



OsloMet – storbyuniversitetet

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

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

GRUPPE NR. 4

TILGJENGELIGHET
Åpen

Telefon: 67 23 50 00

www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

MASTEROPPGAVENS TITTEL DIMENSJONERING AV EFFEKTTOPPER. ANALYSE AV MÅLEDATA FRA 2 NÆRINGSBYGG	DATO 23/05/2018
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 86/7
FORFATTERE ANDREI PARFENAU	VEILEDER Tor Arvid Vik

UTFØRT I SAMARBEID MED COWI NORGE	KONTAKTPERSON Anne Kristine Amble
--	--

SAMMENDRAG Sterke indikasjoner på overdimensjonering av effektbehov i moderne kontorbygninger og som følge leveringstransformatorer fører til nødvendighet for analyse av dagens metode for dimensjonering av effekttopper, definering av svakheter av den metoden og årsaker til overdimensjonering. I motsetning til eldre bygningsmassen, som har ikke dokumentert energi- og effektforbruk fordelt på ulike tekniske systemer, har moderne næringsbygg strøm- og energimålere som loggfører måledata med veldig høy oppløsning. På bakgrunn av denne problemstillingen er det valgt 2 case-kontorbygninger i Trondheim og Oslo hvor det finnes energioppfølgingsystemer som tilbyr måledata på timesbasis. Måledata for ulike tekniske systemer i disse bygningene ble analysert med størst fokus til elektriske og termiske effekter til kjøle- og varmeanlegg. Deretter sammenlignes resultater av analyse med prosjekterte og installerte effekter. Dette arbeidet suppleres med intervjuer med rådgivende ingeniører og driftspersonalet.
--

3 STIKKORD
EFFEKTTOPPER
ANALYSE
MÅLEDATA

Prosjektbeskrivelse

Masteroppgaven er avsluttende arbeid på studiet Energi og Miljø i bygg ved OsloMet – storbyuniversitetet og har omfang på 30 studiepoeng. Utgangspunktet til masteroppgaven er følgende oppgavebeskrivelse:

Analyse av elektrisk effektbehov i bygninger

I tidlig fase i prosjektering av en bygning skal man oppgi behov for elektrisk effekt til nettleverandøren, slik at de kan dimensjonere transformator. Det er RIE (rådgivende ingeniør elektro) som har ansvar for dette, men en svært stor del av effektbehovet skyldes utstyr som RIV (rådgivende ingeniør VVS) har ansvar for å prosjektere, f.eks vifter, varmepumper og kjølemaskiner. Siden dette som regel skjer i en tidlig fase i prosjekteringen så har man ikke så mange opplysninger om effektbehovet. Eksisterende simuleringsverktøy er trolig heller ikke særlig godt egnet til å simulere el-effektbehov, hvor f.eks oppstart av vifter vil kunne gi høyt effektbehov i svært korte tidsperioder. Man benytter derfor i stor grad erfaringstall eller grove estimater, hvor man gjerne legger på sikkerhetsfaktorer for å være på den sikre siden. Man ser også bort fra samtidigheter, selv om f.eks behovsstyring av ventilasjonsanlegg og belysning nå er veldig utbredt. Økodesigndirektivet og energieffektive motorer gjør også at man får mindre effekttopper enn før. Evt bruk av solceller til produksjon av strøm vil også påvirke effektbehovet. Dette fører til at transformatorene blir overdimensjonerte og dermed mye dyrere enn de trenger å være.

Problemstillingen i oppgaven er dermed å komme frem til en metode for å beregne mer realistiske effektbehov i bygninger i tidlig fase.

Følgende deloppgaver er aktuelle:

- Litteratursøk og litteraturstudium for å undersøke hva som allerede finnes av kunnskap og erfaring
- Se på prosedyre for prosjektering av effektbehov i tidlig fase. Evt foreta intervjuer av RIV og RIE.
- Analyse av eksisterende case-bygg:
 - o Gjennomgå eksisterende måledata på elektrisk effekt
 - o Gjennomføre målinger på elektrisk effektbehov.
- Utvikle modell for å simulere effektbehov, f.eks i Matlab. Foreta simuleringer av ulike scenarier, hvor det tas hensyn til f.eks driftstider, samtidighet, virkningsgrader og bidrag fra solceller.
- Vurdering av dimensjoneringsgrunnlag for hovedkabler eller andre el-installasjoner kan også være aktuelt.

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med COWI. Ta kontakt med Tor Arvid Vik for nærmere opplysninger.

Fra liste av aktuelle deloppgaver har blitt valgt analyse av eksisterende case-bygg som hovedretningen til masteroppgaven. Måledata fra 2-3 næringsbygninger skal gjennomgås og analyseres i forbindelse med valgt deloppgaven. Måledata skal være på timesbasis. Ved hjelp av fagfolk fra COWI og intern veileder skal velges aktuelle poster for analyse.

Arbeidet med prosjektet skal rettes mot oppfinnelse om det er avvik mellom målt, prosjektert og installert effektbehov, hvor stort avviket er og hva er årsaker til feildimensjonering.

Litteraturstudiet, måldata fra energioppfølgingssystemer, analyse av prosjekteringsunderlag, befaringer og intervjuer skal benyttes for å gi et komplett og allsidig svar på problemstillinger som er satt opp. I tillegg skal det vurderes gjennomføring av feltmålinger og instrumenter som skal brukes til dette formålet.

Forord

Denne rapporten er resultat av arbeid med avsluttende masteroppgave på studiet Energi og Miljø i bygg ved OsloMet – Storbyuniveristetet. Arbeid med oppgaven er utført i perioden fra 2/01/2018 til 23/05/2018. Masterprosjektet er skrevet i samarbeid med COWI som har kommet med forslag til problemstilling og et case-bygg i Trondheim.

Jeg vil først og fremst takke min interne veileder Tor Arvid Vik for gode og klare retningslinjer, støtte i alle faser av arbeid og høy tilgjengelighet under oppgaveskrivingen.

Jeg vil også takke Anne Kristine Amble som var ekstern veileder fra COWI og hjalp med å opprette kontakt med rådgivende ingeniører som var involvert i oppgaven.

Deretter vil jeg i tillegg takke mine medstudenter for gode råd, lange dager på skolen og støtte i den hektiske perioden.

Arbeid med den problemstillingen har vært kjempespennende og lærerikt prosess og jeg håper at den rapporten blir like interessant og lærerik for leseren.

Sammendrag

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med COWI – et av Norges ledende rådgivende ingeniørselskap. Analyse av elektriske og termiske effekter i næringsbygg er en sentral del av rapporten hvor det utføres gjennomgang av tilgjengelig måledata på timesbasis med hovedfokus på effekttopper som oppstår under drift. Målet av analyse er en sammenligning av målt effektbehov til ulike tekniske systemer med tilsvarende prosjekterte og installerte verdier og dokumentering av avvik. Mulige årsaker til avvik formuleres og diskuteres etter representasjon av resultater av målinger.

Forarbeidet til prosjektet inneholder litteraturstudiet som er rettet mot definering av delproblemstillinger og kartlegging av erfaringer. Videre vurderes metoder som benyttes for å løse problemstillingen.

På bakgrunn av delproblemstillinger er det valgt 2 næringsbygg i 2 forskjellige klimasoner i Norge. Begge bygninger er BREEAM-sertifiserte og dermed inneholder tilstrekkelig antall av måleutstyr for ulike tekniske systemer. Måledata fra energioppfølgingssystemer i case-bygninger danner et grunnlag for analyse. Det er også gjort gjennomgang av tilgjengelig prosjekteringsunderlag fra ulike faser av prosjekteringen. Gjennomført befaringer var rettet mot kartlegging av installerte effekter og dokumentering av viktige driftsmessige forhold.

Gjennomført analyse har bekreftet hypotese at effektbehov til forskjellige tekniske systemer overdimensjoneres. Intervjuer med driftspersonalet og rådgivende ingeniører supplerer analyse av måledata. Diskusjon av oppnådde resultater generaliseres videre i form av konklusjoner fordelt på ulike poster.

Masteroppgaven bekrefter at dimensjonering av effekttopper er en viktig problemstilling med en rekke økonomiske og samfunnsøkonomiske konsekvenser og inneholder anbefalinger til videre arbeid.

Innholdsfortegnelse

1.0	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn for valg av tema	1
1.2	Litteraturstudiet	3
1.3	Problemstilling.....	10
1.4	Avgrensninger.....	10
1.5	Oppgavens oppbygning.....	11
2.0	Metode	12
2.1	Litteraturstudie.....	12
2.2	Intervjuer	13
2.3	Energioppfølging i case-bygninger	14
2.4	Case-bygninger	15
2.4.1	Bygg A.....	15
2.4.2	Bygg B.....	21
2.5	Analyse av måledata. EOS.	26
2.6	Befaringer i case-bygninger.....	26
3.0	Resultater og diskusjon	27
3.1	Måledata	27
3.1.1	Oversikt over kritiske situasjoner	27
3.1.2	Temperaturoversikt.....	28
3.1.3	Størst registrert total elektrisk effekt.....	32
3.1.4	ET-kurver	37
3.1.5	Ekstrapolering av effektbehov til oppvarming til DUT.....	41
3.1.6	Elkraft til varmepumper/kjølemaskiner	44
3.1.7	Termisk varme fra varmepumper	48
3.1.8	Elektrisk effekt til ventilasjonsanlegget	52
3.1.9	Termisk effekt til oppvarming.....	59
	<i>Termisk effekt til ventilasjon</i>	<i>59</i>
	<i>Romoppvarming i Bygg A.....</i>	<i>63</i>
3.1.10	Termisk kjøling fra varmepumper i Bygg B	65
3.1.11	Solproduksjon i case-bygninger	67
3.1.12	Belysning	73
3.3.13	Termisk effekt til snøsmelting.....	75

3.3.14	Samtidighet	77
3.4	Resultater av gjennomførte intervjuer	79
3.5	Resultater av befaringer	79
4.0	Konklusjon	82
	<i>Anbefalinger til videre arbeid</i>	84
5.0	Referanser	85
6.0	Vedlegg	87

Tabell liste

Tabell 1 - Veiledende verdier for effektbehov i kontorbygninger. NS 3032	7
Tabell 2 - Nøkkeltall til Bygg A.....	15
Tabell 3 - Oversikt over prosjekterte og installerte effekter i Bygg A.....	16
Tabell 4 - Teknisk data til varmpumpe i Bygg A	16
Tabell 5 - Ulike kjøremoduser av varmpumpe i Bygg A	17
Tabell 6 - Nøkkeltall til Bygg B.....	22
Tabell 7 - Teknisk data til varmpumpe i Bygg B.....	22
Tabell 8 - Oversikt over prosjekterte og installerte effekter i Bygg B.....	23
Tabell 9 - Oversikt over mulige kritiske situasjoner under drift av bygget	28
Tabell 10 - Dimensjonerende utetemperatur i Trondheim og Oslo	30
Tabell 11 - De kaldeste dagene. Oversikt over vintermånedene.....	31
Tabell 12 - De varmeste dagene. Oversikt over sommermånedene	31
Tabell 13 - Temperaturoversikt for 22. og 23.november. Bygg A. Voll målestasjon	33
Tabell 14 - Fordeling av effektverdier i Bygg A. 23.november 2017 - kl.12	33
Tabell 15 - Fordeling av effekter i energisentral og ventilasjonsanlegget. Bygg A. 23/11/2017 - kl. 12.....	34
Tabell 16 - Temperaturoversikt for 12. og 13.november. Bygg B. Lambertseter målestasjon.....	35
Tabell 17 - Temperaturoversikt. 4.-5.februar. Bygg B.....	37
Tabell 18 - Produsert termisk energi i kritiske dager. Bygg B	37
Tabell 19 - Målte og installerte effekter for varmeproduksjon i Bygg B.....	51
Tabell 20 – Prosjektert elektrisk effekt til ventilasjon. Bygg A.....	53
Tabell 21 - Teknisk data for ventilasjonsaggregat DVCompact E80	53
Tabell 22 - Effekttopper til hvert aggregat i periode 1.09.2017-28.02.2018. Bygg A.....	56
Tabell 23 - Installerte ventilasjonsaggregater. Bygg B	56
Tabell 24 - Effekttopper til hvert aggregat i periode 1.03.2017 - 28.02.2018	58
Tabell 25 - Endring av utetemperatur. 2/02/2018. Bygg B.....	60
Tabell 26 - Målt, prosjektert og installert varmeeffekt til ventilasjon i case-bygg	63
Tabell 27 - Målte og installerte effekter til romoppvarming i Bygg A.....	65
Tabell 28 - Spesifikk effekt til lys i Bygg A.....	73

Figur liste

Figur 1 - Spesifikk energibruk i ulike bygningskategorier. Hentet fra nve.no	3
Figur 2 - Representativ formålsdelt energibruk i kontorbygg. Hentet fra nve.no	4
Figur 3 - Utvikling av maksimal effekt og årlig elbruk. Hentet fra nve.no	4
Figur 4 – Elektrisk forbruk per time i løpet av kald vinterdag. Hentet fra nve.no	5
Figur 5 - Enova normtall for et kontorbygg.....	8
Figur 6 - Effektivitasjoner time for driftsdøgn i en normert beregning - personer. Hentet fra standard.no	9
Figur 7 - Konsekvenser av samtidighet på effekt til ventilasjon. Hentet fra Fjernvarmedagene.no	9
Figur 8 - Systemskjema for varme- og kjøleanlegg i Bygg A.....	18
Figur 9 - Oppkobling av energisentral i Bygg A mot nabobygg	19
Figur 10 - Ventilasjonsanlegg i Bygg A.....	20
Figur 11 – Varmtvannssystem i Bygg A	20
Figur 12 - Varmesentralen i Bygg B	24
Figur 13 - Ventilasjonsanlegg i Bygg B. System 360.01	25
Figur 14 - Temperaturoversikt for vintermåned. Bygg A.....	29
Figur 15 - Temperaturoversikt for vintermåned. Bygg B.....	29
Figur 16 - Temperaturoversikt for juni 2017 – september 2017. Bygg A.....	30
Figur 17 - Temperaturoversikt i Oslo. Juni 2017 - September 2017	30
Figur 18 - 15 høyeste verdier for elektrisk effekt i Bygg A	32
Figur 19 - Fordeling av effektforbruk i varmesentral og ventilasjon over et døgn. Bygg A. 23.november 2017	34
Figur 20 - 15 høyeste verdier for total elektrisk effekt i Bygg B.....	35
Figur 21 - Fordeling av elektriske effekter i Bygg B. 13. desember kl.12	36
Figur 22 - ET-kurve for Bygg A. Ukentlig energiforbruk	38
Figur 23 - ET-kurve for Bygg A. Produsert i EOS.....	38
Figur 24 - Effekt - temperatur diagrammet basert på timesverdier fra Bygg A (Vedlegg 1)	39
Figur 25 - ET-kurve for ukentlig energibruk. Bygg B.....	40
Figur 26 – Effekt – Temperatur kurve basert på timesverdier for Bygg B	41
Figur 27 - Effekt-Temperatur kurve for oppvarming i februar 2018. Bygg A.....	42

Figur 28 - Effekt-Temperatur kurve for oppvarming i februar 2018. Bygg B	43
Figur 29 - Elektrisk effekt til drift av VP i Bygg A	44
Figur 30 - Elektrisk effekt til drift av VP i Bygg A i løpet av ett døgn.....	45
Figur 31 - Elektrisk effekt til drift av varmepumper og kjølemaskin i Bygg B	46
Figur 32 - Total elektrisk effekt til drift av varmepumper og kjølemaskin i Bygg B	46
Figur 33 - Total elektrisk effekt til drift av varmepumper i Bygg B i løpet av 1 døgn	47
Figur 34 - Elektrisk effekt til drift av varmepumper i kjølemodus og kjølemaskin i Bygg B.....	48
Figur 35 - Termisk effekt fra VP. Bygg A.....	49
Figur 36 – Produsert termisk effekt i Bygg B: VP + Elkjel + overskuddsvarme.....	49
Figur 37 - Termisk effekt fra VP for et døgn. 26/02/2018 Bygg A.....	50
Figur 38 - Termisk effekt fra varmepumpe/elkjel samt overskuddsvarme fra datarom for ett døgn. Bygg B. 23/02/2018.....	50
Figur 39 - Produsert varme i Bygg B. 26/02/2018.....	51
Figur 40 - Varighetskurve for overskuddsvarme fra serverrom i Bygg B	52
Figur 41 - Elektrisk effekt til ventilasjon. Februar 2018. Bygg A	54
Figur 42 - Elektrisk effekt til ventilasjon i løpet 1 døgn i Bygg A. 12.februar 2018.....	54
Figur 43 - 15 høyeste effekter til hvert ventilasjonsaggregat i Bygg A	55
Figur 44 - Elektrisk effekt til ventilasjonsanlegget i Bygg B.....	57
Figur 45 - Elektrisk effekt til ventilasjon. Bygg B. 27/02/2018	57
Figur 46 - 5 effekttopper til ventilasjonsaggregater i Bygg B.....	58
Figur 47 - Termisk effekt til ventilasjon. Februar 2018. Bygg A	60
Figur 48 - Termisk effekt til ventilasjon. 2/02/2018. Bygg A.....	60
Figur 49 - Termisk effekt til ventilasjon. Februar 2018. Bygg B	61
Figur 50 - Termisk effekt til ventilasjon. 26/02/2018. Bygg B.....	62
Figur 51 - Effekt til grenstaver. 26/02/2018. Bygg B.....	62
Figur 52 - Termisk effekt til radiatorer. 2/02/2018 Bygg A.....	64
Figur 53 - Termisk effekt til varmekonvektor i glassgård. Bygg A.....	64
Figur 54 - Termisk effekt til gulvvarme. Bygg A.....	65
Figur 55 - Termisk kjøling fra varmepumper i Bygg B	66
Figur 56 - Termisk kjøling fra varmepumper i Bygg B. 29/05/2017	66
Figur 57 - Produsert effekt fra solceller i Bygg A.....	67

Figur 58 – Produsert effekt fra solceller i Bygg B. Mars 2017 - januar 2018	68
Figur 59 - Solproduksjon i case-bygninger over 1 døgn	69
Figur 60 - Solproduksjon i Bygg A. 20. januar 2018.....	69
Figur 61 - Varighetskurve til elektrisk effekt fra solceller i Bygg A.....	70
Figur 62 - Varighetskurve til elektrisk effekt fra solceller i Bygg B.....	70
Figur 63 - Produsert kjøling vs solproduksjon i Bygg B. Juni 2017	71
Figur 64 - Sammenheng mellom solproduksjon, effekt til kjøling og elektrisk effekt til VP. 19/06/2017. Bygg B.....	72
Figur 65 - Sammenheng mellom solproduksjon og total elektrisk effekt. 8/09/2017. Bygg A.....	73
Figur 66 - Effektbehov for belysning i Bygg A. Måleperiode: 1/01/18 - 27/02/18	74
Figur 67 - Effektbehov til belysning i Bygg A. Måledata for 7/02/2018	75
Figur 68 - Termisk effekt til snøsmelting. Februar 2018. Bygg A	76
Figur 69 - Termisk effekt ti snøsmelting. Februar 2018. Bygg B	76
Figur 70 -Samtidighet på byggnivå i januar 2018. Ventilasjon. Bygg B	77
Figur 71 - Samtidighet på byggnivå i februar 2018. Ventilasjon. Bygg B	78
Figur 72 - Samtidighet på byggnivå i mars 2018. Ventilasjon. Bygg B	78

1.0 Innledning

1.1 Bakgrunn for valg av tema

Det nye byggetekniske forskriftet har fått nye energirammer for ulike bygningskategorier. De nye kravene er skarpere og fører til reduksjon av energibehov til oppvarming. De tilsvarer passivhusnivå og planen er å skjerpe dem enda mer til nesten nullenerginivå i fremtiden. Bygg som skal bygges i 2018 og fremover skal være veldig tette. Årsaken til det er skarpe krav til:

- u-verdier til gulv, vinduer og dører,
- lekkasjetall,
- varmegjenvinning,
- SFP til ventilasjon.

Implementering av løsninger i bygg som er rettet mot bruk av fornybar energi er allerede en tendens i byggesektoren. Først og fremst er dette:

- solcellepaneler som dekker en god del av energibehovet til bygningen,
- solfangere,
- bergvarmepumper (jordvarme).

Konsekvensen av skarpe krav i TEK 17 og bruk av fornybar energi i bygninger er forandring i energi forbruksmønster som forårsaker reduksjon av elektrisitetsforbruket kjøpt fra nett.

De to nevnte faktorene skal tas hensyn til ved dimensjonering av elektrisk anlegg for nye bygg. Strategien for dimensjonering i dag baseres på «erfaringstall» som stadig mister sin relevans (Ormbostad, 2003). Elektrisk anlegg i de nye byggene er ofte overdimensjonert. Klarer en å unngå overdimensjonering, åpnes mulighet for betydelig besparelser i produksjonsfase og driftsfase. Transformatorer som forsyner bygget og leveres fra nettleverandør er veldig dyre elementer og derfor riktig dimensjonering spiller så stor rolle. I tillegg reduseres tomgangstap for transformator ved riktig dimensjonering samt energitap i kabler og føringer.

På den andre siden dimensjonering av elektrisk anlegg baseres på maksimalt installert effekt i bygget. Riktig dimensjonering skal sørge at elektrisk anlegg tåler maksimal belastning i et bygg.

Den høyeste effekttoppen er en hovedparameter for utforming av strømnettet. Hvordan denne parameteren defineres er meget viktig. Der er det tre punkter som skal man se nøye på:

1. Effektkrevende utstyr: pumper, elektriske motorer, vifter, kjølemaskiner, induksjonspaneler, ladere til elbiler, osv.
2. Samtidighet.
3. Bidrag fra stømproduserende utstyr.

Siden mange aktører påpeker til overdimensjonering av elektriske anlegg, kan en anta at tall, som brukes i prosjektering i dag, ikke er helt riktige. Utfordringen er at dimensjonering skjer i tidlig fase og tall for forbruk og samtidighet for et konkret nybygg er ikke tilgjengelige. Estimering for opplysninger om energibehovet pågår ved bruk av «erfaringstall» fra lignende bygningskategorier. Ved ulike faser av prosjektering brukes sikkerhetsmarginer som fører i praksis til betydelig økning av maksimal effekt, som ofte er unødvendig når bygg er i drift.

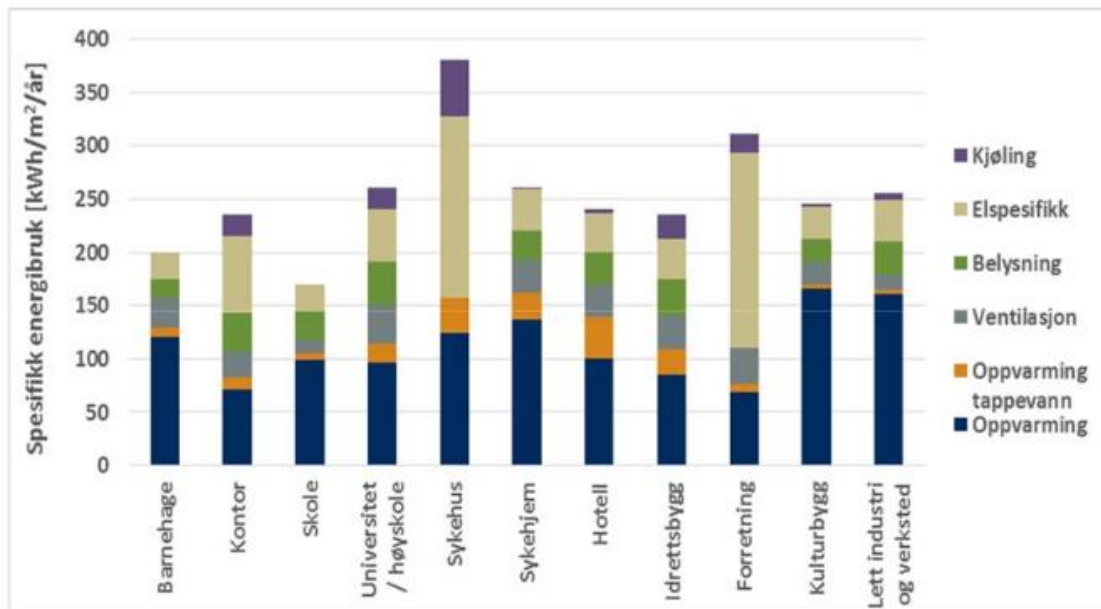
Når det gjelder elektrisk utstyr, kan en ikke bruke ordinære simuleringsverktøy til å simulere elektrisk effektbehov. Noen komponenter, for eksempel vifter og pumper, kan gi høyt sprang i effektbehovet i svart korte tidsperioder - såkalt effekttopp. De toppene kan ha stor variasjon for ulike modeller av komponenter. Energieffektive motorer har nok lavere effekttopper enn gamle modeller av motorer.

Når det gjelder samtidighet, er det meget viktig å kartlegge den for ulike bygningskategorier og ta hensyn til el-produksjon fra solceller, virkningsgrader og driftstider (Johansen, 2013). Estimering av samtidighetsfaktor for nybygg med moderne elektrisk utstyr, installert solceller eller bergvarmepumpe, DCV-ventilasjon er interessant forskningsspørsmål.

Alt som ble nevnt ovenfor gir et godt grunnlag for å velge dette temaet som hovedretning for masteroppgave. Både rådgivende elektroingeniører og rådgivende VVS-ingeniører har ansvar for den delen av prosjekteringen. Dette forskningsspørsmål er meget aktuelt i byggebransjen akkurat nå, som bekrefter veiledere på skolen og co-veiledere fra COWI.

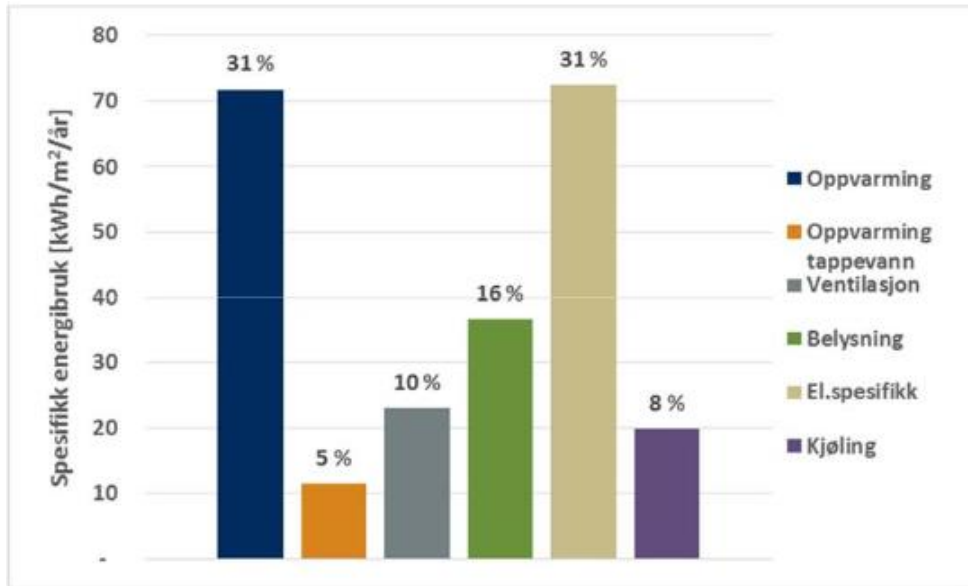
1.2 Litteraturstudiet

Energi og effekt er to viktige parametere for kraftsystemer. Energi måles i kWh og er en verdi som er tett knyttet til tid først og fremst. Effekt måles i kW og er en verdi som karakteriserer hvor mye energi kan produseres eller brukes av tekniske installasjoner samtidig. De siste årene kan karakteriseres med kontinuerlig stagnasjon av energiforbruket. Det er flere årsaker til dette. Men nøkkelparameter er reduksjon av energien som brukes til oppvarming av bygninger. Ulike typer bygninger har varierende energibruk til oppvarming, kjøling, belysning, ventilasjon, osv. (Figur 1).



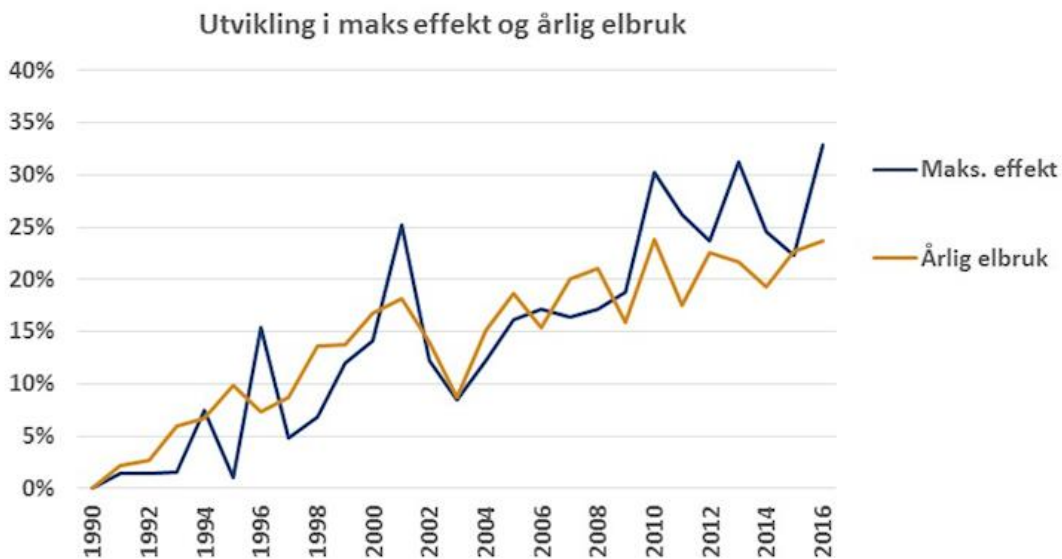
Figur 1 - Spesifikk energibruk i ulike bygningskategorier. Hentet fra nve.no

Den parameteren er avhengig av bygningsmassens tekniske standard. Moderne kontorbygg har vesentlig lavere energi som brukes til romoppvarming, som utgjør ca. 30% av totalt forbruket. Noe som bekreftes i Rapport nr. 24-2016 fra NVE (Langseth, 2016). Figur 2 viser formålsdelt energibruk basert på analyse av 5 kontorbygninger i Norge.



Figur 2 - Representativ formålsdelt energibruk i kontorbygg. Hentet fra nve.no

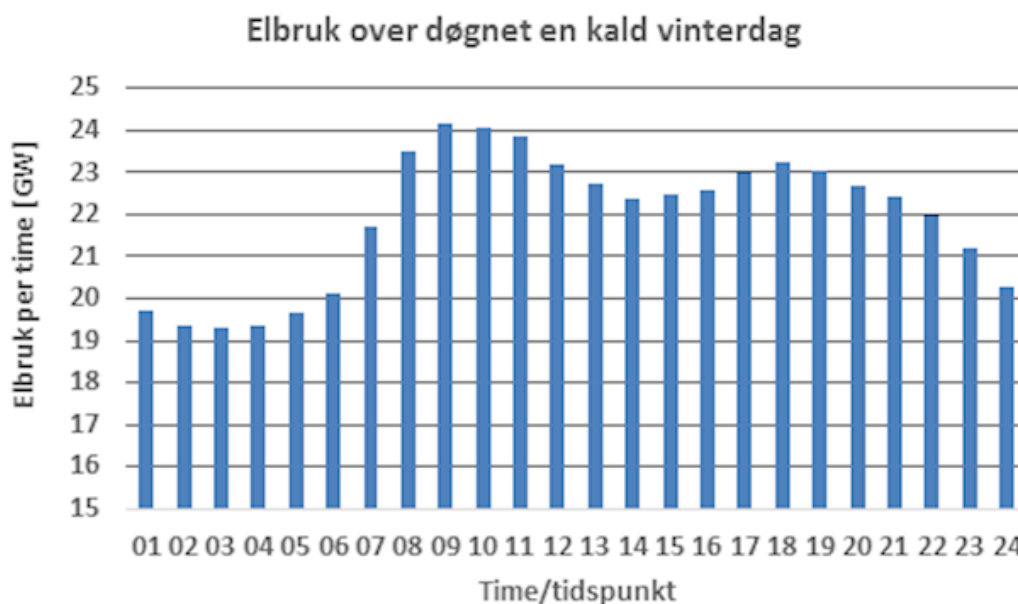
Effektbehov i bygningsmasse har en motsatt tendens. Selv om effekt til oppvarming vokser ikke lenger, er det stadig større effekter som kreves til kjøling formål, effektkrevende apparater og elbilparken som er i stor vekst (Norges vassdrags- og energidirektorat [NVE], 2016). Historisk utvikling av maksimal elektrisk effekt i Norge er vist i Figur 3.



Figur 3 - Utvikling av maksimal effekt og årlig elbruk. Hentet fra nve.no

Riktig effektdimensjonering, lavere behov til oppvarming og flytting av forbruk til tidspunkter på døgnet med lavere belastning har potensialet til demping av dagens utvikling. Elektrisk forbruk

per time for en typisk vinterdag i Norge er vist i Figur 4. Effekttopper som oppstår tidlig på morgen og på ettermiddag kan reduseres ved å flytte belastning på andre tidspunkter.



Figur 4 – Elektrisk forbruk per time i løpet av kald vinterdag. Hentet fra nve.no

Mange kilder påpeker at det er stadig flere og flere kontorbygg hvor effektbehov til kjøling er dimensjonerende. Stor rolle der spiller effekten som trengs til kjøling av datasentraler og servere. Og det skaper problemer til dimensjonering a byggetekniske anlegg. Problemer oppstår på grunn av manglende metode for beregning av effektbehov. Det stilles ingen krav til hvordan effektbehov skal dimensjoneres. Og hvis fremgangsmåte til beregning av varmeeffekt er kjent og beskrevet, så kjøleeffekt er et kunnskapshull foreløpig. Metode for dimensjonering av energisentraler er ikke oppgitt i noen standarder eller veiledninger og den prosessen utføres på ulike måter i bransjen. Bransjepraksis er ikke kartlagt heller. Ifølge Ida Bryn er dette en av mulige årsakene til alt for kraftige energisentraler. Risiko å underdimensjonere er også en viktig årsak til overdimensjonering (gjengitt etter Lie, 2016).

Ifølge Bryn er det en rekke konsekvenser knyttet til overdimensjonering. Feildimensjonering fører til altfor store komponenter i energisentraler, svært kostbart stort arealbehov til tekniske installasjoner, altfor høye investeringskostnader og generelt dårlig lønnsomhet i mange ledd. Overdimensjonerte komponenter går mest parten av tiden på dellast og dette fører til dårlig virkningsgrad (gjengitt etter Granås, 2016).

Overdimensjonering av effektbehovet er noe som bekreftes av ulike aktører i e-verket. Energileverandører påpeker at kunder bestiller over femti prosent effekt enn de faktisk trenger. Dette er et samfunnsøkonomisk problem med økende relevans. Slutføring av innføring av AMS målere er planlagt til 2020 og dette danner en grunn til innføring av effekttariffer. Effekttariffer anses som den mest samfunnsøkonomiske måten å utarbeide nettariffer på og skal standardiseres. Kunder må tilpasse seg til den nye måten for tariffutføring og ha kontroll over effekttopper som oppstår under drift av bygninger. Ifølge Teknisk Ukeblad (Løvik, 2018), som oppsummerte resultater fra husholdninger i Fredrikstad som testet en ny effektbasert tariff, ble energiforbruket redusert med 25 prosent og den samme reduksjon ble oppnådd i det maksimale effektuttaket. Dette er en god grunn for NVE til vurdering av innføring av tariffmodell som skal baseres på enten abonnert effekt eller maksimal effektuttaket i løpet av en måned. Den nye modellen har også potensialet til økning av implementering av energiproduserende løsninger i moderne bygg. Kraftproduksjon fra solceller, solfangere, bruk av energibrønner til kjøling om sommeren er tekniske løsninger som kan redusere effekttopper og har høye økonomiske innvirkninger.

NVE kommer med forslaget om abonnert effekt ut på høring og i den sammenheng riktig effektdimensjonering er absolutt nødvendig. Dagens metode for beregning av varmeeffektbehov inneholder metoder som er beskrevet i NS-EN 12831-1:2017 Bygningers energiytelse - Metode for beregning av dimensjonerende effektbehov til varme - Del 1: Effektbehov til oppvarming. Metoder er ganske forenklet og tar ikke hensyn til interne laster, driftstider, soltilskudd og termisk masse i bygninger. I praksis betyr dette dimensjonering av fullt oppvarmet bygg med full drift av tekniske installasjoner, men uten noen internvarme for den kaldeste middeltemperatur over 3 døgn i periode fra 1961 til 1990. Dette svekker metode betydelig og i moderne tette bygninger fører til overdimensjonering. Når dimensjonering videreføres fra romnivå til bygningsnivå og effekt til energisentral beregnes, legges inn ofte sikkerhetsfaktorer som fører til enda større overdimensjonering av anlegget.

Dagens metode for prosjektering av bygninger har ikke krav til utforming av effektbudsjett som kunne være nyttig hjelpemiddel ved planlegging, prosjektering og drift av bygningsmasse. Men tidligere var effektbudsjett en del av standardisert metode. Retningslinjer for oppbygning av

effektbudsjett var gitt i NS 3032: 1984 Bygningers energi- og effektbudsjett. Effektpostene fra den gamle standarden og veiledende verdier er fortsatt tas hensyn til i grove beregninger og estimering av effektbehov i bygninger. Følgende poster skulle føres til effektbudsjettet som samtidig effektbehov i kW og effektbehov dividert med brutto oppvarmet gulvareal i W/m²:

- Oppvarming
- Ventilasjon
- Varmtvann
- Vifter/pumper
- Belysning
- Diverse
- Kjøling.

Veiledende verdier i NS3032 for kontorbygg var følgende (Tabell 1):

Bygningstype	Samtidig effektbehov, W/m ²		
	Lav	Middels	Høy
Kontorbygg nye	35	40	50
Kontorbygg eksisterende	40	50	60

Tabell 1 - Veiledende verdier for effektbehov i kontorbygninger. NS 3032

Tall som er oppgitt i tabellen gjelder for Oslo-klima og innetemperatur på 20°C. For dimensjonering i andre klimasoner brukes temperaturkorreksjonsfaktorer. Verdier i Tabell 1 tar hensyn til samtidighet. Noe som er veldig viktig i beregning av maksimal effekt som danner grunnlag for dimensjonering av leveringstransformator. Hva slags forutsetninger brukes for samtidighet i ulike bygningstyper kommer ikke frem i standarden.

Videreføring av NS 3032 er Manual for Enøk normtall. Manualen ble oppdatert sist i 1997 og inneholder normtall fra akkurat samme poster som i NS 3032. Normtall er oppgitt for 9 bygningstyper i 7 klimasoner i Norge og er i bruk i bransjen for prosjektering i tidlige faser (Enova, 2004). Utkast av normtall for et kontorbygg med plassering i Sør-Norge, innland er visst i Figur 5.

