervjuene er gjennomført gjennom samtaler, e-poster og møter over Skype. Intervjuobjektene er anonyme, men fagbakgrunn og erfaring vil beskrives for å validere kompetanse til de enkelte intervjuobjektene.

4.1.1 Intervjuspørsmål

Intervjuetspørsmålene er formulert slik at intervjuobjektet skal ha mulighet til svare så åpnet som mulig, samtidig som at svaret holdes innenfor tema tilknyttet effektdimensjonering. Det er her valg å formulere effektbehov som varmebehov for å presisere at det er effektbehov til romoppvarming som skal diskuteres.

1. Har du eller ditt firma erfaringer tilknyttet underdimensjonering på romnivå?
2. Hvilken metode bruker du/firmaet ditt for å beregne varmebehovet på romnivå?
3. Legges det til sikkerhetsfaktorer ved beregning av dimensjonerende varmebehov på romnivå?
4. Benytter dere simuleringsverktøy for å fastslå varmebehov, i så tilfelle hvilket?
5. Hva mener du er den vanligste feilen som gjøres ved beregning av varmebehov på romnivå?
6. Når et anlegg er underdimensjonert på romnivå, hva kan gjøres for å rette opp feilen?

Noen av spørsmålene ble justert i forhold til hvem som ble intervjuet. Det var flere av intervjuobjektene som ikke har jobbet med direkte beregning av dimensjonerende effektbehov på mange år. Det ble i disse tilfellene ikke stilt spørsmål direkte knyttet til beregningsmetode.

4.1.2 Intervju profiler

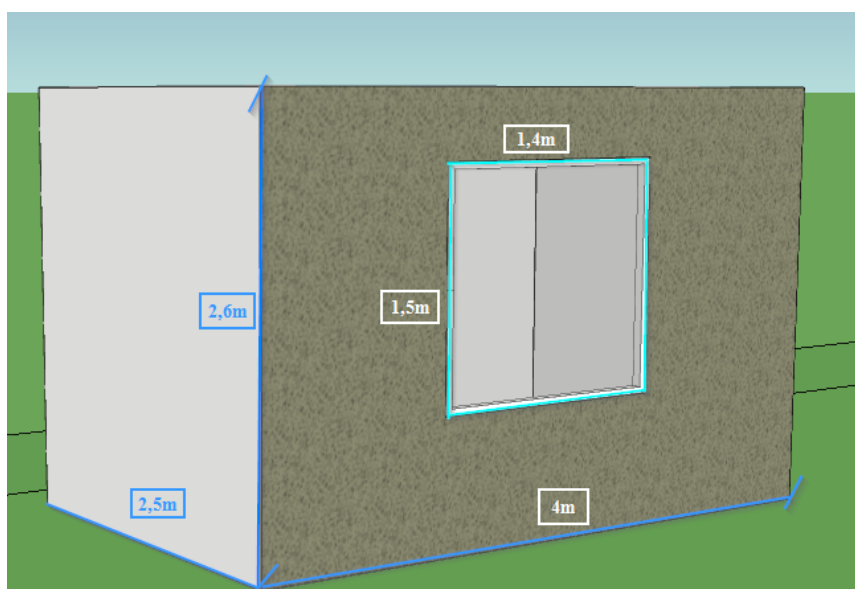
Det var flere av intervjuobjektene som ønsket å være anonyme. Det er derfor valgt å anonymisere alle intervjuobjekter. For å validere kompetanse og erfaringer til intervjuobjektene, er det laget en intervjuprofil som beskriver stillingstittel, utdanning, antall års erfaring og tidligere arbeidserfaringer. Det skilles mellom hvem som har sagt hva ved å nummerere intervjuobjektene. Se tabell 4.1. Intervjuobjektene jobber alle i forskjellig firma. Noen jobber i større VVS-selskap, andre i eget oppstartet firma og noen som professor eller foreleser på universitet.

Tabell 4.1: Intervjuprofil av intervjuobjekter

Nr.	Stillingstittel	Utdanning	Antall år	Tidligere arbeidserfaring
1	Rådgivende VVS-ingeniør	Bachelor energi og miljø i bygg	7	VVS-rådgiver i fire forskjellige Rådgivningsfirma
2	Prosjektingeniør/Prosjektleder	Bachelor energi og miljø i bygg	14	VVS-rådgiver og prosjektleder
3	Rådgivende VVS-ingeniør	Bachelor energi og miljø i bygg	14	Prosjektleder og rådgiver innen VVS, jobbet med prosjektering.
4	Seksjonsleder, RIV	Bachelor energi og miljø, Master fornybar energi	5	VVS-Rådgiver
5	Faglærer Teknisk design	Bachelor energi og miljø i bygg	7	Rådgivende ingeniør VVS og BIM-strategi
6	Senior rådgiver/ Konsulet VVS, energi og automatikk	NTH Maskin og kuldeteknikk og ingeniør Maskin	37	Avdelingsleder i VVS-rådgivningsfirma, Foreleser, Rådgiver, entreprenør, Konsulet for oppretting av feilprosjekterte VVS-prosjekter
7	Sivilingeniør og Førstelektor	Maskiningeniør 4-årig	35	Rådgiver og Foreleser universitet
8	Avdelingsleder og professor II	Ph.d VVS teknikk/Energi og miljø	39	Forsker inneklime og energibruk i bygg, Rådgiver VVS og fjernvarme
9	Rådgiver	Master Maskin, VVS og automatisering	42	Rådgiver, test og verifikasjon av bygninger. Problemløsning drift av tekniske anlegg
10	Partner i Rådgivningsfirma	Master Kuldeteknikk Bedriftsøkonomi	26	Entreprenør, Rådgiver, Planlegging og prosjektering i nært sagt alle bygningskategorier.

4.2 Rommodell

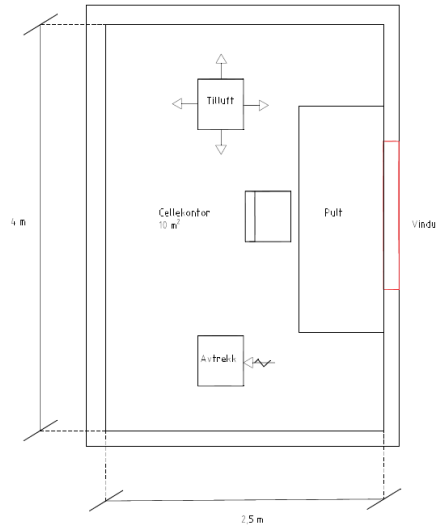
Det er valgt å se på et helt standard rom for å undersøke om underdimensjonering kan forekomme i rom hvor man forventer at standard beregningsmetoder skal være tilstrekkelige. Rommodellen er et standard cellekontor på 10 m^2 . Rommet har én utvendig fasade og vender ellers mot oppvarmede soner med samme romtemperatur. Rommodellen er sørvendt. Ytterveggen består av utvendig kledning, vindsperre, isolasjon og betong. Innervegger er lettvegg bestående av stålprofiler, lett isolasjon og gipsplater. Konstruksjonsoppbyggingen i modellen er designet slik at U-verdier for yttervegg tilfredsstiller minstekrav i TEK17. Rommet ligger i en mellometasje, så tak og gulv vender mot oppvarmede soner. Figur 4.1 viser rommodellen fra beregningsprogrammet IDA-ICE. Inndata for bygnings skall i IDA ICE er presentert i vedlegg C.



Figur 4.1: Rommodell med lengdemål

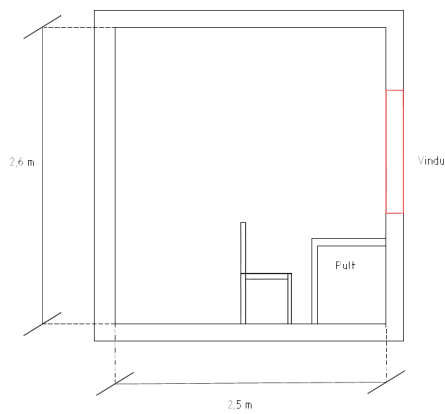
Internlastene i rommet inkluderer én person, én datamaskin og rombelysning. Rommets bruksfunksjon er kontor, så det antas driftstid mellom kl. 06.00-18.00 på hverdager. Rommets oppvarmingskilde er vannbårent varme med radiator. Rommets utforming og dimensjon er vist i figur 4.2 og 4.3. Ventilasjonsprinsippet for rommet er omrøringsventilasjon med tilluft og avtrekk i himling.

Plantegning cellekontor



Figur 4.2: Plantegning av beregningsmodell

Snittegning cellekontor



Figur 4.3: Snittegning av beregningsmodell

Inndata for stasjonær beregning

Det er valgt å benytte TEK17 minsteverdi for bygningens klimaskall, da dette er et lovpålagt krav for alle typer bygg i Norge. For internlaster antas det energieffektiv belysning og utstyr som gir lavt interne varmetilskudd. Se tabell 4.3 og 4.2 for inndataverdier for bygningens klimaskall og forutsetninger for beregning av stasjonært effektbehov. Se vedlegg B for mer utfyllende informasjon om inndata til stasjonære beregninger.

Tabell 4.2: Inndata for beregning av stasjonær effektbehov på romnivå

Dimensjonerende temperaturer		Kommentar
Dimensjonerende utetemperatur	-19,8°C	DUT Oslo
Settpunkt lufttemperatur	21,5°C	For å opprettholde operativ temperatur på 21°C iht.Kontor kl.1 NS 15251
Inndata transmisjonsvarmetap		Kommentar
Normalisert kuldebroverdi	0,06W/m ² K	
Byggets varmetapstall	0,49W/m ² K	
Inndata infiltrasjonsvarmetap		Kommentar
Bygningens lekkasjetall	1,5h ⁻¹	Mintekrav i TEK17 §14-3
Infiltrasjonskoeffisienten	0,03	NS12851 Tabell B.8
Luftens varmekapasitet og tetthet	0,34	-
Inndata ventilasjonsvarmetap		Kommentar
Maks luftmengde	100m ³ /h	Personbelastning + emmisjonsbelastning
Min luftmengde	72m ³ /h	Emmisjonsbelastning
Tilluftstemperatur	19°C	2-3°C lavere enn lufttemperatur for å sikre tilstrekkelig omrøring i rommet
Inndata gjennoppvarmingseffekt		Kommentar
Temperaturdifferanse nattsinking	4K	NS 12851 Tabell F.2
Varighet nattsinking	14h	Antall timer utenfor driftstid
Oppvarmingstid	1h	NS 12851 Tabell F.2
Luftutvekslinger under nattsinking	0,5h ⁻¹	NS 12851 Tabell F.2
Spesifikk gjennoppvarmingseffekt	50W/m ²	NS 12851 Tabell F.2
Internlaster		Kommentar
Personer	1,5W/m ²	NS 3700 Tabell A.1
Belysning	1,95W/m ²	NS 3700 Tabell A.1
Teknik utstyr	1,8W/m ²	NS 3700 Tabell A.1

Tabell 4.3: TEK17 Minimumskrav til energieffektivitet

Bygningsdel	U-verdi	Enhet
Vindu	1,2	W/m^2K
Yttervegg	0,22	W/m^2K
Tak	0,18	W/m^2K
Gulv	0,18	W/m^2K

4.3 Stasjonær beregningsmetode

Effektbehov til romoppvarming er beregnet etter NS-12831-1 for stasjonære beregninger. I denne oppgaven skal det kun vurderes effektbehov på romnivå. Metode for beregning blir presentert i dette delkapittelet.

4.3.1 Effektbehov til romoppvarming i henhold til NS-EN 12831-1

Effektbehov til romoppvarming beregnes i henhold til NS-EN 12831-1 ved å summere tap og tilskudd av varme i et rom. Dette kan beregnes med to metoder og er vist i formel 4.1 og 4.2. Metodene vil i denne oppgaven betegnes som NS 12831 Arealvektet og NS-EN 12831-1 Varmetapskoeffisient. NS-EN 12831-1 Arealvektet består av summering av transmisjonstap, infiltrasjonstap, varmetap som følger av ventilasjon og tilskudd fra internlaster. Se formel 4.1. Formelen inkluderer også varmebehov som følger av gjennoppvarming ved nattsenking. Dette brukes mindre i nybygg da bygningskroppen har høyere tetthet enn tidligere. Det forekommer likevel nattsenking i eksisterende bygg.

$$\phi_{HL} = \phi_{T,e} + \phi_{inf,e} + \phi_{vt} + \phi_{hu} - \phi_{gain}[W] \quad (4.1)$$

Beregningsformel for NS-EN 12831-1 Varmetapskoeffisienten er vist i formel 4.2. Denne metoden benytter varmetapskoeffisienten for bygningsens oppvarmede areal, og innvendig og utvendig lufttemperatur for å beregne effektbehov på romnivå. Varmetap som følger av ventilasjon, tilskudd til gjennoppvarmingseffekt og internlaster er beregnet med samme metode som formel 4.1.

$$\phi_{HL} = H_{tr,inf} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) + \phi_{vt} + \phi_{hu} - \phi_{gain}[W] \quad (4.2)$$

Hovedforskjellen mellom de to metodene er at NS-EN 12831-1 Arealvektet tar hensyn til varmetap per fasadeareal, mens NS-EN 12831-1 Varmetapskoeffisienten tar hensyn til byggets varmetap per oppvarmet gulvareal. Beregning av varmetapskoeffisienten skal beregnes i henhold til NS 3031.

4.3.2 Transmisjonsvarmetap

Metoden for å beregne transmisjonsvarmetap er vist i formel 4.4 og 4.3. For transmisjonsvarmetapet kan man benytte byggets varmetapskoeffisient som følger av transmisjonstap og innvendig og utvendig temperatur. Denne beregningsmetoden er vist i formel 4.3.

$$\phi_{T,e} = H_{T,e} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (4.3)$$

Den arealvektet metoden for å beregne transmisjonstap er presentert i formel 4.4. Denne metoden tar utgangspunkt i byggets normaliserte kuldebroverdi og beregner etter fasadearealet til rommet. NS-EN 12831 anbefaler å beregne faktiske kuldebroverdien i hvert rom, men dette er svært tidskrevende. Det antas her at de fleste kuldebroene er i fasaden. Beregningen kan derfor forenkles ved å benytte den normaliserte kuldebroverdien til bygget[22].

$$\phi_{T,e} = \left(\sum (U \cdot A) + \psi'' \cdot A_{fl,bygn} \cdot \frac{A_{fasade,rom}}{A_{fasade,bygg}} \right) \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (4.4)$$

4.3.3 Infiltrasjonsvarmetap

Formelen for varmetap som følger av infiltrasjon er vist i formel 4.5. Infiltrasjonstapet avhenger av luftens varmekapasitet og tetthet, luftvolum av bygget, byggets lekkasjetall, utvendig og innvendig lufttemperatur, arealandel av fasaden og infiltrasjonskoeffisienten.

$$\phi_{inf,e} = 0,34 \cdot V_{bygn} \cdot n_{50} \cdot \frac{A_{fasade,rom}}{A_{fasade,bygg}} \cdot f_{pv} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (4.5)$$

4.3.4 Varmetap som følger av ventilasjon

Formel for beregning av ventilasjonsvarmetapet er vist i formel 4.6. Ventilasjonsvarmetapet avhenger av luftens tetthet og varmekapasitet, luftmengder fra ventilasjonanlegg og ønsket romtemperatur og tilluftstemperatur.

$$\phi_{Vt} = 0,34 \cdot q_{vent} \cdot (\theta_{int} - \theta_{int,v}) \quad (4.6)$$

Tilluftstemperaturen i denne oppgaven regnes med 19°C som tilsvarer 2,5°C lavere enn rommets settpunktstemperatur. Rommets ventilasjonprinsipp er omrøringsventilasjon, det er derfor gunstig å ha lavere tillufttemperatur for å sikre optimal omrøring i rommet. I

den stasjonære beregningen bør det benyttes maksimal sannsynlig luftmengder for å sikre tilstrekkelig oppvarming når rommet er i bruk.

