

Sammenligning av beregnet og målt energi- og effektbehov i kontorbygg

Mathias Stensland Lillevold

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2017

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Medveileder: Monica Berner, Enova

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosesseteknikk

EPT-M-2017-48

MASTER THESIS

for

Student Mathias Stensland Lillevold

Spring 2017

Sammenligning av beregnet og målt energi- og effektbehov i kontorbygg*Comparison of calculated and measured energy and power demand in office buildings***Bakgrunn**

Gjennom bruk av data fra prosjekter som har fått investeringsstøtte fra ENOVA og annen informasjon skal oppgaven bidra til å avdekke årsaker til det ofte forekommende avvik mellom prosjektert og målt energibruk og effektbehov i næringsbygg.

Drift av energisystemer, driftstid for anlegg, bruk av formålsdelt energibruk for å avdekke feil er viktig for energibruken. Eventuelle avvik mellom forutsetninger for energi- og effektberegninger og utførelse av byggene bør også avdekkes. To passivhus kontorbygg er valgt ut i samråd med ENOVA.

Oppgaven utføres i samarbeid med ENOVA.

Mål

Målet med oppgaven er å avdekke hvilke avvik som finnes mellom beregnet og målt energi- og effektbehov og årsakene til eventuelle avvik. Arbeidet er en fortsettelse av kandidatens fordypningsprosjekt.

Masteroppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Litteraturstudie. Sammendrag av fordypningsprosjektets litteraturstudie og videreføring av denne
2. Ved behov innhente supplerende informasjon om de valgte bygningene
3. Etabler representative modeller i IDA ICE ved å kalibrere modellene fra fordypningsprosjektet
4. Gjennomføre simuleringer hvor også effektbehovet inkluderes
5. Diskuter og vurder årsaker til avvik mellom beregnet og målt energi- og effektbehov

-- ” --

Within 14 days of receiving the written text on the master thesis, the candidate shall submit a research plan for his project to the department.

When the thesis is evaluated, emphasis is put on processing of the results, and that they are presented in tabular and/or graphic form in a clear manner, and that they are analyzed carefully.

The thesis should be formulated as a research report with summary both in English and Norwegian, conclusion, literature references, table of contents etc. During the preparation of the text, the candidate should make an effort to produce a well-structured and easily readable report. In order to ease the evaluation of the thesis, it is important that the cross-references are correct. In the making of the report, strong emphasis should be placed on both a thorough discussion of the results and an orderly presentation.

The candidate is requested to initiate and keep close contact with his/her academic supervisor(s) throughout the working period. The candidate must follow the rules and regulations of NTNU as well as passive directions given by the Department of Energy and Process Engineering.


Risk assessment of the candidate's work shall be carried out according to the department's procedures. The risk assessment must be documented and included as part of the final report. Events related to the candidate's work adversely affecting the health, safety or security, must be documented and included as part of the final report. If the documentation on risk assessment represents a large number of pages, the full version is to be submitted electronically to the supervisor and an excerpt is included in the report.

Pursuant to "Regulations concerning the supplementary provisions to the technology study program/Master of Science" at NTNU §20, the Department reserves the permission to utilize all the results and data for teaching and research purposes as well as in future publications.

The final report is to be submitted digitally in DAIM. An executive summary of the thesis including title, student's name, supervisor's name, year, department name, and NTNU's logo and name, shall be submitted to the department as a separate pdf file. Based on an agreement with the supervisor, the final report and other material and documents may be given to the supervisor in digital format.

- Work to be done in lab (Water power lab, Fluids engineering lab, Thermal engineering lab)
 Field work

Department of Energy and Process Engineering, 31. January 2017



Hans Martin Mathisen
Academic Supervisor

Research Advisor:
Monica Berner, ENOVA

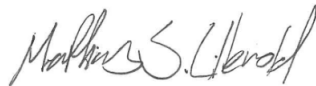
Forord

Denne masteroppgaven er et resultat av arbeid i TEP4935 Energiplanlegging og miljøanalyse, masteroppgave på NTNU som en del av studieprogrammet Energi og miljø. Oppgaven ble skrevet våren 2017.

Oppgaven er utformet som et casestudie av to bygg som har fått prosjektstøtte av ENOVA.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til Hans Martin Mathisen, som har vært tilgjengelig for ukentlige møter og som har vært tilgjengelig for spørsmål og veiledning i tide og utide. Takk til doktorgradsstipendiat Amin Mozami som hjalp meg med å lage klimafil. Jeg vil også sende en takk til Monica Berner, Ivar Rognhaug Ørnes, Arild Lunde og Åse Lekang Sørensen og Bjarte Hårklau som har vært tilgjengelig for å svare på spørsmål vedrørende byggene og som har gitt tilgang på nødvendig måledata og informasjon. Jörgen Eriksson, medstifer i EQUA Solutions Sweden, fortjener en takk for raske svar på spørsmål jeg har hatt vedrørende modellering i IDA ICE. Simen Aamodt og Solveig Blandkjenn hører også hjemme i dette forordet. Takk for gode og inspirerende lunsjsamtaler!

Trondheim, 16-juni-2017



Mathias Stensland Lillevold

Summary

This master thesis is divided into three parts: 1) A literature review on available literature concerning energy measurements and energy performance calculations in low-energy and passive-house office buildings. 2) Presentation of case buildings and assumptions for energy models in IDA ICE and SIMIEN. 3) Calibration and evaluation of models and measurements in addition to a sensitivity analysis to assess the sensitivities that may lead to discrepancy between computed and measured energy need.

The literature review highlighted that there is often a significant gap between computed energy performance of buildings and actual measured energy use. Predicted energy need is often less than measured energy need. The aim of this thesis was to assess this gap on two casebuildings. The casebuildings chosen for this project thesis is a low energy and a passivehouse office building. Two different simulation programs are used in the assessment.

The models were calibrated using measured and estimated parameter values instead of assumptions made «a priori» construction. Results from both the calibrated models and models used for prediction are compared to measurements in order to assess the performance gap. The calibrated models showed good agreement with measurements. The results showed that the predicted energy was less than measured for both casebuildings. Furthermore the results showed that the performance gap plainly can be explained by deviation between real and assumed parameter values. More specifically the results indicate that the main reason for the performance gap is deviation between assumed and real use and operation of the building.

Implications of the findings is to focus on making realistic assumptions of choice of temperature setpoints, air flows and internal loads in order to reduce the gap between predicted and measured energy use in low energy and passivehouse office buildings.

Keywords: building simulation, office, performance gap, measurements, calibration

Sammendrag

Denne oppgaven er delt i tre deler: 1) En litteraturundersøkelse på tilgjengelig litteratur vedrørende energimålinger og energiberegninger i lavenergi og passivhus kontorbygg. 2) Presentasjon og dokumentasjon for casebygninger og deres modeller i IDA ICE og SIMIEN. 3) Kalibrering av modeller og en vurdering av avvik mellom beregninger og målte verdier og til slutt en vurdering av hvordan avvik fra målte parameterverdier relatert til drift innvirker på beregnet energi- og effektbehov.

Litteraturundersøkelsen fremhevet at det ofte er et signifikant avvik mellom beregnet og målt energibehov. Modeller som brukes til å predikere energibehov har en tendens til å underestimere i forhold til faktisk behov. Hensikten med denne oppgaven er å bidra til å avdekke årsaker til det ofte forekommende avvik mellom predikert og målt energibruk i kontorbygg. Casebygningene valgt for oppgaven er et lavenergi og et passivhus kontorbygg. To forskjellige simuleringsprogrammer er brukt i vurderingen.

Modellene ble kalibrert ved å bruke målte og estimerte parameterverdier i stedet for forutsatte parameterverdier som input i modellene. Resultat av simuleringer av de kalibrerte modellene er sammenlignet med både målinger og predikert energibehov for å vurdere årsaker til avvik mellom predikert og målt energibehov. De kalibrerte modellene viste godt samsvar med målinger. Resultatene viste at predikert energibehov var lavere enn målt. Videre viste resultatene at avviket enkelt kan forklares av avvik mellom forutsetninger og faktiske forhold i byggene. Mer spesifikt indikerte resultatene at det er avvik mellom forutsetninger og reelle verdier for parametre forbundet med bruk og drift som er avgjørende for avviket mellom predikert og målt energibehov.

Implikasjoner av resultatene er at for å redusere avviket mellom predikert og målt energibehov i lavenergi og passivhus kontorbygg bør det fokuseres på å finne reelle parameterverdier for temperatursettpunkt, luftmengder samt grad av interne laster.

Innhold

Forord	i
Summary	iii
Sammendrag	v
1 Innledning	1
2 Teoretisk bakgrunn	5
2.1 Økt betydning av bygningssimulering	5
2.2 Avvik mellom beregnet og målt energibruk	7
2.3 Metode for sammenligninger mellom beregnet og målt energibruk	10
2.4 Beregning av en bygnings energi- og effektbehov	13
2.5 Statistiske kriterier for vurderinger av kalibrerte modeller	15
2.6 Sensitivitetsanalyse og parametre med stor innvirkning på energibehov	16
3 Metode	19
3.1 Arbeidsprosessen	19
3.2 Litteraturstudie	21
3.3 Datainnsamling	21
3.4 Beregninger og analyser	21
4 Presentasjon av casebygningene	24
4.1 Casestudie Haakonsvern	24
4.1.1 Generelt om Haakonsvern	24
4.1.2 Klimatekniske anlegg og målerstruktur	25

4.2	Casestudie Malmskriverveien	27
4.2.1	Generelt om Malmskriverveien	27
4.2.2	Klimatekniske anlegg og målerstruktur	28
5	Modellering av casebygninger	29
5.1	Valg av simuleringsprogramvare	29
5.1.1	SIMIEN 6.003	30
5.1.2	Validering av SIMIEN	30
5.1.3	IDA ICE 4.7.1	30
5.1.4	Validering av IDA ICE	31
5.2	Modellering av Haakonvern i IDA ICE	31
5.2.1	Klimadata og orientering	31
5.2.2	Geometri	32
5.2.3	Bygningsskall og konstruksjon	33
5.2.4	Soneinndeling	33
5.2.5	Klimatekniske anlegg	34
5.2.6	Interne laster	35
5.3	Modellering av Malmskrivervegen 4 i IDA ICE	36
5.3.1	Klimadata og orientering	36
5.3.2	Geometri	37
5.3.3	Bygningsskall og konstruksjon	38
5.3.4	Soneinndeling	38
5.3.5	Klimatekniske anlegg	39
5.3.6	Interne laster	40
5.4	Oppbygning av byggene i SIMIEN	41
6	Resultater og diskusjon	42
6.1	Kalibrering av modeller	43
6.2	Sammenligninger energi- og effektbehov	50
6.2.1	Energi	50
6.2.2	Effekt	55

6.3	Sensitivitetsanalyse	59
7	Konklusjon	65
8	Videre arbeid	67
	Bibliografi	68
A	Vurdering av sprangrespons	74
B	Sammenligning av beregnet og målt effektbehov til romkjøling	77
C	Haakonsvern	80
C.1	Plantegning første etasje	80
C.2	Flytskjema varme	82
C.3	Flytskjema kjøling	84
C.4	Flytskjema ventilasjon	86
C.5	Dokumentasjon av sentrale inndata SIMIEN	88
D	Malmskriverveien	91
D.1	Plantegninger	91
D.2	Flytskjema varme	95
D.3	Flytskjema kjøling	97
D.4	Flytskjema ventilasjon	99
D.5	Energiflytskjema	101
D.6	Maikorrespondanse med Erichsen og Horgen v/ Ivar Rognhaug Ørnes	105
D.7	Dokumentasjon av sentrale inndata SIMIEN	108

Figurer

2.1	Den teknologiske «hype cyle» for innovasjoner, basert på Fenn og Raskino (2008) og hentet fra Hensen og Lamberts (2002)	6
2.2	Anbefalt målestruktur for energi og effektmåling i bygninger, basert på Dokka og Grini (2013)	13
2.3	Varmebalansen på en luftnode, Novakovic	14
2.4	Generell metode for sensitivitetsanalyse av bygningsmodeller, Tian (2013)	17
3.1	Rammeverk for oppgaven	20
4.1	Illustrasjon av Haakonssvern. Figuren er gjengitt med tillatelse fra Link arkitektur .	25
4.2	Prinsippskisse hvor aktive tilluftsventiler styres av en hovedstyringsenhet	26
4.3	Bygget sett fra sørøst. Figuren er gjengitt med tillatelse fra Dyrvik Arkitekter	27
5.1	Vegetasjon, topografi og bygninger utgjør god skjerming for bygget. Antall grader helning mot vest fra nord er 10 grader	32
5.2	Byggets utvendige fasade sett fra sør, samt gulvplan	33
5.3	Illustrasjon av soneinndeling for nær nullenergihuset	34
5.4	Ventilasjonsaggregat	35
5.5	Antall grader helning mot nord fra nordøst er 45 grader	37
5.6	Utvendig fasade sett fra nordvest, samt gulvplan	37
5.7	Illustrasjon av soneinndeling for førsteetasje i Malmskriverveien 4	39
5.8	Illustrasjon av soneinndeling for andreetasje i Malmskriverveien 4	39
6.1	Målte og simulerte temperaturer i Haakonssvern for april, mai og juni	48

6.2	Simulerte temperaturer Haakonsvern år 2016	48
6.3	Månedlig varmebehov vs utetemperatur for Haakonsvern	49
6.4	Månedlig varmebehov vs utetemperatur for Malmskriveveien	49
6.5	Beregnet og målt månedlig energibehov for Haakonsvern	54
6.6	Beregnet og målt månedlig energibehov for Malmskriveveien	54
6.7	Varighetsdiagrammer varmebehov Haakonsvern 2016	57
6.8	Varighetsdiagrammer kjølebehov Haakonsvern 2016	57
6.9	Varighetsdiagrammer varmebehov Malmskriveveien 2015	58
6.10	Varighetsdiagrammer kjølebehov Malmskriveveien 2015	58
6.11	Sensitivitetet energibehov til varme og kjøling	61
6.12	Sensitiviter effektbehov til varme og kjøling	62

Tabeller

2.1	Årsaker til avvik mellom beregnet og målt energibruk	8
2.2	Kriterier for kalibrerte modeller	16
4.1	Generelle fakta om Haakonsvern	25
4.2	Generelle fakta om Malmskrivervegen 4	27
5.1	Klimaparametre i klimafilene og kilder	31
5.2	U-verdier for konstruksjonselementer samt infiltrasjonstall for Haakonsvern	33
5.3	Detaljer ventilasjonaggregat	34
5.4	Interne laster og driftstider	35
5.5	Klimaparametre i klimafilene og kilder	36
5.6	U-verdier for konstruksjonselementer samt infiltrasjonstall for Malmskriverveien	38
5.7	Detaljer ventilasjonaggregat	40
5.8	Interne laster og driftstider	40
6.1	Forutsatte vs oppdaterte parameterverdier for Haakonsvern	45
6.2	Forutsatte vs oppdaterte parameterverdier for Malmskriverveien	45
6.3	Statistiske indekser	46
6.4	Beregnet og målt energi for Haakonsvern, året 2016	53
6.5	Beregnet og målt energibehov for Malmskriverveien, året 2015	53
6.6	Parameterverdier sensitivitetsanalyse	60

Kapittel 1

Innledning

Bakgrunn

FNs klimapanel bekrefter at det er 95 % sannsynlig at menneskelig påvirkning er den dominerende årsaken til klimaforandring [1]. Økningen i temperatur bør begrenses til 2 °C i forhold til pre-industrielle nivåer for å unngå fatale og irreversible påvirkninger på klimaet som kan få stor innvirkning på mennesker og økosystem. I 2010 sto bygninger for 35 % av den totale energibruken og 19 % av energirelatert klimagassutslipp [2]. Å redusere energibruken i bygninger er derfor viktig for å redusere klimagassutslipp.

Fokuset på reduksjon av klimagassutslipp har ført til utvikling av passivhus og nullutslipps-hus. I EUs reviderte bygningsdirektiv er det bestemt at alle nye bygg skal bygges som nesten-nullenergihus innen 2020 [3]. Lav-energi og passivhus blir mer og mer vanlig, men i byggeindustrien er det imidlertid økende bekymring vedrørende avvik mellom predikert og målt energibruk.

Hurtig utvikling av automatiske måle- og styresystem som gir mulighet til innsamling av energidata gjør avviket mellom beregnet og faktisk energibruk mer og mer synlig og det blir ofte referert til som et «energy performance gap» [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Avviket har vist seg å være vesentlig og målt energibruk kan være så mye som 2,5 ganger beregnet [5]. Selv om det er rimelig å tillate avvik mellom beregninger og målinger er det klart at det nå er for stort til å være akseptabelt.

Å redusere avviket mellom beregnet og målt energibehov er helt essensielt for å sikre at bygg møter ambisjoner som lavenergi, passivhus og nullutslipp.

Formål

Hovedformålet med denne prosjektoppgaven er å undersøke årsaker til avvik mellom beregnet og målt energibehov i lavenergi og passivhus kontorbygg. Mer spesifikt vil energibehov i to casebygninger bli undersøkt ved sammenligning av modeller brukt til å predikere energibehov med kalibrerte modeller og målinger. I tillegg vil oppgaven vurdere hvordan avvik fra reelle parameterverdier for bruk og drift av bygget har innvirkning på beregnet energi- og effektbehov.

Problemstillingen for oppgaven er konsentrert i følgende to forskningsspørsmål;

- Er det et avvik mellom predikert og målt energibehov for casebygningene og hva er eventuelt årsaken til dette?
- Hvordan har bruk og drift av et passivhus kontorbygg innvirkning på energi- og effektbehov i bygget?

Forskningsspørsmålene er besvart ved å sammenligne beregnet og målt energibehov for casebygningene i tillegg til at det gjennomføres en sensitivitetsanalyse.

Metode

Oppgaven starter med å undersøke eksisterende litteratur på årsaker til avvik mellom beregnet og målt energibruk samt metoder for kalibrering og sensitivitetsanalyser for bygningsmodeller. Metoder fra litteraturundersøkelsen brukes deretter til vurderinger av energi- og effektbehov i to casebygninger: Haakonssvern i Bergen og Malmskriverveien i Oslo.

Følgende steg er gjennomført for å svare på oppgavens to forskningsspørsmål:

1. Videreføring av litteraturstudium som ble gjennomført i prosjektoppgaven og utarbeidelse av denne.

2. Innhenting av informasjon om casebygninger, herunder energirapporter med predikert energibehov for casebygningene, samt innhenting og rydding av måldata.
3. Etablering av modeller for å representere modeller som lå til grunn for energirapporter mottatt av Enova. Resultat ble sammenlignet med resultat i energirapport.
4. Kalibrering av modeller ved oppdatering av parameterverdier med målinger og estimer.
5. En vurdering av modellens representativitet ved bruk av statistiske indekser, sammenligninger av temperaturer og temperaturavhengig varmebehov.
6. Sammenligninger av predikert og målt energibehov og diskusjon av årsaker til avvik samt en sammenligning av beregnet og målt effektbehov til kjøling og oppvarming.
7. Sensitivitetsanalyse for vurdere hvordan bruk og drift har innvirkning på energi- og effektbehov.

Rapportens oppbygning

Oppgaven starter med litteraturstudie på bygningssimulering, sammenligninger mellom beregnet og målt energibehov samt sensitivitetsanalyse i bygningssimulering. Videre blir metoden for oppgaven presentert. En presentasjon av casebygningene samt presentasjon av oppbygning av modeller brukt til å predikere energibehov. Deretter følger en diskusjon av funnene, hva disse betyr og til slutt hvordan disse kan bli brukt i videre arbeid. Begrensninger med studien vil også bli diskutert.

En viktig bemerkning er at kapittel 2, 4 og 5 er basert på en prosjektrapport fra NTNU-faget TEP 4530 [11]. Kapitlene er likevel forbedret til å bedre passe med tema for oppgaven. Det er i arbeidet med masteroppgaven tatt utgangspunkt i modeller som ble utviklet for prosjektrapporten i [11]. Modellene blitt endret til å tilsvare modellene som ligger til grunn for energirapporter mottatt av enova før de er blitt kalibrert.

Avgrensninger

Denne rapporten er avgrenset til en analyse av energi- og effektbehov i lavenergi og passivhus kontorbygg i Norge. Mer spesifikt er oppgaven en sammenligning av innsamlet måledata og simuleringsresultater samt en vurdering av forutsetninger som er gjort ved predikering av energibehov. Oppgaven fokuserer på å finne årsaker til avvik mellom predikert og målt energibehov ved sammenligning av forutsatte og målte parameterverdier. I tillegg vurderer oppgaven hvordan avvik fra reelle parameterverdier innvirker på beregnet energi- og effektbehov til oppvarming og kjøling.

Oppgaven sammenligner også simulert effektbehov med målt, men dette er utenfor oppgavens hovedfokus.

Kapittel 2

Teoretisk bakgrunn

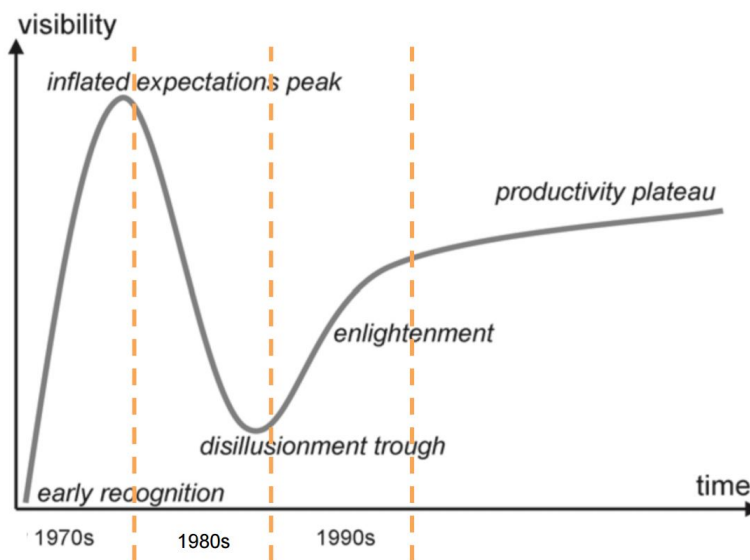
Dette kapitlet tar for seg bakgrunnsteori som omfatter sammenligninger av beregnet og målt energibruk. Hensikten med kapitlet er å presentere og diskutere relevante metoder for sammenligninger av beregnet og målt energibruk. Hensiktsmessige metoder vil videre benyttes til å bearbeide resultater. Først presenteres den historiske utviklingen av bygningssimuleringsteknologi. Videre presenteres litteratur som omhandler årsaker til avvik mellom beregnet og målt energibruk. Deretter blir en metode for sammenligninger av beregninger og målinger av bygningers energibruk presentert og diskutert før grunnleggende prinsipper for energiberegning av en sone presenteres. Videre gis en kort presentasjon av kalibreringer av bygningsmodeller. Til slutt fokuserer litteraturstudiet på sensitivitetsanalyse i bygningssimulering samt parametre med innvirkning på bygningers energibehov.

2.1 Økt betydning av bygningssimulering

Som følge av den første oljekrisen i 1973 ble energisparing en vesentlig del av energipolitikken i vestlige land [12]. I tillegg til dette har fokuset på reduksjon av miljøgasser ført til stadig strengere krav til energieffektivitet i byggeforskriftene. Lavenergi og passivhus er blitt mer vanlig og i EUs reviderte bygningsdirektiv er det bestemt at alle nye bygg skal bygges som nesten-nullenergihus innen 2020 [3]. Dette vil føre til stadig strengere krav også i Norge ved oppdateringer av byggtek-

nisk forskrift. At kravene blir overholdt skal dokumenteres ved beregninger. Beregninger ligger også til grunn for design og dimensjonering av varmeanlegg som igjen kan påvirke hvor energieffektive anleggene blir. De økende kravene til energieffektivitet innebærer således økende krav til nøyaktigheten av bygningssimulering. Videre brukes også beregninger til å avdekke feil i drift av bygg.

Samtidig med fokuset på energiøkonomisering startet den teknologiske utviklingen innen bygningssimulering for fullt og som mange andre teknologier gikk den, i følge Hensen og Lamberts [13], gjennom en såkalt «hype cycle» [14] som vist i figur 2.1, der den hadde en lokal topp like etter oljekrisen .



Figur 2.1: Den teknologiske «hype cycle» for innovasjoner, basert på Fenn og Raskino (2008) og hentet fra Hensen og Lamberts (2002)

Siden dette har antallet simuleringssoftware økt betydelig og det finnes i dag over 350 softwareprogrammer for bygningssimulering [15]. Fra midten av 80-tallet skiftet også karakteristikken for programvarene fra å være forenklede metoder basert på standardteorier til økende grad av bruk av numeriske metoder og GUI (grafisk brukergrensesnitt) [16]. Karakteristikkene for softwaren som dukket opp fra 90-tallet var blant annet høy nøyaktighet [16]. Selv om mye godt validert software finnes tilgjengelig er avviket mellom beregningene og målingene store. Det er sammensatte årsaker til dette.

2.2 Avvik mellom beregnet og målt energibruk

Det har vist seg at det er gjennomgående med betydelig avvik mellom beregnet og faktisk energibruk. Det er klart det alltid vil være avvik mellom simulert og målt energibruk som konsekvens av fundamentale usikkerheter både i beregninger og målinger. Avviket fremstår imidlertid som for stort til å kunne ignoreres. Avviket mellom beregnet og målt energibruk blir ofte referert til som et «energy performance gap» [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. For en detaljert litteraturanalyse av avvik mellom beregnet og målt energibruk, se de Wilde [4]. I dette underkapittelet er det forsøkt oppsummert ulike faktorer som bidrar til avvik gjennom byggeprosessens generiske faser.

Ide- og utviklingsfasene Faktorer som kan føre til avvik kan oppstå allerede i ide- og utviklingsfasen på grunn av kommunikasjonsproblemer mellom byggherre og prosjekterende eller mellom prosjekterende parter [10, 9, 17, 18]. En viktig faktor er at de prosjekterende ikke kan forutsi fremtidige funksjoner og bruk av bygget. Bygg kan ha store variasjoner i driftsforhold [5, 19, 20]. Det har blitt antydnet at utstyr i bygninger med høye energiambisjoner ikke presterer som spesifisert av leverandører [7, 17, 21]. Mange energisystemer er komplekse som kan føre til problemer med utvikling av gode nok reguleringsstrategier [22].

En annen årsak til avvik i disse fasene er selvsagt relatert til modelleringen og simuleringen. Bruk av ukorrekte metoder, overforenklede beregninger, feil standardverdier eller feil komponentmodeller vil føre til avvik [5, 7, 9]. Ørnes [23] påpeker at med dagens beregningsmetodikk i Norsk Standard NS 3031 vil man i bygg med serverrom få avvik på kjølebehov. Dette er på grunn av at det ikke tas hensyn til varmelasten et serverrom representerer i standarden. Videre må den som utfører beregningen også ha kunnskap og evne til å omsette denne. Selv med korrekt anvendelse av metode på korrekt modell vil beregninger være beheftet med fundamentale usikkerheter. Spesielt med hensyn på brukeradferd, interne varmetilskudd og bruk av utstyr [5, 7, 10].

Produksjonsfasen En annen kategori av årsaker til avvik kommer av byggeprosessen og «hand over». Mange forfattere påpeker at kvaliteten av bygningen ikke nødvendigvis er i henhold til spesifikasjonen for eksempel med hensyn på isolasjon og lufttetthet [5, 9, 17]. I Norge regnes imidlertid energibruk til oppvarming som ganske sikkert som følge av mye fokus på gode byg-

ningskropper. Dette er indikert i Grini et al. [21]. Videre vil fravær av opplæring av brukerne av bygget ved overlevering kunne bidra til avvik [24].

Bruksfasen Så fort en bygningen er i bruk bidrar også driften til avvik. Dårlig drifting av bygget er brukt som forklaring på avvik [10]. Hvordan bygget brukes avviker ofte fra forutsetningene som er tatt i prosjekteringsfasen og dette er ofte henvist til som hovedårsaken til avvik mellom målt og beregnet energibruk [5, 9, 10, 17, 25]. Det er stor variasjon i bruk og tilstedeværelse i kontorbygg og den ligger normalt et sted mellom 20 og 60 % av dimensjonerende forhold for norske kontorbygg [20]. I flere prosjekter velger brukerne enn høyere innetemperatur enn det som settes i energiberegninger [5, 7, 9].

I en studie spesifikt på kontorbygg i Norge ble det funnet at energibruk til teknisk utstyr ble betydelig overskredet i forhold til beregnet [21]. Videre viste rapporten store avvik mellom faktiske virkningsgrader på varmegjenvinnere i forhold til det som var oppgitt av leverandører. Dårlig behovsstyring og store luftmengder ble også forklart som årsak til større energibruk enn beregnet.

Tabell 2.1 oppsummerer årsaker til avvik mellom beregnet og reelt energibruk og når det oppstår.

Tabell 2.1: Årsaker til avvik mellom beregnet og målt energibruk

Ide- og utviklingsfasene	<ul style="list-style-type: none"> • Dårlig kommunikasjon • Lite/feil informasjon om input • Kompetansenivå til modellerer samt metode
Produksjonsfasen	<ul style="list-style-type: none"> • Løsninger som ikke samsvarer ikke med det som faktisk er bygd
Bruksfasen	<ul style="list-style-type: none"> • Feil drifting • Bruk av bygget samsvarer ikke med antagelser • Store ventilasjonsluftmengder • Ingen behovsstyring • Lavere virkningsgrader enn forutsatt

De Wilde [4] presenterer i sin vurdering av «energy performance gap» en metode for å vurdere avvik ved å sammenligne modell brukt til prediksjon av energibehov med målinger og resultat av kalibrert modell. Det presiseres at det er meget viktig å skille modell brukt til prediksjon og kalibrert modell. Ved å benytte en slik systematisk 1:1 tilnærming mellom modell brukt til pre-

diksjon, kalibrert modell og bygg vil man kunne vurdere modellens representativitet innenfor rammebetingelsene som var usikre under prediksjon mens årsaker til avvik mellom predikert og målt energibehov kan avdekkes.

Videre presiserer [4] at det er veldig viktig at det er klarlagt hva som er bygningsmodellens formål før det konkluderes med at det er et «performance gap». For eksempel er simuleringer med normerte betingelser for dokumentasjon av energiytelse ikke en simulering der formålet er å presist predikere forventet energibehov. Dermed er det heller ikke fruktbart å sammenligne slike beregninger med målinger.