Klimasone: 1.Sør-Norge, innland	Kontorbygg					
	Eldre bygg		Byggeforskrift 1987		Byggeforskrift 1997	
	kWh/m ²	W/m ²	kWh/m ²	W/m ²	kWh/m ²	W/m ²
1. Oppvarming	79	52	48	39	30	31
2. Ventilasjon	32	42	35	47	24	33
3. Varmtvann	10	6	10	6	10	6
4. Vifter & pumper	17	6	21	8	17	6
5. Belysning	32	16	32	16	26	13
6. Diverse	24	14	24	14	24	14
7. Kjøling	4	15	4	15	4	15
Total	198		174		135	

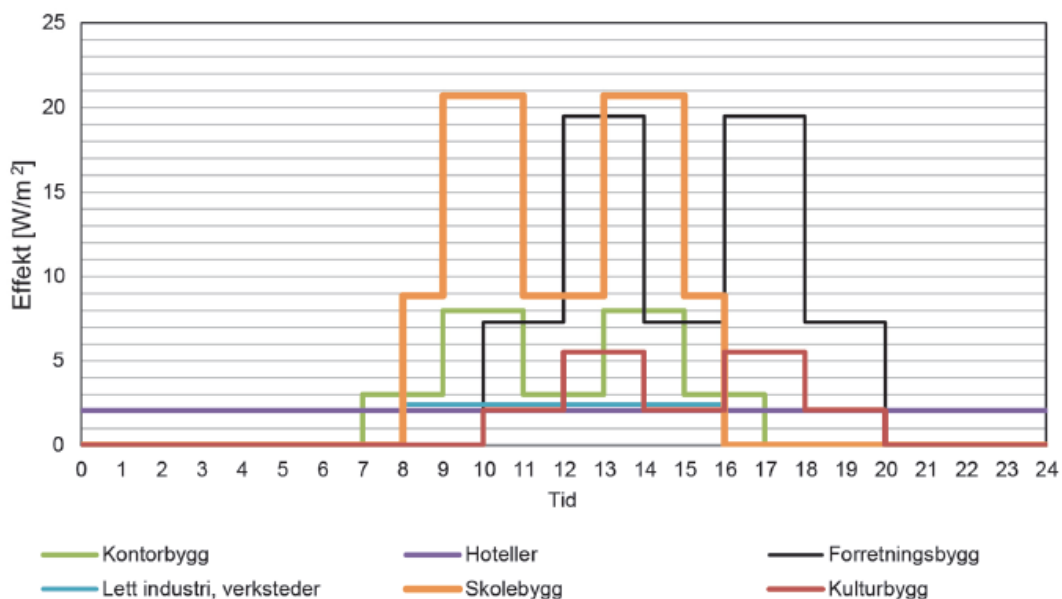
Figur 5 - Enova normtall for et kontorbygg

Effektbehov i Enova normtall tar hensyn til samtidighet og oppgitte verdier tilsvarer maksimalt samtidig effektbehov for hver enkelt budsjettpost. Hvilke betraktninger for samtidighet ligger i disse tallene kommer ikke frem i rapporten fra Enova.

Den nyeste utgaven av NS3031, som har foreløpig status «Teknisk spesifikasjon» underbygger påstand at samtidighet og bruk av bygninger er meget viktige parametere for beregning av energitekniske installasjoner. Den nye standarden er rettet mot mer helhetlige energiberegninger for alle typer bygg og inneholder blant annet effektvariasjoner per time for driftsdøgn i normerte beregninger for de postene (SN/TS 3031: 2016):

- Varmtvann
- Teknisk utstyr
- Personer
- Belysning.

Eksempel på grafisk fremstilling av varmetilskudd fra personer til ulike bygningskategorier er visst i Figur 6. Det er et steg fremover til beregninger og simuleringer som tar hensyn til samtidighet og bruksprofiler av bygningsmassen.



Figur 6 - Effektvariasjoner time for driftsdøgn i en normert beregning - personer. Hentet fra standard.no

Ifølge Bryn og hennes presentasjon på Fjernvarmedagene er kunnskap om bruk og drift av bygg er avgjørende både for lønnsomhet i investering og drift. Ulike betraktninger for samtidighet for ventilasjon, for eksempel, gir ganske store variasjoner i effekt til oppvarming og kjøling, opptil +/- 22,5 % (Figur 7) (Bryn, 2017).

Samtidighet på ventilasjon	Effekt MW	Endring	Effekt MW	Endring
	Varme		Kjøling	
40 %	3,0	- 22,5 %	2,0	-18,5 %
60 %	3,9	-	2,4	-
80 %	4,7	+22,5%	2,9	+18,5 %

Figur 7 - Konsekvenser av samtidighet på effekt til ventilasjon. Hentet fra Fjernvarmedagene.no

En parameter til som skiller moderne kontorbygg fra eldre bygningsmassen og påvirker elektrisk effektbehov er moderne energieffektive motorer og bruk av frekvensomformere. Per i dag tas det ikke hensyn til Økodesigndirektivet og frekvensomforming ved prosjektering i tidlige faser. Gjennom Koyoto-avtalen har Norge forpliktet seg til å redusere sitt energibehov frem mot 2020. På dette grunnlaget har blitt Økodesigndirektivet innført i 2011. Direktivet setter krav til mange ulike produkter. For elektriske motorer er minimumskravet IE2 (hvis motor er turtallsregulert)

eller IE3. EC-motorer er 30-60% mer energieffektive enn AC-motorer som ble brukt før (Systemair, 2018). Antall av vifter og elektriske motorer i moderne byggetekniske anlegg er stort og Direktivet burde reflekteres i normtall som brukes ved prosjektering.

Styring av elektriske motorer, vifter og pumper med frekvensomformere er også relativt ny tendens i byggebransjen. Frekvensomforming gir store besparelser ikke bare på energiledd men også effektmessig. Det relative effektbehovet for en pumpe, for eksempel, som løper med 50% pådrag er bare 1/8 del av effekten ved fullt turtall. Frekvensomformere sørger også for myk start av motorer ved å redusere startmomentet og startstrøm. Slik reduseres svært høye effekttopper (ABB, 2010).

1.3 Problemstilling

Masteroppgaven skal se på muligheter til å gjennomføre dimensjonering av elektrisk forsyningsanlegg for nybygg på en optimal måte gjennom analyse av måledata fra eksisterende kontorbygg i Norge.

Problemstillingen til oppgaven dannes av tre delproblemstillinger som skal bearbeides:

- 1) Undersøke hvor stort er avvik mellom prosjektert og målt effektbehov.
- 2) Undersøke hvor stort er avvik mellom prosjektert og installert effekt. Finne ut hva er mulige årsaker til dette.
- 3) Forslag for mulige årsaker til feil dimensjonering av effektbehov basert på resultater av dataanalyse og intervjuer med rådgivende ingeniører og driftspersonell.

Oppgave skal undersøke effekttopper for moderne VVS-komponenter, gjennomføre analyse av effektforbruk ved ulike tidspunkter, kartlegge effekter og samtidighet.

1.4 Avgrensninger

Arbeid med problemstillingen avgrenses av følgende faktorer:

- Begrenset antall bygg som er tilgjengelig for analyse. Det er to årsaker til dette:
 1. Kun nye og ofte BREEAM-sertifiserte bygg er utstyrt med tilstrekkelig antall av målere og SD-anlegg.

2. Det er vanskelig å opprette kontakt med byggeiere som ønsker å gi tilgang til sitt energioppfølgingsystem.
- Begrensninger i forbindelse til tilgjengelig data. Fullstendig arbeid med hvert bygg forutsetter tilgang til måledata, prosjekteringsunderlag fra ulike faser, kartlegging av installerte effekter og befaring. Det er ikke alt som er nevnt er tilgjengelig for hvert eneste bygg som er med i prosjektet. Noe som gjør analyse ikke helt komplett.
 - Tidskrevende dialog med prosjekterende og driftspersonell. Det er mange personer som er involvert i masteroppgave. Kommunikasjon med disse tok ofte ganske lang tid. Noe som spiller stor rolle for masterprosjekt som varer kun 4,5 måneder.
 - Feltmålinger er en metode som kunne supplere godt informasjon som er tilgjengelig gjennom energioppfølgingsystemet og har blitt vurdert til benyttelse i masteroppgaven. På grunn av noen praktiske årsaker var det ikke mulig å bruke det instrumentet.
 - Manglende tilgang til SD-anlegg i case-bygninger. SD-anlegg har ofte funksjoner som gir oversikt over tilstedeværelse og samtidighet. Også gir SD-anlegg mulighet til å lese nåverdier til energitekniske installasjoner. Dette var utilgjengelig i løpet av arbeid med den masteroppgaven.
 - Begrenset periode med måledata gav ikke mulighet til analyse av alle planlagte effektposter. På ett av case-bygg var det tilgjengelig kun 6 måneder med måledata.

1.5 Oppgavens oppbygning

Oppgaven er bygd opp med metodedel, resultater- og diskusjonsdel, og konklusjon. Metodedelen inneholder kort beskrivelse av alle metoder som var benyttet i oppgaven. I kapittel «Resultater og diskusjon» presenteres resultater av gjennomført arbeid som videre diskuteres og analyseres. Konklusjonsdel oppsummerer hovedfunn av oppgaven og gir anbefalinger til videre arbeid.

2.0 Metode

Det er flere metoder som ble benyttet i forbindelse med arbeid med dette masterprosjektet. Variasjon i brukte metoder sikrer allsidig arbeid med problemstillingen som var satt av COWI. Benyttede metoder var tilpasset valgte avgrensninger i prosjektet og hadde et mål å realisere utfyllende og mest mulig komplett analyse av effektopper problematikken.

Følgende metoder skal beskrives videre i teksten:

- Litteraturstudie
- Intervjuer
- Analyse av måledata
- Befaringer.

2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie ble aktivt benyttet i forbindelse med masteroppgaven. Det er verktøyet som ble brukt i alle faser av arbeidet som ble gjennomført.

I tidlig fase av arbeid med masteroppgaven benyttes litteratursøk først og fremst for å få en bred forståelse av problemstilling som var satt opp. Litteraturstudie i oppstart hjelper mye med utbygging av oversikt over feltet og oppfølging av tråder i problematikken av dimensjonering av effektbehov og effektopper. I begynnelsen er det ofte nyttig å studere hva som er gjort allerede i retningen som undersøkes. Tidligere erfaringer gjør det mulig å lyse opp kunnskapshull innenfor fagområde oppgaven handler om.

Litteraturstudie har også positiv påvirkning til forståelse av relevans av valgt tema og utarbeidelse av framdriftsplan. Ut ifra kommunikasjon med intern og ekstern veileder ble det bekreftet at dimensjonering av effektbehov og effektopper er et tema som vekker oppsikt i bransjen. Derfor var det nesten nødvendig å kartlegge erfaringer og tidligere arbeid, bli kjent med metoder som ble brukt til å løse lignende problemstillinger.

Effektopper er en problemstilling som er et grensesnitt mellom elektrofaget og VVS-faget. For å angripe tverrfaglighet av prosjektet var det lurt å studere en del litteratur og faglig stoff som var relativt nytt i forhold til kunnskaper som ble allerede fått i studieløp på Energi og Miljø linje. Dette sikret produktiv kommunikasjon med personer med ulik faglig bakgrunn som var involvert i prosjektet.

2.2 Intervjuer

For å undersøke erfaringer i bransjen som er relatert til effekttopper, effektforbruk og dimensjonering av effektbehov benyttes åpne individuelle intervjuer. Denne formen er godt egnet for en slik prosjekt siden den tilbyr grundig og fullstendig beskrivelse av problematikken som undersøkes. Individuelle intervjuer er godt egnet for relativt få undersøkende objekter. Intervjuspørsmål har ikke noen faste svaralternativer. Det er absolutt nødvendig for innsamling av flersidig informasjon om prosjektets tema. En slik kompleks innsamling er krevende med tanke på tolkning, systematisering og tid (Dalland, 2017).

Intervjuobjekter er personer som har erfaringer med prosjektering av elektriske og energitekniske anlegg for kontorbygg og driftspersonell som drifter case-bygninger. Intervjuer er ikke anonyme i utgangspunktet. Men anonymitet kan sørges hvis intervju objekter ønsker det.

Følgende aktiviteter er gjennomført i forbindelse til forberedelse av intervjuer:

- Opprettelse av kontakt med prosjekterende og driftspersonell
- Valg av format: Skype, e-post, ansikt-til-ansikt
- Utarbeidelse av spørreskjemaer som er tilpasset til intervjuobjekter.

Intervjuer har en supplerende rolle til datainnsamling som gjennomføres i løpet av prosjektet.

Spørsmål som stilles opp under intervjuer tilpasses til person som intervjueres, stilling og erfaring av denne personen. Spørreskjema inneholder noen faste og generelle spørsmål, men i praksis utfylles med ikke planlagte spørsmål innenfor tema og mål som var bestemt (Ibid.).

Formålet med intervjuer er å få erfarne rådgivende ingeniører og driftsansvarlige av case-bygninger til å levere relevant informasjon som kan hjelpe å oppdage ulike årsaker til overdimensjonering av effekttopper i kontorbygninger, leveringstransformatorer og føringer og kabler.

Etterarbeidet:

- Skrivning ut av intervjuet med notering av alle relevante svar og tanker
- Justering av spørsmål som benyttes i intervju hvis det er nødvendig
- Systematisering av svar fra ulike personer.

2.3 Energioppfølging i case-bygninger

Moderne bygninger er utstyrt med mange ulike målere som åpner mulighet for energioppfølging - systematisk kontroll av energibruk som ofte representeres med tilsvarende temperaturmålinger. Energioppfølging er et veldig viktig verktøy for effektiv regulering av energitekniske installasjoner og effektiv bruk av energikilder som brukes i bygninger. Moderne energioppfølgingssystemer er meget representative og hjelper å oppdage sparepotensialer for bygninger og registrere avvik i driftsfase så fort som mulig.

Energioppfølgingssystemer brukes aktivt i dette prosjektet fordi de tilbyr detaljert oversikt på hvordan energi- og effektforbruket er i bygg som undersøkes både på kort og lang sikt. Aktiv bruk av energioppfølgingssystemer i moderne næringsbygg i de siste årene og analyse av tilgjengelig data gjør det mulig å korrigere erfaringsbaserte tall som brukes for dimensjonering av effektbehov i bygg og utarbeide mer realistiske forutsetninger. Med andre ord energioppfølging er et godt instrument som må brukes i bransjen for mer nøyaktig dimensjonering.

Nøyaktig dimensjonering følger ikke bare til viktige miljømessige forhold men også til positive økonomiske konsekvenser. Energioppfølging gir kunnskap hvordan energibruk og reduksjon av effekttopper ved kritiske tidspunkter kan tilpasses til variasjoner i energiprisene som gjelder i dag. Når det gjelder analyse av effekttopper i case-bygninger og analyse av effektforbruk generelt, kan EOS være til stor hjelp. Det er spesielt viktig at EOS registrerer verdier på timesbasis og at ET-kurver er tilgjengelige.

ET-kurve er et viktig hjelpemiddel i arbeidet med energioppfølging. ET står for energi og temperatur. Dvs. at ET-kurve viser energien, som ble brukt i bygget som funksjon av utetemperatur. Kurve viser hvor mye energi bruker et konkret bygg ved ulike temperaturforhold, hvor mye energi danner interne laster i et bygg og hvor energieffektivt bygg er.

Knekkepunktet som ofte skjer ved 10-15 °C indikerer at oppvarmingsbehovet for bygget er dekket av interne laster. Temperatur for knekkepunktet er avhengig av byggets konstruksjon, alder og bruksmønster. Bygninger med kjøleanlegg har ET-kurver med to knekkepunkter. Kurve stiger opp når utetemperatur er større enn settpunktet for operativ innetemperatur.

2.4 Case-bygninger

To case-bygninger skal analyseres i forbindelse med masteroppgaven. Det første bygget – Bygg A er et BREEAM-sertifisert næringsbygg i Trondheim. Det andre bygget - Bygg B er et BREEAM-sertifisert næringsbygg i Oslo.

2.4.1 Bygg A

Bygg A har et bruksareal på over 9000 m². Bygningen har passivhusstandard. Bygg A består av 6 etasjer. 5 av disse ligger over terreng. Underetasjen ligger på terreng og delvis under terreng. Den består av kontorlokaler og p-kjeller. Den øverste etasjen består av tekniske rom. Resten av bygget er kontorlokaler. Bygget er utstyrt med solceller som er montert på veggene mot øst, syd og vest samt takene på den øverste etasjen.

Nøkkeltall i Tabell 2 ble brukt i prosjektering av det næringsbygget i Trondheim.

U-verdi yttervegg [W/m ² K]	0,17
U-verdi tak (W/m ² K)	0,15
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,11
U-verdi vinduer og dører[W/m ² K]	0,78
Varmegjenvinningsgrad [%]	82
n ₅₀	0,3
SFP-faktor [kW/(m ³ /s)]	1,6
Arealandel for vinduer, dører og glassfelt (% av BRA)	21,4
Maks operativ temperatur [°C]	22
Min operativ temperatur [°C]	21

Tabell 2 - Nøkkeltall til Bygg A

Varme- og kjølesystem

Bygget har avansert varme- og kjølesystem (Figur 8). Kombinert varmepumpe- og kjøleanlegg som er koblet til 25 energibrønner med 250 m dybde hver står for energiproduksjon i Bygg A. Anlegget er beregnet for å dekke hele behovet for romoppvarming, oppvarming av tilluft, varmt vann, klimakjøling og prosesskjøling. Det finnes også mulighet til levering av overskuddsvarme til

nabobygg eller til energibrønnene i fjell utenfor fyringssesongen. Fjernvarme brukes som spisslast og dimensjonert til å dekke effekt på 380 kW. Dimensjonering av anlegget er utført slik at det ikke er behov for bruk av fjernvarme ved normale forhold.

Tabell 3 viser prosjekterte verdier for kjøling og varme med tilsvarende installerte verdier.

	Prosjektert effekt, kW	Prosjektert detalj, kW	Installert effekt, kW
Varmebehov: <ul style="list-style-type: none"> • Rom- og ventilasjonsvarme 	170	360	395
Varmebehov: <ul style="list-style-type: none"> • Rom-/ ventilasjonsvarme • snøsmelting 	236	445	480
Kjølebehov: <ul style="list-style-type: none"> • Ventilasjonskjøling • lokal kjøling • prosesskjøling 	290	331	331

Tabell 3 - Oversikt over prosjekterte og installerte effekter i Bygg A

Ut ifra prosjekteringsunderlaget kommer det frem at kjølebehovet er dimensjonerende for Bygg A. Det var en forutsetning for dimensjonering av varmepumpe.

Installert varmepumpe fra Oilon Scancool har R134a som arbeidsmedium, uavhengige kuldemediekretser, store varmevekslerflater, elektronisk strupeventil og høyeffektive stempelkompressorer med turtallsregulering. Turtallsregulering sikrer høy effektfaktor både ved fullast og dellast. På det ene aggregatet sørger seriekoblet kondensatorer og overhetningsvarmeveksler 100% varmtvannsberedning. Dimensjonerende temperaturnivå i varmesystemet er 60/50 grader Celsius. Men det finnes mulighet til å øke turtemperatur til 65-70 grader Celsius. Tabell 4 viser energitekniske ytelser til installert varmepumpe.

	Varmeeffekt, kW	Kjøleeffekt, kW	Elektrisk effekt, kW	COP
Kjølemodus	144	298	81	4,6
Varmemodus	227	379	84	2,7

Tabell 4 - Teknisk data til varmepumpe i Bygg A

Energisystemet er tilpasset for leietaker av bygget som har høyt prosesskjølebehov. Systemet er dimensjonert for å dekke det.

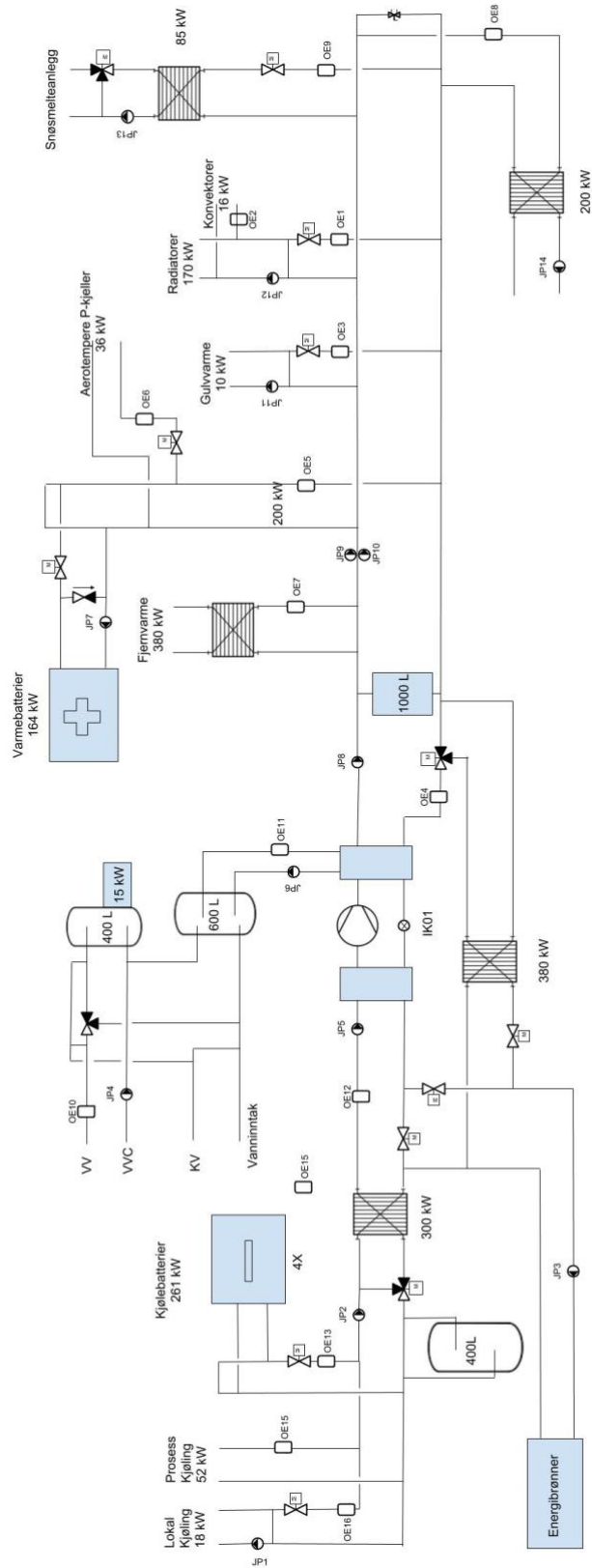
Energisentralen i Bygg A kan fungere i 3 moduser (Tabell 5).

Modus	Aktive kurser	Ikke aktive kurser
Varmemodus	<ul style="list-style-type: none"> • Varmtvann • Ventilasjonsvarme • Romoppvarming • Overskudd til nabobygg • Snøsmelting • Lokal kjøling + prosesskjøling 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilasjonskjøling
Kjølemodus	<ul style="list-style-type: none"> • Varmtvann • Overskudd til nabobygg • Snøsmelting • Lokal kjøling + Prosess kjøling • Ventilasjonskjøling 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilasjonsvarme • Romoppvarming
Frikjøling	<ul style="list-style-type: none"> • Lokal kjøling + Prosess kjøling • Ventilasjonskjøling • Varmtvann 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilasjonsvarme • Romoppvarming • Overskudd til nabobygg • Snøsmelting

Tabell 5 - Ulike kjøremoduser av varmepumpe i Bygg A

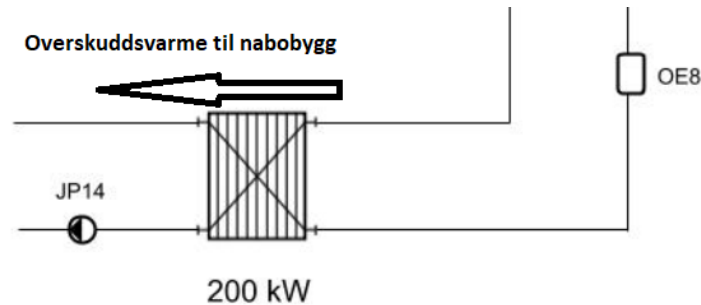
Når systemet er i frikjølingsmodus oppnås mest energieffektiv bruk av anlegget. Varmepumpe er ikke i drift i den modusen og det er kun pumper JP1, JP2, JP3 og JP5 som går.

I kjølemodus brukes snøsmelteanlegget til nedkjøling av vannet i systemet hvis temperatur i hovedledningen overstiger 25 °C. Derfor er det ikke behov for installering av tørrkjølere for bygget.



Figur 8 - Systemskjema for varme- og kjøleanlegg i Bygg A

Varmeveksler med kapasitet på 200 kW (Figur 9) brukes for levering av overskuddsvarme til nabobygg.



Figur 9 - Oppkobling av energisentral i Bygg A mot nabobygg

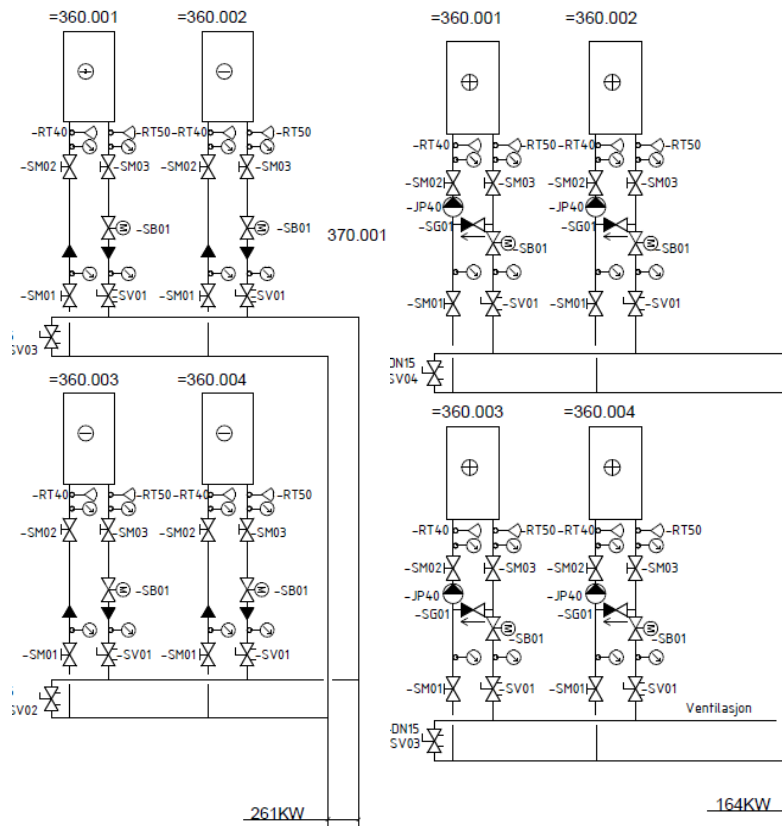
Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingssystemet er 375%. Noe som sikres av væske-til-vann varmepumpe som er koblet til energibrønner.

Det er behov for konstant prosesskjøling i Bygg A. 52 kW er installert effekt for dette formålet.

Ventilasjonsanlegget i bygget er behovstyrt med roterende varmegjenvinnere med stipulert virkningsgrad på ca. 83% og SFP på 1,8 kW/m³/s i driftstiden. Utenfor driftstid ligger SFP-verdi på 0,23 kW/m³/s.

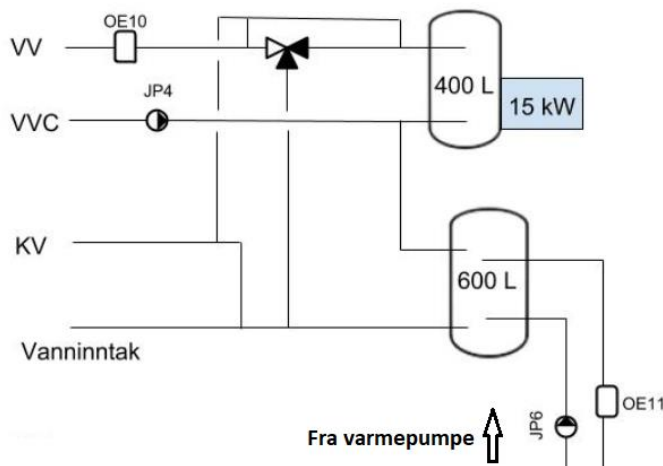
4 ventilasjonsaggregater er i stand til å levere 164 kW varme og 261 kW kjøling (Figur 10).

Bygg A er utstyrt med eget stømproduserende anlegg. Areal på solceller som er montert i bygget er på 420 m². Stipulert årlig produksjon for anlegget er 48 000 kWh/år. Det fins ikke løsning for lagring av energi. Strømproduksjon som ikke kan utnytted direkte kan overføres til nabobygg. Peak effekt som kan leveres fra solceller er lik 75 kW.



Figur 10 - Ventilasjonsanlegg i Bygg A

Varmtvannssystem i Bygg A inneholder to beredere: én på 600 L som er utstyrt med varmeveksler og koblet mot varmepumpe og én på 400 L med elektrisk kolbe på 15 kW. Termisk effekt for størst bereder er lik 120 kW og utfører størst andel av oppvarming av vannet. Elektrisk bereder sikrer enda stor temperatur i systemet og løser legionella problematikken (Figur 11).



Figur 11 – Varmtvannssystem i Bygg A

Snøsmelteanlegget har effekt på 85 kW og brukes til smelting av is og snø foran bygget og i kjølemodus som det var nevnt før.

Styring.

Bygg A er et BREEAM-sertifisert bygg og det tekniske anlegget er utstyrt med ulike målere som er en avgjørende faktor for velfungerende SD-anlegget og energioppfølgingssystemet. Følgende målere er installert for alle systemer i bygget:

- Energimålere (Vedlegg 1)
- Temperaturmålere
- Trykkmålere og differansetrykkmålere
- Mengdemålere.

2.4.2 Bygg B

Bygg B er et kontorbygg i Oslo. Bygget er i bruk fra juni 2012 og har areal på ca. 14000 m². Bygg B ble bygd opp med forutsetning at bygget skal fremstå som et signalbygg hvor lavt energibruk og total miljøbelastning settes i naturlig sammenheng med arealeffektivitet, arkitektonisk kvalitet og god totaløkonomi. Leietakerne og eiere skulle oppfatte byggets kvaliteter og miljøprofil som verdiskapende.

Denne case-bygningen er 6-etasjersbygg med en underetasje og fem etasjer over terreng. Bunnplate og vegger under terreng er utført med vanntett betong med underliggende EPS-isolasjon, yttertaket består av hulldekkelementer, som er isolert utvendig og tekket med takmembran. Konstruksjonen over terreng er utført av stålsøyler, bjelker og prefabrikkerte hulldekkelementer. Vinduer og dører har dokumentert u-verdi på 0,78 W/m²K. Vinduer er i trelags solreflekterende glass og fylt med argon. Store vindusflater sikrer god dagslystilgang.

Kjølebehovet på sommertid reduseres med utvendig automatisk solskjerming på sør-, vest- og østfasade. Kombinasjon av utvendig solavskjerming og behovstyrt lysarmaturer har positiv innvirkning på kjølebehov om sommeren.

Med minimumskrav i TEK10 (byggeperiode: 2010-2012) for lekasjetall på 1,5 har bygget gjennomsnittlig verdi for den parameter på 0,23. Noe som viser hvor tett bygget er. Bærende

søyler er plassert på innsiden av yttervegger – et tiltak som er avgjørende for minisering av kuldebroer og luftlekkasjer.

Bygg B er prosjektert med følgende nøkkeltall (Tabell 6):

U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,14
U-verdi tak (W/m ² K)	0,1
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,07
U-verdi vinduer og dører(W/m ² K)	0,78
Varmegjenvinningsgrad (%)	88
n ₅₀	0,23
SFP-faktor (kW/(m ³ /s))	1,2
Vindusareal (% av BRA)	12,5
Maks operativ temperatur (°C)	25
Min operativ temperatur (°C)	21

Tabell 6 - Nøkkeltall til Bygg B

Varme- og kjølesystem

Varmepumper og el-kjel. Reversible luft/vann varmpumper IK40/41 står for energiproduksjon i bygget. 98% av energibehov til oppvarming dekkes av varmpumper ved utetemperatur ned til -15°C. Hver varmpumpe har nominell kjølekapasitet på 250 kW og tur/returtemperatur på 12/7 °C og nominell varmekapasitet på 260 kW og tur/returtemperatur på 23,8/35 °C. Dvs. Begge aggregater er i stand til å produsere 500 kW kjøling og 520 kW varme (Tabell 7).

	Varmemodus	Kjølemodus
Kjøleeffekt	-	520
Varmeeffekt	500	-
COP	2,4	3,1

Tabell 7 - Teknisk data til varmpumpe i Bygg B

Hvert aggregat har to separate kjølekretser med to kompressorer med to trinn hver. Dvs. at det er til sammen åtte trinn 67,5 kW hver. Noe som gir bra regulering som sørger ønsket temperatur

i anlegget. Rekkefølgen på kompressortrinnene skaper mulighet til variasjon på hvilken maskin kjører som dellast og hvilken kjører som hovedlast.

Energisentralen står for levering av rett temperert vann ut til alle kursene av anlegget. Tvillingpumper JP42 og JP43 leverer oppvarmet vann eller isvann til kombibatterier i ventilasjonsanlegget. Pumpene har turtallsregulering som realiseres med trykkdifferansemåler mellom tur- og returrørene.

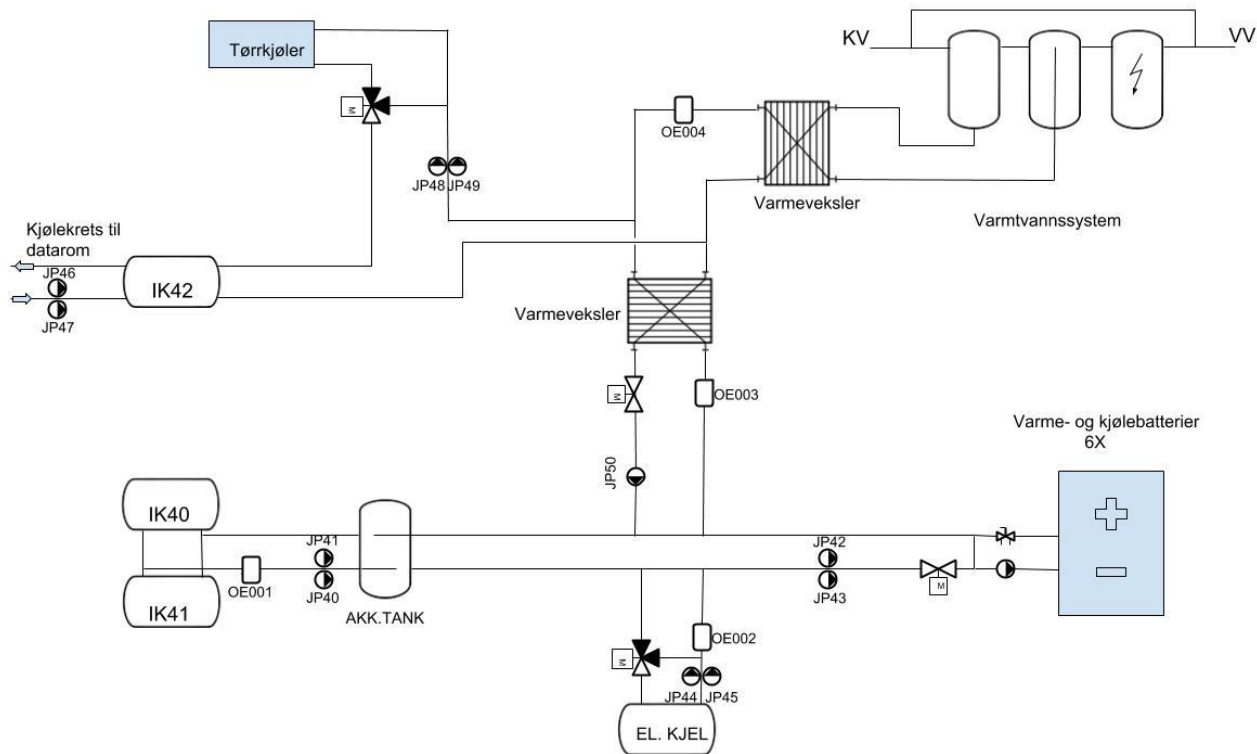
	Prosjektert effekt, kW	Installert effekt, kW
Ventilasjonsvarme	191	516
Varmeeffekt + snøsmelting	221	546
Kjøling	589	516
Prosess kjøling	50	72
Kjøling kantine	16,4	21

Tabell 8 - Oversikt over prosjekterte og installerte effekter i Bygg B

Elektrisk kjel med effekt på 225 kW brukes som spisslast i Bygg B og står for dekning av hele varmebehovet ved utetemperaturer lavere enn -15°C når luft-til-vann varmpumper stanser. Tvillingpumper JP44 og JP45 står for sirkulasjon av vannet i el-kjel kretsen.

Tvillingpumper JP40 og JP41 står for sirkulasjon av vannet gjennom varmpumpene og akkumulatortanken i den kretsen (Figur 12). Pumpene stanser automatisk på grunn av lav utetemperatur og starter automatisk igjen når temperatur er høy nok.

Temperatur regulering. Bør-verdi for temperatur i turløpet for varmpumper IK40 og IK41 skal være $+35^{\circ}\text{C}$ (temperaturgiver RT40) varmedrift. Ved snøsmelting bør-verdien skal være på $+45^{\circ}\text{C}$. Ved lav temperatur ved giver RT41 skal pumper JP44 og JP45 og elkjel starte for tilførsel av varme til systemet.

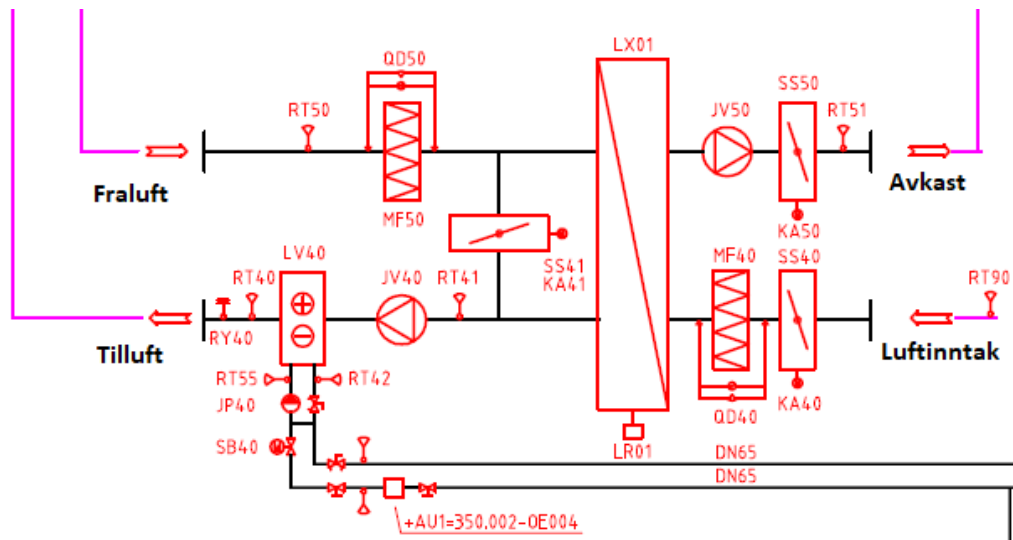


Figur 12 - Varmesentralen i Bygg B

Prosesskjøling. Kjølemaskin IK42 med effekt på 72 kW (COP = 3,6) leverer isvann til hoveddatarom. Kondensatorvarmen overføres til forvarming av varmt tappevann og varmebatterier i ventilasjonsaggregater. Varmervekslere i de kretsene sørger for varmeoverføring (Figur 12). Systemet skal være i drift hele året. Dvs. at det er tilgang for tilføring av overskuddsvarme til varmtvannsberedersystemet hele året også. Hoved varmesystemet får overskuddsvarme kun i vinterdrift. Pumpene JP46 og JP47 er gjensidige reserver for hverandre og skal starte ved feil på en pumpe. Pumper skal trimmes for tilnærmet lik driftstid.