4.3.5 Gjennoppvarmingsbehov ved nattsenking

Gjennoppvarmingsbehov ved nattsenking beregnes ut i fra rommets oppvarmede gulvareal og spesifikk gjennoppvarminseffekt etter tillegg F i NS 12831-1. Begrening av gjennoppvarmingseffekt er vist i formel 4.7.

$$\phi_{gj} = A_{fl} \cdot \varphi \quad (4.7)$$

4.4 Dynamisk beregningsmetode

Det er anvendt to simuleringsprogram for å kunne vurdere effektbehov på romnivå etter dynamiske beregninger. Programmene som er brukt er SIMIEN og IDA ICE. For å beregne maksimalt effektbehov for rommodellen er det kjørt simulering av heating load i IDA ICE og vintersimulering i SIMIEN. IDA ICE er også benyttet til å vurdere termisk inneklime i beregningsmodellen.

4.4.1 SIMIEN

SIMIEN er utviklet av Programbyggerne og er en viderutvikling av EiB (Energi i bygg). Programmet baseres på beregningsmetode gitt i NS 3031, som beregner energibehov over en gitt periode. Programmet tar hensyn til værforhold som temperatur, vind og solinnskudd, i tillegg til internlaste som personer, belysning og teknisk utstyr. SIMIEN tar også hensyn til bygningens klimaskall, data om ventilasjonsanlegg, romoppvarming, romkjøling og energiforsyningskilder som i alt danner en simuleringsmodell. SIMIEN brukes for å evaluere bygninger opp mot byggeforskrifter, energimerking, beregning av energibehov og validering av inneklime.[23].

Klimadatafil SIMIEN

Klimadatafilen i SIMIEN er basert på midlere parametre for vindhastighet, solarflux og temperaturer. For klimadatafil Oslo Blinderen, er midlere dimensjonerende vintertemperatur -20°C , årsmiddeltemperatur $6,3^{\circ}\text{C}$, midlere horisontal solarflux $100 \text{ W}/\text{m}^2$ og årsmiddel vinshastighet $2,2 \text{ m}/\text{s}$. Klimadata i SIMIEN er hentet fra standardverdier i NS 3031, og er basert på referanseklime for Oslo-området. Vintersimuleringen i SIMIEN antar

at utetemperaturen varierer som en sinuskurve over døgnet, hvor lavest temperatur inntreffer 12 timer før høyest temperatur.

4.4.2 IDA ICE

IDA ICE er et detaljert og dynamisk simuleringsverktøy som anvendes for å undersøke termisk inn klima og energiforbruk til et bygg. Modeller i IDA ICE gjenspeiler nyeste forskning og er det simuleringsverktøyet hvor beregningen gir gode resultater sammenlignet med målt data. IDA ICE er tilpasset krav i henhold til land, klimadata, standarder, systemer, produkt og materialer.[24].

For å beregne effektbehov på romnivå er det valgt å anvende IDA ICE som hovedsimuleringsverktøy, da dette programmet samsvarer best i forhold til målte verdier. For å beregne effektbehov etter Gullstandarden vil det derfor være fornuftig å anvende dette simuleringsverktøyet.

Ny klimadatafil

Klimadatafilen som anvendes i oppgaven er plottet av EPW-Gen som er et program utviklet av Peter Schildt i Sintef. Inndata til klimadatafilen er målt på metrologisk institutt WS Klima ved Blinderen. Soldata er hentet fra Ås FagKlim-lab ved NMBU og Bioforsk AgroMetbase. Klimadatafilen er basert på timesverdier målt over 22 år fra 1992 til 2013. Klimafilen inneholder mål for vindhastighet, vindretning, tørrkuletemperatur, duggpunkttemperatur og solradiasjon.

Klimadatafil - IWEC 2

IWEC 2 er klimafilene utviklet gjennom ASHRAE forskningsprosjekt RP-1477 av White Box Technologies i Morga, California. De filene er utviklet fra metrologiske rapporter fra værstasjoner rundt om i verden. Klimadataene er arkivert i Integrated Surface Hourly (ISH) data som administreres av Nationale Climate Data Center (NVDC). IWEC 2 klimafilene består av observasjoner og målinger av vindhastighet, vindretning, tørrkuletemperatur, våtkuletemperatur, sikt, skydekke, forventet nedbør og atmosfærisk trykk. De målte klimadatafilene er logget mellom en periode på 12 til 25 år, og består av gjennomsnittlig fire målinger hver dag. IWEC 2-klimadata har ikke målinger på solradiasjon, men inneholder en kalkulasjon beregnet etter en Huang modell. I denne modellen er total timesbaserte horisontale solradiasjon basert på sol-jord geometri, skydekke, temperaturdifferansen på tre timer, relativ luftfuktighet og vindhastighet[25].

4.5 Gullstandarden

Gullstandarden er en betegnelse på en dynamisk simulert beregning av effektbehov på romnivå, hvor reelle klimadata fra Oslo blir anvendt. Denne metoden har blitt døpt “Gullstandard” fordi dette er en dynamisk beregning som simuleres over en lang periode med reelle klimadata. Denne metoden gir den mest korrekte beregningen av effektdimensjonering fordi den tar hensyn til alle faktorer som påvirker effektbehovet, som variasjoner i solinnskudd, utetemperaturer, varierende luftmengder, personbelastning og termisk masse. Bortsett fra målte verdier, er denne metoden best egnet til å estimere et forventet effektbehov til romoppvarming.

Simuleringsprogrammet som er anvendt til å simulere Gullstandardmetoden er IDA-ICE. Det må nevnes at det alltid er usikkerhet knyttet til simulerte verdier. Dette kan skyldes både svakheter ved simuleringsprogram, samt begrensninger og usikkerhet tilknyttet inputparametrene. Med Gullstandardmetoden beregnes det dynamiske effektbehovet i beregningsmodellen over en tidsperiode på 20 år. Denne metoden gir anledning til å hente ut timesverdier for de representative årene. For å undersøke andre parametere som kan påvirke effektbehovet, er det valgt å se på kortere perioder innenfor de årene lave utetemperaturene inntreffer. De utvalgte simuleringsperiodene i dette tilfellet er vintermånedene i 2009 og 2010.

Resultat og Diskusjon

Resultat- og diskusjonkapittelet er inndelt i tre seksjoner. I den første seksjonen presenteres en diskusjon og oppsummering av intervjusvar fra gjennomførte intervjuer. I den andre seksjonen presenteres resultater og diskusjon fra stasjonær og dynamisk beregning av effektbehov på romnivå. I denne seksjonen blir det i tillegg diskutert simuleringsresultater for faktorer som kan bidra til at rom blir underdimensjonert. I tredje seksjon blir det drøftet forslag til forbedring av eksisterende metodikk og praksis.

5.1 Intervju

Det er intervjuet totalt ti personer med forskjellige bakgrunner og med ulike antall års erfaring innen fagfellet. Alle intervjuobjektene har tilknytning til VVS-bransjen. Det er valgt å anonymisere intervjuobjektene for at de ikke skal føle begrensninger for hva de skal kunne svare. Dette gjør at hver enkelt kan uttale seg fritt uten at innholdet kan knyttes til vedkommenes firma eller arbeidsplass. Det er utarbeidet en intervjuprofil av intervjuobjektene for å validere deres kompetanse. Intervjuprofilen er presentert i kapittel 4.1.2. Se vedlegg A for intervjusvar fra alle intervjuobjektene. I denne seksjonen vil det presenteres en oppsummering og diskusjon av gjennomførte intervjuer.

Oppsummering og diskusjon av intervju

Det er uenigheter blant intervjuobjektene om underdimensjonering på romnivå er noe som forekommer i dagens prosjektering og utførelse. Seks av ti intervjuobjekter har erfaringer tilknyttet underdimensjonering av effektbehov på romnivå. Noen mener at dette ikke fore-

kommer, mens andre har sterke meninger om at underdimensjonering på romnivå faktisk er et reelt problem.

Intervjuobjektene ble også spurt om hvilken metode som ble anvendt for å dimensjonere effektbehov på romnivå. Noen svarer at de benytter eget utviklet regneark hvor oppsettet til regnearket følger NS 3031 eller NS-EN 12831-1. Andre beskriver metoden ved å nevne parametre som anvendes i beregning, som for eksempel internlaster, kuldebroer, U-verdier og ventilasjon.

Tre av intervjuobjektene svarte at de bruker regneark som er satt opp etter NS 3031 for effektdimensjonering på romnivå. NS 3031 er en energistandard som skal benyttes for å beregne årlig energibehov i et bygg. Denne standarden brukes for å kunne dokumentere at energibehovet i et bygg tilfredsstillende energirammen i TEK17 og energimerkeordningen[20]. Standarden som beskriver metode for å beregne effektbehov til romoppvarming er NS-EN 12831-1. Kun ett av intervjuobjektene svarte at effektbehov til oppvarming ble beregnet etter denne standarden. Ligningene for beregning av varmetap på romnivå er relativt like i NS-EN 12831-1 og NS 3031. Det er imidlertid noen forskjeller ved beregningsmetodene som kan være utslagsgivende når man beregner effektbehov til romoppvarming. Dette gjelder blant annet metoden for å beregne infiltrasjonsvarmetapet til rommet.

Intervjuobjektene hadde varierende meninger når det kom til inkludering av internlaster ved beregning av effektbehov på romnivå. Noen mente at det burde inkluderes i rom med stor personbelastning, mens andre mente at det ikke skulle inkluderes i beregningen, men at man kan anvende effektilførsel fra internlasten som en tilleggssikkerhet til effektbehovet. Dette forutsetter at man ikke legger til sikkerhetsfaktorer på de stasjonære beregningene av effektbehov til romoppvarming.

Flere sier at sikkerhetsfaktorer ofte inkluderes i beregningen, hvor prosentandelen av sikkerhetsfaktoren varierer mellom 5-20%. Noen mener sikkerhetsfaktorer kun skal inkluderes i beregningen der romutforming eller andre romparametere utgjør en risiko for lav operativ temperatur. I noen tilfeller legges det på 20% ekstra. Når det legges til så mye ekstra effekt skulle man forvente at det tilsvarer tilstrekkelig med effekt i rommet. Det viser seg imidlertid at det i enkelte tilfeller kan forekomme underdimensjonering på romnivå selv om det legges på en tilleggssikkerhet på 20%. Dette diskuteres videre i delkapittel 5.2.3.

Simuleringsverktøy som anvendes til effektdimensjonering på romnivå er SIMIEN og IDA ICE. Rådgiverene forteller at de bruker disse beregningsverktøyene, men at det hovedsakelig anvendes stasjonære beregninger for å anslå effektbehov på romnivå. Noen benytter dynamiske beregninger for å sammenligne effektbehovet med stasjonære beregninger, mens andre bruker det kun for å undersøke termisk inneklima på romnivå. Disse to simuleringsprogrammene gir forskjellige resultater selv om det er like forutsetning for romutforming og klimaskall. Effektbehovet varierer i forhold til hvilket program og klimadata som anvendes. Dette diskuteres nærmere i delkapittel 5.2.4 .

Intervjuobjektene har erfaring med dimensjoneringsfeil av effektbehov er blant annet å ikke ta hensyn til glassfasader eller store vindusoverflater, bruke ventilasjon som romoppvarming, ikke ta hensyn til infiltrasjon eller at den er beregnet for lavt, anta en effekt per kvadratmeter (W/m^2) uten å ta hensyn til overflater og tilstøtende rom og eventuelt å glemme at tilluft i ventilasjonsanlegg har undertemperatur. Intervjuobjektene har også nevnt andre årsaker til at effektbehovsberegningen blir feil. Intervjuobjekt 3 påstår at feil ofte skjer fordi konsulenter ikke har god nok forståelse av simuleringsprogrammet som anvendes, mens intervjuobjekt 6 mener at det er beregningsprogrammene som er for dårlig.

Intervjuobjektene har mange tiltak som kan forbedre et underdimensjonert rom. Det er ett spesifikt tiltak som de aller fleste nevner, og det er å øke turtemperaturen på varmekursen. Dette er med forbehold om at alle rom i bygget er underdimensjonert. For å forbedre effektutbytte på romnivå, er det foreslått å installere større eller flere oppvarmingskilder. Det nevnes også at man kan innregulere varmeanlegget slik at rom som mangler effekt får økt vannmengder. Dette avhenger av overkapasitet på anlegget slik at en kan øke effekt i ett rom uten at det går på bekostning av effektutbytte i andre rom. Hvis det ikke er nok kapasitet på varmeanlegget, kan man plassere varmeelementene slik at man stopper det man kan av kaldras. Hvis dette ikke er tilstrekkelig kan man legge inn et større varmebatteri i ventilasjonsaggregatet, og levere luft med høyere tilluftstemperatur. I tilfeller hvor rom er underdimensjonert og det samtidig anvendes nattsenking, kan man fjerne nattsenkingen som et tiltak for å forbedre effektutbyttet i rommene.

Når intervjuobjektene ble spurt om hvordan de beregnet effektbehov på romnivå, var det flere som svarte at de bruker et regneark utviklet av firma/arbeidsplass, og beskriver videre hvilke parametre dette regnearket tar hensyn til. Dette gir et inntrykk av at rådgiverene beskriver hvilke tall de plotter inn i regnearket. Det kan tenkes at når rådgivere begynner å jobbe, får de opplæring i hvordan de skal bruke regnearket, altså hvilke tall og parametre

som må plottes inn. Inntrykket man sitter igjen med er at det i enkelte tilfeller kan mangle bakgrunnsinformasjon om beregningen som utføres.

Intervjuobjektene forteller at de tar hensyn til rom som kan klassifiseres som kristiske rom når de effektdimensjonerer varmebehov. Dette tilsvarer rom med store glassarealer, rom som skiller mot fler enn en fasade, og andre rom hvor det er fare for underdimensjonert effektbehov. I slike rom beregner de effektbehov og simulerer termisk inneklimate dynamisk.

5.2 Beregning av effektbehov

Det er undersøkt om underdimensjonering på romnivå kan forekomme på grunn av beregningsmetode eller andre påvirkningsfaktorer. I dette delkapittelet presenteres og diskuteres resultater av stasjonære og dynamiske beregninger for effektbehov på romnivå. I tillegg til å svare på problemstilling presentert i kapittel 1.2, er det også undersøkt påstander tilknyttet årsak til underdimensjonering som intervjuobjektene.