I Norge skal bygg dokumentere netto energibehov opp mot energirammen i TEK. I tillegg skal bygg dokumentere teoretisk energibehov mot energimerkeordningen av bygninger. Dette gjøres med beregninger med normerte inndata og standardiserte betingelser. Dette er selvsagt for å gi like betingelser for alle bygg. I simuleringen benyttes reelle data for bygget, men normerte data for interne laster, settpunkter og klima. Som følge av dette er det lite hensiktsmessig å sammenligne resultatet av en slik simulering mot målt energibehov etter at bygget er satt i drift.

Det fremgår imidlertid av teknisk forskrift § 14 - 2, femte ledd at for yrkesbygg skal det beregnes energibudsjett med «relle verdier». Det er resultatet av slike beregninger som i denne oppgaven refereres til som «predikert energibehov». Videre fremgår det at målet med beregningen er å gi byggeier og bruker et godt anslag for «forventet energibruk». På denne måten vil det kunne avdekkes om noe driftes feil i bygget. Videre står det i veiledningen til leddet at det som minimum skal benyttes relle verdier for

- Lokale klimadata
- Skjerming av bygningen
- Innetemperatur
- Driftstider
- Ventilasjonsluftmengder i og utenfor driftstid
- Varmetilskudd fra belysning, utstyr og personer
- Energiforbruk for varmt tappevann
- Kjøling

Samtidig er dette beregninger som gjennomføres før byggene er satt i drift med «a priori» kunnskap om drift og bruk av bygget. Dette innebærer at en rekke antagelser vedrørende de ovennevnte parameterverdier nødvendigvis må tas.

Når målinger skal sammenlignes med beregninger er det fordelaktig å gjøre dette på en tydelig og systematisk måte. Klinski et al. [26] konkluderte blant annet med at energioppfølging skjer på ulik måte, både med og uten formålsdeling og at temperaturkorrigering av målinger og simuleringer heller ikke var konsekvent utført. Dermed sammenlignes målt forbruk med eller uten nødvendig korrigering med ulike fremgangsmåter og resultater av beregninger. Dette er lite hensiktsmessig. I en artikkel om evaluering av bygg i bruk sier Meir et al. [27] mye av det samme og konkluderer med at det er vanskelig å sammenligne rapporter som undersøker målinger og beregninger av energibruk på grunn av fravær av en uniform, standard prosedyre.

Derfor er en metode for sammenligning av beregnet og målt energibruk i bygg i en rapport av Dokka og Grini [28] presentert i det følgende underkapittel. Metoden som presenteres danner grunnlaget for utformingen av resultater i oppgaven. Metoden legger opp til sammenligning med NS 3031. Derfor er det viktig å presisere at standarden ikke bare brukes i forbindelse med energiberegninger med standardiserte betingelser for dokumentasjon, men også til andre formål der energiberegningene har til hensikt å gi presise prediksjoner av energibehov.

2.3 Metode for sammenligninger mellom beregnet og målt energibruk

På oppdrag fra Enova har SINTEF Byggforsk og Entro utarbeidet rapporten «Etterprøving av bygningers energibruk» der Dokka og Grini [28] presenterer en systematisert metode for sammenligning av beregnet og målt energibruk i bygg.

Det legges opp til at sammenligningen skal være i samsvar med Norsk Standard NS 3031 og det anbefales at sammenligningen gjennomføres og presenteres på energipostnivå i samsvar med postene i energibudsjettet i NS 3031. Det henvises til Norsk Standard NS 3031, Tabell 5 for tabell med energibudsjettet og tilhørende poster.

Virkningsgradskorrigerings En utfordring som oppstår er at byggteknisk forskrift stiller krav til netto beregning av energibehov. Det som måles ved energisentralen på primærsiden (fjernvarmenett) er imidlertid *levert* energi. Det som måles på sekundærsiden (kundesiden) er fortsatt ikke energibehov, men nærmere i størrelsesorden da varmetap i varmeveksleren mot fjernvarmenettet er korrigert for. Et spørsmålet som uansett oppstår er om man skal virkningsgradskorrigere målingene for sammenligning mot beregningene, eller om man skal korrigere beregningene for sammenligning mot målingene.

Dokka og Grini [28] anbefaler å bruke virkningsgradene for produksjon- distribusjon- og varmeavgivning som er angitt i NS 3031, vedlegg B [28] for korrigerings. Videre konkluderes det i rapporten med at korrigerings av målinger ved å multiplisere med virkningsgrader gir best samsvar med NS 3031. Da beregnes «målt» netto energibehov som dermed kan sammenlignes direkte med resultat for beregnet energibehov for hver energipost.

Værkorrigerings Romoppvarming og kjøling samt oppvarming og kjøling av ventilasjonsluft er alle temperaturavhengige energibehov. Størrelsen på disse knyttes til både utetemperatur, inne-temperatur og varigheten over året. For å sammenligne beregnet og målt varme- og kjølebehov bør målingene eller beregningene korrigeres etter været. Det finnes i hovedsak tre metoder for værkorrigerings. Dette er henholdsvis årlig graddagskorrigerings, månedstemperaturkorrigerings og full værkorrigerings.

Årlig graddagskorrigerings baserer seg på bruk av graddager. Gradagstallet er årlig summert temperaturdifferanse mellom basetemperaturen og utetemperaturen [28]. Basetemperaturen er den temperaturen der internt varmetilskudd og soltilskudd antas å dekke oppvarmingsbehovet. Ved bruk av årlig graddagskorrigerings korrigeres årlig energiforbruk. Dette gjøres ved bruk av korreksjonsfaktor for hele året [28]. Basetemperaturen settes gjerne til 17 °C for eldre bygg og 9 °C for passivhus. Og korreksjonsfaktoren blir et forholdstall mellom antall graddager i beregningen og antall målte graddager.

Ved månedstemperaturkorrigering blir romoppvarming og oppvarming av ventilasjonsluft temperaturkorrigert med målt gjennomsnittlig utetemperatur. Ved bruk av månedstemperaturkorrigering beregnes et forholdstall som følger [28]:

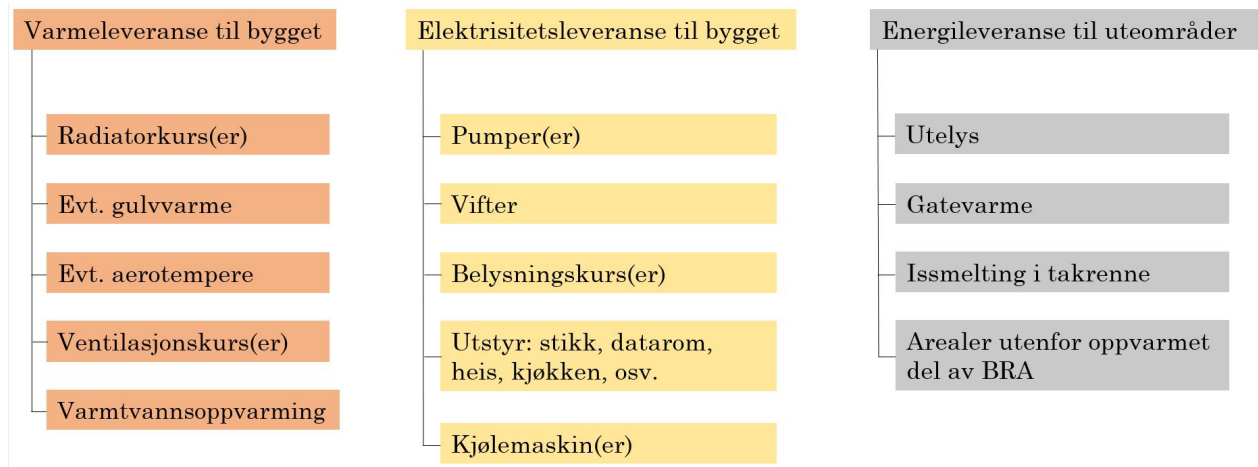
$$f_T(i) = \begin{cases} \frac{T_{base} - T_{e, reell}(i)}{T_{base} - T_{e, norm}(i)}, & \text{hvis } T_{base} - T_{e, reell}(i) < 1 \\ 1, & \text{eller } T_{base} - T_{e, norm}(i) < 1, \end{cases} \quad (2.1)$$

der $f_T(i)$ er temperaturkorrigeringsfaktor for måned i , T_{base} er basetemperaturen for bygget, $T_{e, reell}(i)$ °C er målt utetemperatur for bygget og $T_{e, norm}(i)$ °C er normalisert utetemperatur i måned i . Siden faktoren gjelder for energibruk til oppvarming settes faktoren til 1 de månedene det ikke er behov for oppvarming. I tilfeller man ønsker å normalisere målt forbruk dividerer man med temperaturfaktoren. Ønsker man å korrigere beregnet oppvarmingsbehov for å sammenligne med målt forbruk, multipliseres forbruket med denne temperaturfaktoren [28].

Ved full værkorrigerings lages en værfile basert på målte parametre som benyttes i simuleringen av bygget. Denne metoden vil gi best grunnlag for sammenligning av beregnede og målte data da det også korrigeres for kjølebehov.

Målestruktur og målertype En god målestruktur kan i de fleste bygg oppnås ved 10-30 målere, men det forutsettes at målerstruktur tas hensyn til i prosjektering av termiske og elektriske kurser [28]. Det bør velges målere som kan kommunisere digitalt med et datasystem som samler og lagrer data på hensiktsmessig måte.

Det anbefales at målerstrukturen for energiflyt i bygget gjenspeiler inndelingen i energiposter i NS 3031 [28]. Det anbefales også at store energiposter utover de som er definert i NS 3031 får egne målere. Eksempel på slike poster er energibruk til serverrom, snøsmelting og utelys. Anbefalt målerstruktur er som illustrert i figur 2.2.



Figur 2.2: Anbefalt målestruktur for energi og effektmåling i bygninger, basert på Dokka og Grini (2013)

2.4 Beregning av en bygnings energi- og effektbehov

I det følgende presenteres grunnleggende prinsipper for beregninger av varme- og kjølebehov i bygningssimulering. Bygningers energi- og effektbehov kan fordeles i termisk energibehov og elektrisk energibehov. Varme- og kjølebehov er den delen av energibehovet som kan dekkes av termisk energi.

Dersom man ser for seg et rom som et lukket volum, så impliserer termodynamikkens første lov at endringer i dette rommets energi må fremkomme av at energi krysser rommets grenser. Termodynamikkens første lov sier nemlig at energi hverken kan oppstå eller forsvinne. Endringen i et roms energi kan dermed uttrykkes med en generell varmebalanse som følger:

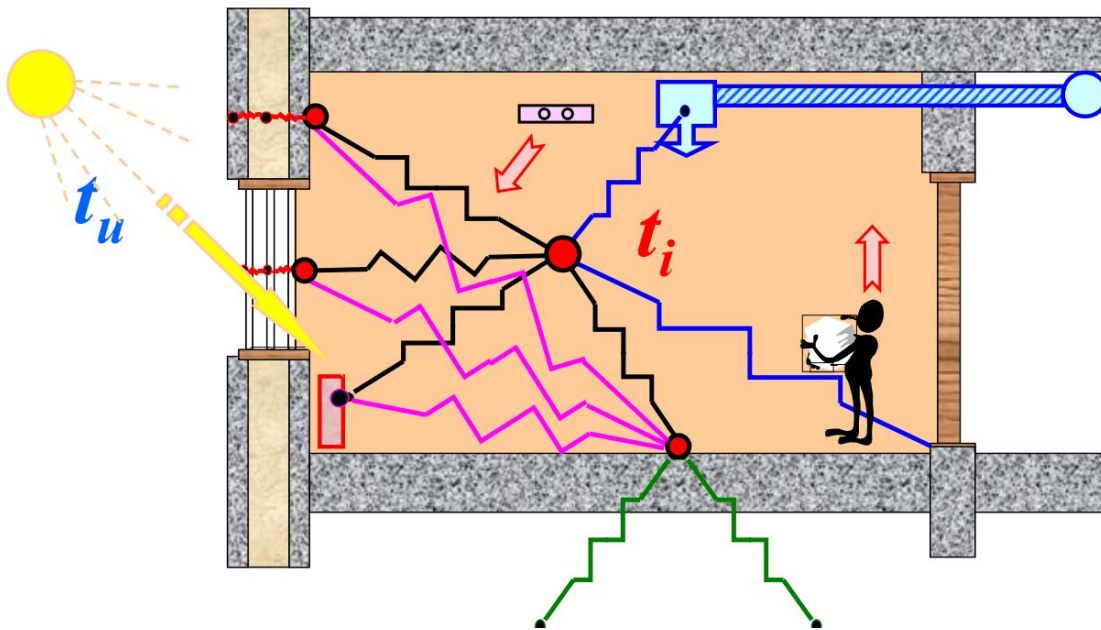
$$V_{i,luft} \cdot c_{p,luft} \cdot \frac{dT_{i,luft}}{dt} = Q_{inf,i} + Q_{vent,i} + Q_{trans_u,i} + Q_{trans_i,i} + Q_{il,i} + Q_{rv,i}, \quad (2.2)$$

der $V_{i,luft}$ er luftens volum, $c_{p,luft}$ er luftens varmekapasitet, $\frac{dT_{i,luft}}{dt}$ er endring av lufttemperatur per tidssteg, $Q_{inf,i}$ varmetilskudd på grunn av infiltrasjon, $Q_{vent,i}$ varmetilskudd på grunn av ventilasjon, $Q_{trans_u,i}$ varmetilskudd på grunn av transmisjon fra utvendige vegger, $Q_{trans_i,i}$ varmetilskudd på grunn av transmisjon fra innvendige vegger, $Q_{il,i}$ varmetilskudd på grunn av interne laster og $Q_{rv,i}$ er varmetilskudd på grunn av romvarme. Varmestrømmene kan selvsagt

gå begge veier for de fleste leddene.

Energisimuleringsprogrammer tar utgangspunkt i denne varmebalansen og løser den i tid og rom for å beregne energibehovet i bygg. En termisk modell lages ved spesifisering av geometri og termiske parametre. Interne varmetilskudd defineres. Grensebetingelsene spesifiseres og disse er gjerne bestemt av klimafilen. Deretter settes initielle temperaturer og varmebalansen løses med hensyn på innetemperaturen og effektbehov i hvert tidssteg. I tillegg til varmebalansen løses også differensialligninger for trykk og hastighet med hensyn på luftstrømmer inn og ut av bygget ved bruk av såkalte ventilasjonsnettverk der hver node har et trykk og luftstrømmer mellom nodene løses for hvert tidssteg.

En litt mer komplisert termisk modell enn vist i ligning 2.2 tar utgangspunkt i varmebalansen over en node. Dermed inkluderes også strålingsutveksling. Dette er illustrert i figur 2.3 som er laget av Vojislav Novakovic, NTNU.



Figur 2.3: Varmebalansen på en luftnode, Novakovic

Normalt brukes en luftnode per sone ved simuleringer av bygningers energi- og effektbehov. Dette er en såkalt global tilnærming der lufttemperatur og konsentrasjoner er antatt uniforme. Denne tilnærmingen benyttes i IDA ICE [29].

2.5 Statistiske kriterier for vurderinger av kalibrerte modeller

I det følgende presenteres de statistiske kriteriene som ofte benyttes ved vurdering av kalibrerte modeller i litteratur vedrørende bygningssimulering og målinger. Kalibrering går ut på at man «tuner» eller kalibrerer forskjellige input i programmet slik at beregnet energibruk samsvarer godt med målt energibruk [30]. De to hovedgrunnene til å anvende kalibrering er for det første at det tillater mer pålitelig identifisering av energi- og effektreduksjonstiltak. For det andre gir det økt sikkerhet i monitorering og verifiseringsprosessen så fort disse tiltakene er implementert [30].

For å kalibrere en modell trenger man to datasett. Videre benyttes normalt statistiske indekser for å vurdere overenstemmelsen mellom datasettene. De statistiske indeksene Mean Bias Error (MBE) og Coefficient of variation of the Root Mean Square Error (CV(RMSE)) er mye brukt i forbindelse med sammenligninger av beregnet og målt energibehov. Indeksene har blitt et internasjonalt referansekriterie for validering av kalibrerte bygningsmodeller. Og de har blitt foreslått i følgende dokumenter.

- Amerikan society for heating refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Guidelines 14 [31].
- Measurement and Verification guidelines for FEMP
- International Performance Measurements and Verification Protocol (IPMVP)

MBE beregnes som følger

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)}{\sum_{i=1}^{N_p} m_i} [\%], \quad (2.3)$$

hvor m_i ($i=1,2,\dots,N_p$) er de målte data og, s_i ($i=1,2,\dots,N_p$) er de simulerte data ved tidsintervall i og N_p er det totale antallet dataverdier.

På grunn av muligheten for at positive og negative feil kan kansellere ut hverandre benyttes MBE sammen med CV(RMSE). CV(RMSE) representerer standardavviket til differansene. Det vil si at indeksen sier noe om hvor godt modellen representerer variasjonen i de målte dataene og

beregnes som følger

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{m}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)^2}{N_p}} [\%], \quad (2.4)$$

hvor m_i , s_i og N_p er som i ligning 2.3 og \bar{m} er gjennomsnittet for de målte verdier.

For å kunne anse en modell som kalibrert må indeksene være mindre enn noen gitte verdier avhengig av tidsintervallet for kalibreringen. Grenseverdiene er gjengitt i tabell 2.2.

Tabell 2.2: Kriterier for kalibrerte modeller

Statistiske indekser	Månedlig kalibrering		Timeskalibrering	
	ASHRAE Guideline 14	IPMVP	Ashrae Guideline 14	IPMVP
MBE [%]	5	15	10	5
CV(RMSE) [%]	15	-	30	20

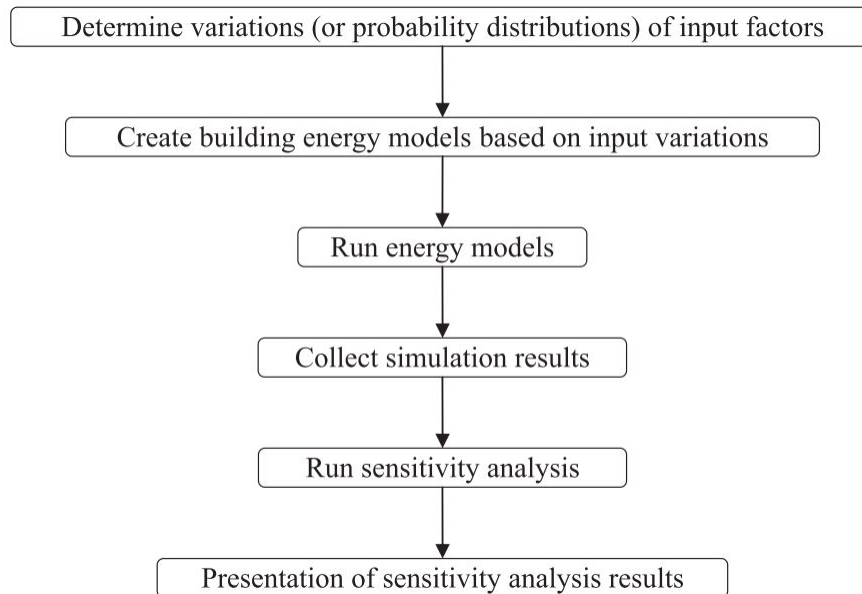
Det er imidlertid viktig å være oppmerksom at dette er kun indikatorer på at bygningsmodellen er kalibrert. Dersom en modell oppfylder verdiene for å bli ansett som kalibrert gir ikke modellen en endelig løsning. Overholdelse av grenseverdiene vil kunne oppnås med mange ulike modeller da løsningen ikke er unik. Dette innebærer altså at parameterverdier ikke nødvendigvis er korrekte selv om bygningsmodellen anses som representativ for bygget.

2.6 Sensitivitetsanalyse og parametre med stor innvirkning på energibehov

Hensikten med dette kapitlet er å presentere både relevante metoder for sensitivitetsanalyse og resultater av disse.

Sensitivitetsanalyse er et verdifullt verktøy for vurderinger av bygningsmodeller og analyser av disse [32]. Sensivitetsanalyse innen bygningssimulering har et vidt anvendelseområde. Herunder design av bygg [33, 34], kalibrering [35, 36], vurdering av enøkiltak [34, 37, 38] og vurderinger av klimaforandringer på bygg [39, 40]. Se Tian [32] for et detaljert litteraturstudie av sensitivitetsanalyser på bygningsmodeller.

Sensitivitetsanalyse er et effektivt verktøy for å undersøke og identifisere parametre som har høy innvirkning på energi- og effektbehov i bygninger [41]. Fremgangsmåten er stort sett den samme ved analyser av bygningssimuleringsmodeller. Tian [32] presenterer generell metode for sensitivitetsanalyse på bygningsmodeller og den er gjengitt i figur 2.4.



Figur 2.4: Generell metode for sensitivitetsanalyse av bygningsmodeller, Tian (2013)

Metodene for sensitivitetsanalyser av bygninger deles gjerne i lokale og globale analyser [42]. Lomas og Eppel [43] undersøkte global og lokal sensitivitetsanalyse i tre forskjellige programvarer for bygningssimulering. Det ble foreslått at lokal sensitivitetsanalyse brukes for å bestemme sensitivitet til enkeltparametre, mens global kan brukes til å undersøke samvirkning mellom parametre.

Lokal sensitivitetsanalyse I lokal sensitivitetsanalyse, eller «en-om-gangen»sensitivitetsanalyse, fokuseres det på følger av usikkerheter rundt et punkt, eller «base case» [44]. Denne typen sensitivitetsanalyse tar kun høyde for parametersensitivitet relativt til punktet for parametrene som holdes konstant [44]. Som resultat er valg av basecase meget viktig ved bruk av denne metoden. Lokal sensitivitetsanalyse er brukt mye i forskningsområdet for bygningssimulering [37, 41, 25]. Rasouli et al. [41] anvendte lokal sensitivitetsanalyse for å undersøke varmeenergi i et ventila-

sjonsanlegg i en kontorbygning i Chigao, Illinois, USA. Resultatene indikerer at den parameteren med høyest innflytelse på varmebehov er luftmengdene og temperaturspunkt. Lam et al. [37] undersøkte ti kontorbygninger i Hong Kong med lokal sensitivitetsanalyse. Resultatene indikerte at parametre med høy innflytelse var interne laster, temperatursettpunkt samt spesifisering av vinduer og parameterverdier i ventilasjonssystemet. Demanuele et al. [25] brukte lokal sensitivitetsanalyse på skolebygg i Storbritannia. Resultatene indikerte at drift og brukeradferd hadde stor innflytelse på energibruk.

Global sensitivitetsanalyse Ved global sensitivitetsanalyse vurderes også virkninger av usikre input i et større parameterrom [45]. Denne metoden blir derfor sett på som mer robust enn lokal sensitivitetsanalyse. En ulempe med denne metoden er imidlertid at den krever mye datakapasitet i forhold til lokal sensitivitetsanalyse [32].

Sensitivitetsanalyser på bygg av vanlig byggestandard og passivhusstandard har vist at viktige parametre i forbindelse med energi- og effektbehov er interne laster [37, 41], virkningsgrad for varmegjenner [28, 41], infiltrasjonsrate [34], luftmengder [37, 41], temperatursettpunkt [41] samt drift og brukeradferd [25].

Kapittel 3

Metode

I dette kapitlet beskrives utarbeidelse av problemstilling og mål, valg som er gjort underveis i arbeidet samt en mer dyptgående diskusjon av metodikken som er benyttet. Først beskrives bakgrunn for valg av oppgave samt arbeidsprosessen. Deretter følger en kort beskrivelse av litteraturstudiet og datainnsamlingen som er gjennomført. Til slutt følger beskrivelse av beregninger samt metode for kalibrering og sensitivitetsanalyse.

3.1 Arbeidsprosessen

Bakgrunnen for valg av tema var et ønske om å lage virkelighetsnære bygningsmodeller for energi- og effektberegninger. Mye litteratur som omtalte det såkalte «energy performance gap» bekreftet at dette var et aktuelt tema.

Oppgaveteksten, signert av veileder definerte rammene som vist i figur 3.1

Mål

Målet med oppgaven er å avdekke hvilke avvik som finnes mellom beregnet og målt energi- og effektbehov og årsakene til eventuelle avvik. Arbeidet er en fortsettelse av kandidatens fordypningsprosjekt.

Masteroppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Litteraturstudie. Sammendrag av fordypningsprosjektets litteraturstudie og videreføring av denne
2. Ved behov innhente supplerende informasjon om de valgte bygningene
3. Etabler representative modeller i IDA ICE ved å kalibrere modellene fra fordypningsprosjektet
4. Gjennomføre simuleringer hvor også effektbehovet inkluderes
5. Diskuter og vurder årsaker til avvik mellom beregnet og målt energi- og effektbehov

Figur 3.1: Rammeverk for oppgaven

Masteroppgaven er gjennomført som et casestudie på to kontorbygninger av henholdsvis lavenergi og passivhusstandard og den bygger videre på prosjektarbeid på NTNU i faget TEP 4530 [11]. I prosjektarbeidet ble det gjennomført et litteraturstudie på sammenligninger av målinger og beregninger av energibehov i bygg. Litteraturstudiet avdekket at målt energibehov gjennomgående var høyere enn predikert. Videre ble modeller av casebygningene utarbeidet i IDA ICE.

For å avdekke om det forelå, og eventuelt årsaker til, et avvik mellom beregnet og målt energibehov ble det først etablert modeller tilsvarende de modeller som ble brukt til å predikere energibehovet til casebygningene i prosjekteringsfase med «a priori»kunnskap om bruk og drift av bygget. Videre ble disse modellene kalibrert for å undersøke, post konstruksjon og rehabilitering for henholdsvis Haakonssvern og Malmskriverveien, hvor forutsetninger og antagelser som ble gjort ved predikering avvok fra de faktiske forhold og hvilken innvirkning det hadde på resultatet av simulert energi- og effektbehov.

Til slutt ble sensitivitetsanalyse på bygningsmodellene gjennomført for å vurdere hvordan bruk og drift har innvirkning på energi- og effektbehov.

3.2 Litteraturstudie

Litteraturstudie ble gjennomført for å avdekke relevant litteratur og metoder. Databaser som ble benyttet var google scholar og oria. Søkeord som ble brukt var hovedsakelig: **building energy, simulation, measurements, office, calibration, sensitivity analysis**

3.3 Datainnsamling

For Malmskriverveien er det blitt oversendt dataark med timesmålinger for 2015. Målingene er gjennomført i samsvar med foreslått målestruktur av Dokka og Grini [28], gjengitt i figur 2.2. For summeringer av ulike stikk, varme- og kjølebruk ble energiflytskjemaet gjengitt i vedlegg D.5 brukt.

For Haakonsvern er det blitt oversendt datark med timesmålinger for 2016. I tillegg er det utarbeidet et energioppfølgings skjema med komplett oversikt og dette er blitt bruk til sammenligning med beregnede verdier.

Målingene er kvalitetssikret og fulgt opp på begge byggene.

3.4 Beregninger og analyser

Resultat av simuleringer er summert for å tilpasse postene i energibudsjettet i NS 3031.

Temperaturkorrigeringer I energioppfølging er det vanlig å temperaturkorrigere da vær ikke skal være en stor usikkerhet for energibehov. Når man skal undersøke energi og effektbehov i modeller og bygg er det hensiktsmessig å foreta en såkalt «full værkorrigering» som er nevnt i [28]. Dermed er grensebetingelsene i modellene tilsvarende «grensebetingelsene» i virkeligheten. Dette gjør at det er lettere å oppdage eventuelle feil i modellen, eller i byggene. Malmskriverveien er simulert med en klimafil med målte temperaturer for 2015 og Haakonsvern er simulert med en klimafil med målte temperaturer for 2016.

Virkningsgradkorrigeringer Netto energibehov er beregnet og sammenlignet med målinger som er multiplisert med virkningsgrader for distribusjon og varmeavgivelse med virkningsgrader angitt i NS 3031 vedlegg B. I samsvar med det som er foreslått av Dokka og Grini [28].

Kalibrering De Wilde [4] presenterer en metode der modell brukt til prediksjon kalibreres og sammenlignes med modell brukt til prediksjon og målinger. Denne fremgangsmåten er benyttet i oppgaven for å vurdere årsaker til avvik mellom predikert og målt energibehov. Som [4] skriver kan man gjennom denne fremgangsmåten ikke bare finne avvik mellom forutsatte og reelle parameterverdier, men også vurdere modellenes representativitet innenfor rammebetingelser som var usikre ved prediksjon.

En kalibrering av modeller ble gjennomført i to trinn;

I trinn 1 ble det laget modeller i SIMIEN og IDA ICE for begge byggene med parameterverdier identisk til de parameterverdier som ble brukt til å predikere energibehov. Det vil si at parameterverdier i egne modeller ble satt lik parameterverdier i energirapporter for casebygningene. Disse energirapportene ble mottatt av Enova og hadde til hensikt å beregne forventet energibehov med «relle verdier» i samsvar med TEK10 § 14 - 2, femte ledd. Modellene som ble utarbeidet ble simulert med normalklima og sammenlignet med resultater i energirapporter. Sammenligningen viste at modellene ga tilsvarende resultater. Modellene ble derfor ansett som tilsvarende de som ble brukt til å generere energirapportene som ble mottatt fra Enova. Deretter ble disse modellene simulert med målt vær for de aktuelle årene der målinger ble foretatt i casebygningene. Resultatene av disse simuleringene var resultatene av trinn 1.

I trinn 2 ble parameterverdier i disse modellene oppdatert med målinger og estimeringer av parametre. Modellene ble simulert med vær fra de aktuelle år og resultatene ble registrert.

Til slutt ble resultatene fra modeller brukt i prediksjoner, samt kalibrerte modeller strukturert og analysert. Resultater av kalibrering er presentert i 6.1.

Videre ble beregnet og målt energi- og effektbehov sammenlignet og avvik ble diskutert med bakgrunn i de avdekkede avvikene i forutsetninger. Dette presenteres i kapittel 6.2.

Sensitivitetsanalyse Sensitivitetsanalyse er blitt gjennomført for å vurdere hvordan bruk og drift av et passivhus kontorbygg har innvirkning på energi- og effektbehov i bygget.

