

Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg*Postadresse:* Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo*Besøksadresse:* Pilestredet 35, Oslo*Webseite:* www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

OPPGAVENS TITTEL: Overdimensjonering av kjøleanlegg i næringsbygg	DATO: 25.05.2022
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 48 / 18
FORFATTERE: Johanna Olsen	VEILEDER: Habtamu Bayera Madessa
UTFØRT I SAMARBEID MED: AF Energi	KONTAKTPERSON: Tor Olsen

KORT SAMMENDRAG: <p>Rask utvikling i kjølebehovet i Norge har resultert i feildimensjonering og feil håndtering av sentrale internlaste. Denne masteroppgaven undersøker og diskuterer avviket mellom teoretisk og reelt energibruk, ved å fremskaffe bedre dokumentasjon av interne varmelaster som forårsaker kjølebehov. Kontorbygget, Nydalsveien 28, er brukt som referansebygg i oppgaven.</p> <p>Analyse av eksisterende data for Nydalsveien 28 viser at kjøleanlegget er overdimensjonert med hele 55 prosent. Det er estimert at denne overdimensjoneringen har kostet bygget om lag 4,3 millioner kroner i merkost på investering, samt drift- og vedlikehold og abonnert effekt på fjernkjøling de siste 5 årene, sammenlignet med en riktig dimensjonering.</p> <p>Resultatet av simuleringene viste at bruk av normerte verdier for internlaste hentet fra NS 3031, 100 prosent varmetilskudd og normerte driftstider resulterer i nærmere 40 prosent overdimensjonering av kjøleanlegget. Legger man videre på arbeidstilsynets anbefalte sikkerhetsmargin for ventilasjon på 30 prosent, ender man med å overdimensjonere kjøleanlegget med hele 47 prosent.</p>

NØKKELOD (en per linje): Kjølebehov Overdimensjonering Kostnadsbesparelse
--

Oppgavetekst

Nøkkelinformasjon

Tittel: Overdimensjonering av kjøleanlegg i Næringsbygg

English title: Oversizing of refrigeration systems in commercial buildings

Hovedveileder: Habtamu Bayera Madessa, OsloMet

Samarbeid/bibeileder: Tor Olsen, AF Energi

Bakgrunn

Til tross for Norges kalde klima har kjølebelastninger i norske bygninger, spesielt næringsbygg, en svært signifikant effekt på energibruken. Rask utvikling i kjølebehovet i Norge har resultert i feildimensjonering og feil håndtering av sentrale internlaste.

Mål

Avviket mellom teoretisk og reelt energibruk skyldes at normerte verdier ikke nødvendigvis stemmer med reelle verdier, samt både bruk og forsyning av kjøleenergi. Hindrer normerte tall oss fra å dimensjonere riktig?

Formålet med oppgaven er å utvikle kunnskap om målinger og beregningsverktøy for å bedre kunne dokumentere og bidra til reduksjon av maksimal effekt og energibruken til kjøling.

For å undersøke problemstillingen vil forfatteren forsøke å svare på følgende punkter gjennom rapporten:

- **Avvik mellom teoretisk og reelt energibruk**
Hvorfor oppstår avvik mellom teoretisk beregnet og målt energi til kjøling i næringsbygg?
Og hvordan skal man dimensjonere for å redusere dette?
- **Påvirkning og reduksjon av kjølebehovet**
Hvilke internlaste har størst påvirkning på kjølebehovet? Og hvordan redusere behovet?
- **Potensiell kostnadsbesparelse**
Hva er potensiell kostnadsbesparelse knyttet til neddimensjonering av kjøleanlegg og redusert betaling for effekt?

Metode / Arbeidsoppgaver

For å underbygge oppgavens problemstilling er følgende metode brukt:

- Simuleringer i SIMIEN med normert og realistisk metode
- Analyse av eksisterende data
- Kvalitativ undersøkelse med tekniske fagekspert
- Kjølereduserende tiltak i IDA ICE
- Kostnadsvurdering av neddimensjonering

Forord

Ved avsluttende semester på masterprogrammet Energi og Miljø i Bygg på OsloMet skrives masteroppgave i emnet MAEN5900. Denne oppgaven er skrevet av en student, våren 2022, i samarbeid med AF Energi. Det er flere involverte jeg ønsker å takke.

Jeg vil rette en takk til intern veileder Habtamu Bayera Madessa for regelmessig oppfølging gjennom semesteret og god hjelp med simuleringer.


Det rettes takk til teknisk direktør i AF Energi, Tor Olsen, for hans engasjement i oppgaven, hans tekniske kunnskap og faglige innspill.

Jeg ønsker også å takke AF Energi for tilgang til erfaringstall og generell bistand ved behov.

Videre vil jeg takke driftssjef i Avantor, Jostein Odden, for innsyn i reelle effektuttak til kjøling i Avantor sine eiendommer i Nydalen. Odden takkes også for tillatelse for bruk av deres eiendom som referanse i oppgaven, samt for oversendelse av FDV dokumentasjon.

Avantor takkes også for tildeling av skriveplass på deres kontor, for lett å kunne få tak i relevante personer for eventuelle spørsmål, samt muligheten for befaring av casebygget.

Videre vil jeg takke de tekniske ekspertene innen kjøling; Tor Olsen, Ida Bryn, Jostein Odden & Roy Frivoll for å la seg intervjuet, og dele faglige innspill og erfaringer rundt overdimensjonering av kjøleanlegg.



Johanna Olsen, Oslo 25.05.2022



Sammendrag

Til tross for Norges tempererte klima har kjølebelastninger i norske bygninger, spesielt næringsbygg, en svært signifikant effekt på energibruken. Rask utvikling i kjølebehovet i Norge har resultert i feildimensjonering og feil håndtering av sentrale internlaste. Denne masteroppgaven undersøker og diskuterer avviket mellom teoretisk og reelt effektbehov og energibruk, ved å fremskaffe bedre dokumentasjon av interne varmelaster som forårsaker økt kjølebehov. Det fokuseres på beregningsmetodikken for dimensjonering, og dens utslag på hvorfor avviket som oppstår. Kontorbygget, Nydalsveien 28, er brukt som referansebygg i oppgaven. Hensikten var å finne ut hvilke erfaringer bransjen kan ta med seg i fremtidige prosjekter der kjøling skal anvendes.

Gjennom simuleringer i SIMIEN med ulike dimensjoneringsgrunnlag, befaring på casebygget, samt en kvalitativ undersøkelse, analyseres avviket og det diskuteres hvilke erfaringstall som bør brukes ved dimensjonering av kjøleanlegg i næringsbygg. Ytterligere simuleringer i IDA-ICE ser på potensiell besparelse ved å anvende kjølereduserende tiltak, der det er fokusert på solskjerming, termisk masse og nattventilasjon. Den angivelige besparelsen ved å neddimensjonere kjøleanlegget ble analysert basert på reelle og estimerte kostnader supplert av AF Energi, samt erfaringstall og Norsk prisbok.

Analyse av eksisterende data fra Nydalsveien 28 viste at kjøleanlegget var overdimensjonert med hele 55 prosent. Det ble estimert at denne overdimensjoneringen har kostet bygget om lag 4,3 millioner kroner i merkost på investering, samt drift- og vedlikehold og abonnert effekt på fjernkjøling de siste 5 årene, sammenlignet med en korrekt dimensjonering.

Med økende utetemperaturer er det viktigere enn noen gang å finne gode kjøletekniske løsninger, og ikke minst redusere kjølebehovet. Tiltak som termisk masse, nattventilasjon og spesielt en kombinasjon av disse, er bevist å være svært effektive tiltak for å redusere den operative temperaturen i bygget. Imidlertid vil mange bygg uansett ha et kjølebehov, og da er ett energieffektivt kjøleanlegg med optimal styring avgjørende for ett energieffektivt bygg.

Bruk av normerte verdier hentet fra NS 3031 for internlaste med 100 prosent varmetilskudd og normerte driftstider resulterer i nærmere 40 prosent overdimensjonering av kjøleanlegget. Legger man videre på arbeidstilsynets anbefalte sikkerhetsmargin for ventilasjon på 30 prosent, ender man med å overdimensjonere kjøleanlegget med hele 47 prosent. Resultatene av de faktiske internlastene i Nydalsveien 28 mot de normerte verdiene, gir en påminnelse om hvorfor det er viktig å ikke forveksle de standardiserte beregningene, som i dag gjøres for å dokumentere et bygg sin energiytelse, opp mot myndighetskrav med forventet energibruk.

Avslutningsvis konkluderes det med viktigheten av at bransjen utfordrer gamle metoder og utdaterte erfaringstall. Undersøkelsen har vist at å bruke mer tid til dimensjonering og prosjektering ikke nødvendigvis er fordyrende, men at det er mye penger å spare ved å dimensjonere med korrekte forutsetninger.

Abstract

Despite Norway's temperate climate, cooling loads in Norwegian buildings, particularly commercial buildings, have a significant impact on energy consumption. This master's thesis explores and discusses the gap between theoretical and actual energy use, by providing improved documentation of internal heat loads that create greater cooling needs, in light of the rapid growth in cooling demand. Nydalsveien 28, an office building, is utilized as a reference building in this thesis. The purpose was to evaluate what kind of knowledge the industry could provide to potential cooling projects.

The deviation is studied and discussed using SIMIEN simulations with various dimensioning bases, as well as an inspection of the case building and a qualitative survey. Further IDA-ICE simulations look at potential savings by implementing cooling-reduction strategies, with a focus on sun protection, thermal mass, and night ventilation. The alleged cost reductions by downsizing the cooling system were calculated using real and estimated costs, as well as experience figures and the "Norsk Prisbok."

The cooling system was found to be 55 percent oversized based on data from Nydalsveien 28. Oversizing cost the building approximately NOK 4.3 million in additional cost on investment, as well as operation and maintenance and subscribed effect on district cooling in the last 5 years when compared to proper dimensioning.

Finding suitable cooling technology solutions, as well as reducing the need for cooling, is more important than ever with rising surrounding temperature. Thermal mass, night ventilation, and especially a combination of these have all been shown to be effective at lowering the operating temperature of a building. However, many structures will require cooling at a certain point, thus an energy-efficient cooling system with optimal control is essential for an energy-efficient construction.

The cooling system is about 40% oversized when standardized values from NS 3031 are utilized for internal loads with 100% heat supplement and standardized operating intervals. If you keep adding the recommended ventilation safety factor of 30% indicated by "Arbeidstilsynet," you'll end up oversizing the cooling system by up to 47%. The necessity of not confusing standardized calculations, which are currently used to document a building's energy performance, with regulatory regulations for expected energy use is shown by the comparison of real internal loads in Nydalsveien 28 to conventional numbers.

Finally, the importance of challenging outdated methodology and experience numbers is emphasized. According to the study, putting more work into modeling does not always imply a higher cost, because dimensioning with accurate assumptions will save a lot of money.

Innhold

Oppgavetekst	ii
Nøkkelinformasjon.....	ii
Bakgrunn.....	ii
Mål.....	ii
Metode / Arbeidsoppgaver.....	ii
Forord	iii
Sammendrag.....	iv
Abstract.....	v
Innhold.....	vi
Definisjoner og forkortelser	1
Nomenklatur	2
1 Innledning.....	3
1.1 Bakgrunn.....	4
1.2 Problemstilling og formål	5
1.3 Omfang.....	5
1.4 Avgrensninger og begrensninger	6
1.5 Litteraturstudie.....	7
1.6 Om det undersøkte bygget	9
2 Teori.....	10
2.1 Forskrifter, standarder og normer.....	10
2.2 Kjøleanleggs termodynamikk	12
2.3 Kjøling av næringsbygg.....	12
2.4 Dimensjonering av kjøleanlegg.....	14
2.5 Internlaster	15
2.6 Avvik mellom teoretisk og reelt forbruk.....	17
3 Teknisk løsning anvendt i Nydalsveien 28.....	18
3.1 Kjøleteknisk løsning i Nydalsveien 28.....	18
3.2 Internlaster i Nydalsveien 28.....	19
4 Metoder og materialer	21
4.1 Avvik mellom teoretisk og reelt energibruk.....	22
4.2 Påvirkning og reduksjon av kjølebehovet.....	27
4.3 Potensiell kostnadsbesparelse	33
5 Resultater og diskusjon.....	34
5.1 Analyse av avviket mellom teoretisk og reelt energibruk	34
5.2 Analyse av påvirkning og reduksjon av kjølebehovet.....	40
5.3 Analyse av potensielle kostnadsbesparelse	43
6 Konklusjoner.....	45
6.1 Overordnet konklusjon.....	47
7 Referanser.....	48
Firgurliste.....	49
Tabell liste.....	49
Formelliste.....	50
VEDLEGG.....	51

Definisjoner og forkortelser

Teoretisk energibehov	netto energibehov, uten hensyn til virkningsgrad eller tap i energikjeden
Målt/reelt energibehov	energiebehov hentet fra byggets EOS-system (energioppfølgingsystem)
EOS-system	system med overskitt over energibruken til ett bygg
Fjernkjøling	kjøleanlegg som ved hjelp av et rørsystem leverer kjøling til eksterne kunder fra en kjølesentral med dimensjonerende effekt på minst 1 MW [1]
Komfort kjøling	kjøling av romluft og/eller tilluft for å holde et tilfredstillende termisk inneklima
Lokalkjøling / Romkjøling	kjøling av inneluften ved bruk av lokale kjøleavgivere
Ventilasjonskjøling	sentralkjøling av ventilasjonsluft med aggregatets kjølebatteri
DX-system	«direct expansion» eller direkte ekspansjonsanlegg er et kjøleanlegg der kuldemediet varmeveksles direkte med ventilasjonsluften
Frikjøling	komfortkjøling basert på varmeveksling med energibærere med lavere temperatur uten bruk av kjølemaskin
Kjøleavgiver	enheten som avgir energi i et rom
Kjøleytelse	den termiske energien som kjøleanlegget fjerner fra bygget/rommet [kW eller W/m^2]
Kjøleenergi	kjøleytelsen over tid [kWh eller kWh/m^2]
Kjølefaktor (COP)	kjøleytelsen til anlegget dividert med elektrisitetsforbruket til kjøleanlegget (kompressor, sirkulasjonspumper og vifter)
Oprativ temperatur	mål for menneskets opplevde temperatur [$^{\circ}C$]
Teknisk utstyr	tekniske innretninger, apparater og installasjoner som avgir varme til oppvarmet BRA, som ikke har som primærfunksjon å dekke et oppvarmingsbehov
LCD	«liquid crystal display» eller flytende krystall skjerm er en tynn flat skjerm uten baklys som forbruker lite elektrisk energi

Nomenklatur

Symbol	Forklaring	Benevning
Q_k	Avgitt varme til omgivelsene	[W]
Q_o	Kuldeytelse	[W]
W	Arbeid	[J, Nm]
T_o	Fordampertemperatur	[°C]
T_k	Kodensatortemperatur	[°C]
ε	Effektfaktor	-
λ	Konduktivitet	[W/mK]
ρ	Massetetthet	[kg/m ³]
c	Spesifikk varmekapasitet	[J/kg K]
α	Termisk diffusivitet	[m ² /s]
h	Spesifikk entalpi	[kJ/kg]

1 Innledning

Siden 2007 har oppvarmingsbehovet for nye bygninger gått betraktelig ned, mens behovet for tappevann og kjøling stadig tar en større del av energibudsjettet [2]. Til tross for Norges kalde klima har kjølebelastninger i norske bygninger, spesielt næringsbygg, en svært signifikant effekt på energibruken. Rask utvikling i kjølebehovet i Norge har resultert i feildimensjonering og feil håndtering av sentrale internlaster.

Erichsen og Horgens rapport «*Kjøling i bygg*» fra 2011 viser at det normalt er store avvik mellom teoretisk beregnet og reelt energibruk i bygg, der avviket er desidert størst for kjøling [3]. Resultatet er overdimensjonerte kjøleanlegg, der samme rapport legger frem at kjøleanlegg i Norge overdimensjoneres med opptil 20 – 30 prosent [3]. Bruk av for store kjøleanlegg vil føre til at anlegget går på delast store deler av året, som resulterer i lav kjølefaktor, samt dårlig utnyttelse av anlegget [4]. Overdimensjonerte sirkulasjonspumper i isvannsystemet er lite effektive og vil avgi varme, som igjen må fjernes av kjølesystemet. Resultatet er økt energibruk, selv når det ikke er kjølebehov.

Ved å installere et mindre kjøleanlegg reduseres både investerings-, drift- og vedlikeholdskostnadene [5]. I tillegg til de økonomisk besparelsene som følge av neddimensjonering av kjøleanlegget, vil kostnadene knyttet til abonnert effekt hos fjernkjølingselskapet ha en betydelig reduksjon [6].

I 2011 la SINTEF Byggforsk frem en rapport på oppdrag av Lavenergiprogrammet, for å øke kunnskapen om hva som faktisk påvirker energibruken i byggene våre. Det ble gjennomført intervjuer med større rådgivere i byggebransjen i Norge, der formålet var å undersøke hvilke beregningsverktøy som brukes for dimensjonering av kjøling. Resultatet var at alle de større rådgiverne benytter SIMIEN, som er harmonisert mot tilbaketrunkne NS 3031 [7]. Det kommer også frem at rådgiverne har «*lite erfaring med virkelig energibruk kontra beregnet energibruk*», da de sjeldent følger opp prosjektene etter ferdigstilling [7].

Grunnlaget for fastsettelse av de normaliserte verdiene for interne laster i NS 3130 er relativt begrenset [3]. Begrensningen skyldes i stor grad utfordringen med å skille mellom varmetilskudd fra teknisk utstyr og belysning [5]. En annen stor utfordring er variasjonen av personbelastning i de ulike bygningskategoriene, da dette er svært virksomhetsavhengig og bør sees opp mot hvert enkelt bygg. En utredning gjort på Miljøhuset GK viser at energipostene fra belysning og teknisk utstyr har et avvik på 33 prosent, der målt verdi er lavere enn prosjektert. Resultatet av tapt varmebidrag fra internlastene blir økt energibruk til romoppvarming og ventilasjon, men om sommeren vil dette gi lavere energibehov for kjøling. Alt i alt konkluderes det med at interlastenes varmebidrag er mye mindre enn hva som er estimert for.

Normerte verdier danner grunnlaget for energiberegninger. Det er behov for å øke kunnskapen om hva som faktisk påvirker energibruken i byggene våre, slik at beregningsstandarene og verktøyene kan bli mer nøyaktige. I denne masteroppgaven ønsker forfatteren å analysere hvorfor avviket mellom beregnet og reelt kjøleforbruk oppstår, og eventuelt hvilke erfaringer som bør tas med videre når kjøling benyttes.

1.1 Bakgrunn

De siste årene har man sett stadige endringer i lovverkets krav til byggestandard for nybygg, der fokuset har vært å redusere bygningsmassens energibruk [8]. Fokuset er viktig i arbeidet med å redusere klimagassutslippene, ettersom den norske bygningsmassen står for om lag 40 prosent av samlet stasjonær energibruk [9], der kjøling utgjør 6 prosent av disse [10]. Erfaringer og statistikk viser at norske bygg, og spesielt yrkesbygg, bruker langt mer energi enn nødvendig.

Utviklingen av norsk bygningsmasse har vist at kjøling er en energipost som øker i omfang, særlig innen yrkesbygg. Noe av bakgrunnen for dette er strengere krav til maksimal temperatur fra byggherre/leietaker, men kjølebehovet er også i høy grad relatert til bygningsutforming og interne varmetilskudd [6]. Behovet for kjøling i næringsbygg bestemmes av ulike faktorer, der internlaster, utetemperatur, solbelastning og luftfuktighet spiller en viktig rolle. Undersøkelser viser at installert kjøleeffekt normalt ligger mellom $30 - 100 \text{ W/m}^2$ [6]. Til tross for nye, strengere energikrav har ikke årlig spesifikk energiforbruk gått merkbart ned de siste årene [5]. Kravet om bedre tetthet og isoleringsevne øker byggenes evne til å bevare den energien de produserer [2], men på en annen side resulterer økte krav til inneklime i økt ventilasjonsbehov. Med større mengde teknisk utstyr og solinnstråling gjennom fasadens store glassflater økes behovet for kjøling for å opprettholde ønsket innetemperatur og komfort.

TEK 17 krever at for alle yrkesbygg skal det beregnes et energibudsjett med reelle verdier for den konkrete bygningen [11], som skal komme i tillegg til kontrollberegningene med normerte verdier. Problemet er imidlertid at effektene rådgiverne får tilsendt er ofte merkeeffekt på utstyret, og ikke reell belastning. Etter en undersøkelse Erichsen & Horgen hadde gjort på ett bygg, kom de frem til at reell effekt var en sjettedel av effekten som var oppgitt på utstyret, noe som vil ha stort utslag på varmetilskuddet [12]. Videre anbefaler arbeidstilsynet en overkapasitet på ventilasjonsluftmengdene på 30 prosent [13], og i tillegg legges det til sikkerhetsmarginer på typisk 10 – 20 prosent på det maksimale effektuttaket. Resultatet er overdimensjonerte anlegg, som vil føre til at anlegget går på delast store deler av året, som resulterer i høy investering, lav kjølefaktor, samt dårlig utnyttelse av anlegget [4].

Med økende utetemperaturer er det viktigere enn noen gang å finne gode kjøletekniske løsninger, og ikke minst redusere kjølebehovet. Den store utfordringen er å iverksette tiltak som reduserer, og om mulig eliminerer, kjølebehovet i bygningen. Hensiktsmessig bygningsutforming, solavskjerming, dagslysstyring og valg av energieffektiv belysning og utstyr, vil i stor grad begrense behovet. Imidlertid vil mange bygg uansett ha et kjølebehov, og da er ett energieffektivt kjøleanlegg med optimal styring avgjørende for ett energieffektivt bygg.

1.2 Problemstilling og formål

Avviket mellom teoretisk og reelt energibruk skyldes at normerte verdier ikke nødvendigvis stemmer med reelle verdier, samt både bruk og forsyning av kjøleenergi. Hindrer normerte tall oss fra å dimensjonere riktig?

Dette avviket vil kunne reduseres ved å fremskaffe bedre dokumentasjon av interne varmelaster som forårsaker kjølebehov, bedre modellering av kjøle- og varmebehov og bedre modellering av energiforsyning.

Formålet med oppgaven er å utvikle kunnskap om målinger og beregningsverktøy for å bedre kunne dokumentere og bidra til reduksjon av maksimal effekt og energibruk til kjøling.