Det er valgt å undersøke disse påstandene ved å anvende dynamiske beregninger. Aktuelle påstander som undersøkes er:

1. Nattsenkning har negativ innvirkning på termisk komfort og energibehov.
2. Vinduets U-verdi blir dårligere ved lave utetemperaturer.
3. Ventilasjonspåvirkningen på effektbehov til romoppvarming blir undervurdert.
4. Det tar for lang tid å øke operativ temperatur i et rom når bruker kan regulere settpunktstemperaturen selv.

For å kunne vurdere de forskjellige påstandene er det valgt å holde enkelte parametre konstant ved simulering. For dynamiske beregninger er forutsetninger beskrevet i tabell 5.2 og 5.3. Forutsetninger for stasjonære beregninger er beskrevet i metodekapittelet i tabell 4.2. Resultatet av effektbehov ved stasjonær beregning er presentert i tabell 5.1 og dynamisk beregning i tabell 5.2 og 5.3.

For å systematisere resultatet er det valgt å nummerere hver beregning etter stasjonær og dynamisk. Eksempelvis står S.1 for stasjonær beregning forsøk nr. 1, D.2- står for dynamisk beregning forsøk nr. 2. Resultatbeskrivelse, hjelpefigurer og diskusjon er presentert under egne seksjoner i dette kapittelet.

Tabell 5.1: Stasjonært effektbehov til romoppvarming med dimensjonerende utetemperatur 19,8°C og maks luftmengder

Nr.	NS-EN 12831-1 Arealvektet	Effekt [W]
	Transmisjonsvarmetap $\phi_{T,e}$	244
	Infiltrasjonsvarmetap $\phi_{inf,e}$	49
	Ventilasjonsvarmetap ϕ_{vt}	86
S.1	Totalt effektbehov til romoppvarming ϕ_{HL}	379
	Effektbehov til gjenoppvarmingseffekt $\phi_{HL,1}$	500
S.2	Effektbehov til romoppvarming med nattsenking $\phi_{HL,2}$	879
Nr.	NS-EN 12831-1 Varmetapskoeffisienten	Effekt [W]
	Ventilasjons varmetap ϕ_{vt}	86
S.3	Effektbehov til romoppvarming $\phi_{HL,1}$	288
	Effektbehov til gjenoppvarmingseffekt ϕ_{hu}	500
S.4	Totalt effektbehov til romoppvarming med nattsenking $\phi_{HL,2}$	788

Tabell 5.2: Resultat Dynamisk beregning del 1

Nr.	Beregningsbeskrivelse	Effekt [W]	Forutsetninger
D.1	Gullstandard: Effektbehov med ny klimadata	270	CAV 100 m ³ /h Settpunkttemperatur 21,5°C Ideell varme
D.2	Gullstandard: Effektbehov med internlaster i driftstid	258	CAV 100 m ³ /h Settpunkttemperatur 21,5°C Ideell varme 1 person , data og belysning
D.3	Gullstandard: Effektbehov med nattsenking	973	Nattsenkingstemperatur 18°C 12 timer varighet
D.4	Test av Gullstandardmetoden: Effektbehovet begrenses	258	CAV 100 m ³ /h Settpunkttemperatur 21,5°C Effektbegrensning 270W
D.5	Effektbehov ved kald periode	257	CAV 100m ³ /h Settpunktstemperatur 21,5°C Vannbåren varme
D.6	Ny klimafil IDA ICE	217	CAV 100m ³ /h Settpunktstemperatur 21,5°C Vannbåren varme
D.7	IWEC klimafil IDA ICE	241	CAV 100m ³ /h Settpunktstemperatur 21,5°C Vannbåren varme
D.8	Klimafil blinderen SIMIEN	328	CAV 100m ³ /h Settpunktstemperatur 21,5°C Vannbåren varme

Tabell 5.3: Resultat Dynamisk beregning del 2

Nr.	Beregningsbeskrivelse	Effekt [W]	Forutsetninger
D.9	Effektbehov med U-verdi vindu $1,2 W/m^2 K$	266	CAV $100 m^3/h$ Settpunkttemperatur $21,5^\circ C$ vannbåren varme
D.10	Effektbehov med U-verdi vindu $1,27 W/m^2 K$	275	CAV $100 m^3/h$ Settpunkttemperatur $21,5^\circ C$ vannbåren varme
D.11	Ventilasjonspåvirkning uten effektbegrensning	895	VAV, CO_2 og temperatur $q_{min} = 26m^3/h$ $q_{maks} = 100m^3/h$ Tilluftstemperatur $18^\circ C$ Maks CO_2 -konsentrasjon 750 ppm
D.12	Ventilasjonspåvirkning med effektbegrensning	358	VAV, tilstedeværelse $q_{min} = 26m^3/h$ $q_{maks} = 100m^3/h$ Tilluftstemperatur $18^\circ C$ Maks CO_2 -konsentrasjon 750 ppm
D.13	Temperaturøkning i rom med CAV 1	186	CAV $100m^3/h$ Settpunkttemperatur start: $20^\circ C$ Settpunkttemp slutt: $23^\circ C$ Ideell varme
D.14	Temperaturøkning i rom med CAV 2	182	CAV $100m^3/h$ Settpunkttemperatur start: $20^\circ C$ Settpunkttemp slutt: $23^\circ C$ Vannbåren varme
D.15	Temperaturøkning i rom med VAV, Tilstedeværelse	636	$q_{maks}=100m^3/h$ $q_{min}=25m^3/h$ Settpunkttemperatur start: $20^\circ C$ Settpunkttemp slutt: $23^\circ C$ Vannbåren varme
D.16	Temperaturøkning i rom med VAV, CO_2 og temperatur	150	$q_{maks}=100m^3/h$ $q_{min}=25m^3/h$ Settpunkttemperatur start: $20^\circ C$ Settpunkttemp slutt: $23^\circ C$ Vannbåren varme

5.2.1 S.1 og S.3 Effektbehov til kontor med maks luftmengder og DUT

For å vurdere effektbehovet ved stasjonære beregninger er det valgt å ta hensyn til maksimal luftmengde med 100% personbelastning. Det er ikke inkludert internlast i den stasjonære beregningen. Simuleringsmodell er et cellekontor og det vurderes at internlastene har neglisjerbar innvirkning på varmetilskuddet. I henhold til formel 4.1 inkluderer internlast på romnivå, men i NS-EN 12831-1 står det at det er valgfritt å inkludere internlast, og at det bør vurderes ut i fra rommets funksjon. Se beregningsresultat i tabell 5.1.

Resultatet av effektbehovet til romoppvarming mellom S.1 og S.3 har en differanse på 91W. Effektbehovet beregnet i S.3 er 24% lavere enn S.1. Effektbehovet vil derfor variere etter hvilke metode fra NS 12831-1 som anvendes. Når man benyttet varmetapskoeffisienten for å beregne effektbehov til romoppvarming så innebærer det en forenkling. Varmetapskoeffisienten er en koeffisient for bygningskroppen, så når den anvendes til å beregne effektbehov til romoppvarming kan det forekomme avvik i beregningen da denne koeffisienten beskriver varmeeffekt per oppvarmet gulvareal til bygget.

Ved å beregne effektbehov etter NS-EN 12831-1 Arealvekting er det samtidig gjort forenklinger når det gjelder kuldebroverdier til rommet. Det er anvendt byggets normaliserte kuldebroverdi og ikke kuldebroverdier til rommet. Dette kan utgjøre et avvik på transmisjonsvarmetapet. Det er imidlertid tilnærmet riktig å beregne effektbehovet til romoppvarming ved å benytte denne metoden da de fleste kuldebroene erfaringsmessig er i fasaden.[22].

Stasjonær beregning av effektbehov er noe forenkelt i forhold til nye systemløsninger og regulering av varme og ventilasjon. Den tar ikke hensyn til variasjoner i tillufttemperaturer, luftmengder og settpunkttemperaturer, nettopp fordi den er stasjonær. Den ser på en situasjon med låste verdier for temperaturer, luftmengder og byggets klimaskall. Det menes imidlertid at denne metoden er tilstrekkelig for å beregne effekt til romoppvarming fordi man bruker dimensjonerende utetemperatur og maksimal luftmengder. Den dimensjonerende utetemperaturen (DUT) i Oslo er $19,8^{\circ}\text{C}$, og er middeltemperaturen over en tidsperiode på tre sammenhengende dager i løpet av 30 år. Denne utetemperaturen tilsvarer en prosentil mellom 0,07% til 0,09%, som da indikerer at utetemperaturen er kaldere enn $19,8^{\circ}\text{C}$ opp til 7 timer i året.

5.2.2 S.2 og S.4 Effektbehov til gjenoppvarming ved nattsinking

For å beregne effektbehov til nattsinking ble det forutsatt 14 timer nattsinking, med luftutveksling under nattsinking på $0,5\text{m}^3/\text{hm}^2$. Oppvarmingstid til varmeanlegget er satt til en time, og spesifikk oppvarmingseffekt til $50\text{W}/\text{m}^2$. Romtemperatur under nattsinking er 4°C kaldere enn settpunkttemperatur på $21,5^{\circ}\text{C}$. Det er antatt oppvarmingstid på 1 time hvor temperaturen skal øke 4°C . Disse verdiene er hentet fra NS-12851 tabell F1. Det totale effektbehovet til romoppvarming av beregningsmodellen er vist i tabell 5.1. Hvis man skal benytte nattsinking i kontoret må det installeres 500W mer effekt for å nå ønsket romtemperatur i driftstid. Dette er basert på stasjonære beregninger og tar kun hensyn til om det er lav eller høy termisk masse.

For denne beregningen er det forutsatt lav termisk masse på romoverflater. Termisk masse utgjør en avgjørende faktor for hvor lang tid temperaturøkningen tar, dette er imidlertid forenklet i de stasjonære beregningene i NS-EN 12831-1.

Effektbehovet blir vesentlig høyere når det anvendes nattsinking. Dette medfører større radiatorer og høyere effektbruk til romoppvarming. Det kreves 500W ekstra fra varmeanlegget for å klare temperaturløftet på 4°C. Nattsinking bør ikke overskride 5°C. Det er derfor valgt å vurdere 4°C nattsinking for å vurdere en stasjonær situasjon hvor det kan forventes høyt effektbehov til romoppvarming. Rommodellen er presentert i kapittel 4.2. Det er i rommodellen forutsatt driftstid på 12 timer fra kl. 06.00 til kl. 18.00. I tabell F.1 i NS-EN 12831-1 er det oppgitt gjennoppvarmingseffekt ved nattsinking på 8, 14, 62 og 168 timer. Det er derfor antatt 14 timer nattsinking ved beregning S.2 og S.4. Beregnet effektbehov i S.2 og S.4 avviker derfor fra det dynamisk effektbehovet, da varigheten til nattsinkingen i dynamisk beregninger er satt til 12 timer. Nattsinkings påvirkning på effektbehovet diskuteres nærmere i delkapittel 5.2.3.

I dagens byggebransje anvendes ikke nattsinking da det stadig bygges tettere bygg. Det er imidlertid valgt å vurdere påvirkning av nattsinking på effektbehovet fordi flere av intervjubjektene har sagt at nattsinking kan føre til at rom underdimensjoneres. Selv om nattsinking ikke brukes i nybygg, kan det være integrert i bygg som skal rehabiliteres. I det tilfellet kan det være aktuelt å vurdere effektbehov ved nattsinking.

5.2.3 D.1-D.4 Gullstandarden

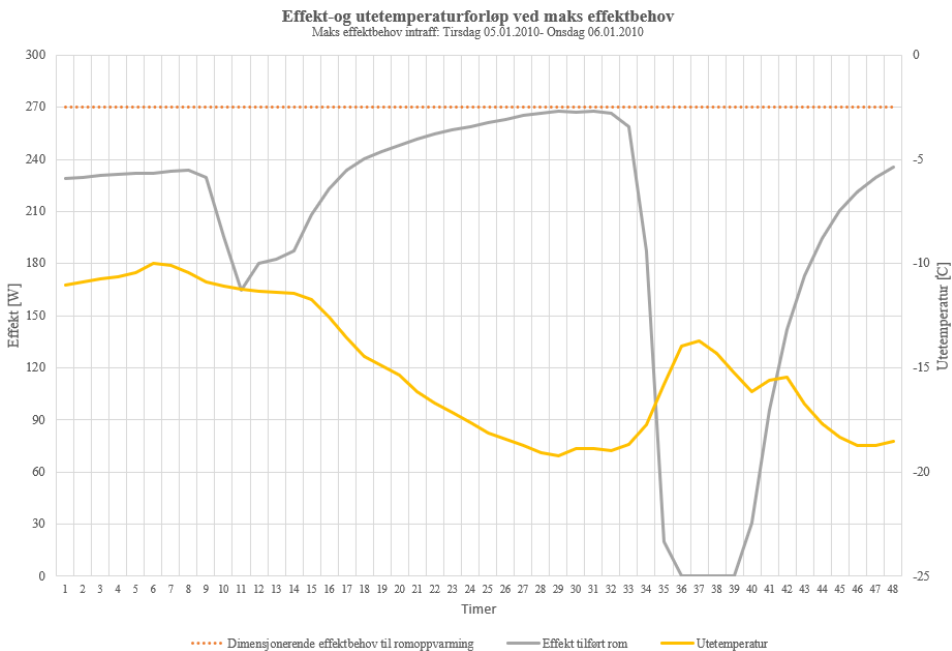
Beregning D.1 består av effektbehov til kontor uten internlaster. Beregning D.2 er effektbehov til romoppvarming når internlaster er inkludert i driftstid. D.3 er effektbehov når det anvendes nattsenkning med nattsenkningstemperatur på 18°C og varighet på 12 timer. Dynamisk beregning D.1 ga et effektbehov på 270W . Dette er det høyeste effektbehovet rommet behøver over en simuleringsperiode på 20 år. Det er antatt at beregning D.1 presentert i tabell 5.4, representerer et mest mulig korrekt estimat av nødvendig effekt til romoppvarming.

Tabell 5.4: Effektbehov til romoppvarming med ny klimafil

Nr.	Beskrivelse	Effekt til romoppvarming [W]
D.1	Med CAV og uten internlaster	270
D.2	Med internlaster i driftstid	258
D.3	Med nattsenkning uten internlaster	973

Maksimalt effektbehov inntreffer onsdag 6. januar 2010 kl. 07.00 om morgenen. Se figur 5.1 for effekt og temperaturforløp for 5. og 6. januar. Det er valgt å inkludere dagen før maks effektbehov inntreffer for å se på hvilken effekt og utetemperatur det er i forkant av dagen med høyest effektbehov. Som man kan se i figur 5.1 inntreffer høyest effektbehov to timer etter den laveste utetemperatur på $-19,2^{\circ}\text{C}$. Lavest utetemperatur inntreffer kl.05.00 onsdag 6. januar. Når utetemperaturen begynner å stige, reguleres effektilførsel ned til null frem til utetemperaturen igjen begynner å avta.