Metoden vist i figur 2.4 ble brukt for sensitivitetsanalysen. Først ble endringen i parameterverdi bestemt. Disse ble satt lik normative parameterverdier angitt i NS 3031. Dette er fordi det fremkom under oppbyggingen av modellene at normative parametre for bruk og drift ofte benyttes selv ved beregninger der hensikten er å beregne forventet energibehov med «relle verdier». I tillegg fremkom det av målinger at faktiske verdier kan samsvare godt med normative verdier. Deretter ble det laget en egen bygningsmodell for hver parameterendring i IDA ICE. Videre ble disse modellene simulert, resultatene samlet inn og til slutt ble de analysert.

Kapittel 4

Presentasjon av casebygningene

Dette kapittelet gir en kort presentasjon av casebygningene, deres tekniske system og målerstruktur. To casebygninger er valgt i samarbeid med Enova. Det ene bygget, Haakonsvern, ligger i Bergen og er en del av ZEB programmet (The Research Centre on Zero Emission Buildings), en nasjonal satsning ledet av SINTEF og NTNU og et prosjektert som nullutslippsbygg med ambisjonsnivå ZEB-O EQ [46]. Det andre bygget, Malmskriverveien 4, ligger i Oslo og ble totalrenovert i 2011 og regnes nå som et lavenergibygg [47]. Begge byggene er veldokumentert og det finnes tilgjengelig måledata av effekt på timesbasis og egner seg således godt for denne oppgaven.

4.1 Casestudie Haakonsvern

4.1.1 Generelt om Haakonsvern

Administrasjonsbygget til forsvarbygg på Haakonsvern sto ferdig i 2015 og vil trolig overta plassen som Norges mest energieffektive kontorbygg [46]. Bygget er illustrert i figur 4.1.

Haakonsvern er et kontorbygg med 3 etasjer og totalt 2010 m² oppvarmet BRA. Bygget er lokalisert nær logistiksenteret på Haakonsvern. Andre og tredje etasje brukes omtrent likt som kontorer [48]. Kjernearealet benyttes til undervisning og møterom. Førsteetasje benyttes som kontorer. Det er lagt opp til cellekontor og ca 50 % kontorlandskap, med høy grad av fleksibilitet



Figur 4.1: Illustrasjon av Haakonsværn. Figuren er gjengitt med tillatelse fra Link arkitektur

i tekniske løsninger [46]. Tabell 4.1 gir generelle fakta om Haakonsværn.

Tabell 4.1: Generelle fakta om Haakonsværn

Haakonsværn	
Bygningskategori	Yrkesbygg
Byggeår	2015
Totalt areal	2010 m ² oppvarme
Energibærer	Energibrer Fjernvarme/-kjøling
Energimerke	Energimerke A, Passivhusstandard

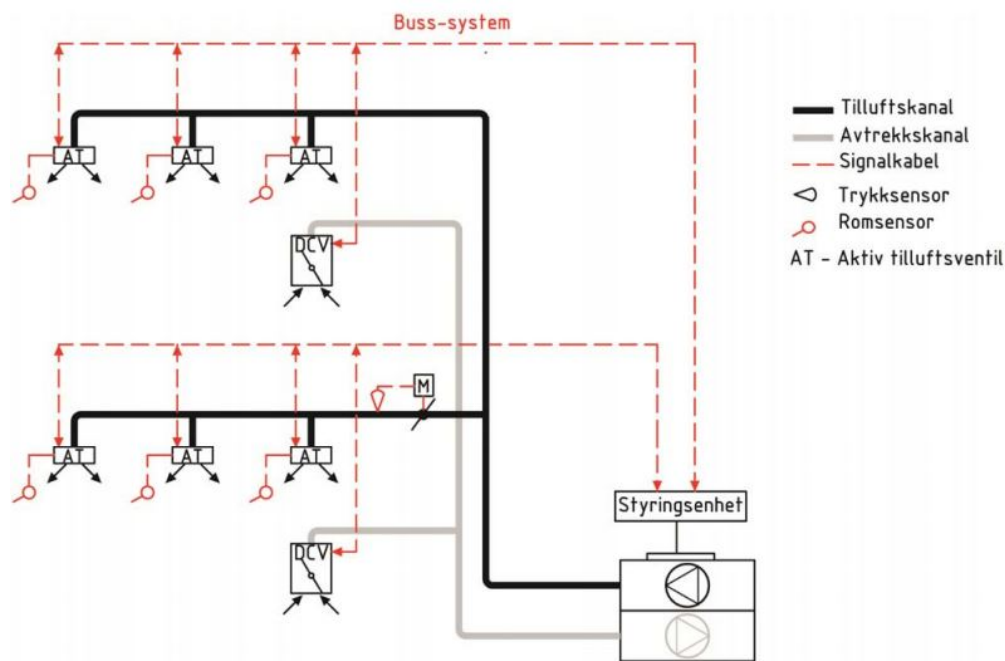
4.1.2 Klimatekniske anlegg og målerstruktur

Varme- og kjøleanlegg Ett vannbårent distribusjonssystem forsyner bygget med varme. Varmeavgivelsen til oppholdsrom skjer via radiatorer, gulvvarme samt via ventilasjonsluften. Varme-anlegget består av to varmekurser som er 320.02 og 320.03 til henholdsvis gulvvarme og radiatorer. I tillegg har ventilasjonsaggregatene to vannbårne varmebatterier som dekkes av kurs 360.01 og 360.02. Kurs 310.01 dekker varmtvann. Flytskjema for varme med tilhørende målere finnes i vedlegg C.2.

Kjøleanlegget består av vannbåren romkjøling samt batteriene 360.02 og 360.03. Se vedlegg C.3 for flytskjema kjøling. Kjølebehovet er lavt på grunn av utvendig solskjerming som reguleres ved bruk av måling av solinnstråling.

Ventilasjon Haakonsvern har to aggregater, 36.01 og 36.02, som betjener ventilasjonen i bygget jfr. vedlegg C.4. Aggregatene har roterende varmegjenvinner med angitt virkningsgrad på 85 %.

Systemet er behovsstyrt etter tilstedeværelse og benytter seg av aktive tilluftsventiler. Det finnes ulike former for behovsstyring og de vanligste variantene i lav-energi og passivhus er VAV (Variable Air Volume) og DCV (Demand Controlled Ventilation). Dette er ventilasjonssystemer der tilført ventilasjonsluftmengde reguleres automatisk i forhold til et målt behov på romnivå. Ved bruk av DCV styres gjerne luftmengdene etter temperatur- og CO₂-måler. Det som benyttes i Haakonsvern er en variant av spjeldoptimalisert regulering hvor enheter for behovsstyring er integrert i tilluftsventilen. Figur 4.2 (Mads Mysen og Peter G. Schild) [49] viser en prinsippskisse hvor aktive tilluftsventiler styres av en styringsenhet (PLS) og kommunikasjon via et buss-system som overfører data mellom komponenter.



Figur 4.2: Prinsippskisse hvor aktive tilluftsventiler styres av en hovedstyringsenhet

4.2 Casestudie Malmskriverveien

4.2.1 Generelt om Malmskriverveien

Bygget er fra 1971 og er plassert på Malmskriverveien 4 i Sandvika i Bærum kommune. Bygget er et kontorbygg på i alt seks etasjer inklusiv kjeller. Bygningen er illustrert i figur 4.3.



Figur 4.3: Bygget sett fra sørøst. Figuren er gjengitt med tillatelse fra Dyrvik Arkitekter

Bygget ble totalrenovert i 2011 og er etter dette et lavenergibygg [47]. Den ene delen av tilbygget benyttes til rettssaler og i den andre til undervisningsrom. Øvrige arealer benyttes til kontorer. Malmskrivervegen anses å være typisk for sin bygningskategori og egner seg derfor godt som casebygning i denne oppgaven. Generelle fakta om bygget fremgår av tabell 4.2.

Tabell 4.2: Generelle fakta om Malmskrivervegen 4

Malmskrivervegen 4	
Bygningskategori	Yrkesbygg
Byggeår/renovert	1971/2011
Totalt areal	ca 5000 m ²
Energibærer	Energibrer Fjernvarme/-kjøling
Energimerke	Lysegrønn B
Værstasjon	Asker

4.2.2 Klimatekniske anlegg og målerstruktur

Varme- og kjøleanlegg Også Malmskriverveien forsynes med varme av et vannbårent varme-distribusjonssystem. Varmeavgivelsen skjer via konvektorer og radiatorer under vinduene. Et utvendig snøsmelteanlegg dekkes også av varmesystemet. Dette inkluderes ikke i beregningen, eller i summering av måledata. Varmeanlegget for bygget består av fire radiatorkurser, 320.01-320.04. Kurs 320.01 dekker kjeller, 320.02 dekker plan 1, mens 320.03 og 320.04 dekker en fasade hver over tre plan. Flytskjema for varme finnes i vedlegg D.2.

Bygningen forsynes også med kjøling via vannbårent distribusjonsanlegg. Kjølebehovet er lavt på grunn av utvendig solskjerming som reguleres ved bruk av måling av solinnstråling. Det er installert lokal kjøling i enkelte kopi- og datarom. Ventilasjonsluft dekker resterende kjølebehov. Flytskjema for kjøling finnes i vedlegg D.3.

Ventilasjon Malmskriverveien har fire aggregater som betjener ventilasjonen i bygget jfr. vedlegg D.4. System 360.01 er plassert på teknisk i øverste etasje og er dimensjonert for 26 000 m³/h til plan 2-5. Aggregat 360.02-360.03 er alle dimensjonert for 10 000 m³/h og betjener førsteetasje og underetasjen.

Ventilasjonssystemet er VAV-regulert, men dette systemet er i praksis lite effektivt i følge rapport fra Erichsen og Horgen [23]. Alle aggregatene har vannbårne varme- og kjølebatterier samt roterende varmegjenvinner.

Målerstrukturen for energiflyt i bygget er gjengitt i vedlegg D.5 og er brukt til summering av formålsdelt energibruk. På grunn av ombygging da BKK ønsket å skille ut vifteenergien fra øvrig energi til VVS tavlen i 6.etasje har det vært noe nedetid på grunn av ombygging og noe nedetid på de to nye målerne på aggregat 360.02 og 360.03 [D.6]. For å kompensere for nedetid er det estimert et forbruk basert på måleverdier fra tiden etter at målerne var oppe.

Kapittel 5

Modellering av casebygninger

Hensikten med dette kapitlet er å kort presentere programvarene som er brukt til å simulere byggene samt valideringer av disse. Deretter følger en presentasjon av modellene som er utarbeidet i arbeidet med oppgaven. Dette innebærer at valg og forutsetninger som er tatt i oppbyggingen av modellene er presisert. Valg og forutsetninger som er presentert i dette kapitlet er i samsvar med energirapporter mottatt av Enova. Disse energirapportene er brukt til å predikere energibehovet til byggene før de er satt i drift.

Det skal nevnes at oppbygning av klimafilmer som er brukt i sammenligningen mellom beregninger og målinger presenteres. Ved vurdering av samsvar mellom resultat av modeller presentert i det følgende og resultat av modeller som ligger til grunn for energirapporter mottatt av Enova er imidlertid simuleringer gjennomført med normativt klima.

5.1 Valg av simuleringsprogramvare

I dette underkapitlet beskrives simuleringsprogramvarene som er brukt og tidligere valideringer av disse. Både SIMIEN og IDA ICE benyttes og begge programmer er vanlige å benytte ved energiberegninger i norsk byggeindustri.

5.1.1 SIMIEN 6.003

SIMIEN 6.003 benyttes til å simulere casebygningene i oppgaven. Programmet er utviklet av ProgramByggerne ANS. Simuleringsprogrammet er valgt fordi det er meget utbredt i Norsk byggebransje til å evaluere mot byggeforskrifter, energimerking, evaluering mot lavenergi/passivhuskriterier samt til vurdering av energieffektiviseringstiltak. SIMIEN er baserer seg på beregningsmetoder gitt i NS 3031.

5.1.2 Validering av SIMIEN

I Norge er det krav om at beregningsverktøy som skal benyttes til å dokumentere energibruk skal være validert etter NS-EN 15265 [50]. SIMIEN er validert etter denne standarden. dette innebærer at årlig energibehov til oppvarming og kjøling er beregnet for gitte testcaser og resultatet sammenlignet med referanseverdier. Minstekrav til nøyaktighet er «level C». SIMIEN tilfredstiller kravene til nøyaktighet med god margin. SIMIEN ligger stort sett over litt over referanseverdiene men alle avvikene ligger innenfor nøyaktighetsgrad B [51].

5.1.3 IDA ICE 4.7.1

IDA ICE 4.7.1 er valgt som verktøy til å gjennomføre simuleringer. Det er utviklet av EQUA Simulation AB. Et viktig kriterie for valg av simuleringsprogramvare i oppgaven er at brukeren har stor frihet til å velge reguleringsstrategier, endre komponenter og logge variabler som er av interesse.

Programmet er utviklet for å undersøke inneklimate på sonenivå så vel som energibruk på bygningsnivå og programmet er meget fleksibelt. De fleste komponenter er beskrevet i et programmeringsspråk som kalles Neutral Model Format(NMF) [52]. Dette betyr at matematiske ligninger for komponenter kan bli beskrevet i enhver rekkefølge og på måten <uttrykk> = <uttrykk> [53]. Denne måten å beskrive komponenter på gjør det enkelt gjøre endringer og analysere på komponentnivå.

5.1.4 Validering av IDA ICE

IDA ICE er validert i henhold til EN 15265 [54], CEN13791 [55] samt ANSI/ASHRAE [56].

Prosedyren for validering etter EN 15265 er tilsvarende som for NS-EN 15265 I fremgår det at IDA ICE [54] oppnår en nyaktighet innenfor «level C» i alle casene. For kjølecasene kom 6 av 12 innenfor klasse A, fem innenfor B og en innefor C. For varmecasene kom 9 av 12 innenfor A og tre innenfor B [54].

5.2 Modellering av Haakonsvern i IDA ICE

Dette underkapitlet beskriver oppsett av og forutsetninger for modellen av passivhus kontorbygget Haakonsvern.

5.2.1 Klimadata og orientering

Klimadata og lokasjon Det er laget en klimafil for 2016 som er basert på faktiske meteorologiske data som brukes i simuleringene. Dataene er hentet fra Metrologisk institutts database eKlima for tørrkuletemperaturer og relativ fuktighet. De resterende verdiene er satt lik normative IWEC klimadata. Tabell 5.1 gjengir informasjon som ligger til grunn for klimafilen. For å lage .epw-filer som er kompatible med IDA ICE er frivaren Elements benyttet. Programmet kan finnes her [57].

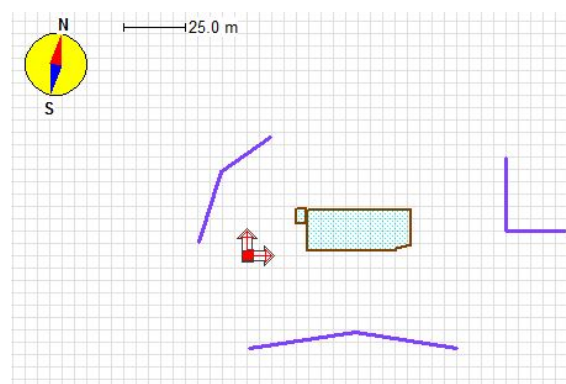
Tabell 5.1: Klimaparametre i klimafil og kilder

Klimaparameter	Kilde	Værstasjon
Tørrkuletemperatur	eKlima	Flesland, Bergen
Relativ luftfuktighet	eKlima	Flesland, Bergen
Vindhastighet	IWEC Bergen	
Vindretning	IWEC Bergen	
Diffus stråling fra sol	IWEC Bergen	
Direkte stråling fra sol	IWEC Bergen	

Orientering og skjerming For å få rett skjerming fra omkringliggende vegetasjon og bygninger samt orientering i forhold til omgivelsene slik at soltilskudd og infiltrasjonstap blir mest mulig realistisk er google maps blitt brukt. En orientering på 10 grader mot vest fra nord ble målt. Den resulterende orienteringen er vist i figur 5.1b. De nærmeste bygningene og vegetasjon ble implementert som vist i figur 5.1b. Trykk-koeffisientene ble satt til «semi-exposed». Vinduene ble implementert i modellen med automatisk utvendig solskjerming. Disse lukkes når solinnstrålingen overstiger en gitt verdi. Solfaktor for vinduer ble satt til 0,55.



(a) Reell byggplassering av Haakonsvern

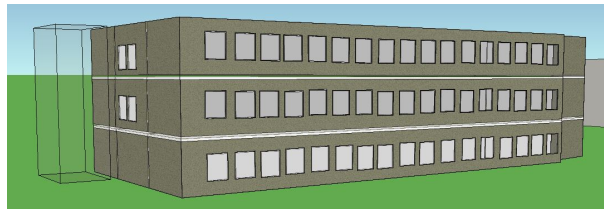


(b) Plassering av bygget i IDA ICE

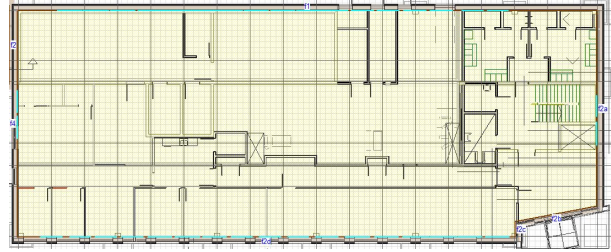
Figur 5.1: Vegetasjon, topografi og bygninger utgjør god skjerming for bygget. Antall grader helning mot vest fra nord er 10 grader

5.2.2 Geometri

Plantegninger ligger til grunn for modellering av bygningskroppen. Vektoriserte tegninger ble importert og skalert til riktig størrelse i IDA ICE. Plantegning av første etasje kan bli funnet i vedlegg C.1. Planene ser like ut for både første, andre og tredje etasje. Det resulterende bygget i IDA ICE og det resulterende gulvplanet kan bli sett i henholdsvis figur 5.2a og 5.2b. Areal vinduer og dører delt på bruksareal er 16 % i samsvar med energirapport for bygget.



(a) Illustrasjon av utvendig geometri i IDA ICE.



(b) Illustrasjon av gulvplan.

Figur 5.2: Byggets utvendige fasade sett fra sør, samt gulvplan

5.2.3 Bygningskall og konstruksjon

Sentrale inputverdier knyttet til bygningskroppen er beskrevet i tabell 5.2. Verdiene er hentet fra energirapporten mottatt av Enova.

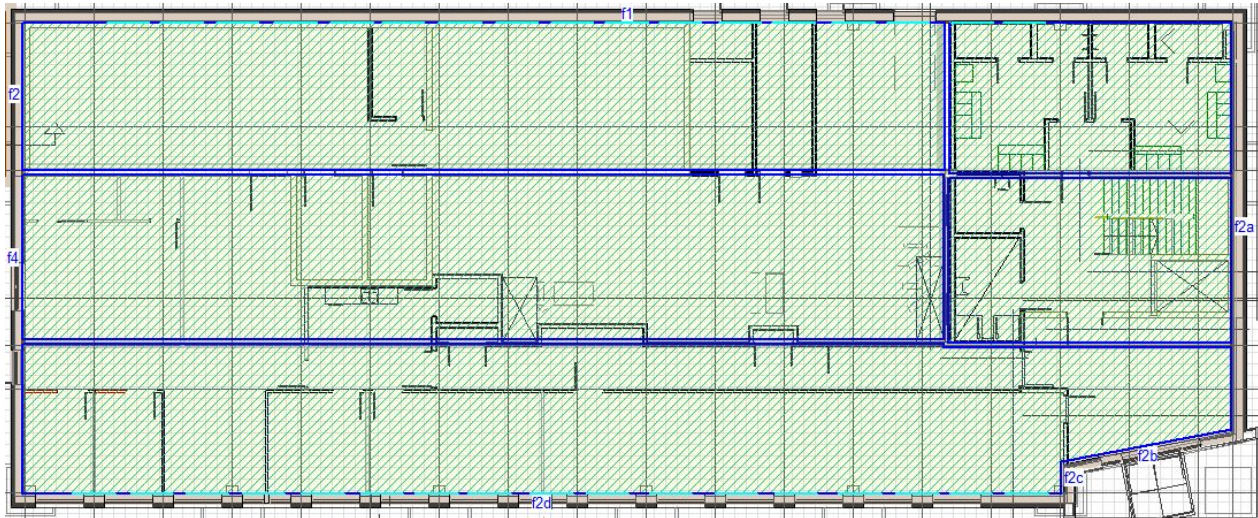
Tabell 5.2: U-verdier for konstruksjonselementer samt infiltrasjonstall for Haakonssvern

Byggteknisk	
Element	Verdi
U-verdi tak	0,09 W/m ² K
U-verdi gulv	0,08 W/m ² K
U-verdi yttervegger	0,13 W/m ² K
U-verdi vinduer	0,7 W/m ² K
U-verdi ytterdører	1,2 W/m ² K
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/m ² K
Infiltrasjonstall	0,40 l/h

5.2.4 Soneinndeling

Soneinndelingen ble valgt med bakgrunn i de tidligere fire nevnte kriterier for soneinndeling i henhold til NS 3031. Disse kriteriene var: funksjon i bygget, ulike interne varmetilskudd, ulike tekniske installasjoner som betjener ulike deler, ulikt soltilskudd.

Som i energirapporten er tettheten av interne laster i modell brukt til å predikere energibehov antatt å være lik for hele bygget. To ventilasjonsaggregat betjener henholdsvis vestre og østre del av bygget. Det er imidlertid antatt at disse leverer like mye luft. Solttilskuddet vil imidlertid være ulikt og dette er hovedkriteriet som er benyttet for soneinndelingen. Figur 5.3 viser soneinndelingen for Haakonssvern i første etasje. Tilsvarende gjelder for andre og tredje etasje.



Figur 5.3: Illustrasjon av soneinndeling for nær nullenergihuset

5.2.5 Klimatekniske anlegg

Settpunkt-temperaturer for oppvarming ble, som i energirapporten satt til 21 °C i driftstid og 19 °C utenom driftstid. Kjølesettpunkt ble satt til 26 °C. Driftstid ble satt til 12 timer om dagen, 5 dager i uken og 52 uker i året.

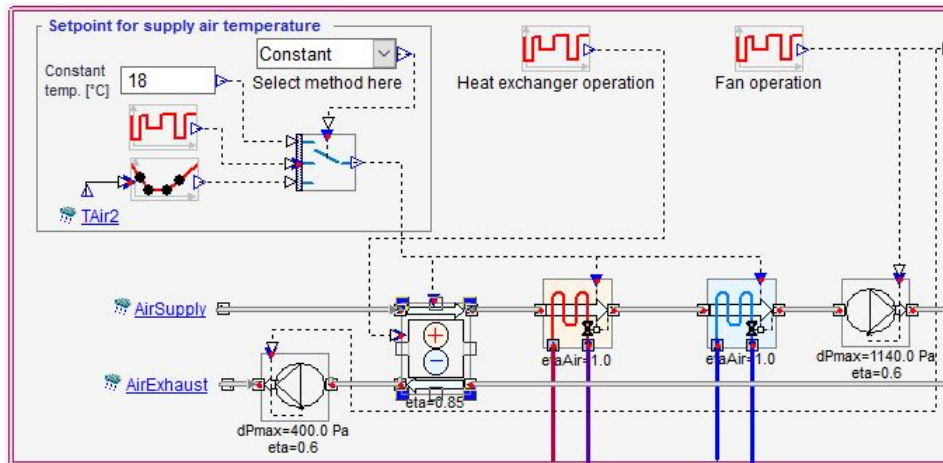
Varme- og kjøleanlegg Siden det fokuseres på energibehov i analysen er virkningsgrader for varme- og kjølesentralen satt lik 1.

Ventilasjonsaggregat I modelleringen av luftbehandlingsaggregatet ble det tatt utgangspunkt i standard ventilasjonsaggregat i IDA ICE. Viktige parameterverdier for inputverdier som ble forutsatt er gjengitt i tabell 5.3. En illustrasjon av systemet i IDA ICE er gjengitt i figur 5.4.

Tabell 5.3: Detaljer ventilasjonaggregat

Luftaggregat	
Tilluftstemperatur	18 °C
SFP	1,0 kW/(m ³ /s)
Virkningsgrad varmegjenvinner	85 %

Driftstid ventilasjonsaggregat har blitt satt til 12/5/52, tilsvarende som for temperatursettpunkt. Luftmengdene har blitt satt til 6 m³/h i driftstid og 1 m³/h utenfor driftstid.



Figur 5.4: Ventilasjonsaggregat

5.2.6 Interne laster

Interne laster er satt i samsvar med energirapporten for bygget og er gjengitt i tabell 5.4

Tabell 5.4: Interne laster og driftstider

Driftstid og interne laster Haakonvern	
Beskrivelse	Basecaseverdi
Tilstedeværelse	12/5/52
Belysning	12/5/52
Utstyr	12/5/52,
Persontetthet	4 W/m ²
Belysning, snitteffekt	4 W/m ²
Utstyr	5 W/m ²
Varmtvann, snitteffekt	1,6 W/m ²

5.3 Modelling av Malmskrivervegen 4 i IDA ICE

Dette underkapitlet beskriver oppsett av og forutsetninger for modellen av det renoverte bygget Malmskriverveien.

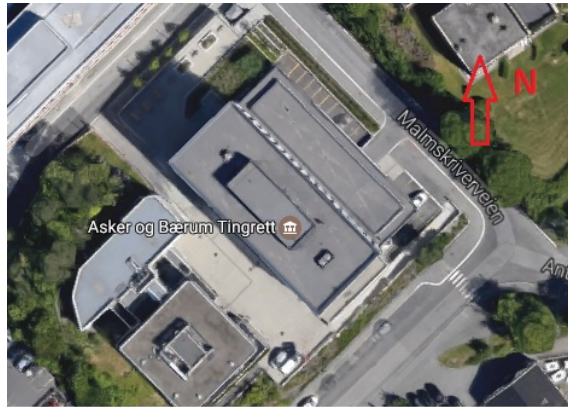
5.3.1 Klimadata og orientering

Klimadata Det er laget klimafil for 2015 som er basert på faktiske meteorologiske data som brukes i simuleringene. Dataene er hentet fra Meteorologisk institutts database eKlima for tørrkuletemperaturer og relativ fuktighet. De resterende verdiene er satt lik normative klimadata som er et standard referanseår med Oslo klima. Tabell 5.5 gjengir informasjon som ligger til grunn for klimafilen.

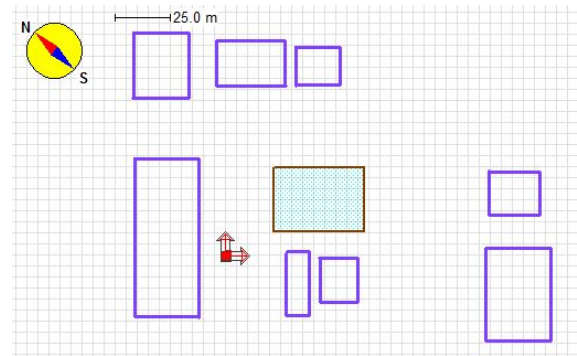
Tabell 5.5: Klimaparametre i klimafil og kilder

Klimaparameter	Kilde	Værstasjon
Tørrkuletemperatur	eKlima	Asker
Relativ luftfuktighet	eKlima	Asker
Vindhastighet	IWEC Oslo	
Vindretning	IWEC Oslo	
Diffus stråling fra sol	IWEC Oslo	
Direkte stråling fra sol	IWEC Oslo	

Orientering og skjerming Bygget er orientert slik at langfasadene vender mot nordøst og sørvest, se Figur 5.5a. Ved modelleringen av skjermingen av omkringliggende vegetasjon og bygninger ble google maps brukt. De nærmeste bygningene og vegetasjonene ble implementert som vist i figur 5.5b. Trykkoeffisientene for bygget som påvirker infiltrasjon ble satt til «semi-exposed». Utvendig solskjerming av vinduer som reguleres med hensyn på solinnstråling er inkludert på utsiden av vinduene i modellen. Solfaktor for vinduer ble satt til 0,55.



(a) Reell byggplassering



(b) Plassering av bygget i IDA ICE

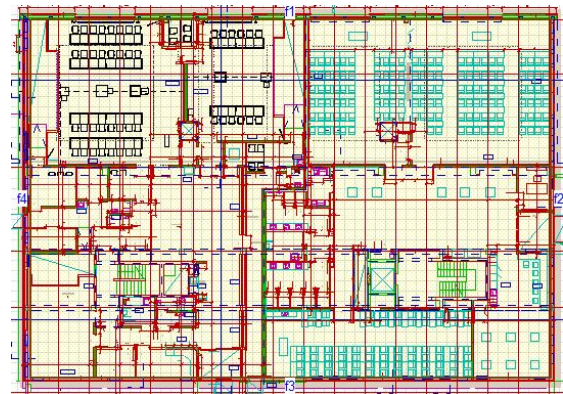
Figur 5.5: Antall grader helning mot nord fra nordøst er 45 grader

5.3.2 Geometri

Som for Haakonsværn ligger plantegninger til grunn for modelleringen av geometrien til bygget. Plantegninger kan bli funnet i vedlegg D.1. Det resulterende bygget og gulvplan for første etasje kan bli sett i hengholdsvis figur 5.6a og 5.6b. Planene ser like ut for andre, tredje, fjerde og femte etasje. Kjelleren er kun lagt inn som én sone. Areal vinduer og dører delt på bruksarea er 16 % som i energirapport for bygget.



(a) Illustrasjon av utvendig geometri i IDA ICE



(b) Illustrasjon av gulvplan

Figur 5.6: Utvendig fasade sett fra nordvest, samt gulvplan

5.3.3 Bygningsskall og konstruksjon

Sentrale inputverdier knyttet til bygningskroppen er beskrevet i tabell 5.6 .

Tabell 5.6: U-verdier for konstruksjonselementer samt infiltrasjonstall for Malmskriverveien

Byggteknisk	
Element	Verdi
U-verdi tak	0,10 W/m ² K
U-verdi gulv	0,38 W/m ² K
U-verdi yttervegger	0,17 W/m ² K
U-verdi vinduer	0,86 W/m ² K
Normalisert kuldebroverdi	0,04 W/m ² K
Infiltrasjonstall	1,07 l/h

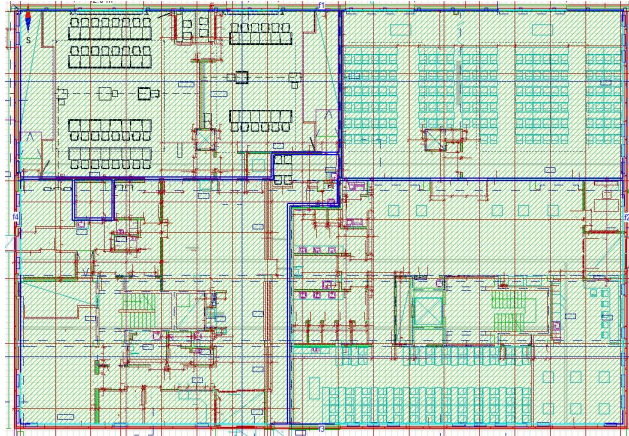
5.3.4 Soneinndeling

For en hensiktsmessig soneinndeling av modellen er de fire kriteriene; funksjon i bygget, internt varmetilskudd, tekniske systemer og grad av soltilskudd lagt til grunn.