For å undersøke problemstillingen vil forfatteren forsøke å svare på følgende punkter gjennom rapporten:

- **Avvik mellom teoretisk og reelt energibruk**
Hvorfor oppstår avvik mellom teoretisk beregnet og målt energi til kjøling i næringsbygg?
Og hvordan skal man dimensjonere for å redusere dette?
- **Påvirkning og reduksjon av kjølebehovet**
Hvilke internlaster har størst påvirkning på kjølebehovet? Og hvordan redusere behovet?
- **Potensiell kostnadsbesparelse**
Hva er potensiell kostnadsbesparelse knyttet til neddimensjonering av kjøleanlegg og redusert betaling for effekt?

1.3 Omfang

Det er valgt å underbygge problemstillingen i oppgaven med teori, beregninger, simuleringer og sammenligning av eksisterende data. Teorien skal danne ett grunnlag for å tolke beregningene. Under er omfanget av masteroppgaven fordelt mellom rapportens tre deler.

Avvik mellom teoretisk og reelt energibruk: Det skal utføres simuleringer, ved hjelp av simuleringsverktøyet SIMIEN, på ett bygg i Nydalen i Oslo. Eksisterende data, beregninger og simuleringene skal brukes for å sette et realistisk energibruk for kjøling, og videre brukes for å sette erfaringstall som kan benyttes i fremtidige prosjekter.

Kjølebehovet skal også utregnes etter normert metode, for å se hvor stort avviket mellom teoretisk og reelt energibruk er. Resultatene vil gi et bilde av størrelsen av de ulike postene i energibudsjettet, og vise hvilke internlaster som resulterer i størst avvik. Grunnen til at SIMIEN benyttes er fordi det brukes mest i bransjen for dimensjonering av kjøling, og vil gi best grunnlag for å analysere hvorfor avviket oppstår.

Tilslutt vil det utføres en kvalitativ undersøkelse gjort med konsultasjon av tekniske eksperter i bransjen.

Påvirkning og reduksjon av kjølebehovet: Videre skal det utføres ytterligere simuleringer, ved hjelp av simuleringsverktøyet IDA ICE, både på romnivå og for bygget som helhet. Formålet er å simulere med ulike kjølereduserende tiltak, for å se reduksjonen av kjølebehovet, samt å analysere kjølebehovets variasjoner på døgnbasis. IDA ICE ble valgt grunnet valgfrihet når det kommer til hvilket detaljnivå man ønsker å utføre simuleringene på.

Potensiell kostnadsbesparelse: Det vil utarbeides en kostnadsvurdering for potensiell besparelse for å redusere installert effekt, både med tanke på investeringskostnad, drift- og vedlikeholdskostnader, samt besparelsen ved abonnert effekt fra fjernkjølingselskapet.

1.4 Avgrensninger og begrensninger

Nedenfor er relevante avgrensninger og begrensninger listet opp. Avgrensningene er hva forfatteren selv anser som uvesentlig av ulike grunner.

- Det er valgt å kun fokusere på kjøleenergi, og ikke varmeenergi. Valget ble tatt på bakgrunn av hypotesen om at kjøleanlegg som installeres i næringsbygg i Norge er kraftig overdimensjonert
- Det er valgt å kun fokusere på bygningskategorien kontorbygg, da installasjon av kjøling er desidert størst her

Under semesteret har ulike faktorer begrenset eller utfordret arbeidet knyttet til oppgaven og nedenfor er relevante begrensninger nevnt.

- Ønsket å utføre målinger i byggene, men det var ikke kjølebehov i skriveperioden
- For analyse av eksisterende data ble det valgt å ikke bruke tidsperiode 2019, 2020 og 2021, da bygget har hatt unormal og sporadisk brukstid grunnet Covid-19
- Tilgang på data og FDV dokumentasjon fra næringsbygg tok lang tid, og forsinket metodedelen betraktelig. Fikk først utdelt bygg i Barcode i Oslo, men ulike grunner gjorde at det måtte utdeles nye bygg
- Da casebygget er gammelt finnes ingen 3D-model eller IFC-fil av bygget, og byggemodellen måtte modelleres selv. Det ble derfor gjort noen forenklinger i forhold til antall vinduer. Mange små vinduer tett inntil hverandre, ble ansett som ett stort, men med tilsvarende samlet areal
- Det er gjort forenklinger for delen om kjølereduserende tiltak, da allerede oppgaven var omfattende

1.5 Litteraturstudie

Før påbegynnelse av studie, ble relevant litteratur gjennomgått, og forskjellige synsvinkler rundt temaet diskutert. Nedenfor er den mest relevante faglitteraturen oppsummert.

1.5.1 Rapport, Erichsen & Horgen, 2011 [3]

«Kjøling i bygg» utgitt av Erichsen & Horgen er en rapport fra desember 2011 som tar for seg avviket mellom teoretisk beregnet og målt forbruk, der kjøling er rapportens hovedfokus. Det konkluderes med at avvikene er størst for energipostene utstyr og kjøling, og det dras frem serverrom som et eksempel på varmelaster som ikke håndteres riktig. Standardiserte beregninger tar ikke høyde for denne typen laster, men kartleggingen gjennomført i rapporten viser at slike laster utgjør mellom 30 – 40 prosent av byggets samlede interne varmetilskudd. Selv om rapporten mener at store varmelaster ikke tas hensyn til i prosjekteringen, er fortsatt kjøleanleggene kraftig overdimensjonert. En annen viktig faktor er beregningsprogrammernes begrensninger, og at byggene ofte ikke driftes slik det fremgår i funksjonsbeskrivelsene. Siste hovedkonklusjon er at ved beregning av kjøleanleggets ytelsesfaktorer bør betraktningene utvides til å også inkludere det sentrale distribusjonssystemet for kjøling. Ved studering av kun de kjøleproduserende enhetene isolert sett kan dette gi et feil bilde av anleggets faktiske ytelsesfaktor og gjør det umulig å forutse virkelig energibruk.

1.5.2 Rapport, SINTEF, 2001 [6]

«Kartlegging av mekanisk kjøling i nye kontor- og forretningsbygg» er en rapport produsert av SINTEF på oppdrag av NVE og ENOVA. Målsetningen til rapporten er å vise hvor omfattende praksisen med installering av kjøleanlegg er i nye kontor- og forretningsbygg, samt kartlegge typisk energibruk for bygningskategoriene. Resultatene viser at det i minst 50 prosent av nye kontorbygg installeres mekanisk kjøling, men at tallene sannsynligvis er mye høyere. Etter kartlegging av energibruken, viser det seg at denne energiposten varierer mye fra bygg til bygg, men gjennomsnittlig viser studien at energibruk til kjøling utgjør omlag 20 kWh/m^2 . Det fremlegges at det ikke er unormalt at kjøling medfører økt oppvarmingsbehov ved mindre ideell styring av klimainstallasjonene. Rapporten oppfordrer tilslutt om tallfesting av krav til kjøling i forskriften.

1.5.3 Rapport, COWI, 2013 [8]

«Hensiktsmessige varme- og kjøleløsninger i bygninger» skrevet av COWI på oppdrag av ENOVA, er en rapport inndelt i to deler. Del en tar for seg bygningers effekt- og energibehov til oppvarming og kjøling, mens del to tar for seg en vurdering av dagens krav til termisk energiforsyning i bygninger. Rapporten tar i hovedsak for seg oppvarming, men har noen interessante poeng for kjøling. Forfatterne understreker viktigheten av at kjølesystemet utformes slik det kan dekke nødvendig kjølebehov med høy effektfaktor (COP), da ekvivalent driftstid for nye kontorbygg er svært kort. Det oppfordres også til å stille krav til at anlegg skal dimensjoneres, installeres, driftes og vedlikeholdes i henhold til anvisningene og anbefalingene i «Varmenormen», «Rørhåndboken» og «Norsk kulde- og varmepumpenorm». Forfatterne mener dette vil sikre høy kvalitet for vannbårne varme- og kjølesystemer. I vurderingen av dagens krav til termisk energiforsyning konkluderes det med at dagens forskrift til varme- og kuldeinstallasjoner er svært overordnet, og mangler spesifisering av viktige begreper.

1.5.4 Rapport, SINTEF, 2011 [7]

«Energibruk i bygninger: Nasjonal database og sammenligning av beregnet og målt energibruk» er utgitt av SINTEF Byggforsk på oppdrag av Lavenergiprogrammet. Rapporten forsøker å øke kunnskapen om hva som faktisk påvirker energibruken i byggene, slik at beregningsstandardene og beregningsverktøyene kan bli mer treffsikre. Det ble gjennomført intervjuer med større rådgivere i byggebransjen i Norge for å undersøke hvilke beregningsverktøy som brukes og hvordan de brukes. Resultatet var at alle de større rådgiverne benytter SIMIEN, som er harmonisert mot NS 3031. De fleste oppgir også at beregningene utføres tidligere enn før for å ha kontroll gjennom hele prosjektet. Beregningsverktøyet SIMIEN blir i hovedsak brukt mot TEK, effektbehov, energimerking og passivhustandaren, mens beregning av energibehov vektlegges i mindre grad. Det kommer også frem at rådgiverne har «*lite erfaring med virkelig energibruk kontra beregnet energibruk*» [7], da de sjeldent følger opp prosjektene etter ferdigstilling.

1.5.5 Rapport, Heriot-Watt University, 2009 [14]

«The importance of office internal heat gains in reducing cooling loads in a changing climate» er en artikkel utgitt i 2009 i Edinburgh. Artikkelen beskriver hvordan interne varmelaster påvirker kjølebehovet i ett temperert klima. Det anbefales ulike tiltak for å redusere kjølebehovet i kontorbygninger, der bruk av utstyr som trekker mindre energi, samt bruk av LED belysning trekkes frem som viktige grep. Videre anbefales det å bruke vinduer med reduksjon av soløkning og lav u-verdi, for å oppnå både reduksjon i varme- og kjølelaster. Videre antas en reduksjon i infiltrasjonshastighet i fremtides nybygg, og det antas at i 2030 vil den kun være 0,5 l/h. Store deler av året vil denne endringen ha en negativ innvirkning på kjølebelastningen, noe som er spesielt viktig når nattdrift av en bygning vurderes, da luftlekkasjer sørger for gratis nattkjøling. Siste tiltaket som anbefales er nattventilasjon. Ventilasjon på dagtid vil kun gi kjøleeffekt hvis utelufttemperaturen er kjøligere enn innetemperaturen. Selv om dette vil skje for signifikante perioder, vil ventilasjon om natten være mest effektivt i store perioder av året.

1.5.6 Masteroppgave, Rikke Hansen Bjørnland, 2017 [5]

Masteroppgaven skrevet av Rikke H. Bjørnland, i samarbeid med AF Energi, omhandler utnyttelse av fordrøyningsmagasin for regnvann til termisk akkumulering. Oppgaven tar også for seg overdimensjonering av to bygg tilknyttet Nydalen energisentral. Det konkluderes med at Nydalsveien 12 og Gjerdrumsvei 4 er overdimensjonert med henholdsvis 48,75 og 55,2 prosent. Lønnsomheten av neddimensjonering anlyseres og investeringskostnaden som legges til grunn for et kjøleanlegg, inkludert alle relevante komponenter, settes til om lag 4.000 kr/ kW. Drifts- og vedlikeholdskostnader for kjøleanlegget oppgis til 3 – 5 prosent av investeringskostnaden.

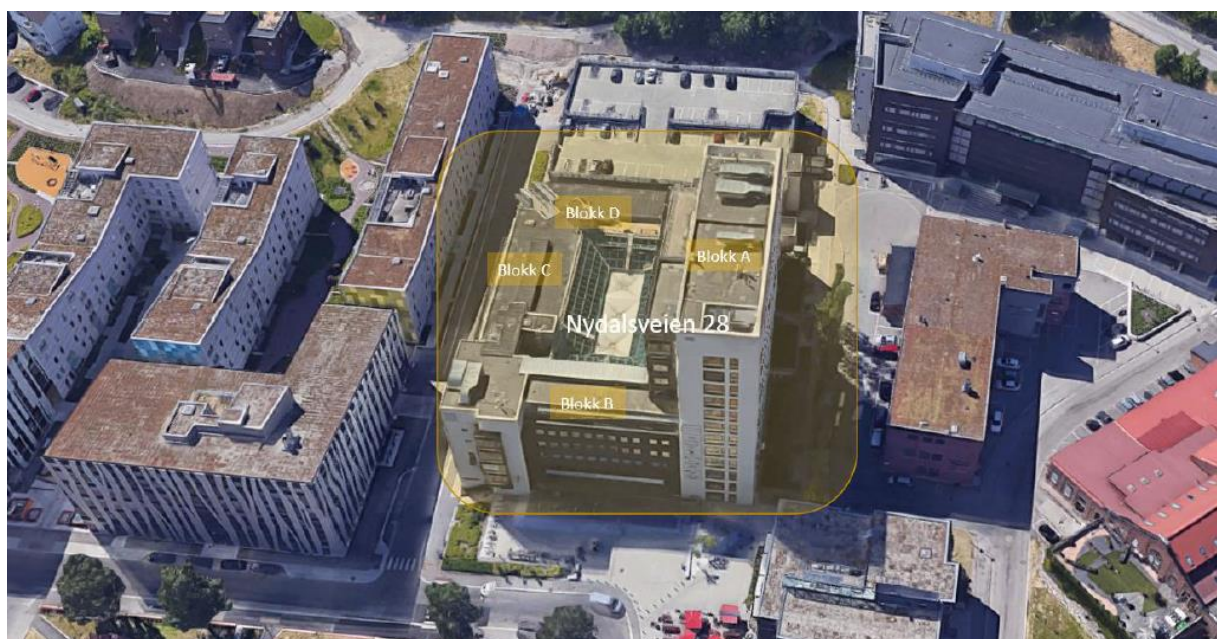
1.6 Om det undersøkte bygget

Nydalsveien 28 er et næringsbygg som består av fire blokker, A (høyblokken), B, C og D, se Figur 1 for beskrivelse. Eiendommen ble opprinnelig bygget i 1941 som hovedkontor for Christiania Spikerverk, men ble totalrehabilitert i 2015. Nydalsveien 28 tilfaller bygningskategorien kontorbygning.

Bygget har energimerke C og et totalt oppvarmet areal på 22.506 m².

I 2019 hadde bygget et totalt energiforbruk på 3 882 021 kWh. Fordelt på totalt oppvarmet areal gir dette ett spesifikt energiforbruk på 172 kWh/m²/år. Temperaturkorrigerede tall for samme år er 4 201 691 kWh og 186 kWh/m²/år.

I 2019 hadde bygget et totalt kjøleforbruk på 446 939 kWh, som fordelt på totalt oppvarmet areal gir ett spesifikt energiforbruk på 19 kWh/m²/år.



Figur 1: Nydalsveien 28, oppdelt i fire ulike blokker

Utdypelse av det tekniske anlegget vil fremkomme i teorikapittelet 3.0 *Teknisk løsning anvendt i Nydalsveien 28*.

2 Teori

Hovedtemaene som belyses i kapittelet er:

- 2.1 Forskrifter, standarder og normer gjeldene næringsbygg
- 2.2 Kjøling av næringsbygg
- 2.3 Dimensjonering av kjøleanlegg
- 2.4 Internlaster
- 2.5 Avvik mellom teoretiske beregninger og reelt forbruk

2.1 Forskrifter, standarder og normer

I Norge har man et regelverk for hvordan bygg skal bygges, og man er til enhver tid nødt til å følge enkelte lover og forskrifter. Stortinget vedtar lover, og deretter utarbeides nærmere regler av de ulike departementene, i form av forskrifter, som er en mer detaljert beskrivelse av lovens bestemmelser [15]. Både lover og forskrifter er bindende, noe som betyr at brudd er straffbart. En standard er et hjelpemiddel på hvordan ting bør utarbeides eller utføres [16].

2.1.1 Energiloven

Utbyggere av fjernvarmeanlegg må forholde seg til en rekke lover og forvaltningsorgan. Bygging og drift av fjernvarmeanlegg er omfattet av energiloven, dersom disse kriteriene er oppfylt [17]:

- Anlegget forsyner eksterne forbrukere (§ 1-3)
- Anlegget har en samlet ytelse på over 10 MW (forskrift til energiloven § 5-1)

Fjernvarmeprisen er underlagt energiloven, og kan beregnes i form av «*tilknytningsavgift, fast årlig avgift og pris for bruk av varme*» [18]. Prisen for fjernvarme skal ikke overskride prisen for elektrisk oppvarming i det gjeldende nettområdet.

For næringskunder ser prismetoden slik ut (effekt og volumledd gjelder kun næringskunder):
Energiledd + Effektledd + Volumledd + Avgifter [19].

2.1.2 TEK 17

Kapittel 13 *Inneklima og helse* stiller krav til ulike parametere som påvirker inneklimate, som skal bidra til å forebygge komfort- og helseproblemer. I § 13-4 *Termisk Inneklima* anbefales en lufttemperatur under 22 °C ved oppvarmingsbehov, samt operative temperaturer på mellom 19–26 °C for lett arbeid. Overskridelse av den høyeste grensen aksepteres med 50 timer i et normalår. Den vertikale temperaturdifferansen bør holdes under 3–4 °C, likeså bør ikke temperaturvariasjonen inne overskride 4 °C i løpet av dagen [11].

I hendhold til § 15 *Installasjoner og anlegg* skal varme- og kjøleinstallasjoner «prosjekteres og utføres slik at» [11]:

- Krav til sikkerhet og innemiljø er ivaretatt
- Installasjonen gir de ytelser som er forutsatt
- Installasjonen har mulighet for regulering og tilpasset energiøkonomisk drift
- Installasjonen ikke bidrar til fare for brann og eksplosjon
- Varmebelastning på bygningsdeler ikke medfører fare for brann eller svekker bygningsdelers egenskaper
- Installasjonen er sikret mot lekkasje
- Installasjonen har sikker og tilrettelagt adkomst for enkel og effektiv rengjøring og vedlikehold av installasjonen, inkludert sikker feiing

2.1.3 Veiledning 444

Arbeidstilsynets veiledning 444 omhandler klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, og stiller krav til minimums ventilasjonsluftmengder for å fjerne forurensninger [13]. Ventilasjonsbehovet skal vurderes ut fra tre komponenter, der samlet behov blir summen av a), b) og c):

- a) Personbelastning – betinger en luftmengde på 7 – 10 l/s per person
- b) Bygning – avdamping fra byggematerialer øker behovet med 0,7 – mer enn 2 l/s per m² gulv
- c) Prosesser – luftmengde må beregnes ut fra spesifiserte krav til fourensingskonsentrasjonen

Overdimensjonering av vifter og kanaler anbefales, og en sikkerhetsfaktor på 1,3 foreslås for å ivareta behovet for økt ventilasjon og en viss fleksibilitet med tanke på endret bruk av lokaler i fremtiden [13].

2.1.4 SN-NSPEK 3031:2021

SN-NSPEK 3031:2021 er en norsk spesifisering til den tilbaketrakkne NS 3031, og standarden gir retningslinjer på hvordan beregninger av energibehov og energiforsyning bør utføres.

Kravspesifikasjonen nevner at «*energibehov for romkjøling og ventilasjonskjøling skal ta hensyn til varmetap, varmetilskudd og varmelagring på samme måte som for oppvarmingsbehov, men varmetapet regnes ut med settpunkttemperaturen for kjølesystemet*». Videre anbefales det at både tørr kjøleeffekt og våt kjøleeffekt hensyntas i tilfeller med kjølebatteri i ventilasjonsanlegget.

Det nevnes også at det skal tas hensyn til ikke-ideell regulering og kjøling i sonen ved å regne ut en ekvivalent lufttemperatur. Kravspesifikasjonen gir også normerte verdier for belysning, teknisk utstyr og personer.

2.2 Kjøleanleggs termodynamikk

Formel 1 viser avgitt varme til omgivelsene fra kjøleanlegget, T_H , der Q_o er kuldeytelsen og W er arbeidet som må tilføres kuldeanlegget for å oppnå ønsket kuldeytelse [20].

Formel 1: Avgitt varme til omgivelsene

$$Q_k = Q_o + W$$

Videre defineres anleggets effektivitet etter Formel 2. Effektiviteten er avhengig av temperaturløftet mellom varmeopptaket ved T_o og varmeavgivelsen ved T_k , og er gitt av effekt faktoren.

Formel 2: Anleggets effektivitet

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{W}$$

2.3 Kjøling av næringsbygg

Kjølesystemer blir stadig vanligere i bygg, og kan ha stor betydning for energiforbruket [4]. Det finnes en rekke ulike systemer for kjøling, både med tanke på hvordan kjølingen avgis i bygget og hvordan den genereres. I dette delkapittelet vill ulike systemer for kjøleproduksjon og distribusjon beskrives.

2.3.1 Kjøleproduksjon

Lokale kjølemaskiner

Lokale kjølemaskiner er det mest brukte systemet for kjøleproduksjon i yrkesbygg, som egentlig er en reversert varmepumpe. En kjølemaskinen benytter ett sirkulerende kjølemedium der energi tas opp i en fordampner ved hjelp av en ekspansjonsventil. Når kjølemediet komprimeres, ved hjelp av en kompressor, avgis energi til en kondensator [4]. Denne prosessen baserer seg på prinsippet om at faseendring mellom væske og gass krever energi fra omgivelsene. Dette utnyttes på to ulike måter, enten ved å avgis kjøling direkte til ventilasjonsluften (DX-kjøling), eller indirekte til ett vannbårent sirkulasjonssystem (isvannsystem) som tilfører kjøling til ventilasjon og til lokale enheter rundt i bygget [6].

Frikjøling

Der kjølige reservoarer som uteluft, vann eller grunn er lett tilgjengelig kan disse kildene brukes til kjøling av bygget. Frikjøling innebærer at man løser et kjølebehov uten å behøve å betale for selve kjølingen. Det vanligste er å ha et lukket vannbårent sirkulasjonssystem som varmeveksles direkte mot kildene, og da kreves kun elektrisk energi til sirkulasjon av vann, noe som resulterer i en meget høy kjølefaktor.

Ulempen med et slikt system er at turtemperaturen aldri er lavere enn temperaturen på kilden. Om sommeren når temperaturen er høy og kjølebehovet stort, kan det være behov for å benytte en kjølemaskin som spisslast [6].

Fjernkjøling

Fjernkjøling genereres på tilsvarende måte som beskrevet over, enten ved kjølemaskin eller ved veksling mot sjø-/elvevann. Forskjellen ligger i at kjølingen tilføres bygget via ett fjernkjølenett og varmeveksles mellom fjernkjølnettet og byggets vannbårne lukkede sirkulasjonssystem [6].