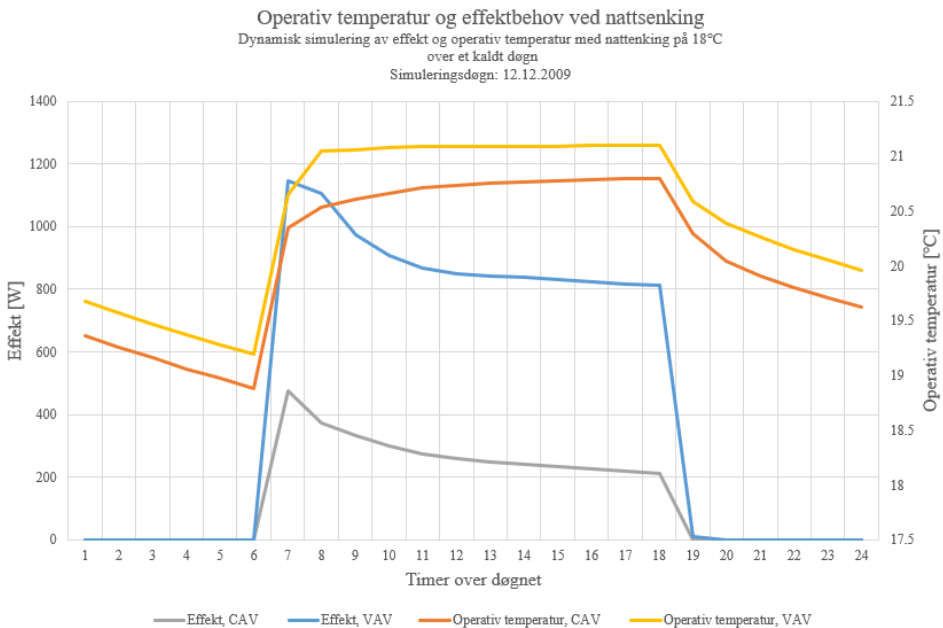
Effektbehov til romoppvarming ved stasjonære beregninger S.1 ga 379W . Se tabell 5.2. Differansen mellom dynamisk- og stasjonær beregning av effektbehov til romoppvarming er 109W . Dette tilsvarer en differanse på 29%. Hvis man i tillegg inkluderer en sikkerhetsfaktor på 20%, overdimensjoneres effektbehovet med 49% ved stasjonære beregninger. S.1 anvender dimensjonerende utetemperatur. For D.1 inntreffer høyest effektbehov når utetemperaturen er tilnærmet lik dimensjonerende utetemperatur på $-19,8^{\circ}\text{C}$. Det kan ut i fra dette antas at det er andre faktorer enn utetemperatur som er avgjørende for effektbehov til romoppvarming. Det kan være termisk masse, vindhastighet og/eller solinnskudd.



Figur 5.1: Effektbehov og temperaturforløp det døgnet maks effektbehov inntreffer.

En del av problemstillingen til oppgaven var å undersøke om effekt til romoppvarming blir underdimensjonert. Ut i fra bergening D.1 og S.1 gir resultatene indikasjon på at det ikke underdimensjoneres når man anvender stasjonære beregningsmetode, men heller at effektbehovet på romnivå overdimensjoneres. Det må imidlertid nevnes at denne beregningen forutsetter konstante luftmengder og ideell varme. I nybygg er det vanlig at ventilasjon behovstyres (VAV) og at romoppvarming består av vannbåren varme. Konsekvenser dette medfører vil bli diskutert i kapittel 5.2.7.

Varmetilførsel fra internlaster i cellekontorer utgjør en liten forskjell på effektbehov til romoppvarming. Ved å inkludere internlaster reduserer effektbehovet med $12W$. Se D.2 i tabell 5.4. I intervjuvarene i vedlegg A, kom det frem at internlaster bør inkluderes i rom med høy personbelastning eller rom hvor man kan forvente varmeavgivelse fra prosesser og utstyr. Beregningsmodellen er et cellekontor, hvor det er forventet lave internlaster. Internlastene for cellekontoret er ikke utslagsgivende på effektbehovet da det har liten påvirkning på total effektbehov til romoppvarming. Det er viktig å ta hensyn til varmetilskudd fra internlaster i rom hvor det er risiko for høye romtemperaturer i fyringsesongen, som for eksempel data- og serverrom, store samlingslokaler hvor det er forventet høy personbelastning og rom hvor prosesser avgir mye varme.



Figur 5.2: Effektbehov og operativ temperatur i kontor med nattsenkning og CAV og VAV ventilasjon.

For å undersøke hvor mye nattsenkning påvirker effektbehovet med Gullstandardmetoden, er det undersøkt maks behov til gjenoppvarmingseffekt. D.3 i tabell 5.4 viser dynamisk beregnet effektbehov med Gullstandardmetoden og nattsenkning. D.3 ble beregnet til 973 W med nattsenkningstemperatur på 18°C utenfor driftstid. For stasjonær beregning S.3, ble effektbehovet beregnet til 879 W. Den stasjonære beregningen med nattsenkning er derfor lavere enn for dynamisk beregning D.3. Dette kan skyldes at IDA ICE tar hensyn til beregningsmodellens termisk masse.

For stasjonære beregninger tas det kun hensyn til om termisk masse er høy eller lav. For å undersøke hvorfor D.3 får et høyere effektbehov enn S.3, er det vurdert effektbehov opp mot operativ temperatur. Figur 5.2 viser logget timesverdier av effekt og operativ temperatur over en dag i desember. Figuren viser effektbehov ved start og slutt av nattsenkningen med forholdsvis konstante (CAV) og behovstyrte (VAV) luftmengder. VAV er styrt etter tilstedeværelse i driftstid. Inndata til figur 5.2 er hentet fra en tilfeldig dag, effektbehovet ved CAV er derfor lavere enn resultatet i D.3, og representerer ikke maksimalt effektbehov. Effektbehovet blir høyt fordi reguleringen er innstilt til å øke temperaturen fra 18°C

til 21,5°C innen en time.

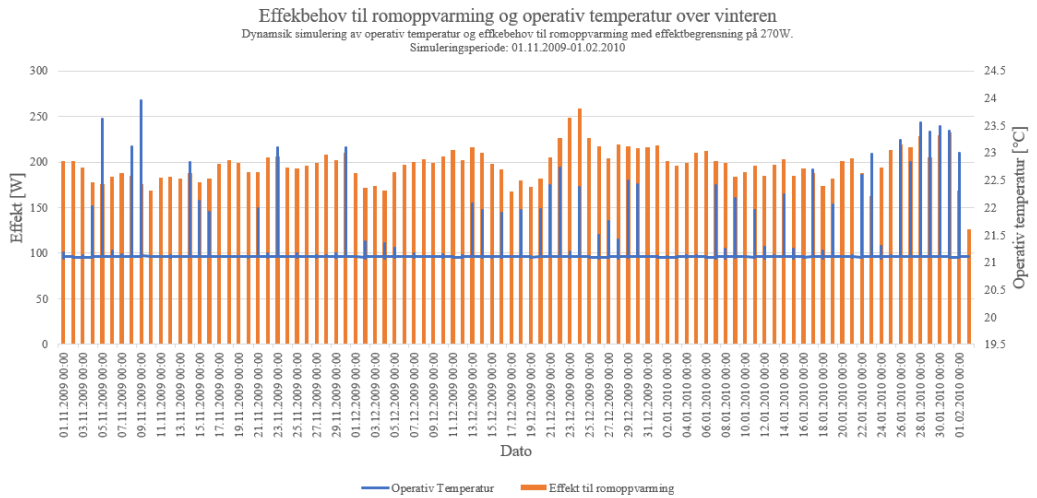
Operativ temperatur for begge ventilasjonsprinsippene ligger rett over og under 21°C i driftstid. Dette er et akseptabelt resultat og tilfredstillet TEK 17 sin veiledning til operativ temperatur. Effektbehov er derimot svært høyt spesielt når ventilasjonsprinsippet er VAV. Effektilførsel i dette tilfellet tilsvarer over 120 W/m², som er unormalt høyt for et standard cellekontor. NS-EN 12831-1 tabell F.1 oppgir en oppvarmingseffekt på 50 W/m² for lett termsik masse. For tung termisk masse er oppvarmingseffekten lavere fordi lagringsevnen i materialene gir treghet i varmeoverføring. Gjennoppvarmingseffekten er derfor lavere i rom med høy termisk masse.

Gjennoppvarmingseffekt ved VAV krever et høyt momentant effektbehov til romoppvarming. På bygningsnivå vil dette føre til at varmesentralen må kunne levere høy effekt på kort tid. Desto mer effekt bygget trenger, desto større og mer kostbart er anlegget. Som figur 5.2 viser, krever nattsinking høy effekt, uten at den tilfredsstiller rommets settpunktstemperatur i driftstid.

D.4: Test av Gullstandarden

D.4 tar utgangspunkt i simulert effektbehov med konstante luftmengder og låst effekt på romoppvarming. D.4 er en test av Gullsandarden. Effektilførselen i rommet begrenses til 270W, som tilsvarer beregnet effektbehov ved D.1. Det er undersøkt om det termiske inneklimaet blir tilfredsstilt selv om man ikke legger til sikkerhetsfaktorer, men kun den effekten som i utgangspunktet skal kunne dekke oppvarmingsbehovet. For denne simuleringen er det valgt å bytte ut ideell oppvarming med vannbåren radiator. Begrensing på effekt er satt til 270W som er det maksimale varmebehovet i rommet simulert over 20 år. Se tabell 5.4. Radiatoren er PI-regulert, slik at radiatoren alltid vil prøve å strekke seg til settpunktstemperatur. Se figur 5.3 for simuleringresultat av temperaturforløp.

Settpunkttemperaturen i rommet er satt til 21,5°C. Figur 5.3 viser at temperaturen ligger under 21°C over en lenge periode. Grafen er logget etter timesverdier, så operativ temperatur vil ved noen tidspunkt nå høyere temperaturer enn settpunkt. Dette skyldes temperaturvariasjoner i utetemperatur og treghet i det vannbårne varmeanlegget. Operativ temperatur kan ligger under 21°C opp til 6 dager i strekk.



Figur 5.3: Romtemperatur over kald periode

Dette tilfredsstillende ikke anbefalte verdier i NS-EN 15251 med operativ temperatur på 21°C for kontor klasse 1. Krav til operativ temperatur i rommet er imidlertid tilfredsstillende i henhold til TEK 17 veiledning §13-4 til operativ temperatur mellom 19-26°C ved lett arbeid. Minimum, maksimal og gjennomsnittlig operativ temperatur for simuleringsperioden er vist i tabell 5.5.

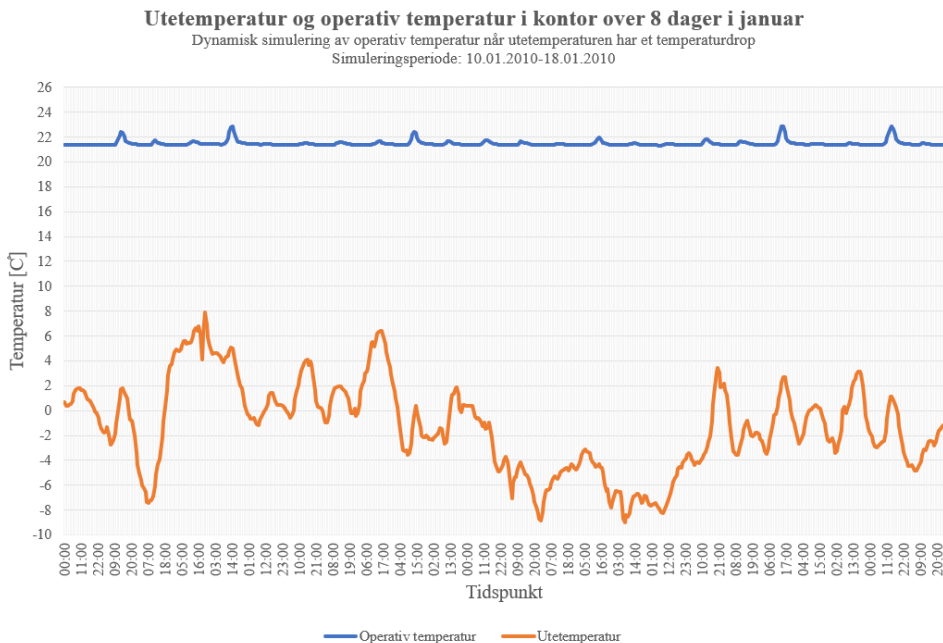
Tabell 5.5: Oppsummering av temperaturforløp til figur 5.3

Nr.	Min. Operativ Temperatur [°C]	Maks. Operativ Temperatur [°C]	Gjennomsnittlig Operativ Temperatur over hele perioden[°C]
D.4	19,8	23,9	20,7

Figur 5.5 viser også effektbehovet til romoppvarming gjennom simuleringsperioden. Man kan se at den ikke overstiger 270 W som er maks dimensjonerende effektbehov. Selv om operativ temperatur ligger litt under settpunktstemperaturen på 21,5°C, er rommet tilfredsstillende i henhold til veiledning i TEK17. Effektbehovet ved de gitte forutsetningene kan ikke klassifiseres som underdimensjonert. For å sammenligne gullstandarden med stasjonære beregninger, er det gjort en stasjonær beregning ved samme forutsetninger. En stasjonær beregning med samme forutsetninger gir et effektbehov på 335W. I D.4 er laveste utetemperatur i simuleringsperiode -13,6°C. Dette undersøkes nærmere i seksjon 5.2.4.

5.2.4 D.5 Virkning av dynamisk simulering over en kalt periode.

D.5 er en dynamisk beregning av en periode hvor utetemperaturen faller på kort tid. Figur 5.4 viser at selv om utetemperaturen varierer med opp til 10°C på under ett døgn, reduseres ikke operativ temperatur i rommet. D.5 ga et effektbehov til romoppvarming på 257W. Se tabell 5.3.



Figur 5.4: Påvirkning av utendørs temperaturfall på kontorets operativ temperatur.

Figur 5.4 viser at når utetemperaturen øker, får man små toppene på operativ temperatur. Dette kan skyldes solinnskudd og treghet i vannbåren varmeanlegg. Toppene på operativ temperatur blir redusert ved lavere utetemperatur, men operativ temperatur synker ikke under settpunktstemperaturen. Termisk inn klima er tilfredsstillende ved at byggets termiske egenskaper ivaretar operativ temperatur selv ved hyppige utendørs temperaturvariasjoner. Det må likevel nevnes at D.5 er kun gjeldende ved forutsetning om konstante luftmengder og vannbåren varme.

Innvendig ytterveggoverflaten i beregningsmodellen består av eksponert betong. Betong har høy termisk masse, som tilvarer høy varmekapasitet og konduktivitet. Rommet har derfor en lagringsevne som gjør at selv om utetemperaturen reduseres på kort tid, klarer rommet holde ønsket settpunkttemperatur. Effektbehovet i D.5 overstiger ikke effektbe-

hovet til Gullstandarden i D.1 på 270W. Høy termisk masse er fordelaktig i rom hvor man ikke trenger eller ønsker at bruker kan regulere settpunktstemperaturen i rommet. Det er energisparende ved at den ivaretar termisk inneklime selv om utetemperaturer får et temperaturdrøpp.