Ventilasjonsanlegget. Ventilasjonssystemet inkluderer 6 ventilasjonsaggregater med roterende varmegjenvinnere med høy virkningsgrad. Energieffektive vifter med SFP-faktor på 1,2 kW/(m³/s) og behovsstyring sikrer lavt energibehovet til drift av ventilasjonsanlegget. Tilstedeværelse sensorer som er montert på aktive tilluftsventiler styrer også belysning i bygget.

Systemet er designet for ulik drift om sommeren og om vinteren. Kombibatteri LV40 med tilhørende komponenter skal i sommerdrift fungere som kjølebatteri og som varmebatteri i vinterdrift. Omstilling skjer manuelt som det var nevnt ovenfor. Omluft brukes i Bygg B utenfor driftstid av bygget i vintermodus.



Figur 13 - Ventilasjonsanlegg i Bygg B. System 360.01

Ventilasjonkjøling dekkes også av varmepumpe. Det finnes ikke noe lokal kjøling i bygget.

Spisslast for oppvarming. Siden varmepumpe dekker nesten 98% av varmebehov var det ikke lønnsomt å bruke fjernvarme som spisslast. Bygg B bruker elektriske varmeelementer på 200W som backup for oppvarmingen. Grenstaver med disse elementene er plassert rundt bygget ved siden av arbeidsplassene.

Styring. Alle setpunkt-, kompensering- og alarmgrenseverdier i energisentralen kan stilles både fra undersentralen og SD-anlegget. Etter strømbrudd starter utstyret automatisk. SD-anlegget registrer driftstimer på alt roterende utstyr som vifter og pumper.

Omstilling mellom kjøle drift og varmedrift skjer manuelt i vår og høst. Bygget er også BREEAM-sertifisert og har følgende følere i alle tekniske systemer:

- Energimålere (Vedlegg 2)
- Temperaturmålere
- Trykk- og differansetrykkmålere
- Mengdemålere, osv.

SD-anlegget og energioppfølgingsystemet i bygget mottar data fra installerte måleinstrumenter og tilbyr mulighet for justering av drift.

2.5 Analyse av måledata. EOS.

Begge case-bygninger har avanserte energioppfølgingssystemer som registrerer målinger fra strøm- og energimålere. Energibruk i alle tekniske installasjoner i begge bygg oppfølges med maksimal oppløsning på 1 time. Dette gir mulighet til detaljert analyse av ulike strøm- og energiforbrukere i case-bygninger. Måleinstrumenter som benyttes for måling av strøm og energi for varme og kjøling tilfredsstiller Byggforskningens krav til målenøyaktighet.

2.6 Befaringer i case-bygninger

Befaringer i begge case-bygninger er et nyttig hjelpemiddel i forbindelse med analyse av effektforbruket. Følgende mål er satt opp for befaringer:

- bli kjent med bygg og installerte tekniske installasjoner
- notere installerte effekter på hovedkomponenter av energisentral og tekniske rom
- registrere viktige detaljer som påvirker drift av bygget
- intervjuere driftspersonell
- undersøke muligheter til SD-anlegg og EOS.

3.0 Resultater og diskusjon

Dette kapittelet presenterer resultater av analysert måledata fra energioppfølgingssystemer i case-bygninger og fokuserer mest på effekter med største andeler i effektregnskap. Resultater suppleres med fortløpende diskusjon.

Videre presenteres resultater av intervjuer og befaringer. Intervjuer belyses med begrenset omfang med størst fokus på bruk av tidligere erfaringer og bruk av måledata i prosjekteringsarbeidet. Fullstendig oversikt og analyse av intervjuer med rådgivende ingeniører presenteres i masteroppgave «Dimensjonering av effekttopper. Estimering av effektbehov i tidlig prosjekteringsfase» (Stene, 2018).

3.1 Måledata

For analyse av måledata i Bygg A ble brukt energioppfølgingssystemet som var levert av Entro AS. Tilgang til systemet var begrenset på grunn av bytte av eiere til bygget og overgang til et annet system. Tilgjengelig periode for analyse var fra 1.06.2017 til 27.02.2018. Det måtte tas også hensyn til Bygg A er tatt i bruk i juni 2017 og målinger fra oppstartsperioden er ikke relevante for analyse på grunn igangsettelse av teknisk anlegg og kalibrering av måleinstrumenter som brukes i bygget. Energioppfølgingssystemet viser ikke riktige målinger i periode juni 2017- september 2017. Det finnes ikke heller oversikt av den prosessen. Dvs. at det er ikke mulig å skaffe informasjon som dokumenterer hvilke målere har begynt å fungere som de skal og på hvilket tidspunkt. Ferieperioden er også en faktor for usikkerhet og mulig årsak for «merkelige» målinger i første 3 måneder av drift.

For Bygg B ble det levert Excel-ark med måledata på timesbasis for de fleste tekniske installasjoner i bygget. Tilgjengelig periode for analyse var 1/03/2017 – 28/02/2018.

3.1.1 Oversikt over kritiske situasjoner

Når analyse er rettet mot effektbehov for ulike tekniske installasjoner i bygget er det meget viktig å finne ut noen kritiske situasjoner under drift på en viss periode. Antageligvis situasjoner som er oppgitt i Tabell 9 kan regnes som kritiske:

Nr.	Kritisk situasjon	Årsak
1	De kaldeste vinterdagene	Størst effektbehov til oppvarming. Behov til snøsmelting.
2	De varmeste sommerdagene	Størst behov til kjøling pga. Høy utetemperatur og kraftig solinnstråling.
3	Tidlig morgen	Oppstart av alle tekniske installasjoner. Kompensering av nattsenking.
4	Midt på arbeidsdagen	Størst tilstedeværelse og samtidighet. Høy solinnstråling.

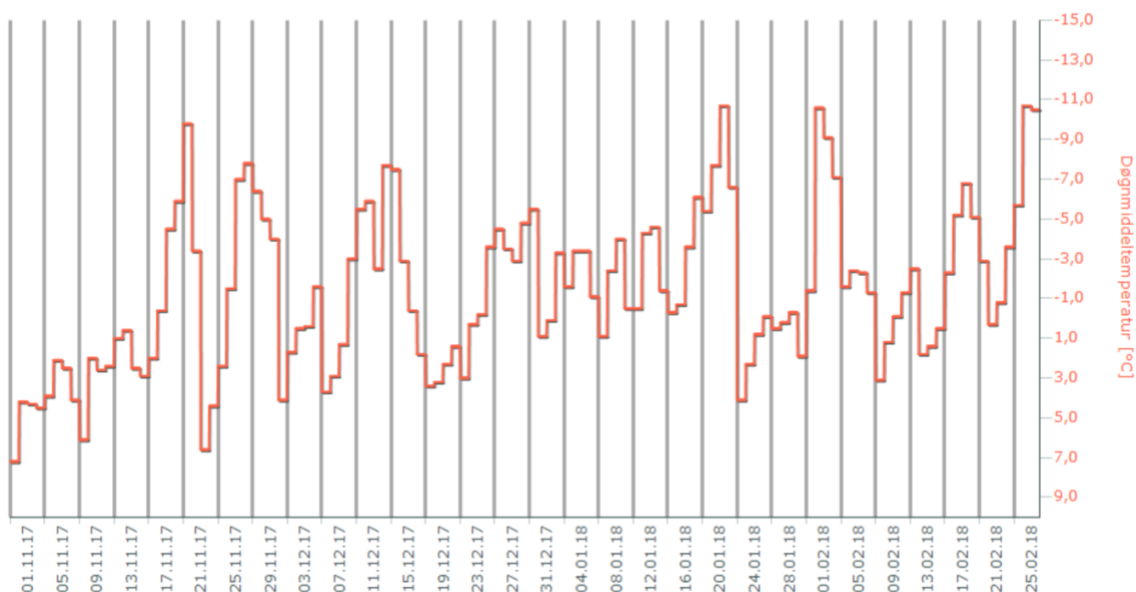
Tabell 9 - Oversikt over mulige kritiske situasjoner under drift av bygget

Videre i rapporten skal undersøkes effekt tilført til ulike tekniske systemer i case-bygninger og det skal tas vurdering hvilke av situasjoner fra Tabell 9 har størst betydning for effekttopper.

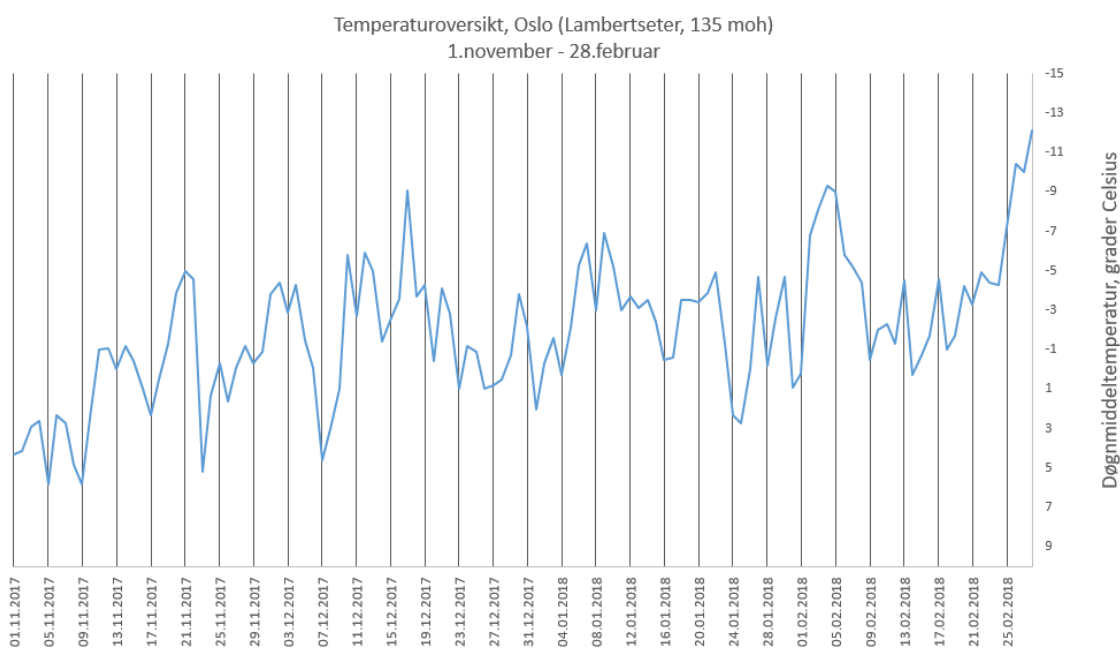
For å undersøke kaldeste og varmeste dagene i perioder med tilgjengelig måledata fra case-bygninger skal lages oversikt over dagens middeltemperaturer i Trondheim og Oslo.

3.1.2 Temperaturoversikt

Temperaturoversikt for perioden 1.11.2017 – 28.02.2018 i Oslo og Trondheim er vist i Figur 14 og 15. Data for Bygg A er hentet fra byggets oppfølgingssystem, mens data for Oslo er hentet fra eKlima for målestasjon på Lambertseter som er plassert 135 meter over havet. Valg av denne målestasjonen sikrer måledata for temperatur som tilsvarer byggets lokasjon best (bygget befinner seg 130 meter over havet).



Figur 14 - Temperaturoversikt for vintermånedene. Bygg A



Figur 15 - Temperaturoversikt for vintermånedene. Bygg B

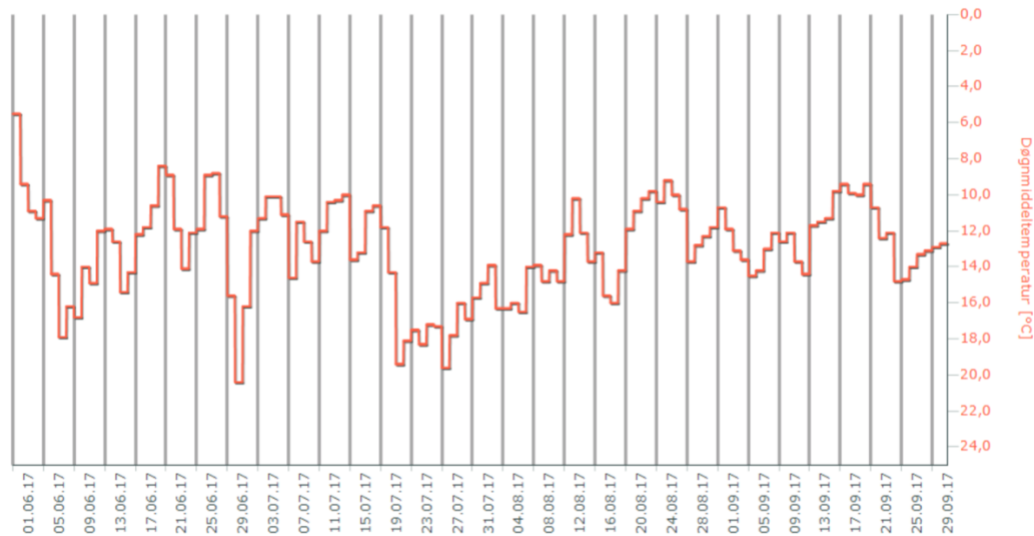
Måledata viser lignende utvikling av middeltemperaturer i Trondheim og Oslo.

Dimensjonerende utetemperatur (Tabell 10) bekrefter også at de to byene ligger i relativt like klimasoner, i hvert fall temperaturmessig.

	Trondheim	Oslo
DUT, [°C]	-19	-20

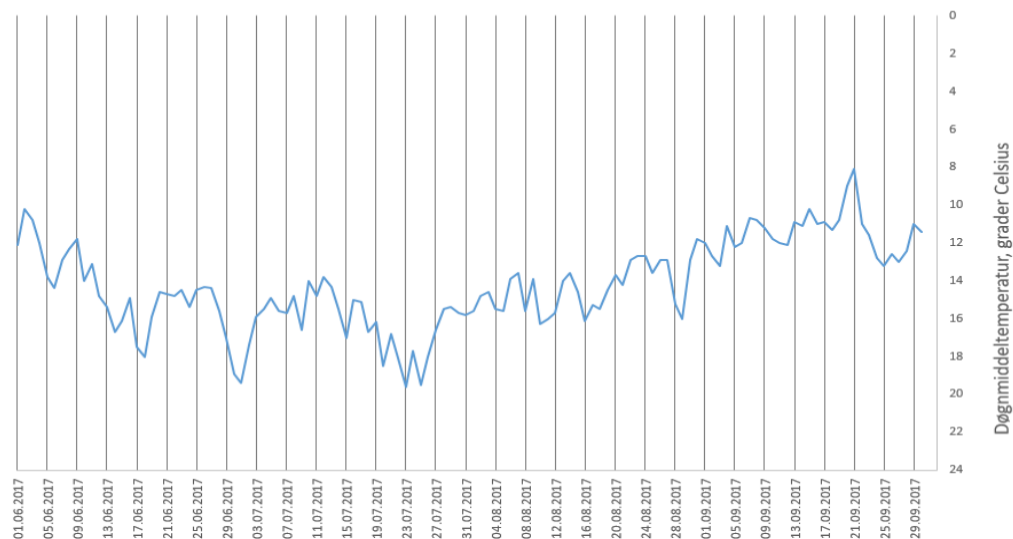
Tabell 10 - Dimensjonerende utetemperatur i Trondheim og Oslo

Siden Bygg A ble tatt opp i bruk i juni, skal perioden juni-september undersøkes for varmeste dager med antagelig høyest kjølebehov. Figur 16 og 17 viser temperaturlogg i henholdsvis Trondheim og Oslo for perioden 1.06.2017 – 30.09.2017.



Figur 16 - Temperaturoversikt for juni 2017 – september 2017. Bygg A

Temperaturoversikt, Oslo (Lambertseter, 135 moh)
1.juni - 30.september



Figur 17 - Temperaturoversikt i Oslo. Juni 2017 - September 2017

Temperaturutvikling i juni-september viser også ganske lik utvikling med aller høyeste utetemperaturer i juni og juli, opptil 20 °C.

Tabell 11 nedenfor inneholder de kaldeste dagene i vinterperiode og Tabell 12 inneholder de varmeste dagene i sommerperiode for begge case-bygninger. Disse dagene anses som kritiske med antagelig høyest effektbehov til oppvarming og kjøling. Tilsvarende verdier for maksimal elektrisk effekt levert til hvert bygg er også oppgitt i tabellen. Følgende data gir oversiktlig informasjon om effekttopp og tidspunktet til registrering av målingen. Effekter i tabellen er midlere timeseffekter.

Bygg	Dato	Middeltemperatur, °C	Maks. elektrisk effekt, kW	Klokkeslett	Ukedag
Bygg A	21.11.17	-9,8	195	17	Tirsdag
	14.12.17	-7,7	208	11	Torsdag
	22.01.18	-10,7	205	11	Mandag
	02.02.18	-10,6	199	11	Fredag
Bygg B	17.12.17	-9,1	125	17	Søndag
	09.01.18	-6,9	310	08	Tirsdag
	05.02.18	-9	327	08	Mandag

Tabell 11 - De kaldeste dagene. Oversikt over vintermånedene

Bygg	Dato	Gjennomsnittlig temperatur, °C	Elektrisk effekt, kW	Klokkeslett	Ukedag
Bygg A	05.09.17	14,5	103	11	Tirsdag
	24.09.17	14,8	38	8	Søndag
	25.09.17	14,7	92	11	Mandag
Bygg B	30.06.17	18,9	194	09,12	Fredag
	20.07.17	18,5	173	11	Torsdag
	25.07.17	19,5	169	12	Tirsdag

Tabell 12 - De varmeste dagene. Oversikt over sommermånedene

Verdier for total elektrisk effekt målt på timesbasis i begge case-bygninger viser at kritisk tidspunkt når effekttopper registreres ved størst varme- og kjølebehov skjer enten midt på

arbeidsdagen, rundt kl.11, eller tidlig på morgen. Dette samsvarer med antagelige kritiske situasjoner som er representert i Tabell 11 ovenfor. Størst samtidighet for energi-tekniske installasjoner forventes ved størst tilstedeværelse som oftest registreres midt på dagen i kontorbygg.

Årsak til tidlige effekttopper er oppstart av ventilasjonsaggregater og kompensering av nattsenking i case-bygninger. Varmetilskudd fra interne laster og sol er lavt tidlig på dagen og dette følger til stort effektforbruk på slike tidspunkter.

Som det var nevnt ovenfor er måledata for Bygg A er ikke gyldig til og med august 2017. Derfor inneholder Tabell 12 datoer med størst temperatur kun fra september.

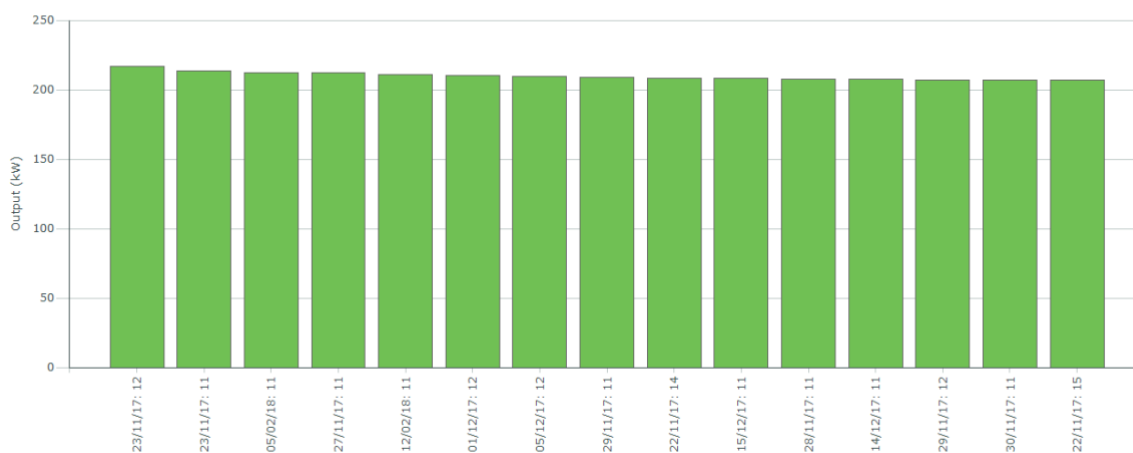
3.1.3 Størst registrert total elektrisk effekt

Dessuten er aller høyeste effekter registrert ikke på de kaldeste eller varmeste dager i året. Energioppfølgingssystemet på Bygg A har en funksjon som skriver ut 15 høyeste effekter for ulike tekniske installasjoner for en viss periode. Figur 18 viser 15 største verdier for totalt elektrisk effekt i Bygg E i en periode 21.august 2017 – 28.februar 2018.

Midt-Norge Invest I AS (ut av Newsec 26.01.18)

Maximum output (15 highest output values [kW]) for period 21/08/2017 - 28/02/2018

Meter: Otto Nielsens vei 12, byggetrinn E (SD)



Figur 18 - 15 høyeste verdier for elektrisk effekt i Bygg A

De to største målte verdier er på ca. 217 kW og ble målt samme dag - 23. november kl.11 og 12.

Mulig årsak til disse effekttoppene er svært store endringer av utetemperatur (Tabell 13). Så store temperatursvingninger kan føre til at varmesystemet og kjølesystemet jobber mot hverandre. Noe som forårsaker store elektriske effekter som trekkes ut.

Dato	Minimum temperatur, [°C]	Maksimum temperatur, [°C]	Middeltemperatur, [°C]
22/11/2017	-11,6	0,6	-3,4
23/11/2017	0,5	10,4	6,6

Tabell 13 - Temperaturoversikt for 22. og 23.november. Bygg A. Voll målestasjon

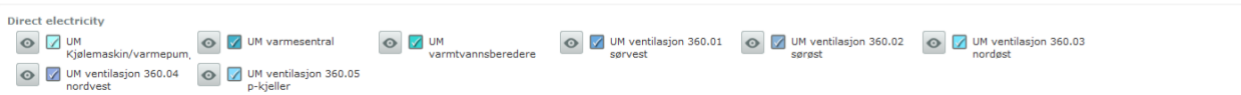
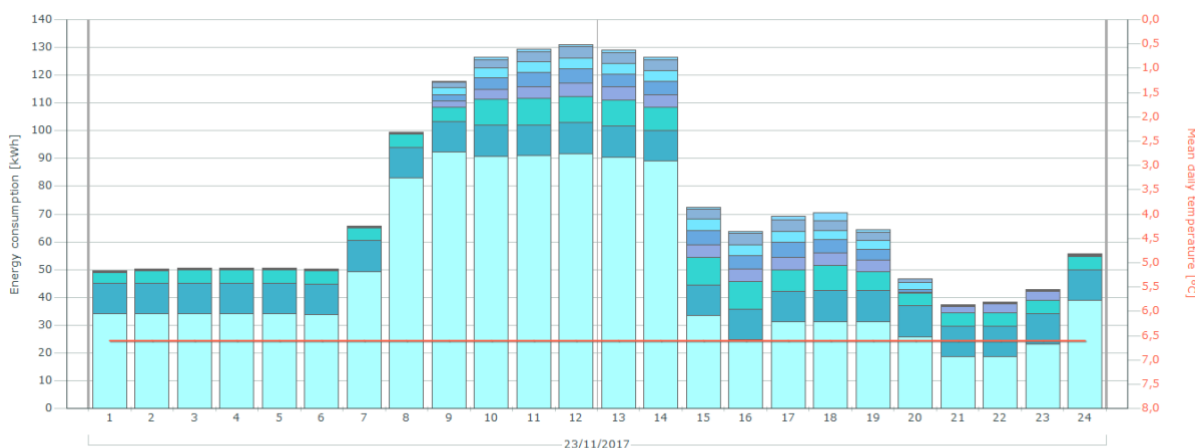
Differanse mellom laveste og høyeste temperatur som var registrert 23. november og dagen før er lik 22 °C. Konsekvensen av så store endringer er 2 aller største effekttopper i hele tilgjengelig måledata.

Fordeling av denne effekten mellom ulike tekniske installasjoner er gitt i Tabell 14.

Forbruk stikk kontor	17 kW
U1+kjeller: stikk + lys + utvendig belysning	35 kW
Belysning i kontorer	34 kW
Ventilasjon + varmesentral	131 kW
Produsert strøm (solceller)	0.2 kW
Totalt	217 kW

Tabell 14 - Fordeling av effektverdier i Bygg A. 23.november 2017 - kl.12

Ventilasjonsanlegget og varmesentral står for mer enn halv parten av den effekten. Derfor er det interessant å se på hvordan effekter fordeles akkurat i den delen (Figur 19).



Figur 19 - Fordeling av effektforbruk i varmesentral og ventilasjon over et døgn. Bygg A. 23.november 2017

Der kan det defineres 6 effekttopper mellom kl.8 og kl.14 med aller største effekt på 132 kW som var registrert kl. 12 med fordeling som er gitt i Tabell 15:

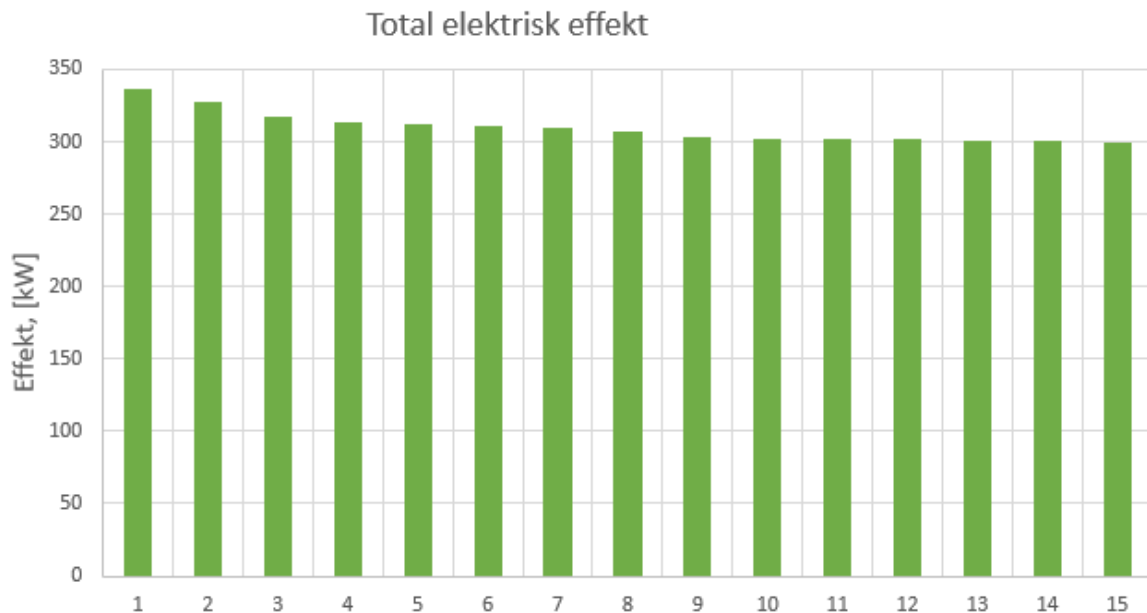
Teknisk installasjon	Effekt, kW
Varmepumpe	92
Varmesentral	11
Varmtvannsbereidere	10
Ventilasjonsaggregat 360.01	5,3
Ventilasjonsaggregat 360.02	4,1
Ventilasjonsaggregat 360.03	3,8
Ventilasjonsaggregat 360.04	4,6
Ventilasjonsaggregat 360.05	0,7
Totalt (Varmesentral og ventilasjon)	132

Tabell 15 - Fordeling av effekter i energisentral og ventilasjonsanlegget. Bygg A. 23/11/2017 - kl. 12

Varmepumpe står for 70% av denne effekten og beholder omtrent samme andel i løpet av hele døgnet. Effekt på rundt 90 kW trekkes av aggregatet omtrent hele arbeidsdagen og utgjør ca. 40% av total elektrisk effekt. Dette kan skyldes stort oppvarmingsbehov som konsekvens av lave

temperaturer dagen før og behov til kjøling etterpå. Det må også nevnes at tilstedeværelse i kontorbygg midt på arbeidsdagen pleier å være størst og følger til store effekter på ventilasjonsanlegget og varmtvannsberedere.

Figur 20 viser 15 høyeste verdier for total elektrisk effekt i Bygg B.



Figur 20 - 15 høyeste verdier for total elektrisk effekt i Bygg B

Den høyeste effekten på 337 kW ble målt på onsdag den 13. desember 2017 kl.12. Det er ikke den kaldeste arbeidsdagen i desember, men en av de kaldeste med følgende registrerte utetemperaturer (Tabell 16):

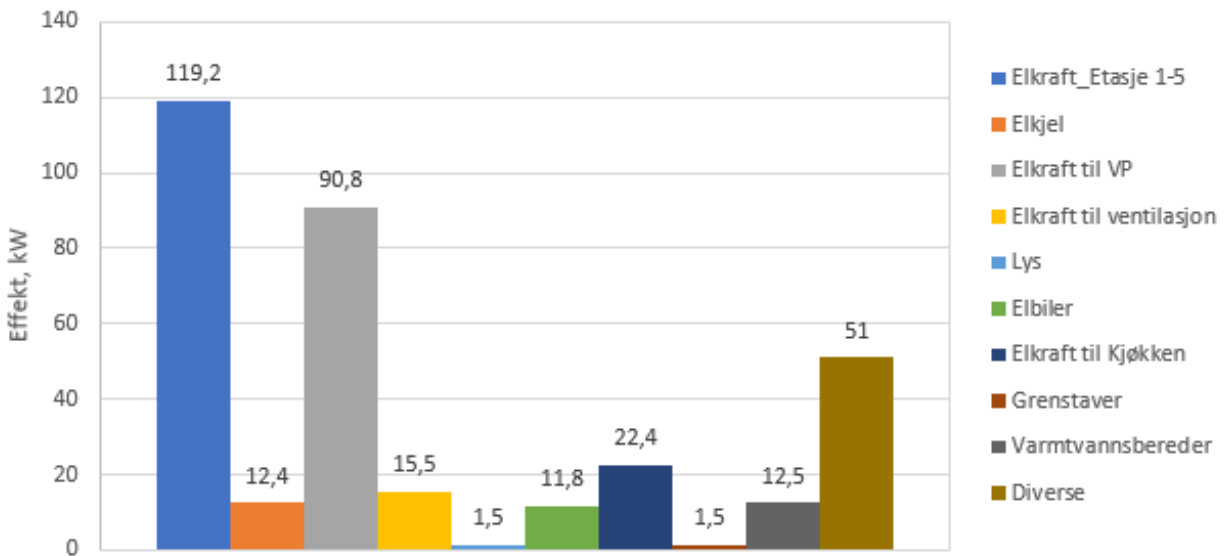
Dato	Minimum temperatur, [°C]	Maksimum temperatur, [°C]	Middeltemperatur, [°C]
12/12/2017	-10,1	-2,4	-5,6
13/12/2017	-10,9	0	-5,3

Tabell 16 - Temperaturoversikt for 12. og 13.november. Bygg B. Lambertseter målestasjon

Differanse mellom lavest og høyest temperatur for Bygg B ligger på 10,9 °C. Dette er 2 ganger lavere enn for Bygg A og har antageligvis ikke så stor betydning.

Fordeling av elektriske effekter på det tidspunktet er oppgitt i Figur 21.

Fordeling av elektrisk effekter. 13. desember kl.12



Figur 21 - Fordeling av elektriske effekter i Bygg B. 13. desember kl.12

Største elektriske effekter trekkes av elektrisk utstyr som er installert bygget: stikkontakter, pc-er, lysarmaturer, servere, osv. Varmepumpe står også for stor andel av elektrisk utstyr: 27% av total elektrisk effekt. Ut ifra måledata kan det konkluderes at varmpumpe er i stand til å levere mest parten av termisk energi ved utetemperaturer på det nivået (ca. -10°C). Grenstaver på det valgte tidspunktet trekker bare 1,5 kW og sørger tilstrekkelig oppvarming av arbeidsplasser og elkjel står for effekt på 12,4 kW og kun 12% av elektrisk energi som brukes til produksjon av termisk energi. Ut ifra temperaturoversikt for den dagen og dagen før og sammenligning av måledata kan det konkluderes at årsak til effekttopp er høyt oppvarmingsbehov på grunn av lav utetemperatur natt til 13. desember og lave utetemperaturer fram til kl.14. Gjennomsnittlig elektrisk effekt tilført til varmpumper på den kritiske dagen var på 25 kW med effekttopp på nesten 91 kW med 16 kW og 47 kW henholdsvis dagen før.

Effekttopper #2 og #3 var registrert mandag 5. desember kl. 8 og 9 henholdsvis. Årsak til disse toppene er også lave temperaturer i helgen.

Klokkeslett					18	19	20	21	22	23
Temperatur [°C]					-9,6	-10,9	-11,3	-11,7	-12,1	-12,3
Søndag 4.februar										
Klokkeslett	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatur [°C]	-12,9	-13,4	-13,5	-13,7	-12,4	-11,8	-11,1	-11	-10,6	-9,7
Mandag 5.februar										

Tabell 17 - Temperaturoversikt. 4.-5.februar. Bygg B

Men i motsetning til den første effekttoppen er disse forårsaket av alt for lave temperaturer til drift av luft-til-vann varmepumper. Den 5. februar står elkjel for produksjon av mest parten av varmeeffekt og måtte varme opp bygget etter kald helg (Tabell 17).

	13.desember kl.12	5.februar kl.8
Termisk varme fra Elkjel, [kW]	0	55
Termisk varme fra varmepumper, [kW]	82	1

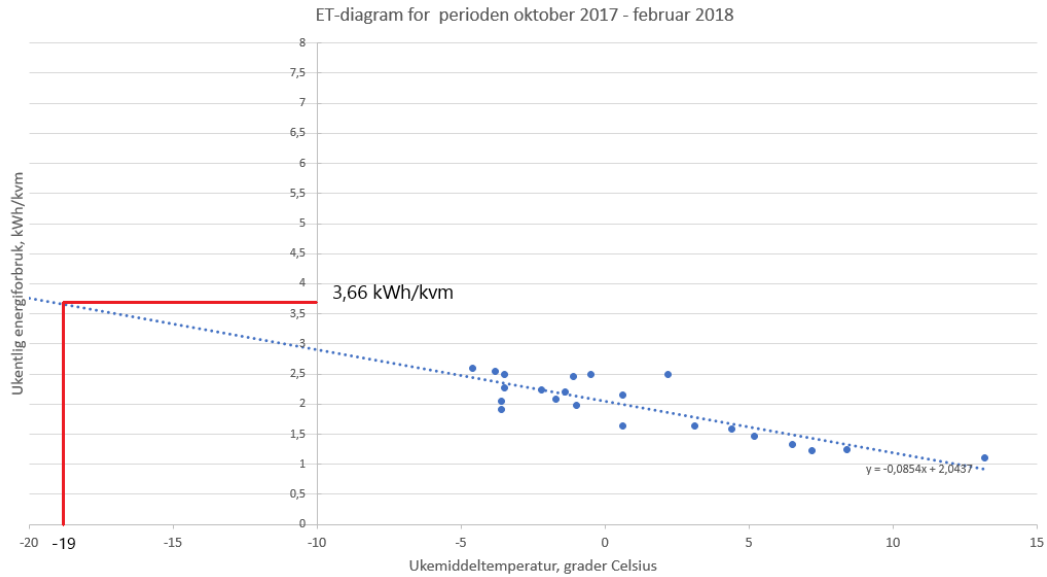
Tabell 18 - Produsert termisk energi i kritiske dager. Bygg B

Hvis driften i februar ikke er årsak til tekniske feil i installerte varmepumpene, tyder måledata på grensetemperatur når elkjel tar jobben for varmepumpeanlegg. Noe som kan følge til enda større effekttopper ved DUT.

3.1.4 ET-kurver

Energi – temperatur (ET) kurve er et viktig instrument for energioppfølging. I dette kapitlet testes om det er mulig å bruke ET-kurve for estimering av energi- og effektforbruk ved DUT i begge case-bygninger.

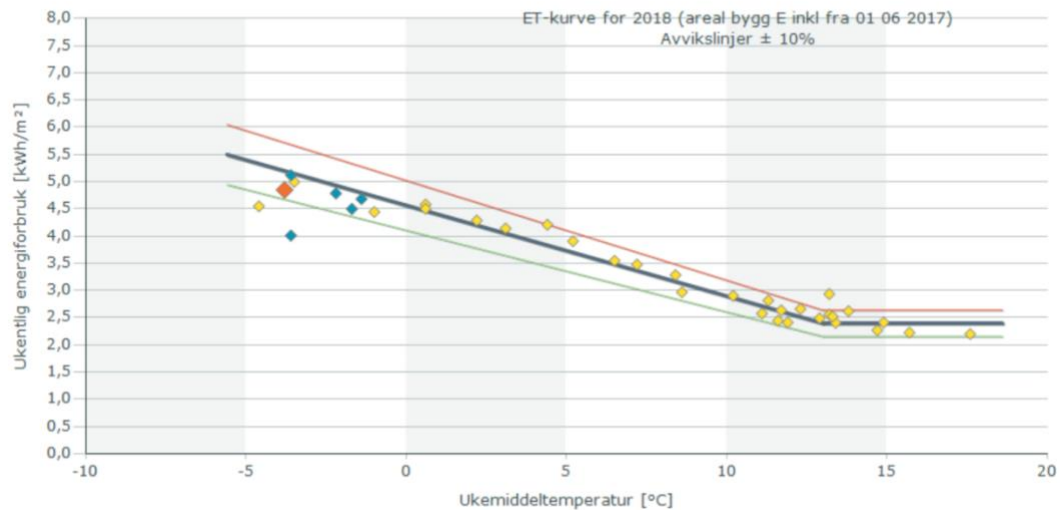
ET-kurve som lages automatisk i EOS (Figur 23) med ET-kurve sammenliknes med selvprodusert ET-kurve som inneholder ukentlig energiforbruk per m² og ukentlige middeltemperaturer for måneder med optimalisert drift av Bygg A, dvs. oktober 2017 – februar 2018 (Figur 22). Formålet med å plote det kurve er å finne knekkepunkt – når utetemperatur har ikke innvirkning på nyttiggjort energibruk.



Figur 22 - ET-kurve for Bygg A. Ukentlig energiforbruk

ET-diagram for perioden 01.06.2017 - 09.02.2018

Spesifikt energiforbruk [kWh/m²] med punkter for hver måleravlesning



Figur 23 - ET-kurve for Bygg A. Produsert i EOS.