2.3.2 Distribusjon av kjøling

Sentralkjøling (ventilasjon)

Den vanligste formen for mekanisk kjøling i bygninger er ventilasjonskjøling, der tilluften fra ventilasjonsanlegget kjøles ned ved hjelp av et kjølebatteri. Kjølebatteriet kan forsynes med kaldt vann/væske, eller en DX-kjøler. Plassering av kjølebatteriet i ventilasjonsaggregatet er foreløpig

mest vanlig, men det er også mulig med sonebatterier plassert lokalt i sonen som skal kjøles. Løsningen har en begrensning ved at hvert rom ikke kan regulere etter intern belastning.

Lokalkjøling

I bygg med strenge krav til termisk komfort, samt store varmelaster vil det ofte være behov for installasjon av lokale kjøleenheter, i tillegg til ventilasjonskjøling. De vanligste lokale kjøleenhetene er fancoil, kjølebaffel, fasadeapparat og kjøletak, som alle plasseres direkte i rom med ekstra stort kjølebehov. Denne løsningen gir mulighet for individuell regulering av kjøling i hvert rom.

2.3.3 Styling og energieffektivisering av kjølesystem

Det er viktig å ha en god styringsstrategi for å redusere energibruken. Ved settpunkt temperaturer for oppvarming og kjøling nært hverandre vil man få lite utnyttelse av varmelagring i bygningskroppen, som kan føre til økt energibruk til både oppvarming og kjøling.

Styling av ventilasjonskjøling

Avgitt kjøleeffekt til kjølebatteri styres normalt etter tilluftstemperaturen, enten kan den være konstant, behovstyrt, utetemperaturkompensert eller avtrekkskompensert [5].

Konstant tilluft: Tilluftstemperaturen holdes konstant uavhengig av det varierende behovet i bygget. For kontorbygg brukes ofte tilluftstemperatur på 16 – 18 °C [6]. Forutsatt at luftmengden som tilføres bygget også er konstant, vil et slikt styringssystem tidvis kjøle bygget mer enn nødvendig, som gjør løsningen lite energieffektiv. Løsningen gir også en risiko for at brukerne samtidig benytter oppvarming for å oppnå ønsket temperatur.

Behovstyrt (VAV-anlegg): I et behovstyrt anlegg styres tilført luftmengde etter kjølebehovet i bygget, og er dermed den mest energieffektive måten å styre et ventilasjonsanlegg på [5]. Luftmengden styres normalt etter romtemperaturen, men kan også styres ved blant annet bevegelsesdetektor, CO₂-måler, bryter eller tidsstyring.

Utetemperaturkompensert: Tilluftstemperaturen kan også styres etter utetemperaturen. Det settes en viss tilluftstemperatur for to ulike utetemperaturen, og mellom disse punktene reguleres tilluftstemperaturen lineært. Et slikt styringssystem er bedre tilpasset kjølebehovet enn konstant tilluft, men er ikke helt optimalt da kjølebehovet og utetemperaturen ikke nødvendigvis er lineær.

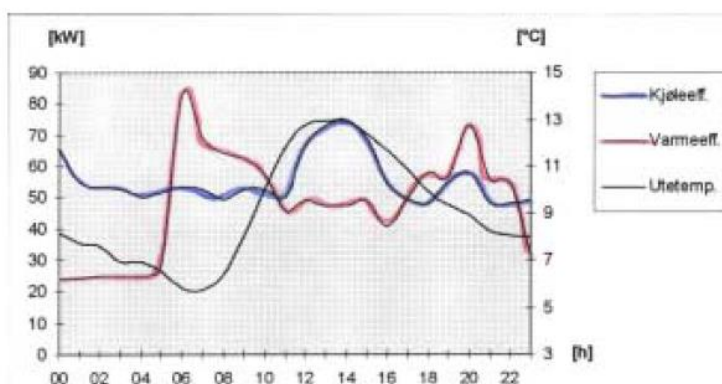
Avtrekkskompensert: Temperaturen på avtrekksluften i ventilasjonsanlegget er en god indikator på kjølebehovet i bygget [6]. Her, slik som for utetemperaturkompensert, reguleres også tilluftstemperaturen lineært i forhold til settpunktetemperaturen fra avtrekket. Kjølebehovet tas i betraktning, og løsningen er dermed relativt energieffektiv [5]. I bygg med varierende kjølebehov i ulike rom, er ikke denne metoden optimal med tanke på energibruk.

Styling av lokalkjøling

Lokale kjøleenheter reguleres vanligvis etter romlufttemperatur eller operativ temperatur.

Sekvensstyring mot varmeanlegg

Ideelt sett bør det ikke være varmebehov og kjølebehov samtidig, men dette oppleves ofte i praksis [6]. Slik som vist i Figur 2 avgis kjøle- og varmeeffekt samtidig i kontorbygget, som resulterer i at kjøleanlegget fjerner mye av varmen oppvarmingssystemet tilfører.



Figur 2: Effektkurver for oppvarming og kjøling i et kontorbygg [21]

For å unngå at varme- og kjøleanlegget kjører samtidig, kan lokal oppvarming og kjøling sekvensstyres. Optimalt bør også lokal oppvarming sekvensstyres mot sentralkjøling. Dette kan imidlertid være utfordrende i praksis da sentral kjøling styres etter en sentral tilluftstemperatur, mens lokal oppvarming styres av en lokal termostat i hver sone. Dermed blir det viktig å sette en fornuftig settpunkt for lokal romtemperatur og tilluftstemperaturen.

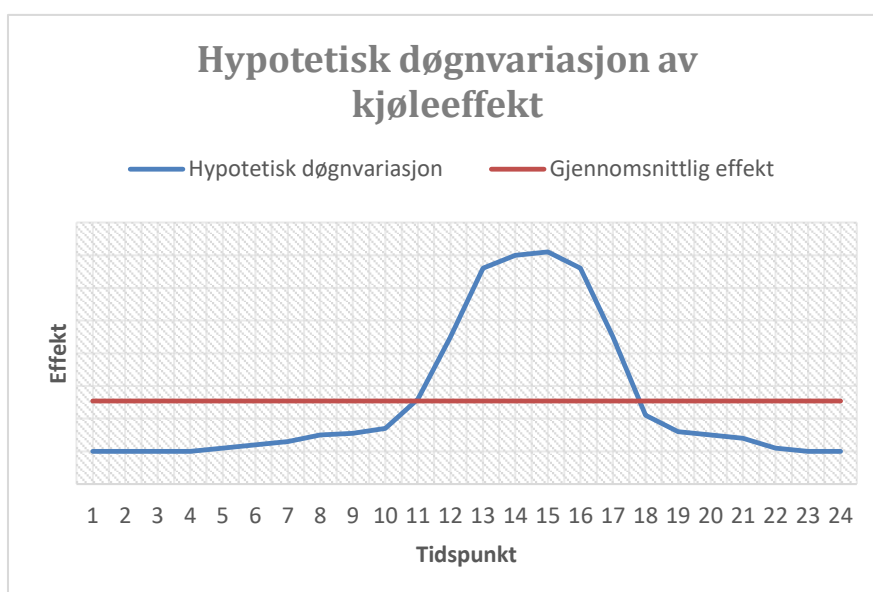
2.4 Dimensjonering av kjøleanlegg

Behovet for kjøling i næringsbygg bestemmes av ulike faktorer, der internlast, utetemperatur, solbelastning og luftfuktighet spiller en viktig rolle. Undersøkelser viser at installert kjøleeffekt normalt ligger mellom $30 - 100 \text{ W/m}^2$ [6]. Til tross for nye, strengere energikrav har ikke årlig spesifikk energiforbruk gått merkbart ned de siste årene [5]. Kravet om bedre tetthet og isoleringsevne øker byggenes evne til å bevare den energien de produserer [2], men på en annen side resulterer økte krav til inn klima i økt ventilasjonsbehov. Med større mengde teknisk utstyr og solinnstråling gjennom fasadens store glassflater økes behovet for kjøling for å opprettholde ønsket innetemperatur og komfort.

Ved dimensjonering av kjøleanlegg må det dermed vurderes innvirkningen av de ytre forholdene, samt hvilken kuldeytelse som er nødvendig for å opprettholde ønsket innetemperatur. Normalt sett ønsker man å opprettholde tilsvarende romtemperatur gjennom året, og dermed må energibalansen tas i betraktning [22]. Varmemengden som strømmer inn i bygget gjennom transmisjon og infiltrasjon, og varmetilskuddet som tilføres via internlast og soltilskudd må fjernes av kjøleanlegget, og ventilasjonen. Når kuldeytelsen er beregnet, bestemmes den tekniske løsningen av anlegget. Alt i alt må kjøleytelsen minst være like høy som kjølebehovet.

Kjøleanlegget dimensjoneres for å dekke maksimalt kjøleeffektbehov, der utfordringen ligger i at behovet krever høy effekt over en kort periode. Maksimaleffekten for et kjøleanlegg er relativt kort, og inntreffer normalt over en periode på under 6 timer. Resultatet av dette er store kjølemaskiner med kort driftstid. Kravet om å, gjennom året, dekke et døgnkontinuerlig lavt grunnbehov for kjøling av tekniske rom samtidig som anlegget må være dimensjonert for å dekke de høyeste effekttoppene skaper utfordringer. I nye kontorbygg der ekvivalent driftstid blir stadig kortere bør det legges vekt på utforming av kjøleanlegg som kan dekke nødvendig kjølebehov med høy COP i hele driftsområdet [8].

Det benyttes ofte standardverdier for systemvirkningsgrad ved kjøleleveranse fra fjernkjølenettet, der det settes systemvirkningsgrad 2,4 for fjernkjøling, tilsvarende som en væske/vann kjølemaksin. Dermed hensyntas det ikke i stor grad om kjølesentralen utnytter varmepumper eller frikjøling, som kan resultere i at tilknyttede bygninger kommer ut med høyere levert energi enn det som er reelt.



Figur 3: Hypotetisk døgnvariasjon av kjøleeffekt for ett kontorbygg

2.4.1 Overdimensjonering

Overdimensjonering av kjøleanlegg vil føre til at anlegget går på delast store deler av året, som resulterer i lav kjølefaktor og dårlig utnyttelse av kjøleanlegget [4]. Overdimensjonerte sirkulasjonspumper i isvannsystemet har dårlig virkningsgrad og vil avgi varme, som igjen må fjernes av kjølesystemet. Resultatet er økt energibruk, selv når det ikke er kjølebehov.

Kjøleanlegget dimensjoneres for å dekke maksimalt kjøleeffektbehov, der utfordringen ligger i at behovet krever høy effekt over en kort periode. Resultatet av dette er store kjølemaskiner med kort driftstid [5].

2.5 Internlaster

Internt varmetilskudd er varmeavgivelse, innenfor oppvarmet BRA, fra mennesker, utstyr eller prosesser [23]. De interne varmetilskuddene kan ha store betydninger for byggets energibalanse, og betydningen blir større jo bedre isolerte byggene er. I dagens bygg, som tilfredstiller kravene i TEK17, med god tetthet og isolasjon og økt bruk av belysning og teknisk utstyr, kan interne varmetilskudd bli større enn varmen fra oppvarmingsanlegget [20]. Dermed bidrar varmetilskuddene til redusert oppvarmingsbehov om vinteren, men fører normalt, selv i nordlig klima, til økt behov for kjøling i sommerhalvåret.

Tabell 1 viser en oversikt over normerte verdier for belysning, utstyr og personer hentet fra SN-NSPEK 3031:2021 [23].

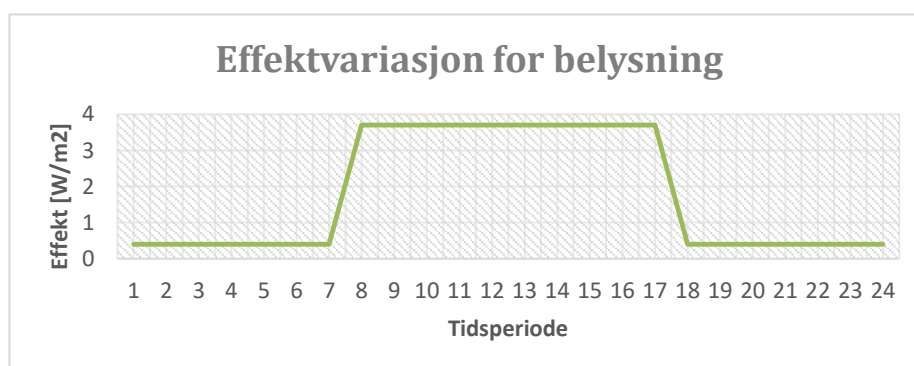
Tabell 1: Gjennomsnittlig varmetilskudd hentet fra SN-NSPEK 3031:2021 for kontorbygg

Bygningstype	Gjennomsnittlig varmetilskudd					
	Belysning		Utstyr		Personer	
	W/m ²	kWh/(m ² år)	W/m ²	kWh/(m ² år)	W/m ²	kWh/(m ² år)
Kontorbygg	8	25	11	34	4	13

2.5.1 Varmetilskudd fra belysning

Vi har et stort elektrisitetsforbruk til lys i Norge, anslagsvis 10 TWh i yrkesbygg og 4 TWh i boliger. Spesielt for bygningskategorien kontorbygg vil belysning bidra til et stort varmetilskudd, og typiske verdier for inninstallert effekt til belysning i kontorer oppgis til 5 – 15 W/m² [20]. Utviklingen med LED belysning og av lysrør, både med tanke på lyskvalitet og effektivitet, har vært sterk de siste årene. Inninstallert effekt og brukstiden vil variere ut ifra bygningskategori, byggets alder, romtype og hvilke lys som installeres [5]. NS 3031 påpeker at med et styringssystem basert på tilstedeværelse eller som utnytter dagslys kan varmetilskuddet fra belysning reduseres med 20 prosent [23], men dette må dokumenteres.

Figur 4 viser effektvariasjonen for belysning i kontorbygg illustrert av tall hentet fra NS 3031 [23].



Figur 4: Effektvariasjon for belysning i kontorbygg illustrert av tall hentet fra NS 3031

2.5.2 Varmetilskudd fra utstyr

For de ulike bygningskategoriene vil varmetilskuddet fra teknisk utstyr variere sterkt. For kontorbygg vil det være store individuelle variasjoner innad og mellom ulike typer rom. Tabell 2 en oversikt over effektbehovet for vanlig type teknisk utstyr i et kontorbygg [20].

Tabell 2: Oversikt over effektbehov for vanlige typer teknisk utstyr i kontorbygg

Teknisk utstyr	Effekt [W]
PC, bærbar	12 – 20
PC, stasjonær (uten skjerm)	50 – 70
Skjerm, CRT	90 – 140
Skjerm, LCD	12 – 40
Kopimaskin, i drift	1.000 – 2.000
Kopimaskin, i ventemodus	200 – 600
Kopimaskin, i dvalemodus	30 – 300
Kaffetrakter	500 – 1500
Mindre kjøleskap	110 – 280

Figur 5 viser effektvariasjonen for utstyr i kontorbygg illustrert av tall hentet fra NS 3031 [23].



Figur 5: Effektvariasjon for teknisk utstyr i kontorbygg hentet fra NS 3031

2.5.3 Varmetilskudd fra personer

Varmetilskuddet fra personer avhenger blant annet av personfaktorene bekledding (clo) og aktivitetsnivå (met). Ved vurdering av det termiske inneklimaet i et rom er det viktig å kjenne til bekleddingen til de personene som skal oppholde seg i rommet [24]. Der det i hovedsak er bekleddingens varmeledningsmotstand som er relevant, som angis enten i m^2K/W eller i den relative enheten clo. NS-ISO 7730 setter en bekledding tilsvarende 0,5 clo på sommeren og 1,0 clo på vinteren [25]. Dersom en viss dresskode tilsier at denne forutsetningen ikke gjelder, må kravene justeres.

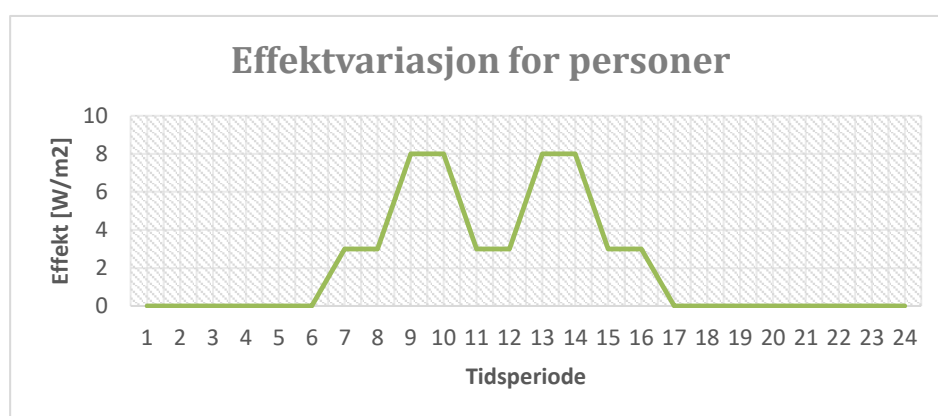
Energien som utvikles ved oksidajonsprosessen i menneskekroppen kalles matebolisme. Ved enkelte aktiviteter omsettes en andel av denne energien til ytre mekanisk arbeid [24]. Aktivitetsnivået angis i enten W/m^2 kroppsoverflate, eller i den relative enheten met. NS-ISO 7730 setter aktivitet på kontor tilsvarende $70 W/m^2$ eller 1,2 met, som tilsvarer en sittestillende person [25].

Tabell 3 viser en oversikt over ulike funksjonsområder i et kontorbygg og tilhørende verdier for standard brukertetthet [26].

Tabell 3: Tabell for standard brukertetthet for ulike bygningsfunksjoner. Hentet fra tabell Tra 02-05 i BREEAM-NOR Teknisk manual Vol 6.0

Funksjonsområde	Brukertetthet [personer / m ²]
Kontorområde (herunder resepsjonsområde)	0,111
Mattilbredningsområdet (bemannet)	0,108
Lager	0,009
Serverrom	0,096
Teknisk rom	0,096

Figur 6 viser effektvariasjonen for personer i kontorbygg illustrert av tall hentet fra NS 3031 [23].



Figur 6: Effektvariasjon for personer i kontorbygg hentet fra NS 3031

2.6 Avvik mellom teoretisk og reelt forbruk

Det oppleves store avvik mellom teoretisk og reelt forbruk i bygninger, der avviket ofte er spesielt stort for energiposten kjøling [3]. I henhold til Erichsen og Horgens rapport «Kjøling i kontorbygg» skyldes dette mangel på reelle erfaringstall om størrelsesorden for ulike interne varmelaster. Normalt måles bygningens energiytelse mot normaliserte verdier fra NS 3031 ut ifra bygningskategori. Inndataene omfatter blant annet gjennomsnittlig varmetilskudd fra teknisk utstyr, belysning og personer i W/m^2 .

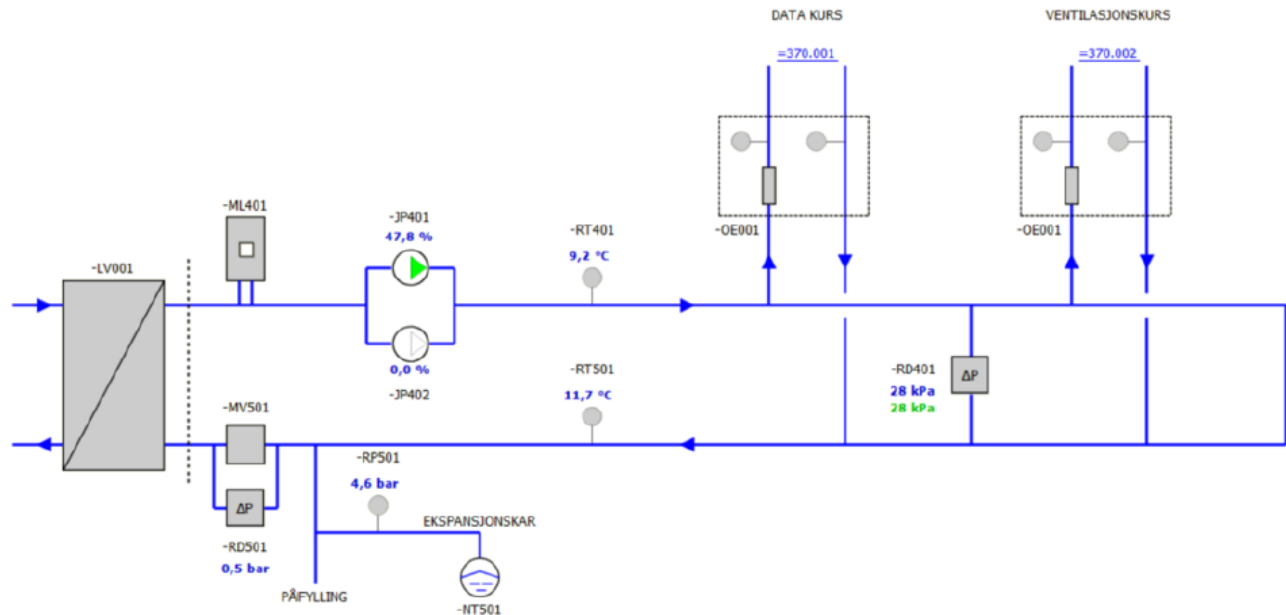
Grunnlaget for fastsettelse av de normaliserte verdiene for interne laster i NS 3130 er relativt begrenset [3], og begrensningen skyldes i stor grad utfordringen av å skille mellom varmetilskudd fra teknisk utstyr og belysning [5]. En annen stor utfordring er variasjonen av personbelastning i de ulike bygningskategoriene, da dette er svært virksomhetsavhengig og bør sees opp mot hvert enkelt bygg.

3 Teknisk løsning anvendt i Nydalsveien 28

3.1 Kjøleteknisk løsning i Nydalsveien 28

Bygget er tilkoblet fjernkjøling ved hjelp av en veksler plassert i teknisk rom i etasje U1. Anlegget leverer kjøling til kjølebatteri for ventilasjon, samt dataromkjøling, se kursene i Figur 7. Grunnet kjøleleveranse til datarom, går systemet hele året. Anlegget er mengderegulert og sirkulasjonspumper reguleres til innstilt settpunkt for differansetrykk.

Det er montert to separate energimålere som dekker ventilasjonskjøling og datarom, men nevnte målere er ikke koblet opp til system for energiovervåking.



Figur 7: Systemskisse av kjølekretsen hentet fra SD-anlegget

Tabell 4 viser en oversikt over ventilasjonsaggregatene, alle byggets 7 balanserte ventilasjonsanlegg har vannbårent kjølebatteri, og alle forsynes av fjernkjøling. Viftene i alle anleggene er direktedrevne, men lav SFP. Alle aggregatene ble installert i forbindelse med totalrehabiliteringen i 2015, og har en samlet prosjektert kapasitet på 166.000 m³/h.