5.2.5 D.6-D8 Test av klimafil i SIMIEN og IDA ICE

Det er undersøkt om i stor grad klimafil og beregningsprogram påvirket effektbehov til romoppvarming. D.6 og D.7 er beregnet ved bruk av IDA ICE med ny klimafil og IWEC2. D.8 er beregnet med SIMIEN, hvor det er anvendt vintersimulering med klimafil for Oslo Blinderen. Resultat fra vintersimulering i SIMIEN er vist i vedlegg D. Forutsetningene for beregning er ideell varme med effektbegrensning på 1000W og CAV-ventilasjon med 100 m³/h. Se tabell 5.6 for simuleringsresultat.

Tabell 5.6: Effektbehov ved anvendelse av ny klimafil og IWEC 2

Nr.	Klimadata og lokasjon	Effektbehov til romoppvarming [W]	Laveste utetemperatur i simuleringsperioden [°C]
D.6	Ny klimafil Oslo Blinderen	217,4	-11,7
D.7	IWEC 2 Oslo Fornebu	241	-16,3
D.8	SIMIEN Oslo Blinderen	328	-22,3

Dynamisk effektbehov til romoppvarming er størst i D.8. D.8 representerer størst avvik sammenlignet med dynamisk beregning i IDA ICE. D.6 gir lavest effektbehov til romoppvarming, mens D.7 ligger i midten med et effektbehov på 241W. Simuleringsperiodens laveste utetemperatur er vist i tabell 5.6. Naturlig nok øker effektbehøvet ved lavere utetemperaturer. Klimafil i SIMIEN er forenklet sammenlignet med klimafil for IDA ICE. Den antar at utetemperaturer svinger etter en sinuskurve. Det vil si at ved vintersimulering vil laveste utetemperatur inntreffe 12 timer etter høyeste utetemperatur. Dette er en grov og unøyaktig estimering, da dette ikke representerer utetemperaturerens reelle temperaturvariasjoner.

IDA ICE benytter reelle timesverdier for utendørs klima. IWEC 2 har ikke målte verdier for solradiasjon og det er ikke beskrevet i hvilken periode klimadata er målt og logget.

Solradiasjonen i denne klimafilen er basert på beregninger tilknyttet sol- og jordgeometri. Se seksjon 4.4.2. Det kan derfor forekomme større avvik fra målte verdier når denne klimafilen anvendes i dynamisk beregning av effektbehov til romoppvarming. D.6 anvender ny klimafil med målte verdier for solradiasjon, utendørs temperaturer, vindretning og -hastighet. Denne klimafilen representerer derfor en mer korrekt klimabeskrivelse enn D.7 og D.8.

Effektbehovdifferansen mellom simuleringsverktøy og klimafilene tilsvarer over 100W mellom D.6 og største effektbehov. Effektbehov til romoppvarming varierer med opp til 33%, avhengig av hvilke simuleringsverktøy og klimadata som anvendes. D.7 er 10% høyere enn D.6, mens D.8 har størst avvik til D.6 med 33% høyere effektbehov.

5.2.6 D.9-D.10 Påvirkning på effektbehov ved redusert U-verdi på vindu

U-verdi på vindu varierer med utetemperatur [26]. I praksis reduseres U-verdien når temperaturen synker og vindene øker. Spesielt for trelagsglass. For trelagsglass er reduksjonen marginal, og derfor er denne type glass godt egnet for områder med vindfullt og kaldt klima. [27]. Det er vanlig å anvende trelagsglass i nye bygg. Simuleringsmodellen har derfor tatt utgangspunkt i trelags glassvindu med total U-verdi for vindu og karm på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

For å teste hvor stor grad effektbehovet og termisk inneklimate endres ved høyere og lavere U-verdi på vindu er det valgt å simulere et effektbehov til kontor med U-verdi for glass og karm på henholdsvis $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$. Disse U-verdiene er valgt ut i fra mål for trelagsglass-vindu ved forholdsvis 0°C og -20°C . Se tabell 5.7 for simuleringsresultat.

Tabell 5.7: Simuleringsresultat for endring av U-verdi på vindu

Nr.	U-verdi for vindu	Effektbehov til romoppvarming [W]	Min. operativ Temperatur [$^\circ\text{C}$]	Maks. PPD [%]
D.9	$1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	266	20	18,6
D.10	$1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$	275	19,9	18,9

Dynamisk beregning ved endret U-verdi på vindu ga små variasjoner i PPD og operativ temperatur. PPD-verdien tilfredsstillte ikke kravet i NS15258 om mindre eller lik 5%. Dette skyldes lav operativ temperatur. Effektbehov til romoppvarming ble imidlertid litt større når U-verdi økte. Differansen mellom D.9 og D.10 utgjør 3%.

I intervjuene var det ett intervjuobjekt som sa at U-verdien til vinduet i noen tilfeller kan feilberegnes fordi vindusleverandør dokumenterer U-verdier ved middeltemperaturer og ikke dimensjonerende utetemperatur, og at det derfor beregnes for lite effekt for å håndtere transmisjonsvarmetapet. Dette er en faktor som vedkommende mener kan føre til at rom blir underdimensjonert. Tidligere har det vært vanlig å benytte tolagsglass hvor U-verdien øker ved lave utetemperaturer. I tolagsglass vil nok lave utetemperaturer utgjøre et større varmetap. I dagens byggemetode er det vanlig å benytte trelagsglass i næringsbygg. Det kan derfor antas at U-verdien på vinduet ikke utgjør en avgjørende faktor til at det dimensjoneres for lite effekt til romoppvarming.

5.2.7 D.11-D.12 Virkning av lavere tilluftstemperatur på effektbehov

For å undersøke ventilasjonspåvirkning på effektbehovet er det testet hvor stor påvirkning reduksjon på 1°C på tilluftstemperatur utgjør på romnivå i en kald periode. Forutsetning for D.11 og D.12 er at ventilasjon styres etter VAV med tilstedeværelse i driftstid. Maksimale luftmengder er satt til 100 m³/h. Romoppvarming består av radiator med vannbåren varme hvor effektbegrensningen til D.11 og D.12 er 1000W og 379W. Se tabell 5.8 for simuleringsresultat.

Tabell 5.8: Simuleringsresultat: Tilluftstemperatur redusert ved 1°C og VAV styres etter tilstedeværelse.

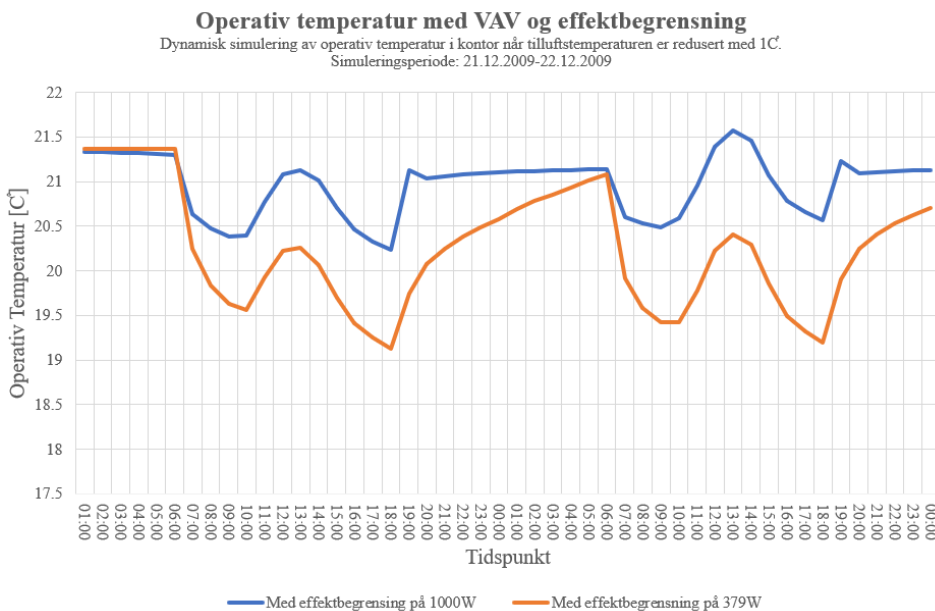
Nr.	Maks. Effekt radiator	Effektbehov til romoppvarming [W]	Min. Operativ Temperatur [°C]	Maks PPD [%]
D.11	1000 W	895	20,3	21,12
D.12	379 W	358	19,3	34,6

I D.11 og D.12 er tilluftstemperaturen redusert fra 19°C til 18°C. Det er valgt å se på forskjellig effektbegrensning for å undersøke i hvor stor grad ventilasjon påvirker effektbehov og operativ temperatur i rommet. Se figur 5.5. Det er lagt inn høy varmeeffekt i D.11 for å forsikre at operativ temperaturen ikke synker til under 19°C i driftstid. Som figuren 5.5 viser vil varmeanlegget ligge rundt settpunktverdi på 21°C utenfor driftstiden.

Operativ temperatur tar et stup i det ventilasjonsanlegget setter i gang kl. 06.00. Da synker romtemperaturen med 1°C i D.11 og 2°C i D.12. Verken D.11 eller D.12 når settpunkttemperatur på 21,5 °C innenfor driftstiden. Rundt kl.18.00 får rommet et lite temperaturløft

over settpunkttemperatur. Dette skyldes en treghet i vannbåren anlegg hvor anlegget bruker tid på å justere ned varmeeffekt i det tidspunktet luftmengden reduseres til minste luftmengder.

Effektbegrensningen til D.12 er valgt i henhold til S.1 hvor effektbehov til romoppvarming er beregnet til 379W. Minste operativ temperatur i D.11 og D.12 er 20,3°C og 19,3°C i driftstid. Dette tilfredstiller TEK17 anbefaling til operativ temperatur, men ikke NS 15251 på 21°C for klasse 1, kontor. Når luftmengden i rommet justeres fra minimum til maksimum, får man et temperaturdrøpp i rommet. Operativ temperatur når toppetemperatur kl.13.00 i driftstid, for så å avta frem til kl.18.00. Når luftmengden reduseres kl.18.00, begynner temperaturen å øke opp mot settpunkt. Den laveste utetemperaturen i simuleringsperioden er -10°C.



Figur 5.5: Romtemperatur ved VAV, tilstedeværelse og 379W effektbegrensning

Den dynamiske beregningen som gir best resultat i forhold til termisk inneklima er D.11. D.11 krever imidlertid et effektbehov på 895W. Selv om effektbehovet er høyt, bruker oppvarmingslegemet lang tid på å nå settpunktstemperatur, om den i det hele tatt klarer det.

PPD-verdien i rommet er ikke tilfredstillt for D.11 og D.12. Prosentandel missfornøyde

brukere er lavere ved D.11, men fortsatt ikke innenfor anbefalt verdi på mindre eller lik 5% i henhold til NS-EN 15251 kontor klasse 1. Minste operative temperatur er 19,3°C for D.12. Det tilfredsstillende akkurat TEK17 anbefalte verdier for operativ temperatur. Prosentandelen misfornøyde er imidlertid 34%.

Flere av intervjuobjektene mener at det ikke tas nok hensyn til ventilasjonspåvirkning når man beregner effektbehov til romoppvarming. Resultatet av D.11 og D.12 viser at ventilasjon har en tydelig påvirkning på operativ temperatur når ventilasjon er behovstyrt. En annen påstand var at man ikke tar hensyn til undertemperatur på tilluften. Det er vanlig å ha litt høyere tilluftstemperatur på vinteren og lavere på sommeren. For å sikre optimal omrøring av luft er det viktig at tillufttemperaturen alltid er et litt lavere enn lufttemperaturen i rommet. Når man regner effektbehovet stasjonært, antas en fast tilluftstemperatur, men som beskrevet tidligere hender det at tillufttemperaturen varierer mellom årstider. Hvis man ikke tar hensyn til undertemperatur på tilluft og behovstyring av ventilasjonsanlegg, kan man risikere å beregne for lavt effektbehov til romoppvarming. Dette tilsvarer derfor en situasjon hvor underdimensjonering av effektbehov kan forekomme.

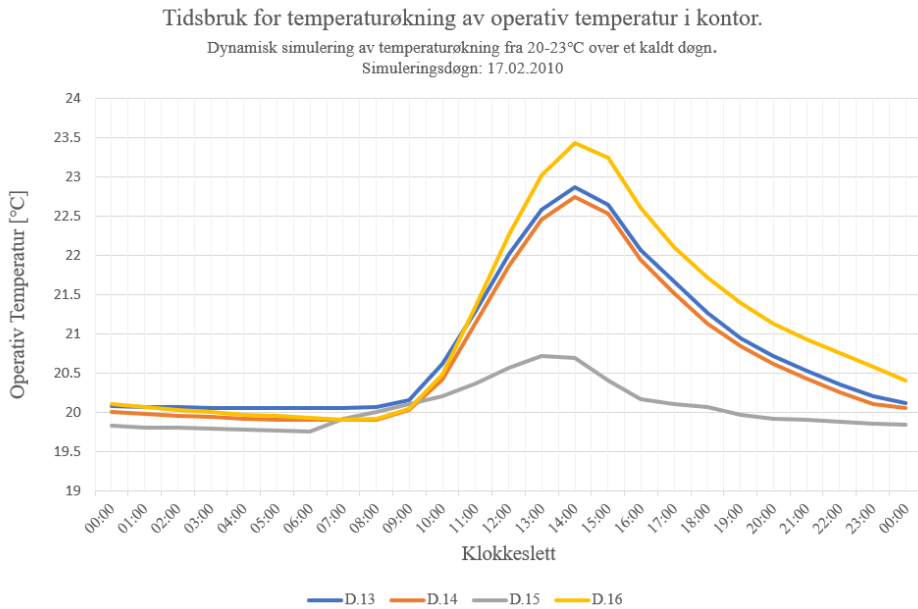
5.2.8 D.13-D.16 Hvor lang tid det tar å øke temperaturen i et rom med tre grader hvis brukeren kan justere temperaturen

For å se på hvor lang tid det tar å øke temperaturen i kontoret med 3°C over settpunkt er det lagt inn en schedule i IDA ICE hvor temperaturen i rommet skal økes fra 20°C til 23°C. Dette skal representere et rom hvor bruker har mulighet til å regulere temperaturen opp. Det er tatt utgangspunkt i en kald periode fra 14.02.2010 til 21.02.2010. For denne simuleringen er det valgt å ikke bergrense effektilførsel i rommet for å undersøke i hvilken grad regulering og termisk masse påvirker tidsbruk for temperaturøkning. Resultat D.13 til D.16 av temperaturforløp og reguleringsprinsipp er vist i tabell 5.9 og figur 5.6.