Ved -10 °C skal ligge det ukentlige energiforbruket på ca. 3 kWh/m² ifølge selvprodusert kurve og på ca. 6,3 kWh/m² ifølge EOS til bygget. Tallet fra EOS er mye større enn verdi som er basert på måledata. Det kan være to årsaker til dette:

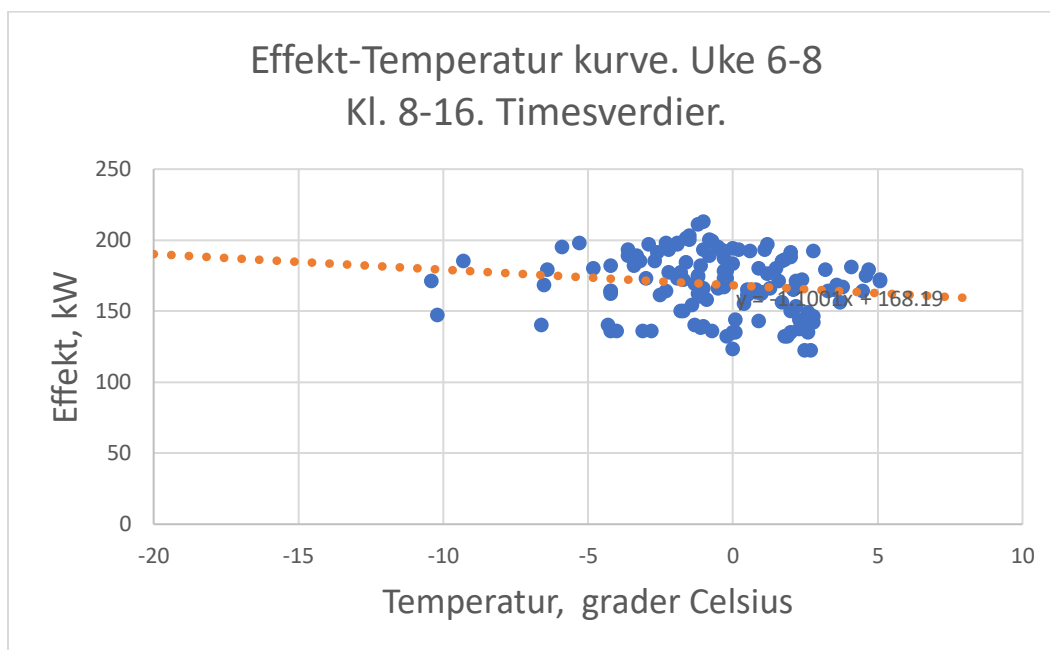
1. ET-kurve fra EOS inneholder data for nabobygg
2. ET-kurve fra EOS skiller ikke mellom troverdige målinger og målinger fra igangsettelse fase.

Derfor regnes det at selvprodusert ET-kurve presenter mer realistiske resultater for Bygg A. Ifølge kurven er ukentlig energiforbruk blir rundt 3,5 kWh/m² ved DUT med variasjon på +/- 10%. Knekkpunktet ved 9-10 °C viser at ved den utetemperaturen er grense for oppvarmingsbehovet i Bygg A. Ved høyere temperaturer oppvarming dekkes av interne laster.

Det er nok altfor kort periode med måledata for å fastholde at følgende tall er riktige, men allikevel greit utgangspunktet for videre arbeid.

For å estimere total elektrisk effekt ved DUT ble plottet timesverdier for effekt i Bygg A med tilsvarende timesverdier for temperatur. Uke 6, 7 og 8 ble valgt som representativ periode med garantert behov for oppvarming. Kun arbeidstimer (kl. 8-16) er med i datagrunnlag for kurven.

Timesverdier for temperatur er hentet fra Voll målestasjon. Målestasjonen ligger øst for Voll gård i Trondheim og er plassert 127 m o.h. og dermed er representativ for Bygg A som ligger bare 1,3 km unna. En slik ET-kurve viser sammenheng mellom elektrisk effekt og utetemperaturer og på den måten estimerer forventet elektrisk effekt ved en gitt temperatur (Figur 24).

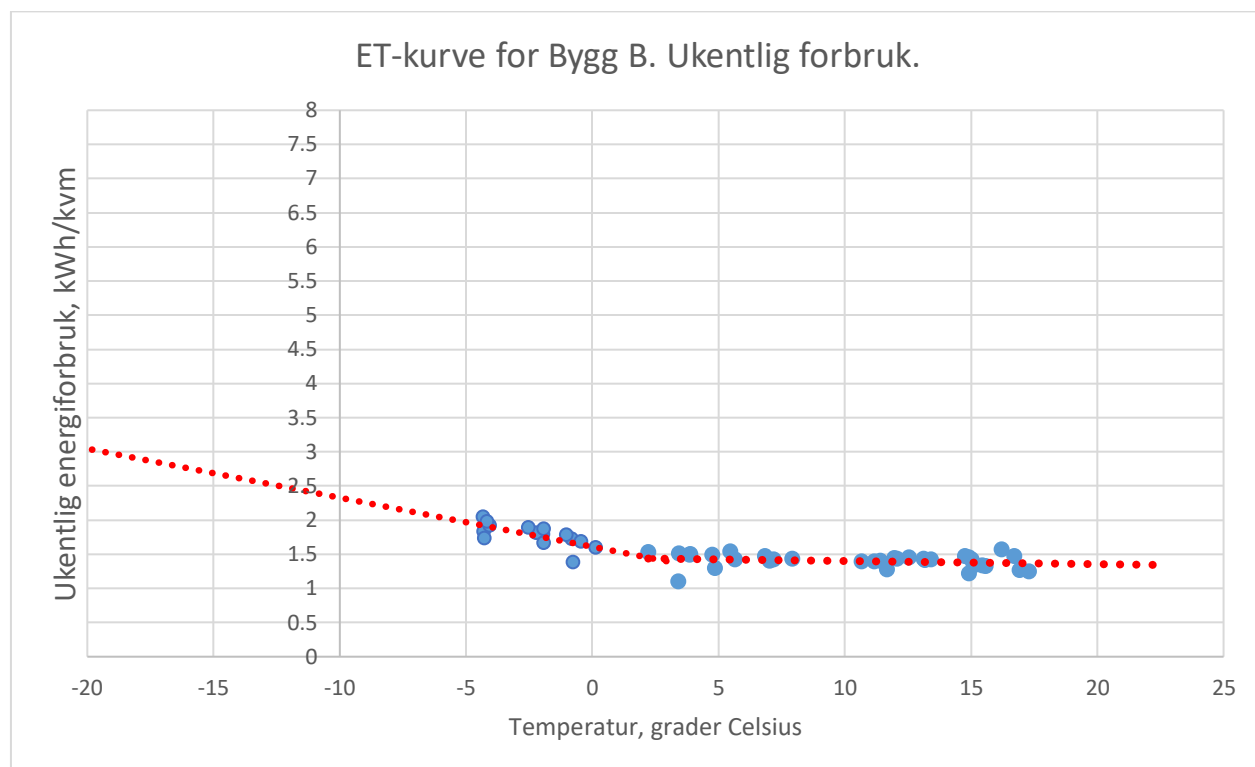


Figur 24 - Effekt - temperatur diagrammet basert på timesverdier fra Bygg A (Vedlegg 1)

Trend-linje for kurven viser elektrisk effekt ved DUT på ca. 190 kW (maks. målt 217 kW). Den verdien for total elektrisk effekt er et greit utgangspunkt effekttopp som kan oppstå ved -19 °C i Bygg A. Men dette resultatet er ikke et resultat man kan stole på. Noen målinger overstiger den

verdien. Kun analyse av data for tilsvarende periode i kommende år kan bekrefte troverdighet av denne verdien. Noe som skal anbefales til videre arbeid senere i prosjektet.

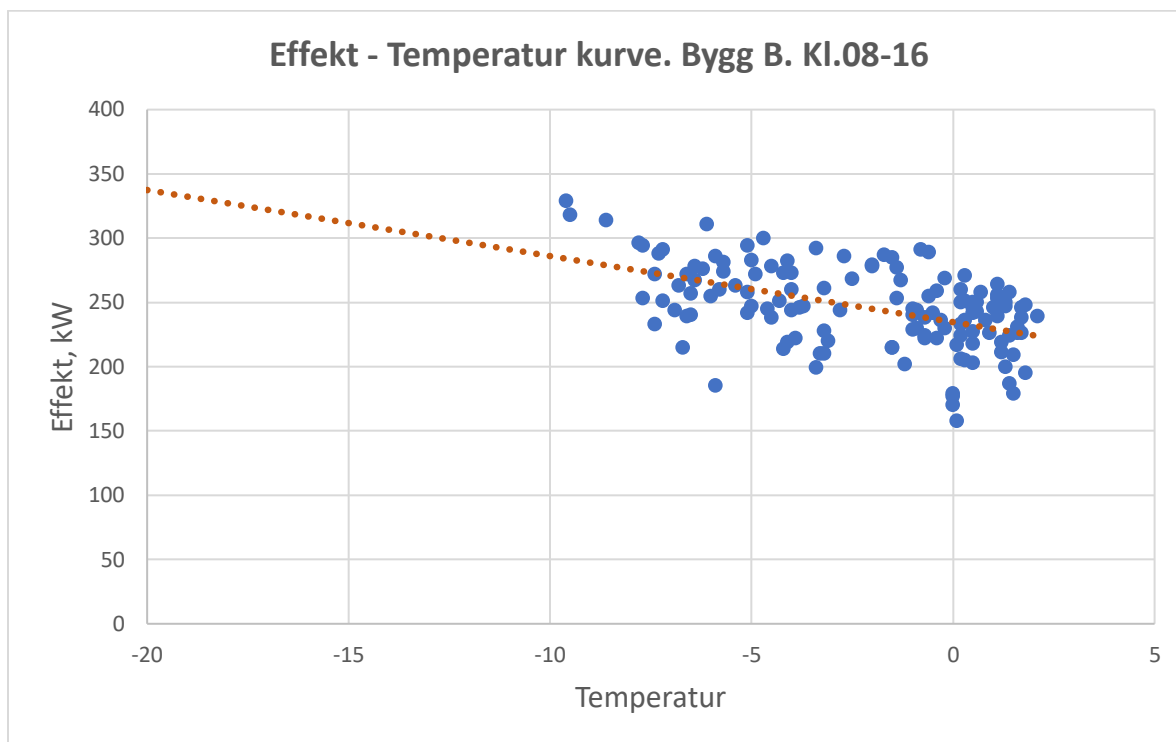
Tilsvarende ET-kurver ble plottet for Bygg B også. For produksjon av ET-kurve med ukentlig energibruk ble brukt måledata for ett år og nemlig fra mars 2017 til februar 2018 (Figur 25).



Figur 25 - ET-kurve for ukentlig energibruk. Bygg B

ET-kurve viser ukentlig energibruk på ca. 3 kWh/m² ved DUT i Oslo. Tallet er omtrent 20% lavere enn resultat for Bygg A. Dette bekrefter at Bygg B har klimaskall med bedre egenskaper og tydeligvis lavere behov for oppvarming. Knekkepunkt i ET-kurve for Bygg B defineres ved utetemperatur på 3-4 °C. Noe som støtter påstand at bygget er veldig tett. Interne laster dekker oppvarmingsbehovet ved temperaturer høyere enn knekkepunkttemperatur. En slik energieffektiv drift er ikke bare konsekvens av klimaskall. Der spiller også stor rolle utforming av varme- og kjøleanlegget. Som det var nevnt i Kapittel 2.4.2 har ventilasjonsanlegget i bygget veldig høy varmegjenvinningsgrad på 88%. I sammenheng med utnyttelse av varme fra data- og serverrom sikrer det energieffektiv drift av bygget.

For estimering av total elektrisk effekt ved DUT brukes samme metode som for Bygg A. Timesverdier for effekt er hentet ut for uke 5, 6 og 7. Kun arbeidstimer ble tatt hensyn til i å plote kurven (Figur 26).



Figur 26 – Effekt – Temperatur kurve basert på timesverdier for Bygg B

Forventet effekt ifølge kurven er på ca. 340 kW. I forhold til maks målt elektrisk effekt på 337 kW er dette resultatet greit nok som grovt estimat. Men resultater av analyse fra forrige kapittel viser at luft-til-vann varmpumpe i det bygget stanser ved utetemperatur på ca. $-13\text{...}-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Derfor er det vanskelig å forutsette at effekt-økning blir lineær ved veldig lave utetemperaturer.

Resultater som ble fått fra kurver i Figur 24 og 26 viser at dette verktøyet kan ikke brukes til ekstrapolering av elektrisk behov ved DUT. Lengre perioder med måledata gir ikke nødvendigvis bedre resultater siden total elektrisk effekt inneholder mange parametere som er helt uavhengige av utetemperatur.

3.1.5 Ekstrapolering av effektbehov til oppvarming til DUT

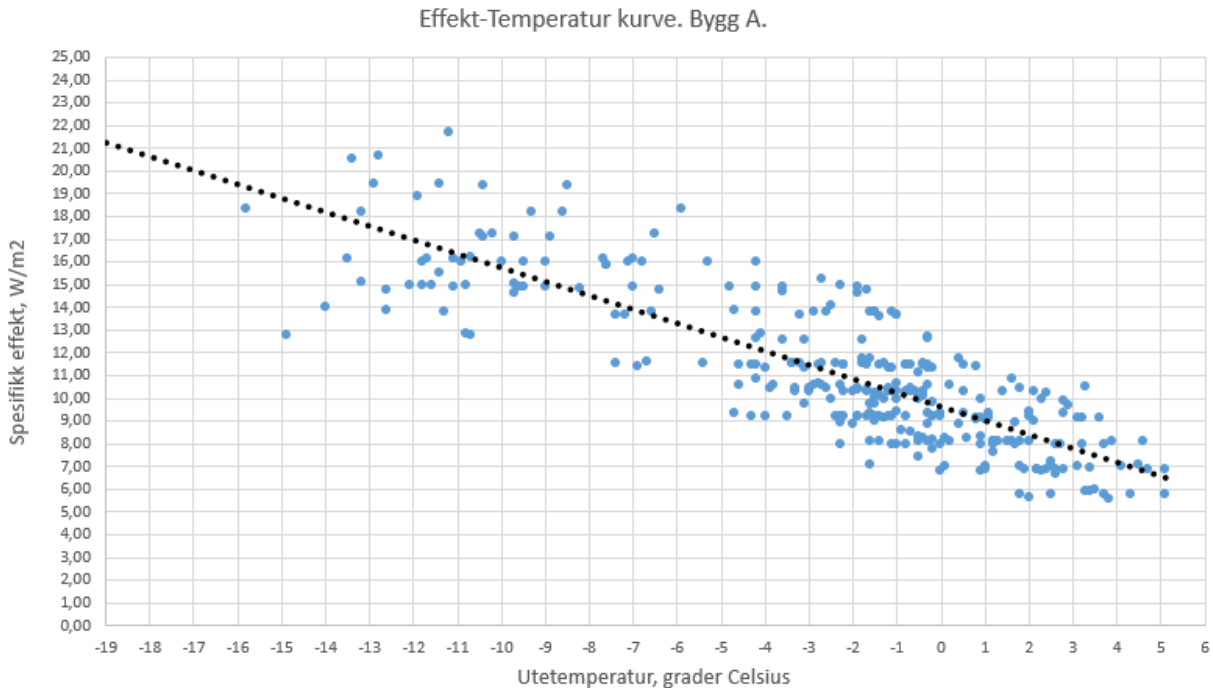
Det skal undersøkes hva blir resultat av ekstrapolering av effektbehovet til oppvarming ved bruk av Effekt-Temperatur kurve. Kurven skal plottes basert på timesverdier for utetemperatur og

timesverdier for levert effekt til oppvarming. Effekt som leveres til snøsmelteanlegget ekskluderes fra beregninger.

For Bygg A tas timesverdier for februar og klimadata fra Voll målestasjon. Data for helger og utenfor driftstid er ekskludert. Følgende poster for termiske effekter er med:

- Radiatorer og konvektorer i P-kjeller
- Gulvvarme i atriet
- Ventilasjon og aerotempere.

Det legges merke til at energioppfølgingssystemet gir ikke riktig informasjon om termiske effekter. Noen poster kommer 2 ganger i regnskapet, men allikevel inkluderes i total summen som bruker av systemet ser på skjermen.



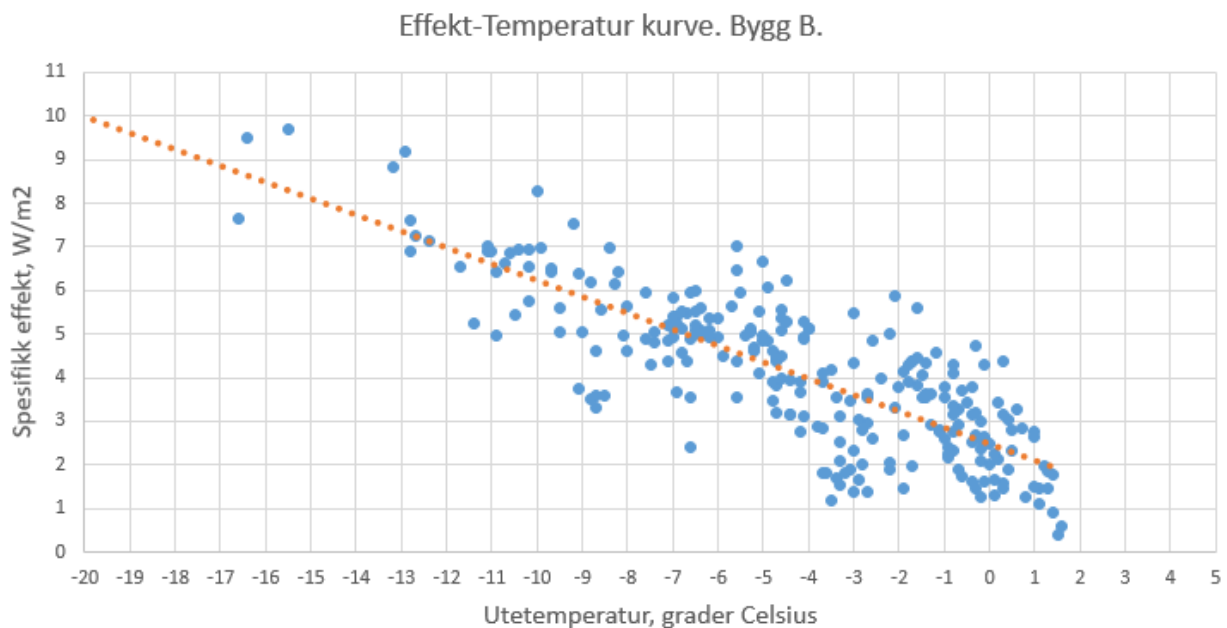
Figur 27 - Effekt-Temperatur kurve for oppvarming i februar 2018. Bygg A

ET-kurve (Figur 27) viser hvordan øker effekt til oppvarming mens utetemperatur senker. Det er en del variasjon i målinger, men trenden er ganske synlig. Ved bruk av lineær trendlinje fås en spesifikk effekt på ca. 21 W/m², noe som tilsvarer 189 kW. Den effekten treffer ganske godt verdien for rom- og ventilasjonsvarme fra tidlig prosjekteringsfase på 170 kW. I forhold til beregninger fra detaljprosjektering (360 kW) er resultat av ekstrapolering nesten 2 ganger mindre. Flere faktorer kan ligge i grunn av avviket. Først og fremst tar ET-kurve hensyn til interne

laster og soltilskudd – noe som har veldig stor betydning for tette bygg med ventilasjon som har høy gjenvinningsgrad. Andre faktor er samtidighet. ET-kurve er basert på reelle målinger som gjenspeiler reel samtidighet. I beregninger brukes ofte meget konservative antagelser for denne parameteren.

Tilsvarende kurve tegnes for Bygg B også. For å gjøre det lettere å sammenlikne to bygninger tas måledata fra februar. Klimadata fra Lambertseter målestasjon ble brukt for Bygg B. Følgende poster er med:

- Termisk varme til ventilasjon
- Grenstaver.



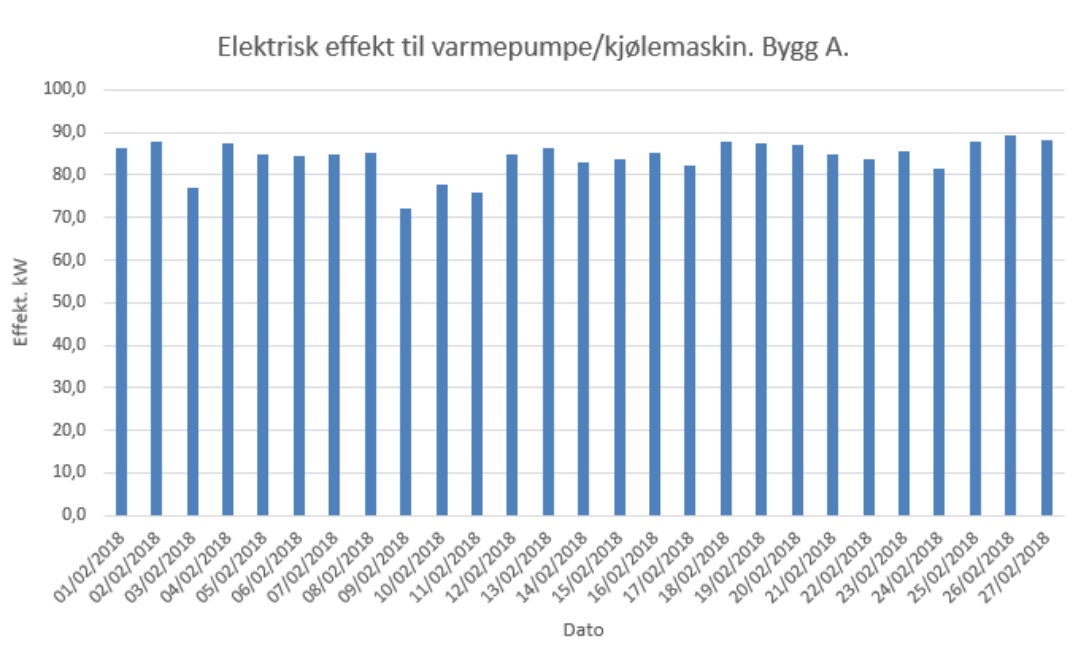
Figur 28 - Effekt-Temperatur kurve for oppvarming i februar 2018. Bygg B

Lineær ekstrapolering av måledata i Excel (Figur 28) gir spesifikk effekt på ca. 10 W/m² ved DUT som resulterer total effekt til oppvarming på 140 kW. Dette er nok lavere enn prosjektert verdi på 190 kW, men siden interne laster er inkludert i resultat fra ET-kurve, er prosjektert verdi ganske bra estimat for termisk effekt til romoppvarming.

ET-kurve ser ut som et godt verktøy for ekstrapolering av termiske effekter til DUT. Termisk effekt til snøsmelting må ekskluderes fra data som tas med. Grunn til det er veldig store termiske effekter snøsmelteanlegget trekker ved ikke spesielt lave temperaturer. Måledata for snøsmelting analyseres i Kapittel 3.3.13.

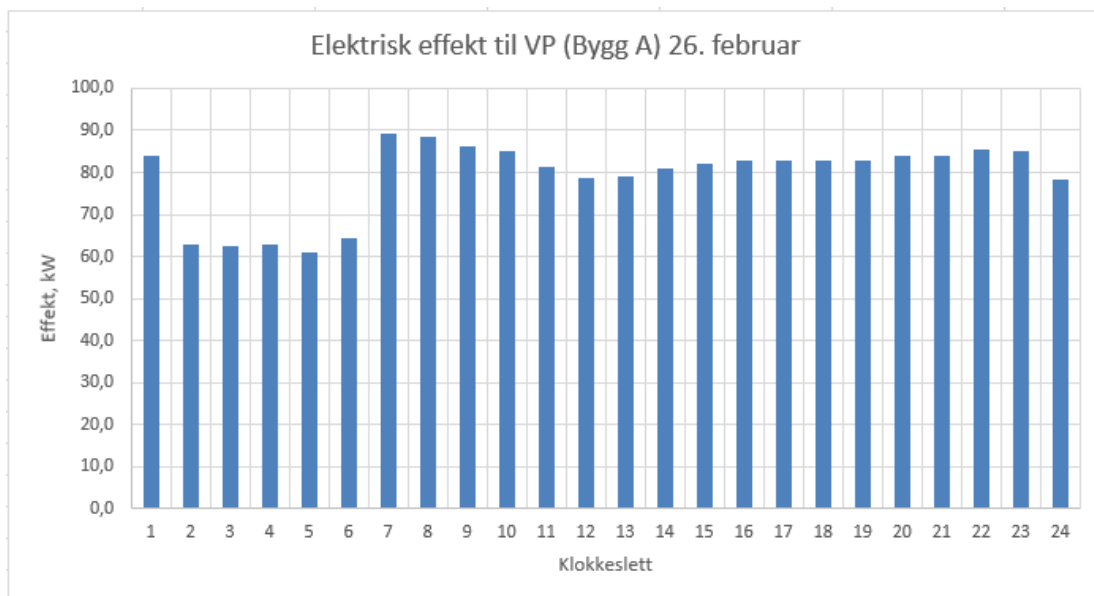
3.1.6 Elkraft til varmepumper/kjølemaskiner

Varmepumpe IK01 dekker mest parten av varme- og kjølebehovet i Bygg A. Under varmedrift trenger varmepumpen tilføring av elektrisk effekt på 84kW, mens i kjøledrift den effekten er lik 81 kW ifølge teknisk beskrivelse fra Oilon Scancool (Vedlegg 5). Februar 2018 ser ut som en representativ periode for analyse av elkraft som brukes for drift av varmepumpe. Figur 29 viser effekttopper for en periode 1.02.2018 – 27.02.2018. Strømmålinger er tatt opp på timesbasis og den største verdien for hvert døgn er vist på grafen.



Figur 29 - Elektrisk effekt til drift av VP i Bygg A

Selv om det er ganske jevn fordeling av maksimale effekter i den perioden, fra 73 kW til 90 kW, kan allikevel defineres effekttopp på mandag den 26. februar. Detaljert oversikt for den dagen er gitt i Figur 30.



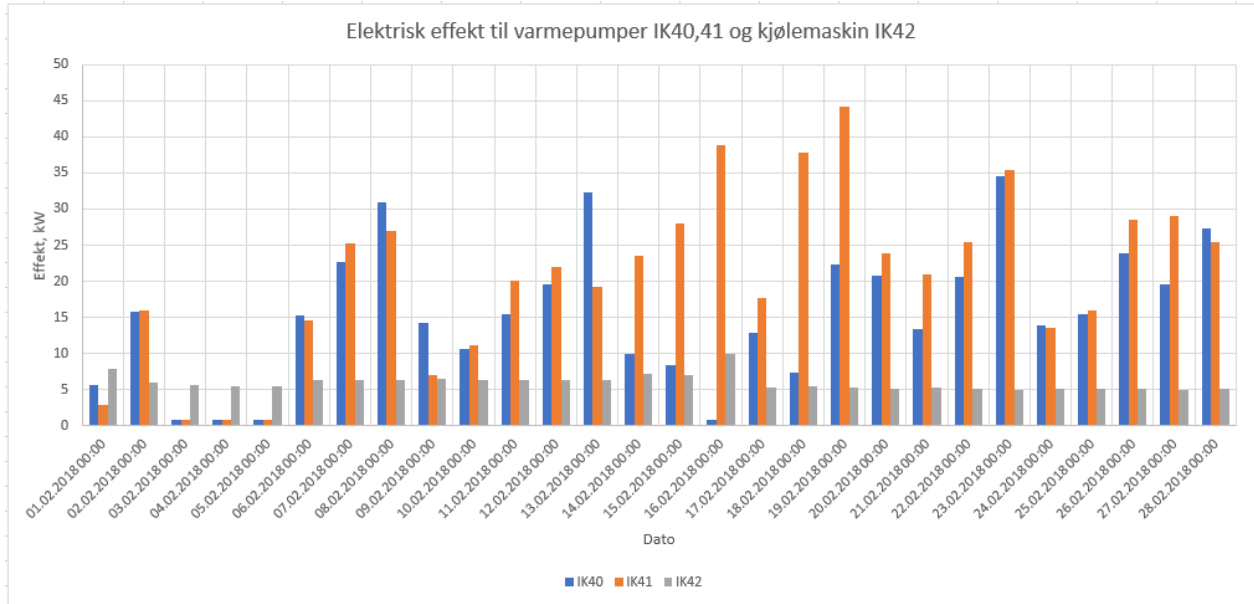
Figur 30 - Elektrisk effekt til drift av VP i Bygg A i løpet av ett døgn

Den dagen middeltemperatur var lik $-10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, mens dagen minimum og maksimum var på $-13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ henholdsvis. Elektrisk effekt som tilføres til varmepumpe har ikke spesielt store variasjoner i løpet av en dag. Det kan defineres effekttopp kl.7 i forbindelse med oppstart av alle tekniske installasjoner og litt lavere forbruk i natt, mellom kl.2 og kl.6. Utetemperatur har ikke direkte påvirkning til drift av varmepumpe siden temperatur i energibrønner har veldig lave variasjoner gjennom hele året.

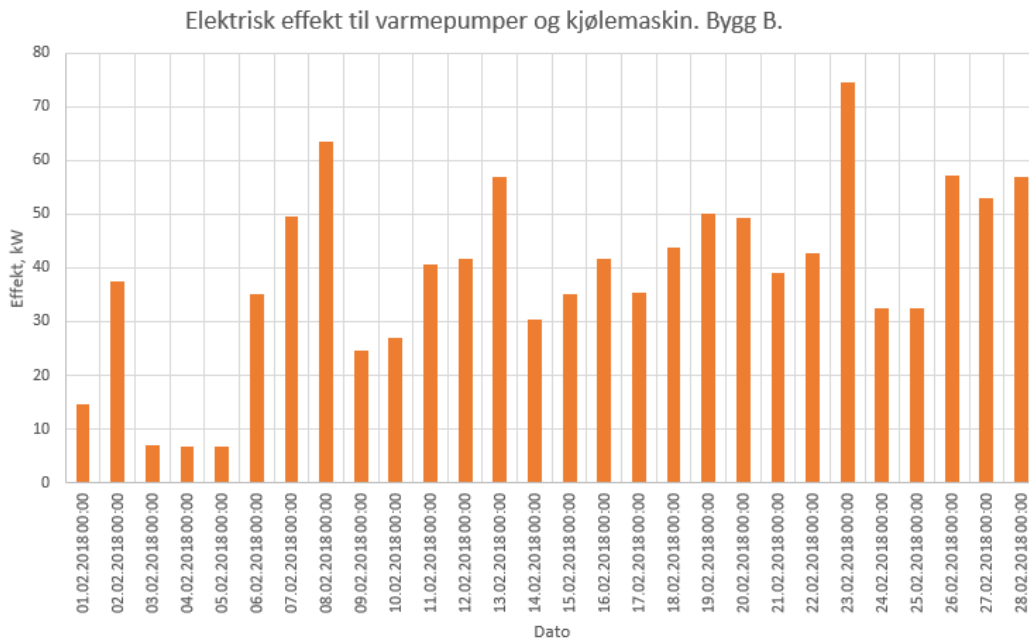
Målt effekt er noe større enn effekten som er oppgitt fra produsenten. Det er ukjent hvordan målere er lagt inn i energioppfølgningssystemet og antagelig inkluderer målinger for varmepumpe effekter til sirkuleringspumper JP5 og JP8.

Måledata for Bygg B tilbyr mulighet til å gjennomføre analyse av både varmedrift og kjøledrift av varmepumper som er installert i bygget. Varme- og kjølebehov i Bygg B er dekket av to like varmepumper IK40 og IK41. Hver varmepumpe krever tilføring av elektrisk effekt på 95 kW. I tillegg til det er det installert kjølemaskin IK42 med effekt på 15,5 kW som tilfører kjøling til datarom og er i drift hele året. Det vil si at total installert elektrisk effekt til varmepumper/kjølemaskin er lik 205 kW.

Figur 31 og 32 viser varmedrift av anlegget med fordeling av elektriske effekter mellom 3 aggregater og total elektrisk effekt til drift varmpumper og kjølemaskin i perioden 1.02.2018 – 28.02.2018.

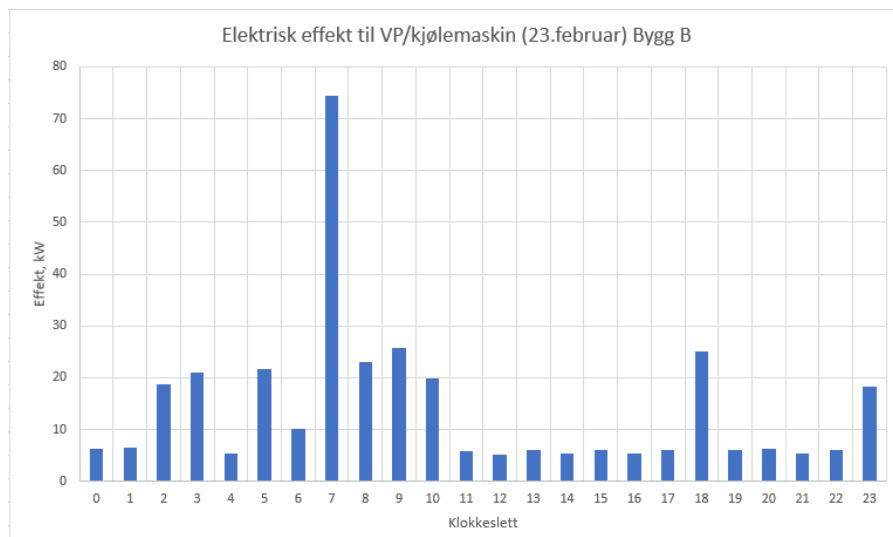


Figur 31 - Elektrisk effekt til drift av varmpumper og kjølemaskin i Bygg B



Figur 32 - Total elektrisk effekt til drift av varmpumper og kjølemaskin i Bygg B

På fredag den 23. februar 2018 kan lett defineres effekttopp på ca. 75 kW. Den detaljerte oversikten er vist i Figur 33 under:

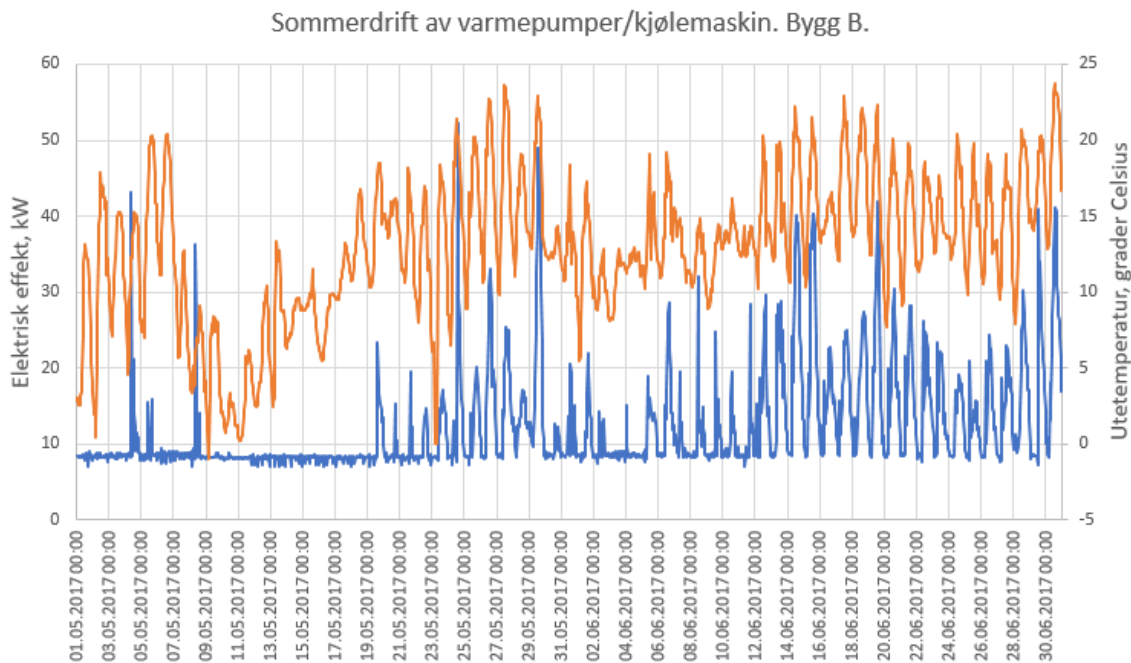


Figur 33 - Total elektrisk effekt til drift av varmepumper i Bygg B i løpet av 1 døgn

Temperaturoversikt for den dagen er følgende: middeltemperatur $-3,4^{\circ}\text{C}$, maksimal temperatur $-0,7^{\circ}\text{C}$, minimal temperatur -10°C .

Måledata viser at varmepumpene går på dellast mest parten av tiden. Det er en stor fordel at varmepumpe har flere kompressortrinn. Slik opprettholdes høy COP-faktor. I forhold til installert elektrisk effekt, viser måledata kraftig overdimensjonering: 75 kW målt mot 205 installert.

Figur 34 viser sommerdrift av varmepumper IK40 og 41 og kjølemaskin IK42.



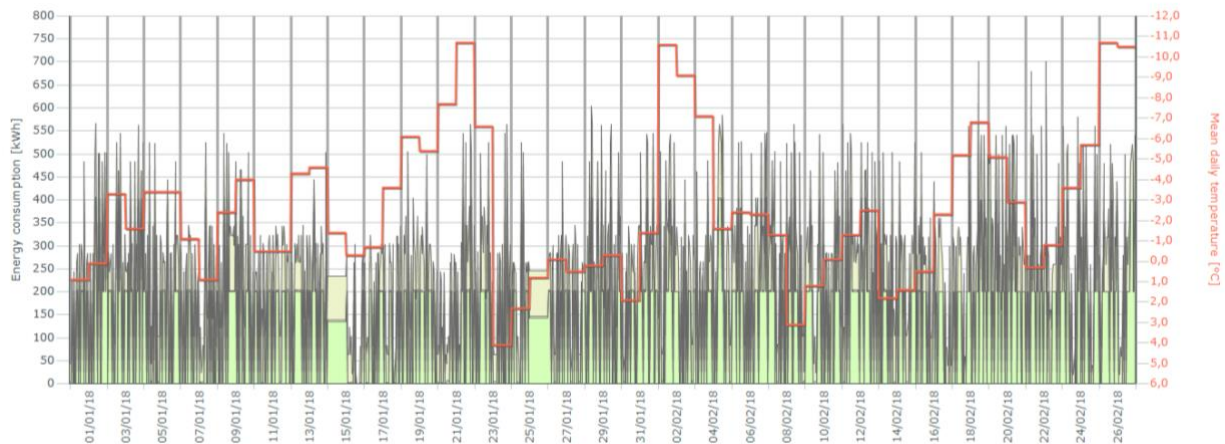
Figur 34 - Elektrisk effekt til drift av varmepumper i kjølemodus og kjølemaskin i Bygg B

Kjølemaskin trekker konstant elektrisk effekt på rundt 9 kW og varmepumper IK40 og IK41 trekker elektriske effekter som endrer seg i takt med utetemperaturer og kjølebehov. Størst registrert elektrisk effekt i mai-juni 2017 for alle 3 aggregater er lik 52 kW, som er igjen 4 ganger lavere enn installert effekt på disse elementene.