Tabell 4: Oversikt over aggregater i Nydalsveien 28

Aggregat	Luftmengde	Betjener	Effekt kjølebatteri 26 / 14 °C [kW]	SFP [kW/m ³ /s]	Gjenvinner
360.001	35 000	Kontorer nord. Bygg A plan U2 - 12	166,8	2,14	Roterende
360.002	23 000	Kontorer syd. Bygg A, plan 1 - 12	109,6	1,97	Roterende
360.003	16 000	Kjøkken & kantine, plan U1	76,3	2,04	Kryssveksler
360.004	25 000	Kontor. Bygg B, plan U1 - 6	119,2	2,14	Roterende
360.005	25 000	Kontor. Bygg C, plan U2 - 5	119,2	2,14	Roterende
360.006	30 000	Kontor. Bygg D, plan U2 - 5	143,0	2,05	Roterende
360.007	12 000	Auditorium & møtesenter. Bygg D, plan U1	57,2	1,80	Roterende






3.2 Internlaster i Nydalsveien 28

For å få en oversikt over varmeavgivende laster i Nydalsveien 28 ble det gjennomført en effektkartlegging i bygget. Observasjoner og utregninger gjort rundt belysning, teknisk utstyr og personer er beskrevet under.

3.2.1 Belysning

Effekt til belysning ble kartlagt ved at det under befaring ble telt opp antall og type lysarmaturer i utvalgte rom, som kan regnes å representere bygningens øvrige rom av samme type. Bygget har gjennomgående LED belysning med KNX-styringssystem. Tabell 5 viser en oversikt over belysning i ulike rom med styring. Se vedlegg A1 for fullstendig armaturliste for Nydalsveien 28.

Tabell 5: Oversikt over belysning med styring

Romtype	Lysarmatur	Effekt [W]	Styring	Bildet av armatur
Kontor	Innfelt LED	37	KNX PIR ved innganger til kontor	
Møterom	Innfelt LED downlight	18	Brytere plassert i hvert rom og PIR. Alle møterom kan dimmes med bryter	
Korridor	Innfelt LED	37	KNX PIR og 230 V PRI som registreres bevegelse	
Garasje, teknisk rom & lager	Utenpåliggende LED	144	KNX PIR og 230 V PIR som registrere bevegelse	
Ute	Vegg LED	16	Fotocelle	

3.2.2 Teknisk utstyr

Effekt til utstyr ble kartlagt gjennom manuell opptelling under befaring. Alle ansatte er sjeldent på kontoret samtidig med alt av PC-er og annet teknisk utstyr i bruk. Tabell 6 viser en oversikt over antatt bruk av utstyr for de ulike sonene i bygget og tilhørende effektbehov.

Tabell 6: Oversikt over teknisk utstyr for ulike soner i Nydalsveien 28 med tilhørende effektbehov og driftstid

Romtype	Type utstyr	Effektbehov [W]	Antall	Driftstid
Kontor	Bærbar PC	12	1 per pers	07:00 – 17:00
	Skjerm	50	1 per pers	07:00 – 17:00
	Kopimaskin	100	2 per etasje	Alltid dvalemodus
	Kaffetrakter	500	1 per etasje	07:00 – 17:00
	Kjøleskap	250	1 per etasje	Konstant
Serverrom	Tenisk utstyr	50 000	1 stykk	Konstant
Kantine	Kjøkken	17 500	1 stykk	07:00 – 13:00
	Bærbar PC	12	1 stykk	07:00 – 13:00
Resepsjon	Bærbar PC	12	2 stykk	07:00 – 17:00
	Skjerm	50	2 stykk	07:00 – 17:00
	Kopimaskin	100	1 stkk	Alltid dvalemodus

Det antas at hver bruker i kontoret har en påslått bærbar PC og en skjerm når bruker er tilstedet med ett samlet effektbehov på 62 W. I simuleringene er det antatt at tilført effekt er lik avgitt varme, og det er antatt at datamaskinen er av eller på, ikke dvalemodus. Kopimaskinene brukes kun i korte perioder på dagtid, men blir sjeldent fysisk slått av om natten. Dermed gjøres en forenkling om at kopimaskinene alltid er i dvalemodus og har et effektbehov på 30 W hele døgnet.

3.2.3 Personer

Personbelastningen i Nydalsveien 28 er estimert basert på forventet brukertetthet i de enkelte rom ut i fra type, størrelse, møblering og observasjoner under befaring. Bygget er dimensjonert for om lag 1200 arbeidsplasser.

Tabell 7 viser prosentvis tilstedeværelse som er antatt for personbelastningen i Nydalsveien 28. To hovedområder legges til grunn, tilstedeværelse i kantineområdet og tilstedeværelse i kontorområdet. Både kontorplasser og møterom går under betegnelsen kontorområdet. Det er antatt at resterende soner som resepsjon, trapp, toaletter, lager og serverrom følger lik tidsplan uavhengig rommene.

I Tabell 7 kan man se at, i løpet av dagen, antas det aldri mer enn 50 prosent tilstedeværelse. Grunnen er at folk er i eksterne møter, jobber hjemmefra, er syke eller ute å reiser.

Tabell 7: Oversikt over antatt tilstedeværelse i de ulike områdene i Nydalsveien 28

Tidspunkt kontor	Tilstedeværelse kontor [%]	Tidspunkt kantine	Tilstedeværelse kantine [%]	Tidspunkt rest. Soner	Tilstedeværelse rest. soner [%]
07:00 – 08:00	10	07:00 – 08:00	10	07:00 – 08:00	0
08:00 – 11:00	50	08:00 – 11:00	0	08:00 – 11:00	5
11:00 – 12:30	5	11:00 – 12:30	50	11:00 – 12:30	0
12:30 – 16:00	50			12:30 – 16:00	5
16:00 – 17:00	15			16:00 – 17:00	0

4 Metoder og materialer

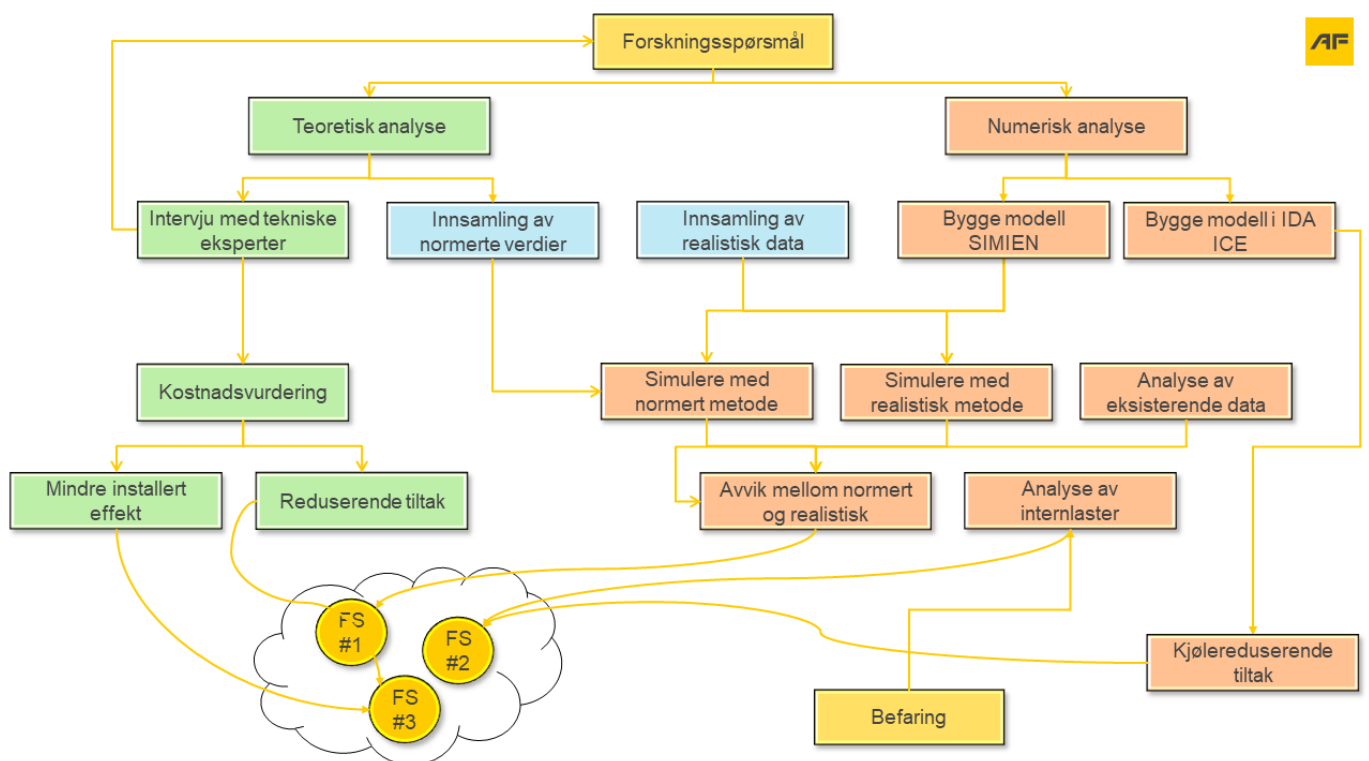
I studien er metode delt opp i tre underkategorier som samsvarer med rapportens forskningsspørsmål; avvik mellom teoretisk og målt energibruk, potensiell energireduskjon og kostnadsbesparelse. Det er brukt ulike metoder for å komme frem til konklusjonen, som illustreres i Figur 8.

Simuleringsverktøyet SIMIEN ble brukt til å utføre to simuleringer av tilsvarende bygg. En simulering med standardiserte verdier i henhold til NS 3031, og en med reelle laster, settpunkter og driftstider, begge med Oslo klima. Resultatet fra simuleringene ble videre sammenlignet med eksisterende data hentet fra SD-anlegg og EOS-systemet Energinet.

Det ble utført intervjuer med fagpersoner for å vurdere hvorfor avviket mellom teoretisk og målt energibruk oppstår, der det ble lagt vekt på hvordan kjøleanlegg dimensjoneres.

Simuleringsverktøyet IDA-ICE ble brukt til å simulere påvirkningen internlastene har på kjølebehovet samt potensiell berparelse på kjølereduserende tiltak for bygget.

Den angivelige besparelsen for å neddimensjonere kjøleanlegget ble analysert basert på reelle og estimerte kostnader supplert av AF Gruppen, samt erfaringstall og Norsk prisbok.



Figur 8: Illustrasjon av metodedelen

4.1 Avvik mellom teoretisk og reelt energibruk

4.1.1 Simuleringer i SIMIEN

I startfasen ble byggemodellen generert i programvaren SIMIEN, med både normerte og realistiske verdier, for å kartlegge hvor mye kjøleanlegget i casebygget potensielt kan neddimensjoneres. Formålet med simuleringene var å fremskaffe så realistisk data som mulig for kjølebehovet til bygget, samt å analysere kjølebehovets variasjoner på døgn- og årsbasis. De større rådgivende firmaene benytter SIMIEN for dimensjonering av kjølebehov [7]. Dermed ble det mest naturlig å benytte SIMIEN for å analysere hvorfor avviket mellom teoretisk og målt energibruk oppstår.

4.1.1.1 Forutsetninger for simuleringene

Inndata er hentet fra FDV dokumentasjon oversendt av Avantor, manglene data er tabellverdier hentet fra TEK eldre enn 69 med forebehold om at bygget er totaltrehabilitert i 2015. Inndataen er oppdelt i normert og realistisk, da det er utført to ulike simuleringer. Tabell 8 viser generell byggt teknisk informasjon om bygget og er tilsvarende for begge simuleringene.

Tabell 8: Generell byggt teknisk informasjon av bygget

Parameter		Inndata	Parameter		Inndata
Antall etasjer		15	U-verdi, yttervegg	W/m^2K	0,23
Total høyde	m	43	U-verdi, tak	W/m^2K	0,18
Totalt oppvarmet BRA	m^2	22.506	U-verdi, gulv mot grunn	W/m^2K	0,16
Totalt oppvarmet luftvolum	m^3	81.022	U-verdi, vindu/dører	W/m^2K	1,98
Areal yttervegger	m^2	6.691	Normalisert kundebroverdi	W/m^2K	0,09
Areal tak	m^2	2.636	Lekkasjetall	1/h	3,0
Areal gulv	m^2	3.039	Solskjermingsstrategi	Manuell utvendig	
Totalt vindu- og dørareal	m^2	2.932			

Andel vindu- og dørareal er 14,3 prosent av totalt oppvarmet BRA og tilferdstiller kravet fra TEK 17 om andel under 25 prosent.

Lekkasjetallet i Tabell 8 er satt etter Enovareporten «*potensial- og barrierestude*», som tar hensyn til naturlige utskiftninger og små oppgraderinger på bygget, se vedlegg A2. Selv om bygget er bygd i 1941 settes lekkasjetall til 3,0 da det er totalrehabilitert med utskiftning av vinduer.

Varme- og kjølesystem parametere

Tabell 9: Inndata for varme- og kjølesystem for realistisk og normert simulering

Varme- og kjølesystem parametere	Faktiske verdier	Normerte verdier
Ventilasjon [m^3/m^2h]	7,4 / 2,0	10,0 / 3,0
Maks luftmengde [m^3/h]	166.000	225.060
SFP [$kW/m^3/s$]	2,07	
Driftstider [h]	10 / 5 / 49	12 / 5 / 52
Romtemperatur [$^{\circ}C$]	21 / 19	21 / 19

Internlaster

Tabell 10 viser en oversikt over varmetilskuddet i Nydalsveien 28. Det er valgt to scenarier for brukeres samtidighet, da dette har stor innvirkning på de interne varmetilskuddene.

De to scenarier er:

Faktiske laster, 100 %: Forutsettes 100 prosent samtidighet på brukerne, samt at alt av det kartlagte utstyret er på

Faktiske laster, 50 %: Forutsettes 50 prosent samtidighet på brukerne. Belysningen styres etter tilstedeværelse, og dermed er det antatt at både utstyr og belysning følger brukerens tilstedeværelse

Tabell 10: Inndata for internlaster for realistisk og normert simulering

	Normerte laster [W/m ²]	Faktiske laster, 100 % [W/m ²]	Faktiske laster, 50 % [W/m ²]
Personer	4,00	5,33	2,66
Belysning	8,00	5,48	4,7
Utstyr	11,00	9,3	4,65

For personer er det antatt varmeavgivelse på 100 W/person, som gir en spesifikk varmeavgivelse på 5,33 W/m² om alle 1.200 personene er tilstedet i bygget.

Installert effekt belysning i bygget er beregnet til 5,48 W/m². I simuleringene antas det at armaturene som benyttes har et lysutbytte på 70 lumen/W. Videre antas det at varmetilskuddet fra belysning og diverse tekniske komponenter er 42,3 prosent av den installerte effekten, se Figur 9.

Det er utført beregninger av nyttbart varmebidrag fra belysning og diverse teknisk komponenter, sett over et år, i funksjon av graddagstall og teknisk byggstandard. Ett fiktivt bygg på 1000 m² er simulert i SIMIEN med og uten internlaster fra belysning. Nyttbart varmebidrag ser på hvor stor andel av redusert internlast som må erstattes av oppvarming, se Formel 3. For nærmere utregninger se i vedlegg A3. En forenkling av resultatet er vist i tabell 11.

Formel 3: Andel nyttbart varmebidrag fra belysning

$$\text{Nyttbart varmebidrag} = \frac{E/\text{uten}_{Lys} + E_{Lys} - E/\text{med}_{Lys}}{E/\text{med}_{Lys}}$$

Der,

E/uten_{Lys} = levert energi for bygget uten belysning

E/med_{Lys} = levert energi for bygget med belysning

E_{Lys} = levert energi til belysning i bygget

Tabell 11: Andel nyttbar internlast fra belysning (forenklet)

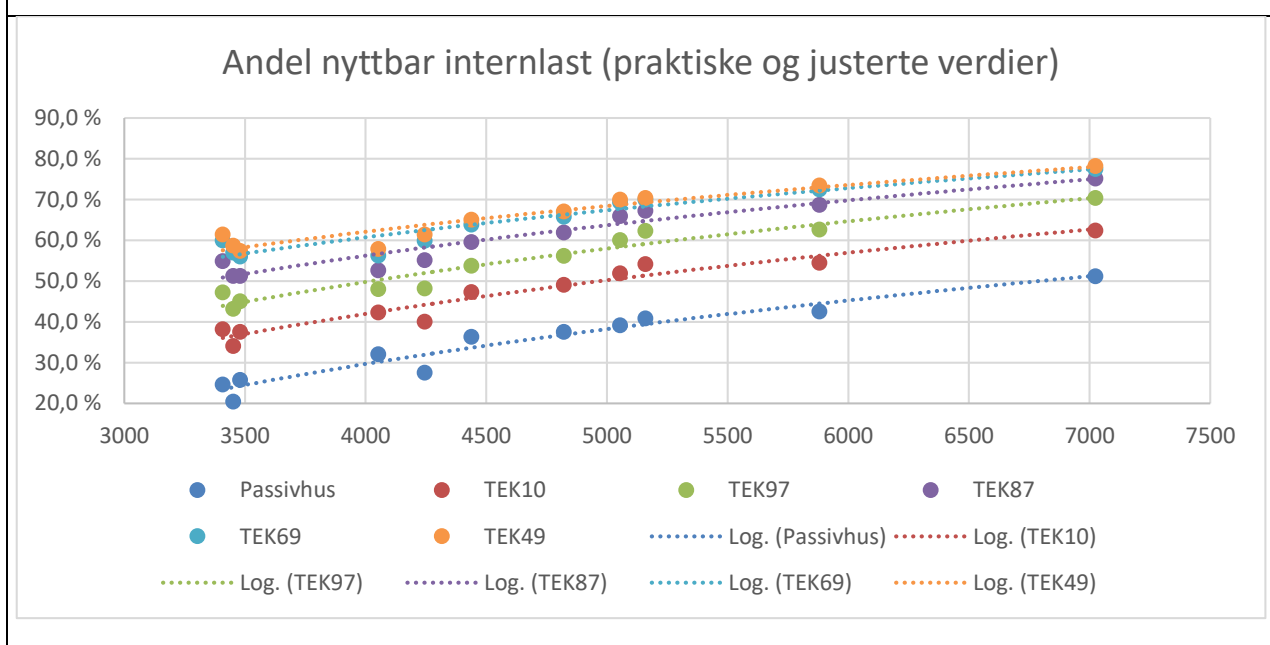
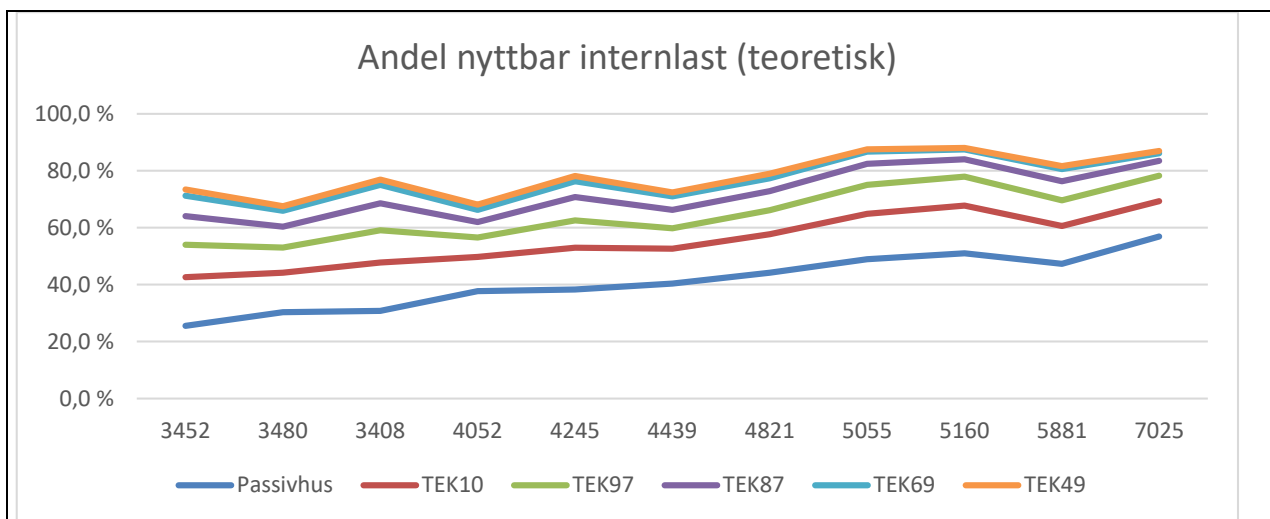
Andel nyttbar internlast fra belysning (forenklet)

Graddager	Byggeår		
	2007 og nyere	1987 - 2007	Eldre enn 1987
3500	30 %	49 %	58 %
4400	38 %	53 %	61 %
5800	50 %	67 %	73 %

Innenlands: Trekk fra 5-10% avhengig av avstand til havet

Innetemp. Lavere enn 20 grader: Trekk fra 5%

Innetemp. Høyere enn 22 grader: Legg til 5%

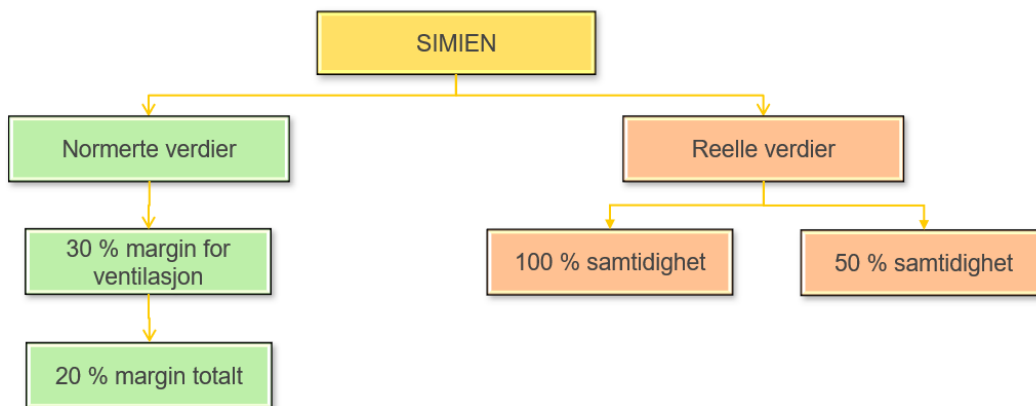


Figur 9: Andel nyttebar internlast ved ulike graddager og ulike byggtekniske standarder

Som figuren viser vil varmetilskuddet fra teknisk utstyr og belysning variere med ulikt graddagstall og ulike byggestandard, og bør sees opp mot hvert tilfelle.