Tabell 5.9: Simuleringsresultat: Romtemperatur skal øke 3°C fra 20°C til 23°C

Forsøksnummer	Effektbehov til romoppvarming [W]	Max operativ Temperatur ved temperatur-økning [°C]	Tid før romtemperatur når maks operativ temperatur[°C]	Luftmengder [m^3/h]
D.13	186	22,8	5 timer	100
D.14	182	22,7	5 timer	100
D.15	636	20,7	4 timer	100
D.16	150	23,5	5 timer	25

Effektbehovet varierer etter hvilke regulering det er satt på varme og ventilasjon. D.16



Figur 5.6: Tidsbruk til temperaturøkning av operativ temperatur i kontor fra 20°C til 23°C.

gir lavest effektbehov med regulering etter VAV, CO_2 og temperatur. D.16 er den eneste simuleringen hvor operativ temperatur når 23°C. Luftmengden ved D.16 er $25 \text{ m}^3/\text{h}$ i driftstiden. Denne luftmengde tilfredsstiller ikke minstekravet i TEK17 til person- og emisjonsbelastning når kun en person er tilstede i rommet. Det tar fire til fem timer før operativ temperatur når 23°C, uavhengig av regulering eller tilført effekt.

Ved D.15 så er effektbehovet 636 W og maksimal operativ temperatur $20,7^\circ\text{C}$. D.15 gir høyest effektbehov, men når likevell ikke ønsket operativ temperatur på 23°C. D.14 gir lavest effektbehov samtidig som luftmengder og operativ temperatur når settpunktstemperaturen. Det tar imidlertid fem timer å nå settpunkttemperatur på 23°C. D.13 og D.14 gir tilnærmet like resultater med små variasjoner i operativ temperatur og oppvarmingseffekt.

Innledningsvis i oppgaven ble det påstått at det tar urimelig lang tid til å nå nye settpunktverdier i rom hvor bruker kan heve settpunkttemperatur. Resultatet av dynamisk beregnet effektbehov for D.13 til D.16 bekrefter denne påstanden. Det tar 4 til 5 timer å øke temperaturen på kontoret med 3°C . Det er derfor ikke reguleringsprinsippene eller effekttilførsel som avgjør tidskonstanten til romoppvarmingen, men rommet sin termiske masse. Bereg-

ningsmodellens yttervegg består av betong, isolasjon, vindsperre og kledning. Innervegger skiller mot oppvarmede rom med lettvegger med stålprofil og gipsvegger. Denne konstruksjonen tilsvarer en tung konstruksjon med høy termisk masse. Det kan være energisparende å anvende bygg med høy termisk masse, men i denne undersøkelsen fører termisk masse til at tidskonstanten øker og det tar lang tid å nå ønsket romtemperaturen.

5.3 Forslag til forbedring av eksisterende metodikk og praksis

5.3.1 Stasjonær beregningsmetode

Dynamicske beregninger antas å være den beste metoden for å bestemme effektbehov til romoppvarming da den tar hensyn til varierende varmetilskudd og varmelagring i konstruksjon. Dynamisk beregning av alle rom i et stort bygg er svært tidskrevende i forhold til tidsrammer rådgivere ofte må forholde seg til. Det er derfor valgt å foreslå metoder for å forbedre grunnlaget til stasjonære beregninger. Forslag til forbedring er listet opp under:

1. Beregn effektbehov til romoppvarming med lavest sannsynlig tilluftstemperatur. Dette er hovedsakelig gjeldende i bygg hvor man anvender komfortkjøling via ventilasjonsanlegg. Det kan forekomme kjølebehov også på vinteren. Dette gjelder eksempelvis i møterom med høy personbelastning. Hvis kontor og møterom er i samme ventilasjonssone, kan man risikere at kontorer får en tilluftstemperatur ned mot 16°C. Dette må derfor kompenseres for med stasjonær beregning av varmetap som følge av ventilasjon.
2. Bruk maksimal forventet luftmengder ved beregning av dimensjonerende varmebehov. I rom hvor man har behovstyrt ventilasjon, er det viktig å alltid benytte den luftmengden som forekommer med maksimal emisjon- og personbelastning.
3. Ta hensyn til byggets oppvarmingsanlegg. Effektbehovet varierer med hvilket oppvarmingsanlegg bygget har. Det er derfor viktig at man i tidlig fase tar hensyn til om det er vannbårent radiatoranlegg, vannbårent gulvvarme eller vannbårent oppvarming via ventilasjon. Vannbårent anlegg har en treghet som gjør at man ikke får umiddelbar respons ved endring i effektbehov. Tiden anlegget bruker må vurderes når man beregner dimensjonerende effekt til romoppvarming.
4. Ta hensyn til termisk masse i rom hvor bruker kan regulere settpunktstemperatur. Termisk masse er avgjørende i forhold til hvor lang tid det tar å øke eller redusere romtemperaturen. Hvis det tar urimelig lang tid å øke temperaturen i rommet på

grunn av termisk masse, er det lite hensiktsmessig å investere i kostbare reguleringsanlegg.

5. Sett romtemperatur til den temperaturen som tilfredsstiller krav til termisk inneklima i henhold til NS 15251.

5.3.2 Dynamisk beregningsmetode

1. Bruk så nye klimadata som mulig, som også er representative for stedet bygget står på.
2. Utfør dynamisk beregning i alle rom med varierende varmetilskudd og varmetap, særlig rom som har høy termisk masse.
3. Utførende rådgiver må ha god forståelse og kunnskap om beregningsverktøyet de anvender. Rådgiver bør også kjenne til svakheter ved det dynamiske beregningsprogramet som anvendes.

Kapittel 6

Konklusjon

Ved hjelp av intervjuer, beregninger og simuleringer har denne oppgaven vurdert om underdimensjonering på romnivå kan forekomme i nybygg. Det er sammenlignet beregningsmetoder for effektdimensjonering på romnivå for både stasjonære og dynamiske beregninger. Det er undersøkt til hvor stor grad ventilasjon, vinduets U-verdi, termisk masse, klimadata og beregningsprogram påvirker rommets dimensjonerende effektbehov.

Av intervjuer kom det frem at det er flere som har erfaring med at effektbehov på romnivå kan bli underdimensjonert. Noen av intervjuobjektene mente at underdimensjonering var et stort problem i nybygg, mens andre mente at dette ikke forekommer ved å anvende vanlig stasjonær metode.

Dagens praksis for å estimere effektbehovet er å beregne det stasjonært med dimensjonerende utetemperatur, maksimal luftmengde, transmisjon- og infiltrasjonsvarmetap. Internlaster bør kun inkluderes i de tilfeller hvor det kan føre til overestimert effektbehov. I dag anvendes dynamiske beregningsverktøy for å sammenligne stasjonært med dynamisk effektbehov, eller for å undersøke rommets termiske inneklima.

Effektbehovet ved dynamiske beregninger tilsier at stasjonære beregningsmetoder kan føre til underdimensjonering når varmetilskudd varierer. Dette gjelder hovedsakelig ved nattsinking av varmeanlegg og behovstyring av ventilasjon. I dag bygges det sjeldent bygg hvor ventilasjonsanlegget ikke behovstyres. De stasjonære beregningene tar ikke høyde for at luftmengden varierer. Vintersimulering i SIMIEN er en forenklet dynamisk beregning. Den antar at utetemperaturen på vinteren varierer som en sinuskurve, noe den

i realiteten ikke gjør. Beregnet effektbehov i SIMIEN er høyere enn Gullstandarden ved konstante varmetilskudd. Gullstandarden tar imidlertid hensyn til reelle utetemperaturer, solinnskudd, termisk masse og varierende varmetilskudd. Dette tilsier at Gullstandardmetoden gir den beste estimeringen av reelt effektbehov sett bort i fra målte verdier.

En faktor som kan føre til at rom blir underdimensjonert på romnivå, er blant annet å ikke ta høyde for ventilasjonspåvirkning i behovstyrte anlegg. Ventilasjonspåvirkningen ved dynamiske beregninger viser at selv om utetemperaturen er høyere enn dimensjonerende utetemperatur, har rommet et høyere effektbehov enn det stasjonære beregninger tilsier. Hvis det ikke tas høyde for at tilluftstemperaturen varierer ved årstider, kan også dette føre til underdimensjonering av effektbehov på romnivå. Nattsinking av varmalegg i bygg kan føre til at det blir underdimensjonert, spesielt i situasjoner hvor ventilasjon er behovstyrt etter tilstedeværelse. Hvis ventilasjon aktiveres samtidig som nattsinking skal ha nådd settpunkttemperatur i driftstid, kan dette tilsvare en underdimensjonerende situasjon.

Termisk masse spiller en avgjørende rolle når bruker skal kunne regulere settpunkttemperaturen i et rom. Dette må hensyntas når man beregner effektbehov til romoppvarming. Ved høy termisk masse i et rom vil det ta lang tid å nå settpunkttemperatur. Termisk masse kan imidlertid være fordelaktig i situasjoner hvor det forekommer store utendørs temperaturdifferanser. Høy termisk masse har god lagrings- og ledeevne som gjør at varme lagres i bygningskonstruksjonen. Dette fører til at effektbehovet ikke nødvendigvis trenger å være så høyt ved lave utetemperaturer.

De ulike metodene for å beregne effektbehov på romnivå kan ha konsekvenser for termisk komfort. De dynamiske simuleringene hvor operativ temperatur og PPD-verdien er undersøkt, viser det at få av simuleringene tilfredsstiller laveste klasse for operativ temperatur i kontor i henhold til NS-EN 15251 i en vintersituasjon. TEK17 sin veiledning til operativ temperatur er imidlertid alltid tilfredsstilt, men ligger mot nedre grense ved flere tilfeller.

Kapittel 7

Videre arbeid

Det er i denne oppgaven anvendt en fiktiv beregningsmodell. I fremtidige studier kan det være interessant å sammenligne stasjonære- og dynamiske beregnet effektbehov med målte verdier for et reelt bygg. Det vil da være mulig å avdekke hvor stort avvik det er mellom beregnet effektbehov og reelt effektbehov.

Denne oppgaven har kun vurdert effektbehov på romnivå. I fremtidige studier kan det være interessant å undersøke i hvor stor grad gullstandardmetoden på romnivå påvirker bygningens totale effektbehov.

Bibliografi

- [1] Tor Arvid Vik. Problembeskrivelse utarbeidet av veileder. Januar 2020.
- [2] Byggforskserien. 421.501 - termisk inneklime, betingelser, tilrettelegging og målinger. *Kapittel 1*, Termisk inneklime(421.501):11, 2017.
- [3] Byggforskserien. 421.501 - termisk inneklime - betingelser, tilrettelegging og målinger. *Kapittel 1*, Termisk komfort(421.501):12, 2017.
- [4] Byggforskserien. 421.501 - termisk inneklime - betingelser, tilrettelegging og målinger. *Kapittel 1*, PMV-indeks(421.501):14, 2017.
- [5] Byggforskserien. 421.501 - termisk inneklime - betingelser, tilrettelegging og målinger. *Kapittel 1*, PPD-indeks(421.501):15, 2017.
- [6] Byggforskserien. 421.501 - termisk inneklime - betingelser, tilrettelegging og målinger. *Kapittel 1*, Operativ temperatur(421.501):44, 2017.
- [7] Byggforskserien. 474.624 - luftlekkasjemålinger av bygninger - hensikt og vurdering. *Kapittel 1*, Luftlekkasjemengder(474.624):16, 2014.
- [8] Byggforskserien. 473.015 - dokumentasjon av passivhus og lavenergihus i henhold til ns 3700 og ns 3701. *Kapittel 1*, Varmetapstall for transmisjon og infiltrasjonstap(473.015):12, 2013.
- [9] Byggforskserien. 421.501 - termisk inneklime - betingelser, tilrettelegging og målinger. *Kapittel 6*, Dimensjonering av varmeeffekt(421.501):62, 2017.
- [10] Byggforskserien. 451.021 - klimadata for termisk dimensjonering og frostsikting. *Kapittel 1*, Laveste gjennomsnittlige uteluftstemperatur(451.021):11, 2018.

-
- [11] SINTEF Byggeforsk. Termisk masse og klimatisering av bygninger. *En oversikt tilrettelagt for byggherrer, arkitekter og rådgivende ingeniør*, [https://www.byggutengrenser.no/2017/08/28/varmelagringsevne-termisk-masse/\(04.06.2020\)](https://www.byggutengrenser.no/2017/08/28/varmelagringsevne-termisk-masse/(04.06.2020)), 2017.
- [12] Varmenormen. Soltilskudd. 3.3.5, [www.kompetansebiblioteket.no/Varmenormen\(01.05.2020\)](http://www.kompetansebiblioteket.no/Varmenormen(01.05.2020)), 2017.
- [13] Byggeteknisk forskrift med veiledning. Veiledning om tekniske krav til byggverk. *Om veiledningen til TEK17*, Innledning(0):1, 2017.
- [14] Byggeteknisk forskrift med veiledning. Termisk inneklime §13,4. *Veiledning til første ledd*, Anbefalinger(1), 2017.
- [15] Byggeteknisk forskrift med veiledning. §13-3 ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning. *Veiledning til første og andre ledd*, 2017.
- [16] Byggeteknisk forskrift med veiledning. §14-2 krav til energieffektivitet. 2017.
- [17] Arbeidstilsynet. Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen. *Temperatur*, Sammendrag:7, 2016.
- [18] Arbeidstilsynet. Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen. *Luftkvalitet*, Sammendrag:8, 2016.
- [19] Norsk Standard. Bygningers energiytelse metode for beregning av dimensjonerende effektbehov til varme. *NS 12831-1: 2017*, 1, 01.07.2017(1), 2017.
- [20] Norsk Standard. Beregning av bygningers energiytelse metode og data. *NS 3031: 2014*, 1, 01.07.2014(1 Omfang):4, 2014.
- [21] Norsk Standard. Inneklimaparametre for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. *NS-EN 15251: 2007 +NA:2014*, 01.05.2007, 2007.
- [22] Tor Arvid Vik. Varmeteknikk effektbehov. *Kapittel 1*, Forelesning VVS-teknikk(1):40, 2019.
- [23] Programbyggerne. Simien. *18.05.2020*, <http://www.programbyggerne.no/>.
- [24] EQUA. Ida indoor climate and energy. *18.05.2020*, <https://www.equa.se/en/ida-ice>, 2004.

-
- [25] ASHRAE. Ashrae iwec2 weather fiels for international locations. 21.05.2020, <http://ashrae.whiteboxtechnologies.com/faq>.
- [26] Ida Bryn. Fasader og varmetap. *Kapittel 1*, Forelesning 2019 fasader og varmetap(1):17, 2019.
- [27] Floatglas AB Pilkington. Glassfakta. *Energispareglass*, Et praktisk hjelpemiddel for valg av glass til bygg(1):18, 2018.

Vedlegg A

Har du eller ditt firma erfaringer tilknyttet underdimensjonering på romnivå?

Intervjuobjekt 1 - Vi har ikke opplevd å ha underdimensjonerte varmeanlegg på romnivå.

Intervjuobjekt 2 - Ja, jeg har opplevd at enkelte rom i forskjellige prosjekter blir underdimensjonert.

Intervjuobjekt 3 - Ja, vi har opplevd underdimensjonering på romnivå. Vi har erfaringer innenfor det meste med varmebehovsberegning og tiltak som kan iverksettes for å rette opp feil prosjektering.