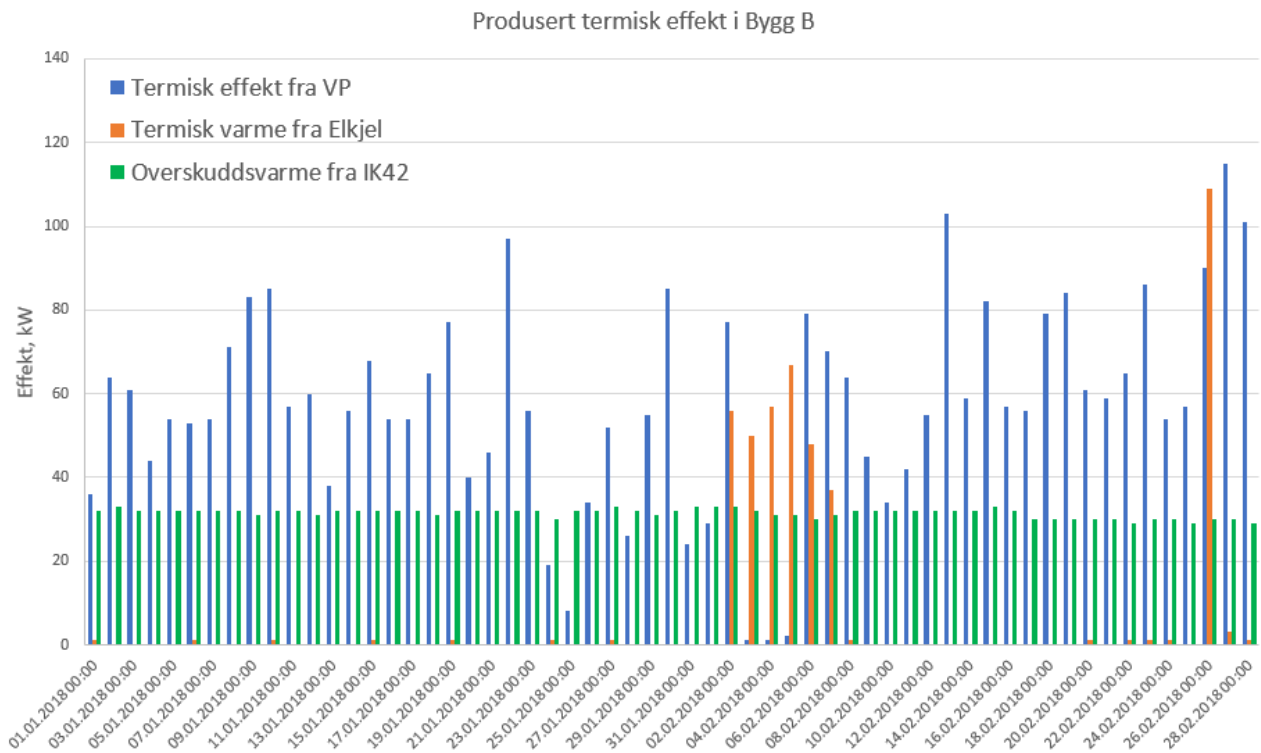
3.1.7 Termisk varme fra varmepumper

Dagene med største elektriske effekter til varmepumper i begge bygg tas videre for mer nøye analyse. Det er interessant forskningsspørsmål hvor mye varme ble produsert av installerte varmepumper og hvor effektivt fungerer løsninger som brukes i case-bygninger.

Oversikt over termiske effekter for Bygg A og Bygg B i perioden 1.01.2018 – 28.02.2018 er vist i Figur 35 og Figur 36 henholdsvis.

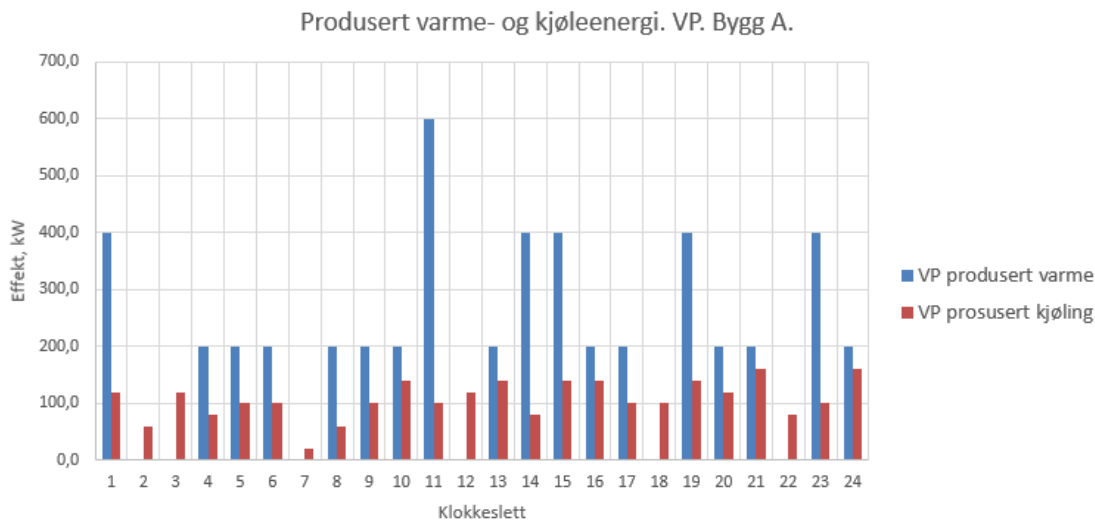


Figur 35 - Termisk effekt fra VP. Bygg A



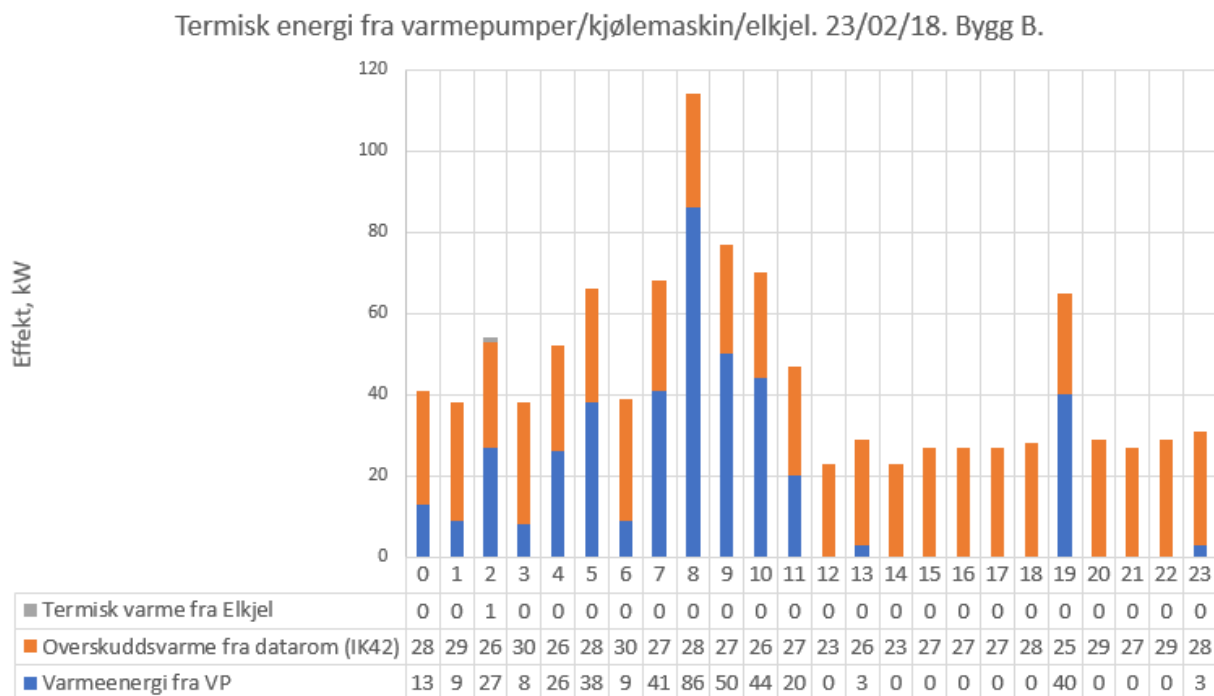
Figur 36 – Produsert termisk effekt i Bygg B: VP + Elkjel + overskuddsvarme

Oversikt over døgnvariasjon på termiske effekter fra varmepumper er vist i Figur 37 og Figur 38. For Bygg A er det 26. februar med størst elektrisk effekt til varmepumpe på nesten 90 kW. Og for Bygg B er det 23. februar med størst elektrisk effekt til varmepumper og kjølemaskin på ca. 75 kW. Effektopper er registrert kl.07 i begge bygninger.



Figur 37 - Termisk effekt fra VP for et døgn. 26/02/2018 Bygg A

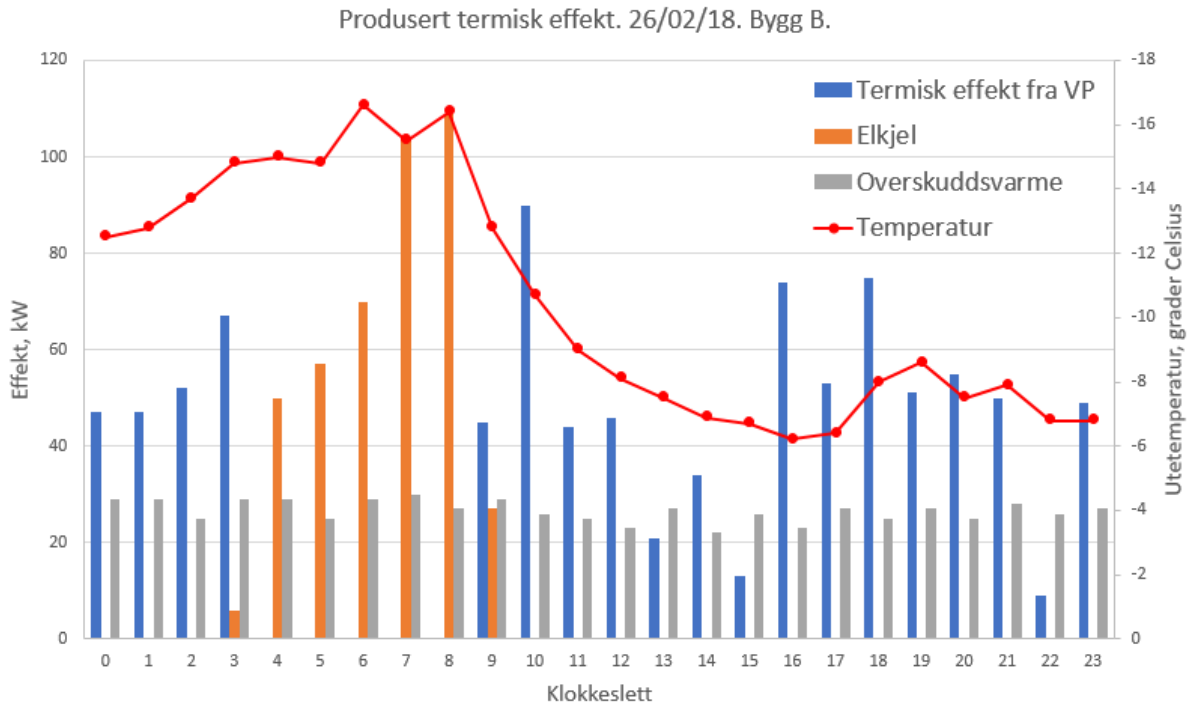
Måledata for Bygg A viser at energimåler for produsert varme viser verdier som kan ikke være realistiske og stemmer ikke med effekt fra produsent (Tabell 4). Måledata stemmer ikke heller med målinger for elektrisk effekt (Figur 30). Antageligvis avrundes målinger. Gjennomsnittlig verdi for 26.februar er 208 kW. Dette er litt lavere enn installert effekt på 227 kW.



Figur 38 - Termisk effekt fra varmpumpe/elkjel samt overskuddsvarme fra datarom for ett døgn. Bygg B. 23/02/2018

Måledata for Bygg B den 23. februar viser effekttopp på 114 kW hvor 25% (28 kW) er overskuddsvarme fra datarom. Varmeproduksjon er høyest den dagen sammenliknet med andre dager i februar. Størst elektrisk forbruk til drift av varmpumper kan skyldes dårlig driftspunkt for luft-til-vann varmpumper og som følge lav COP.

26.februar ser ut som en kritisk dag med høye effekter både for termisk energi fra varmpumper og elkjel (Figur 39).



Figur 39 - Produsert varme i Bygg B. 26/02/2018

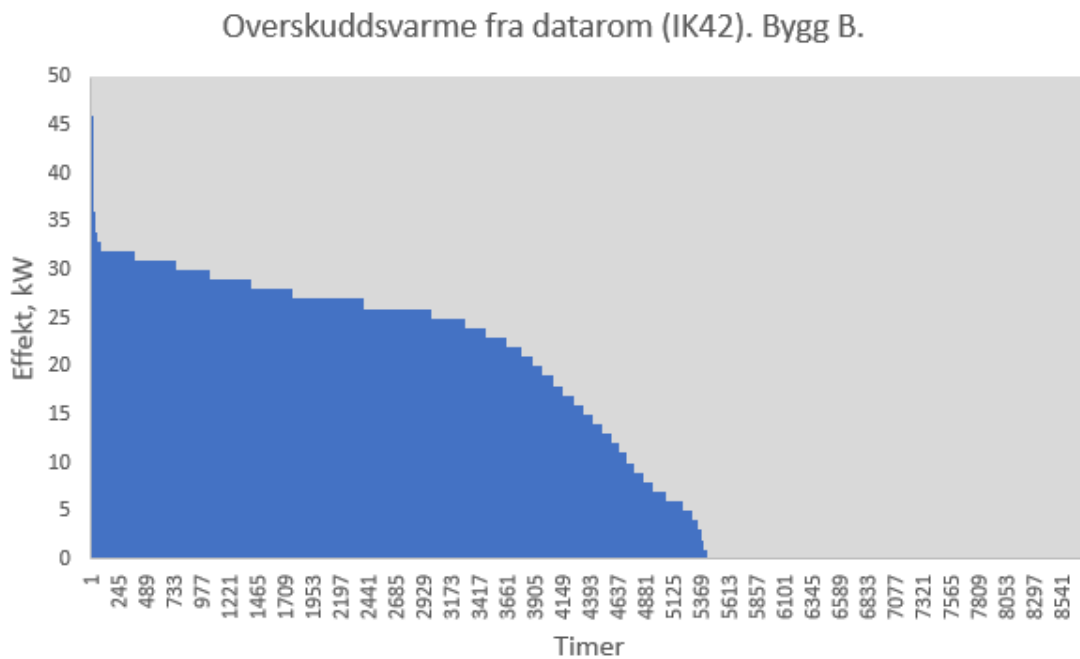
Effekttoppene oppstår ikke samtidig. Elkjel dekker varmebehovet ved lav utetemperatur da luft-til-vann varmpumper stanser (effekttopp på 110 kW). Varmepumper tar over videre med effekttopp på 90 kW. Overskuddsvarme fra serverrom leverer effekt på ca. 30 kW hele døgnet. Den høyeste produserte effekten fra varmpumper IK40 og 41 i perioden mars 2017 – februar 2018 var 115 kW. Til sammenligning var høyest produsert effekt i 2013-2014 på 156 kW (Orvik, 2015). Oversikt av målte og installerte verdier er vist i Tabell 19.

Målt effekt, [kW]	Installert effekt, [kW]	Overdimensjonering, [%]
115	500	334
156	500	220

Tabell 19 - Målte og installerte effekter for varmproduksjon i Bygg B

Tabell 19 viser at én varmepumpe av samme type (varmekapasitet på 250 kW ved +5/+35 °C og 160 kW ved -15 °C) er i stand til å levere tilstrekkelig nok varme i Bygg B.

Mulighet til overføring av overskuddsvarme fra serverrom ser ut som en meget bra løsning som reduserer belastning på varmepumpene og elkjel i fyringssesongen. Gjennomsnittlig effekt ble levert i perioden mars 2017 – februar 2018 er lik 23 kW (21 kW i 2013-2014 (Orvik, 2015) med absolutt størst verdi på 46 kW (Figur 40). Basert på data som var gjennomgått tidligere dekker den effekten ca. 20% av total termisk effekt til oppvarming.



Figur 40 - Varighetskurve for overskuddsvarme fra serverrom i Bygg B

3.1.8 Elektrisk effekt til ventilasjonsanlegget

Ventilasjonsanlegget i Bygg A bestående av 4 ventilasjonsaggregater og aerotempere i P-kjeller har varmebatterier med total effekt på 200 kW og kjølebatterier med total effekt på 261 kW. Som det var nevnt ovenfor er kjølebehovet dimensjonerende i det bygget og i tillegg til ventilasjonskjøling inkluderer lokal kjøling og konstant årlig prosesskjøling.

Ifølge prosjekteringsunderlaget har 4 ventilasjonsaggregater elektriske effekter som er representert i Tabell 20:

Aggregat nr.	Elektrisk effekt, kW
Aggregat 360.01	18 kW
Aggregat 360.02	15 kW
Aggregat 360.03	18 kW
Aggregat 360.04	13 kW

Tabell 20 – Prosjektet elektrisk effekt til ventilasjon. Bygg A

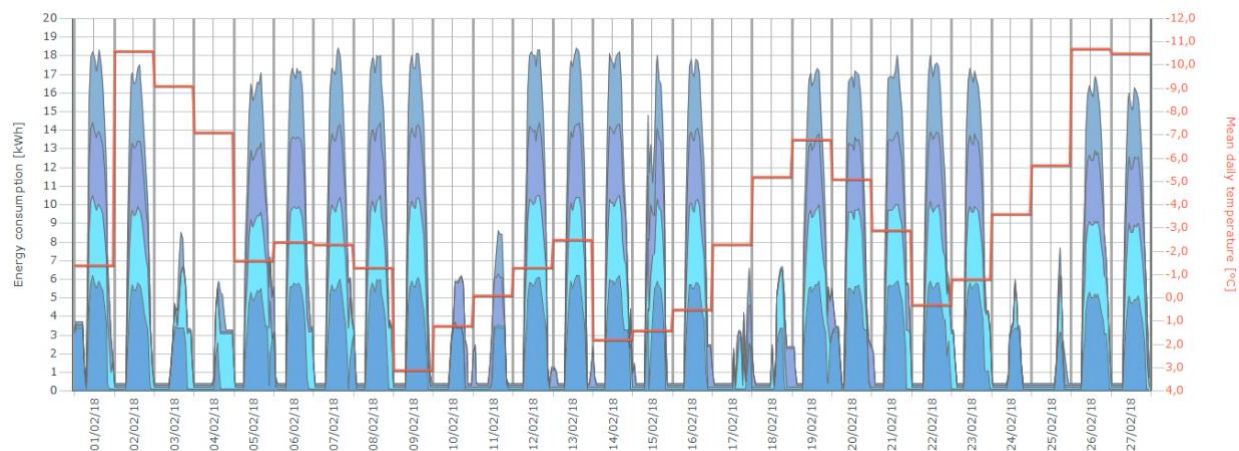
I bygget er faktisk installert 4 ventilasjonsaggregater fra System Air av type DVCompact E80 som har 2 modifikasjoner. Den ene har elektrisk effekt på 15 kW og den andre har elektrisk effekt på 22 kW. Dette skyldes bruk av ulike elektriske motorer som brukes på tilluftsvifte og avtrekksvifte for den modellen. Relevant teknisk data for aggregatet er gitt i Tabell 21.

Model	Fans (kW tot.) 400 V 3N~	Current per motor (A) 400V 3N~ models	Current per motor (A) 230V 3~ models	Total current (A) 400V 3N~ models	Total current (A) 230V 3~ models
20-R/20-X	4,4	5,5	9,5	11,5	19,5
25-R/25-X	4,4/6,0	4,7/6,4	9,5/11,5	11,5/13,7	19,5/23,5
30-R/30-X	6,0/8,0	6,4/8,2	11,5/15,0	13,7/18,4	23,5/31,0
40-R/40-X	8,0/11,0	8,2/11,4	15,0/19,8	18,4/23,8	31,0/39,6
50-R/50-X	11,0/15,0	11,4/15,1	19,8/29,6	23,8/35,0	39,6/60,2
60-R/60-X	11,0/15,0	11,4/17,0	19,8/29,6	23,8/35,0	39,6/60,2
80-R/80-X	15,0/22,0	17,0/21,5	29,6/37,2	35,0/44,0	60,2/75,4

Tabell 21 - Teknisk data for ventilasjonsaggregat DVCompact E80

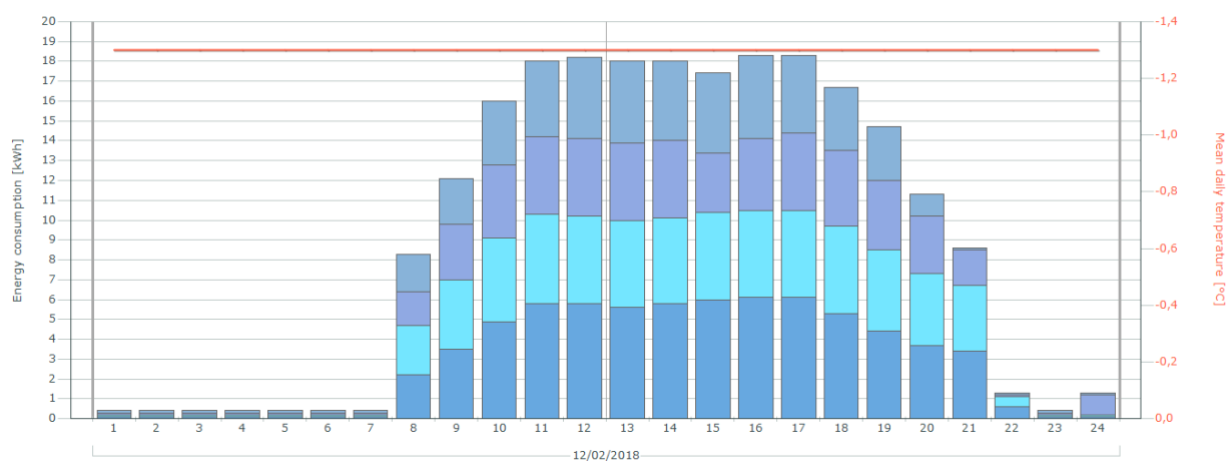
Aggregatet er utstyrt med frekvensomformere som sikrer turtallsregulering av vifter og «myk» start av aggregatet.

Figur 41 viser elektriske effekter til ventilasjon i februar 2018. Resultater som er representert i grafen er tatt opp med timesopløsning.



Figur 41 - Elektrisk effekt til ventilasjon. Februar 2018. Bygg A

Ut ifra resultater for februar 2018 oppdages jevne topper i driftstiden og i helgen, når kun grunnventilasjon er i drift. For mer detaljert oversikt av drift av ventilasjonsanlegget ble valgt mandag den 12. februar (Figur 42).



Figur 42 - Elektrisk effekt til ventilasjon i løpet 1 døgn i Bygg A. 12.februar 2018

Resultater for den dagen viser at det er nesten ingen variasjon i elektrisk effekt for alle 4 aggregater mellom kl. 11 og kl. 17 med antagelig likt tilstedeværelse i bygget. Effekttopp ligger på ca. 18 kW.

For å definere høyeste målte elektriske effekter for hvert av ventilasjonsaggregat ble undersøkt periode 1.09.2017 – 27.02.2018. Dette er den lengste perioden som var tilgjengelig på det øyeblikket når analyse av måledata var utført. Figur 43 viser 15 høyeste målte effekter for hvert av 4 aggregater som er installert i bygget.



Figur 43 - 15 høyeste effekter til hvert ventilasjonsaggregat i Bygg A

De største toppene med nøyaktig tidspunkt er gitt i Tabell 22.

Aggregat	Effekt, kW	Dato	Klokkeslett
360.01 sørvest	6,3	24/01	16
360.02 sørøst	7,9	11/09	16
360.03 nordøst	6,1	4/10	11
360.04 nordvest	5,3	4/10	11
Totalt målt	25,6		
Totalt prosjektert	64		
Totalt installert	60		

Tabell 22 - Effekttopper til hvert aggregat i periode 1.09.2017-28.02.2018. Bygg A

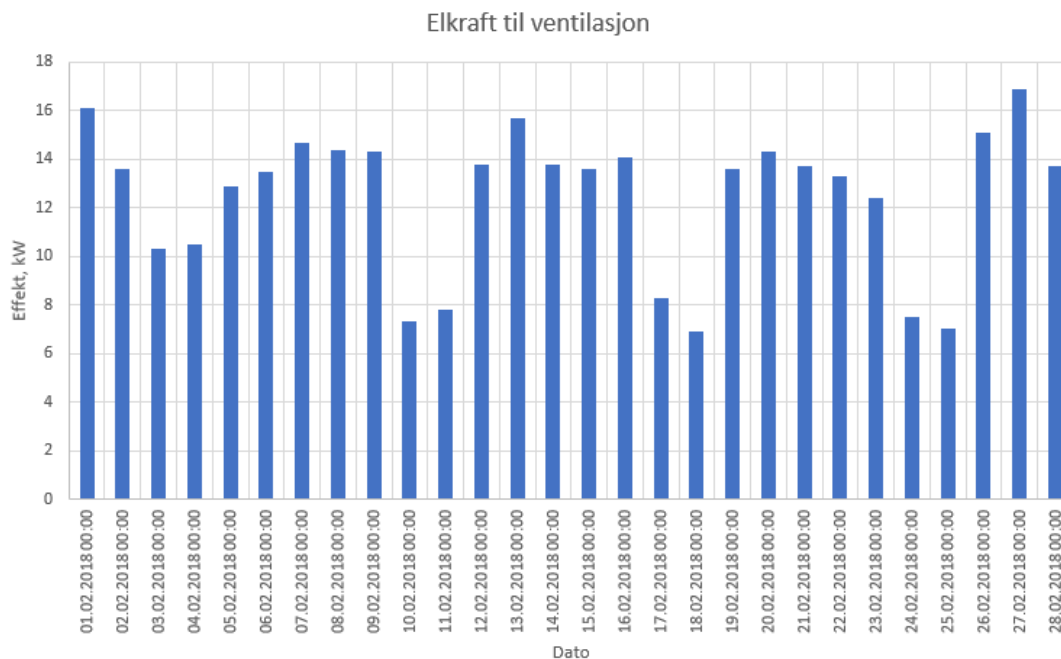
Ventilasjonsanlegget i Bygg B består av 6 ventilasjonsaggregater med to varianter av tilluft- og avtrekkpumper på 7,5 kW og 11 kW. Dvs. at maksimal elektrisk effekt som kan trekkes av installerte ventilasjonsaggregater er lik 15 kW eller 22 kW (Tabell 23).

Ventilasjonsaggregat	Elektrisk effekt, kW
360.01	15
360.02	15
360.03	22
360.04	22
360.05	15
360.06	15

Tabell 23 - Installerte ventilasjonsaggregater. Bygg B

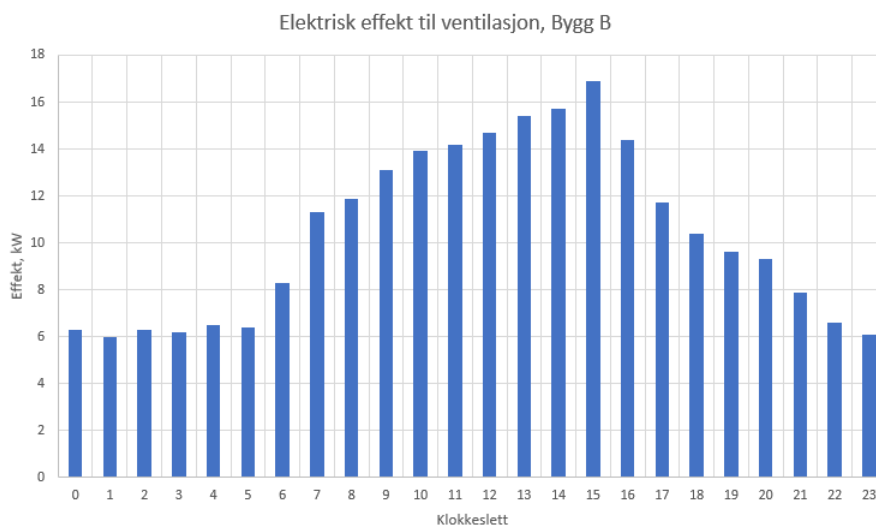
Vifter i alle aggregater har turtallsregulering som realiseres ved bruk av frekvensomformere. Noe som sikrer energieffektiv drift ved varierende luftmengder.

Effekttopper for alle 6 ventilasjonsaggregater for tilsvarende periode som for Bygg A (februar 2018) er vist i Figur 44. I løpet av en måneds drift kan defineres ganske jevne effekttopper fra mandag til fredag og vesentlig lavere effekttrekk utenom arbeidstiden. Den høyeste toppen i den perioden er lik 16,9 kW.



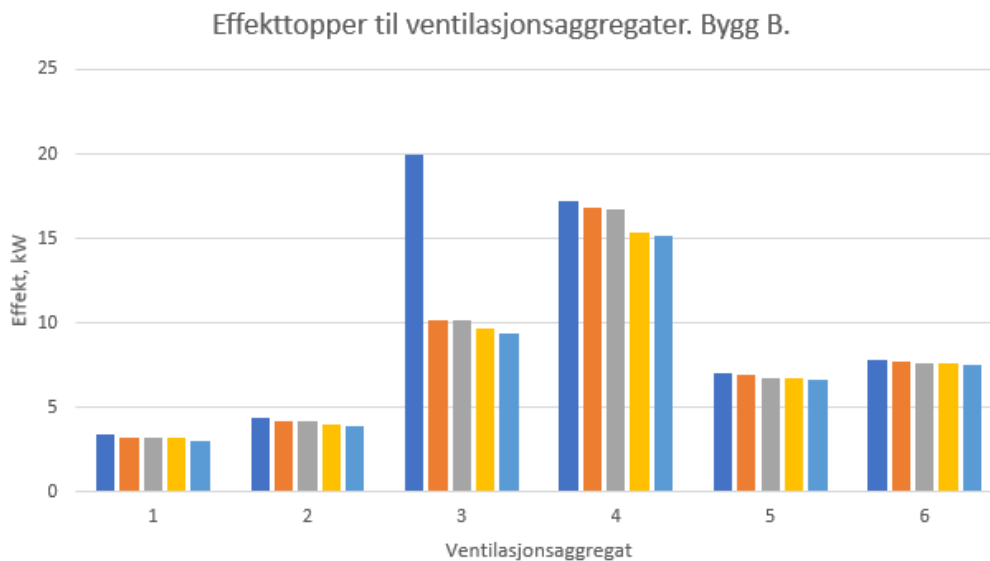
Figur 44 - Elektrisk effekt til ventilasjonsanlegget i Bygg B

Den 27. februar er dagen med størst effekt og skal dermed undersøkes videre ved å plote timesverdier for elektrisk effekt (Figur 45). Siden aktive tilluftsventiler brukes i det bygget, kan det observeres varierende luftmengder på ulike tidspunkter av døgnet. Den største samtidigheten på akkurat den dagen var kl. 15. Utenfor driftstid effekt som trekkes av ventilasjonsanlegget har nesten konstant verdi på ca. 6 kW.



Figur 45 - Elektrisk effekt til ventilasjon. Bygg B. 27/02/2018

Måledata fra Bygg B gir mulighet til å finne størrelse på effekttopper til hvert aggregat i løpet av et års drift og nemlig fra 1/03/2017 til 28/02/2018. Figur 46 viser 5 største effekttopper i løpet av den perioden for alle 6 aggregater.



Figur 46 - 5 effekttopper til ventilasjonsaggregater i Bygg B

Den største effektverdien for aggregat 360.03 ser ut som en «avvik»-måling og skal ikke tas videre som et relevant resultat. Tabell 24 viser effekttopper til hvert aggregat samt dato og nøyaktig tidspunkt for målinger.

Aggregat	Effekt, kW	Dato	Klokkeslett
360.01	3,4	24/05/2017	13
360.02	4,4	24/05/2017	13
360.03	10,2	11/09/2017	13
360.04	17,2	7/09/2017	14
360.05	7	24/05/2017	13
360.06	7,8	29/03/2017	15
Total målt effekt, kW	50		
Total installert effekt, kW	104		

Tabell 24 - Effekttopper til hvert aggregat i periode 1.03.2017 - 28.02.2018

Summen av effekttopper fra ulike tidspunkter med kunne antagelig oppstå i praksis er lik 50 kW. Noe som utgjør kun halvparten av installert elektrisk effekt for ventilasjonssystemet i Bygg B. Overdimensjonering i Bygg A er enda større og er over 100%.

3.1.9 Termisk effekt til oppvarming

Ut ifra tidligere beskrivelse av case-bygninger er det kjent at Bygg A og Bygg B har forskjellige strategier for oppvarming. Bygg A har følgende forbrukere av varmeenergi:

- Radiatorer
- Ventilasjon (varmebatterier)
- Snøsmelteanlegg
- Nabobygg
- Gulvvarme i atriet
- Varmtvannsberedere
- Konvektorer/luftport.

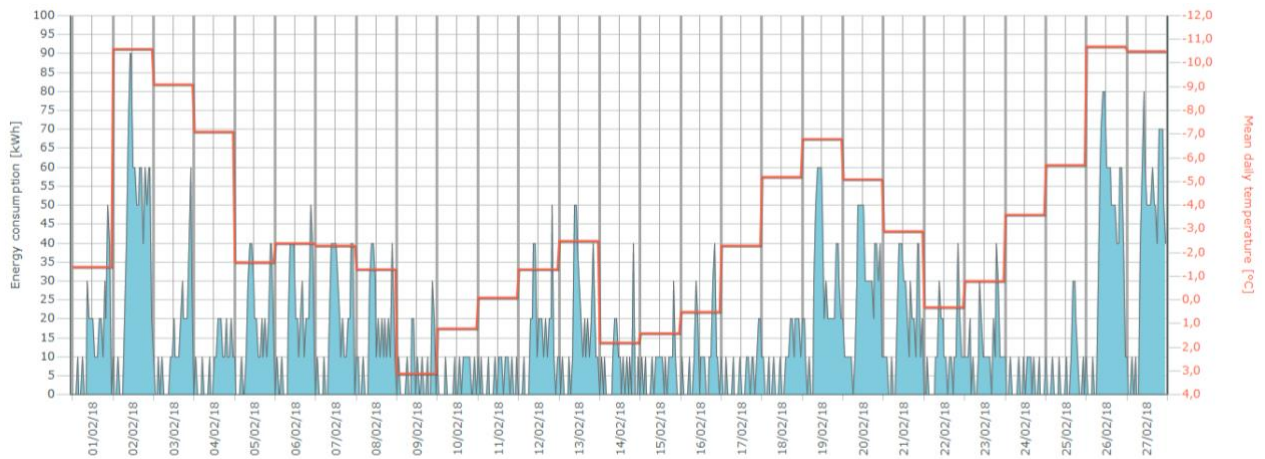
Bygg B har ventilasjonsvarme og dermed bruker mest parten av varmeenergi til ventilasjonssystemet. Elektriske varmeelementer på 200W brukes som spisslast for oppvarming og i prinsippet aktiveres ved ganske lave utetemperaturer. Dermed kan defineres følgende forbrukere av varme i Bygg B:

- Ventilasjon (varmebatterier)
- Varmtvannsberedere
- Snøsmelteanlegg.

I forbindelse med dette masterprosjektet blir presentert resultater for effektforbruk til romoppvarming og snøsmelting.

Termisk effekt til ventilasjon

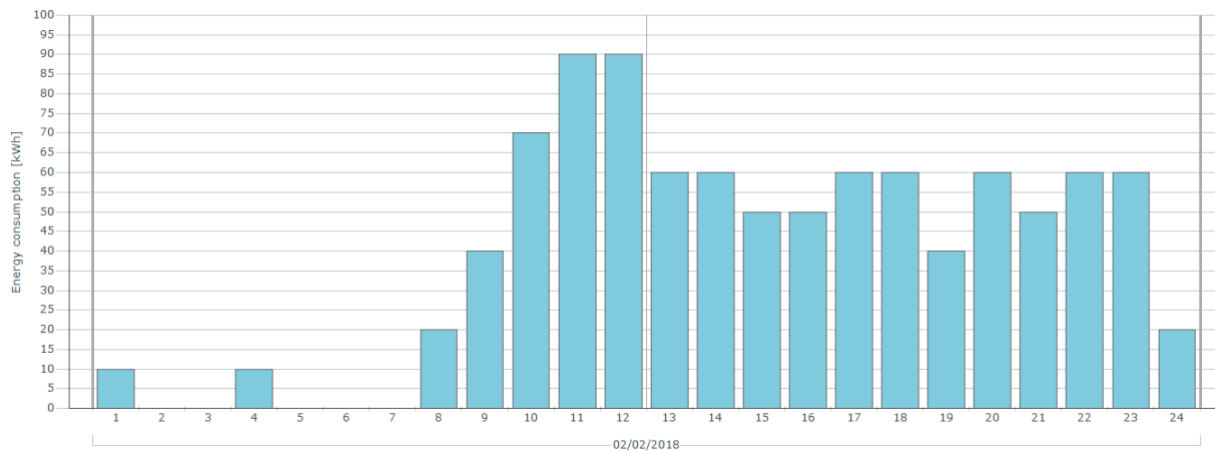
Figur 47 som er basert på timesverdier for februar 2018 viser termisk effekt som tilføres til varmebatterier og aerotempere i P-kjeller i Bygg A. Basert på prosjekteringsunderlaget er effekten for dette systemet lik 200 kW. Mens ut ifra data fra februar er denne effekten har størst verdi på 90 kW – 2.februar med dagens middeltemperatur på -10,6 °C.



Figur 47 - Termisk effekt til ventilasjon. Februar 2018. Bygg A

Tidsperiode fra 1.september 2017 til februar var undersøkt til å finne absolutt størst verdi for det tekniske systemet. Kun på en dag var registrert en effekttopp på 100 kW og nemlig på 6.desember 2018.

Figur 48 viser termiske effekter for ventilasjon med timesoppløsning for 2. februar.



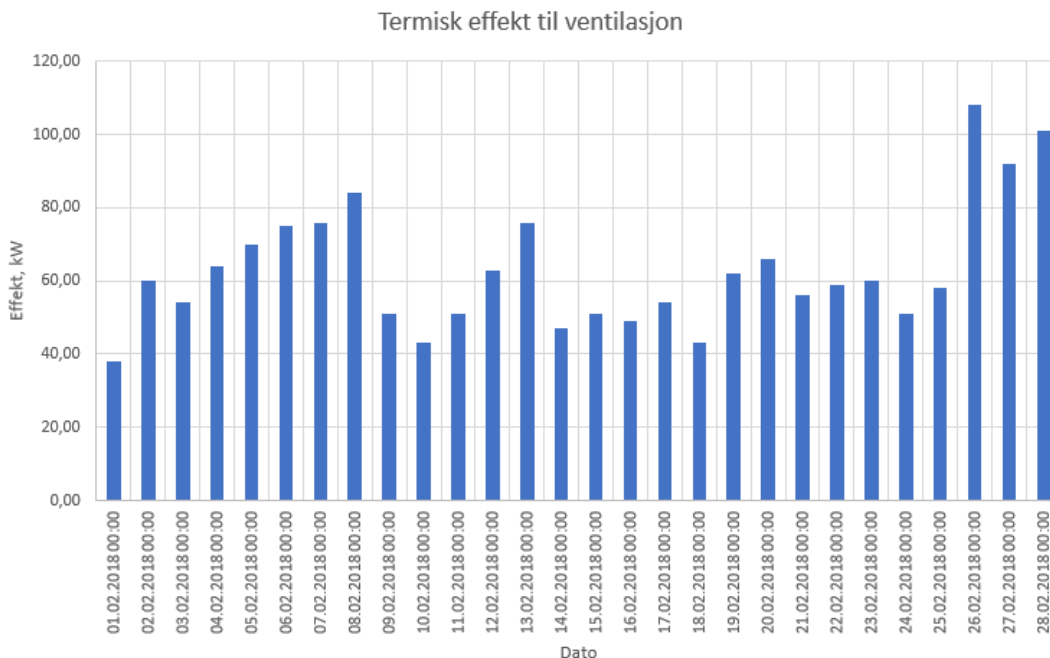
Figur 48 - Termisk effekt til ventilasjon. 2/02/2018. Bygg A

To effekttopper på 90 kW er målt kl.11 og kl.12. Grunn til det er endringen av utetemperatur i løpet av den dagen (Tabell 25). Tilført termisk varme til ventilasjonsanlegget økte i takt med senkende utetemperatur.