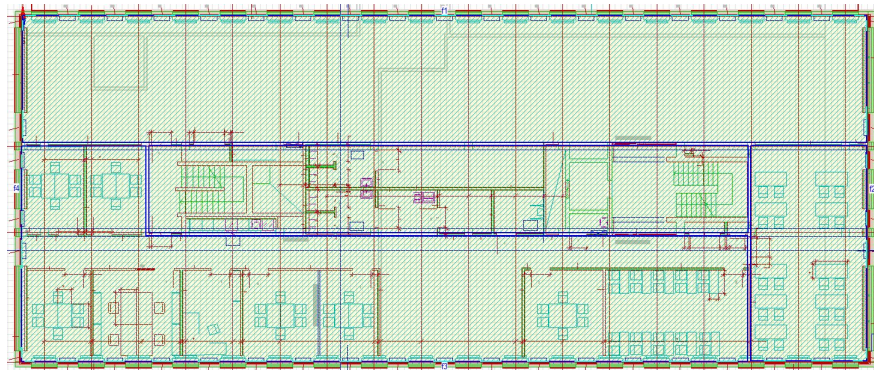
Malmskriverveien er et flerfunksjonsbygg. Bygget består av lokaler som benyttes til undervisning, rettssaler og kontorer samt at bygget består av flere ulike leietagere. Dette må tas hensyn til i soneinndeling.

Når det gjelder de tekniske systemene i Malmskriverveien er bygget betjent av fire luftaggregat jfr. vedlegg D.4. Ved inndelingen av soner er det tatt hensyn til at disse kan betjenes av de ulike aggregatene. Hvilke aggregater som betjener hvilke soner er beskrevet i kapittel 4.2.2. Det vil imidlertid bli brukt like store ventilasjonsluftmengder sone, slik som i energirapporter.

Videre er bygget inndelt etter hvor solutsatt fasadene er med en midtsone som går gjennom bygget. Soneinndeling i første og andre etasje fremgår av figur 5.7 og 5.8. Tilsvarende soneinndeling som for andreetasje gjelder for tredje, fjerde og femteetasje. Kjelleren er modellert med én sone.



Figur 5.7: Illustrasjon av soneinndeling for førsteetasje i Malmskriveveien 4



Figur 5.8: Illustrasjon av soneinndeling for andreetasje i Malmskriveveien 4

5.3.5 Klimatekniske anlegg

Settpunkt-temperaturer for oppvarming ble satt til 21 °C i driftstid og 19°C utenom driftstid. Kjølesettpunkt ble satt til 26 °C. Driftstid ble satt likt 12/5/52 i samsvar med energirapporten mottatt fra Enova.

Varme- og kjølesentral Virkningsgrad varme- og kjøleanlegg ble, som for Haakonvern, satt lik 1 for å beregne energibehov.

Ventilasjon Som for Haakonvern er standard ventilasjonsaggregat blitt bruk for modellering av ventilasjonsaggregat. Viktige parameterverdier er gjengitt i tabell 5.7. Driftstid for ventila-

sjonsaggregat ble satt tilsvarende som for til 12/5/52. Luftmengdene ble satt til 6,7 m³/h i driftstid og 1 m³/h utenfor driftstid basert på energirapport.

Tabell 5.7: Detaljer ventilasjonaggregat

Luftaggregat	
Tilluftstemperatur	18 °C
SFP	1,58 kW/(m ³ /s)
Virkningsgrad varmeveksler	85 %

5.3.6 Interne laster

Inputverdier for interne laster og brukstider gjengitt i tabell 5.8.

Tabell 5.8: Interne laster og driftstider

Driftstid og interne laster	
Beskrivelse	Basecaseverdi
Tilstedeværelse	12/5/52
Belysning	12/5/52
Utstyr	12/5/52
Persontetthet	4 W/m ²
Belysning, snitteffekt	5 W/m ²
Utstyr	5 W/m ²
Varmtvann, snitteffekt	1,6 W/m ²

5.4 Oppbygning av byggene i SIMIEN

Det ble utarbeidet modeller av Haakonsvern og Malmskriverveien også i SIMIEN. Dette var enkle «ensone-modeller» der hele bygget er modellert med en termisk sone. Det er ikke uvanlig at slike modeller brukes i industrien i forbindelse med energiberegninger både for dokumentasjon mot teknisk forskrift, samt beregninger av forventet energibehov med «reelle verdier», men også i forbindelse med estimering av besparelser i energieffektiviseringsprosjekter. Parameterverdier ble satt lik parameterverdier som ble forutsatt i energirapportene mottatt fra Enova. Dokumentasjon av sentrale parameterverdier fremgår i sin helhet i vedlegg C.5 og D.7 for henholdsvis Haakonsvern og SIMIEN.

Kapittel 6

Resultater og diskusjon

I dette kapitlet presenteres først resultatene av kalibreringen for å vise påliteligheten til de etterfølgende analysene. Videre i del to av resultatene sammenlignes predikert og målt energibehov og avvik diskuteres. Deretter vurderes kort avvik mellom beregnet og målt sortert effektbehov over året. Til slutt presenteres og diskuteres resultatene av sensitivitetsanalysen i tillegg til at implikasjoner av resultatene blir diskutert.

6.1 Kalibrering av modeller

Hensikten med dette underkapitlet er å vise hvordan modellene ble kalibrert og resultatet av kalibreringen. Dessuten utgjør forskjellen på kalibrert modell og modell brukt til å predikere energibehov forskjeller i forutsetninger og faktiske forhold som kan bidra til å forklare avvik mellom predikert og målt energibehov. Med predikert energibehov menes beregnet energibehov med «a priori» kunnskap til byggene som har hatt til hensikt å presist estimere energibehov ved bruk av «reelle verdier» i samsvar med teknisk forskrift § 14 - 2, femte ledd. De kalibrerte modellene i denne oppgaven bruker «a posteriori» informasjon om byggene der både målinger og estimer legges til grunn for oppdaterte parameterverdier.

Kalibreringsprosessen ble gjennomført i to trinn;

Trinn 1 Modeller ble utarbeidet for å tilsvare de modellene som lå til grunn for energirapporter mottatt av Enova. Først ble modellene simulert med normalklima for Bergen og Oslo og resultatene ble sammenlignet med resultatene i energirapportene. Resultatene i energirapportene viste predikert energibehov på 54,1 kWh/m² og 82,1 kWh/m² for henholdsvis Haakonsvern og Malmskriveveien. Simuleringene i egne modeller med samme parameterverdier som ble forutsatt under prosjektering ga et totalt årlig energibehov på 50,3 kWh/m² og 52,9 kWh/m² i henholdsvis simuleringsprogrammene SIMIEN og IDA ICE for Haakonsvern simulert med IWEC normalklima for Bergen. Resultatet ble 81,3 kWh/m² og 81,8 kWh/m² i henholdsvis SIMIEN og IDA ICE for Malmskriveveien simulert med IWEC normalklima for Oslo. Egne modeller laget i forbindelse med masteroppgaven er altså representative for modellene som lå til grunn for energirapportene. Modellene ble deretter simulert med klimafil med målte temperaturer for de samme årene målinger ble hentet inn og resultatene ble registrert. Resultatene blir i det følgende omtalt som «trinn 1» i tillegg til «predikert energibehov».

Trinn 2 Videre ble modellene oppdatert med målte, samt estimerte parameterverdier for temperatursettpunkt, luftmengder i ventilasjonsanlegget, virkningsgrad varmegjenvinner, SFP-faktor, bruk av interne laster, tilstedeværelse av personer, lekkasjetall og bruk av romkjøling. Det er mottatt en statusrapport for Malmskriveveien og drift av bygget utarbeidet av Ørnes [58] oven-

for Enova. Oppdaterte parameterverdier for temperatursettpunkt og luftmengder for Malmskriverveien baseres på denne rapporten. Resterende oppdaterte parameterverdier baseres på målinger som er innhentet samt estimer. Modellene ble simulert og data registrert. Resultatene av disse simuleringene blir i det følgende omtalt som «Trinn 2» i tillegg til resultat av «kalibrert modell».

Det er funnet en rekke avvik fra forutsetninger i byggene. Dette er spesielt forutsetninger vedrørende parametre som har med bruk og drift av bygget å gjøre. Tabell 6.1 og 6.2 viser forskjeller mellom parameterverdier i trinn 1 og trinn 2 modeller for henholdsvis Haakonsvern og Malmskriverveien.

Parametre som er oppdatert er temperatursettpunkt, luftmengder, interne laster, infiltrasjonstall samt bruk av romkjøling. I de kalibrerte IDA ICE modellene er det lagt til ekstra varmetilskudd i enkeltsoner for å lage representasjoner av serverrom. Trinn 2 modellen i IDA ICE for Haakonsvern er modellert med et varmetilskudd fra utstyr på 40 W/m^2 i en sone på 50 W/m^2 . I tillegg er kjølesettpunkt økt til $29 \text{ }^\circ\text{C}$ og de ideelle kjøleenheten i sonen er modellert med restriksjon på totalt 4 kW . For Malmskriverveien er det i trinn 2 modellen i IDA ICE lagt inn effektbehov for utstyr på rom på 200 W/m^2 i en sone på 6 m^2 og 100 W/m^2 i en sone på 62 m^2 . Temperatursettpunkt for kjøling ble satt til $29 \text{ }^\circ\text{C}$ og de idelle kjøleenhetene i disse sonene er modellert med restriksjon på effektuttak på henholdsvis 2kW og 10kW .

Tabell 6.1: Forutsatte vs oppdaterte parameterverdier for Haakonservern

Parameterverdier Haakonservern			
Parameter	Trinn 1 / Prosjektering	Trinn 2 / Oppdatert modell	Dokumentasjon kalibrert modell
Temperatursettpunkt oppvarming	21 °C driftstid (06:00 - 18:00), 19 °C ellers	22,5 °C	Målinger
Ventilasjon: luftmengder gjennomsnitt	6 m ³ /(h·m ²) i driftstid (06:00 - 18:00), 1 m ³ /(h·m ²) ellers	5 m ³ /(h·m ²) i driftstid (fra 05:40 til 16:50), 0 m ³ /(h·m ²) ellers	Målinger
Virkningsgrad varmegjenvinner	85 %	75 %	Estimat
SFP-faktor	1,0 kW/(m ³ /s)	0,50 kW/(m ³ /s)	Estimat
Belysning (energitetthet)	12,5 kWh/(m ² ·år)	21,2 kWh/(m ² ·år)	Målinger
Belysning bruksprofil	4 W/m ² i driftstid (06:00 - 18:00), 0 W/m ² ellers	3,7 W/m ² i driftstid (07:00 - 17:00), 2,1 W/m ² ellers	
Utstyr (energitetthet)	13,0 kWh/(m ² ·år)	13,8 kWh/(m ² ·år)	
Utstyr driftstid	5 W/m ² i driftstid (06:00 - 18:00), 0 W/m ² ellers	3,0 W/m ² i driftstid (07:00 - 17:00), 1,2 W/m ² ellers	Målinger
Personer	4 W/m ² i driftstid (06:00 - 18:00), 0 W/m ² ellers	2 W/m ² i driftstid (07:00 - 17:00), 0 W/m ² ellers	Estimat
Lekkasjetall ved 50 Pa	0,4 oms/h	0,1 oms/h	Målinger
Romkjøling	Ingen romkjøling	Bruk av romkjøling	Estimat

Tabell 6.2: Forutsatte vs oppdaterte parameterverdier for Malmskriverveien

Parameterverdier Malmskriverveien			
Parameter	Trinn 1 / Prosjektering	Trinn 2 / Oppdatert modell	Dokumentasjon kalibrert modell
Temperatursettpunkt oppvarming	21 °C driftstid (06:00 - 18:00), 19 °C ellers	22,0 °C	Estimat
Ventilasjon: luftmengder gjennomsnitt	6,7 m ³ /(h·m ²) i driftstid (06:00 - 18:00), 1,0 m ³ /(h·m ²) ellers	10,8 m ³ /(h·m ²) i driftstid (06:00 - 17:00), 1,1 m ³ /(h·m ²) ellers	Estimat
Virkningsgrad varmegjenvinner	85 %	75 %	Estimat
SFP-faktor	1,58 kW/(m ³ /s)	1,9 kW/(m ³ /s)	Estimat
Belysning (energitetthet)	15,6 kWh/(m ² ·år)	18,3 kWh/(m ² ·år)	Målinger
Belysning driftstid	5 W/m ² i driftstid (06:00 - 18:00), 0 W/m ² ellers	4,4 W/m ² i driftstid (07:00-17:00), 1,0 W/m ² ellers	
Utstyr (energitetthet)	18,7 kWh/(m ² ·år)	35,1 kWh/(m ² ·år)	
Utstyr driftstid	6 W/m ² i driftstid (06:00 - 18:00), 0 W/m ² ellers	9,2 W/m ² i driftstid (07:00-17:00), 3,0 W/m ² ellers	Målinger
Personer	4 W/m ² i driftstid (06:00 - 18:00), 0 W/m ² ellers	2 W/m ² i driftstid (07:00 - 17:00), 0 W/m ² ellers	Estimat
Romkjøling	Ingen romkjøling	Bruk av romkjøling	Estimat

For å vurdere de ulike modellenes representativitet ble det tatt utgangspunkt til de statistiske indeksene CV(RMSE) og MBE som angitt i ASHRAE Guideline 14. De statistiske indeksene er utregnet ved differanser mellom beregnet og målt månedlig totalt energibehov. Resultatene av CV(RMSE) og MBE for hver modell før og etter kalibrering er som vist i tabell 6.3.

Tabell 6.3: Statistiske indekser

	IDA ICE Trinn 1		IDA ICE Trinn 2		SIMIEN Trinn 1		SIMIEN Trinn 2	
	CV(RMSE)	MBE	CV(RMSE)	MBE	CV(RMSE)	MBE	CV(RMSE)	MBE
Haakonsvern	18,9	17,2	8,4	-0,8	25,1	26,6	15,8	7,9
Malmskriverveien	39,4	31,4	19,1	-11,8	25,2	9,5	16,8	-2,8

Den kalibrerte IDA ICE modellen for Haakonsvern tilfredstiller kriteriene angitt i ASHRAE Guideline 14 for å være kalibrert. Den kalibrerte SIMIEN modellen for Haakonsvern ligger marginalt utenfor kriteriene. For de kalibrerte modellene av Malmskriverveien er imidlertid avviket noe høyt. Dette kommer i stor grad av det store avviket for januar i det målte året der energibruk til utstyr er meget høyt. De kalibrerte modellene tar utgangspunkt i et årlig gjennomsnitt for interne laster og dermed blir det nødvendigvis et tidsavhengig avvik. I tillegg er både temperatursettpunkt og luftmengder i bygget forbundet med usikkerhet da det ikke er mottatt målinger av lufttemperaturer og luftmengder slik som for Haakonsvern.

For å gjøre en mer grundig vurdering av modellenes representativitet av Haakonsvern der temperaturmålinger er gjennomført er simulerte og målte gjennomsnittstemperaturer sammenlignet. Figur 6.1 viser simulerte og målte gjennomsnittstemperaturer per dag for april, mai og juni i Haakonsvern. Dette er måneder hvor det er både kjøle- og varmebehov i bygget.

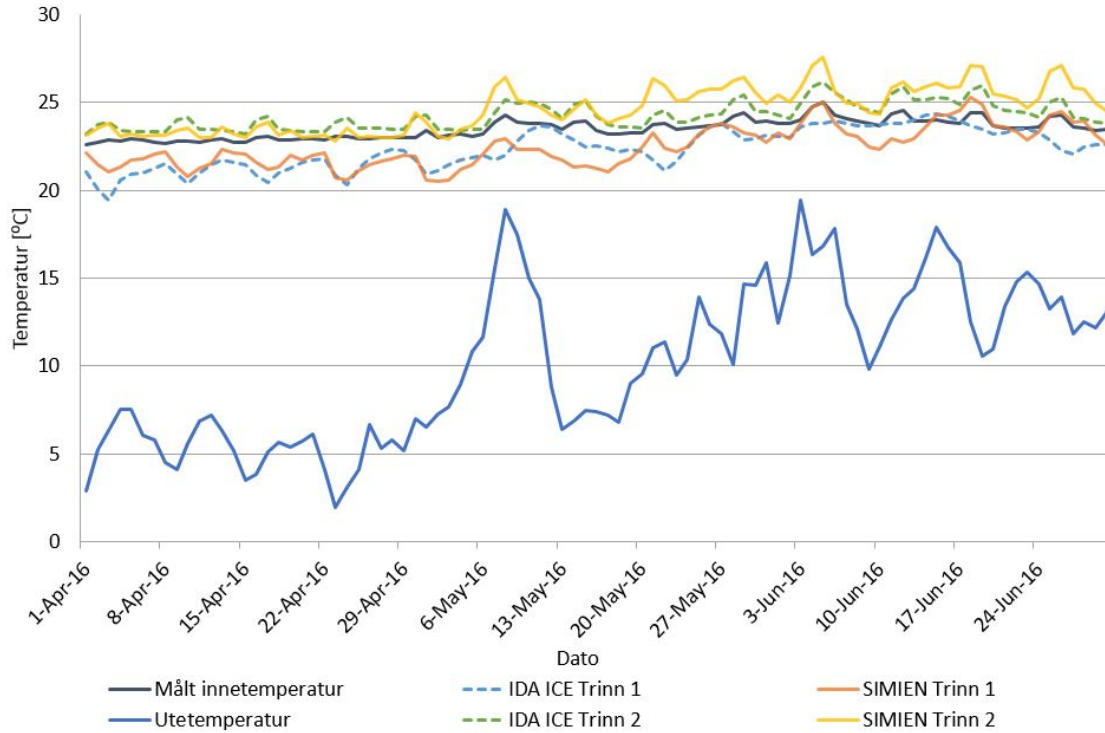
Det fremgår av figur 6.1 at SIMIEN-modellene i større grad er avhengig av utetemperaturen enn det faktiske bygget og IDA ICE modellene. Dette kan delvis forklares av at SIMIEN-modellene er enkle ensonemodeller og dermed er innetemperaturen i større grad avhengig av utetemperatur og soltilskudd. I tillegg er disse modellene modellert med mindre varmekapasitet og intern masse. Dette forklarer også hvorfor SIMIEN-modellene har større CV(RMSE) enn IDA ICE modellene.

Figur 6.1 viser at den kalibrerte IDA ICE modellen følger trendene i målingene godt. Gjennomsnittlig temperaturavvik per time er 0,77 °C. For den kalibrerte modellen i SIMIEN er gjennomsnittlig temperaturavvik 1,13 °C.

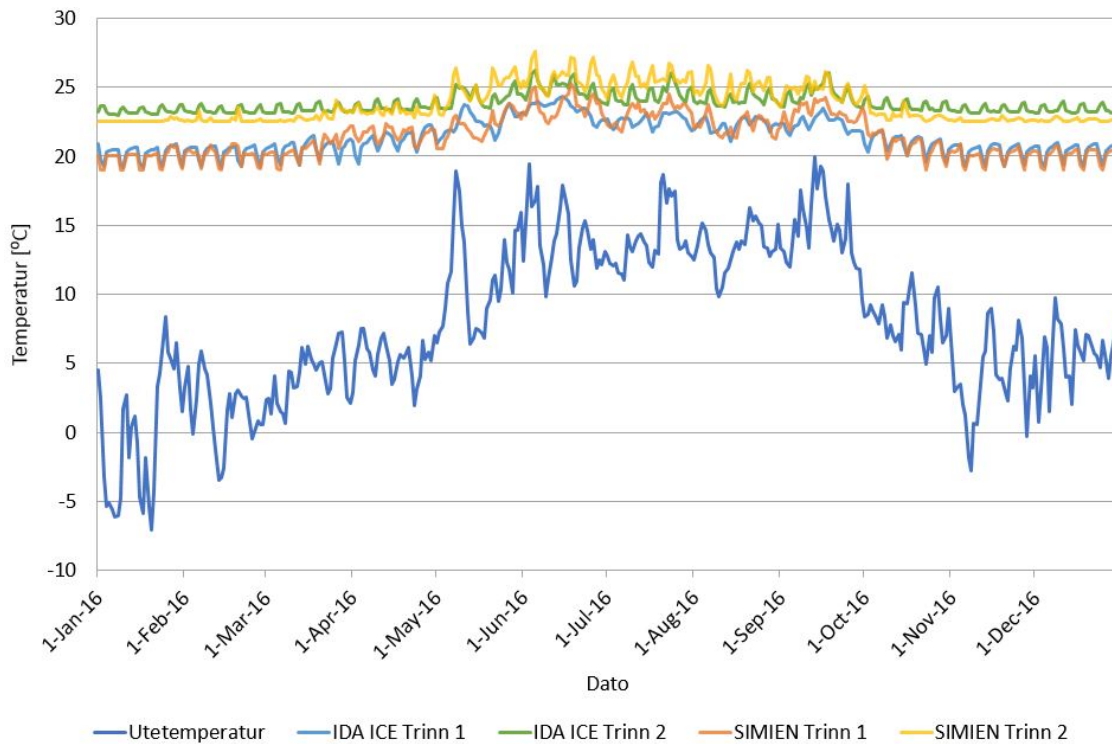
Videre fremgår det av figur 6.1 at begge de kalibrerte modellene overestimerer temperaturer. Årsaken til dette er sammensatt. Det kan delvis forklares av at modellene er mer avhengig av utetemperatur og soltilskudd på grunn av mindre varmekapasitet. Videre kan det også forklares av at regulatorinstillingene i modellen ikke samsvarer med regulatorinstillingene i bygget.

Figur 6.2 viser temperaturendringene over året for de fire modellene. Her kommer en av forskjellene i de to simuleringsprogrammene tydelig frem. IDA ICE har en «dynamisk startup» der initialtemperaturen gjettes og simuleringer kjøres til temperatursvingninger gjennom døgnet har stabilisert seg, mens i SIMIEN starter simuleringen med initialtemperatur på temperatursett-punkt.

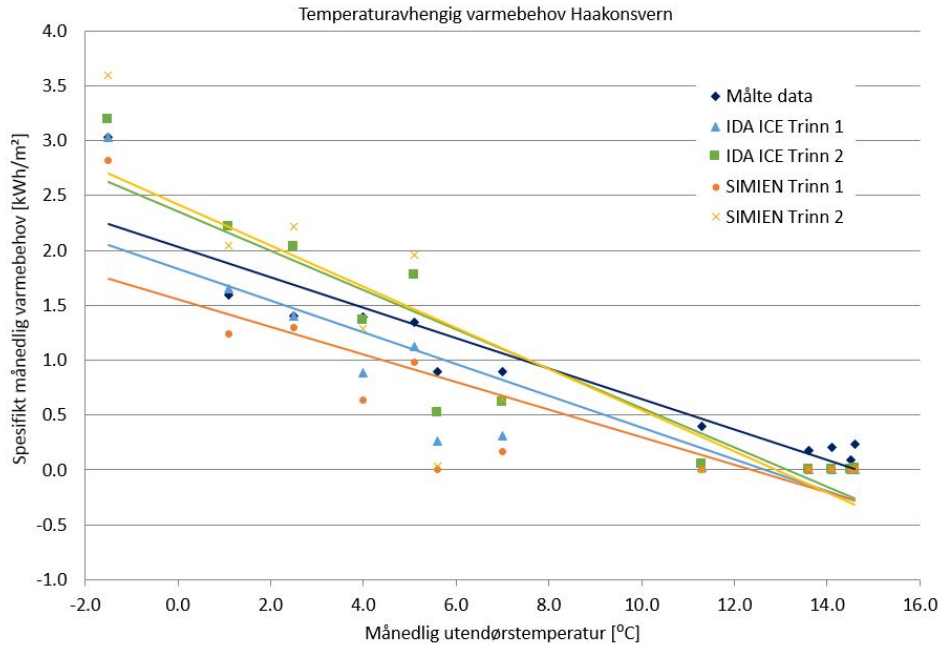
For å vurdere alle modellenes representativitet har det temperaturavhengige behovet blitt plottet i figur 6.3 og 6.4 for henholdsvis Haakonsværn og Malmskriverveien. Figurene viser hvordan det temperaturavhengige varmebehovet underestimeres i alle modellene som er brukt under prosjektering.



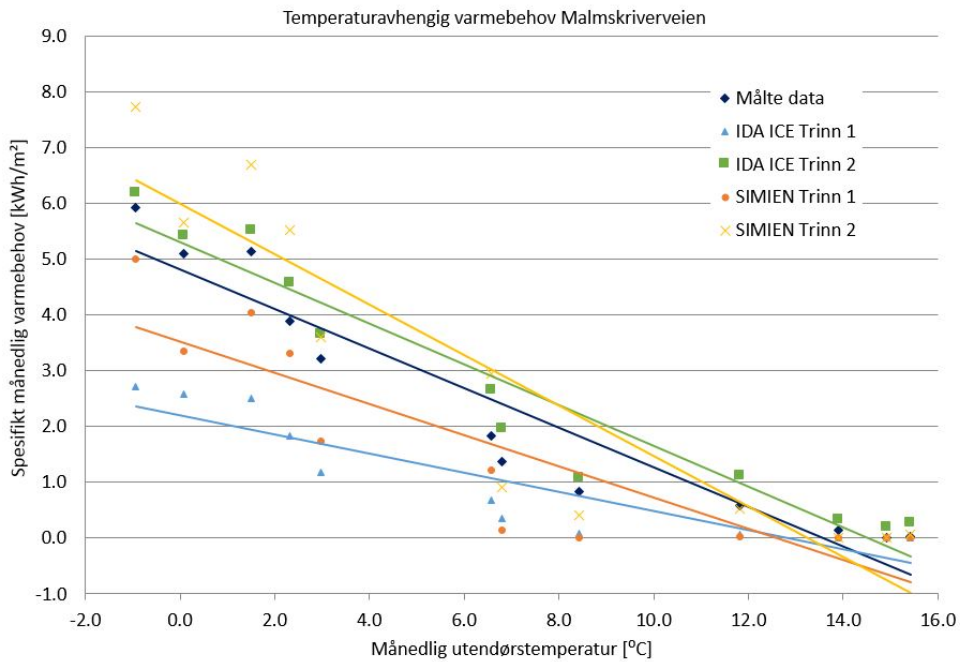
Figur 6.1: Målte og simulerte temperaturer i Haakonsværn for april, mai og juni



Figur 6.2: Simulerte temperaturer Haakonsværn år 2016



Figur 6.3: Månedlig varmebehov vs utetemperatur for Haakonsværn



Figur 6.4: Månedlig varmebehov vs utetemperatur for Malmskriveveien

6.2 Sammenligninger energi- og effektbehov

I det følgende sammenlignes målt og beregnet energibehov samt at årsaker til avvik mellom predikert og målt energi- og effektbehov diskuteres. Først sammenlignes energi og deretter effekt.

6.2.1 Energi

For en konsekvent sammenligning av beregnede og målte verdier ble målt energibruk sortert i poster i henhold til energibudsjettet i NS 3031. Det vil si teknisk utstyr, belysning, vifter, pumper, ventilasjonskjøling, romkjøling, varmtvann, ventilasjonsvarme og romoppvarming.

Resultat av simuleringer av modeller samt summeringer av innhentet måledata er gjengitt i tabell 6.4 og 6.5 for henholdsvis Haakonsvern og Malmskriverveien. Haakonsvern og Malmskriverveien har et målt totalt årlig normalisert energibehov på henholdsvis 59,1 kWh/m² og 111,9 kWh/m². Resultatene viser en underestimert energi- og effektbehov for alle trinn 1 modeller. Dette er i samsvar med litteratur om «energy performance gap».

For et bedre sammenligningsgrunnlag og for å illustrere hvordan varme- og kjølebehov varierer gjennom året er resultatene av simuleringene av modellene i IDA ICE og målinger blitt summert for hver måned og plottet i figur 6.5 og 6.6 for henholdsvis Haakonsvern og Malmskriverveien. Figuren viser hvordan avviket varierer fra måned til måned, både med hensyn på varierende bruk av interne laster og varme og kjølebehov. I det følgende refereres det til disse figurene samt tabell 6.4 og 6.5 for presentasjoner og diskusjoner av verdier for energiposter. Det skal nevnes at det ikke er innhentet målinger av forbruk til varmt tappevann i Malmskriverveien. Derfor er «målte verdier» kun et estimat tilsvarende normative verdier.

Det fremgår av både figur 6.5 og 6.6 at det temperaturavhengige varmebehovet er lavere i trinn 1 modellene. Årsaken til dette er sammensatt. Det kan delvis forklares av at antagelsen om intermittert oppvarming med 21 °C i driftstid og 19 °C utenom driftstid avviker fra de faktiske forhold i byggene. Haakonsvern drifter med et temperatursettpunkt på 22,5 °C. Malmskriverveien drifter i følge Ørnes [58] på 22 °C. At det i de faktiske byggene settes høyere inne-temperaturer enn i energiberegningene er likt som i [5, 7, 9]. I følge driftsansvarlig på Haakonsvern fører 21 gra-

der som temperatursettpunkt til klager blant brukere i bygget [48]. Mange mener at dette er for kaldt.

Videre er det nærliggende at underestimering av varmebehov også kan forklares av at de roterende varmegjenvinnerne ikke har en årsvirkningsgrad på 85 % som forutsatt. Det fremgår av figur 6.5 og 6.6 at de kalibrerte modellene viser nokså godt samsvar med målinger for energibehov til romvarme og ventilasjonsvarme. Spesielt den kalibrerte IDA ICE modellen av Haakonvern. Dette er når virkningsgraden er satt til 75 % og ikke 85 % som var forutsatt i trinn 1. Dette indikerer at virkningsgraden til varmegjenvinneren er lavere enn 85 %. Dette er i samsvar med tidligere forskning. Grini et al. [21] indikerte at virkningsgraden i varmegjenvinnere i kontorbygg er lavere enn det som ofte forutsettes. Peng Liu [59] viste at den roterende varmegjenvinneren i Powerhouse bygningen «Kjørbo» har problemer med å oppnå den høye temperaturvirkningsgraden på 85 % på grunn av virkningen av langsgående varmekonduksjon som er fremtredende ved lave luftmengder. Dette kan også være tilfelle i Haakonvern da luftmengdene i bygget er lave.