Intervjuobjekt 4 - Vi har ikke opplevd underdimensjonering på romnivå hvor det ikke har vært intensjon å underdimensjonere. I for eksempel boligprosjekter ser man på en leilighet som en sone. Da kan man underdimensjonere varmebehovet på soverom og overdimensjonere på stue for å dekke det totale behov. Utenom det, kommer jeg ikke på eksempler hvor rom er blitt underdimensjonert.

Intervjuobjekt 5 - Ja, jeg har opplevd at rom har blitt underdimensjonert, men kan ikke huske ett spesifikt tilfelle.

Intervjuobjekt 6 - Ja, underdimensjonering på romnivå er noe som skjer ofte. Det er mulig at dette ikke er så utbredt i VVS-miljøet, men jeg har mye erfaring med dette da jeg ofte blir leid inn for å rette opp slike feil. For 30 år siden var feilene oftere innregulering av varmeanlegg og beregningene riktig. Da med en god del sikkerhetsfaktorer i beregningen.

Nå er det oftere at beregningene er feil. I senere tid erfarer jeg at mye dumskap utøves også. For eksempel så har aktører i byggebransjen bestemt og beskrevet at temperaturen på beboerrom i syke og gamle hjem skal være 20 grader - under dimensjonerende forhold vinter. Med varmepumpe og ute kompensering av tur temperatur, så får man rom som er 2

til 8 grader for kalde i hele fyringssesongen.

Enhver som har besøkt en gammel bestemor, har vel merket at slike personer ikke har 20, men ofte både 26 og 28 grader i sine rom. For eksempel på Ullerntunet Bo- og behandlingshjem, ble slike valg gjort. Det som kunne gjøres med dette, var å øke temperaturen på varmpumpen og også på ettervarme via el-kjeler. Øker man settpunktene - da får man dårligere energi utnyttelse via varmpumpen, og det er ikke så mye man kan få gjort heller. Kanskje man da får økt temperaturen med ca 2 grader maks i rommene, fra 20 til 22 grader. Så må man også øke innblåsingstemperaturen, og da får man også dårligere virkningsgrad på selve ventileringen av rommene.

Du kommer nok til å lese i aviser om kalde rom på Ullerntunet så snart det kommer en -20 graders vinter igjen. Kalkulasjonene via Simien er også ofte mangelfulle. Tidligere hadde man virkelig gode beregningsverktøy, for eksempel Ventac fra Norsk Viftefabrikk m fl. Nå har man Simien. Data fra glass leverandørene er også villedende. U-verdier er ofte ikke momentan verdier, men for eksempel års verdier. Om man måler momentanverdier i en test, så er ofte U-verdien opp mot $1.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Tunge bygg hensyntas ikke, og uten god overkapasitet, så tar det uendelig lang tid å rette opp for eksempel overdreven vinduslufting eller påvirkning fra kraftig vind. I høye bygg må man også hensynta at kald uteluft suges inn i de nedre etasjene, men tyter ut av de øverste etasjene. Man må ha mer varme i den nedre delen av slike bygg. Å regne riktig er ikke så enkelt. Og folk bør ikke fryse.

Intervjuobjekt 7 - Jeg mener at underdimensjonering på romnivå vanligvis ikke er et problem fordi man beregner etter dimensjonerende utetemperatur (DUT) med -20C ved stasjonære beregninger. I dag, hvor det skjeldent er -20C ute, er denne metoden tilstrekkelig for å bergene nok effekt til romoppvarming. Det må likevell tas hensyn til interne rom som kan få lave romtemperaturer hvis ventilasjonsanlegget brukes til komfortkjøling og hjørnerom hvor fasadeareal er større.

Intervjuobjekt 8 - Jeg har aldri hørt at rom blir underdimensjonert. Jeg har kun vært borti to eksempler hvor det har blitt litt kaldt, men at det var forårsaket av at romutforming ikke hadde blitt tatt hensyn til i beregning på effektbehov.

Intervjuobjekt 9 - Jeg mener at underdimensjonering på romnivå forekommer i nye bygg,

da spesielt i bygg med nattsenking og tilstedeværelsesstyring av varmeanlegget. Med tilstedeværelsestyring, mener jeg hvor varmeanlegget reguleres ned når det ikke er personer i rommet. Hovedproblemet er i utgangspunktet at styresystemet/regulering av varmeanlegget ikke er riktig dimensjonert. Jeg mener også at ventilasjonspåvirkning på varmebehovet undervurderes i dagens praksis.

Intervjuobjekt 10 - OM det er underdimensjonert vet vi egentlig ikke med mindre noen klager. Lite varme kan også gjerne henge sammen med lav vannmengde og mangelfull innregulering. Vi har et eksempel hvor det åpenbart var dimensjonert med for liten radiator i et hjørnerom og hvor varmetapet i konstruksjonen var større enn forutsatt – både kuldebro og lekkasjer.

Hvilken metode bruker du/firmaet ditt for å beregne varmebehovet på romnivå?

Intervjuobjekt 1 - Når vi effektdimensjonerer varmebehov på romnivå tar vi hensyn til U-verdier og internlaster som er oppgitt i kravspesifikasjon. Dette legges inn i et regneark. Dersom U-verdier, internlaster osv. ikke er oppgitt i kravspesifikasjon forholder vi oss til TEK 17. Regnearket tar i tillegg hensyn til DUT som er avhengig i hvor i landet bygget ligger, infiltrasjon, romvolum, vindu og fasadeareal.

Intervjuobjekt 2 - Vi benytter beregning i henhold til NS3031. Det er utviklede et regneark for å beregne varmetap som benyttes av firmaet for å sikre at alle skal gjøre det på samme måte.

Intervjuobjekt 3 - Jeg mener at regnearket er laget etter NS3031. Vi tar ikke med internlaster når vi beregner oppvarmingsbehov på romnivå. Det er likevel viktig å tenke på internlaster, de er en viktig faktor når man ser på samtidighet på oppvarmingen i bygget totalt sett.

Intervjuobjekt 4 - Når vi effektdimensjonerer bruker vi «gamlemåten» med stasjonære beregninger i excelark og arealmåling, i tillegg til simulering i IDA ICE.

Intervjuobjekt 5 - For effektdimensjonering på romnivå regner vi på antall watt per kvadratmeter og betraktninger knyttet til vinduer, kuldebroer, hjørner osv.

Intervjuobjekt 7 - Det er individuelt mellom rådgivere hvordan effektdimensjoering gjøres. Jeg personlig mener at beregning av varmebehov bør gjøres uten internlaster. Internlaster kan regnes som reserveeffekt. For beregning på romnivå må følgende inkluderes: infiltrasjonstap, transimsjonstap og undertemperatur på ventilasjonsanlegget. Det bør også dimensjoneres med 41C temperaturdifferanse mellom inne og ute.

Intervjuobjekt 8 - Vi følger NS 12831. Ved dimensjonering på romnivå tar man hensyn til varmetapstall, varmetap som følger av ventilasjon ved maks luftmengder og settpunkttemperatur for romoppvarming.

Intervjuobjekt 9 - Jeg personlig har ikke erfaring med å beregne effektbehov på romnivå, men mener at det burde beregne effektbehov etter dynamiske beregninger og ikke stasjonære. Jeg mener at dynamiske beregninger vil gi en mer realistisk estimering av varmebehov.

Intervjuobjekt 10 - Vi benytter et regneark med oppsett etter NS 3031.

Legges det til sikkerhetsfaktorer ved bergegning av dimensjonerende varmebehov?

Intervjuobjekt 1 - Vi legger til en sikkerhetsfaktor med å runde effektbehovet opp til nærmeste 100 W og legger påslag på ca 10% i større rom.

Intervjuobjekt 2 - Vi legger som regel til en sikkerhetsmargin på 10% i tillegg til beregnet effektbehov.

Intervjuobjekt 3 - Ved beregning av effektbehov legger til en sikkerhetsfaktor på 20% helt bevisst.

Intervjuobjekt 4 - Ved effektdimensjonering på romnivå pleier vi ikke benytte sikkerhetsfaktor, selv om man alltid runder opp. Det er mer vanlig å legge til sikkerhetsfaktor på det totalt behov til slutt.

Intervjuobjekt 5 - Vanligvis legges det til grunne en sikkerhetsfaktor, men det varierer fra prosjekt til prosjekt avhengig av type anlegg. Mellom 5-20%.

Intervjuobjekt 6 - Jeg ingen erfaring med at ”mine løsninger” ikke alltid har nok kapasitet. Det jeg har erfart er dårlige beregningsprogrammer, og at konsulentene glemmer

for eksempel infiltrasjon, ventilasjonsvarme og at det er mer infiltrasjon nede i høye bygg. De tar kun med transmisjonstapene. Jeg er mer opptatt av systemdesign og en forkjemper for vannbåren gulvvarme. Med vannbåren gulvvarme er temperatur nivåene så lave, at jeg legger opp til en god del reserve via selve valget av gulvvarme løsningen. Man kan lett øke temperaturen på sløyfer og kurser. Dessuten pleier jeg å beskrive montering av elektriske ovner sammen med gulvvarme, fordi dette blir billigere og bedre enn å kjøper termostater og automatikk for å styre gulvvarmen.

Intervjuobjekt 7 - Jeg mener at man ikke skal legge til sikkerhetsfaktorer i normale rom, altså rom hvor en vegg vender mot fasade. I rom som hjørnerom, værutsatte rom, rom med spesielle konstruksjoner eller rom med store glassfasader bør man legge til en sikkerhetsfaktor.

Intervjuobjekt 8 - Jeg mener det er greit å legge til ekstra på romnivå, men ikke på bygningsnivå. Dette vil gi varmeelementer ekstra effekt til pådrag ved behov og redusere retur temperaturen. Vi regner ofte med en lavere tilluftstemperatur enn ønsket romtemperatur, typisk 2 grader lavere. Dette gir som oftest en overdimensjonering på romnivå da tilluftstemperaturen ofte er høyere ved DUT.

Intervjuobjekt 9 - Mener det ikke leveres tilstrekkelig effekt på romnivå, og at indre rom ikke får tilstrekkelig oppvarming. Ved nattsinking bør oppvarmingslegemet dimensjoneres med 50% mer effekt enn dimensjonerende varmebehov. Hvis rom styres etter tilstedeværelse bør temperaturreduksjonen ikke overstige 1C.

Intervjuobjekt 10 - Ja, noe vurdering etter prosjekt.

Benytter dere simuleringsverktøy for å fastslå varmebehov, i så tilfelle hvilket?

Intervjuobjekt 1 - Vi benytter simuleringsverktøy i større rom og rom med høyere personbelastning og internlast, eller rom med uvanlig mye glassfasader. Vi bruker SIMIEN for å anslå varmebehovet.

Intervjuobjekt 2 - Vi benytter IDA ICE for simulering av inneklime i bygninger. For beregning av effektbehov på romnivå bruker vi vanligvis ikke simuleringsverktøy.

Intervjuobjekt 3 - Ja, vi bruker simuleringsverktøy til å sammenligner våre beregninger med simuleringer. Vi benytter oss av programmet IDA ICE for å gjøre simuleringer.

Intervjuobjekt 4 - Vi benytter IDA-ICE i tillegg til regneark for å beregne varmebehovet.

Intervjuobjekt 5 - De simuleringsverktøyene som vi bruker for effektdimensjonering er SIMIEN og IDA ICE.

Intervjuobjekt 7 - Jeg mener at SIMIEN i noen tilfeller benyttes til effektdimensjonering av energibehov til varme.

Intervjuobjekt 8 - IDA-Ice kan benyttes i bygg og rom med spesielle konstruksjoner eller egenskaper hvor det vurderes fare for utilstrekkelig termisk komfort. Ellers benyttes et eget utviklet regneark.

Intervjuobjekt 10 - Simien benyttes for overordnet varmebehov på byggnivå.

Hva mener du er den vanligste feilen som gjøres ved beregning av varmebehov på romnivå?

Intervjuobjekt 1 - Den vanligste feilen jeg har kjennskap til er at store og høye glassfasader undervurderes og blir ikke tatt nok hensyn til når det effektdimensjoneres.

Intervjuobjekt 2 - Den største feilen innen effektdimensjonering som gjøre i dag vil jeg påstå er å bruke luft til oppvarming av lokaler. De stasjonære beregningene er ganske rett fram, så jeg ser ikke hvorfor det skal forekomme så mye beregningsfeil. En annen feil er å ikke ta høyde for infiltrasjonen i forhold til luftutskiftningen.

Intervjuobjekt 3 - Hvis det er noe i beregningen som svikter, så må det være på U-verdier i veggene, eller eventuelt tastefeil hos konsulenten. Benyttes simuleringer, så er det rett og slett mangelen på forståelse av programmet som svikter. Inputverdier kan fort bli feil. Dette er grunne til at vi hos oss, gjennomfører både beregninger og simuleringer, slik at vi kan sammenligne resultatene.

Den viktigste erfaringen jeg har tatt med meg er følgende : Ingen vil noen gang takke deg for at du har lagt inn for liten radiator. Likevel, så er bransjen veldig styrt av total-entrepriser, og det velges derfor ofte så liten radiator som mulig, rett og slett for å spare penger. En annen ting som også glemmes er at dimensjoneringskriterier ofte er -20 til +20, mens operativ innetemperatur på vinteren gjerne skal ligge på 22-24. Ved å legge inn

litt ekstra kapasitet på radiatoren, som gjerne koster veldig lite, så kan en unngå klager.

Intervjuobjekt 4 - Den vanligste feilen er vel å anta en viss W/m² og deretter legge det flatt utover, uten å ta hensyn til overflater og tilstøtende rom, som for eksempel i store butikklokaler som endrer innredning.

Intervjuobjekt 5 - Den største feilen som gjøres ved beregning av effektbehov er å ikke ta hensyn til kaldras fra høye vinduer og glassfasader, spesielt ved vannbasert gulvvarme.

Intervjuobjekt 6 - Jeg mener at man bruker for dårlige beregningsprogrammer og glemmer hvor mye infiltrasjon og ventilasjon utgjør og må kompenseres for. Konsulentene sitter som regel og regner og regner, men er sjelden ute og sjekker hva som skjer der ute i virkeligheten. I beregningen tar man ikke tilstrekkelig hensyn til nattsinking, oppvarming etter vinduslufting og endring ved temperatur dag og natt.

Intervjuobjekt 8 - Jeg kjenner ikke til at det gjøres så mye feil. Hvis jeg skal anta kan det være at det regnes for lav infiltrasjon eller at man ikke tar hensyn til undertemperatur på tilluft.

Intervjuobjekt 10 - For liten sikkerhetsfaktor ved valg av radiator, spesielt bør vurderes mulighet for på romnivå å kunne få til høyere romtemperatur – kanskje 23°C på enkeltrom med frosne brukere (reell mulighet til å kunne regulere temperaturen opp).

Når et anlegg er underdimensjonert på romnivå, hva kan gjøres for å rette opp feilen?

Intervjuobjekt 1 Hvis det kun er et enkeltrom bytter man til en større radiator. Hvis oppvarmingen skjer via luft kan man sette inn et ettervarmebatteri. Hvis problemet er over en større skala må man se på muligheter for å endre temperaturen på vannet eller tilluften i aggregatet.