Kl.	5	6	7	8	9	10	11	12
Utetemperatur	-10 °C	-10,7 °C	-11,4 °C	-12,6 °C	-11,4 °C	-12,8 °C	-11,2 °C	-11,5 °C

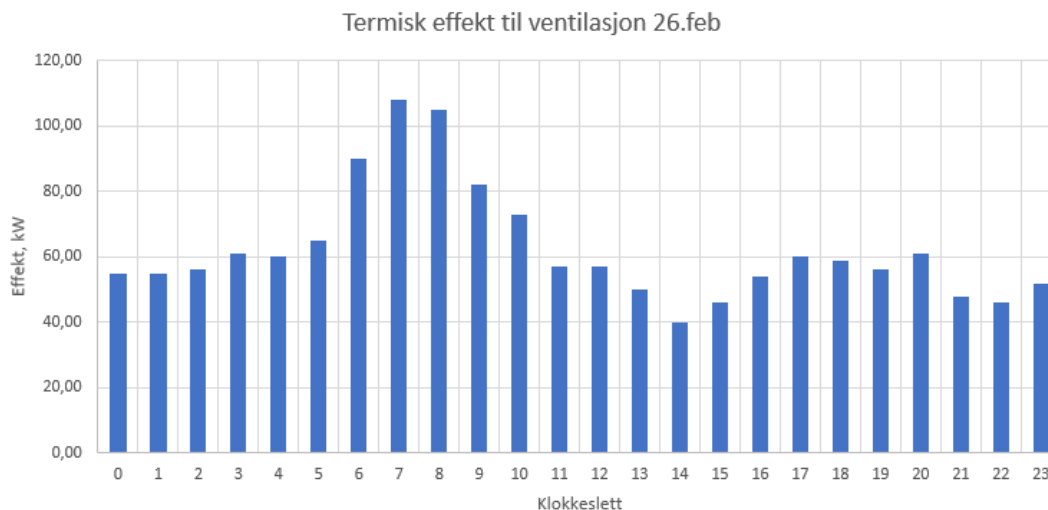
Tabell 25 - Endring av utetemperatur. 2/02/2018. Bygg B

For å lage grunnlag til sammenlikning av termisk effekt som tilføres til varmebatterier i case-bygninger representeres måledata for ventilasjonsanlegget for tilsvarende periode for Bygg B. Figur 49 viser effekttopper i februar 2018.



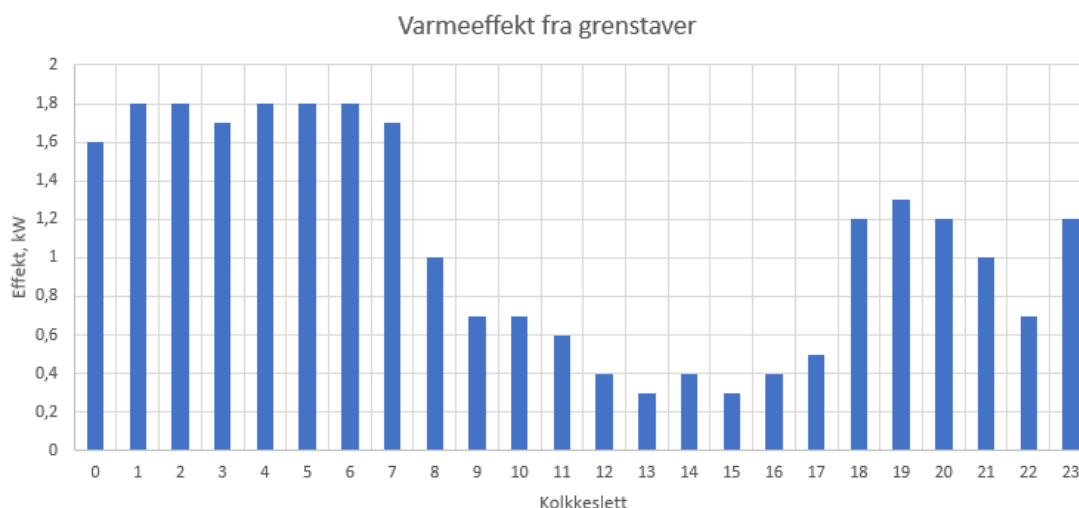
Figur 49 - Termisk effekt til ventilasjon. Februar 2018. Bygg B

Dagen med størst tilført termisk effekt og nemlig 26. februar er vist i Figur 50 nedenfor med timesverdier for denne parameteren. Ut ifra resultater for termisk effekt fra varmepumper og elkjel kan en se at det var størst produksjon av termisk effekt samme dag (Figur 36).



Figur 50 - Termisk effekt til ventilasjon. 26/02/2018. Bygg B

Siden ventilasjon brukes for romoppvarming i dette bygget, er det viktig å kontrollere hvor mye av effekten til dette formålet dekkes av varmeelementer i grenstaver som er montert i kontorlandskapet. Figur 51 viser effektverdier med timesoppløsning.



Figur 51 - Effekt til grenstaver. 26/02/2018. Bygg B

Resultater viser den største effekttoppen på 110 kW for termisk effekt til ventilasjon kl.07, noe som tilsvarer starten av arbeidsdagen. På det tidspunktet brukes ventilasjonsvarme til kompensasjon av nattsinking da ventilasjonssystemet går på omluft, utjevner temperatur i ulike deler av bygget og på den måten opprettholder en settpunkttemperatur. Grenstaver står for en liten andel av den totale effekten til romoppvarming den dagen og de største effekter er målt utenfor driftstid når ventilasjonsanlegget går på lave luftmengder og varmetilskudd fra interne

laster er vesentlig lavere enn i driftstiden. Bidrag fra elektriske varmeelementer er sikkert nødvendig for å opprettholde settpunkttemperatur i bygget.

I begge bygninger termiske effekter som tilføres til ventilasjonsanlegget er mye lavere enn prosjekterte og installerte verdier (Tabell 26).

	Målt termisk effekt, [kW]	Installert termisk effekt, [kW]
Bygg A	100	395
Bygg B	110	516

Tabell 26 - Målt, prosjektert og installert varmeeffekt til ventilasjon i case-bygg

Basert på tilgjengelig data er installert effekt 4 ganger større enn maksimal målt i Bygg A, og 5 ganger større i Bygg B.

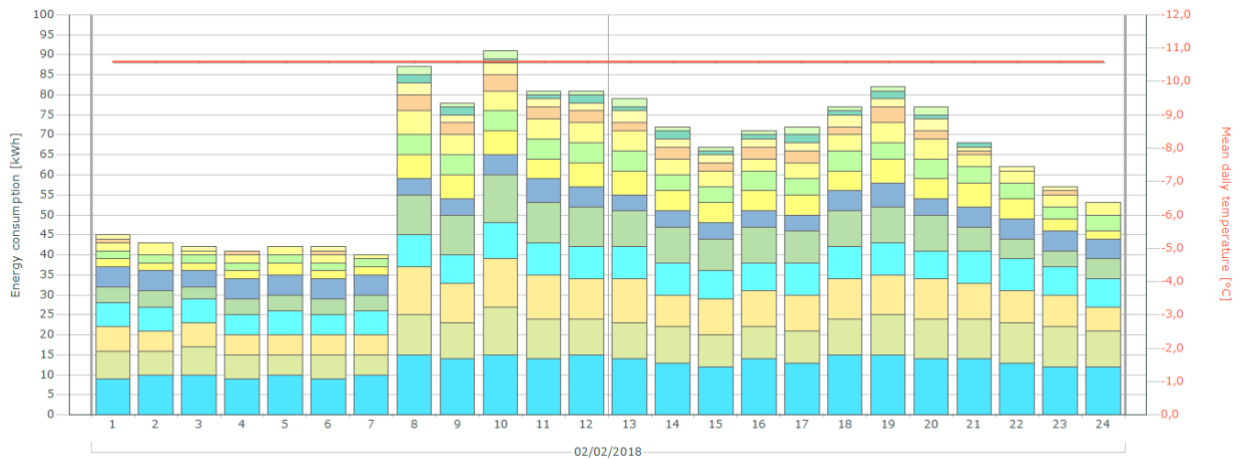
Effekttopper for begge bygninger viser at ventilasjonssystemet i Bygg A krever nesten like stor effekt som systemet i Bygg B, selv om Bygg B bruker ventilasjonsluften til oppvarming. Systemet i Oslo-bygget er mer energieffektiv og grunn til det er aktive tilluftsventiler i bygget, som sikrer optimal behovsstyring.

Romoppvarming i Bygg A

Når det gjelder romoppvarming i Bygg A, er det radiatorer som brukes for det formålet der.

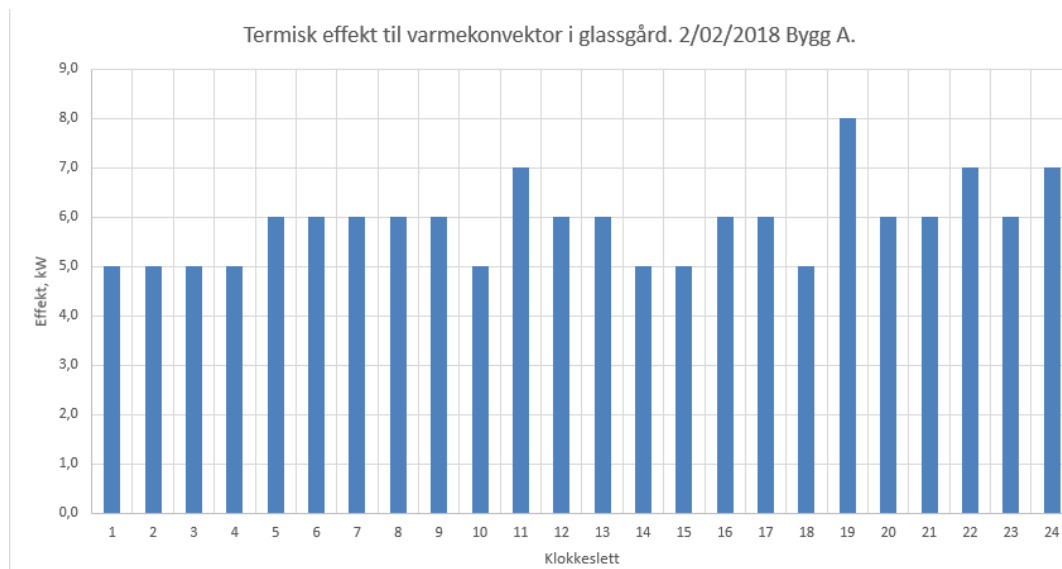
Prosjektert verdi for radiatornett er på 170 kW. Fellesareal ved inngangen har gulvarme med prosjektert verdi på 10 kW. Også er det installert konvektorer i glassgård og luftport. Prosjektert effekt for de er på 16,2 kW.

Etter analyse av periode 1/02/2018 – 28/02/2018 ble det funnet ut at det var 4 dager med størst tilført termisk effekt til romoppvarming. I alle disse dagene var registrert absolutt lave temperaturer i løpet av denne måneden. Men fredag den 2. februar skiller seg ut med aller høyest effekttopp til radiatorvarme på over 90 kW (Figur 52).

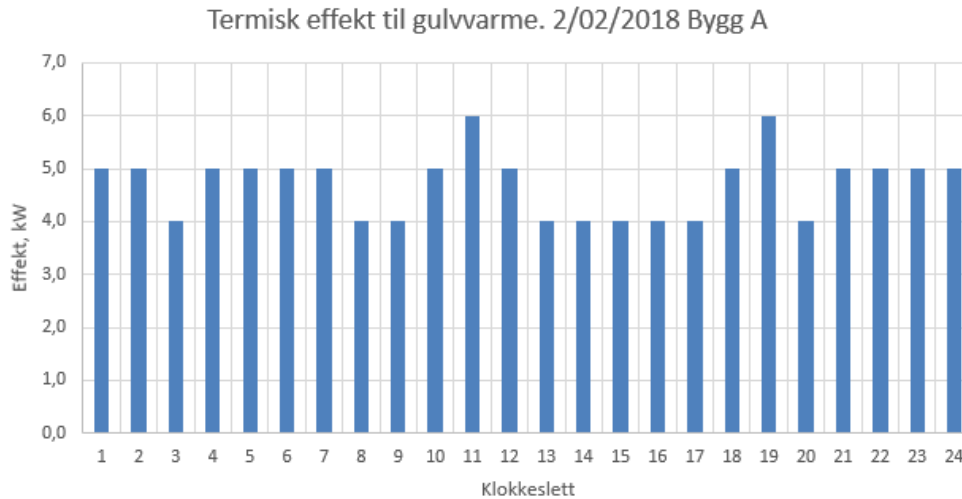


Figur 52 - Termisk effekt til radiatorer. 2/02/2018 Bygg A

Oversikt over termiske effekter som ble tilført til gulvvarme, varmekonvektor i glassgård på den dagen er vist i figur 53 og 54.



Figur 53 - Termisk effekt til varmekonvektor i glassgård. Bygg A



Figur 54 - Termisk effekt til gulvvarme. Bygg A

Termiske effekter til disse komponentene har ikke spesielt høye effekttopper og har ganske flat profil gjennom hele døgnet. Differansen mellom minst og høyest effekt til varmekonvektor ligger på 3 kW og til gulvvarme på 2 kW.

Måledata for alle 3 poster viser nesten 100% overdimensjonering i forhold til det som er installert.

Post	Målt, [kW]	Installert, [kW]
Radiatorer	90	170
Gulvvarme	6	10
Varmekonvektorer	8	16

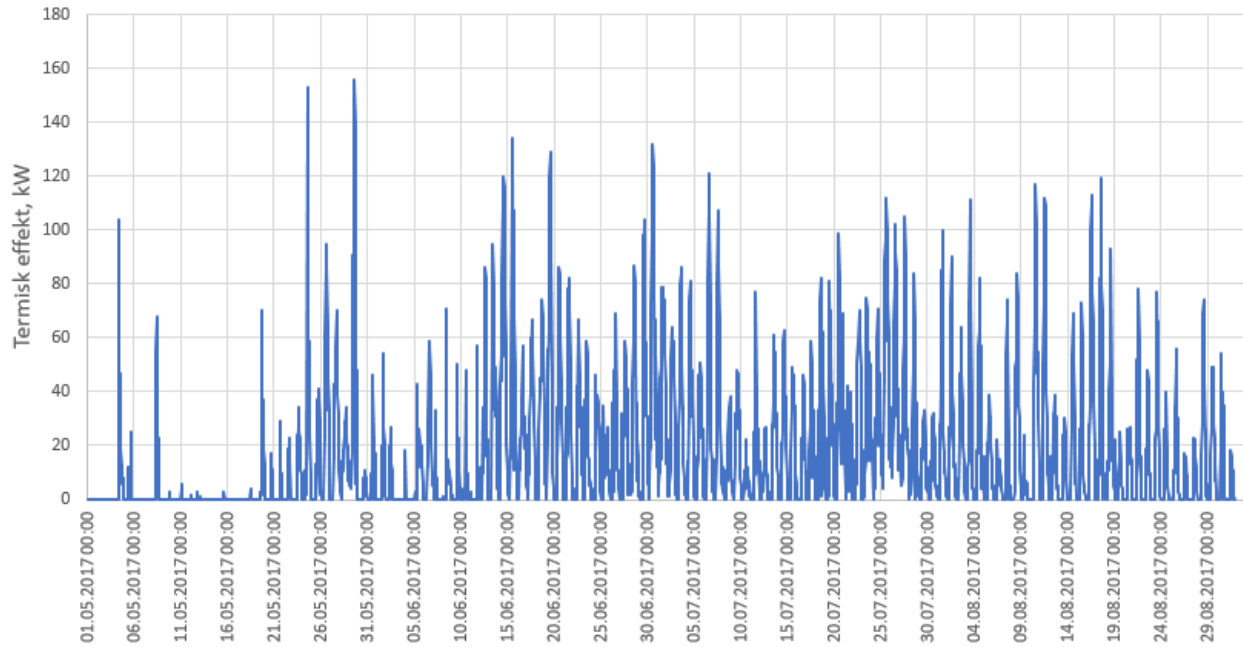
Tabell 27 - Målte og installerte effekter til romoppvarming i Bygg A

3.1.10 Termisk kjøling fra varmepumper i Bygg B

Bygg B har en del konstant kjølebehov hele året som dekkes av kjølemaskin IK42. Siden det behovet ligger på omtrent samme nivå hele tiden skal det analyseres kun kjølebehovet som dekkes av varmepumper IK40 og IK41 når de settes i kjøle drift.

Figur 55 viser termisk kjøling fra varmepumper i perioden mai 2017 – august 2017.

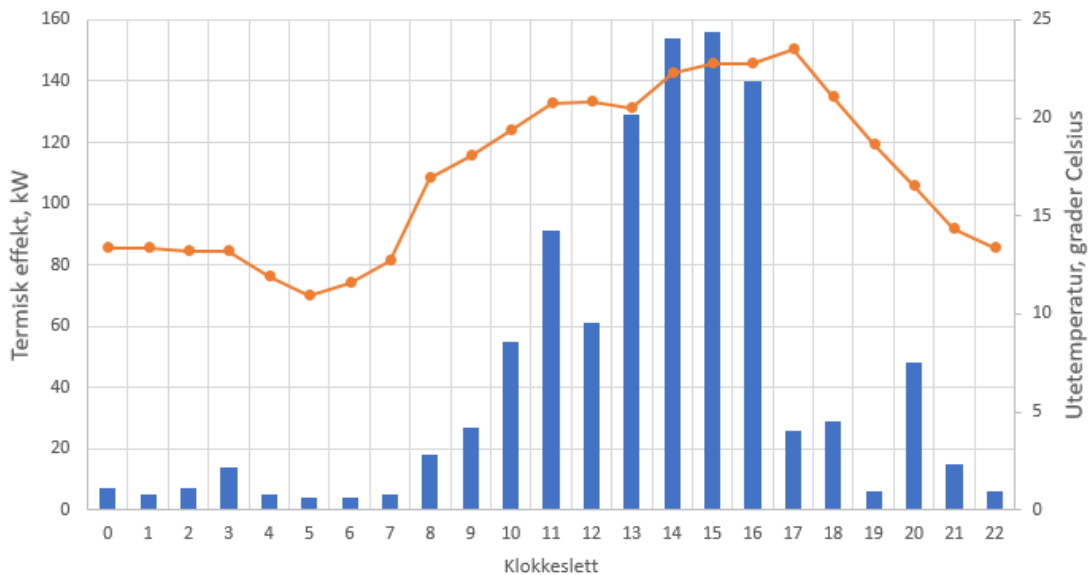
Termisk kjøling fra varmepumper IK40 og IK41



Figur 55 - Termisk kjøling fra varmepumper i Bygg B

I den perioden kan defineres noen effekttopper på over 100 kW. Den høyeste effekten ble målt mandag 29. mai kl.15 og var lik 156 kW og er forresten den høyeste effekten i hele perioden med tilgjengelig måledata. Detaljert oversikt for den dagen er vist i Figur 56.

Termisk kjøling fra varmepumper. 29/05/2017.



Figur 56 - Termisk kjøling fra varmepumper i Bygg B. 29/05/2017

Kjøleeffekt øker i løpet av dagen med 2 største verdier kl.14 og 15. Avgjørende faktor for en slik utvikling er økende utetemperatur og solinnstråling. Tilstedeværelse på det tidspunktet pleier å være også stor og følger til økning av kjølebehovet i bygget.

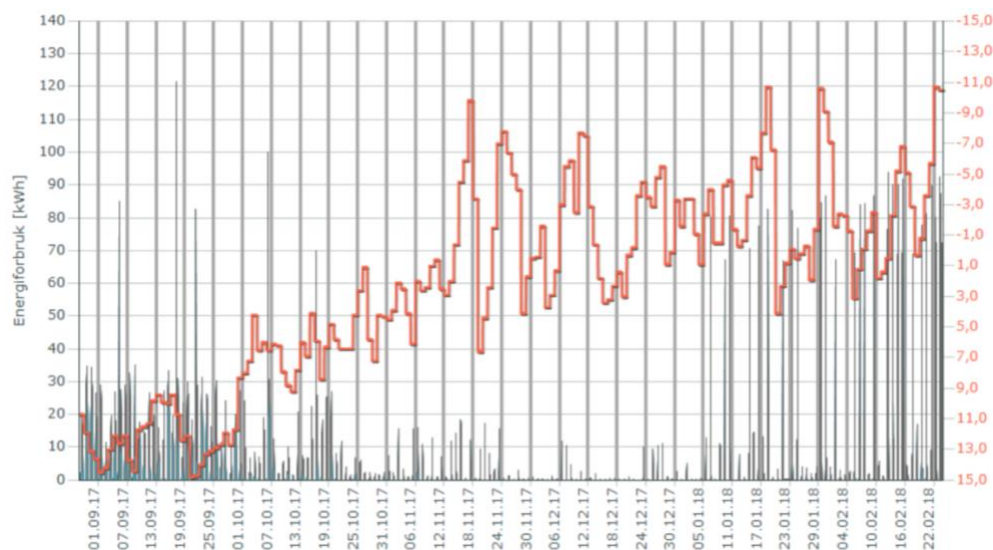
Installert effekt til kjøling i bygget er 516 kW. Dvs. 3 ganger større enn maksimal målt effekt i løpet 1 år. Dette gir grunnlag til antagelse at bygget kunne klare seg med 1 luft-til-vann varmepumpe med kjøleeffekt på 260 kW. Denne påstanden stemmer godt med måledata fra 2014 da gjennomsnittlig kjøleeffekt for 50 høyeste verdier var på 223 kW (Orvik, 2015).

3.1.11 Solproduksjon i case-bygninger

Begge case-bygninger har egen strømproduksjon fra solcelleanlegg. Måledata fra solceller er veldig interessant parameter i forbindelse med analyse av effekttopper som oppstår under drift. Egen energiproduksjon kan redusere belastning på leveringstransformator og kompensere elektrisk effekt som brukes til først og fremst kjøling av bygninger og eventuelt elektrisk forbruk for belysning og teknisk utstyr.

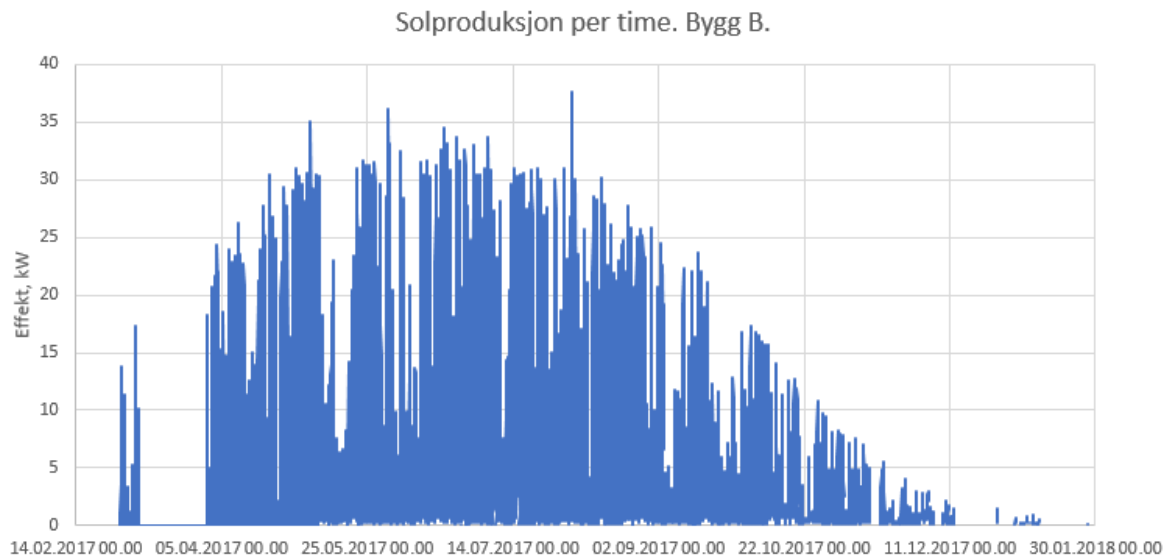
Figur 57 viser solproduksjon i Bygg A med timesoppløsning i perioden september 2017 – februar 2018 og Figur 58 viser tilsvarende data for Bygg B i perioden mars 2017 – januar 2018.

Målinger for Bygg A viser stabil strømproduksjon fra solceller i september, kraftig reduksjon av produksjon i oktober – desember og ustabil strømproduksjon med ganske høye effekttopper i januar-februar.



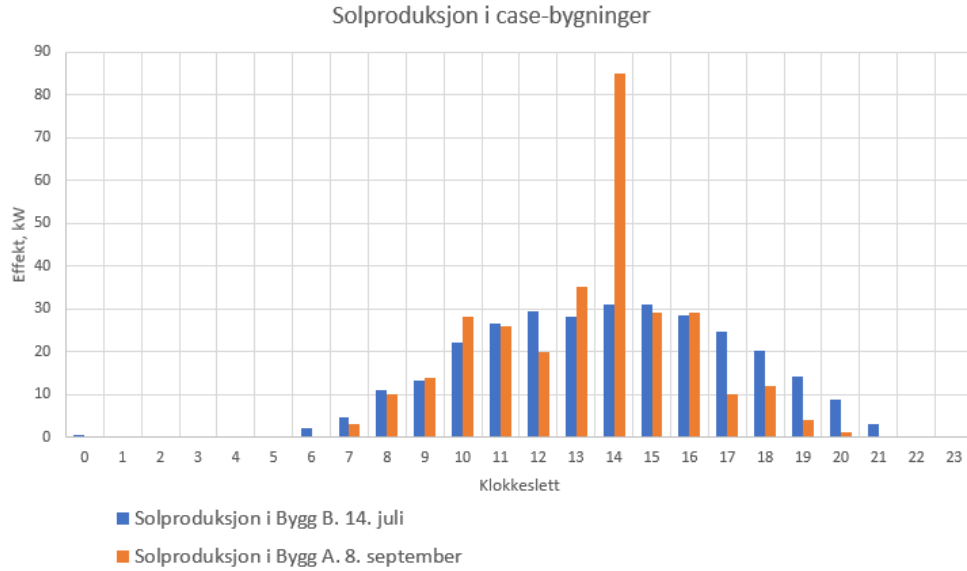
Figur 57 - Produsert effekt fra solceller i Bygg A

Ut ifra data for Bygg B kan en konkludere at mest parten av solenergi i Oslo dannes i april – september. Dvs. potensialet til bruk av den energien til kjøling av bygget i den perioden er ganske høyt.



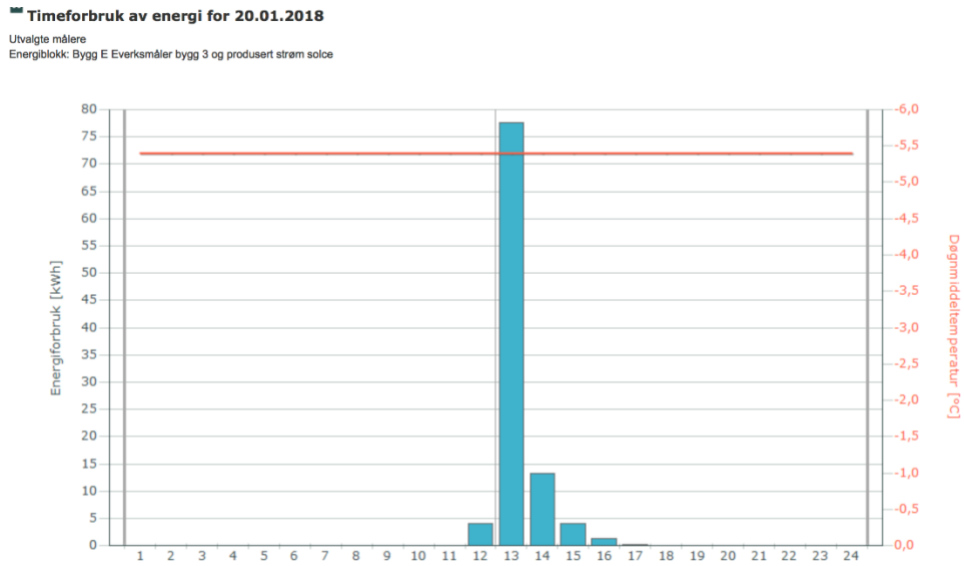
Figur 58 – Produisert effekt fra solceller i Bygg B. Mars 2017 - januar 2018

Figur 59 viser hvordan produksjon av strøm i solceller fordeles over ett døgn på lange sommerdager. Lav produksjon i starten av arbeidsdagen betyr at bidrag fra solceller skal ikke ha stor betydning for kompensasjon av effekttopper ved oppstart av ventilasjonssystemet og annet utstyr som skjer vanligvis rundt kl.7 i kontorbygg. Ellers har begge bygg en veldig fin løsning i form av solceller som kan redusere strømuttak fra nettet midt på dagen ved størst tilstedeværelse i bygget. Overskudd av energi som produseres i solceller i Bygg A kan leveres til 4 nabobygg. Der finnes teknisk løsning for det.



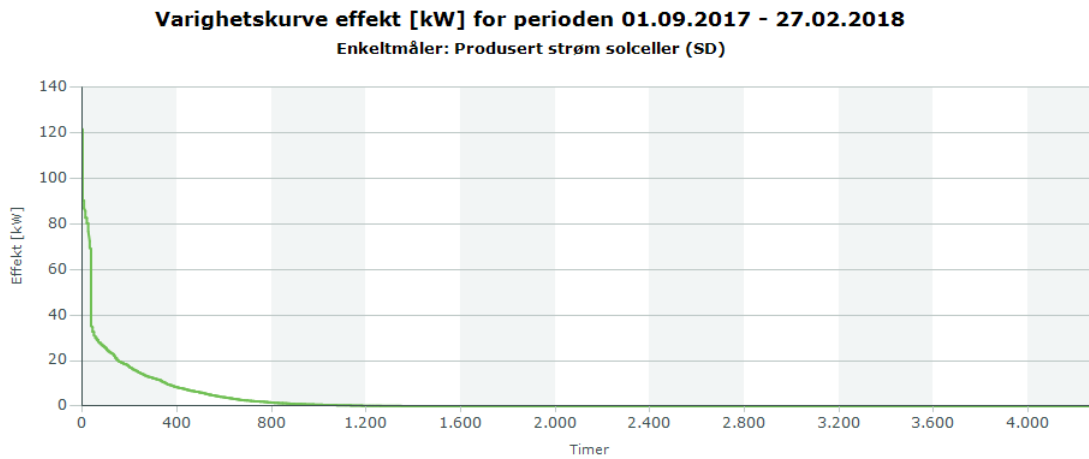
Figur 59 - Solproduksjon i case-bygninger over 1 døgn

Vintermåned er veldig begrenset med tanke på solstrømproduksjon på grunn av korte dager med lav solinnstråling. Men måledata fra Bygg A viser at om vinteren kan treffes produktive dager med høy solstrømproduksjon i korte perioder (Figur 60).

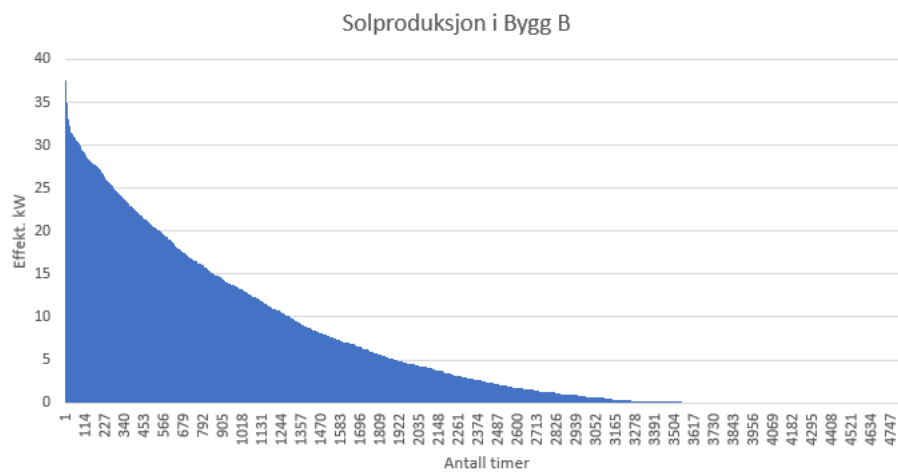


Figur 60 - Solproduksjon i Bygg A. 20. januar 2018

Potensialet til solcelleanlegg i begge bygg kan vurderes ved å plote varighetskurver basert på timesverdier over lang periode. Slik får man oversikt over maksimale effekter som kan leveres av solceller montert i bygninger (Figur 61 og Figur 62).



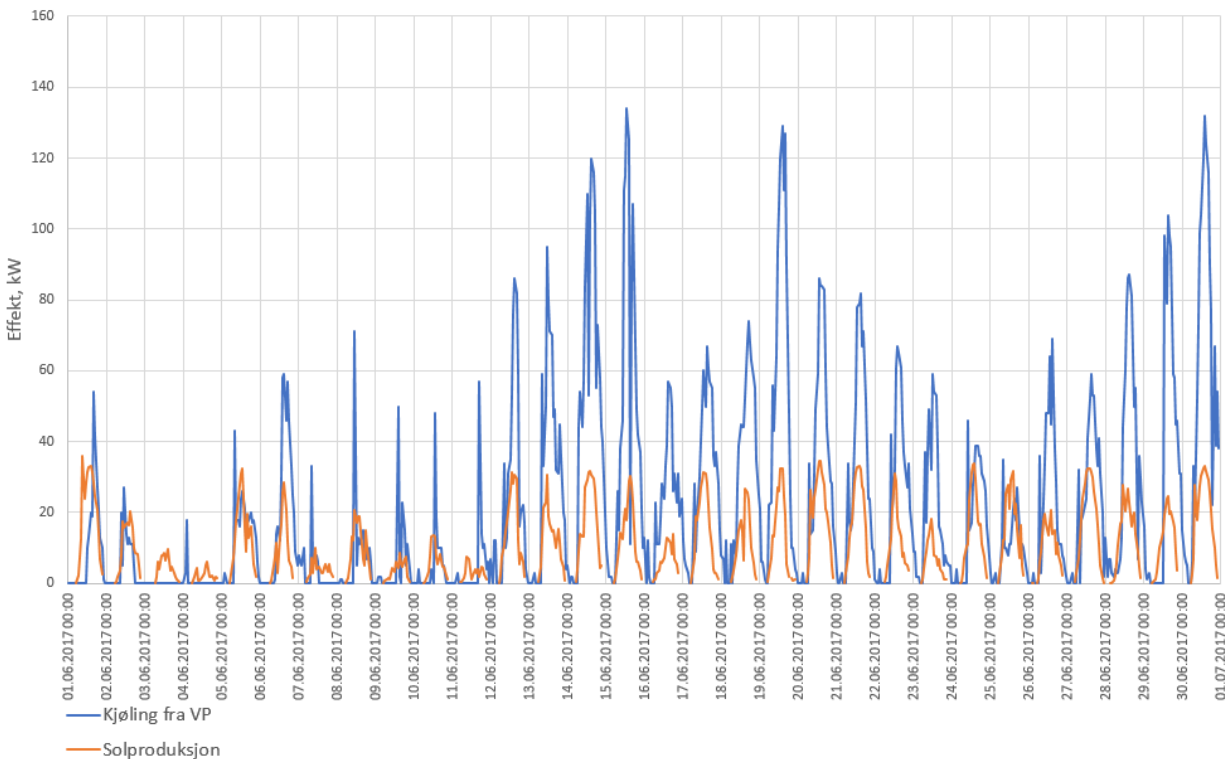
Figur 61 - Varighetskurve til elektrisk effekt fra solceller i Bygg A



Figur 62 - Varighetskurve til elektrisk effekt fra solceller i Bygg B

Resultater fra begge bygninger viser en god del timer i løpet av lange tidsperioder med jevn strømproduksjon fra solcelleanlegg. Utjevning av effekttopper ved bruk av den energien er problematisk uten lagring av solenergi. Installasjon av batterier kunne løse dette problemet og åpne mulighet til å bruke lagret energi på tidspunkter med absolutt størst effektuttak.

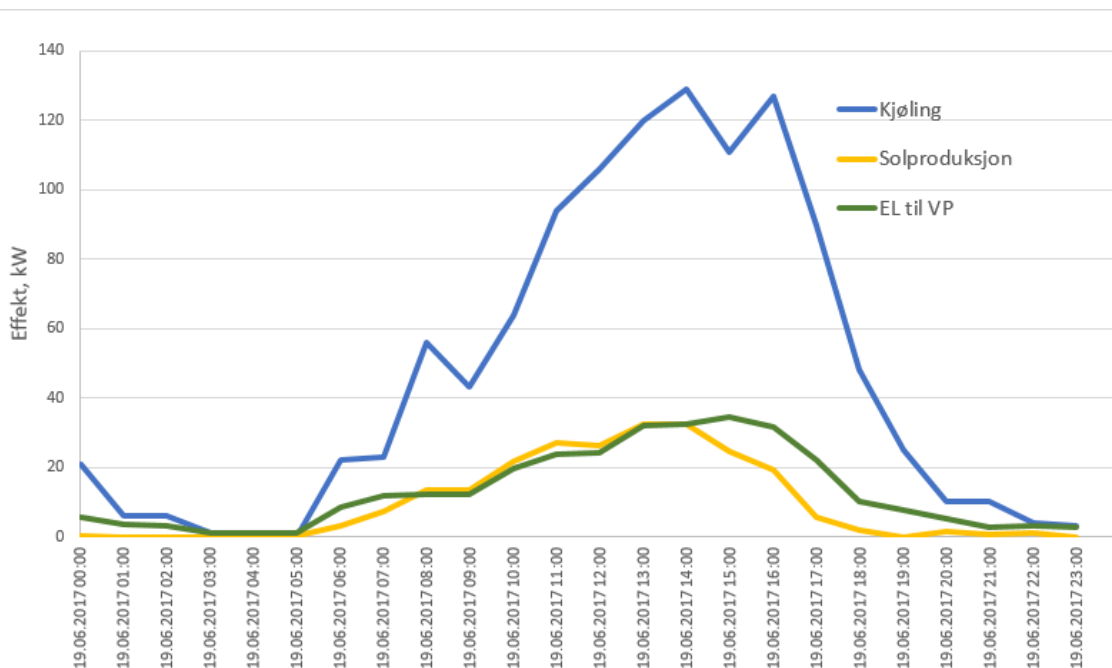
For å se på en mulighet til bruk av solenergi for reduksjon av effekttopper som oppstår på grunn av høyt kjølebehov om sommeren ble analysert data for Bygg i juni 2017. Figur 63 viser sammenheng mellom kjøleeffekt fra varmepumper og produsert effekt fra solceller.