Tabell 6.4 viser at trinn 1 modellene for Haakonvern overestimerer behov til ventilasjonsvarme. Dette kan forklares av at forutsatte luftmengder er større enn reelle luftmengder. Det er målt et gjennomsnitt på $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ i driftstid samtidig som ventilasjonsanlegget skrus av om natten. I beregningene er det forutsatt $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ i driftstid og $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ utenfor driftstid. Malm-skriverveien har derimot betydelig større luftmengder i virkeligheten enn det som er forutsatt ved energiberegning [58]. Dette er nok også en av hovedårsakene til det store avviket mellom energibehov beregnet i trinn 1 og målt. De høye luftmengdene kan i følge Ørnes [58] forklares av lite effektiv VAV-regulering der pådragsorganet ligger på 65 til 70 % av nominelle luftmengder mesteparten av tiden. Dette er i samsvar med [21] som pekte på at dårlig behovsstyring og store luftmengder ofte er årsak til større energibruk enn beregnet. At VAV-reguleringen ikke fungerer som den skal fører også til at energibehov til vifter er større enn predikert.

Tabell 6.4 viser at målt energibruk til vifter i Haakonvern er vesentlig lavere enn det som er predikert. I trinn 2 modellen ble gjennomsnittlig SFP satt til $0,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{h})$ i stedet for $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{h})$ som var forutsatt. Dette viser godt samsvar. Det lave energibehovet til vifter kan delvis forklares av at i Haakonvern brukes spjeloptimalisert regulering med bruk av aktive til-luftsventiler. En annen faktor som spiller inn er at viftene i IDA ICE er modellert med konstant

trykkøkning. Dette medfører at IDA ICE opererer med en konstant SFP. Antagelsen vil kunne gi store avvik knyttet til viftedrift siden SFP i virkeligheten varierer med varierende luftmengder. I de fleste tilfeller vil beregnet energibruk til viftedrift da bli høyere enn målte verdier. I virkeligheten gir reduserte luftmengder redusert trykktap som gir redusert SFP.

Alle modellene for trinn 1 underestimerer behov til romkjøling da det i begge energirapportene fremgår at det er forutsatt at all kjøling foregår ved ventilasjonskjøling. Det fremgår av samtale med driftsansvarlig på Haakonssvern [48] at det i Haakonssvern et to serverrom og et klasserom som har behov for romkjøling med fancoils. I modellene brukt til å predikere energibehov er det ikke tatt hensyn til den varmelasten serverrommene representerer. Dette er forsøkt i de kalibrerte modellene og det fremgår av figur 6.5 at dette gir bedre samsvar med målt månedelig romkjølebehov.

Målt elektrisitetsforbruk til utstyr ligger langt over predikert for Malmskriverveien. Det er i samsvar med tidligere forskning. I Grini et al. [21] ble det indikert at norske kontorbygg gjennomgående ligger bruker mer energi til utstyr i forhold til estimert. I trinn 1 modellen er forutsetningen av elektrisitetsbehov til utstyr lik den normative verdien som er angitt i NS 3701. Dette ser ut til å ha vært en optimistisk forutsetning. Verdien for energibehov til utstyr i Malmskriverveien ligger imidlertid ganske nøyaktig på den normative verdien som er angitt i NS 3031.

Utsyrsposten for Haakonssvern er interessant da den går i mot det som indikeres i Grini et al. [21]. Denne posten har et meget godt samsvar mellom målt og predikert verdi, der det totale normaliserte avviket er på kun 0,8 kWh/m². Dette er selv med optimistiske forutsetninger om energibehov til utstyr. Haakonssvern er et ZEB-O-EQ bygg med meget høye energiambisjoner. God energioppfølging og god styring samt bevisste brukere kan være medvirkende årsaker til det lave elektrisitetsbehovet til utstyr.

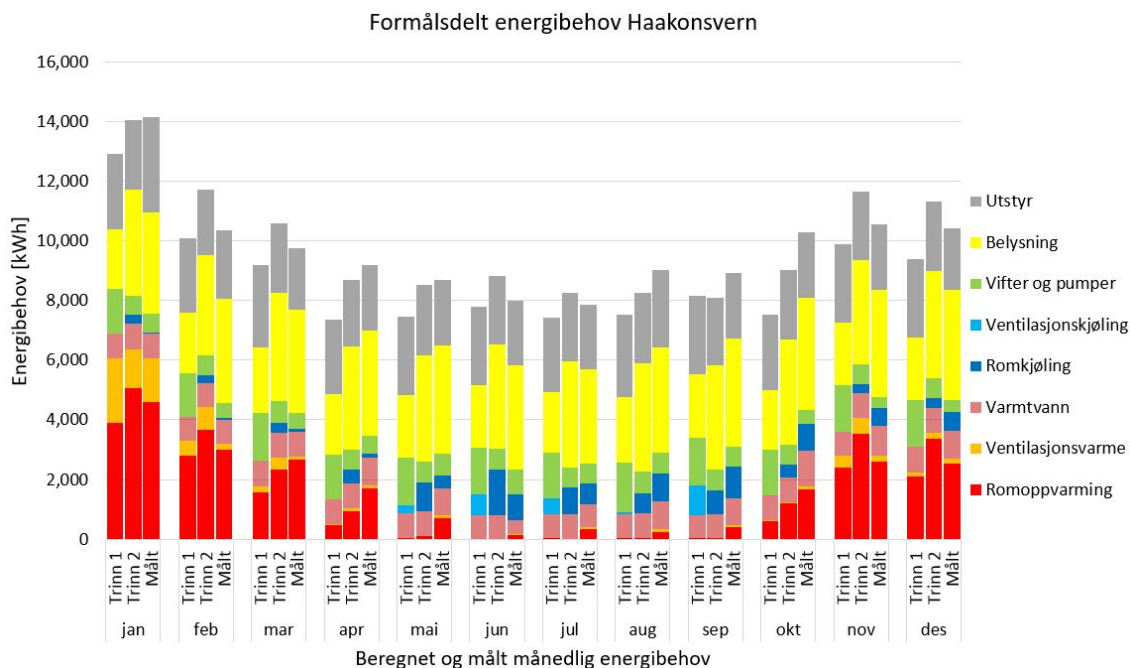
For Haakonssvern er imidlertid energibehov til belysning betydelig overskredet i forhold til predikert verdi. Målingene viser at så mye som 50 % av belysningen som brukes på dagen står på om natten. Driftsansvarlig på Haakonssvern mener avviket kommer av feil innjustering av lysstyrke og tekniske feil i lysanlegget [48].

Tabell 6.4: Beregnet og målt energi for Haakonsvern, året 2016

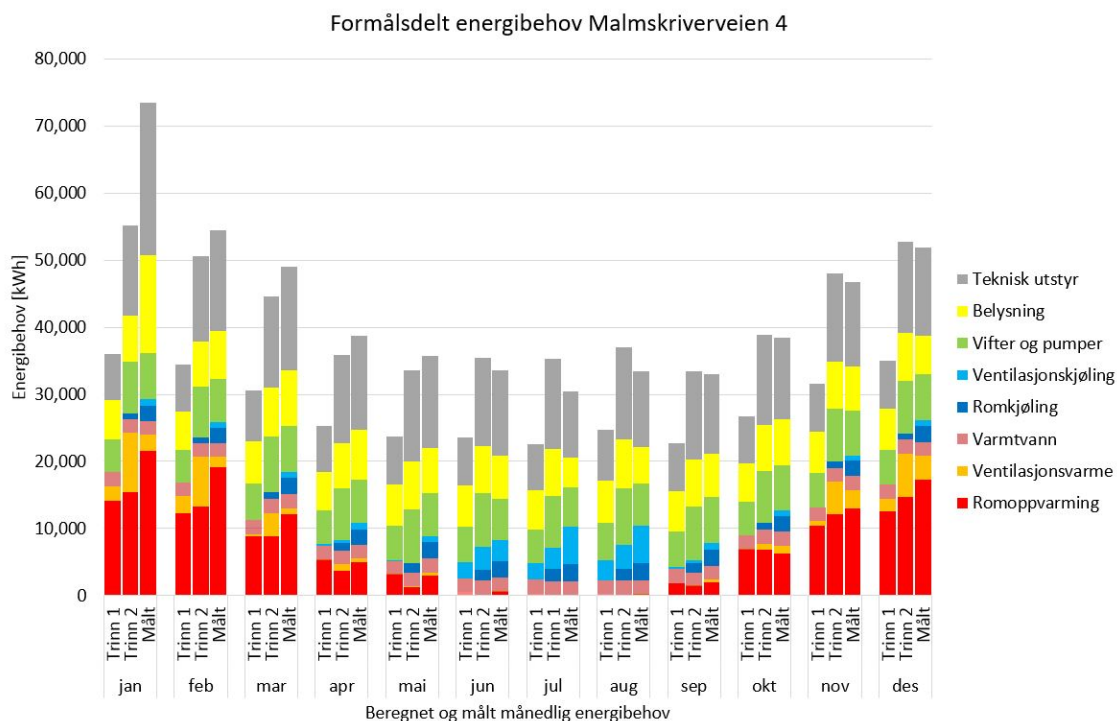
	Haakonsvern 2016				Målinger kWh/m ²
	IDA ICE, trinn 1	IDA ICE, trinn 2	SIMIEN, trinn 1	SIMIEN, trinn 2	
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	
Romoppvarming	6,9	10,2	4,8	11,0	10,3
Ventilasjonsvarme	1,7	1,7	2,3	0,6	1,3
Varmtvann	5,0	5,0	5,0	5,0	5,3
Romkjøling	0,0	3,6	0	5,1	3,2
Ventilasjonskjøling	1,3	0,0	1,9	0,0	0,1
Vifter	9,3	4,1	6,8	2,0	3,6
Pumper	0,0	0,0	0,8	0,3	0,4
Belysning	12,5	21,2	12,5	21,2	21,2
Utstyr	15,7	13,8	15,7	13,8	13,8
Totalt netto energibruk	52,5	59,7	49,7	58,6	59,2

Tabell 6.5: Beregnet og målt energibehov for Malmskriverveien, året 2015

	Malmskriverveien 2015				Målinger kWh/m ²
	IDA ICE, trinn 1	IDA ICE, trinn 2	SIMIEN, trinn 1	SIMIEN, trinn 2	
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	
Romoppvarming	10,2	24,5	15,6	27,8	21,3
Ventilasjonsvarme	1,7	4,8	1,1	3,1	2,9
Varmtvann	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Romkjøling	0,0	3,6	0,0	2,4	6,1
Ventilasjonskjøling	1,9	2,4	2,1	3,0	4,8
Vifter og pumper	13,7	20,1	12,2	20,1	17,0
Belysning	15,7	18,3	15,7	18,3	18,3
Utstyr	18,8	35,1	18,8	35,1	35,1
Totalt netto energibruk	75,0	115,0	70,4	114,7	110,5



Figur 6.5: Beregnet og målt månedlig energibehov for Haakonsvern



Figur 6.6: Beregnet og målt månedlig energibehov for Malmskriveveien

6.2.2 Effekt

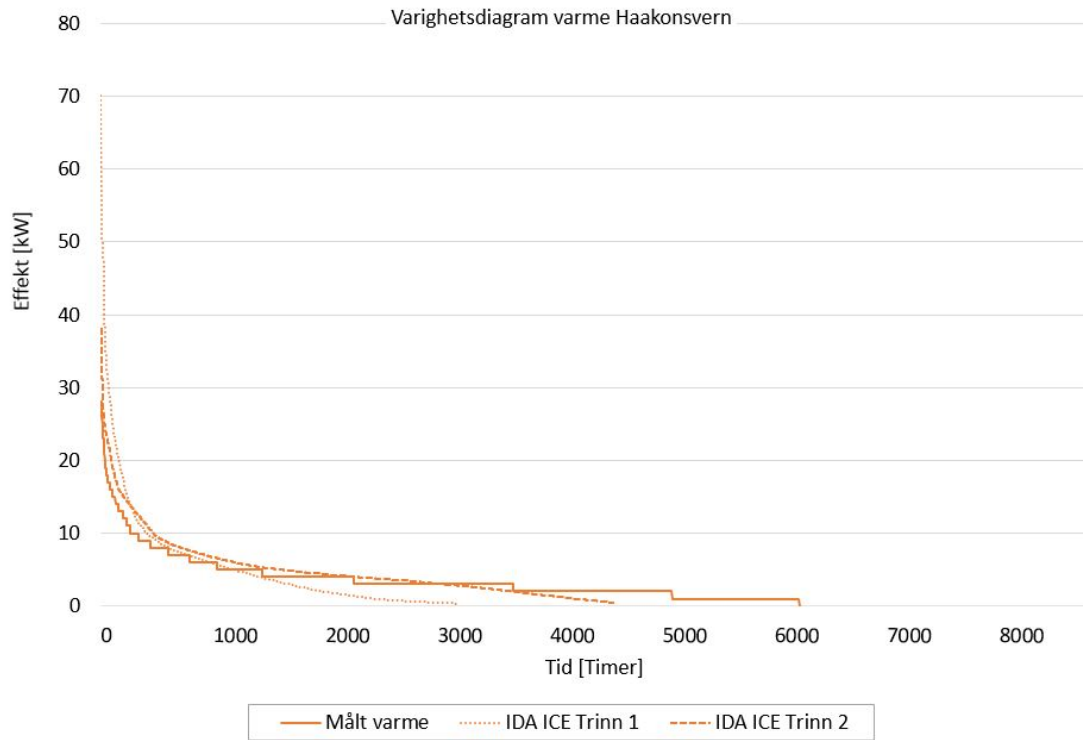
Figur 6.7 og 6.8 viser sortert effektvarighet over året for henholdsvis oppvarming og kjøling for Haakonssvern. Det fremgår av figurene at Trinn 1 modellene betydelig overestimerer effektbehov ved topplast. Den høye topplasten i effektbehov til oppvarming kommer av forutsetningen om bruk av nattesenking av temperatursettpunkt for oppvarming. Mer spesifikt kommer den simulerte topplasten av spranget i avvik inn på regulatoren til den ideelle romenheten. En vurdering av dette spranget er gjengitt i vedlegg A. Vurderingen viser at modellenes ideelle romenhetener gir meget høy respons ved sprang i avvik inn på regulator med mindre det settes restriksjoner på effektuttak.

For kjølebehovet i figur 6.8 fremgår det at resultatet av trinn 1 modellen har liten varighet og høy topplast. I trinn 2 modellen av Haakonssvern er de ideelle romenhetene modellert med restriksjoner på effektuttak tilsvarende reell installert effekt. For trinn 2 modellen observeres en kontinuerlig varighet gjennom året. Målingene viser derimot ikke et kontinuerlig behov gjennom året. I figur 6.10 observeres det samme. For å vurdere representativiteten til modellene av kjøling i serverrom er en sammenligning av beregnet og målt effektbehov til romkjøling gjengitt i B. Det viser seg at målingene viser et fluktuerende av/på behov, mens det i modellen er et kontinuerlig pådrag fra de ideelle enhetene. Vurderingen viser at modellene av serverrommene er en meget grove representasjoner av virkeligheten. Likevel gir de et kontinuerlig lavt kjølebehov over året som samsvarer med målinger i de virkelige byggene som observert i figur 6.5 og 6.6.

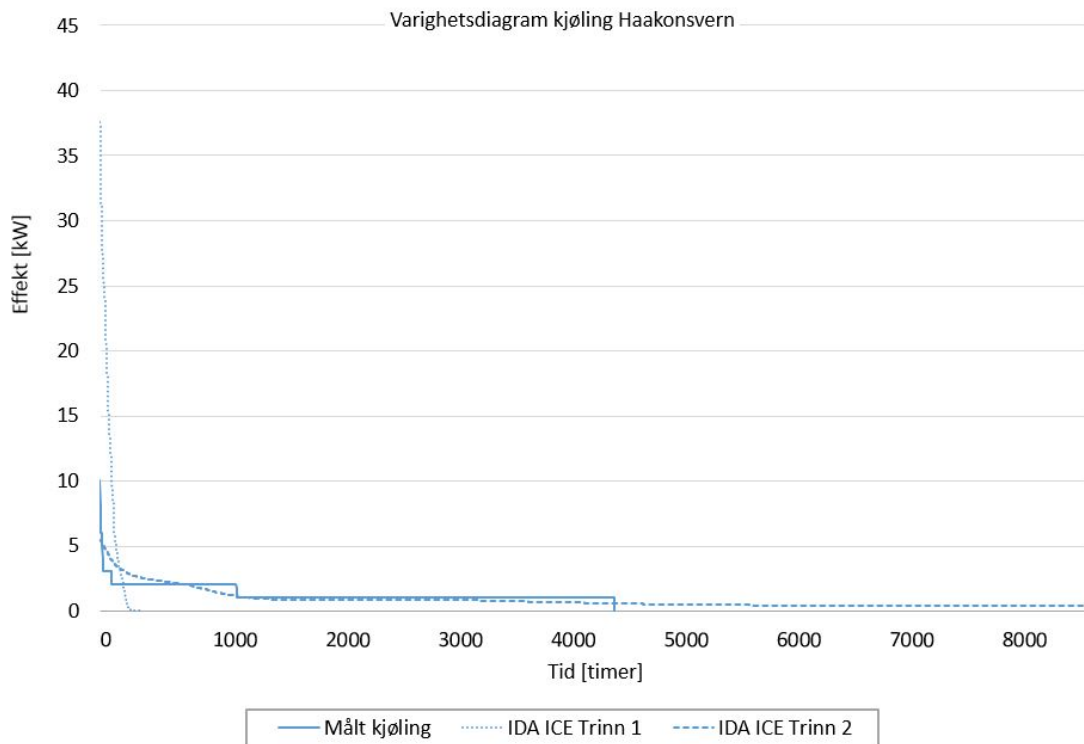
Figur 6.9 og 6.10 viser sortert effektvarighet over året for henholdsvis oppvarming og kjøling for Malmskriverveien. Det fremgår av figurene at trinn 1 modellene samsvarer bedre med topplast når det gjelder størrelsesorden på topplast enn for Haakonssvern. Topplasten i oppvarming i målinger og i trinn 2 modellen kommer i stor grad av de relativt store ventilasjonsluftmengdene i bygget i forhold til forutsatt mens det i trinn 1 modellen kommer av forutsetningen om nattesenking av temperatursettpunkt for oppvarming. Det fremgår av figur 6.9 at varigheten for kalibrert modell ikke har like godt samsvar med målinger som for Haakonssvern. Modellen av Malmskriverveien er beheftet med større usikkerheter da det ikke har vært oppdrevet målinger av temperaturer og luftmengder slik som for Haakonssvern. En mulig forklaring av knekken i varmebehov er at de ideelle varmeenhetene ved store luftmengder gir raskere og større respons

enn de faktiske varmeeenhetene i bygget.

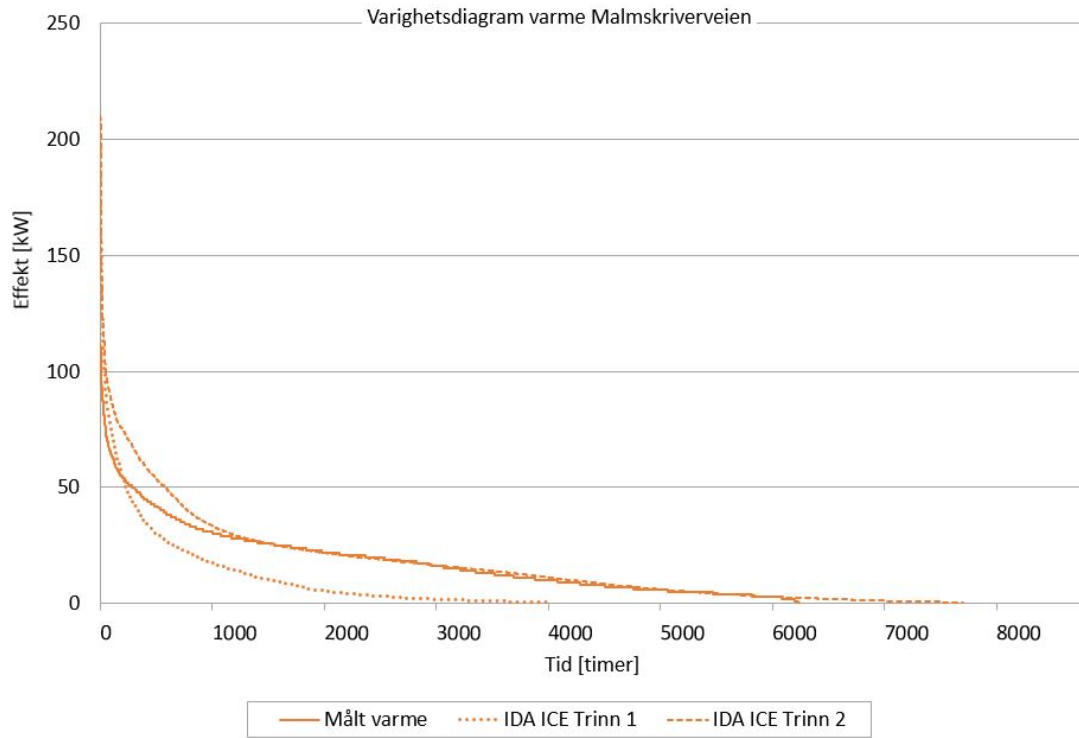
Figur 6.10 viser at det generelt er dårlig samsvar både mellom resultat av trinn 1, trinn 2 og målt kjølebehov. Det fremgår at målt behov til romkjøling er tidvis ganske stort. Figur 6.6 viser at en vesentlig del av dette er på sommeren. Det store behovet trenger dermed ikke være utelukkende på grunn av et stort varmetilskudd fra et serverrom, men snarere på grunn av stort soltilskudd og dårlig regulering av solskjerming. Samtidig er det generelle temperaturnivået høyere på sommeren og serverrom som har stort internt varmetilskudd vil få ytterligere kjølebehov på grunn av de økte temperaturene.



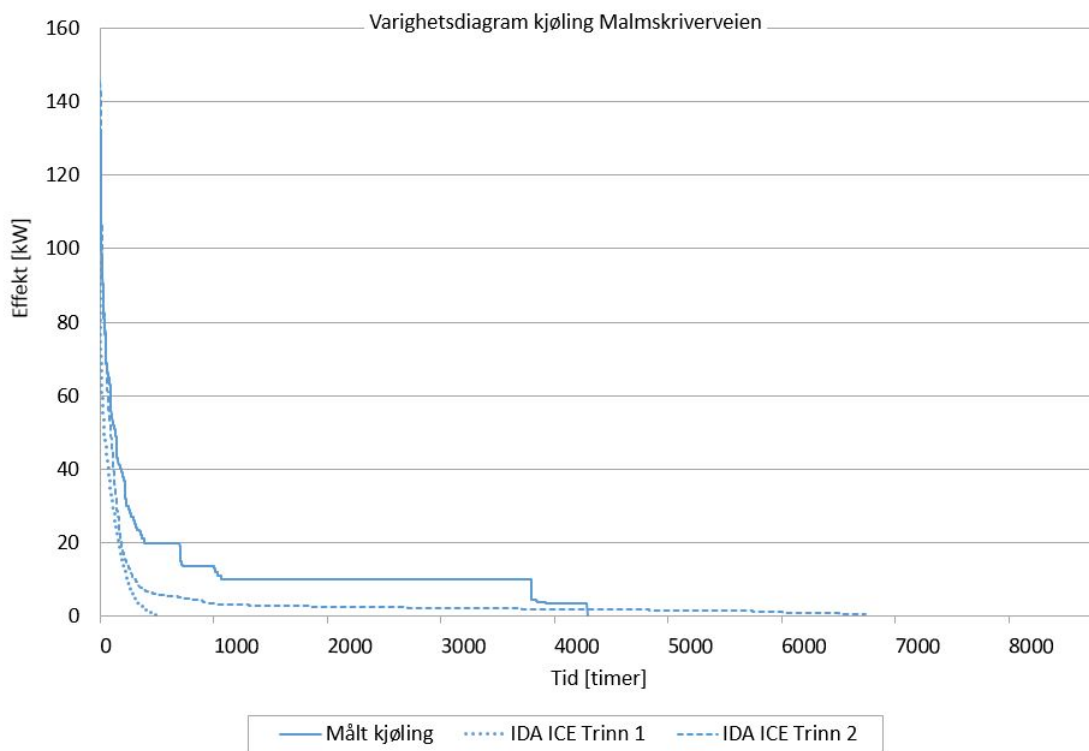
Figur 6.7: Varighetsdiagrammer varmebehov Haakonsværn 2016



Figur 6.8: Varighetsdiagrammer kjølebehov Haakonsværn 2016



Figur 6.9: Varighetsdiagrammer varmebehov Malmstriverveien 2015



Figur 6.10: Varighetsdiagrammer kjølebehov Malmstriverveien 2015

6.3 Sensitivitetsanalyse

Hensikten med dette underkapittelet er å vurdere hvordan bruk og drift av et passivhus kontorbygg har innvirkning på energi- og effektbehov. Dette er gjort ved å vurdere innvirkning av avvik fra reelle parameterverdier i modellen av Haakonsvern på beregnet energi- og effektbehov. For å vurdere dette er det gjennomført sensitivitetsanalyse.

Sensitivitetsanalysen er gjennomført ved at parameterverdier er blitt endret bort fra de reelle parameterverdiene til verdier som ble forutsatt i trinn 1, eller normative verdier. For hver endring er det blitt laget en modell som er simulert over et år. Ved bruk av lokal sensitivitetsanalyse er valg av referansemodell svært viktig. Referansemodellen i dette tilfellet er den kalibrerte IDA ICE modellen for Haakonsvern. Den er imidlertid blitt endret ved at effektbegrensningen er blitt fjernet. Dette er for å vurdere parameterverdiens innvirkning på beregnet effektbehov. Alle modellene er simulert med normalklima og uten effektbegrensninger. I tillegg er den interne lasten i serverrommet fjernet og et gjennomsnittlig varmetilskudd benyttes for hele bygget i stedet. Parametre som er inkludert i sensitivitetsanalysen er parametre som har blitt brukt til å kalibrere modellene og som er forbundet med bruk og drift av bygget. Endringene som er blitt gjort presentert i tabell 6.6. Parameterverdiene blir endret fra kalibrert verdi til verdier som ble brukt i prosjektering samt verdier som er angitt i NS 3031. Dette både fordi det ble avdekket at normative verdier ble benyttet ved prediksjon i tillegg til at normative verdier kan være representative for reelle parameterverdier. Det skal sies at det ikke vil være hensiktsmessig å sammenligne sensitiviteter mellom ulike parametre i figurene da referansetallet er ulikt og grad av endring er ulik.

Tabell 6.6: Parameterverdier sensitivitetsanalyse

Parameter	Kalibrert modell	Ny verdi	Grad av endring
1 Temperatursettpunkt varme	22 °C	21 °C om dagen 19 °C om natten	Verdier som forutsatt/prosjektert i stedet for målt og modellert
2 Temperatursettpunkt kjøling	26 °C	24 °C	Verdier som i NS 3031 i stedet for målt og modellert
3 Ventilasjon	5 m ³ /(h·m ²) i driftsid 0 m ³ /(h·m ²) utenom driftstid 11 timer	6 m ³ /(h·m ²) i driftsid 1 m ³ /(h·m ²) ellers 12 timer	Verdier som forutsatt/prosjektert i stedet for målt og modellert
4 Belysning	21,2 kWh/(m ² ·år), 3,7 W/m ² i driftstid (7:00-17:00), 1,9 W/m ² ellers	25,0 kWh/(m ² ·år), profil som i NS 3031:2016	Verdier som i NS 3031 i stedet for målt og modellert
5 Utstyr	13,8 kWh/(m ² ·år), 2,7 W/m ² i driftstid (7:00 - 17:00) 1,2 W/m ² ellers	34,0 kWh/(m ² ·år), profil som NS 3031:2016	Verdier som i NS 3031 i stedet for målt og modellert
6 Personer	2 W/m ² i driftstid	13,0 kWh/(m ² ·år), profil som i NS 3031:2016	Verdier som i NS 3031 i stedet for estimert og modellert
7 Belysning, utstyr og personer	Energitetthet og profiler som målt	Energitetthet og profiler som i NS 3031	Verdier som i NS 3031 i stedet for målt og modellert

Figur 6.11 viser innvirkning av hver parameterendring på årlig normalisert varme- og kjølebehov. Figur 6.12 viser innvirkning av hver parameterendring på årlig totalt behov til varme- og kjøleeffekt.

Det fremgår av figur 6.11 at hvordan bygget brukes og driftes har signifikant innflytelse på energibehov. Figur 6.11 indikerer at avvik mellom forutsatte og reelle parameterverdier forbundet med bruk og drift vil kunne være en signifikant årsak til avvik mellom predikert og målt energibehov.