Intervjuobjekt 2 - Det kommer litt an på feilen, men en tommelfingerregel er å dimensjonere rørene for maks 100 Pa/m når det tegnes/prosjekteres ut. Da vil du ha muligheten til å kunne øke trykkfallet lokalt i rørene for å levere større vannmengde. Pumpen i varmesentralen har som regel tilstrekkelig kapasitet til å håndtere et litt høyere trykkfall. Er anlegget ferdig bygget og man ikke har regnet etter tommelfingerregelen, kan man øke turtemperaturen på anlegget. Med forbehold at anlegget har mulighet for temperaturøkning.

Intervjuobjekt 3 - Dette kommer helt an på anlegget, og må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Å heve temperaturen på varmekursen er den enkleste løsningen, men ikke alltid mulig. Et alternativ til dette er å endre temperaturdifferansen på tur/retur. Ved å endre temperaturdifferansen fra 20 grader til 10 grader, øker tilgjengelig effekt med ca 15%. Ulempen med denne løsningen er at returtemperatur blir høyere. Dette kan være uheldig i varmepumpeanlegg. Hvis problemet er lokalt kan man bytte til større radiatorer.

Intervjuobjekt 4 - Om man har nok sikkerhet i bunn kan man øke effekt i rommene ved legg inn større eller flere varmeinstallasjoner i rommet. Alternativt kan man øke Tur/Returtemperatur i varmeanlegget. Hvis der ikke er nok kapasitet i anlegget må man være kreativ i plasseringer av elementer så man stopper det man kan av kaldras osv. Eventuelt må man vurdere hvilke rom som trenger å være «varme», og fordele effekten man har utover.

Intervjuobjekt 5 - Det man kan gjøre hvis et anlegg er underdimensjonert på romnivå er å analysere om det er andre områder i bygget som ikke trenger like stor effekt og innregulere anlegget deretter. Man kan også sette inn større pumper eller benytte samtidighetsfaktorer mer aktivt. Hvis varmeanlegget ikke kan justeres og det mangler kapasitet kan man sette inn et større varmebatteri og varme opp via ventilasjon.

Intervjuobjekt 6 - Gitt at vi i dag snakker om vannbåren varme kan turtemperaturen ofte økes . Eventuelt øke vannmengdene, ved å sette inn større pumper eller øke pådraget på pumpene som er montert om disse har ledig reserve. Alternativt kan man omprogrammere og regulere om vannmengder til det området med størst avvik. Et annet alternativ er å starte ventilasjonsanleggene så sent som mulig på morgningen for å redusere varmetap som følger av ventilasjon. Sist men ikke minst, ta bort nattsinking.

Intervjuobjekt 7 - Ved underdimensjonering på romnivå kan man øke tur temperatur på radiatoranlegget. Man kan også utjevne temperaturen med å åpne opp mellom rom med større kapasitet på varmeanlegget.

Intervjuobjekt 10 -Det vanligste er nok å øke turtemperaturen eller øke vannmengden på radiator. Hvis dette ikke er tilstrekkelig kan man bytte radiator eller sette opp en til.

Vedlegg B

Metode 1: Effektbehov på romnivå ved bruk av arealandel, infiltrasjons og transmisjonstap.								
NS12831-1 Arealvektet	Stasjonære beregninger	Φ_{Tf}	Φ_{inf}	Φ_{vt}	Φ_{hu}	Φ_{gall}	Φ_{HL}	Tillegg Sikkerhetsfaktor 15%
	Effektbehov til romoppvarming						378.95	435.80
	med internlast	243.99	49.29	85.68	500	52.5	326.45	375.42
	med gjenoppvarming etter nattsenkning						878.95	1010.80
	med internlast og gjennomvarmingseffekt						826.45	950.42
Metode 2: Beregning av effektbehov ved bruk av byggets varmetapstall								
NS12831-1 Varmetapskoeffisienten	Stasjonære beregninger	Htr,inf	Φ_{vt}	Φ_{hu}	Φ_{gall}	Φ_{HL}	Tillegg Sikkerhetsfaktor 15%	
	Effektbehov til romoppvarming	202.37	85.68	500	52.5	288.05	331.26	
	Med internlast					235.55	278.7575	
	med gjenoppvarming etter					788.05	906.26	

Figur 7.1: Beregningsresultat for stasjonær beregning av kontor


Internlast			
Personer			1.5
Belysning			1.95
Teknisk utstyr			1.8
Spesifikk oppvarmingseffekt			
Temperaturdifferans		ΔT	4
Varighet nattsenkning			14
Oppvarmingstid		lav oppvarmingstid	1
Luftvekslinger under		$q_{l,v}$	0.5
Spesifikk gjenoppvarmingsvarmeeffekt		φ	50

Figur 7.2: Inndata stasjonær beregning kontor 1

Inndata transmisjonstap			
		Rom	
U-verdi	Bygningsdel	U-verdi [W/m2K]	Areal [m2]
	Vindu	1.20	2.1
	YtterVegg A,fasade	0.22	8.3
	YtterVegg A,fasade ink vindu	-	10.4
	Tak	0.18	10
	Gulv	0.18	10
	arealvektet kuldebroverdi	1.56	
Varmetapstallet	SUM U*A	4.35	
	Htr_inf	0.49	
	Rom høyde [m]	Romhøyde	Romareal [m2]
		2.6	10.00
Bygning			
Bygningsareal	A,fasade		1440
	A,fl,bygn		3600
Dimensjonerende temperatur			
Temperatur		θ_{int}	21.5
		θ_e	-19.8
Temperatur korrelasjonsfaktor		f_x	0.3
Normalisert kuldebroverdi		ψ''	0.06
Inndata infiltrasjonstap			
Bygningens lekkasjetall		n_{50}	1.5
Luftvekslingstallet		$n = m^3/h$ uteluft/romvolum	0.12
Infiltrasjonskoeffisient		f_{inf}	0.03
Oppvarmet luftvolum bygning		V_{bygn}	10800
Inndata varmetap som følge av ventilasjon			
Ventilasjonsluftmengder		\dot{V}_{int}	100.8
Tilluftstemperatur		$\theta_{int,v}$	19
$C_p \cdot \rho$		$C_p \cdot \rho$	0.34

Figur 7.3: Inndata stasjonær beregning kontor 2

Vedlegg C

		Input data Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	10.0 m ²
Created by	Oda Theis	Model volume	26.0 m ³
Location	Blindern-Oslo	Model ground area	0.0 m ²
Climate file	Blindern_22y_1992-2013	Model envelope area	10.4 m ²
Case	Simulering A-CAV-U-verdi vindu 1.2	Window/Envelope	20.2 %
Simulated	15.05.2020 15:12:05	Average U-value	0.4757 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.4 m ² /m ³

Wind driven infiltration airflow rate			10.835 l/s at 50,000 Pa	
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	8.30	0.22	1.83	36.94
Rendered l/w concrete wall 250	8.30	0.22	1.83	36.94
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Roof	0.00	0.00	0.00	0.00
Floor towards ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Floor towards amb. air	0.00	0.00	0.00	0.00
Windows	2.10	1.20	2.52	50.93
3 pane glazing, clear, 4-12-4-12-4	2.10	1.20	2.52	50.93
Doors	0.00	0.00	0.00	0.00
Thermal bridges			0.60	12.13
Total	10.40	0.48	4.95	100.00

Thermal bridges	Area or Length	Avg. Heat conductivity	Total [W/K]
External wall / internal slab	8.00 m	0.000 W/(m K)	0.000
External wall / internal wall	5.20 m	0.000 W/(m K)	0.000
External wall / external wall	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External windows perimeter	5.80 m	0.000 W/(m K)	0.000
External doors perimeter	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Roof / external walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External slab / external walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Balcony floor / external walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External slab / Internal walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Roof / Internal walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External walls, inner corner	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Roof / external walls, inner corner	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External slab / external walls, inner corner	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Total envelope (incl. roof and ground)	10.40 m²	0.058 W/(m² K)	0.600
Extra losses	-	-	0.000
Sum	-	-	0.600

Figur 7.4: Input data IDA ICE 1

Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor g
S	2.10	1.20	1.20	1.20	2.52	0.68
Total	2.10	1.20	1.20	1.20	2.52	0.68

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU	600.00/400.00	0.60/0.60	1.00/0.67	0.85/1.00

DHW use	L/per occupant and day	No. of persons	Total, [l/s]
	0.000	1.000	0.000

Occupant schedules in zones (click to expand/contract)	
Schedule name	Percentage of zones with this schedule (% of total zone area).
06-18 weekdays	100.00

Lighting schedules in zones (click to expand/contract)	
Schedule name	Percentage of zones with this schedule (% of total zone area).
06-18 weekdays	100.00

Equipment schedules in zones (click to expand/contract)	
Schedule name	Percentage of zones with this schedule (% of total zone area).
06-18 weekdays	100.00

Controller setpoints in zones (click to expand/contract)	
Setpoints Max/Min	Percentage of zones with these setpoints (% of total zone area).
24.00/21.50	100.00

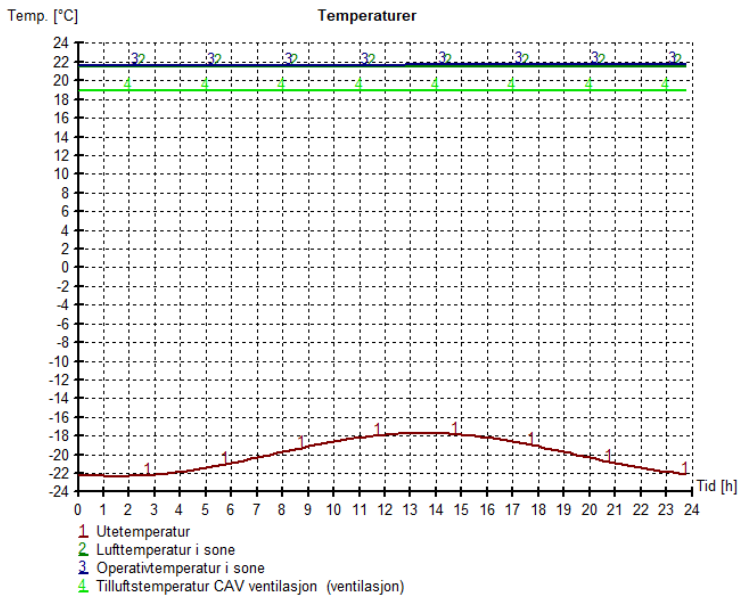
Figure 7.5: Input data IDA ICE 2

Vedlegg D

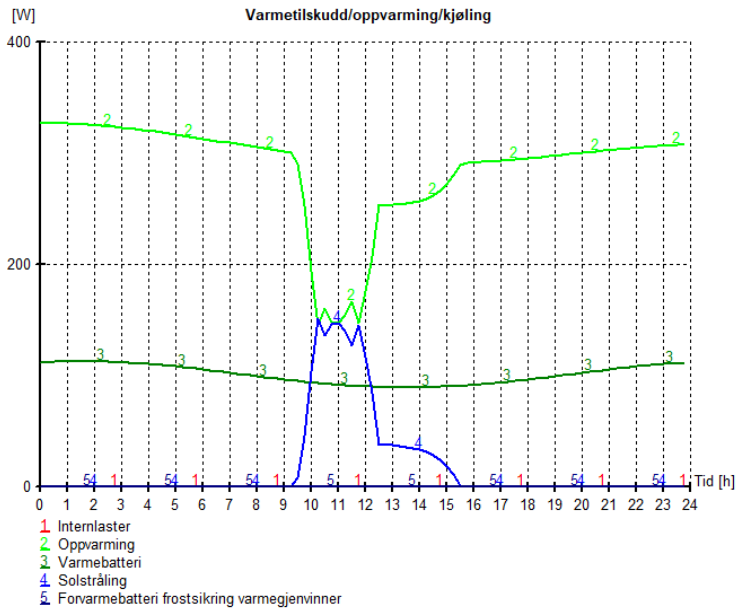
Dimensjonerende verdier			
Beskrivelse	Verdi	Tidspunkt	
Maks. samtidig effekt varmebatterier:	113 W / 11,3 W/m ²	01:30	
Totalt installert effekt varmebatterier	1110 W / 111,0 W/m ²	01:30	
Maks. samtidig effekt romoppvarming:	328 W / 32,8 W/m ²	00:00	
Totalt installert effekt romoppvarming	1000 W / 100,0 W/m ²	00:00	
Min. romlufttemperatur:	21,5 °C	00:00	
Min. operativ temperatur:	21,7 °C	00:00	
Maksimal CO2 konsentrasjon (Kontor)	380 PPM	00:00	

Sammendrag av nøkkelverdier for Kontor			
Beskrivelse	Verdi	Tidspunkt	
Min. innelufttemperatur	21,5 °C	01:15	
Min. operativ temperatur	21,7 °C	00:00	
Maks. CO2 konsentrasjon	380 PPM	00:00	
Maksimal effekt varmebatterier:	113 W / 11,3 W/m ²	01:45	
Installert effekt varmebatterier	1110 W / 111,0 W/m ²	01:45	
Maksimal effekt oppvarmingsanlegg:	328 W / 32,8 W/m ²	00:00	
Installert effekt romoppvarming	1000 W / 100,0 W/m ²	00:00	

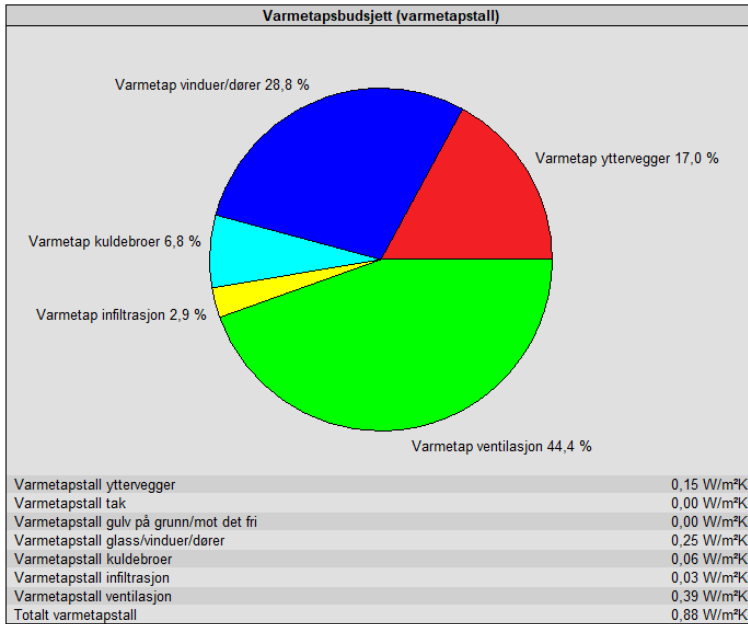
Figur 7.6: Dimensjonerende verdier og nøkkelverdier for simulering i SIMIEN



Figur 7.7: Temperaturer ved simulering i SIMIEN



Figur 7.8: Varmetilskudd/oppvarming/kjøling SIMIEN



Figur 7.9: Varmetapsbudsjett i SIMIEN