Figur 63 - Produsert kjøling vs solproduksjon i Bygg B. Juni 2017

Resultater av samkjøring av disse postene viser at effekttopper for kjøling i de fleste tilfeller tilsvarer høyest solproduksjon. Dermed kan solcelleanlegget brukes for vesentlig reduksjon av elektrisk energi som brukes til drift av varmepumper i kjølemodus.

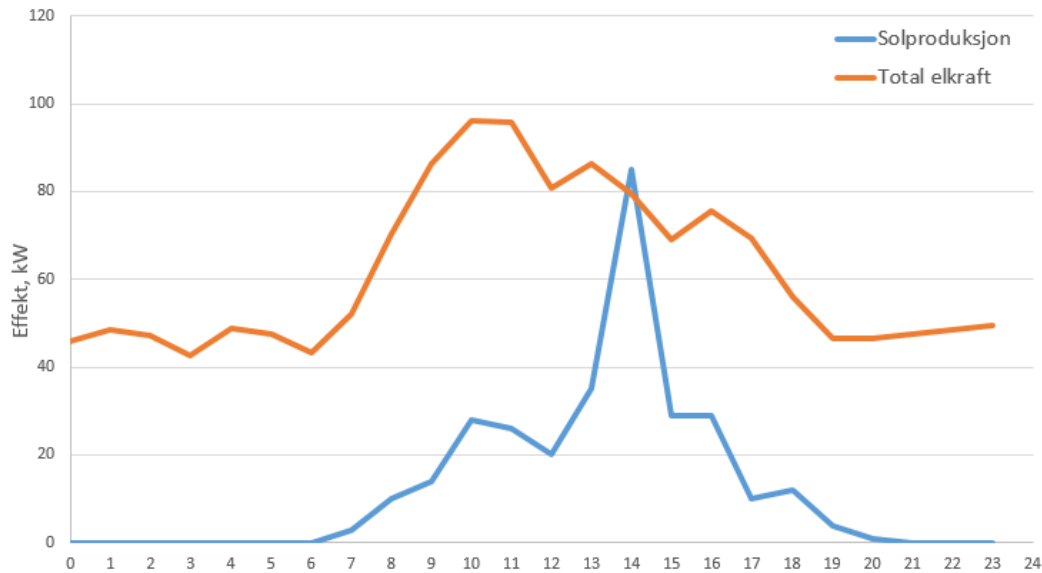
For å se på den muligheten nærmere skal timesverdier for ett døgn i juni 2018 analyseres (Figur 64). I tillegg til termisk effekt til kjøling og elektrisk effekt fra solceller skal elektriske effekter til drift av varmepumper kartlegges for den dagen.



Figur 64 - Sammenheng mellom solproduksjon, effekt til kjøling og elektrisk effekt til VP. 19/06/2017. Bygg B

Ved nærmere analyse av effektverdier for en dag er det overbevisende at solcelleanlegget i Bygg B er i stand til å kompensere elektrisk kraft som brukes til drift av varmepumper IK40 og IK41. Akkurat på den dagen som er vist i Figur 64 dekker solceller omtrent 80% av elkraft til drift av varmepumper. Den andelen skal ha nok variasjoner på grunn av værforhold, men med litt konservative antagelser kan det tas hensyn til solproduksjon ved dimensjonering av kjølebehov. På grunn av ugyldig data kan ikke tilsvarende analyse gjennomføres for Bygg A. Den posten er ikke så aktuell for så vidt for bygninger med væske-til-vann varmepumper og mulighet for frikjøling når varmepumpe er slått av og kun sirkuleringspumper som går.

Men med utgangspunktet på dagen som er visst i Figur 52 og total elektrisk forbruk på den dagen kan man observere at solcelleanlegget er i stand til å dekke elektrisk effekt til ventilasjon, for eksempel, som ligger på ca. 18 kW midt på arbeidsdagen (Figur 65).



Figur 65 - Sammenheng mellom solproduksjon og total elektrisk effekt. 8/09/2017. Bygg A

3.1.12 Belysning

Belysning i begge bygninger har styring basert på tilstedeværelse.

Belysning i Bygg A benytter DALI og KNX buss-anlegg med full integrasjon med varme-, vav-anlegg og solskjerming. I ulike soner har belysning noen variasjoner i styring. Følgende funksjoner er implementert:

- Tilstedeværelsesstyring: lyd- og bevegelsesdetektorer
- Aktiv PÅ-funksjon
- Dimming: brukerstyrt/scenarier
- Dagslysstyring
- Manuell styring.

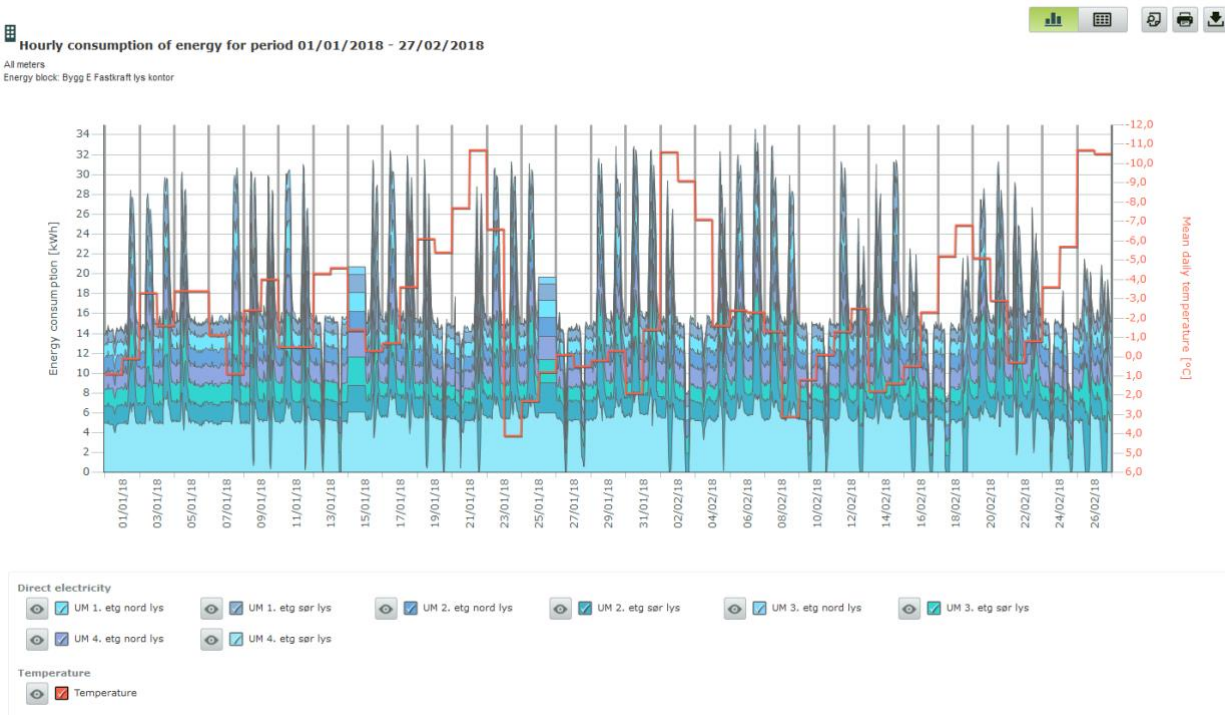
Tabell 28 viser tall som ble brukt ved prosjektering av lysanlegget og som er faktisk installert i bygget (Vedlegg 3).

Effekt til lys	Spesifikk effekt, [W/m ²]
Prosjektert tidlig fase	6
Installert	4,65

Tabell 28 - Spesifikk effekt til lys i Bygg A

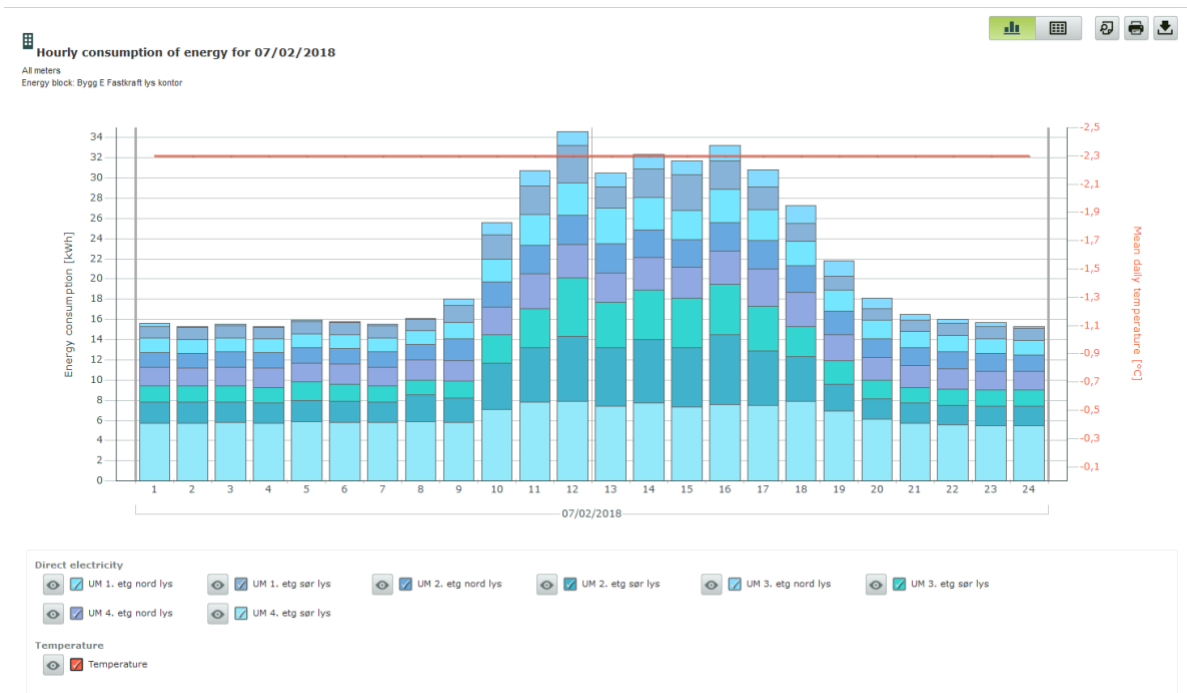
Bygg B har også tilstedeværelse styring for lys som er integrert med bevegelsesdetektorer på aktive tilluftsventiler i bygget. Informasjon om nøkkeltall som ble brukt i prosjektering og installert elektrisk effekt til belysning er ikke tilgjengelig.

Figur 66 viser effektbehov for belysning i Bygg A på timesbasis. Figur viser data for januar/februar 2018.



Figur 66 - Effektbehov for belysning i Bygg A. Måleperiode: 1/01/18 - 27/02/18

Resultater av målinger i den perioden viser at høyeste effekttopper når nivå på 34 kW. Noe som gir spesifikk effekt på 3,8 W/m². Det tallet viser at verdien som brukes i tidlig prosjekteringsfase er veldig nær til faktisk effekt som trekkes av belysning i det bygget. Figur 67 viser variasjon av tilført effekt til belysning i løpet av ett døgn.



Figur 67 - Effektbehov til belysning i Bygg A. Måledata for 7/02/2018

Utenfor driftstiden trekker belysning effekt på rundt 16 kW og rundt 30 i driftstiden. Basert på installert effekt kan man konkludere at samtidighet for belysning på de hyppigste tidspunktene (kl.10-16) ligger på ca. 75%. Dvs. at belysning i bygget er prosjektert uten unødvendig overdimensjonering og har kapasitet for større tilstedeværelse.

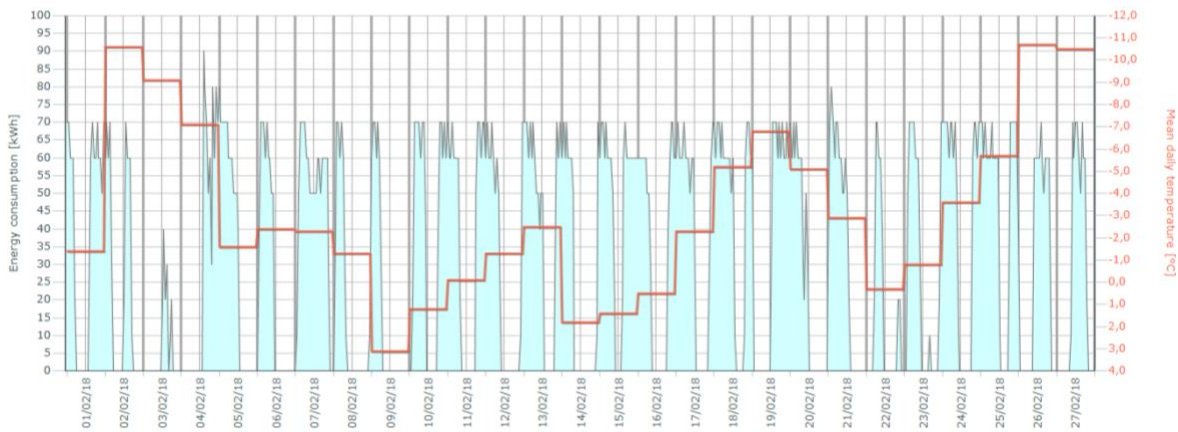
Måledata for Bygg B som er tilgjengelig i forbindelse med dette masterprosjektet inneholder ikke målinger for belysning i bygget. Derfor var analyse av denne posten i Bygg B ikke gjennomført.

3.3.13 Termisk effekt til snøsmelting

Snøsmelteanlegg i bygninger kan stå for store effekter. Derfor må disse anleggene dimensjoneres riktig og ha gode styringsmuligheter.

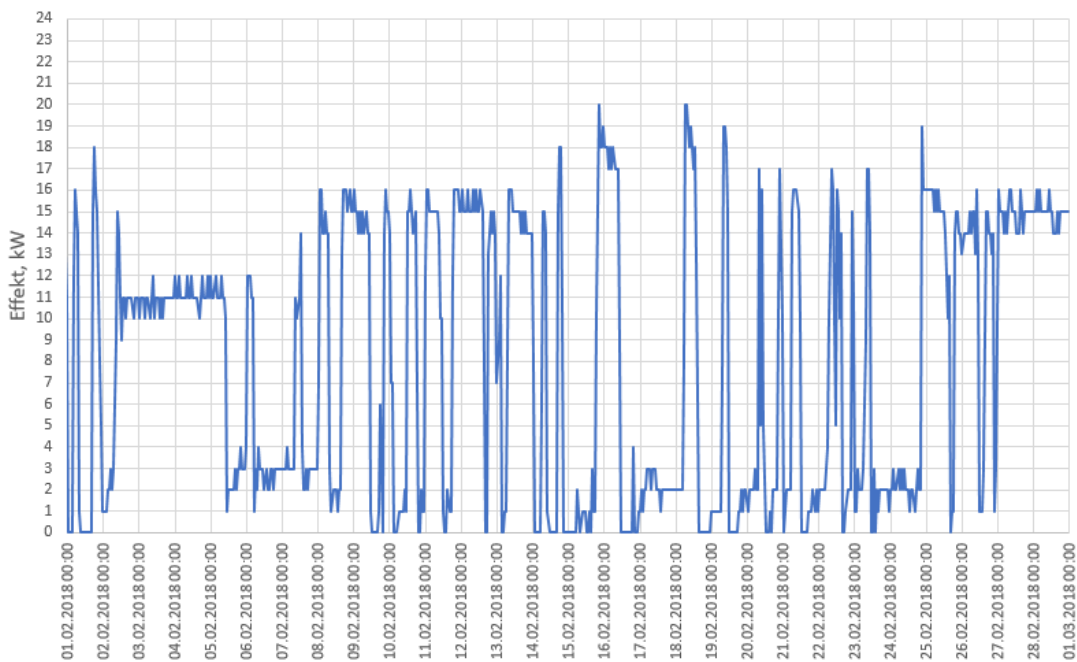
Snøsmelteanlegg i Bygg A har kapasitet på 85 kW, mens anlegget på Bygg B er på 30 kW.

Tilført termisk effekt til snøsmelting i februar 2018 for Bygg A og Bygg B er vist i Figur 68 og 69 henholdsvis.



Figur 68 - Termisk effekt til snøsmelting. Februar 2018. Bygg A

Termisk varme til snøsmelteanlegg. Bygg B.



Figur 69 - Termisk effekt til snøsmelting. Februar 2018. Bygg B

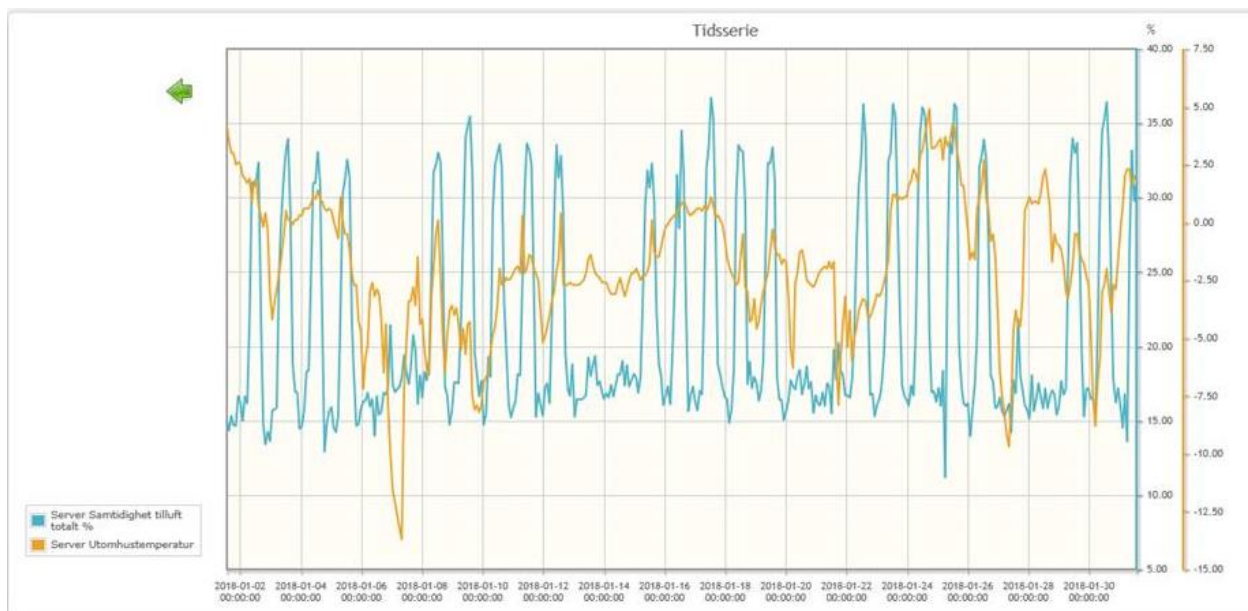
Resultater av målinger viser at snøsmelting i begge bygninger var aktivert i mange timer hver dag i februar 2018.

Måledata til snøsmelting i Bygg B viser at anlegget er godt innregulert og har ganske store variasjoner i effekt som var trukket. Klimadata for den perioden viser at var registrert nedbør omtrent alle dager i Oslo og dermed er det veldig logisk at anlegget var på hver dag denne måneden.

I Bygg A står snøsmelting for store effekttopper på 70 kW nesten hver dag i februar. Men ifølge klimadata fra Voll stasjon var det kun 8 dager med registrert nedbør denne måneden. Antageligvis fungerer anlegget ikke optimalt og burde ha noen dager uten forbrukt varme. Mulige årsaker til kontinuerlig drift av anlegget er feil settpunkter eller dårlig plassering av sensor som detekterer is og vann.

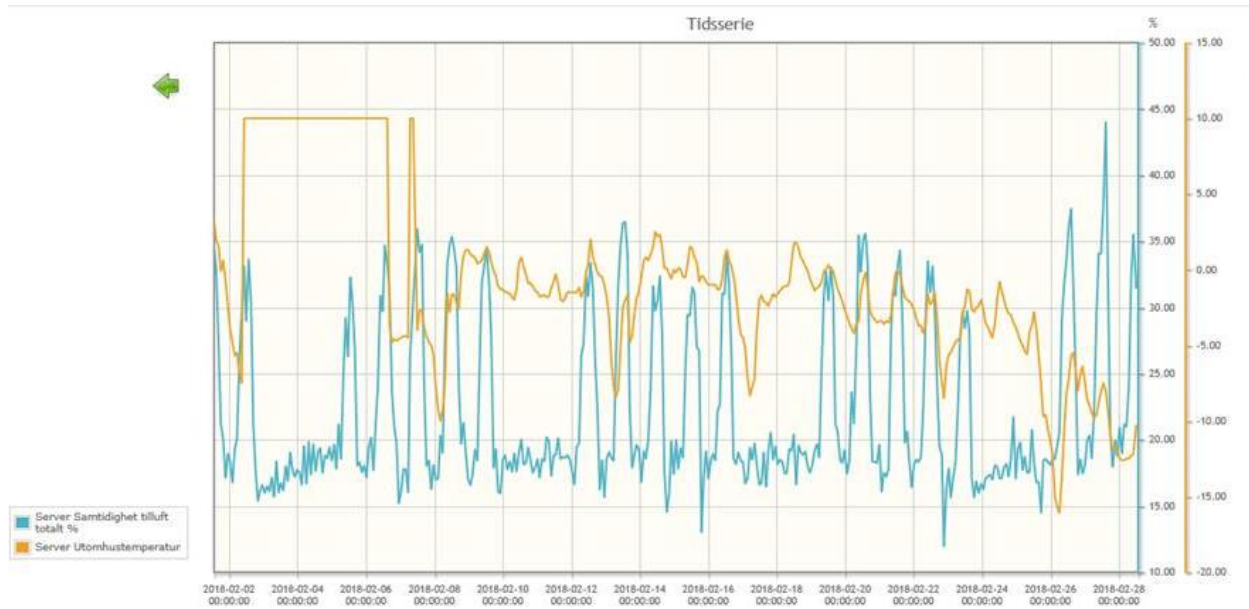
3.3.14 Samtidighet

Samtidighet er en avgjørende faktor for dimensjonering av effekttopper. Aktive tilluftsventiler i Bygg B gir mulighet til kartlegging av samtidighet for ventilasjon på ulike nivåer. Figur 70, 71 og 72 viser samtidighet på byggnivå for ventilasjonsanlegget i januar – mars. I Bygg B ligger den faktoren på ca. 35% i driftstiden og veldig sjeldent overstiger 40%. Men ifølge prosjekteringsunderlaget ble det brukt 100% samtidighet for dimensjonering av kjølebehov og 70% for dimensjonering av varmebehov til sammenligning.

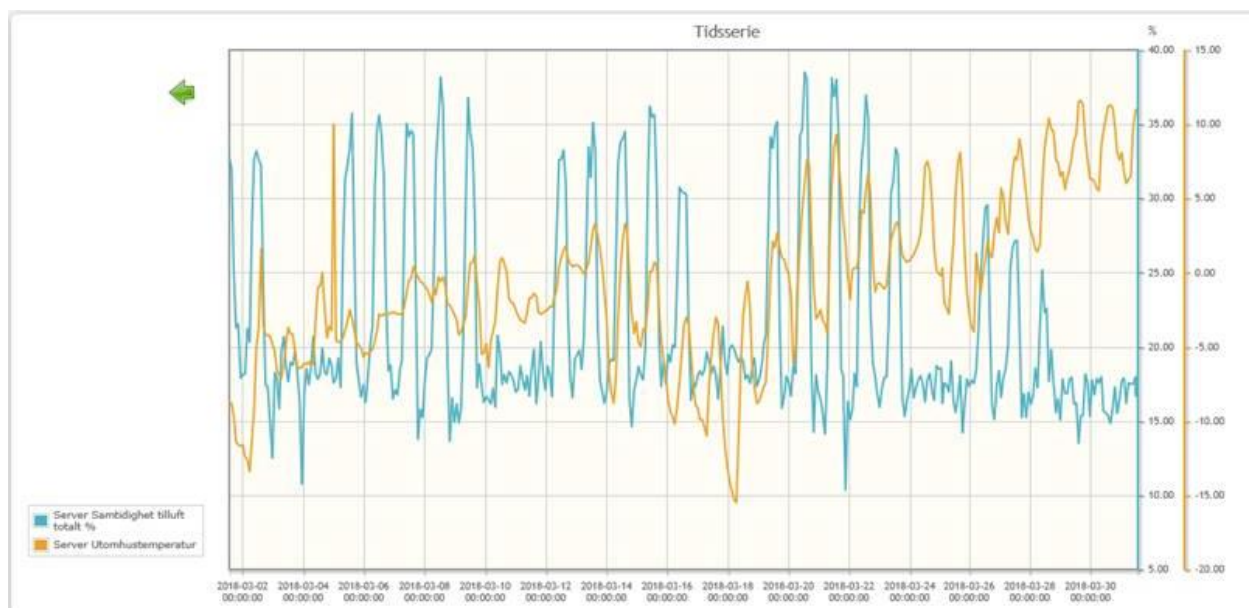


Figur 70 -Samtidighet på byggnivå i januar 2018. Ventilasjon. Bygg B

Samtidighetsfaktor er ikke kjent før bygget er tatt i bruk, men så konservative antagelser til denne faktoren fører til overdimensjonerte anlegg.



Figur 71 - Samtidighet på byggnivå i februar 2018. Ventilasjon. Bygg B



Figur 72 - Samtidighet på byggnivå i mars 2018. Ventilasjon. Bygg B

Det bør tas hensyn til samtidighetsbetraktninger mellom aggregatene ved prosjektering av maksimale og minimale luftmengder på byggnivå. Bruk av mer realistiske samtidighetsfaktorer skal føre til riktig størrelse på installasjoner i varme- og kjølesentral som igjen skal føre til lavere elektrisk effektuttak (Hansen, 2016).

Dimensjoneringsgrunnlaget som benyttes ved prosjektering av yrkesbygg er dårlig ifølge Johansen (Johansen, 2013). Forbruket når ikke opp til de dimensjonerte effekter og dette skyldes alt for grove og konservative betraktninger for samtidighet.

3.4 Resultater av gjennomførte intervjuer

Det var gjennomført 9 intervjuer med rådgivende elektro- og VVS-ingeniører fra ulike norske selskaper. Intervjuer hadde form av samtale uten fast spørreskjema, men med noen kjernesporsmål. Hovedtemaet i alle intervjuer var dimensjonering av effekttopper i tidlig fase: fremgangsmåte, metode, erfaringstall. Fullstendig oversikt over resultater av disse samtalen er representert i masteroppgave «Dimensjonering av effekttopper. Estimering av effektbehov i tidlig prosjekteringsfase» (Stene, 2018).

Intervjuer med rådgivende ingeniører ble brukt til kartlegging av bransjepraksis i forhold til bruk av måledata fra tidligere prosjekterte bygg i nye prosjekter. Også hjalp intervjuer å kartlegge mulige årsaker til avvik mellom målte og prosjekterte/installerte effekter.

Gjennomførte samtaler bekreftet at måledata fra eksisterende bygninger brukes ikke i nye prosjekter. Mange påpeker at stadig økende antall av bygninger som har målere for ulike tekniske systemer åpner store muligheter til oppdatering av eksisterende nøkkeltall som brukes ved prosjektering. Men foreløpig er det dårlig oppfølging av ferdigstilte prosjekter.

Som årsak til avvik mellom målte og prosjekterte/installerte effekter ble oftest nevnt veldig konservative antagelser på samtidighet, og generelt utdaterte nøkkeltall.

På noen møter ble det stilt spørsmål om det tas hensyn til Økodesigndirektivet og frekvensomformere ved prosjektering og svaret var negativt.

3.5 Resultater av befaringer

Befaringer i begge case-bygninger ble gjennomført i løpet av dette masterprosjektet. Målet var å bli kjent med bygninger, kartlegge installert utstyr og merkeeffekter på installasjoner som var med i dataanalyse. Befaringer i case-bygninger gav mulighet til samtale med driftspersonalet. Noe som er viktig i forbindelse med kunnskap om erfaringer fra drift av bygninger, utfordringer og oversikt over «nå»-tilstand av begge bygg.

20. april ble gjennomført befaring i Bygg A, som tok totalt 1,5 time. Driftstekniker og en av rådgivende ingeniører var med på befaring. Følgende var gjort under befaring:

- Kartlegging av installert utstyr i energisentral av bygget og alle ventilasjonsrom
- Kort oversikt fra driftstekniker angående drift av bygget

- Presentasjon av SD-anlegget og styringsmuligheter.

Befaring var veldig nyttig aktivitet i forbindelse med masteroppgaven siden den har tilbudt mulighet til å finne samsvar mellom systemskjema og faktisk installert utstyr. Mulighet til å se på SD-anlegget ble brukt for å se på noen nåverdier for installasjoner midt på arbeidsdagen. Noe som var nødvendig for å se på reel bruk av bygget (Vedlegg 4 og 6).

Noen deler av bygget var ikke tilgjengelig for befaring. Leietaker av bygget har streng adgangskontroll.

Bytte av eierskapet i Bygg A midt i arbeidsperioden med oppgaven hadde negativ innvirkning ikke bare for tilgang til EOS, men også for befaring i bygget. Driftstekniker er ganske ny person og dermed har veldig begrenset informasjon om erfaringer, igangsettelse av teknisk anlegg og utfordringer i forbindelse med drift av bygget.

For å senke effekttopper i starten av arbeidsdagen brukes sekvensstart av ventilasjonsaggregater i Bygg A. Dette er et tiltak som ofte brukes i kontorbygninger. Noe som var bekreftet under samtaler med én av rådgivende ingeniører og driftsansvarlig for 6 kontorbygninger i Oslo.

Årsak til mulig feildrift av snøsmelteanlegget var ikke funnet ut. Driftstekniker mener at det kan være feil avlesninger fra installert sensor.

Befaring i Bygg B var gjennomført på mandag 9.april. Der var det ikke mulig å ha samtale med driftstekniker, men en annen person, som var involvert i prosjektering av bygget og som driver med oppfølging av bygget i drift, var tilgjengelig den dagen. Under presentasjon av bygget var nevnt tekniske utfordringer i prosjektering og drift av bygget. Samsvar av installert utstyr og systemskjema var også kartlagt. Noen av tekniske rom var besøkt under befaring. Befaring resulterte også tilgang til dokumentet, som gir oversikt over alle installerte effekter for VVS. Ansvarlig for befaring i bygget oppga en del informasjon om ventilasjonsanlegget, muligheter til styring og SD-oppfølging. Det var blant annet nevnt at installerte ventilasjonsaggregater er overdimensjonert med vilje. Økning av størrelse sikret lavere SFP-verdi og større varmegjenvinningsgrad. Aktive tilluftsventiler oppfølges veldig lett med SD-anlegget og tilbyr informasjon om tilstedeværelse i bygget. Ut ifra erfaringer fra oppfølging av energibruk i bygget basert på noen år var det konkludert at Bygg B er veldig avhengig av interne laster. Også var det

nevnt at svært høye effekttopper kan oppstå ved veldig lave temperaturer, når elkjel og installerte grenstaver dekker oppvarmingsbehov. Dette var nyttig siden tilgjengelig 1års måldata har ikke fanget opp en slik situasjon.

4.0 Konklusjon

Denne masteroppgaven dokumenterte analyse av måledata fra to kontorbygg som ligger i ulike klimasoner i Norge. Analyse av ulike poster for både elektriske og termiske effekter ble gjennomført og supplert med befaringer og intervjuer.

Kritiske situasjoner ved drift av bygninger

Antagelige kritiske situasjoner ved drift av case-bygninger ble analysert. Måledata viser at største elektriske effekter er registrert ikke på de kaldeste dagene. I Bygg A var det en periode på under 40 timer med temperatursving på 22 °C når varme- og kjølesystemet jobber mot hverandre. For Bygg B var de høyeste effekttoppene forårsaket ikke av rekordlave temperaturer heller. Der også spiller stor rolle sekvens av varme og kalde dager. Lave temperaturer i helgen var årsak til to effekttopper på mandag.

ET-kurver

Tilgjengelig måledata har ikke fanget opp drift av case-bygninger under DUT. Effekt-Temperatur kurver ble brukt for å ekstrapolere eksisterende målinger for termiske effekter til oppvarming til DUT i Trondheim og Oslo. Resultater viser at det er mulig å få greit estimat for effektbehov til oppvarming ved hjelp av ET-kurver. Effekt til snøsmelting må ekskluderes fra beregninger siden snøsmelteanlegget kan stå for ganske høye effekter ved temperaturer høyere enn DUT. Resultatet på 189 kW for Bygg A og 140 kW for bygg B er mye lavere enn tilsvarende prosjekterte og installerte effekter i case-bygninger. Fordel av verdier som ble fått vha. ET-kurver er at de tar hensyn til varmetilskudd fra reelle interne laster.

Solenergi

Solcelleanlegg gir mulighet til reduksjon av effekttopper. Analyse av måledata fra Bygg B viste at solenergi har stort potensialet til kompensering av effekt til kjøling om sommeren. Resultater viser at solproduksjon går i takt med kjøleeffekter og er i stand til å dekke stor andel av elkraft til drift av varmepumper.

Varmepumpe

Varmepumper står for en stor andel av total elektrisk effekt. Det viser seg at varmepumpe i Bygg A er riktig dimensjonert med tanke på varmedrift. Ved lave temperaturer går pumpe på fullast og

produserer varmeeffekt tilnærmet den som oppgir produsenten. Men varmekursene i bygget er nesten 100% overdimensjonert: 480 kW mot 227 kW, som varmepumpe klarer å levere. Begrenset periode med måledata gav ikke mulighet til analyse av kjøledrift av varmepumpe som er dimensjonerende.

Analyse av varme- og kjøleeffekter som leveres av varmepumper installert i Bygg B viser at bygget kunne klare seg bare med en varmepumpe av den typen inkludert kapasitet til fremtidig utvidelse.

Ventilasjonsaggregater

Måledata for elektrisk effekt til ventilasjon viser kraftig overdimensjonering i forhold til installerte effekter: 130 % overdimensjonering i Bygg A og 100% overdimensjonering i Bygg B. Men siden begge bygninger har behovstyrt ventilasjon må det gjennomføres vurdering av den effekten ved maks luftmengde. Noe som var umulig å realisere det prosjektet.

Overdimensjonering av varmebatterier i forhold til installerte effekter er enda større: 300% for Bygg A og 370% for Bygg B.

Belysning

Målt effekttopp for belysning i Bygg A viser at effekten stemmer godt med prosjektert verdi. Intervjuer bekreftet også at det er god kontroll på effektforbruk til LED-belysning.

Utnyttelse av varme fra kjøleanlegg

Effekttopper kan reduseres ved gjenvinning av varme. Moderne kontorbygninger har kraftige data-sentraller med stort kjølebehov som er uavhengig av utetemperatur og forholdsvis konstant hele året. Analyse av Bygg B viser at termisk varme fra serverrom med gjennomsnittlig verdi på 23 kW i fyringssesongen, som tilføres til varmebatterier i ventilasjonsanlegget, reduserer belastning på varmepumpe og henholdsvis reduserer total elektrisk effektbehov. Overskuddsvarme dekker ca. 20% av total effekt til oppvarming i bygget.

Intervjuer og befaringer

Gjennomførte intervjuer viste at det er stort behov for analyse av måledata fra ulike bygningskategorier. Rådgivende ingeniører bekrefter at måledata fra eksisterende bygninger med tilstrekkelig måleutstyr har potensialet til utarbeidelse av mer realistiske forutsetninger til dimensjonering av effekttopper. Befaringer viste at det finnes muligheter til reduksjon av

effekttopper når bygget er i drift. Sekvensstart av tekniske installasjoner i Bygg A er et godt eksempel for det.

Ingen av rådgivende ingeniører har kjennskap til Økodesigndirektivet. Moderne aggregater er utstyrt med energieffektive vifter som holder kravet til IE2 og oppover. Med turtallregulering i tillegg trekker moderne motorer mye mindre effekt ved oppstart og i drift. Normtall som brukes i prosjektering tar ikke hensyn til direktivet.

Masteroppgaven dokumenterte stor overkapasitet i varme-, kjøle- og ventilasjonsanleggene i case-bygninger. Sammenligning av målte, prosjekterte og installerte effekter viser at forutsetninger som brukes ved dimensjonering av effektbehov i moderne kontorbygg er utdatert og bør korrigeres.

Anbefalinger til videre arbeid

Problemstillingen av masteroppgaven engasjerer mange i bransjen og viser stor interesse for problematikken av dimensjonering av effektbehov både fra RIE og RIV. Derfor anbefales viderearbeid med denne problemstillingen som kan inneholde følgende:

- Analyse av flere næringsbygg
- Grundig analyse av solceller som dekning av kjølebehov i kontorbygninger og vurdering av lagring av energi fra solproduksjon
- Effektbehov til ladning av elbiler må undersøkes pga. sterke indikasjoner av
- Effektbehov til varmtvannsberedere bør analyseres
- Gjennomføring av feltmålinger:
 - Undersøkelse av avvik mellom maksimale målte effekter og merkeeffekter
 - Analyse av samtidighet på ulike nivåer.

5.0 Referanser

ABB. (2010). *Energieffektive motorer kombinert med riktig turtallsregulering gir garanterte resultater*. Skien: ABB.

Alfstad, L. (2017). *Analysis of the Thermal Energy System at Otto Nielsens vei 12E* (Prosjektoppgave). NTNU, Trondheim.

Bryn, I. (2017). *Effekt og energibehovet til varme og kjøling i fremtidens bygg*. Fjernvarmedagene. Hentet fra <http://www.fjernvarmedagene.no/uploads/userfiles/files/2idabryn.pdf>

Dalland, O. (2017). *Metode og oppgaveskriving*. Oslo: Gyldendal Akademisk.

Enova SF. (2004). Enova håndbok. *Manual for ENØK normtall. 2004:2*. Trondheim: Enova SF.

Enova SF. (2004). Enova håndbok. *Energioppfølging i næringsbygg - en innføring. 2004:3*. Trondheim: Enova SF.

Grånas S., Feil effekt- og energiberegninger gir høyere kostnader. Tekniske nyheter. Hentet fra <https://www.tekniskenyheter.no/aktuelt/aktuelt/feil-effekt-og-energiberegninger-gir-hoyere-kostnader>

Hansen, K.S. (2016). *Dimensjonerende samlet effekt på byggnivå for varme og kjøling i yrkesbygg* (Masteroppgave). HiOA, Oslo.