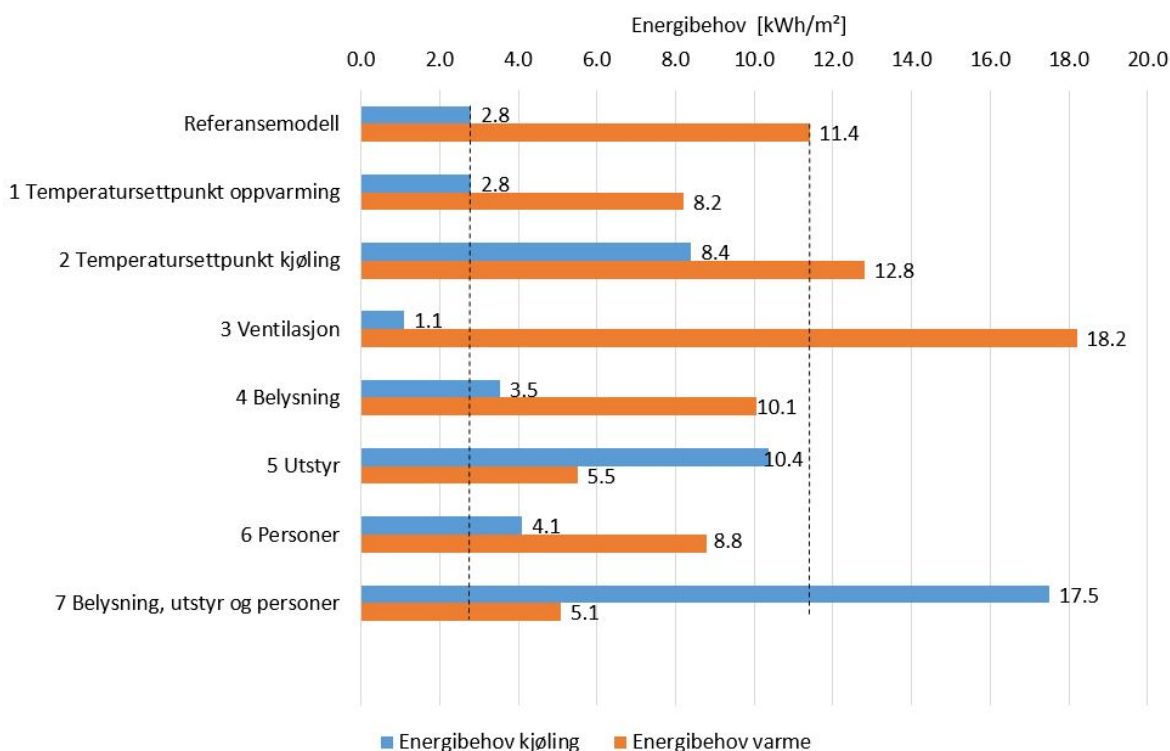
Figur 6.11 viser at feil antagelser for bruk av utstyr og belysning ikke bare gir avvik på elektrisetsbehov til utstyr og belysning, men også varme- og kjølebehov. Dette er på grunn av det interne varmetilskuddet som lastene innebærer. Motsatt gir realistiske inputverdier for belysning og utstyr bedre estimert varmetilskudd og dermed bedre prediksjoner for varme- og kjølebehov. Videre fremgår det av figuren at feil forutsetning om temperatursettpunkter og luftmengder kan føre til signifikante avvik.

Dette er i samsvar med forskning. Menezes et al. [5] indikerte at bruk av bygget er faktoren som har størst innflytelse på energibruken. Demanuele et al. [25] viste at drift og bruk i skoler hadde signifikant innvirkning på energibehov og dermed også er en viktig årsak til avviket mellom predikert og målt energibehov. Lam et al. [37] pekte på betydningen av interne laster og temperatursettpunkt for bygningers varme- og kjølebehov. Rasouli et al. [41] indikerte at luftmengdene og temperatursettpunkt er de parameterene som har størst innvirkning på energibehov.

Figur 6.12 viser at usikkerheter forbundet med bruk og drift også innebærer store usikkerheter på effektbehov i bygget. Effektbehovene er maksimalt effektbehov beregnet i et normalår. Det bør nevnes at metoder som brukes til dimensjonering fraviker fra denne fremgangsmåten.

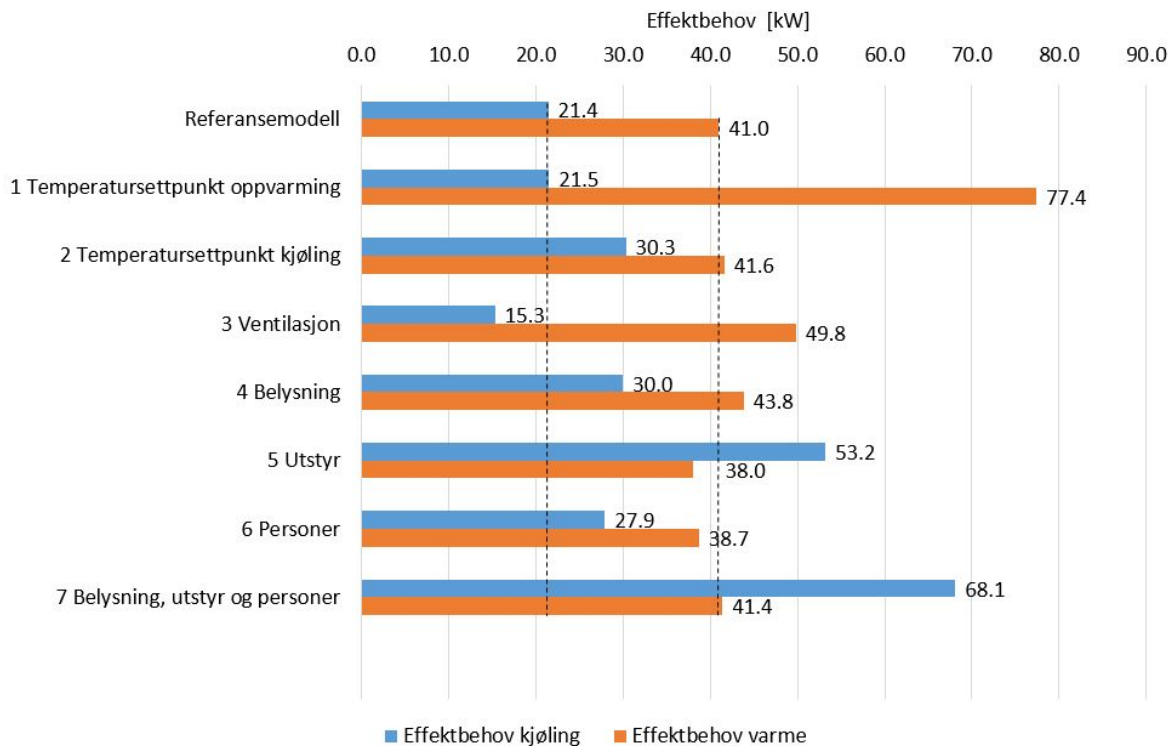
Figur 6.12 viser som forventet at bruk av nattesenking medfører vesentlig økning i effektbehov. Videre fremgår det som forventet at bruk av interne varmetilskudd med profiler i henhold til NS 3031:2016 med økning i maksimalt varmetilskudd gir økning i beregnet effektbehov til kjøling.

Det skal nevnes at resultatet av beregninger uten effektbegrensninger kan gi urimelige resultater. Videre bør det nevnes at normative verdier i NS 3031:2016 for interne laster ikke nødvendigvis representerer et realistisk bilde på det reelle behovet til interne laster som man forventer i et passivhus kontorbygg.



Figur 6.11: Sensitivitetet energibehov til varme og kjøling

Demanuele et al. [25] vurderte usikkerhetene forbundet med drift og bruk som så store at det ikke er hensiktsmessig å forsøke å lage presise estimater av energibehov, men at man heller bør beregne et utfallsrom hvor det er sannsynlig at energibehovet faller innenfor. Usikkerheter vil alltid være tilstede ved prediksjon og som det fremgår av figur 6.11 innebærer usikkerheter for



Figur 6.12: Sensitiviter effektbehov til varme og kjøling

parameterverdier vesentlige usikkerheter for resultatet. Det vil dermed fornuftig å ta høyde for usikkerheter ved prediksjon av energibehov. Et spørsmål blir hvordan dette kan gjøres på en hensiktsmessig måte.

Det ble avdekket i energirapportene innhentet fra Enova at selv om hensikten er å beregne forventet energibehov med «reelle verdier» blir normative parameterverdier benyttet. Dette er sannsynligvis på grunn av generell tilgjengelighet og usikkerheter forbundet med nettopp disse parametrene. Med tilgjengelighet menes det her at det er mye lettere å bruke verdiene som er angitt i standarden enn å bruke energi og tid på å lete etter informasjon. Usikkerhetene forbundet med fremtidig bruk kan gjøre det umulig å gjøre presise estimater og dermed har det lite å si om man bruker normative verdier. For eksempel vil det være meget vanskelig å forutsi fremtidig energibehov til utstyr i et kontorbygg som er prosjektert for fleksibilitet.

Likevel er det noen fremgangsmåter som vil kunne redusere avvik mellom prediksjoner og målinger. Et aspekt er at det er mulig å lage mer presise estimater av adferd på bakgrunn av tidligere adferd. For eksempel er det nærliggende å forutsette høyere temperatursettpunkt og droppe an-

tagelse om nattesenkning dersom et gjennomsnittlig lavenergi- eller passivhus kontorbygg har et høyere gjennomsnittlig temperatursettpunkt enn verdien i NS 3031. Et problem er imidlertid at det er vanskelig å få tak i slik statistikk.

En annen faktor som bidrar til mer presise estimater er dialog med involverte aktører. For eksempel vil dialog med prosjekterende av installert effekt til belysning, driftsansvarlig og prosjekterende av ventilasjonsanlegg kunne sikre mer presise forutsetninger om parametre som installert effekt til belysning, valg av temperatursettpunkter og ventilasjonsluftmengder som igjen gir mer presise prediksjoner.

Det skal nevnes at det ikke trenger å være forutsetningene som er feil, men at det heller er bygget som driftes feil. Et tredje aspekt som vil kunne redusere avvik er derfor oppfølging av drift etter at bygget er satt i bruk. Det vil være hensiktsmessig å måle energibruk og luftmengder for å kunne avdekke eventuelle feil i drift. Men dersom energibehov måles for så å sammenlignes med predikert energibehov, er det fordelaktig at den modellen som ligger til grunn for predikert energibehov har presise forutsetninger.

Implikasjoner

Resultatene indikerer at en viktig årsak til avviket mellom predikert og målt energibehov er avvik mellom forutsetninger og faktiske forhold i byggene. Ved bruk av reelle inputverdier ga modellene godt samsvar med målinger. Videre indikerte sensitivitetsanalysen at det er viktig med presise anslag av parametre som har med bruk og drift å gjøre for å presist predikere energibehov.

For ingeniører eller andre som har til hensikt å presist estimere energibehov impliserer resultatene at det bør avklares hvordan bygget skal driftes og brukes for å redusere avvik mellom predikert og faktisk energibehov. I tillegg er det hensiktsmessig med god oppfølging av drift og kommunikasjon med driftsansvarlig. Mer spesifikt bør reelle verdier for temperatursettpunkt, luftmengder samt grad av interne laster bli forsøkt definert. For ingeniører som bruker dynamiske simuleringer i IDA ICE og SIMIEN til dimensjonering av varme- og kjøleanlegg impliserer resultatene at det bør legges inn restriksjoner på effektuttak i simuleringsprogrammet.

Kapittel 7

Konklusjon

Denne oppgaven har undersøkt årsaker til avvik mellom simulert og målt energi- og effektbehov i kontorbygg. Hovedfokuset har vært på energibehov.

Mer spesifikt ble energi- og effektbehov i et passivhus og et lavenergi kontorbygg undersøkt ved at modeller ble kalibrert og sammenlignet med målinger og avvik mellom predikert og målt energi- og effektbehov ble diskutert.

Forskningsspørsmålene som ble stilt som skulle besvares var:

- Er det et avvik mellom predikert og målt energibehov for casebygningene og hva er eventuelt årsak til disse avvikene?
- Hvordan har bruk og drift av et passivhus kontorbygg innvirkning på energi- og effektbehov i bygget?

Det er avdekket et avvik mellom predikert og målt energibehov i begge byggene der predikeringene underestimerer i forhold til faktisk energibehov. Kalibrerte modeller viste godt samsvar med målinger. Resultatene viser at avvik mellom predikert og målt energibehov kan enkelt kan forklares av avvik mellom forutsetninger og faktiske forhold i byggene. Mer spesifikt indikerte resultatene at det er avvik mellom forutsatte og reelle parameterverdier forbundet med bruk og drift som er hovedårsaken til avviket.

Sensitivitetsanalysen viste at hvordan et passivhus kontorbygg brukes og driftes har signifikant innvirkning på energi- og effektbehov i bygget. Analysen viste at ved å bruke realistiske inputverdier for belysning og utstyr vil man igjen kunne få bedre estimert varmetilskudd og dermed bedre prediksjoner for varme- og kjølebehov.

Implikasjonen av resultatene er at for å redusere avviket mellom predikert og målt energibehov i bygg er det bør det innhentes informasjon om bruk og drift av bygget. Mer spesifikt bør det benyttes reelle parameterverdier for temperatursettpunkt, luftmengder i ventilasjonsanlegg samt grad av interne laster.

Begrensninger

Det er viktig å realisere at hver individuell bygning vil ha et spesifikt individuelt avvik til predikert energi- og effektbehov. En generell kvantifisering bør derfor ta hensyn til en større mengde bygg og deres tilhørende prediksjoner og målinger av energi- og effektbehov.

Kapittel 8

Videre arbeid

Videre arbeid på avvik mellom predikert og målt energi- og effektbehov kan ta følgende former;

- Gjennomføre flere casestudier med 1:1 tilnærming der modell kalibreres og avvik mellom modell brukt til prediksjon og faktiske forhold avdekkes. Ved en slik tilnærming er det viktig å skille mellom modell brukt til å predikere energibehov og kalibrert modell.
- Vurdere hvordan det kan tas høyde for usikkerheter forbundet med bruk og drift i energiberegninger. For eksempel lage et hensiktsmessig utfallsrom for sannsynlig brukeradferd.
- En tredje tilnærming kan være å gjennomføre en grundig vurdering av representativiteten til dynamiske effektberegninger i relevante simuleringsprogram. Dette kan ta form som en gjennomføring og måling av sprangrespons i et reelt bygg og sammenligne med simuleringer av samme scenario.

Bibliografi

- [1] IPCC 2014b. Climate change 2014: Synthesis report. contribution of working groups i, ii and iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change in: Team, t. c. w., pachauri, r. k., meyer, l. (eds.). *IPCC, Geneva, Switzerland*.
- [2] IPCC 2014a. Climate change 2014: Mitigation of climate change. contribution of working group iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 2014.
- [3] EU. Directive 2010/31/eu of the european parliament and of the council. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/;ELX_SESSIONID=FZMjThLLzfxmmMCQGp2Y1s2d3Tjwtd8QS3pqdkhXZbwqGwlgY9KN!2064651424?uri=CELEX:32010L0031, 2010. [Hentet; 10 januar 2017].
- [4] Pieter de Wilde. The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction*, 41:40–49, 2014.
- [5] Anna Carolina Menezes, Andrew Cripps, Dino Bouchlaghem, and Richard Buswell. Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap. *Applied Energy*, 97:355–364, 2012.
- [6] Laura E. Fedoruk, Raymond J. Cole, John B. Robinson, and Alberto Cayuela. Learning from failure: understanding the anticipated–achieved building energy performance gap. *Building Research Information*, 43(6):750–763, 2015.
- [7] Cathy Turner and Mark Frankel. Energy performance of leed for new construction buildings. *New Buildings Institute*, 4:1–42, 2008.

- [8] P de Wilde and Alba Fuertes. The gap between simulated and measured energy performance: A case study across six identical new-build flats in the uk. 2015.
- [9] Morant. The performance gap—non domestic buildings (report cew1005),. *AECOM/ Constructing Excellence Wales, Cardiff*, 2012.
- [10] Chris van Dronkelaar, Mark Dowson, Catalina Spataru, and Dejan Mumovic. A review of the regulatory energy performance gap and its underlying causes in non-domestic buildings. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 1:17, 2016.
- [11] Mathias S. Lillevold. Sammenligning av beregnet og målt energibruk i kontorbygg. 2017.
- [12] Hanssen S.O. Thue J.V. Skarstein Ø. Gjerstad F.O Novakovic et. al, V. *Enøk i bygninger, Effektiv energibruk*. Gyldendal Undervisning.
- [13] Jan LM Hensen and Roberto Lamberts. *Building performance simulation for design and operation*. Routledge, 2012.
- [14] M. Fenn, J. og Raskino. Mastering the hype cycle: How to choose the right innovation at the right time. *Harvard Business Press*, 2008.
- [15] Attia S. State of the art of existing early design simulation tools for net zero energy buildings: A comparison of ten tools. *Université catholique de Louvain*,, 2011.
- [16] Joe A Clarke. *Energy simulation in building design*. Routledge, 2001.
- [17] Guy R Newsham, Sandra Mancini, and Benjamin J Birt. Do leed-certified buildings save energy? yes, but. . . . *Energy and Buildings*, 41(8):897–905, 2009.
- [18] Carbon Trust. Closing the gap: Lessons learned on realising the potential of low carbon building design. 2011.
- [19] C. Arsenault L. Thompson J. Veitch S. Mancini A. Galasiu I. Macdonald G. Burns G. Newsham, B. Birt. Do green buildings outperform conventional buildings? indoor environment and energy performance in north american offices (report rr-329). *Natural Research Council Canada*, 2012.

- [20] Johan Halvarsson. Occupancy pattern in office buildings: Consequences for hvac system design and operation. 2012.
- [21] CATHERINE GRINI, HANS-MARTIN MATHISEN, IGOR SARTORI, MATTHIAS HAASE, HELLE WØHLK JÆGER SØRENSEN, ARNKELL PETERSEN, IDA BRYN, and TORE WIGENSTAD. Leco – energibruk i fem kontorbygg i norge - befaring og rapportering. sintef byggforsk 2009. 2009.
- [22] Zero Carbon Hub. A review of the modelling tools and assumptions: Topic 4, closing the gap between designed and built performance. zero carbon hub. london. 2010.
- [23] Erichsen og Horgen v/Ivar Rognhaug Ørnes. Kjølebehov, energi, målinger, beregninger. 2013.
- [24] Mark Way and Bill Bordass. Making feedback and post-occupancy evaluation routine 2: Soft landings–involving design and building teams in improving performance. *Building Research Information*, 33(4):353–360, 2005.
- [25] Christine Demanuele, Tamsin Tweddell, and Michael Davies. Bridging the gap between predicted and actual energy performance in schools. In *World renewable energy congress XI*, pages 25–30. UAE Abu Dhabi, 2010.
- [26] Michael Klinski, Judith Thomsen, Åshild Lappégard Hauge, and SIDSEL JERKØ OG TOR HELGE DOKKA. Systematisering av erfaringer med passivhus. *SINTEF Byggforsk og Husbanken Prosjektrapport*, 90, 2012.
- [27] Isaac A Meir, Yaakov Garb, Dixin Jiao, and Alex Cicelsky. Post-occupancy evaluation: an inevitable step toward sustainability. *Advances in building energy research*, 3(1):189–219, 2009.
- [28] TH. og Grini C. Dokka. Etterprøving av bygningers energibruk. *SINTEF Akademisk forlag*, 2013.
- [29] Jörgen Eriksson. Senior Consultant Equa Solutions. 2016.

- [30] T Agami Reddy. Literature review on calibration of building energy simulation programs: Uses, problems, procedures, uncertainty, and tools. *ASHRAE transactions*, 112(1), 2006.
- [31] ASHRAE. Ashrae guideline 14, measurement of energy and demand savings. 2002.
- [32] Wei Tian. A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20:411–419, 2013.
- [33] Janelle S Hygh, Joseph F DeCarolis, David B Hill, and S Ranji Ranjithan. Multivariate regression as an energy assessment tool in early building design. *Building and environment*, 57:165–175, 2012.
- [34] Christina J Hopfe and Jan LM Hensen. Uncertainty analysis in building performance simulation for design support. *Energy and Buildings*, 43(10):2798–2805, 2011.
- [35] Fernando Simon Westphal and Roberto Lamberts. Building simulation calibration using sensitivity analysis. In *Ninth International IBPSA Conference*, pages 1331–1338. Citeseer, 2005.
- [36] T Agami Reddy, Itzhak Maor, and Chanin Panjapornpon. Calibrating detailed building energy simulation programs with measured data—part i: General methodology (rp-1051). *HvacR Research*, 13(2):221–241, 2007.
- [37] Joseph C Lam, Kevin KW Wan, and Liu Yang. Sensitivity analysis and energy conservation measures implications. *Energy Conversion and Management*, 49(11):3170–3177, 2008.
- [38] Stig-Inge Gustafsson. Sensitivity analysis of building energy retrofits. *Applied Energy*, 61(1):13–23, 1998.
- [39] Wei Tian and Pieter De Wilde. Uncertainty and sensitivity analysis of building performance using probabilistic climate projections: A uk case study. *Automation in construction*, 20(8):1096–1109, 2011.
- [40] P De Wilde and W Tian. Preliminary application of a methodology for risk assessment of thermal failures in buildings subject to climate change. In *Building Simulation*, pages 2077–2084.

- [41] Mohammad Rasouli, Gaoming Ge, Carey J Simonson, and Robert W Besant. Uncertainties in energy and economic performance of hvac systems and energy recovery ventilators due to uncertainties in building and hvac parameters. *Applied Thermal Engineering*, 50(1):732–742, 2013.
- [42] Andrea Saltelli, Marco Ratto, Stefano Tarantola, and Francesca Campolongo. Sensitivity analysis for chemical models. *Chemical reviews*, 105(7):2811–2828, 2005.
- [43] Kevin J. Lomas and Herbert Eppel. Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. *Energy and Buildings*, 19(1):21–44, 1992.
- [44] DM Hamby. A comparison of sensitivity analysis techniques. *Health physics*, 68(2):195–204, 1995.
- [45] Thierry A Mara and Stefano Tarantola. Application of global sensitivity analysis of model output to building thermal simulations. In *Building Simulation*, volume 1, pages 290–302. Springer, 2008.
- [46] Norske arkitekters landsforbund. Haakonsværn - nytt administrasjonsbygg for flo. <http://www.arkitektur.no/haakonsværn-nytt-administrasjonsbygg-for-flo>. [Hentet; 20 september 2016].
- [47] Multiconsult AS v/ Trond Ivar Bøhn. Energirapport for malmskriverveien 4. 2011.
- [48] Arild Lunde. 2017.
- [49] Mads Mysen and Peter G. Schild. Behovsstyrt ventilasjon, dcV –krav og overlevering, veileder for et energioptimalt og velfungerende anlegg. 2013.
- [50] Standard Norge. Ns 3031: Beregning av bygningers energiytelse - metode og data, 2014.
- [51] Programbyggerne. Validering simien. <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/validering>. [Hentet; 7 juni 2017].
- [52] EQUA Simulation AB. User manual - ida indoor climate and energy. 2013.

- [53] Per Sahlin, Axel Bring, and Kjell Kolsaker. Future trends of the neutral model format(nmf). Technical report, 1995.
- [54] Equa Simulation AB. Validation of ida indoor climate and energy 4.0 with respect to cen standards en 15255-2007 and en 15265-2007. 2010.
- [55] Sven Kropf and Gerhard Zweifel. Validation of the building simulation program ida-ice according to cen 13791 “thermal performance of buildings–calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling–general criteria and validation procedures”. *Hochschule Technik+ Architektur Luzern. HLK Engineering*, 2001.
- [56] AB Equa Simulation. Validation of ida indoor climate and energy 4.0 build 4 with respect to ansi/ashrae standard 140-2004. 2010.
- [57] Big Ladder Software LLC. Elements. <http://bigladdersoftware.com/projects/elements/>.
- [58] Erichsen og Horgen v/Ivar Rognhaug Ørnes.
- [59] Peng Liu, Hans Martin Mathisen, and Maria Justo Alonso. Theoretical prediction of longitudinal heat conduction effects on the efficiency of the heat wheel used for ventilation in powerhouse building “kjørbo” in norway. *Energy Procedia*, 2017.

Tillegg A

Vurdering av sprangrespons

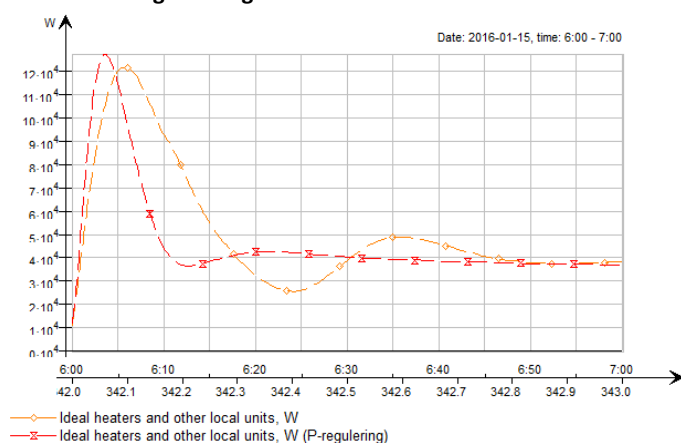
Vurdering av sprangrespons med og uten effektbegrensning

Thursday, June 1, 2017 6:19 PM

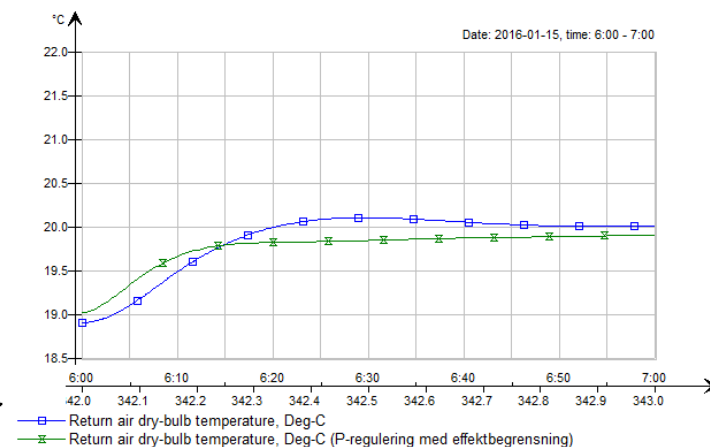
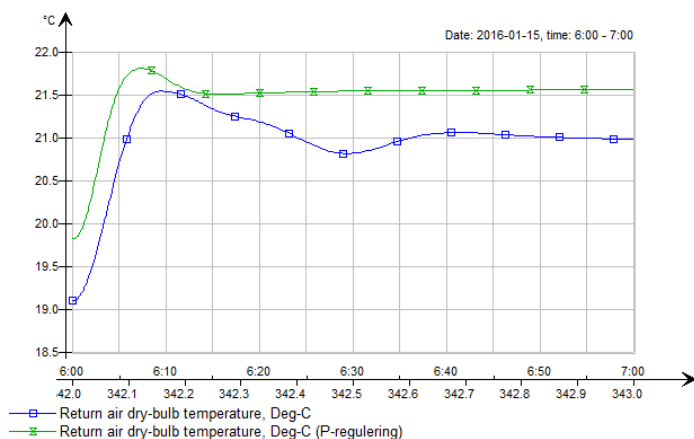
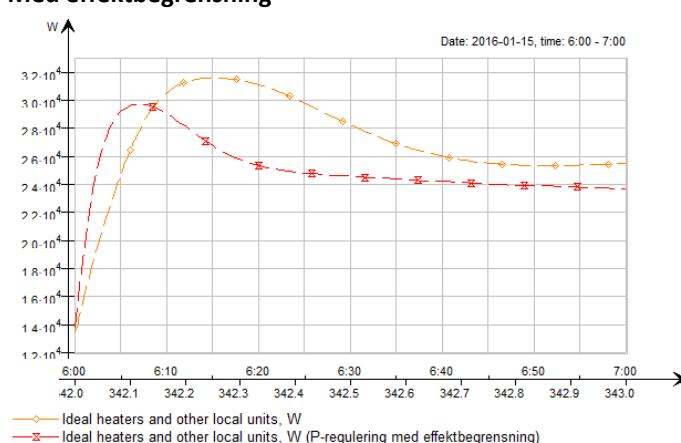
For å vurdere rimeligheten i simulert effektbehov uten restriksjoner i effektuttak på de ideelle romenhetene ble respons ved sprang i feil inn på de ideelle regulatorene testet. I figurene under sammenlignes sprangrespons i IDA ICE modellen av Haakonvern. Spranget er en endring i temperatursettpunkt for oppvarming fra 19 °C til 21 °C. Modellene simuleres uten bruk av ventilasjonsluft og uten interne varmetilskudd med konstant utetemperatur lik tre-døgns midelltemperaturen (θ_{3d}) som er -12 °C for Bergen i henhold til byggforskblad 451.021. Forskjellen på simuleringen til venstre og høyre er at i modellen til høyre er det satt en total restriksjon på 35 kW til oppvarmingseffekt for romvarme.

De øverste grafene viser det totalte pådraget fra alle de ideelle romenhetene i bygge og de nederste grafene viser responsen til gjennomsnittstemperaturen i bygget. For de øverste grafene viser de røde linjene pådraget med P-regulering og de orange linjene pådraget med PI-regulering. For de nederste grafene er de grønne linjene responsen ved P-regulering og de blå linjene responsen ved PI-regulering.

Uten effektbegrensning



Med effektbegrensning



I det feilen, som er avviket mellom temperaturen i sonen og temperatursettpunkt, kommer inn på regulatoren klokken 6:00 observeres et umiddelbart pådrag fra de ideelle varmeenhetene. Videre fremgår det av figuren for varmeeffekt uten effektbegrensning at de ideelle enhetene gir et meget kraftig pådrag som går langt over verdien som den går mot etterhvert. Både P- og PI-regulatoren går fra et effektpådrag til rundt 10 kW til et effektpådrag på omtrent 120 kW på 5 minutter. Et så kraftig maksimalt pådrag er å anse som urimelig. Dette kommer blant annet av at det vil være naturlig å tillate at modellen bruker lenger tid på å nå temperatursettpunkt. Det fremgår av figurene til høyre at når effektbegrensning inkluderes blir det ikke en urealistisk topplast.

Det fremgår imidlertid også av temperaturforløpet at temperatursettpunkt på 21 grader ikke oppnås i dette tilfellet. Årsaken til dette er at de totale 35 kW som er installert i bygget er i modellen fordelt likt på alle de 17 sonene i bygget. De rom som har for mye effekt oppnår temperatursettpunkt og reduserer pådraget, mens de rommene som har for lite effekt vil ha fullt pådrag, men ikke nå ønsket temperatur.

På grunn av de ideelle enhetes hurtige regulering og deres parameterinstillinger er det, ved bruk av simuleringsprogram til vurderinger av dimensjoneringsbehov, hensiktsmessig å inkludere effektbegrensninger.