4.1.1.2 Fremgangsmåte for simuleringene

Figur 10 illustrerer en systematisk fremgangsmåte av de ulike simuleringene i SIMIEN. Det ble utført simuleringer med normerte og reelle verdier, hentet fra Tabell 9 og Tabell 10. Hovedforkjellene går på varmetilskudd fra internlaster og driftstider for internlastene.



Figur 10: Systematisk fremgangsmåte av de ulike simuleringene i SIMIEN

Simuleringene med normerte verdier ble utført i tre grader, slik som vist i Figur 10. Første simulering hadde internlaster og driftstider slik som i NS 3031, samt 100 prosent varmetilskudd fra interlastene. For andre simulering ble det lagt på en sikkerhetsfaktor på 1,3 for ventilasjonsluftmengdene, mens for siste simuleringen ble det i tillegg lagt på en total sikkerhetsmargin på 20 prosent. Sistenevnte simulering ble kun gjort for maksimal effekt, og ikke energibehovet.

For de to simuleringene med reelle laster ble det simulert med reelle laster, hentet fra Tabell 10, for 100 og 50 prosent samtidighet. Det ble også endret til reelle driftstider og varmetilskudd.

4.1.2 Analyse av data fra EOS-system

Data hentet fra byggets EOS-system ble analysert, og sett opp i mot simuleringene, for validering av simuleringene. Vedlegg A7 og A8 viser energibruk fra 2019 for Nydalsveien hentet fra EOS-systemet, både kjølebehovets variasjoner på døgn- og årsbasis. Videre ble energibruken graddagskorrigert, ved hjelp av beregningsgrunnlaget i Tabell 12 og Formel 4.

Tabell 12: Beregningsgrunnlag for graddagskorrigering av energibruk
Beregningsunderlag

Årstall	Normalår	2018	2019	2020
Graddager	4052	3703	3563	3042
Korreksjonsfaktor		0,91	0,88	0,75

Formel 4: Graddagskorrigering av energibruk

Graddagskorrigert energibruk

$$= \left(\frac{\text{Levert energi}}{\text{Korreksjonsfaktor}} \right) \times \text{Temp. avhengig andel} + \text{Levert energi} \times (1 - \text{Temp. avhengig andel})$$

For å bestemme dimensjon av veksler i teknisk rom ble dagen med høyeste effekttopp analysert, med tanke på varighet på effekttoppen og temperaturen i bygget ved høyeste effekt.

4.1.3 Kvalitativ undersøkelse

Det ble utført en kvalitativ undersøkelse med konsultasjon av tekniske eksperter. En drifter, en byggeier, en entrepenør og en rådgiver ble spurt, for å få et bredt perspektiv på problemstillingen. Det ble i hovedsak diskutert hvordan man dimensjonerer kjøling i nybygg, samt hva ekspertene tror skylder det store avviket mellom teoretisk og faktiske verdier. Gjennom telefon og teamsintervju ble følgende personer kontaktet:

Ida Bryn (Figur 11) er fagdirektør for VVS i Multiconsult, og har dr.grad fra NTNU i VVS teknikk, maskinteknikk og glassgårder. Bryn underviser, deltid, på OsloMet for masterstudenter på linjen Energi og Miljø i Bygg.

Tor Olsen (Figur 12) er utdannet VVS-ingeniør og jobber i dag som teknisk direktør i AF Energi. Etter 35 år i energieffektiviseringens tjeneste ble Olsen tildelt Enovaprisen i 2020 for å være en pådriver for omstillingen til lavutslippssamfunnet.

Jostein Odden (Figur 13) er driftssjef i Avantor og er ansvarlig for drifting av en rekke bygg i Nydalen.

Roy Åge Frivoll (Figur 14) er forvaltningsdirektør og daglig leder i Avantor. Frivoll satt som daglig leder / CEO av Nydalen Energi, før Avantor solgte samtlige aksjer til investeringsselskapet Capman Infra i 2020. Frivoll har sittet som styreleder i Grønn byggallianse fra 2014 til 2018 og fra 2019 til 2020.



Figur 11: Ida Bryn. Bildet hentet fra VVS Forum



Figur 12: Tor Olsen. Bildet hentet fra Nemitek



Figur 13: Jostein Odden. Hentet fra Avantor



Figur 14: Roy Åge Frivoll. Hentet fra ITB Aktuelt

4.2 Påvirkning og reduksjon av kjølebehovet

4.2.1 Simuleringer i IDA-ICE

Det ble utført simuleringer i simuleringstøytøyet IDA-ICE med ulike kjølereduserende tiltak, for å se en angivelig reduksjon av kjølebehovet. Det ble også analysert varmetilskuddet fra internlaster i en sydøstvendt sone. Figur 15 viser byggemodellen av Nydalsveien 28 i IDA ICE, som ble generert i starten av semesteret. Simuleringsmodellen ble modellert ut fra tegninger, dokumenter og informasjon gitt av Jostein Odden, teknisk sjef i Avantor.

Simuleringsverktøyet IDA ICE, versjon 4.8, ble valgt da det er brukervennlig og har valgfrihet når det kommer til hvilket detaljnivå man ønsker å utføre simuleringene på. Nydalsveien 28 kjøles gjennom behovstyrt ventilasjon, der luftmengder styres etter tilstedeværelse, som som er mulig i IDA ICE.



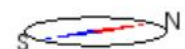
Figur 15: Nydalsveien 28 fremstilt i IDA ICE

Realistisk data for Nydalsveien 28 er benyttet, slik som i Tabell 8, Tabell 9 og Tabell 10. Simuleringene er utført på en sydøstvendt sone, informasjon og illustrasjon av sonen fremkommer i Tabell 13 og Figur 16. På sørfasaden er det 5 vinduer på $(1,6 \times 1,6)\text{m}^2$ og et stort vindu på $(2,7 \times 3,3)\text{m}^2$, østfasade har ett vindu på $(2,7 \times 3,9)\text{m}^2$ og et lite på $(0,9 \times 0,4)\text{m}^2$.

Figur 16: Illustrasjon av sone

Areal	428,3
Etasjehøyde	2,7
Meter over bakken	12

Tabell 13: Informasjon om sone



4.2.1.1 Varmetilskudd i sonen

Arbeidstilsyets forvaltningspraksis legger til grunn at hver arbeidsplass skal minimum ha ett gulvareal på 6 m² [27]. Da sonen har ett gulvareal på 428 m² er det antatt arbeidsplasser til 71 personer med en tilstedeværelse på 75 prosent. Videre er det forutsatt et aktivitetsnivå på 1,2 met og en bekledning på 0,5 clo, da det er sommerhalvåret som er relevant. Tabell 14 viser et totalt varmetilkudd på 11,65 kW, alle med samme tidskjema.

Tabell 14: Tidskjema og varmetilkudd fra sonens internlaster

Internlaster	Tidskjema	Varmetilskudd [W]
Personer	Hverdager, 06:00 – 18:00	5325
Utstyr	Hverdager, 06:00 – 18:00	3980
Belysning	Hverdager, 06:00 – 18:00	2345
SUM		11.650

4.2.1.2 Solbelastning

Følgende verdier er benyttet for vinduene i simuleringene:

Solfaktor (g-verdi) = 0,4

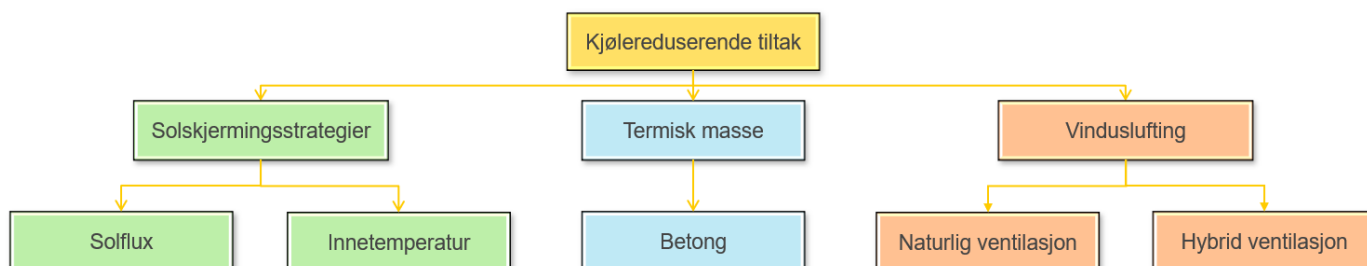
Intern emissivitet = 0,837

Ekstern emissivitet = 0,837

Vindusarealet brukt i simuleringene er i henhold til byggets fasadetegninger, og overskrider ikke TEK-kravet på maksimalt 20 prosent av byggets oppvarmede areal.

4.2.1.3 Kjølereuserendetiltak

Sonen ble simulert med tre uavhengige kjølereduserende tiltak, oversikt vist i Figur 17.



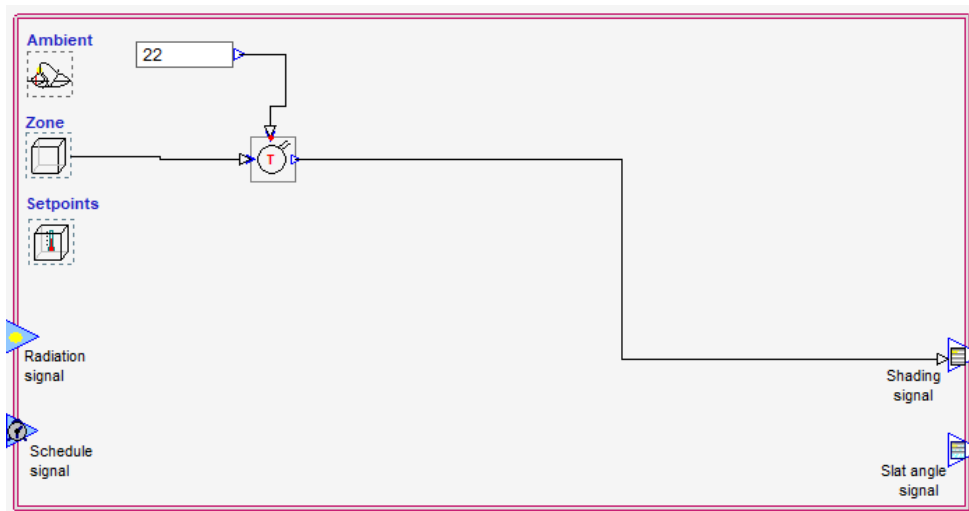
Figur 17: Utvalgt kjølereduserende tiltak som simuleres i masteroppgaven

Solskjermingsstrategier

Det er simulert to ulike styringer med utvendig regulerbar solskjerming. Grunnen til at det kun er valgt utvendig solskjerming, er fordi dette er mest effektivt, da varmen fra solen stoppes før den trenger gjennom vinduene [28]. Formålet var å se på hvilke strategi som gir mest utslag på kjølebehovet og temperaturen i sonen. Følgende situasjoner er simulert:

- Regulering etter solflux, utvendig
- Regulering etter innetemperatur, utvendig

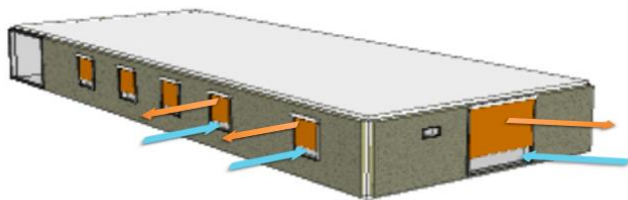
Regulering etter soltilskuddet er en enkel og vanlig løsning, der solskjermingen aktiveres når solinnstrålingen overstiger settpunkt. Det er i simuleringene brukt settpunkt på 100 W/m^2 . Regulering etter innetemperatur er simulert etter makroen i Figur 18, der utvendig solskjerming aktiveres dersom innetemperaturen overskrider 22°C .



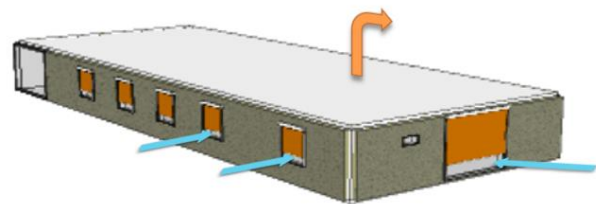
Figur 18: Makro av solskjermingsstrategi som reguleres etter innetemperatur

Vindusluffing og nattventilasjon strategi

For å sette opp en strategi for vindusluffing om natten ble det valgt både naturlig ventilasjon og en hybrid ventilasjon. For naturlig ventilasjon ble sonen ventilert med vinduer som kan åpnes i begge ender, se Figur 19. For hybrid ventilasjon blir vinduene åpnet i liten grad (40 prosent), for å slippe inn luft, samtidig som avtrekksviften trekker luft ut av bygget, se Figur 20.



Figur 19: Strategi for naturlig ventilasjon

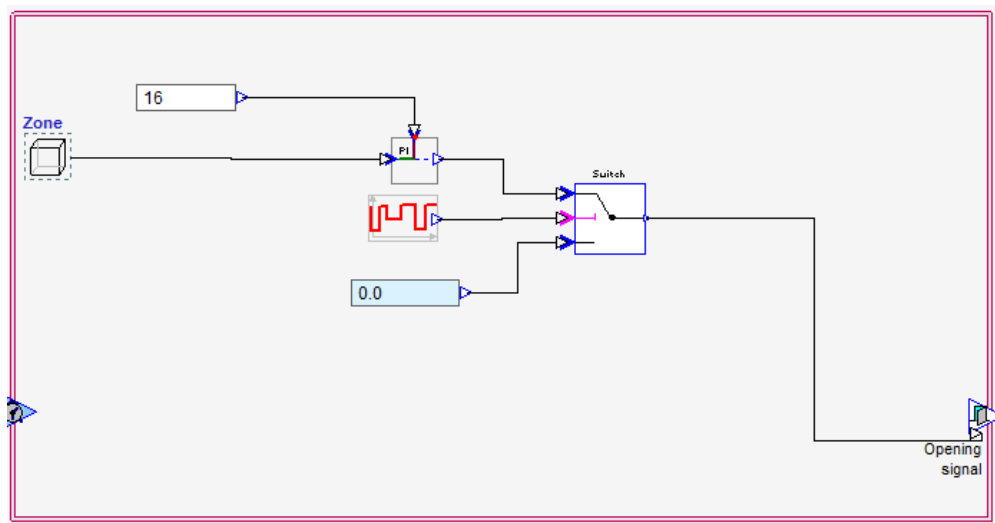


Figur 20: Strategi for hybrid ventilasjon

For begge strategiene ble 16°C satt som minimum aksepterte settpunkt på inneluften. Temperaturen er valgt på grunnlag av en tidligere masteroppgave utgitt av OsloMet skrevet av Andreas Aamodt [28]. For den naturlige ventilasjonen vil åpningsgraden på vinduene reguleres, mens for hybrid versjonen vil en termostat for avtrekksviften styre viften ut ifra settpunkttemperaturen. For å unngå overkjøling og termisk ubehag ved starten av arbeidsdagen ble settpunktene for driftstid for begge strategiene satt fra 21:00 – 06:00.

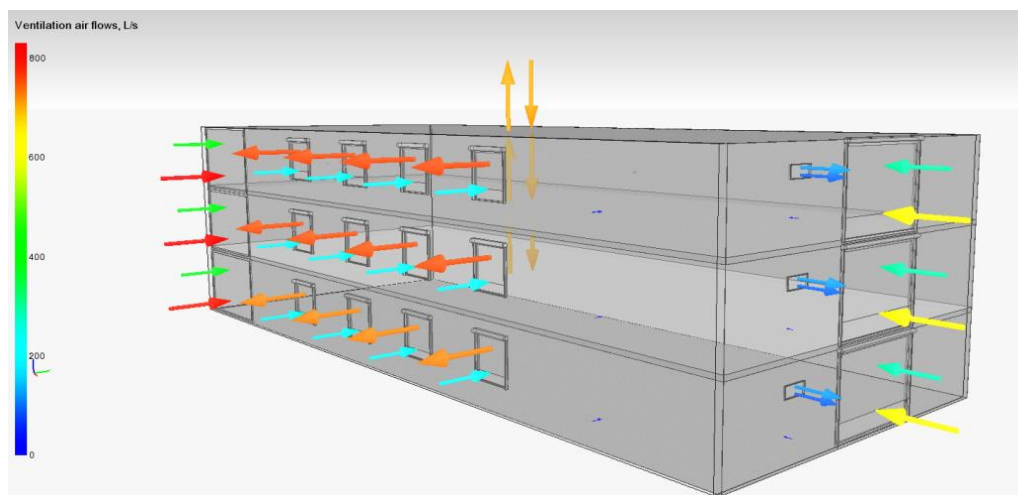
Naturlig ventilasjon

En egendefinert kontrollmakro for naturlig nattventilasjon er vist i Figur 21, men en PI temperatur kontroll og tidskjema fra 21:00 – 06:00. Åpningsgraden av vinduene lukkes gradvis av proporsjonale integrerte PI-regulatorer for å begrense hvis minimum innstilt settpunkt er nådd.



Figur 21: Makro for vindusåpning signal for naturlig natt ventilasjon

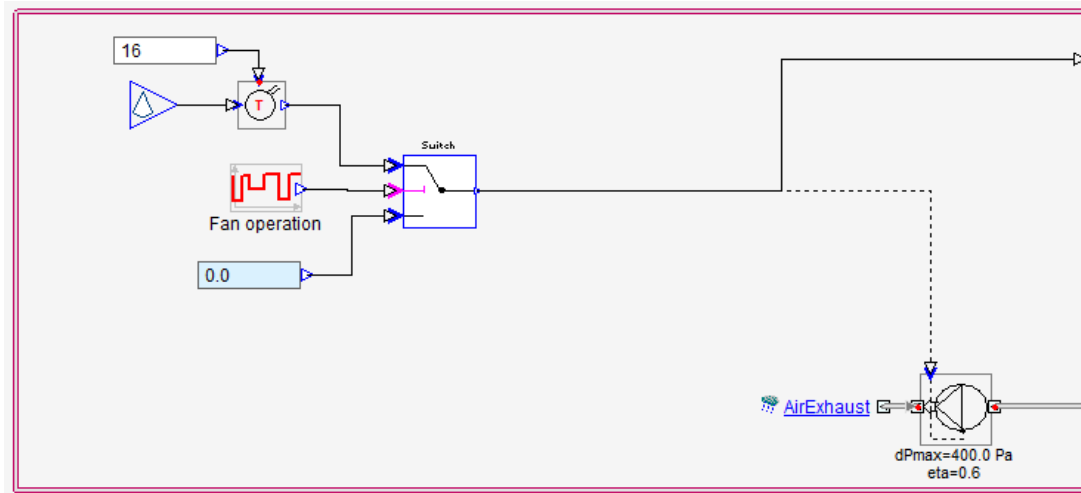
Figur 22 viser hvordan luften beveger seg i modellen under ett simulert tilfelle av naturlig nattventilasjon. Her ser man at luft kommer inn vinduene, og at vinduene tillater toveis passasje av luft. De større pilene som peker oppover i hvert rom representerer luften som utvinnes av avtrekket. De mindre pilene inne i bygningene representerer luft mellom soner på grunn av intern infiltrasjon. De to mindre pekende opp og ned, representerer grunnventilasjonen som er krav om utenfor driftstid.



Figur 22: Luftstrømmer i IDA-ICE modellen med naturlig ventilasjon

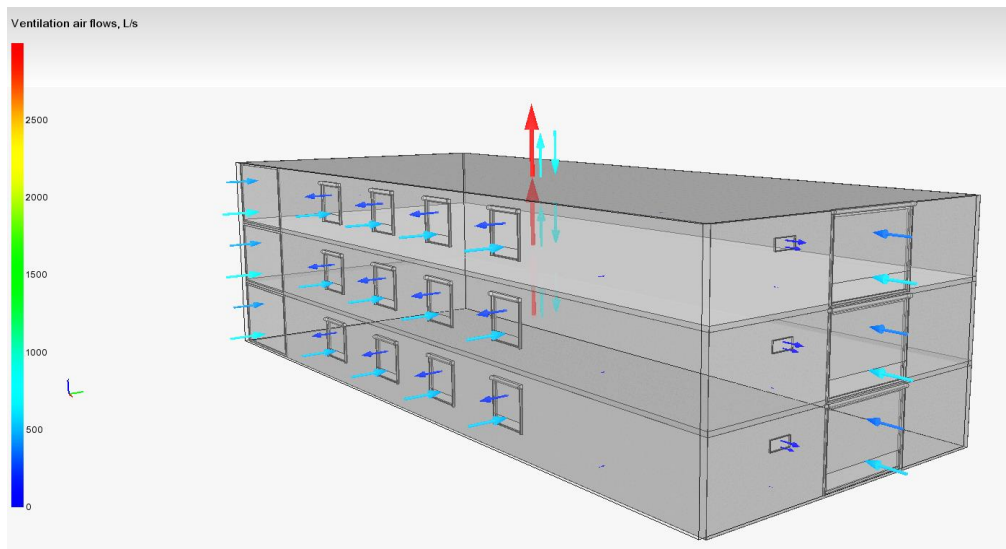
Hybrid ventilasjon

En egendefinert kontrollmakro for avtrekksviften er vist i Figur 23. En termostat med tidsplan 21:00 – 06:00 kan sees, som regulerer avtrekksviften om tidsplanen er aktiv.



Figur 23: Makro for vindusåpning signal for hybrid natt ventilasjon

Figur 24 viser hvordan luften beveger seg i modellen under ett simulert tilfelle av en hybrid nattventilasjon. Her ser man at luft kommer inn vinduene, mens kun en liten mengde returneres. Den store røde pilen pekene rett opp viser mengden avtrekksviften trekker ut. De to mindre pekende opp og ned, representerer grunnventilasjonen som er krav om utenfor driftstid.



Figur 24: Luftstrømmer i IDA-ICE modellen med hybrid ventilasjon

Termisk masse

Ved å utnytte tunge materialers termiske masser kan man angivelig redusere kjølebehovet i næringsbygg. Tunge materialer har bedre varmekapasitet og konduktivitet. Effekten av termisk masse i bygg er reduserte temperatursvigninger og å forskyvning av maksimum og minimum temperatur. Det forutsettes at den termiske masen er eksponert mot rom som skal klimatiseres, ett bygg med ytre lag av isolasjon og betong i indre lag vil ha høyere varmelagringskapasitet enn det motsatte.