Johansen, T.A. (2013). Samtidighet i elektriske bygningsinstallasjoner (Masteroppgave, NTNU). Hentet fra https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/.../651710_FULLTEXT01.pdf

Langseth, B. (Red.) (2016). *Analyse av energibruk i yrkesbygg* (Rapport nr. 24-2016). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf

Lie, Ø. (2016, 10. mars). Mener vi kaster bort energi på altfor kraftige varmeanlegg. *Teknisk Ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/mener-vi-kaster-bort-energi-pa-alt-for-kraftige-varmeanlegg/320999>

Løvik, H. (2018). Slik blir de nye nettleie prisene. *Teknisk Ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/slik-blir-de-nye-nettleieprisene-br/432271>

Norges vassdrags- og energidirektorat. (2016, 8. juni). Energi og effekt. Hentet fra <https://www.nve.no/energibruk-og-effektivisering/energibruk-i-norge/energi-og-effekt/>

Orvik, E. (2015). *Analyse av varme- og kjølesystemet ved Miljøhuset GK* (Masteroppgave, NTNU). Hentet fra https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2359318/13560_FULLTEXT.pdf

Rinholm, J.M. (2015). *Heating power at room and buildings levels in passive houses and low-energy buildings* (Masteroppgave, NTNU). Hentet fra https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2350145/12474_FULLTEXT.pdf

Standard Norge. NS 12831: NS-EN 12831-1:2017 Bygningers energiytelse - Metode for beregning av dimensjonerende effektbehov til varme - Del 1: Effektbehov til oppvarming.

Standard Norge. SN/TS 3031: 2016 Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning.

Stene, M. (2018). *Dimensjonering av effekttopper. Estimering av effektbehov i tidlig prosjekteringsfase* (Masteroppgave). OsloMet – storbyuniversitetet, Oslo.

Systemair. (2018). *Energieffektiv ventilasjon*. Hentet fra <https://www.systemair.com/no/Norge/Nyhet/Nyheter/Ecodesign-direktivet/Vifter-ErP/>

6.0 Vedlegg

Vedlegg 1. Liste av energimålere i Bygg A. Basert på levert dokumentasjon for BREEAM-sertifisering

Energimåler nr.	
OE1	Radiatorer og konvektorer
OE2	Konvektorer (radiatorvarme)
OE3	Gulvvarme
OE4	Varmekretsen
OE5	Varmebatterier og Aerotempere P-kjeller
OE6	Aerotempere P-kjeller
OE7	Fjernvarme
OE8	Varmeoverføring til nabobygg
OE9	Snøsmelteanlegg
OE10	Varmtvannsystem (etter El-bereder)
OE11	Varmtvannsystem (varmeenergi fra varmepumpe)
OE12	Energibrønner
OE13	Kjølebatterier
OE15	Prosesskjøling
OE16	Lokal kjøling

Vedlegg 2. Liste av energimålere i Bygg B

35002_OE04K	Termisk kjøling til ventilasjon 36001
35002_OE04V	Termisk varme til ventilasjon 36001
35002_OE05K	Termisk kjøling til ventilasjon 36002
35002_OE05V	Termisk varme til ventilasjon 36002
35002_OE08K	Termisk kjøling til ventilasjon 36003
35002_OE08V	Termisk varme til ventilasjon 36003
35002_OE09K	Termisk kjøling til ventilasjon 36004
35002_OE09V	Termisk varme til ventilasjon 36004
35002_OE11K	Termisk kjøling til ventilasjon 36005
35002_OE11V	Termisk varme til ventilasjon 36005
35002_OE12K	Termisk kjøling til ventilasjon 36006
35002_OE12V	Termisk varme til ventilasjon 36006
35002_OE01K	Termisk kjøling fra varmepumper
35002_OE01V	Termisk varme fra varmepumper
35002_OE02	Termisk varme fra elkjel
35002_OE03	Termisk overskuddsvarme fra IK42 Serverrom
35002_OE06V	Termisk varme til snøsmelting
43300_OE13,16,19,22,25,10	Elkraft ByggA Uetg-5etg
43200_OE06	Elkraft elektrokjel
43200_OE07	Elkraft varmepumpe IK40
43200_OE08	Elkraft varmepumpe IK41
43200_OE09	Elkraft Kjølemaskin IK42 IKT serverrom
43200_RE01	Elkraft nettanalysator hovedinntak
43401_OE01	Elkraft ventilasjon 36001
43401_OE02	Elkraft ventilasjon 36002
43300_OE14,17,20,23,26,11	Elkraft ByggB Uetg-5etg
43402_OE01	Elkraft ventilasjon 36003

43402_OE02	Elkraft ventilasjon 36004
43300_OE15,18,21,24,27,12	Elkraft ByggC Uetg-5etg
43403_OE01	Elkraft ventilasjon 36005
43403_OE02	Elkraft ventilasjon 36006
43300_OE29	Varme – grenstaver
43300_OE05,07	EL-biler
43300_OE16	Kjøkken EL

Vedlegg 3. Armaturliste. Bygg A

Armaturliste	Type		Antall	Effekt
	UP29T	UP29T - VEGG - T5 10805-112-0001: VEGG T5-10805-112	Heis vegg	1 30 W
Plan U	UN01T	UN01T - Ledelys: Takmontert	Takmontert Ledelys c-c 10 meter	28 3 W
Plan U	UN02T	UN02T - ML 20m Pil ned: Exit	ML 20 meter Pil ned	24 3 W
Plan U	UP01T	UP01T - Multilume-Flat-Delta-23786-402: UP01T - Multilume Flat Delta-	Innfelt 600x600 DALI	38 29 W
Plan U	UP02T	UP02T - Multilume free DALI: UP02T - Multilume Free DALI-22181-402	Innfelt 600x600 DALI	27 47 W
Plan U	UP04T	UP04T - Pleiad-Evo - Dali-77443-402: UP04T - Pleiad Evo DALI-77443	Innfelt downlight DALI	6 19 W
Plan U	UP05T	UP05T - Fagerhult NOC 68061-402: UP05T - Fagerhult NOC m/tilt	Innfelt downlight med tilt - DALI	15 25 W
Plan U	UP07T	UP07T - Multilume-Flat-Opal-23695-402: UP07T - Multilume Flat Delta-	Innfelt 300x300 DALI	15 13 W
Plan U	UP09T	UP09T - Hi-Hat-pendant-200582-418-0001: UP09T - Hi-Hat pendant 2	Pendelarmatur DALI	5 13 W
Plan U	UP11T	UP11T - Notor LED DALI 22965-402: UP11T - Notor LED DALI 22965-402	Notor LED DALI dropped	3 36 W
Plan U	UP12T	UP12T - AllFive-Clear-33406-436: UP12T - AllFive Clear-33406-436	Klar avdekning DALI Parkeringskje	61 75 W
Plan U	UP14T	UP14T - Simes Minifocus 481063-000: UP14T - Simes Minifocus 481063-	Stående eller hengendemontering	3 35 W
Plan U	UP17T	UP17T - Vidi 3: Vidi 3 Wall -17351	Installed at the junction between c	1 30 W
Plan U	UP19T	UP19T - AllFive-LED-33508-469: UP19T - AllFive LED-33508-469	Trapp fra pallett, Opal, innebygget	1 51 W
Plan U	UP20T	UP20T - Discovery-EVO-LED-57722-469: UP20T - Discovery EVO LED	TAK Trapperom E-sense Detect a	3 15 W
Plan U	UP21T	UP21T - Aqua-17860-402: UP21T - Aqua-17860	Speilarmatur	6 13 W
Plan U	UP22T	UP22T - Zest-LED-18213-0001: UP22T - Zest LED-18213	Underside av overskap, hyller og li	1 22 W
Plan U	UP23T	UP23T - Pleiad-Evo IP 64-77443-402 + 41840: UP23T - Pleiad Evo IP65	downlight IP65	7 19 W
Plan U	UP24T	UP24T - Pleiad Evo glass-77443-402 + 41315: UP24T - Pleiad Evo Glass	downlight Avdekning glass	17 19 W
Plan U	UP25T	UP25T - Vidi 2: Vidi 2 Ceiling -17342	Installed at the junction between c	1 30 W
Plan U	UP29T	UP29T - Basic-T5-10805-112-0001: UP29T - Basic T5-10805-112	Heissjakter og fordelinger	2 30 W
Plan U	UP35T	UP35T - Aqua-17860-219: UP35T - Aqua-17860	Speilarmatur med sensor	4 13 W
Plan U	UP36T	UP36T - Pleiad Evo 77443-3: UP04T - Pleiad Evo DALI-77443-3	Innfelt downlight DALI	13 19 W
Plan U	UP99T	-UP99T - Koblingsboks Wago: -UP99T - Koblingsboks Wago	-UP99T - Koblingsboks Wago	2 0 W
Plan 1	UN01T	UN01T - Ledelys: Takmontert	Takmontert Ledelys c-c 10 meter	5 3 W
Plan 1	UN02T	UN02T - ML 20m Pil ned: Exit	ML 20 meter Pil ned	1 3 W
Plan 1	UN05T	UN05T - ML 20 meter Tosidig høyre_venstre: UN05T - ML 20 meter Tosid	ML 20 meter	2 0 W
Plan 1	UN09T	UN09T - ML 20m skrå ned venstre: UN09T - ML20m skrå ned venstre	ML 20 meter IP44 - skrå opp høyre	2 3 W
Plan 1	UP01T	UP01T - Multilume-Flat-Delta-23786-402: UP01T - Multilume Flat Delta-	Innfelt 600x600 DALI	126 29 W
Plan 1	UP02T	UP02T - Multilume free DALI: UP02T - Multilume Free DALI-22181-402	Innfelt 600x600 DALI	6 47 W
Plan 1	UP03T	UP03T - Multilume-Flat-Delta-23806-492: UP03T - Multilume Flat Delta	Innfelt 600x600 e-sense Organic	2 46 W
Plan 1	UP04T	UP04T - Pleiad-Evo - Dali-77443-402: UP04T - Pleiad Evo DALI-77443	Innfelt downlight DALI	4 19 W
Plan 1	UP05T	UP05T - Fagerhult NOC 68061-402: UP05T - Fagerhult NOC m/tilt	Innfelt downlight med tilt - DALI	58 25 W
Plan 1	UP09T	UP09T - Hi-Hat-pendant-200582-418-0001: UP09T - Hi-Hat pendant 2	Pendelarmatur DALI	8 13 W
Plan 1	UP11T	UP11T - Notor LED DALI 22965-402: UP11T - Notor LED DALI 22965-402	Notor LED DALI dropped	30 36 W
Plan 1	UP14T	UP14T - Simes Minifocus 481063-000: UP14T - Simes Minifocus 481063-	Stående eller hengendemontering	2 35 W
Plan 1	UP15T	UP14T - Simes 5130W 495130-376: UP14T - Simes 5130W 495130-376	Montert i bakken	1 28 W
Plan 1	UP17T	UP17T - Vidi 3: Vidi 3 Wall -17351	Installed at the junction between c	3 30 W
Plan 1	UP19T	UP19T - AllFive-LED-33508-469: UP19T - AllFive LED-33508-469	Trapp fra pallett, Opal, innebygget	1 51 W
Plan 1	UP22T	UP22T - Zest-LED-18213-0001: UP22T - Zest LED-18213	Underside av overskap, hyller og li	2 22 W
Plan 1	UP24T	UP24T - Pleiad Evo glass-77443-402 + 41315: UP24T - Pleiad Evo Glass	downlight Avdekning glass	18 19 W
Plan 1	UP25T	UP25T - Vidi 2: Vidi 2 Ceiling -17342	Installed at the junction between c	1 30 W
Plan 1	UP29T			14 30 W
Plan 1	UP35T	UP35T - Aqua-17860-219: UP35T - Aqua-17860	Speilarmatur med sensor	8 13 W
Plan 1	UP36T	UP36T - Pleiad Evo 77443-3: UP04T - Pleiad Evo DALI-77443-3	Innfelt downlight DALI	6 19 W
Plan 1	UP99T	-UP99T - Koblingsboks Wago: -UP99T - Koblingsboks Wago	-UP99T - Koblingsboks Wago	21 0 W
Plan 2	UN01T	UN01T - Ledelys: Takmontert	Takmontert Ledelys c-c 10 meter	6 3 W
Plan 2	UN05T	UN05T - ML 20 meter Tosidig høyre_venstre: UN05T - ML 20 meter Tosid	ML 20 meter	2 0 W
Plan 2	UN09T	UN09T - ML 20m skrå ned venstre: UN09T - ML20m skrå ned venstre	ML 20 meter IP44 - skrå opp høyre	3 3 W
Plan 2	UP01T	UP01T - Multilume-Flat-Delta-23786-402: UP01T - Multilume Flat Delta-	Innfelt 600x600 DALI	143 29 W
Plan 2	UP03T	UP03T - Multilume-Flat-Delta-23806-492: UP03T - Multilume Flat Delta	Innfelt 600x600 e-sense Organic	4 46 W
Plan 2	UP05T	UP05T - Fagerhult NOC 68061-402: UP05T - Fagerhult NOC m/tilt	Innfelt downlight med tilt - DALI	57 25 W

Plan 2	UP09T	UP09T - Hi-Hat-pendant-200582-418-0001: UP09T - Hi-Hat pendant 2	Pendelarmatur DALI	7	13 W
Plan 2	UP11T	UP11T - Notor LED DALI 22965-402: UP11T - Notor LED DALI 22965-402	Notor LED DALI dropped	30	36 W
Plan 2	UP17T	UP17T - Vidi 3: Vidi 3 Wall -17351	Installed at the junction between c	3	30 W
Plan 2	UP19T	UP19T - AllFive-LED-33508-469: UP19T - AllFive LED-33508-469	Trapp fra pallett, Opal, innebygget	1	51 W
Plan 2	UP21T	UP21T - Aqua-17860-402: UP21T - Aqua-17860	Speilarmatur	1	13 W
Plan 2	UP22T	UP22T - Zest-LED-18213-0001: UP22T - Zest LED-18213	Underside av overskap, hyller og li	1	22 W
Plan 2	UP24T	UP24T - Pleiad Evo glass-77443-402 + 41315: UP24T - Pleiad Evo Glass	downlight Avdekning glass	16	19 W
Plan 2	UP25T	UP25T - Vidi 2: Vidi 2 Ceiling -17342	Installed at the junction between c	2	30 W
Plan 2	UP29T	UP29T - Basic-T5-10805-112-0001: UP29T - Basic T5-10805-112	Heissjakter og fordelinger	6	30 W
Plan 2	UP35T	UP35T - Aqua-17860-219: UP35T - Aqua-17860	Speilarmatur med sensor	8	13 W
Plan 2	UP36T	UP36T - Pleiad Evo 77443-3: UP04T - Pleiad Evo DALI-77443-3	Innfelt downlight DALI	6	19 W
Plan 2	UP99T	-UP99T - Koblingsboks Wago: -UP99T - Koblingsboks Wago	-UP99T - Koblingsboks Wago	21	0 W
Plan 3	UN01T	UN01T - Ledelys: Takmontert	Takmontert Ledelys c-c 10 meter	5	3 W
Plan 3	UN05T	UN05T - ML 20 meter Tosidig høyre_venstre: UN05T - ML 20 meter Tosid	ML 20 meter	2	0 W
Plan 3	UN09T	UN09T - ML 20m skrå ned venstre: UN09T - ML20m skrå ned venstre	ML 20 meter IP44 - skrå opp høyre	2	3 W
Plan 3	UP01T	UP01T - Multilume-Flat-Delta-23786-402: UP01T - Multilume Flat Delta-	Innfelt 600x600 DALI	145	29 W
Plan 3	UP03T	UP03T - Multilume-Flat-Delta-23806-492: UP03T - Multilume Flat Delta	Innfelt 600x600 e-sense Organic	4	46 W
Plan 3	UP05T	UP05T - Fagerhult NOC 68061-402: UP05T - Fagerhult NOC m/tilt	Innfelt downlight med tilt - DALI	54	25 W
Plan 3	UP09T	UP09T - Hi-Hat-pendant-200582-418-0001: UP09T - Hi-Hat pendant 2	Pendelarmatur DALI	7	13 W
Plan 3	UP11T	UP11T - Notor LED DALI 22965-402: UP11T - Notor LED DALI 22965-402	Notor LED DALI dropped	30	36 W
Plan 3	UP17T	UP17T - Vidi 3: Vidi 3 Wall -17351	Installed at the junction between c	3	30 W
Plan 3	UP19T	UP19T - AllFive-LED-33508-469: UP19T - AllFive LED-33508-469	Trapp fra pallett, Opal, innebygget	1	51 W
Plan 3	UP22T	UP22T - Zest-LED-18213-0001: UP22T - Zest LED-18213	Underside av overskap, hyller og li	1	22 W
Plan 3	UP24T	UP24T - Pleiad Evo glass-77443-402 + 41315: UP24T - Pleiad Evo Glass	downlight Avdekning glass	16	19 W
Plan 3	UP25T	UP25T - Vidi 2: Vidi 2 Ceiling -17342	Installed at the junction between c	1	30 W
Plan 3	UP29T	UP29T - Basic-T5-10805-112-0001: UP29T - Basic T5-10805-112	Heissjakter og fordelinger	6	30 W
Plan 3	UP35T	UP35T - Aqua-17860-219: UP35T - Aqua-17860	Speilarmatur med sensor	8	13 W
Plan 3	UP36T	UP36T - Pleiad Evo 77443-3: UP04T - Pleiad Evo DALI-77443-3	Innfelt downlight DALI	6	19 W
Plan 3	UP99T	-UP99T - Koblingsboks Wago: -UP99T - Koblingsboks Wago	-UP99T - Koblingsboks Wago	24	0 W
Plan 4	UN01T	UN01T - Ledelys: Takmontert	Takmontert Ledelys c-c 10 meter	7	3 W
Plan 4	UN02T	UN02T - ML 20m Pil ned: Exit	ML 20 meter Pil ned	1	3 W
Plan 4	UN05T	UN05T - ML 20 meter Tosidig høyre_venstre: UN05T - ML 20 meter Tosid	ML 20 meter	1	0 W
Plan 4	UP01T	UP01T - Multilume-Flat-Delta-23786-402: UP01T - Multilume Flat Delta-	Innfelt 600x600 DALI	140	29 W
Plan 4	UP02T	UP02T - Multilume free DALI: UP02T - Multilume Free DALI-22181-402	Innfelt 600x600 DALI	3	47 W
Plan 4	UP03T	UP03T - Multilume-Flat-Delta-23806-492: UP03T - Multilume Flat Delta	Innfelt 600x600 e-sense Organic	4	46 W
Plan 4	UP04T	UP04T - Pleiad-Evo - Dali-77443-402: UP04T - Pleiad Evo DALI-77443	Innfelt downlight DALI	5	19 W
Plan 4	UP05T	UP05T - Fagerhult NOC 68061-402: UP05T - Fagerhult NOC m/tilt	Innfelt downlight med tilt - DALI	45	25 W
Plan 4	UP09T	UP09T - Hi-Hat-pendant-200582-418-0001: UP09T - Hi-Hat pendant 2	Pendelarmatur DALI	8	13 W
Plan 4	UP10T	UP10T - Zone Evo II recessed G2 58175-000: UP10T - Zone Evo II recess	Innfelt downlight	10	37 W
Plan 4	UP11T	UP11T - Notor LED DALI 22965-402: UP11T - Notor LED DALI 22965-402	Notor LED DALI dropped	30	36 W
Plan 4	UP17T	UP17T - Vidi 3: Vidi 3 Wall -17351	Installed at the junction between c	3	30 W
Plan 4	UP19T	UP19T - AllFive-LED-33508-469: UP19T - AllFive LED-33508-469	Trapp fra pallett, Opal, innebygget	1	51 W
Plan 4	UP22T	UP22T - Zest-LED-18213-0001: UP22T - Zest LED-18213	Underside av overskap, hyller og li	1	22 W
Plan 4	UP24T	UP24T - Pleiad Evo glass-77443-402 + 41315: UP24T - Pleiad Evo Glass	downlight Avdekning glass	16	19 W
Plan 4	UP25T	UP25T - Vidi 2: Vidi 2 Ceiling -17342	Installed at the junction between c	1	30 W
Plan 4	UP29T	UP29T - Basic-T5-10805-112-0001: UP29T - Basic T5-10805-112	Heissjakter og fordelinger	6	30 W
Plan 4	UP35T	UP35T - Aqua-17860-219: UP35T - Aqua-17860	Speilarmatur med sensor	8	13 W
Plan 4	UP36T	UP36T - Pleiad Evo 77443-3: UP04T - Pleiad Evo DALI-77443-3	Innfelt downlight DALI	4	19 W
Plan 4	UP99T	-UP99T - Koblingsboks Wago: -UP99T - Koblingsboks Wago	-UP99T - Koblingsboks Wago	19	0 W
Tak	UN02T	UN02T - ML 20 meter: Exit here-1	ML 20 meter	5	12 W
Tak	UN03T	UN03T - ML 40 meter: Exit here-1	ML 40 meter	2	12 W
Tak	UN07T	UN07T - ML 20 meter IP44: Exit here-1	ML 20 meter IP44 over dør og i tak	1	12 W
Tak	UP12T	UP12T - AllFive-Clear-33406-436: UP12T - AllFive Clear-33406-436	Klar avdekning DALI Parkeringskje	9	75 W
Tak	UP19T	UP19T - AllFive LED-33508-469: -UP19T - AllFive LED-33508-469	Surface mounted, cable wire, wire	2	51 W
Tak	UP29T	UP29T - Basic-T5-10805-112-0001: UP29T - Basic T5-10805-112	Heissjakter og fordelinger	1	30 W

Vedlegg 4. Befaring i Bygg A

Vann-til-vann varmepumpe og oppkobling mot energibrønner



Inntaksbryter



Solceller på taket.



Vedlegg 5. Teknisk data for varmepumpe i Bygg A

CHILLHEAT TECHNICAL SPECIFICATIONS

2016-02-04

1

v1.0.0

P220 SU VFDx2

Optimized performance for chilling and heating

Technical Details (± 5 % accuracy)

P220 SU VFDx2

Operating mode	: Cooling	Heating
Refrigeration capacity acc. to EN 12900	: 298 kW	144 kW
Power consumption	: 81 kW	84 kW
Heating capacity	: 379 kW	227 kW
COP	: 4,6	2,7

Heat source

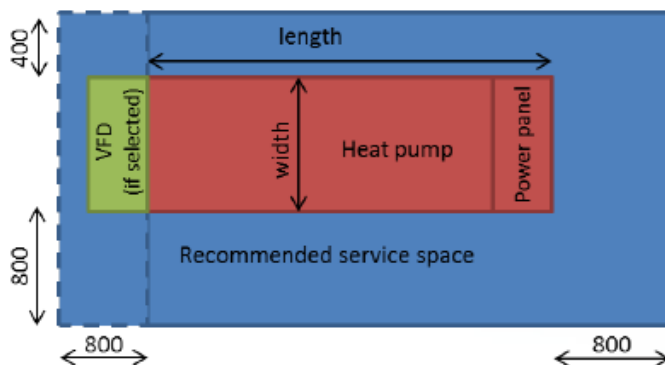
Type of coolant	: water/ethanol (25.0 %)	water/ethanol (25.0 %)
Coolant inlet	: 16,0 °C	3,0 °C
Coolant outlet	: 10,0 °C	0,0 °C
Coolant flow rate	: 12,4 l/s	12,1 l/s
Pressure loss in heat exchanger	: 13 kPa	12 kPa

Heat sink

Type of heating medium	: water	water
Heating medium inlet	: 34,0 °C	50,0 °C
Heating medium outlet	: 40,0 °C	60,0 °C (max 80°C)
Flow rate heating medium	: 15,2 l/s	5,5 l/s
Pressure loss in heat exchanger	: 45 kPa	25 kPa

Dimensions

Approx. length	: 2715 mm
Approx. width	: 900 mm
Approx. height	: 2085 mm
Approx. operating weight	: 1800 kg



Business Identity Code 0564046-1
VAT Identification number FI05640461

Certified ISO 3834-2
Certificate reg. no. 2904-09

Certified ISO 9001
Certificate reg. no. FI120002

Certified ISO 14001
Certificate reg. no. FI121003

KOKKOLA
Yliähtä 6
FI-87100 KOKKOLA
Tel. +358 20 726 1888
Fax. +358 20 726 1887

VANTAA
Nilttytie 25 A21
FI-01300 VANTAA
Tel. +358 20 726 1888

SEINÄJOKI
Kalevankatu 10
FI-60100 SEINÄJOKI
Tel. +358 20 726 1888
Fax. +358 20 726 1874

LAPPEENRANTA
Yliähtäkatu 1
FI-53650 LAPPEENRANTA
Tel. +358 20 726 1888

Unit

Type	: P220 SU VFDx2
Compressors	: 3 reciprocating compressors, 2 of 3 frequency controlled
Refrigerant	: R134a
Description	: Heat pump with AISI 304/316 brazed plate heat exchangers. Compact and completely factory packaged unit, ready for connection on site, dismantled for transportation
Capacity control	: 100 % - 20 % (in design conditions)
Design pressure evaporator	: 32 bar
Design pressure condenser	: 32 bar
Amount of liquid connections	: 8
A-Weighted sound power level	: -

Enclosure finishing

Painting	: Powder coating
Color	: RAL 9006

Control Unit

ChillHeat System Control for optimized performance.



- ✓ User friendly 7" color touch display in power panel door.
- ✓ Rugged PLC control.
- ✓ Cool and Heat mode switchover easily with one button.
- ✓ Local and Remote control with wide range of communication possibilities.
- ✓ Release contacts for brine and condenser systems.
- ✓ Failure information shown as text and stored on memory card including previous running conditions.
- ✓ Data logging and trend report.

Controller communication	: Modbus RTU (Profibus available as an option)
Display language	: English, Finnish, Swedish, Norwegian, Estonian

Sensors

Temperature sensors	: For heating and cooling medium inlets and outlets, to be installed before commissioning
Additional temperature sensors	: None
Flow switch	: Electronic flow switch on cooling side

Electrical Details

Voltage	:	400 V - 3 - 50 Hz (other options available upon request)
Degree of protection	:	IP 54
Power supply fuse	:	3 x 315 A
Switch on mode	:	Soft start integrated in the VFD
Type of power supply, delivered loose	:	Power panel with IP 54 protection including features, such as suitability for a TN-earthing system, main switch, emergency switch, contactors for oil heater, thermal over current release and safety fuses, power fuses, control transformer with double control safety, primary and secondary
Cable entry point	:	At the top
Current at design point	:	177 A
Starting current at design point	:	279 A
Maximum operating current	:	313 A
Maximum starting current	:	491 A

Safety Devices

Type	:	Double safety valve with change over valve
Safety valve(s) acc. to PED	:	4 out of which 2 active

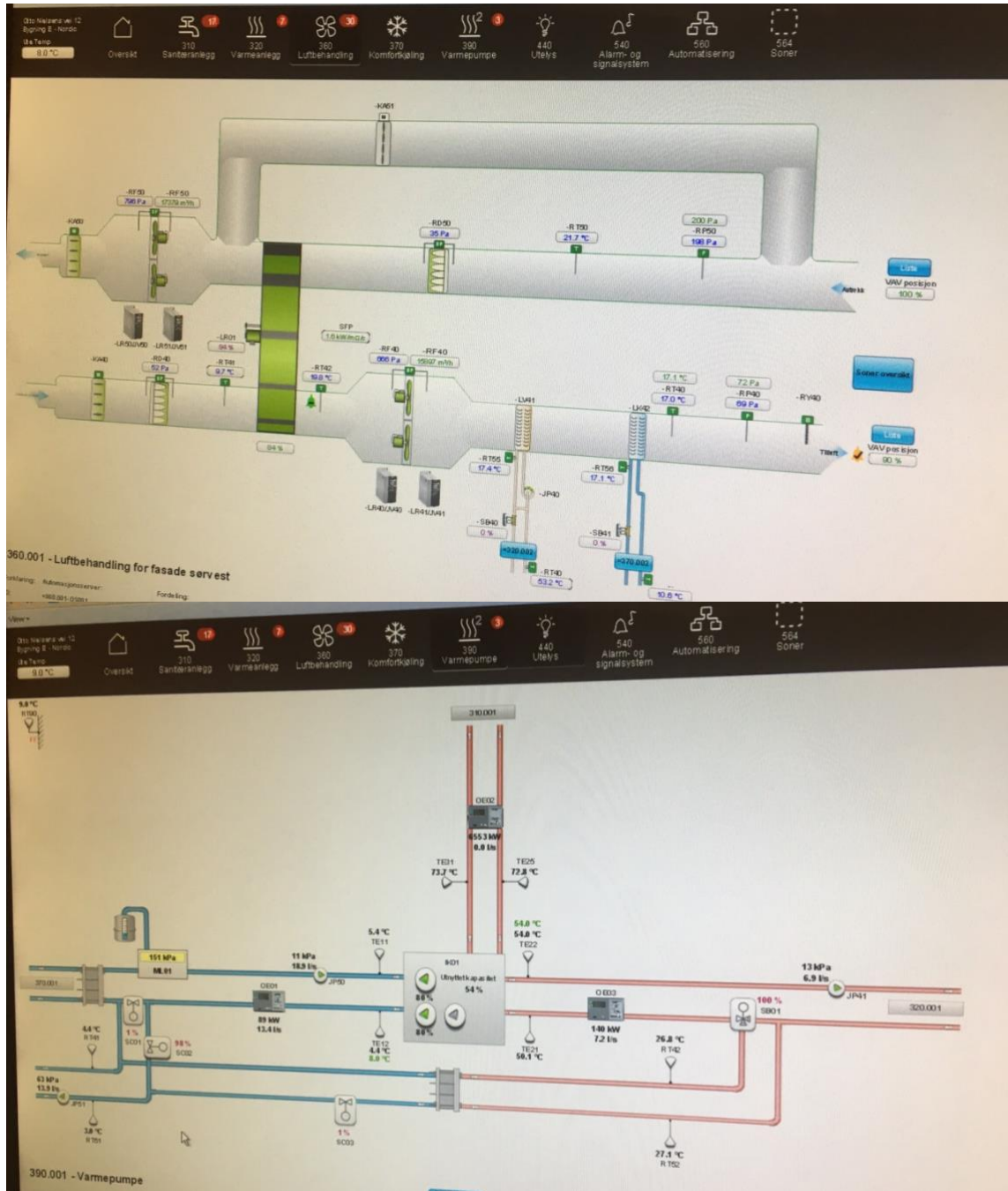
Approval and Documentation

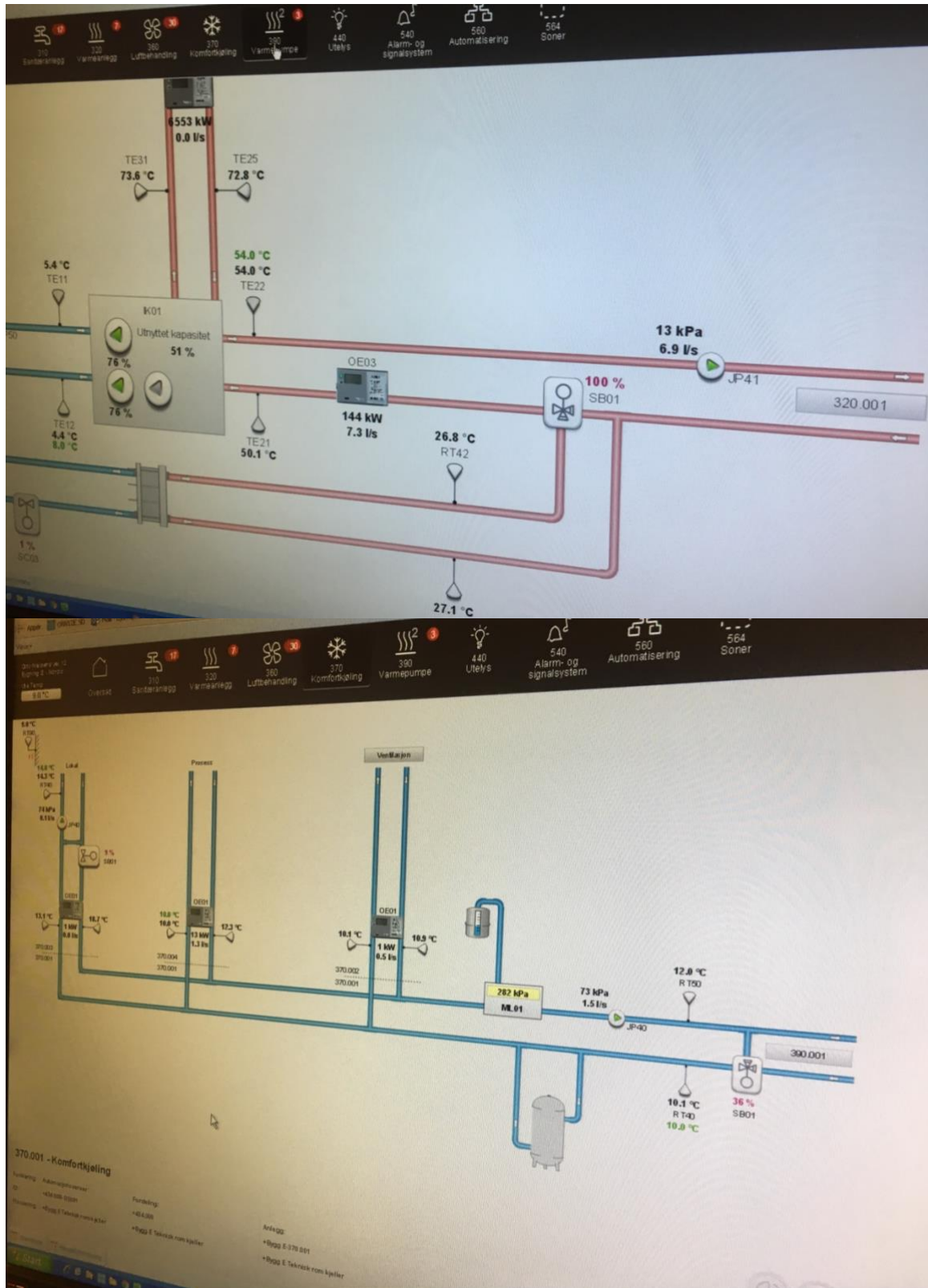
Approval for the Chiller Unit	:	Work's Certificate, Certificate of Conformity acc. to Machine Directive 2006/42/EC. Calculation and manufacturing acc. to EN 378.
Approval pressure equipment	:	Certificate of Conformity acc. to Pressure Equipment Directive (PED) 97/23/EC modules A1 and G. Calculation and manufacturing acc. to EN 378.
Non-destructive testing	:	Non-destructive welding test acc. to EN 1445
Documentation consisting of	:	1 on CD, 1 in paper
Language of the documentation	:	English

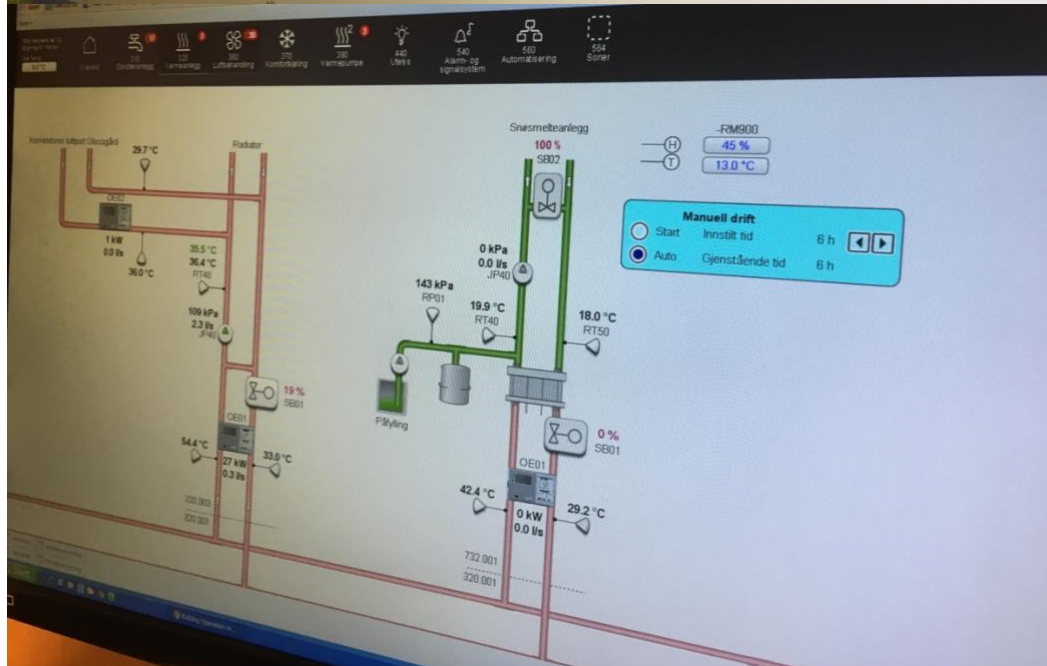
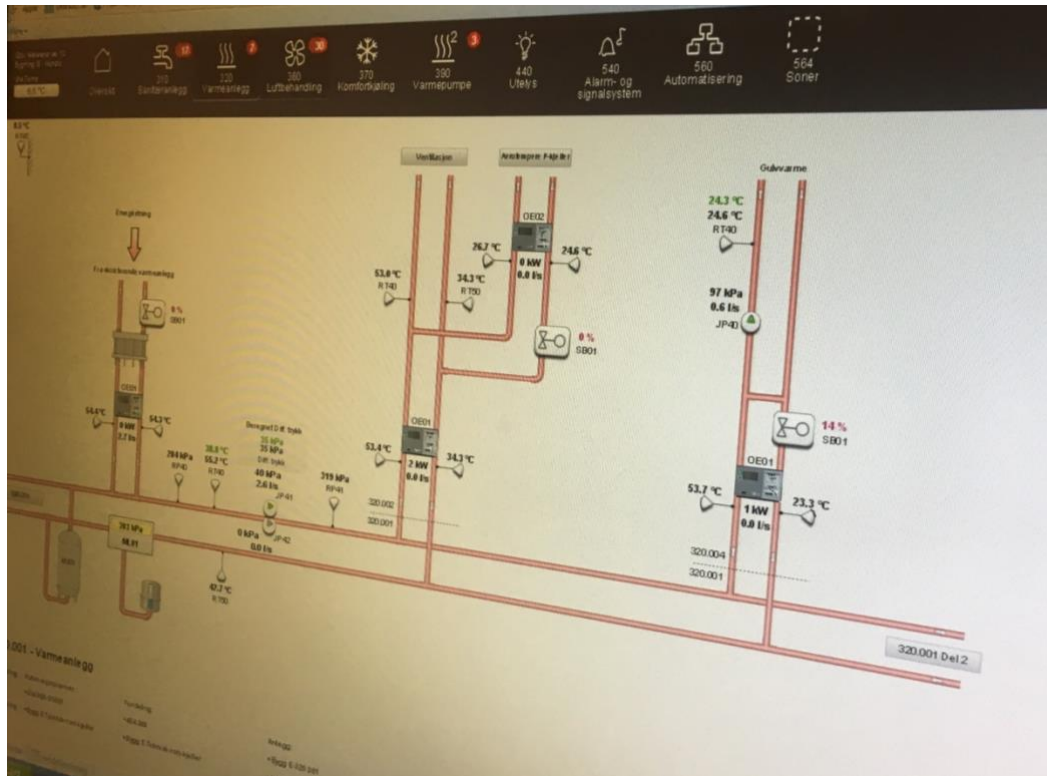
Exclusions

Exclusion from scope of supply	:	Foundations, re-assembling on-site, water side pipes and valves, cold side insulation, electrical connection to the power panel of the chiller, spare parts and special tools, everything that is not specifically mentioned
--------------------------------	---	--

Vedlegg 6. Befaring i Bygg A. SD-anlegg







Vedlegg 7. Systemskjema. Bygg A