Tillegg B

Sammenligning av beregnet og målt effektbehov til romkjøling

Sammenligning av beregnet og målt effektbehov til romkjøling

Monday, June 12, 2017 6:24 PM

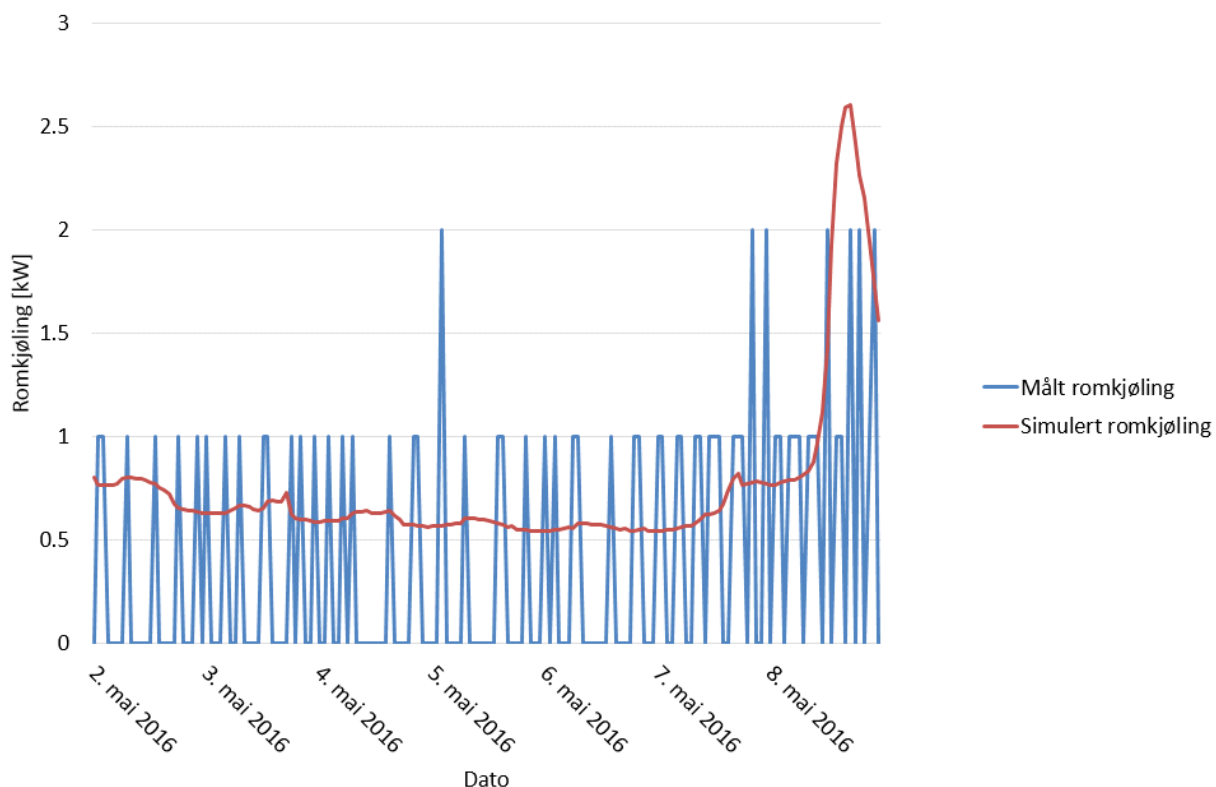
Hensikten med dette vedlegget er å vurdere representativiteten til modellene av serverrom i Trinn 2 modellene i IDA ICE.

Det er pratet med driftsansvarlig på Haakonservern som har bekreftet at det er noen tekniske rom som har behov for kjøling med isvann i tillegg til et klasserom med mye datakraft. Disse har blitt modellert ved at en sone på 50 m² har fått et kontinuerlig varmetilskudd på 40 W/m². I tillegg har temperatursettpunkt for kjøling i denne sonen blitt satt til 29 °C i stedet for 26 °C som ellers. Restriksjon på kjøleenhetene ble satt til totalt 4 kW i sonen og 8 kW totalt i bygget.

Som det fremgår av figur 1 er den simulerte romkjølingen et kontinuerlig pådrag, mens de målte verdiene fluktuierer. Det fremstår altså som at isvannet er regulert med en form for av/på regulering. Sammenligningen viser at modellen av varmetilskuddet er en grov tilnærming av virkeligheten.

Tilsvarende er det også serverrom i Malmskriverveien. For Malmskriverveien er det i trinn 2 modellen i IDA ICE lagt inn et varmetilskudd på 200 W/m² i et rom på 6 m². Samt 100 W/m² i en sone på 62 m². Temperatursettpunkt for kjøling ble satt til 29 °C og de idelle kjøleenhetene i disse sonene er modellert med restriksjon på effektuttak på henholdsvis 20 kW og 10 kW. Figur 2 viser at modellen av serverrommet i Malmskriverveien er lite representativ. Det fremgår av figur 2 at det simulerte behovet øker ved slutten av dagen. Dette er fordi ventilasjonsanlegget skrus av 1 time og 10 min før de interne lastene skrus av i den kalibrerte modellen.

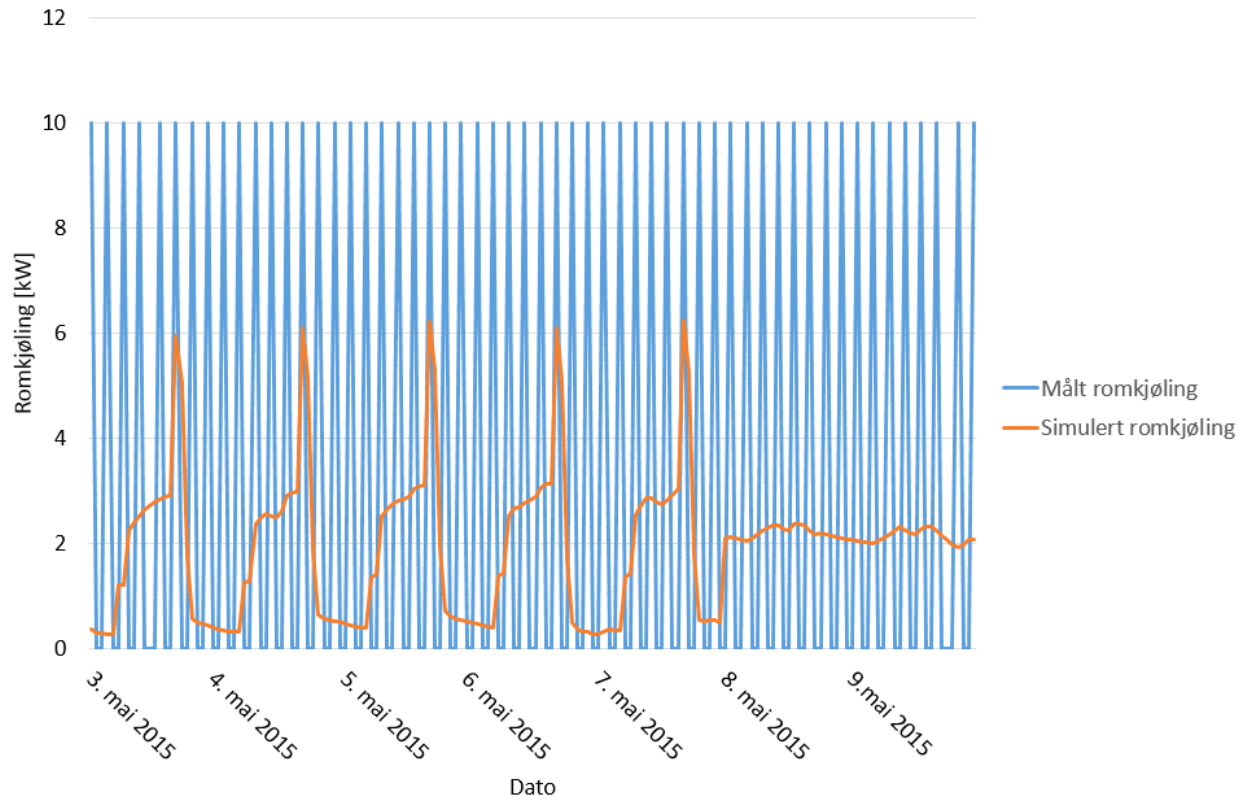
Dersom det skal tas høyde for serverrom og behov til romkjøling i serverrom i bygningsmodeller er det hensiktsmessig å vite reell størrelsesorden på varmetilskudd, samtidig som temperatursettpunkt og installert effekt bør defineres presist.



Figur 1. Sammenligning av målt og simulert romkjøling

∩ ∩ ∩ ∩ ∩ ∩ ∩
Dato

Figur 1. Romkjøling i Haakonsvern

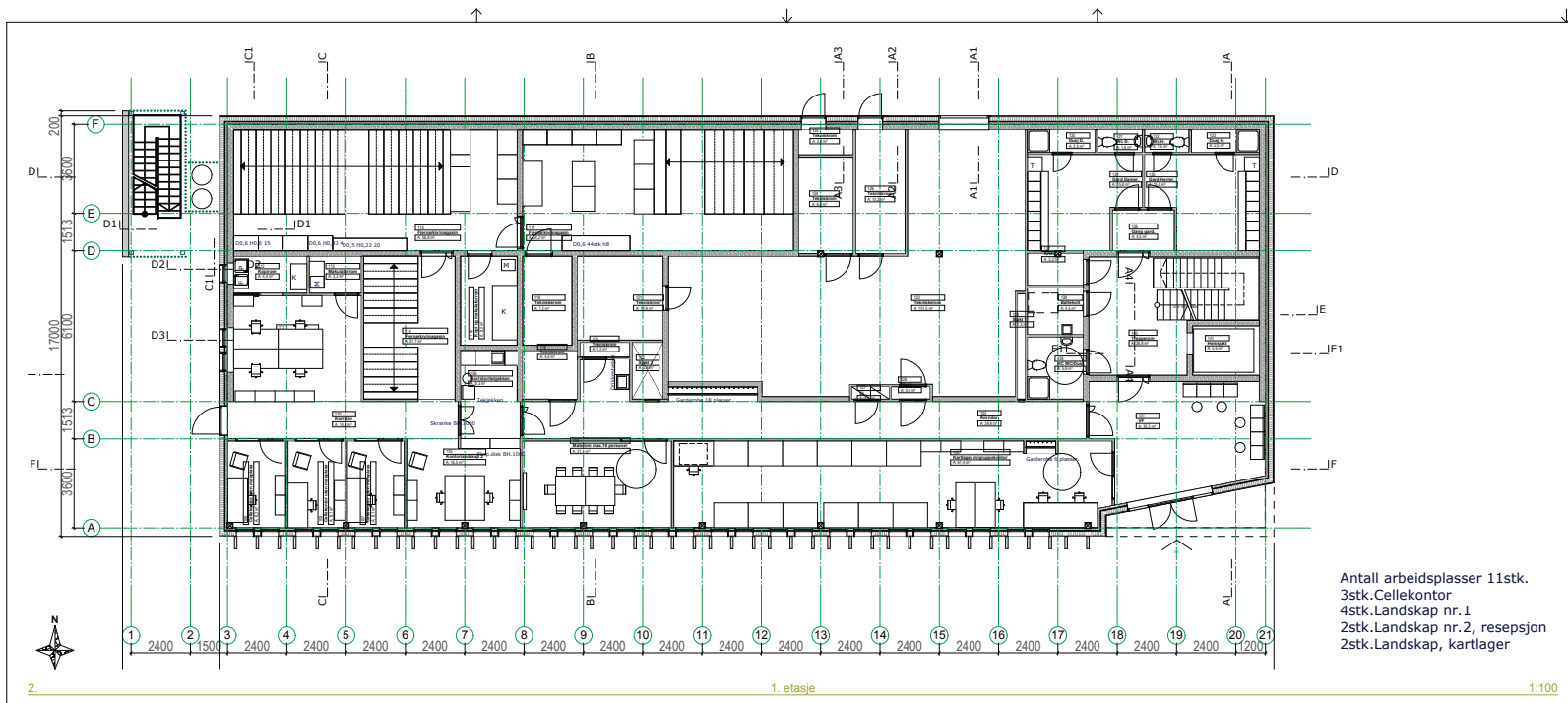


Figur 2. Romkjøling i Malmskriverveien.

Tillegg C

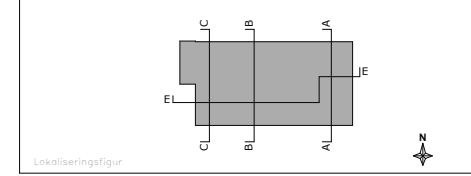
Haakonsvern

C.1 Plantegning første etasje



Antall arbeidsplasser 11stk.
 3stk.Cellekontor
 4stk.Landskap nr.1
 2stk.Landskap nr.2, resepsjon
 2stk.Landskap, kartlager

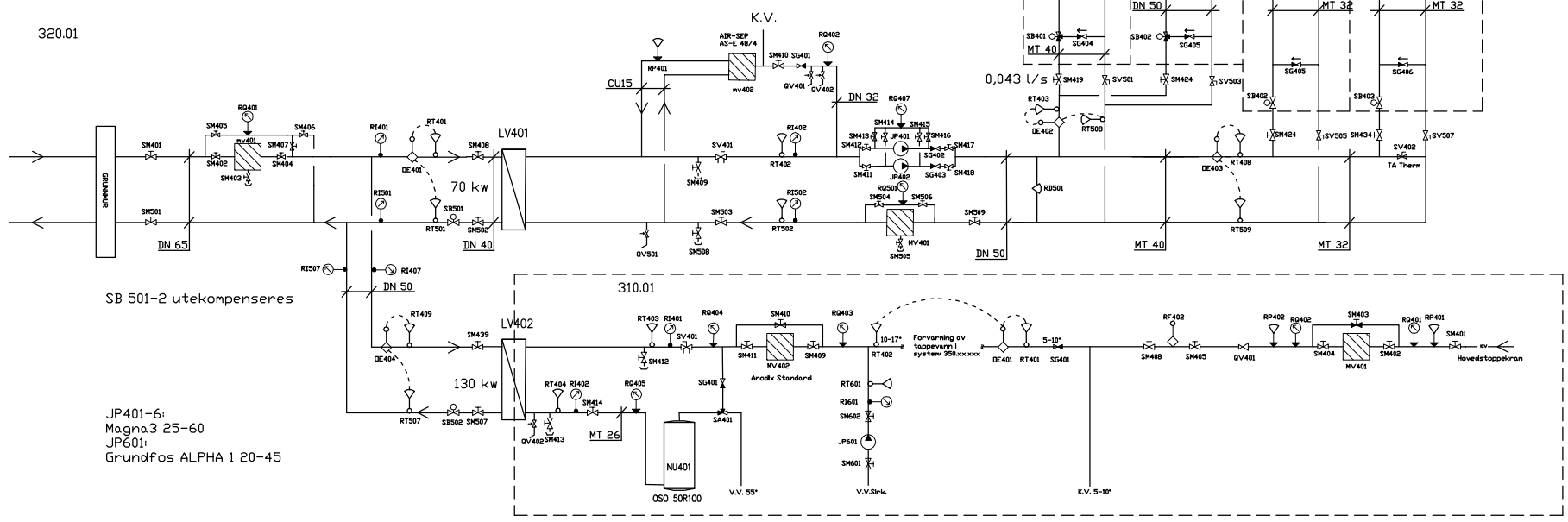
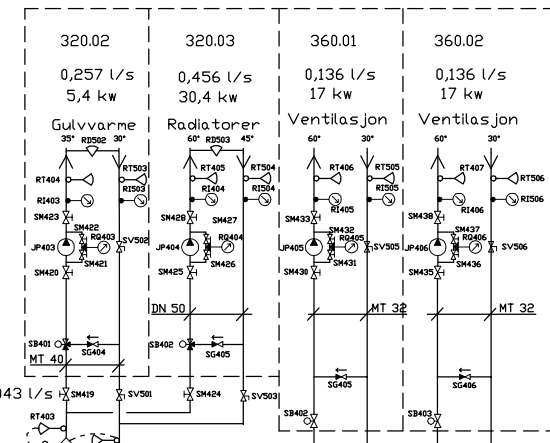
B	3	Målestilling, akser, lengetegn	22.10.12	FTH	IL
B	2	Innen- prosjekt av	20.09.2012	FTH	IL
B	1	Innt. referat av	13.09.2012	FTH	IL
Rev.under	Rev.nr	Beskrivelse	Dato	Sign.	Kontroll



LINK ARKITEKTUR Team Bergen Drengsløperveien 10/12 P.B 4121 Dreggen 5835 Bergen Telefon: +47 55 57 34 00 Telefax: +47 55 57 34 01 E-post: bergen@linkarkitektur.no	Prosjekt 1:100
	Prosjekt nr. 480357
Dato 13.09.2012	Prosjekt RM
Prosjektleder FTH/JHN	Prosjekt IJ
Prosjekt nr. B	Prosjekt nr. 3
Prosjekt nr. 120102 0359	Prosjekt nr. 20 20 01
Prosjekt nr. UGRADERT	

C.2 Flytskjema varme

Pumpeskjema				
Pumpenr	Mengde (l/s)	Diff. trykk (kPa)	Betjener	Styring
JP401	0,985	49	Hoved. sirk	Trykk
JP402	0,985	49	Hoved. sirk	Trykk
JP403	0,257	57	Gulvvarme	Trykk
JP404	0,456	36	Radiatorer	Trykk
JP405	0,136	49	Ventilasjon	Mengde
JP406	0,136	49	Ventilasjon	Mengde
JP601	0,017	17	V.V.Sirk.	Mengde



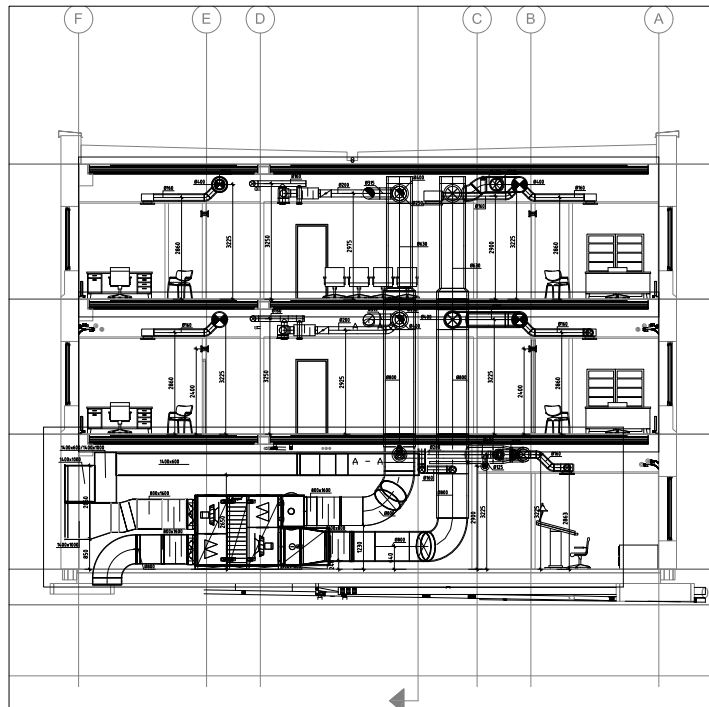
SB 501-2 utekompenseres

JP401-6:
Magna3 25-60
JP601:
Grundfos ALPHA 1 20-45

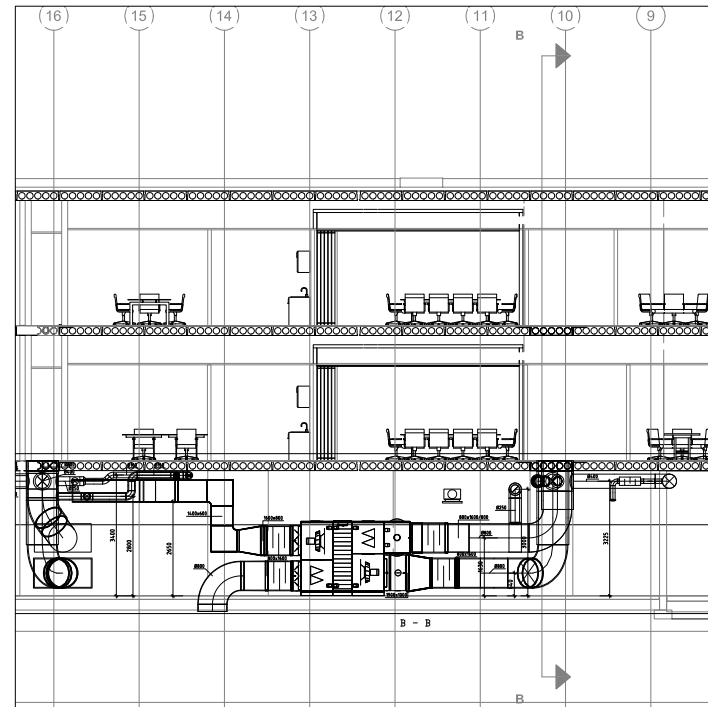
A ARBEIDSTEGNING					06.05.2015					KSS HGA KSS			OPPDRAK FLO		INNHOLD SYSTEMSKJEMA VARMEANLEGG / SANITÆR		OPPDRAK NR. 1350005004		MÅLESTOKK -		BLAD NR. 01		AV 01		
REV RETTELSE					DATO					TEGN KONTR GODKJ			P.B. 3705 FYLLINGSDALEN, N-5845 BERGEN TLF: 55 17 58 00 - FAX: 55 17 58 10		OPPDRAKSGIVER Chr. M. Vestrheim AS		TEGNING NR.		BYGG ETASJE FAG SYSTEM TYPE LØPENR		REV.				
TEGNINGSSTATUS ARBEIDSTEGNING												V 320 60 001												A	

C.3 Flytskjema kjøling

C.4 Flytskjema ventilasjon



Snitt av 36.02
Mellom akse 15 og 16+



Snitt av 36.01

Rev./index	Rev./nr	Beskrivelse	Dato	Sign.	Kontroll
Forsvarsbygg					
Prosjektnavn:		RADEBOLL		Skala: 1:50	
Kopiering: gjenbr.		16.09.2014		Kontroll: —	
HOS-DEPOTBYGG		HGA		Kontroll: —	
LUFTBEHANDLING		—		Kontroll: —	
SNITT		—		Kontroll: —	
Etablør: index		—		Etablør nr: —	
Rev./index		G		Rev.nr: —	
120102		0359		40.0001	
Drøining:		UGRADERT		—	

C.5 Dokumentasjon av sentrale inndata SIMIEN



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 18:36 27/5-2017
Programversjon: 6.003
Simuleringsansvarlig: Mathias
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\haakonsvern_ensone_prosj.smi
Prosjekt: Haakonsvern
Sone: Haakonsvern

Effekt (dekning)	Dekningsgrad effekt/energi oppvarming	Dekningsgrad energibruk
29 kW (90 %)		100 %
26 kW (80 %)		100 %
23 kW (70 %)		99 %
19 kW (60 %)		98 %
16 kW (50 %)		96 %
13 kW (40 %)		92 %
10 kW (30 %)		83 %
6 kW (20 %)		68 %
3 kW (10 %)		44 %
Nødvendig effekt til oppvarming av tappevann er ikke inkludert		-

Beskrivelse	Dokumentasjon av sentrale inndata (1)	
	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	963	
Areal tak [m ²]:	690	
Areal gulv [m ²]:	642	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	326	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	2012	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	7042	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,13	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,09	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,06	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,78	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	16,2	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	72	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,40	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	85	



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 18:36 27/5-2017
Programversjon: 6.003
Simuleringsansvarlig: Mathias
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\haakonsvern_ensone_prosj.smi
Prosjekt: Haakonsvern
Sone: Haakonsvern

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	85,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	6,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,89	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	230	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	5,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	5,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,32	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	1,00/1,00/1,00/1,00	

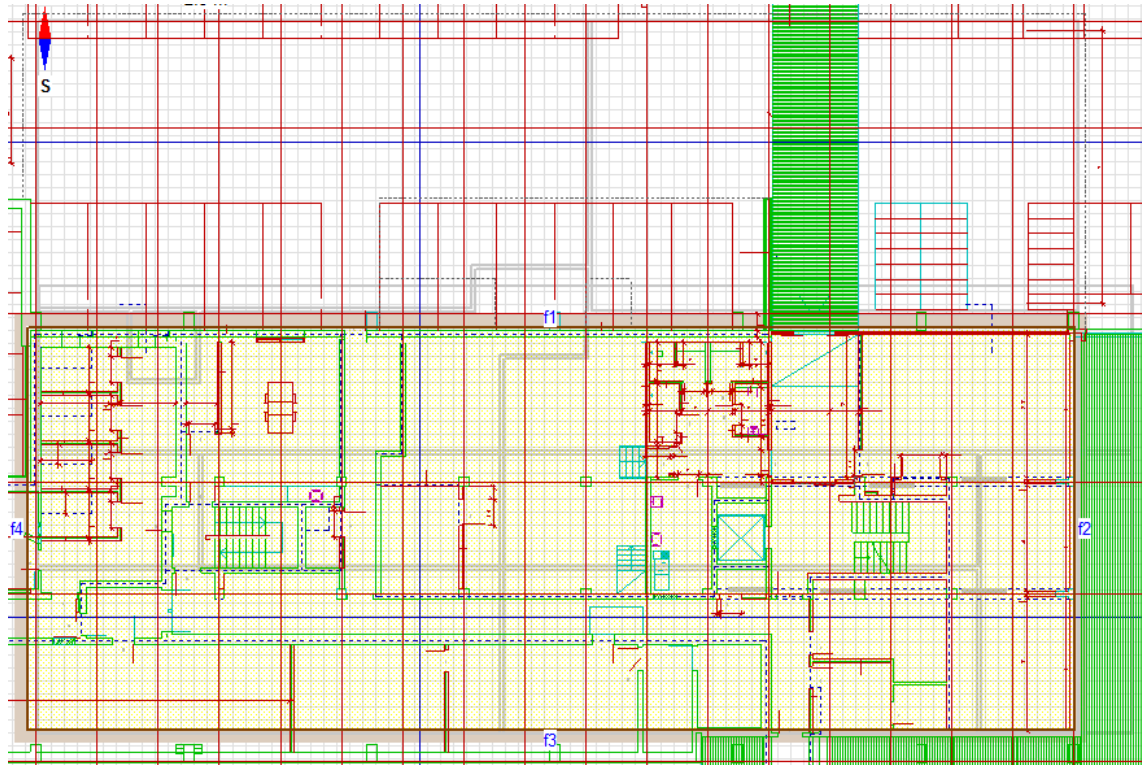
Tillegg D

Malmskriverveien

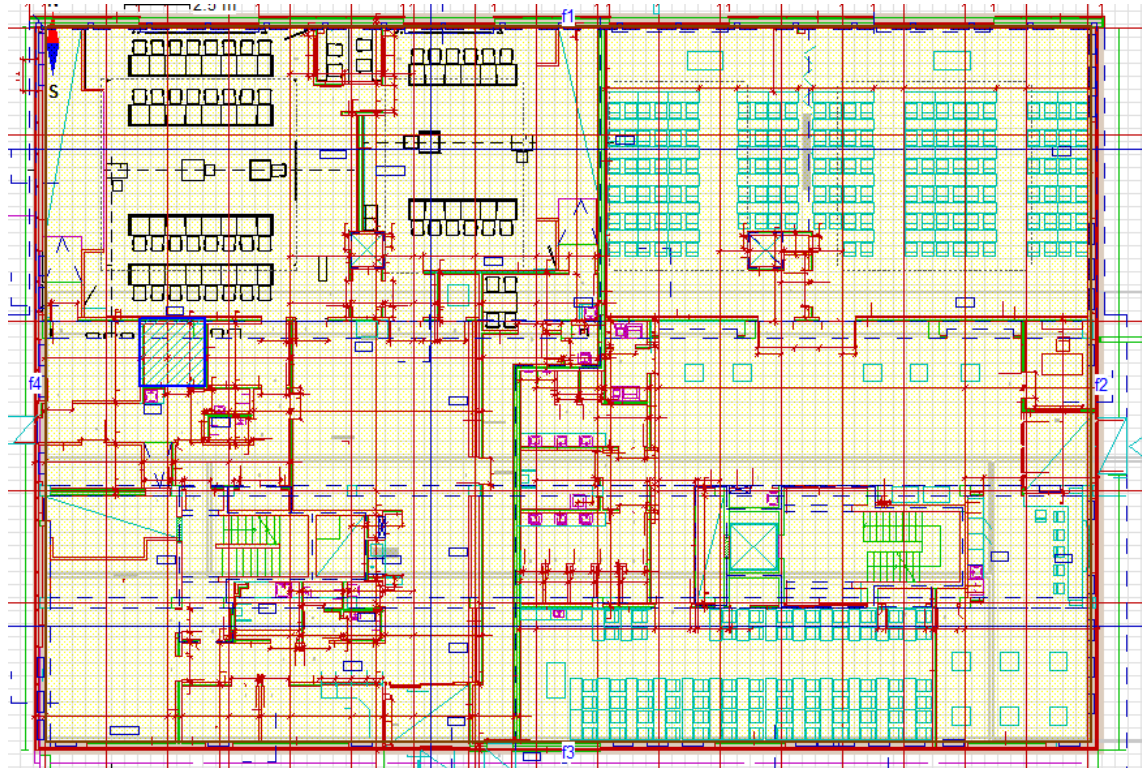
D.1 Plantegninger

Plantegninger for hhv underetasjen, førsteetasje og andreetasje er vist i det følgende. Tredje, fjerde og femte etasje ser tilsvarende ut som andre etasje.