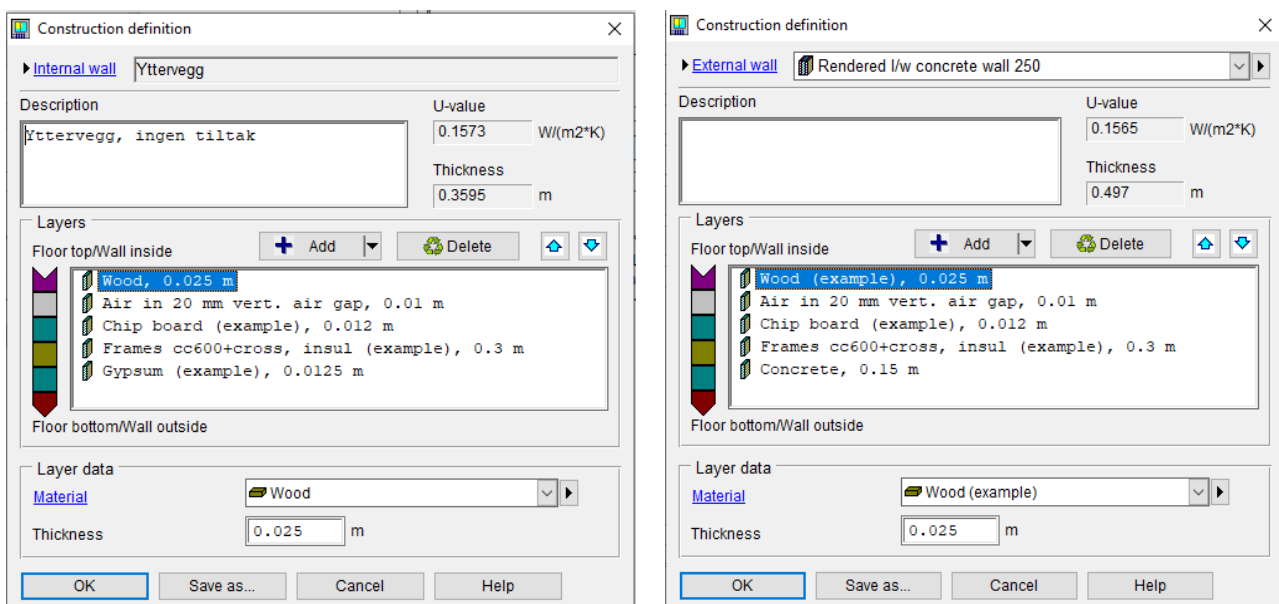
For nattkjøling må den termiske massen settes i termisk kontakt med kjøling natteluft. Dermed skal overnevnte tiltak simuleres sammen med termisk masse [30].

Ved simulering av termisk masse er varmekapasitet, varmeledning i materialet og overgangsmotstand tre viktige parametere, se Tabell 15.

Tabell 15: Termiske egenskaper til betong

Materialet	Konduktivitet λ	Massetetthet ρ	Spesifikk varmekapasitet c	Termisk diffusivitet α
Betong	1,7	2300	1000	15

Det simuleres to ulike tilfeller, ett der innerveggene er 12,5 mm gipsplater, mens i tilfelle to er innerveggene 150 mm betong, se Figur 25: Veggkonstruksjonen i de to ulike tilfellene med termisk masse. Figur 25.



Figur 25: Veggkonstruksjonen i de to ulike tilfellene med termisk masse

4.3 Potensiell kostnadsbesparelse

For å vurdere angivelig merkostnad for overdimensjonering av kjøleanlegget er to ulike økonomisk betraktninger vurdert:

- Kostnadsbesparelse knyttet til neddimensjonering av kjøleanlegg
- Kostnadsbesparelse knyttet til redusert betaling for abonnert effekt

4.3.1 Neddimensjonering av kjøleanlegget

Vurderingen ble gjort ved hjelp av interne kostnadsoverslag på ulike komponenter supplert av AF Energi, samt bruk av Norsk Prisbok for å estimere kostnad for materiell og installasjon. Anslaget for investeringskostnad for et kjøleanlegg, inkludert alle relevante komponenter, anslåes til å være om lag 18.500 kr/kW for kjøling med kjølemaskin og 10.400 kr/kW for fjernkjøling. For utregning se vedlegg C2. Drifts- og vedlikeholdskostnader, samt bytte av større komponenter, for kjøleanlegget oppgis til ca. 3 – 5 prosent av investeringskostnaden [27]. Det er benyttet 5 prosent for anlegg med kjølemaskin, og 3 prosent for anlegg med fjernkjøling, da mye av vedlikeholdskostnaden her legges over på tredjepart.

Kostnadssammenligningen mellom reelle og dimensjonert effekt ble gjennomført med følgende forutsetninger:

- Det ble kun sett på sentralkjøling, og ikke kjøling ved hjelp av lokale enheter i hvert rom
- Det ble utført to beregninger; både for investering i kjøling med kjølemaskin og med tilkobling til fjernkjøling. Nydalen 28 har kun kjøling ved hjelp av fjernkjøling, men da kjølemaskin er mest utbredt i Norge, ble også dette brukt som referanse

4.3.2 Abonnert effekt

Næring- og privatkunder har ulik prismodell for fjernvarme/-kjøling, der effekt- og volumledd kun gjelder næringskunder [19]:

Formel 5: Prismodell for næringskunder

$$\text{Total strømpris} = \text{Energiledd} + \text{Effektledd} + \text{Volumledd} + \text{Avgifter}$$

Normal prismodell for fjernkjøling opererer med abonnert effekt fra første kjøleleveranse og til utgangen av femte hele kjølesesong. Det betyr at de første fem årene bindes bedriften opp til en angitt effekt, før de belastes for målt effekt resten av avtaleperioden. Priser for effekt og energiledd er tilsendt fra fornum for bruk av områdekjøling på Økern/Ulven, se vedlegg C1. Beregningene er utført etter Formel 6.

Formel 6: Beregning av effektledd for abonnert effekt

$$\text{Effektledd} = \text{Fast (kr/år)} + \text{Variabel (kr/kW * år)} * \text{abbonert effekt}$$

5 Resultater og diskusjon

5.1 Analyse av avviket mellom teoretisk og reelt energibruk

5.1.1 Eksisterende data

Data for casebygget er hentet fra energioppfølgingsystemet til Nydalen energisentral. Bygget betaler for abonnert effekt for fjernkjøling, dette er oppgitt fra Avantor til å være 1.100 kW for fjernkjøling. Ut i fra effektdata fra 2016 – 2020 er høyeste effektuttak på byggets vekslere 600 kW for fjernkjøling, se Figur 26. Basert på datane kommer det frem at kjøleanlegget er overdimensjonert med hele 54,55 prosent.

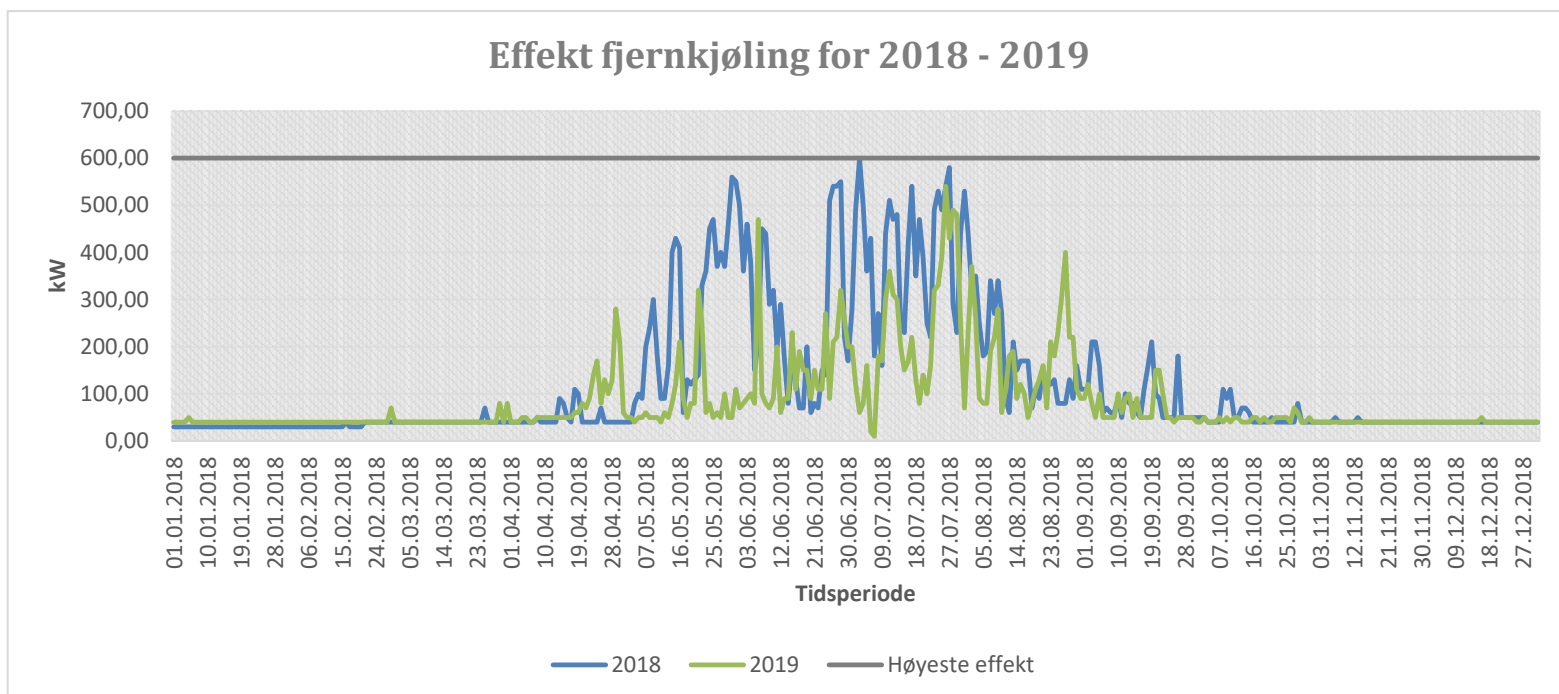
TEK 17 tillater temperaturer over 26 °C i 50 timer av året. Dermed kan man velge dimensjon på vekslere til faktisk behov, og fortsatt ha en viss sikkerhetsmargin.

Basert på underlag i FDV-systemet ser det ut til at kjølebehovet er basert på full samtidighet innenfor byggets driftsperiode, som viser seg å stemme i liten grad med dagens drift.

Slik som Tabell 16 viser, er dagens anlegg installer med en spesifikk effekt på 48 W/m². Eksisterende data over de siste årene viser, som sagt, høyeste effekt på 600 kW, som tilsvarer en spesifikk effekt på 27 W/m².

Tabell 16: Nøkkeltall for Nydalsveien 28, hentet fra byggets EOS

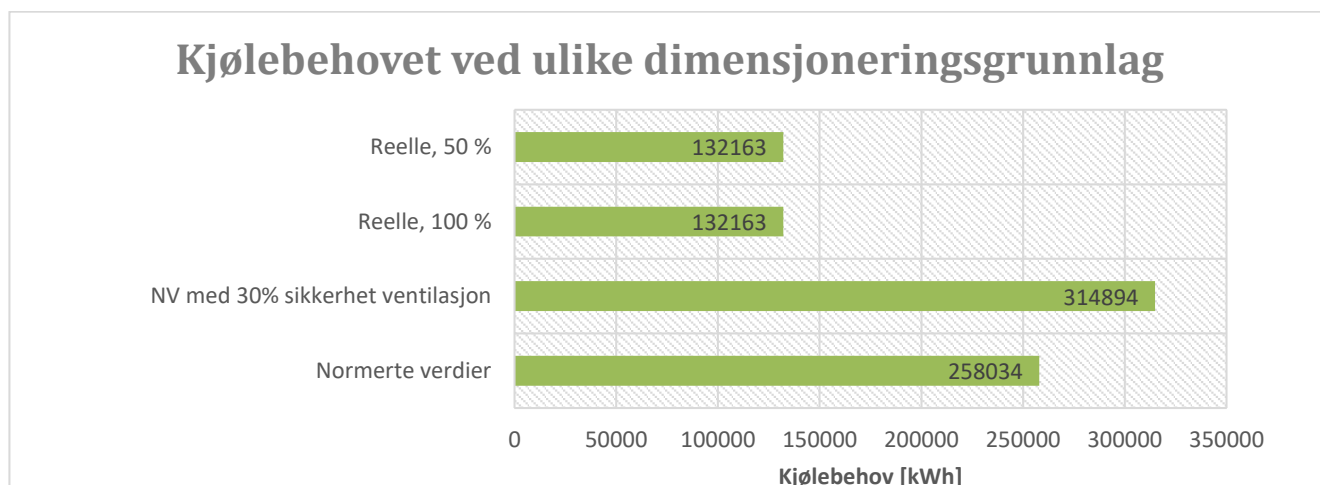
Bygningskategori	Kontorbygg
Oppvarmet areal	22.506 m ²
Dimensjonert for	1 100 kW
Installert effekt per m ²	48 W/m ²
Høyeste målte effektuttak (3.juni.2018)	600 kW
Faktisk effekt per m ²	27 W/m ²



Figur 26: Effekt for fjernkjøling for 2018 & 2019

5.1.2 Simuleringer i SIMIEN

Figur 27 er en fremstilling over resultatet av simuleringer i SIMIEN med ulike dimensjoneringsgrunnlag. Det er utført normerte simuleringer, med og uten sikkerhetsmarginer, og reelle laster ved 100 og 50 prosent samtidighet. For resultat og inndata i SIMIEN, se vedlegg A9 – A11.



Figur 27: Resultat av SIMIEN simuleringer med ulike dimensjoneringsgrunnlag: normerte verdier med og uten sikkerhetsmarginer, og reelle laster ved 100 og 50 % samtidighet

I resultatene kan man se at kun ved å bruke normerte internlaste med 100 prosent varmetilskudd og normerte driftstider blir kjølebehovet dobbelt så stort enn ved reelle laster. Imidlertid blir problemet enda større når man starter å legge på sikkerhetsmarginer. En sikkerhetsfaktor på 1,3 for ventilasjonsluftmengde, anbefalt av arbeidstilsynet, gir 60 prosent høyere behov enn reelle laster. Mens å i tillegg legge på 20 prosent sikkerhetsmargin på totalen gir 65 prosent høyere behov enn reelle laster.

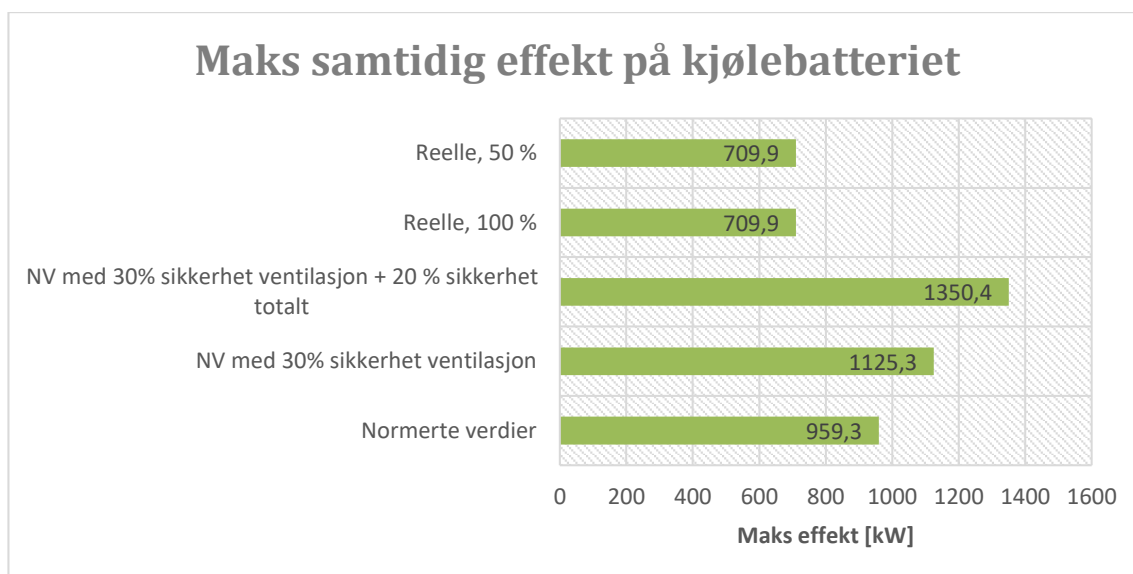
Forskjellen fra 50 og 100 prosent samtidighet på de reelle internlastene var så liten at det ikke hadde noe utslag på kjølebehovet.

Tabell 17 viser spesifikt kjølebehov for de ulike dimensjoneringsgrunnlagene for å fremstille det uavhengig av størrelsen på Nydalsveien 28, men gi mer generelle verdier.

Tabell 17: Spesifikt kjølebehov for de ulike dimensjoneringsgrunnlagene

Simulering	Spesifikt kjølebehov [kWh/m ²]
Normerte verdier	11,5
NV + 30% sikkerhet ventilasjon	14
NV + 30% sikkerhet ventilasjon + 20% sikkerhetsmargin totalt	16,8
Reelle laster, 100%	5,9
Reelle laster, 50%	5,9

Figur 28 viser maks samtidig effekt på kjølebatteriet for de ulike dimensjoneringsgrunnlagene.



Figur 28: Maks samtidig effekt på kjølebatteriet for de ulike dimensjoneringsgrunnlagene

Tabell 18 viser spesifikt kjølebehov for de ulike dimensjoneringsgrunnlagene. Den faktiske maksimale spesifikke kjøleeffekten hentet fra byggets EOS er $600 \text{ kW} / 22.506 \text{ m}^2 = 26,7 \text{ W/m}^2$. Tabellen viser avviket fra de ulike simuleringene mot det faktiske maksimale kjøleeffekten for Nydalsveien 28. Da man dimensjonerer etter maksimal effekt, representerer dette overdimensjoneringen ved de ulike metodene.

Tabell 18: Spesifikk maksimal kjøleeffekt for de ulike dimensjoneringsgrunnlagene, samt avviket fra Nydalsveien 28 sitt faktiske maksimale kjøleeffekt

Simulering	Spesifikt maksimal kjøleeffekt [W/m^2]	Avvik fra $26,7 \text{ W/m}^2$ [%]
Normerte verdier	42,6	+ 37,3
NV + 30% sikkerhet ventilasjon	50,0	+ 46,6
NV + 30% sikkerhet ventilasjon + 20% sikkerhetsmargin totalt	60,0	+ 55,5
Reelle laster, 100%	31,5	+ 15,2
Reelle laster, 50%	31,5	+ 15,2

Sammenligner man resultatene fra «5.1.1 Eksisterende data» som viser at kjøleanlegget i Nydalsveien 28 er overdimensjonert med hele 54,55 prosent, kan det tyde på at de har brukt normerte verdier + 30 prosent sikkerhetsmargin på ventilasjon + 20 prosent sikkerhetsmargin for maksimal effekt som dimensjoneringsgrunnlag.

5.1.3 Kvalitativ undersøkelse

Ved befaring og simuleringer ble det observert betraktelig lavere varmelaster enn normerte verdier. For å redegjøre hvorvidt man bør dimensjonere ett kjøleanlegg, ble fagekspertene under «4.1.3 Kvalitativ undersøkelse» konsultert. Viktige poenger ble tatt opp, og ble videre utdypet under «Utdypelser etter kvalitativ undersøkelse».

Samtlige fagekspertene bekrefter at de opplever overdimensjonering av kjøleanlegg i bransjen. Roy Frivoll kommenterte at ingen av byggene tilknyttet Nydalen Energisentral tok ut effekten bygget var dimensjonert for. Han la også til at de opplever klager på at det er for kaldt i bygget på de varmeste sommerdagene.

Ida Bryn mener at største bommen for dimensjonering er ventilasjon, da det er utfordrene å forutse hvordan tilluftstemperaturen og luftmengdene kommer til å driftes etter ferdigstilling. Et viktig moment Bryn nevner er forskjellen på tørrkjøling og kondensering, der hun påpeker at mange rådgivere antar større grad av kondensering enn nødvendig.

Sikkerhetsmarginer er noe samtlige eksperter tar opp som en forårsakende årsak. Olsen, Frivoll og Bryn mener at det legges inn for stor sikkerhetsmargin i alle ledd av beregningene. Kjølebehovet beregnes etter «verst» tenkelig dag med høy luftfuktighet. Videre anbefaler arbeidstilsynet en overkapasitet på ventilasjonsluftmengdene på 30 prosent [13], og i tillegg legges det til sikkerhetsmarginer på typisk 10 – 20 prosent på det samlede anlegget. Likevell har både Olsen og Frivoll forståelse for hvorfor dette gjøres: «Hvis en rådgiver underdimensjonerer et anlegg vil han/hun kunne bli stilt økonomisk ansvarlig. Det er derfor naturlig at rådgiverne legger inn en god sikkerhetsmargin» legger Olsen til [27]. Teknisk direktør i AF Energi nevner også at rådgiverne med fordel kunne ettervaluert prosjekter i forhold til riktig dimensjonering.

Tenisk direktør Tor Olsen nevnte også at AF Energi opplever at rådgiverene beregner maks samtidighet, og legger inn for liten demping av samtidighetsfaktor. «Internlaster blir regnet inn uten i stor grad å dempe samtidighetsfaktoren» [27]. AF Energi sin erfaring er at personbelastningen på kontorplassen sjeldent er over 50 – 60 prosent, det vil si at ansatte sitter kun litt over halve tiden på sin egen kontorpult i løpet av dagen. Resten av dagen sitter man i møter, både internt og ekstern, og i kantine, og noen sitter til og med hjemme. Tar man høyde for full belastning samtidig på både kontor og møterom, medfører beregningene for høy internvarme fra både personer og utstyr. Ida Bryn bekrefter også at samtidighet på utstyret ofte ikke tas hensyn til.

Ida Bryn mener rådgiverne, så langt det lar seg gjøre, dimensjonerer med reelle verdier, men at dette varierer i bransjen. Problemer er imidlertid at effektene rådgiverne får tilsendt er ofte merkeeffekt på utstyret, og ikke reell belastning. Etter en undersøkelse Bryn selv hadde gjort på ett bygg, kom de frem til at reell effekt var en sjettedel av effekten som var oppgitt på utstyret, noe som vil ha stort utslag på varmetilskuddet. Hun legger også til at den standardiserte beregningsmetodikken ikke tar hensyn til enkelte store varmelaster, som eksempelvis serverrom, som fremkommer i en rekke bygg med kjøling.

Prislappen på kjøleanlegg ser ikke Avantor som en hindring for investering, og de innstallerer alltid kjøling i næringsbygg, enten fjernkjøling eller kjølemaskiner. Frivoll legger imidlertid til at tilknytting til fjernkjøling er å foretrekke. «Ved tilknytting til fjernkjøling legges mye av vedlikehold og driftskostnadene på en tredjepart» legger han til. Tilknytting til fjernkjøling frigjør areal, både i teknisk sentral og takareal, sammenlignet med kjøling ved hjelp av kjølemaskiner. Resultatet er mer utleid areal, og sistenevnte har de siste årene blitt spesielt viktig med tanke på grønne og blå tak.

Tilslutt legger Olsen til viktigheten av riktig dimensjonering av kjøleanlegg, da han nevner at investeringen per kW er mer enn dobbelt så høy som for varmeanlegg.

Utdypelser etter kvalitativ undersøkelse

Fuktig luft & entalpi på luft

Et viktig moment fra undersøkelsen er forskjellen på tørrkjøling og kondensering, der mange rådgivere antar større grad av kondensering enn nødvendig. Kondenseringen fører til høyere energibruk, da en må fjerne kondensasjonsvarme [4].

Mollierdiagrammet ble brukt for å se på forskjellen i entalpi ved å kjøle med reelle fuktigheter hentet fra YR, sammenlignet med en antatt fuktighet av rådgiver. Ved dimensjonering er det vanlig å bruke 26 °C og RF på 50 prosent [28]. Kombinasjonen av høy temperatur og høy uteluftfuktighet gir svært stort utslag på effekten ved kjøling, dette uttrykkes ved luftens entalpi [28]. Ofte dimensjoneres inneklime etter ekstremt uteklime, noe som ikke opptrer ofte. Dermed er det sentralt å tenke på hvor ofte en tilstand med høy temperatur og luftfuktighet faktisk inntreffer.

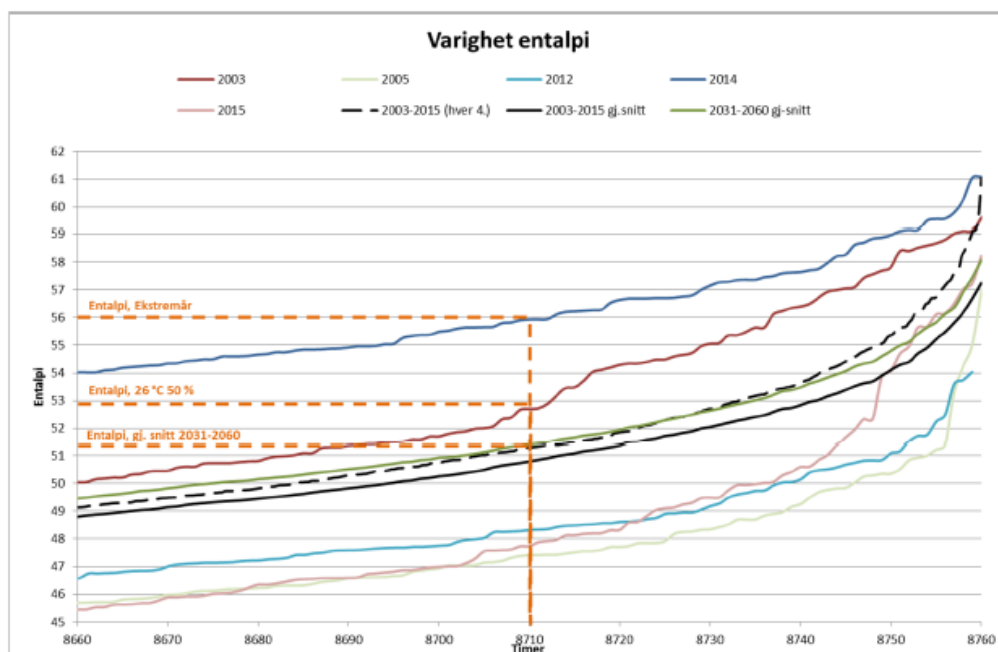
For å illustrere differansen mellom hva som er normalt å dimensjonere med, mot realistiske tall er det tatt utgangspunktet i to varme sommerdager i henholdsvis 2020 og 2021. Værdata er hentet fra YR og er fremstilt i Tabell 19, samt utdypende data i vedlegg A4 [28]. Værdataen viser at relativ fuktighet er høyere om natten, men at når temperaturen stiger utover dagen, faller den relative fuktigheten til 25 – 27 prosent.

Luften kjøles ned fra maks temperatur den respektive dagen, til 16 °C på ventilasjonstilluften.

Tabell 19: Værdata hentet fra YR historik for 19.juni.2020 og 3.juli.2021

Dato	Klokkeslett	Maks. temp [°C]	Relativ luftfuktighet [%]
03.07.21	18:00	29,8	26
19.06.20	16:00	30,1	27

Figur 29 [28] viser varighetskurve for ekstremårene i perioden 2003 - 2015 og en gjennomsnittskurve fra årene, samt gjennomsnittskurve for fremskrivingen til 2031 - 2060. Figuren er konservativ med tanke på kravet om overskridelse på 50 timer i arbeidstiden fra TEK 17. Ved bruk av DUT_s vil bygget klare klimakravet alle år utenom ekstremåret 2014, da ville man trenge å øke entalpien til 56 kJ/kg. Ser man på gjennomsnittverdiene for 2031-2060, ville man kunne senke entalpien til 51 kJ/kg.



Figur 29: Varighetskurve entalpi med utvalgt ekstremår i perioden 2003-2015, samt gjennomsnitt 2003-2015 og fremskrivingen 2031-2060. Hentet fra Livsvitenskapsbygget: Dimensjonerende varme- og kjøleeffekter [28]

Effektbehovet er proporsjonalt med differansen mellom uteluftens entalpi og ønsket entalpi på tilluften, se nest siste kolonne i Tabell 20. Konsekvensen ved ulike valg av relativ fuktighet for effektbehovet er vist i siste kolonne. For å se utregninger i Mollierdiagrammet, se vedlegg A5 og A6.

Tabell 20: Differansen mellom entalpi ved maks utetemperatur og ønsket entalpi på tilluften for reelle verdier og DUTs for 03.07.2021 og 19.06.2020

Dato		Entalpi ved maks utetemp [kJ/kg]	Entalpi ved 16 °C [kJ/kg]	Differanse	Prosent avvik [%]
03.07.21	Reellt	45	32	13	23,5
	DUT _s	62	45	17	
19.06.20	Reellt	47	32	15	37,5
	DUT _s	67	43	24	

Ved bruk av en relativ fuktighet 50 prosent, vil kjøleeffekten øke med henholdsvis 23,5 og 37,5 prosent sammenlignet med verdiene hentet fra YR for 03.07.2021 og 19.06.2020. Tallene er imidlertid kun vist som en illustrasjon på hvordan effektbehovet øker.

Sammenligner man Tabell 20 med verdiene i Figur 29 ser man at for å være på den sikre siden bør anlegget dimensjoneres for å takle fremskrivingen for 2031 - 2060 og gjennomsnittet for 2003 – 2015, og bør dermed ligge på en entalpi nærmere 51 kJ/kg.

5.2 Analyse av påvirkning og reduksjon av kjølebehovet

5.2.1 Påvirkning av internlast

Tabell 21 viser en oversikt over normerte laster hentet fra NS 3031, sammenlignet med de faktiske lastene for Nydalsveien 28, både for 100 og 50 prosent samtidighet. Tallene viser at varmetilskudd fra belysning og tenisk utstyr er mest avgjørende. Dermed vil reduksjon av utstyr og belysning være det mest åpenbare skrittet å ta for ett næringsbygg. Dette innebærer bedre energistyring, der utstyr blir avslått om natten, og mer effektiv teknologi som LCD-skjermer med lavt strømforbruk og LED-belysning.

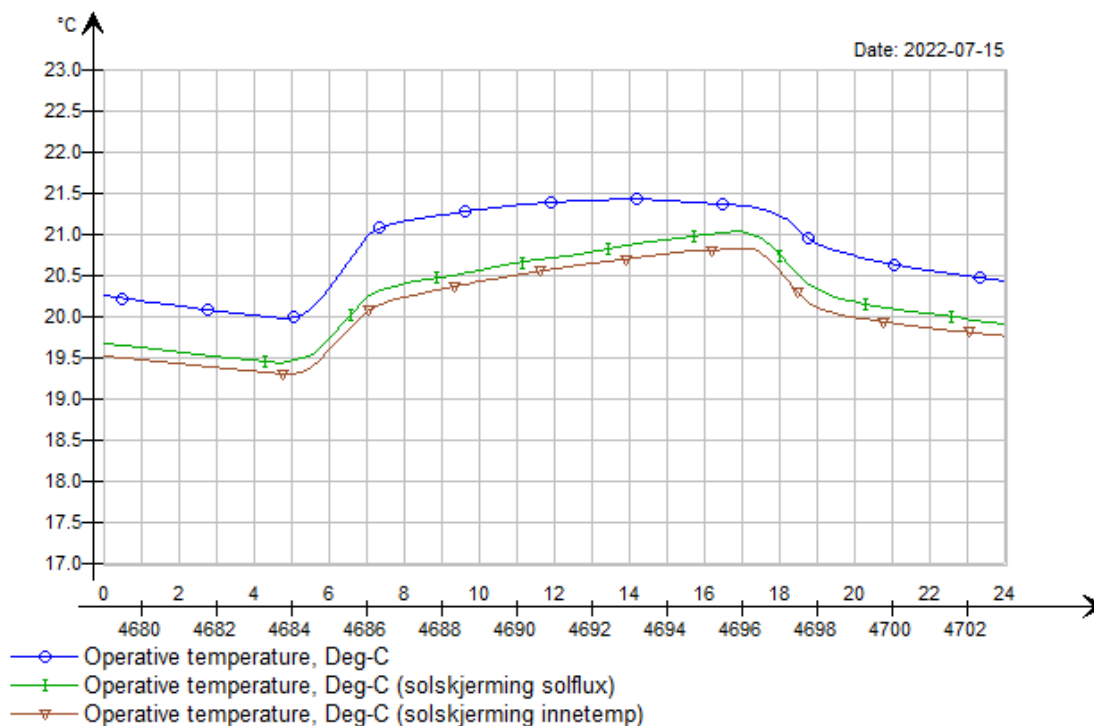
Tabell 21: Varmetilskudd fra personer, belysning og utstyr fra NS 3031 mot faktiske laster i Nydalsveien 28

	Normerte laster [W/m ²]	Faktiske laster, 100 % [W/m ²]	Faktiske laster, 50 % [W/m ²]
Personer	4,00	5,33	2,66
Belysning	8,00	5,48	4,7
Utstyr	11,00	9,3	4,65

5.2.2 Simuleringer i IDA-ICE

Solskjermingsstrategier

Solskjerming er simulert for to ulike solskjermingsstrategier (regulering med solflux og regulering ved innetemperatur), og sammenlignet med grunnlagsmodell uten solskjerming. Resultatene viser hvordan de ulike løsningene påvirker den operative temperaturen, slik som vist i Figur 30. Uten solskjerming, den blå kurven, kan man se at temperaturen er høyere, mens regulering etter innetemperatur ser ut til å være den mest effektive reguleringen med tanke på operativ temperatur. Det er liten differanse mellom regulering av solflux på 100W/m² og innetemperatur på 22 °C.



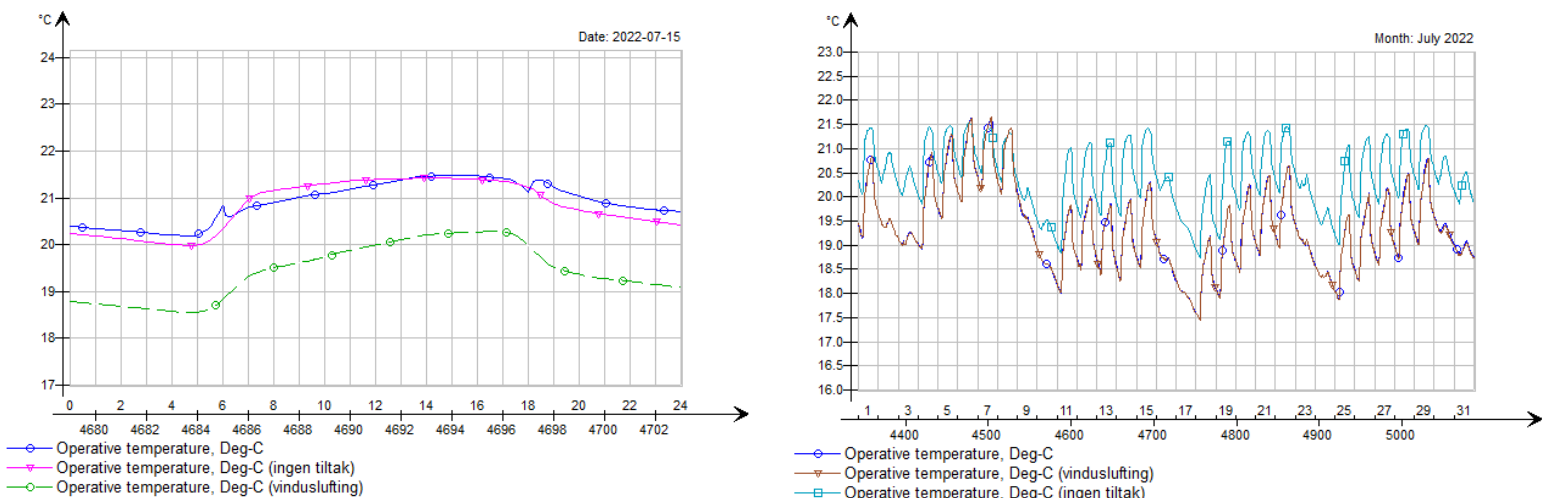
Figur 30: Operative temperaturen i sonen uten solskjerming, samt med solskjerming som reguleres på solflux og etter innetemperatur

Nattventilasjon

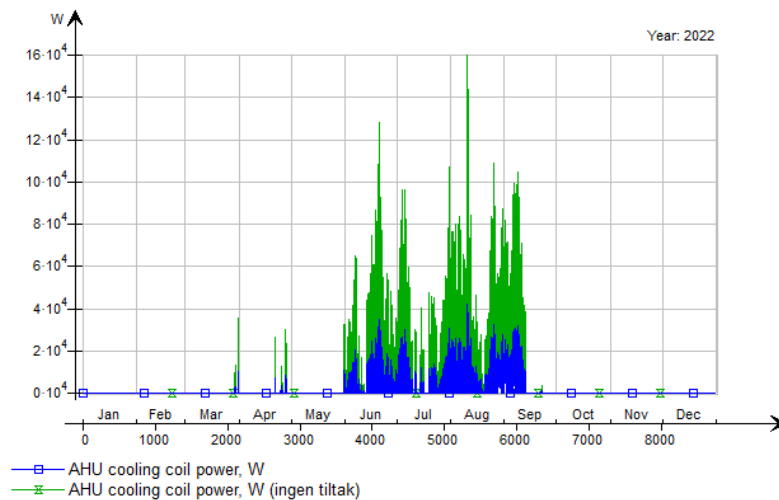
To nattventilasjonsstrategier, et naturlig og et hybridsystem, ble utviklet og simulert for sonen. Månedene juni, juli og august ble fokusert på, hvor daglige variasjoner i utetemperaturen vanligvis er 10 til 15 °C. For beregningene ble begge strategiene sammenlignet med et basistilfelle uten aktivert nattventilasjon, bare bruk av CAV på redusert luftmengde.

Luftens strømningshastighet for de to strategiene var forskjellige. Den naturlige ventilasjonen hadde dynamiske luftmengder bestemt av det effektive åpningsområdet for vinduene og differansen mellom innendørs og utendørs lufttrykk. Mens hybrid strategien ble luftstrømmene forårsaket av konstante hastigheter kontrollert av avtrekksviften.

Figur 31 viser temperaturforløpet for de ulike strategiene, over en sommerdag og en måned, henholdsvis 15.juli.2022 og juli 2022. Man kan for begge tilfellene se effekten av vinduslufingen om natten, der temperaturen over dagen holdes om lag 1 °C lavere. Figur 32 viser effektbehovet til kjølebatteriet med og uten vinduslufing, der effekttoppene reduseres betraktelig.



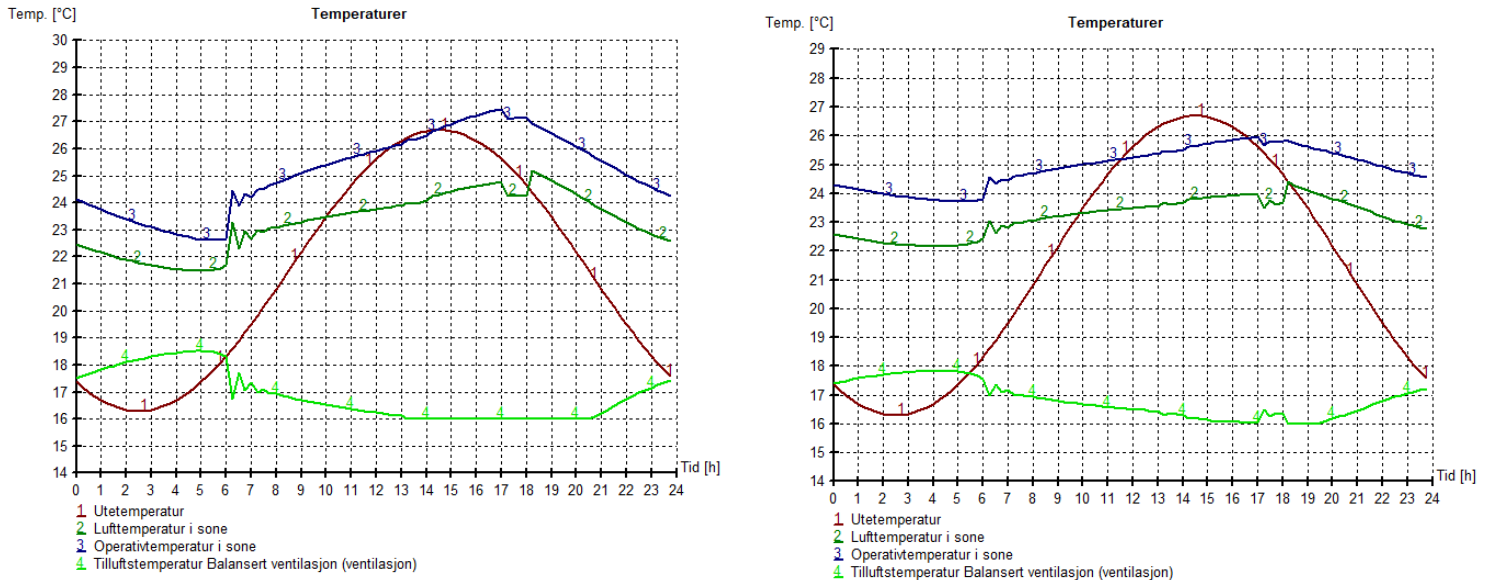
Figur 31: Temperaturforløp for de ulike nattventilasjonsstrategiene. Venstre figur illustrerer forløpet over en dag, 15.juli, mens høyre figur viser over måneden juli.



Figur 32: Effekt til kjølebatteriet med og uten vinduslufing

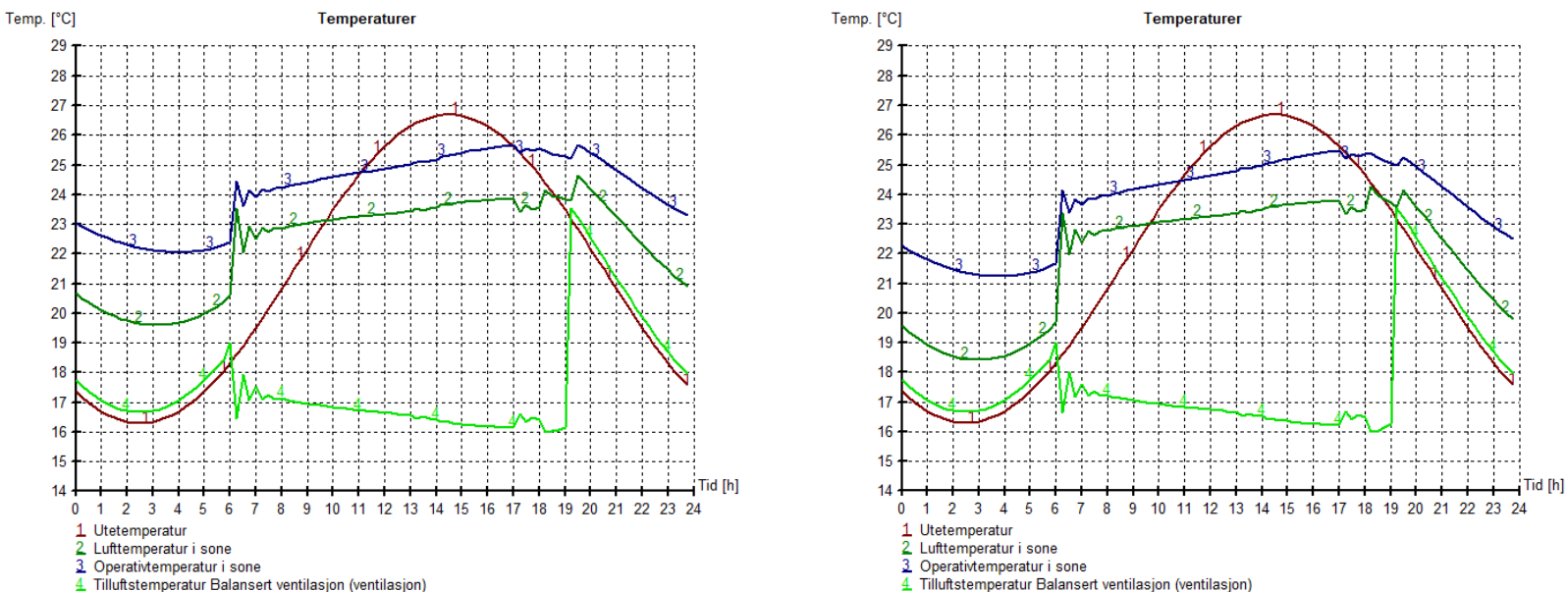
Termisk masse

Figur 33 viser temperaturforløpet for bygget før og etter tiltak med termisk masse, her kan man se at innetemperaturen reduseres betraktelig, og utjevner temperatursvingningene i løpet av dagen. I bildet til høyere, med 100 mm eksponert betong i veggene, greier innetemperaturen å holde seg under maksimal utetemperatur gjennom hele dagen.