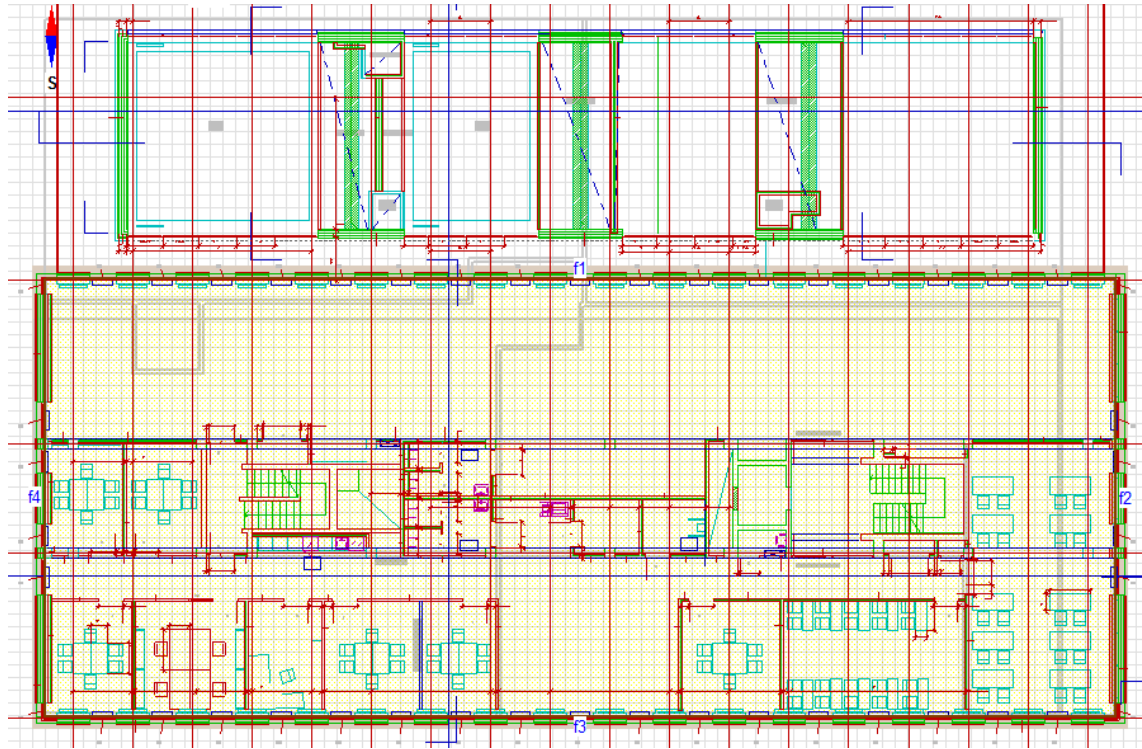
Plantegning kjeller



Plantegning 1. etasje



Plantegning 2. etasje



D.2 Flytskjema varme

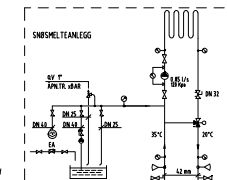
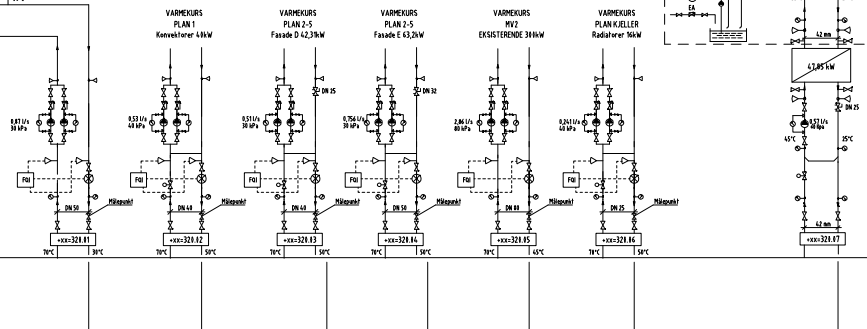
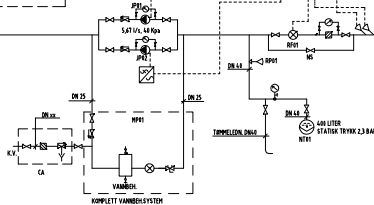
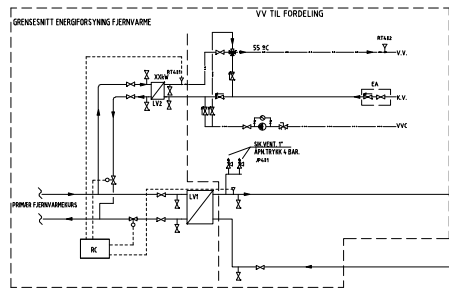
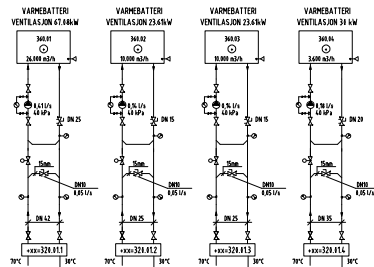
MERKING	SYMBOL	FORKLARING
SBxxx		REGULERINGSVENTIL
SBxxx		REGULERINGSVENTIL
SCxxx		STENGEVENTIL MOTORSTYRT
SDxxx		TILBAKESLAGSVENTIL
SMxxx		STENGEVENTIL
SVxxx		REGULERINGSVENTIL
DVxxx		SIKKERHETSVENTIL
MVxxx		FILTER
PLxxx		LUFTRYSKÖLER
NTxxx		EKSPANSOR
		LUFFEVENTIL
		TERMOMETER
		MANOMETER
RFxxx		VANNMÅLER
RPxxx		TRYKFORBLER
RTxxx		TEMPFORBLER
BA		TILBAKESLAGSMODUL
CA		TILBAKESLAGSMODUL
EA		TILBAKESLAGSMODUL
RDT		DRIFTSTERMOSTAT MED PT-1H FORBLER
RDS		SIKKERHETSSTERMOSTAT MED MANUELL RESET

EKSEMPEL PÅ MERKING

SM171	STENGEVENTIL, VARME TILFØDNING, LØPENR. 1
SM571	STENGEVENTIL, VARME RETURLEDNING, LØPENR. 1
SM141	STENGEVENTIL, KJØLING TILFØDNING, LØPENR. 1
SM541	STENGEVENTIL, KJØLING RETURLEDNING, LØPENR. 1

FØRKLARING

xxx-321.11 = SYSTEMNUMMER
NS = NORMALT STENGT



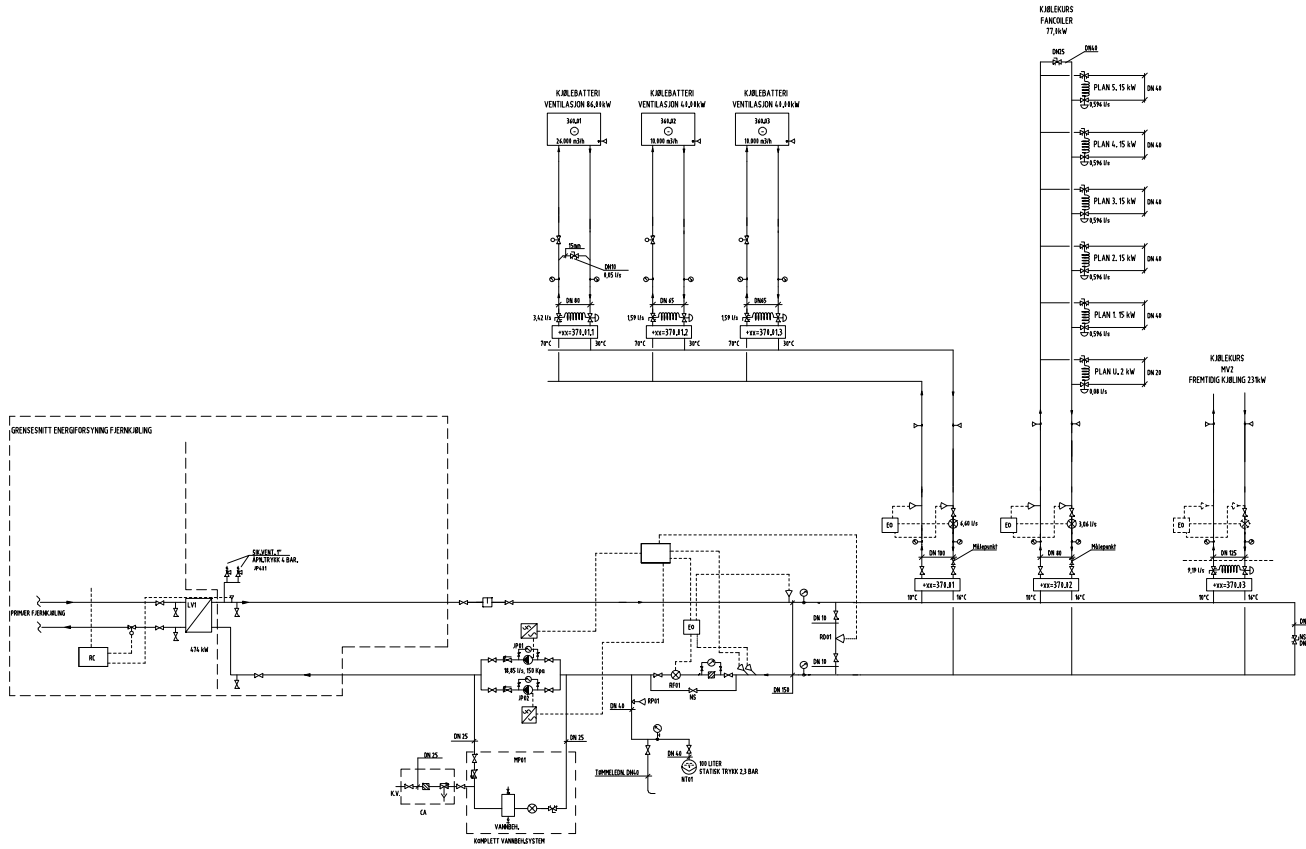
Prosjekt: V72-A-01 Rev: F 01
Hjellnes Consult as

F 01	Som bygget	KMS	EHT	EHT	01.11.2011
Revisjon:	Revisjoner	Tegn.	EHT	kontrollert	Skj.S. Dato
Målestokk		m/m			Dato
Målestokk og format					28.10.10
					Tegn. KMS
					Skrevet EHT
Flytskjema	Erst. for:	105101	Pop	VVS	
Varme	Prosjekt:	V72-A-01		F 01	
VVS-anlegg	Formål:	95101-321-1-411-01byg			

Hjellnes Consult as

YIT

D.3 Flytskjema kjøling



MERKNING	SYMBOL	FORKLARING
SBmax		REGULERINGSVENTIL
SBmax		REGULERINGSVENTIL
SCmax		STENGEVENTIL MOTORSTYRT
SGmax		TILBAKESLAGSVENTIL
SMmax		STENGEVENTIL
SVmax		REGULERINGSVENTIL
QVmax		SIKKERHETSVENTIL
MVmax		FILTER
MLmax		LUFUFØTØLLER
NTmax		EKSPANSOR
		LUFTEVENTIL
		TERMOMETER
		MANOMETER
RFmax		VANNMÅLER
RPmax		TRYKKFØLER
RTmax		TEMP.FØLER
BA		TILBAKESLAGSMODUL
CA		TILBAKESLAGSMODUL
EA		TILBAKESLAGSMODUL
ROT		DRIFTSKEMOSTAT MED PT-10A FØLER
RDS		SIKKERHETSSTEMOSTAT MED MANUELL RESET

EKSEMPEL PÅ MERKNING:

SM471	STENGEVENTIL VARMETURLEDDNING, LØPENE, 1
SM571	STENGEVENTIL VARMETURLEDDNING, LØPENE, 1
SM481	STENGEVENTIL KJØLINGTURLEDDNING, LØPENE, 1
SM581	STENGEVENTIL KJØLINGTURLEDDNING, LØPENE, 1

FØRKLARING:

xxx371A1	= SYSTEMNUMMER
NS-	= NORMALT STENGT

Prosjekt: **V75-A-01** Rev: **F 01**
Hjellnes Consult AS

E #2	Som bygget	KMS	EHI	0111.2011
E #1	Arbeidstegning	KMS	EHI	28.01.2011
Revisjoner	Rev. dato	Teqn. EHI	Teqn. EHI	Dato
Malmstrøveien 4		Målestokk	Dato: 28.10.10	
		Enh.	Teqn. KMS	
		Enh.	Teqn. EHI	
Målestokk og format				
-				
Flytskjema	Erte. Navn	Erte. Ans		
Kjøling	Prosjekt	105101	VVS	
VVS-anlegg	Prosjekt	V75-A-01	Rev.	F 01
	Formater	105101-376-0-400-01.dwg		

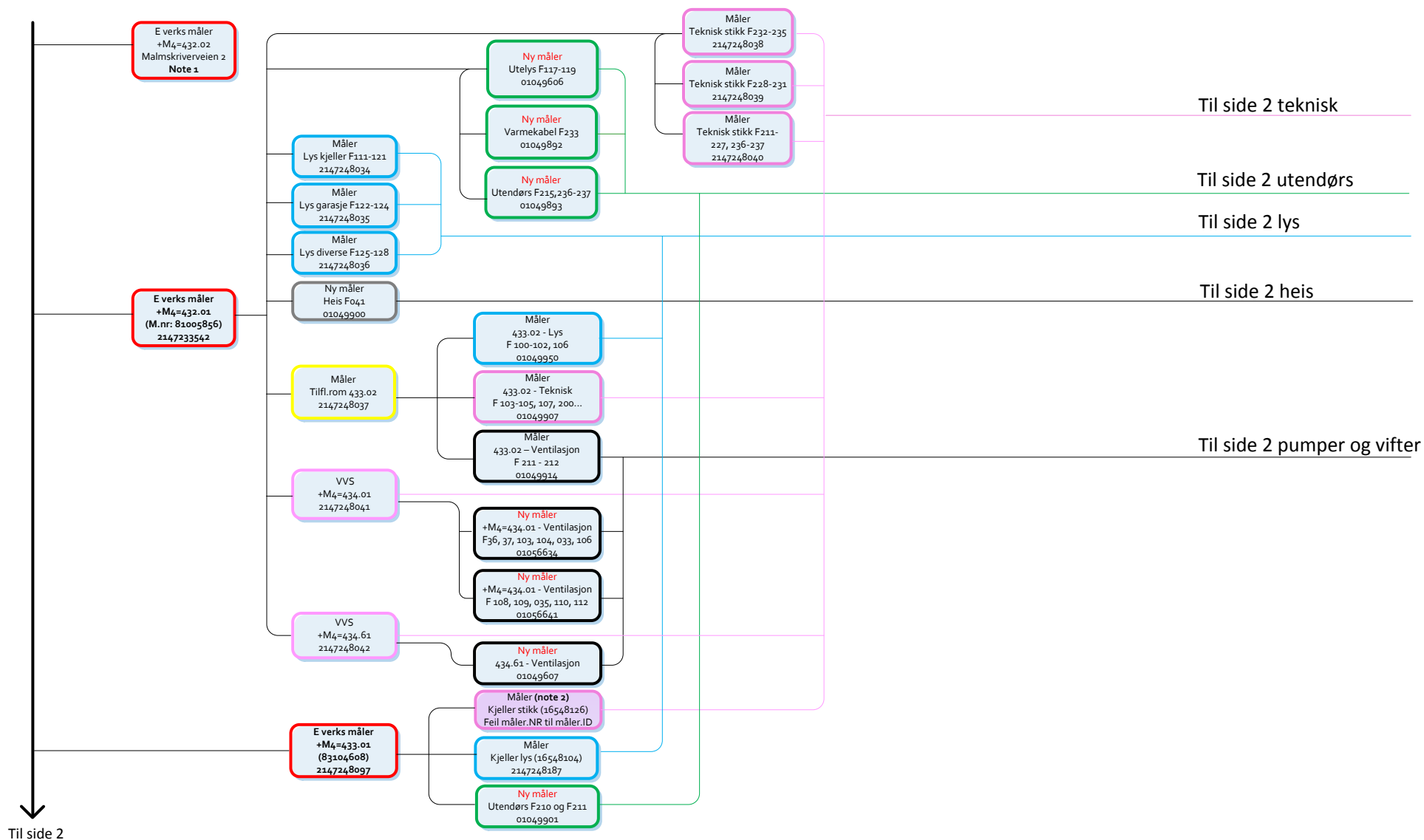
Hjellnes Consult AS **YIT**

G:\2010\10\10\105101\105101-376-0-400-01.dwg V75-A-01 10. Jun 2010 - 08:52:05 Rev. 11 10:41:00 AM 11.8.10.11

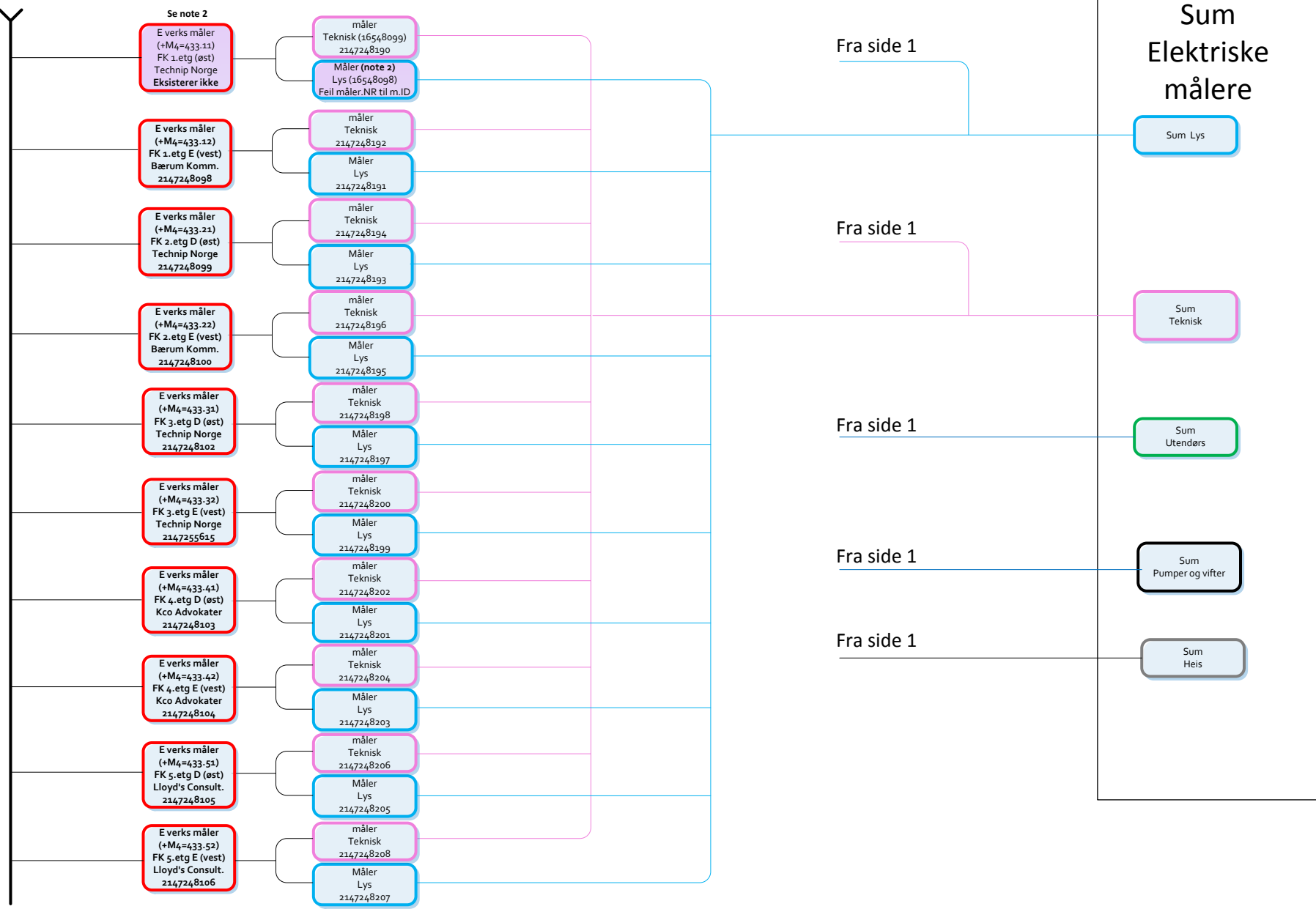
D.4 Flytskjema ventilasjon

D.5 Energiflytskjema

Note 1: Går til annet bygg, Malmskriverveien 2.
Note 2: Målere eksisterer ikke eller har fysisk målnummer som ikke er registrert i import/eksport databasen.



Fra side 1



Sum Elektriske målere

Sum Lys

Sum Teknisk

Sum Utendørs

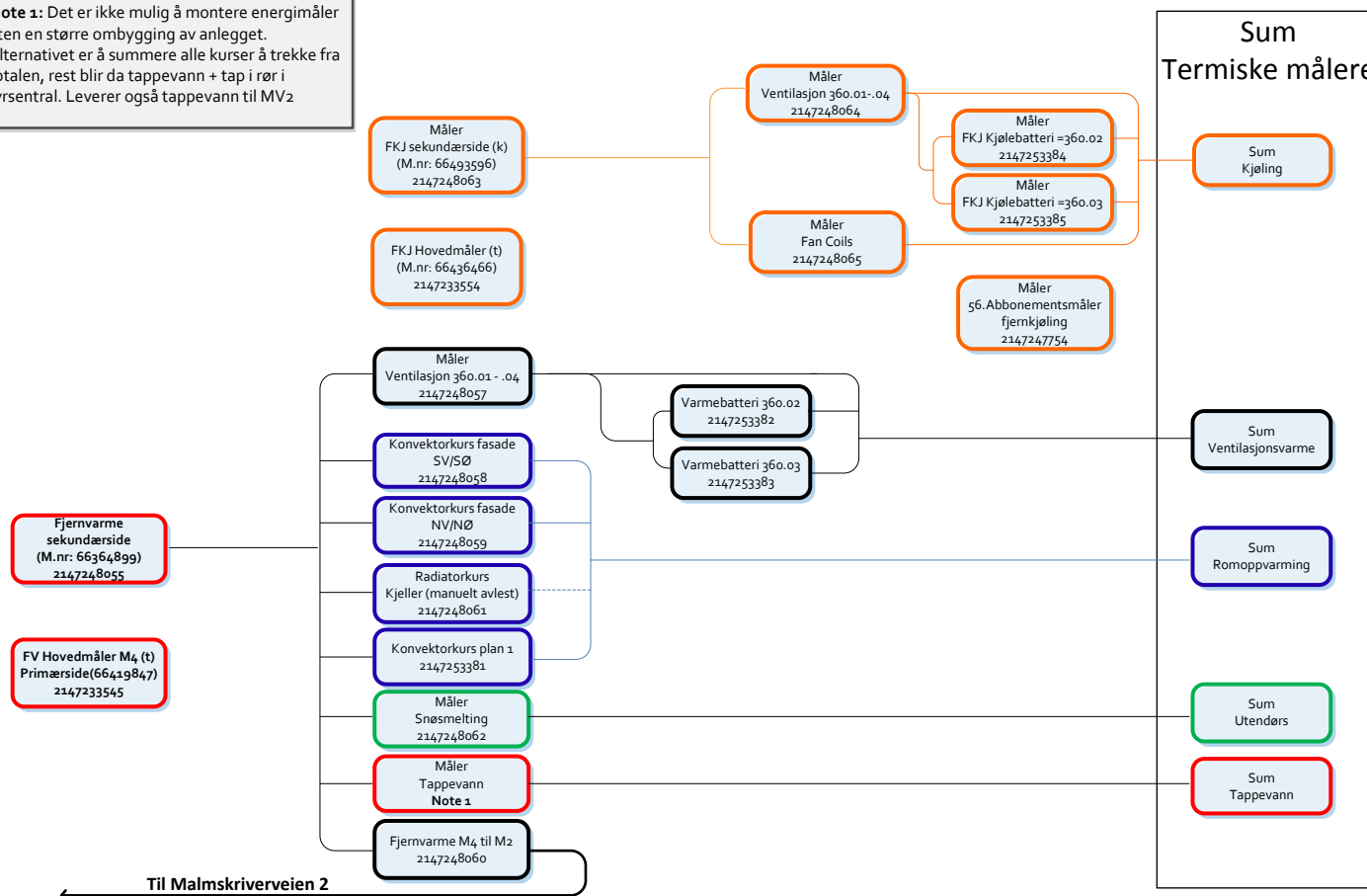
Sum Pumper og vifter

Sum Heis

Energiflyt Termisk Malmskriverveien 4



Note 1: Det er ikke mulig å montere energimåler uten en større ombygging av anlegget. Alternativet er å summere alle kurser å trekke fra totalen, rest blir da tappevann + tap i rør i fyrsentral. Leverer også tappevann til MV2



D.6 Maikorrespondanse med Erichsen og Horgen v/ Ivar Rogn- haug Ørnes

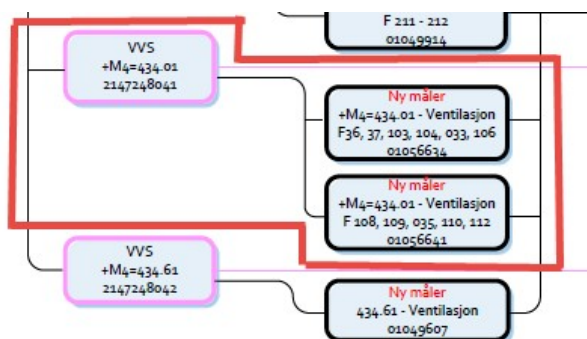
Mathias Stensland Lillevold

From: Ivar Rognhaug Ørnes <iro@erichsen-horgen.no>
Sent: onsdag 19. oktober 2016 08.28
To: Mathias Stensland Lillevold
Subject: SV: Ang. Malmskriverveien
Attachments: Fasadetegninger.zip; RIV-tegninger.zip; Energirapport Malmskrivervn4 m vedlegg.pdf; 360.01 Systemair aggregat teknisk spesifikasjon 360.01, 360.02 og 360.03.pdf; Energiflyt Malmskriverveien 4 Rev 4.pdf; 320.01 Inlinepumpe KSB Etaline drift- og monteringsanvisning (35).pdf; 320.01 Pumpe KSB kjøøl Etabloc GN 065-125-552 G11 350.01 (35).pdf

Hei!

Her er en del underlag. Beklager at dette har tatt tid. Jeg har vært borte fra kontoret ifm med sykdom en periode. Se mine kommentarer i **rødt** under.

Jeg har også vedlagt et energiflytskjema utarbeidet av BKK. Det viser strukturen på energimålerne i prosjektet. En ting som er viktig å merke seg er ift. Den ene av VVS-målerne, se under.



I august 2014 ble det gjort noe ombygging på disse målerne. Frem til august 2014 så ble alt av energi til VVS-tavlene målt på disse to målerne, en for VVS-tavle i toppetasjen og en for VVS-tavle i underetasjen. Det er i all hovedsak snakk om energi til pumper og vifter på disse tavlene. BKK har ønsket å skille ut vifteenergien fra øvrig energi til VVS-tavlen i 6. etasje (2147248041). I august ble det derfor installert 2 nye målere, en som måler på aggregat 36.02 og en til 36.03. Den energi disse målerne vil primært være vifteenergi. I tillegg kommer noe driftsel. varmeveksler og sirkulasjonspumpe varmebatteri.

Det som er viktig å være obs på er at det pga. ombyggingen har vært noe nedetid på måleren på VVS-tavlen og de to nye energimålerne på aggregat 36.02 og 03. Vi har derfor et hull i måledata på noen måneder i denne forbindelse. Dette hullet kan tettes ved å estimere et forbruk basert på måleverdier fra tiden etter at målerne var oppe å gå igjen. Det er da viktig å merke seg at energiflytskjemaet egentlig er feil da det viser en seriekobling mellom den opprinnelige VVS-måleren og de to nye ventilasjonsmålerne. Dette er ikke tilfellet de er da ikke i serie og VVS-måleren viser derfor ikke summen av de to ventilasjonsmålerne.

Når det gjelder måleren på den andre VVS-tavlen så er det i energiflytskjemaet angitt en ny måler også her. Dette er ikke tilfellet. For VVS i underetasjen er det kun en måler, VVS 2147248042, og den måler på både vifteenergi og energi til pumper.

Håper dette kan være nyttig.

Med hilsen

Ivar Rognhaug Ørnes
Sivilingeniør



Erichsen & Horgen AS
Telefon: +47 22 02 63 10
Mobil: +47 98 82 26 26
E-post: iro@erichsen-horgen.no
Web: www.erichsen-horgen.no

Fra: Mathias Stensland Lillevold [<mailto:mathiali@stud.ntnu.no>]

Sendt: 6. oktober 2016 15:52

Til: Ivar Rognhaug Ørnes <iro@erichsen-horgen.no>

Emne: RE: Ang. Malmskriverveien

Hei!

Jeg trenger følgende for malmskriverveien:

1. Plantegninger for hver etasje. Gjerne .dwg-fil. **Jeg har vedlagt plantegninger. Vi har ikke dwg kun dwf. For dwg kan kanskje ARK i prosjektet hjelpe deg? IDA ICE skal kunne importere både dwg og dwf. Selv har jeg kun erfaring med førstnevnte men det skal absolutt gå. Det finnes også gratis dwf-viewer der man kan bruke diverse måleverktøy for å få lengder, arealer m.m.**
2. Beskrivelse av tekniske anlegg. Gjerne fakta, men også tegninger. **Vedlagt er VVS-tegninger samt en del datablader**
3. Tekniske spesifikasjoner av bygget. Dvs u-verdier, kuldebro, osv. **Det aller meste av dette kan hentes fra vedlagte energirapport**
- 4.

Dersom du har tilgang på dette eller vet om noen som kanskje har det hadde er jeg takknemlig. Jeg kan bruke SIMIEN-fila deres selvfølgelig, men det er kanskje litt svakt som dokumentasjon.

Mvh,
Mathias S. Lillevold

From: Ivar Rognhaug Ørnes [<mailto:iro@erichsen-horgen.no>]

Sent: mandag 3. oktober 2016 08.09

To: Mathias Stensland Lillevold <mathiali@stud.ntnu.no>

Subject: SV: Ang. Malmskriverveien

Hei!

Vi bruker nyeste versjon av SIMIEN, versjon 6.003. Godt mulighet for at det er derfor du ikke får åpnet de. Filer lagret i de nyeste versjoner av SIMIEN er ikke bakoverkompatible.

Med hilsen

Ivar Rognhaug Ørnes
Sivilingeniør

D.7 Dokumentasjon av sentrale inndata SIMIEN



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 13:35 7/6-2017
Programversjon: 6.003
Simuleringsansvarlig: Mathias
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\malmskriverveien trinn 1.smi
Prosjekt: m4_av mathias
Sone: ensone

Effekt (dekning)	Dekningsgrad effekt/energi oppvarming	Dekningsgrad energibruk
117 kW (90 %)		100 %
104 kW (80 %)		100 %
91 kW (70 %)		100 %
78 kW (60 %)		100 %
65 kW (50 %)		99 %
52 kW (40 %)		96 %
39 kW (30 %)		89 %
26 kW (20 %)		71 %
13 kW (10 %)		42 %
Nødvendig effekt til oppvarming av tappevann er ikke inkludert		-

Beskrivelse	Dokumentasjon av sentrale inndata (1)	
	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	1877	
Areal tak [m ²]:	1185	
Areal gulv [m ²]:	1253	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	759	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	4556	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	12204	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,17	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,29	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,86	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	16,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,04	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	60	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,07	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	85	



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 13:35 7/6-2017
Programversjon: 6.003
Simuleringsansvarlig: Mathias
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\malmskriverveien trinn 1.smi
Prosjekt: m4_av mathias
Sone: ensone

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	85,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,58	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	6,70	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,85	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	150	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	5,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	5,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,38	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	1,00/1,00/1,00/1,00	