Figur 33: Temperaturforløp for bygget før og etter tiltak med termisk masse. Grafen til venstre viser grunnlagsmodellen med gips innervegger, mens grafen til høyre viser 100 mm betong innervegger

Figur 34 viser en kombinasjon av termisk masse og nattventilasjon, der man kan se at tilluftstemperaturen følger utetemperaturen fra 19:00 – 06:00.



Figur 34: Kombinasjon av termisk masse og nattventilasjon. Venstre bildet viser nattventilasjon og høyre viser nattventilasjon med vinduslufing

5.3 Analyse av potensielle kostnadsbesparelse

5.3.1 Neddimensjonering av kjøleanlegg med kjølemaskin

Tabell 22 viser besparelser knyttet til investering og drift- og vedlikehold ved neddimensjonering av kjøleanlegg med maskinpark. Kjøleanlegget i dag er dimensjonert for 1.100 kW, og estimerte kostnader knyttet til denne investeringen er ca. 15 millioner kroner. De to resterende kolonnene i tabellen viser beregnet investering for neddimensjonering, samt kostnadsreduksjonen ved neddimensjonering til 600 kW (høyeste effektuttak for Nydalsveien 28). For utregninger av investeringskostand oppdelt på komponentnivå, se vedlegg C3.

Tabell 22: Besparelser ved neddimensjonering av kjøleanlegg med kjølemaskin

	1.100 kW	600 kW	Besparelse
<i>Investeringskostnad</i>	15 069 390	9 713 760	5 355 630
<i>Drifts- og vedlikeholdskostnad (5%)</i>	753 470	485 688	267 782
SUM	15 822 860	10 199 448	5 623 412

Ved dimensjonering med realistiske verdier tilpasset hvert enkelt bygg reduseres investeringkostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader betraktelig. Med en optimal dimensjonering til 600 kW reduseres kostnadene med over 5,5 millioner kroner.

I eksempelet er den kun sett på ventilasjonskjøling, i bygg med kjølebaffler i alle rom ville merkostnaden vært betraktelig større.

5.3.2 Neddimensjonering av kjøleanlegg med fjernkjøling

Tabell 23 viser besparelser knyttet til investering og drift- og vedlikehold ved neddimensjonering av kjøleanlegget med fjernkjøling. Kjøleanlegget i dag er dimensjonert for 1.100 kW, og estimerte kostnader knyttet til denne investeringen er om lag 7,5 millioner kroner. De to resterende kolonnene i tabellen viser beregnet investering for neddimensjonering, samt kostnadsreduksjonen ved neddimensjonering til 600 kW (høyeste effektuttak for Nydalsveien 28). For utregninger av investeringskostand oppdelt på komponentnivå, se vedlegg C3.

Tabell 23: Besparelser av neddimensjonering av kjøleanlegg med fjernkjøling

	1.100 kW	600 kW	Besparelse
<i>Investeringskostnad</i>	7 011 800	4 999 260	2 363 130
<i>Drifts- og vedlikeholdskostnad (3%)</i>	220 872	149 978	70 894
SUM	7 583 262	5 149 238	2 434 024

Ved dimensjonering med realistiske verdier tilpasset hvert enkelt bygg reduseres investeringkostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader betraktelig. Med en optimal dimensjonering til 600 kW reduseres kostnadene med om lag 2,4 millioner kroner.

I eksempelet er den kun sett på ventilasjonskjøling, i bygg med kjølebaffler i alle rom ville merkostnaden vært betraktelig større.

5.3.3 Abonnert effekt

Bedriften betaler for abonnert effekt fra første kjøleleveranse og til utgangen av femte hele kjølesesong, deretter målt effekt resten av avtaleperioden.

Det er kun utregnet effektleddet, da det kun er dette leddet som er relevant for neddimensjoneringen. Tabell 24 viser en oversikt over kostnaden for abonnert effekt ved dagens situasjon på 1.100 kW, og besparelsen for neddimensjonering til reell effekt.

Tabell 24: Besparelser for abonnert effekt

	Fast kr/år	Variabel kr/kW år	SUM
1.100 kW	56 000	640	760 000
600 kW	56 000	640	440 000
Besparelse per år			320 000
Total besparelse 5 år			1 600 000

5.3.4 Total kostnadsbesparelse for Nydalsveien 28

Den totale kostnadsbesparelsen for Nydalsveien 28 ved riktig dimensjonert anlegg blir summen av kostnadsreduksjonen for investering, samt drift og vedlikehold og besparelsen av abonnert effekt over 5 år. Kjølingen skjer ved hjelp av fjernkjøling, dermed er besparelsene i Tabell 25 brukt.

Tabell 25: Total kostnadsbesparelse for Nydalsveien 28

	1.100 kW	600 kW	Besparelse
Investeringskostnad	7 011 800	4 999 260	2 363 130
Drifts- og vedlikeholdskostnad over 5 år	1 104 360	749 890	354 470
Abonnert effekt for 5 år	3 800 000	2 200 000	1 600 000
SUM	11 383 262	7 349 238	4 317 600

Om anlegget ble dimensjonert for 600 kW fra start, ville dette medført en besparelse på om lag 4,3 millioner kroner for Nydalsveien 28.

6 Konklusjoner

I dette kapitlet diskuteres de mest betydelige funnene gjennom masteroppgaven. I første del av kapitlet vil de tre punktene fra kapittel «1.2 Problemstilling og formål» bli diskutert. Etterfulgt av en overordnet konklusjon til hvorfor kjøleanlegg overdimensjoneres, samt noen veiledninger til fremtidige prosjekter.

Hvorfor oppstår avvik mellom teoretisk beregnet og målt energi til kjøling i næringsbygg? Og hvordan skal man dimensjonere for å redusere dette?

Kartleggingen av interne varmetilskudd i Nydalsveien 28 har vist tildels store avvik mellom normerte verdier fra NS 3031 og de reelle lastene. Da verdiene i NS 3031 baserer seg på svært begrenset erfaringsunderlag er dette ikke overraskende. Samtidighet på internlastene gir også store utslag på varmetilskuddet, og undersøkelsen viser at for næringsbygg kan man ofte benytte en samtidighet på 50 prosent.

En viktig faktor for hvorfor kjøleanlegg overdimensjoneres er sikkerhetsmarginer, og frykten for å ikke ha tilstrekkelig med kjølekapasitet på sommerens varmeste dager. Simuleringene i SIMIEN viste at ved bruk av normerte verdier for varmetilskudd og driftstider resulterte det i 37 prosent overdimensjonering fra case byggets faktiske maksimale effektuttak. Arbeidstilsynet anbefaler en overkapasitet av ventilasjonsluftmengdene på 30 prosent, og resultatet i simuleringene var da en overdimensjonering på 46,6 prosent. Legger man i tillegg til en ytterligere sikkerhetsmargin på 20 prosent på den totale kjøleeffekten, overdimensjoneres kjøleanlegget med hele 55 prosent, som også var tilfelle fra Nydalsveien 28.

Videre antas en temperatur på 26 °C og relativ fuktighet på 50 prosent, som sjeldent opptrer i Oslo. Dermed er det ikke bare bruk av for høyt varmetilskudd og samtidighet på internlast som gir utslag, men resultatet av at det i alle ledd dimensjoneres etter «verst tenkelige dag».

Hvilke internlaster har størst påvirkning på kjølebehovet? Og hvordan redusere behovet?

Verdiene for varmetilskudd fra personer, belysning og utstyr, både de standardiserte og de reelle utregnet i masteroppgaven, viser at varmetilskudd fra belysning og teknisk utstyr er mest avgjørende. Dermed vil reduksjon av utstyr og belysning være det mest åpenbare skrittet å ta for ett næringsbygg. Dette innebærer bedre energistyring, der utstyr blir slått av om natten, og mer effektiv teknologi, som LCD-skjermer med lavt strømforbruk og LED-belysning.

Resultatet av tiltakene simulert i IDA-ICE viste potensial for lavere innetemperaturer ved passive tiltak. Av de to solskjermingsstrategiene som ble simulert, var regulering etter en innetemperatur på 22 °C mer effektiv enn regulering ut fra en solflux på 100 W/m².

Ved 100 mm eksponert betong i veggene, holdt innetemperaturen seg under maksimal utetemperatur gjennom hele dagen, i motsetning til tilfellet med gipsvegger. Innetemperaturen ble betraktelig redusert, og temperatursvingningene utjevnet seg i løpet av dagen.

I tilfellene med vinduslufting om natten holdt innetemperaturen seg om lag 1 °C lavere over hele dagen, enn ved tilfellet uten vinduslufting. Resultatet viste betraktelig reduksjon i effekttoppene, samt generelt lavere effektbehov til kjøling over året.

Hva er potensiell kostnadsbesparelse knyttet til neddimensjonering av kjøleanlegg og redusert betaling for effekt?

Gjennom den kvalitative undersøkelsen ble det vektlagt viktigheten av riktig dimensjonering av kjøleanlegg, da investeringen per kW er mer enn dobbelt så høy som for varmeanlegg. Anslaget for investeringskostnad for et kjøleanlegg, inkludert alle relevante komponenter, anslåes til å være om lag 18.500 kr/kW for kjøling med kjølemaskin og 10.400 kr/kW for fjernkjøling.

Gjennom forenklete beregninger ble det anslått en kostnadsbesparelse for Nydalsvien 28 på om lag 4,3 millioner kroner, ved riktig dimensjonering av kjøleanlegget. Besparelsen er summen av kostnadsreduksjonen for investering, samt drift og vedlikehold og besparelsen av abonnert effekt over 5 år.

Kostnadsvurderingen ble gjort med beregningsgrunnlag som innehar usikkerhet, og bør derfor behandles som et estimat og ikke faktisk kostnad. Det anbefales at Avantor eller en tredje part får tilgang til tilstrekkelig dokumentasjon som gjør en presis kostnadsvurdering mulig.

6.1 Overordnet konklusjon

Analyse av eksisterende data for Nydalsveien 28 viser at kjøleanlegget er overdimensjonert med hele 55 prosent. Det er estimert at denne overdimensjoneringen har kostet bygget om lag 4,3 millioner kroner i merkost på investering, samt drift- og vedlikehold og abonnert effekt de siste 5 årene, sammenlignet med en korrekt dimensjonering.

Med økende utetemperaturer er det viktigere enn noen gang å finne gode kjøletekniske løsninger, og ikke minst redusere kjølebehovet. Hensiktsmessig bygningsutforming, solavskjerming, dagslysstyring og valg av energieffektiv belysning og utstyr, vil i stor grad begrense behovet. Tiltak som termisk masse og nattventilasjon, og spesielt en kombinasjon av disse, er bevist at er svært effektive tiltak for å redusere den operative temperaturen i bygget. Imidlertid vil mange bygg uansett ha et kjølebehov, og da er ett energieffektivt kjøleanlegg med optimal styring avgjørende for ett energieffektivt bygg.

Resultatene av de faktiske internlastene i Nydalsveien 28 mot de normerte verdiene, gir en påminnelse om hvorfor det er viktig å ikke forveksle de standardiserte beregningene, som i dag gjøres for å dokumentere et bygg sin energiytelse, opp mot myndighetskrav med forventet energibruk.

Det forventes at kjøling blir langt mer utbredt i nærmere fremtid, men bransjen har fremdeles ikke tilstrekkelig erfaringstall til hvordan løsninger skal dimensjoneres, og utformes best mulig. Følgende erfaringer bør dermed tas videre:

- Resultatene i oppgaven viser hvor viktig det er at hvert bygg, selv innenfor hver bygningskategori, vurderes separat. Det anbefales å bruke god tid til kartlegging av reelle laster og deres driftstid, samt analysere hvordan bygget skal driftes og brukes etter ferdigstillelse. Det anbefales å se nøye på samtidigheten av internlastene, og i kontorbygg kan samtidigheten av personer og utstyr som oftes settes til om lag 50 prosent.
- Ved utregning av varmetilskuddet fra teknisk utstyr bør den reelle effekten på utstyret legges til grunn, og ikke merkeeffekten. Den reelle effekten kan være så mye som en sjettedel av merkeeffekten, og dette bør hensyntas.
- Kombinasjonen av høy temperatur og høy uteluftfuktighet gir svært stort utslag på effekten ved kjøling. Det er dermed sentralt å tenke på hvor ofte en tilstand med høy temperatur og luftfuktighet faktisk inntreffer. For å være på den sikre siden bør anlegget dimensjoneres for å takle fremskrivingen for 2031 - 2060 og gjennomsnittet for 2003 – 2015, og bør dermed ligge på en entalpi nærmere 51 kJ/kg, som tilsvarer 26 °C og en relativ fuktighet på 46 prosent.
- En siste viktig oppfordring er at rådgivere med fordel kunne etterevaluert prosjekter i forhold til riktig dimensjonering, for bedre forståelse for virkelig energibruk kontra teoretisk beregnet energibruk.

Avslutningsvis er det viktig at bransjen utfordrer gamle metoder og utdaterte erfaringstall. Undersøkelsen har vist at å bruke mer tid til dimensjonering og prosjektering ikke nødvendigvis er fordyrende, men at det er mye penger å spare ved å dimensjonere med korrekte forutsetninger.

7 Referanser

- [1] «Fjernvarme,» Norsk fjernvarme, [Internett]. Available: <https://www.fjernvarme.no/fakta/fjernkjoling>. [Funnet 12 04 2022].
- [2] DiBK, «Dette er energikravene i byggt teknisk forskrift,» 13 02 2018. [Internett]. Available: <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/dette-er-energi-kravene-i-byggt-teknisk-forskrift/>. [Funnet 14 04 2022].
- [3] I. R. Ørnes, «Kjøling i bygg,» Erichsen & Horgen, Oslo, 2011.
- [4] Byggindustrien, «Slik sikrer du effektiv kjøling i næringsbygg,» Byggindustrien bygg.no, 07 08 2013. [Internett]. Available: <https://www.bing.com/search?q=Bygg+slik+sikrer+du+effektiv+kj%C3%B8ling&cvid=653f860d16ba4782901d35255329bf1a&aqs=edge..69i57.8366j0j1&pqlt=41&FORM=ANNAB1&PC=U531>. [Funnet 21 03 2022].
- [5] R. H. Bjørnland, «Utnyttelse av fordrøyningsmagasin for regnvann til termisk akkumulering,» NMBU, Ås, 2017.
- [6] T. H. Dokka, A. G. Lien og M. Thyholt, «Kartlegging av mekanisk kjøling i nye kontor- og forretningsbygg,» SINTEF, Trondheim, 2001.
- [7] T. H. Dokka, A. Svensson, T. Wigenstad, I. Andresen, I. Simonsen og T. F. Berg, «Energibruk i bygninger: Nasjonal database og sammenligning av beregnet og målt energibruk,» SINTEF, Oslo, 2011.
- [8] J. Stene og O. Ø. Smedegård, «Hensiktsmessige varme- og kjøleløsninger i bygninger,» Cowi, Trondheim, 2013.
- [9] J. Skree og J.-D. Vatndal, «Energibruk i bygg - Rammer, krav og muligheter,» Norsk Teknologi, Oslo, 2008.
- [10] BELIMO, *Power Point på bedriftspresentasjon*, Oslo: BELIMO, 2022.
- [11] DiBK, «Byggt teknisk forskrift (TEK 17) med veiledning,» Direktoratet for byggkvalitet, 01 10 2020. [Internett]. Available: <https://dibk.no/regelverk/byggt-teknisk-forskrift-tek17/>. [Funnet 21 03 2022].
- [12] I. Bryn, Interviewee, [Intervju]. 2022.
- [13] Arbeidstilsynet, «Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen,» Direktoratet for arbeidstilsynet, Oslo, 2006.
- [14] D. P. Jenkins, «The importance of office internal heat gains in reducing cooling loads in a changing climate,» Energy Academy, Edinburgh, 2009.
- [15] «Lover: Lovdata,» Lovdata, [Internett]. Available: <https://lovdata.no/register/lover>. [Funnet 14 03 2022].
- [16] «Norsk Standard,» Standard Norge, 16 09 2021. [Internett]. Available: <https://www.standard.no/standardisering/norsk-standard/>. [Funnet 14 03 2022].
- [17] «NVE,» Noregs vassdrags- og energidirektorat, 08 07 2009. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/konsesjon/konsesjonsbehandling-av-fjernvarme/lover-og-regler/>. [Funnet 14 03 2022].
- [18] Lovdata, «Energiloven - enl,» Lovdata, 01 08 2021. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50>. [Funnet 21 03 2022].
- [19] Statkraft, «Prismodell: Statkraft,» Statkraft, [Internett]. Available: <https://www.statkraftvarme.no/kundeservice/priser/prismodell/>. [Funnet 14 04 2022].
- [20] V. Novakovic, ENØK i bygninger - Effektiv energibruk, Gyldendal undervisning, 20017.
- [21] F. Holthe, «Effekt- og energibehov ved klimakjøling i yrkesbygg,» Institutt for klima og kuldeteknikk, Trondheim, 1995.
- [22] J. Olsen, N. I. Andreassen og J. Lundblad, «Direkte tre-rørssystem i Dronninglunden - Erfaringer til fremtidens bygg,» OsloMet, Oslo, 2020.
- [23] Standard Norge, «SN-NSPEK 3031:2021: Bygningers energiytelse,» Standard Norge, 2021.
- [24] S. Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk Del I, Oslo: Skarland Press, 2018.
- [25] Standard Norge, «NS-EN ISO 7730:2005: Ergonomi i termisk miljø - Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort,» Standard Norge, Oslo, 2006.
- [26] «Breeam-Nor v6.0 for nybygg,» BREEAM NOR, Oslo, 2022.
- [27] T. Olsen, *Teknisk Direktør AF Energi*, Oslo: Muntlig kilde, 2022.

Firgurliste

Figur 1: Nydalsveien 28, oppdelt i fire ulike blokker.....	9
Figur 2: Effektkurver for oppvarming og kjøling i et kontorbygg [21].....	13
Figur 3: Hypotetisk døgnvariasjon av kjøleeffekt for ett kontorbygg	14
Figur 4: Effektvariasjon for belysning i kontorbygg illustrert av tall hentet fra NS 3031.....	15
Figur 7: Effektvariasjon for teknisk utstyr i kontorbygg hentet fra NS 3031	16
Figur 9: Effektvariasjon for personer i kontorbygg hentet fra NS 3031	17
Figur 10: Systemskisse av kjølekretsen hentet fra SD-anlegget	18
Figur 8: Illustrasjon av metodedelen	21
Figur 20: Andel nyttebar internlast ved ulike graddager og ulike byggt tekniske standarder.....	24
Figur 21: Ida Bryn. Bildet hentet fra VVS Forum	26
Figur 22: Tor Olsen. Bildet hentet fra Nemitek	26
Figur 23: Jostein Odden. Hentet fra Avantor	26
Figur 24: Roy Åge Frivoll. Hentet fra ITB Aktuelt.....	26
Figur 25: Nydalsveien 28 fremstilt i IDA ICE.....	27
Figur 27: Illustrasjon av sone	27
Figur 29: Bildet til venstre viser kart over Nydalsveien 28. Bildet til høyre viser orientering og skyggeelementene lagt inn i simuleringprogrammet	Feil! Bokmerke er ikke definert.
Figur 30: Utvalgt kjølereduserende tiltak som simuleres i masteroppgaven.....	28
Figur 31: Makro av solskjermingsstrategi som reguleres etter innetemperatur.....	29
Figur 32: Strategi for naturlig ventilasjon	29
Figur 33: Strategi for hybrid ventilasjon.....	29
Figur 34: Makro for vindusåpning signal for naturlig natt ventilasjon	30
Figur 35: Makro for vindusåpning signal for hybrid natt ventilasjon	31
Figur 37: Effekt for fjernkjøling for 2018 & 2019	34
Figur 41: Varighetskurve entalpi med utvalgt ekstremår i perioden 2003-2015, samt gjennomsnitt 2003-2015 og fremskrivingen 2031-2060. Hentet fra Livsvitenskapsbygget: Dimensjonerende varme- og kjøleeffekter [28]	38
Figur 43: Operative temperaturen i sonen uten solskjerming, samt med solskjerming som reguleres på solflux og etter innetemperatur	40

Tabell liste

Tabell 1: Gjennomsnittelig varmetilskudd hentet fra SN-NSPEK 3031:2021 for kontorbygg.....	15
Tabell 2: Oversikt over effektbehov for vanlige typer teknisk utstyr i kontorbygg.....	16
Tabell 3: Tabell for standard brukertetthet for ulike bygningsfunksjoner. Hentet fra tabell Tra 02-05 i BREEAM-NOR Teknisk manual Vol 6.0	17
Tabell 4: Oversikt over aggregater i Nydalsveien 28.....	18
Tabell 5: Oversikt over belysning med styring.....	19
Tabell 6: Oversikt over teknisk utstyr for ulike soner i Nydalsveien 28 med tilhørende effektbehov og driftstid	20
Tabell 7: Oversikt over antatt tilstedeværelse i de ulike områdene i Nydalsveien 28	20
Tabell 8: Generell byggt teknisk informasjon av bygget.....	22
Tabell 9: Inndata for varme- og kjølesystem for realistisk og normert simulering	22
Tabell 10: Inndata for internlast for realistisk og normert simulering.....	23
Tabell 11: Andel nyttbar internlast fra belysning (forenklet)	23
Tabell 12: Informasjon om sone.....	27
Tabell 13: Tidskjema og varmetilskudd fra sonens internlast	28
Tabell 14: Termiske egenskaper til betong.....	32
Tabell 15: Nøkkeltall for Nydalsveien 28, hentet fra byggets EOS	34
Tabell 16: Spesifikt kjølebehov for de ulike dimensjoneringsgrunnlagene	35
Tabell 17: Spesifikk maksimal kjøleeffekt for de ulike dimensjoneringsgrunnlagene, samt avviket fra Nydalsveien 28 sitt faktiske maksimale kjøleeffekt	36
Tabell 18: Værdata hentet fra YR historik for 19.juni.2020 og 3.juli.2021	38
Tabell 19: Differansen mellom entalpi ved maks utetemperatur og ønsket entalpi på tilluften for reelle verdier og DUTs for 03.07.2021 og 19.06.2020	39
Tabell 20: Varmetilskudd fra personer, belysning og utstyr fra NS 3031 mot faktiske laster i Nydalsveien 28	40
Tabell 21: Besparelser ved neddimensjonering av kjøleanlegg med kjølemaskin	43
Tabell 22: Besparelser av neddimensjonering av kjøleanlegg med fjernkjøling.....	43
Tabell 23: Besparelser for abonnert effekt	44
Tabell 24: Total kostandsbesparelse for Nydalsveien 28	44

Formelliste

Formel 1: Avgitt varme til omgivelsene.....	12
Formel 2: Anleggets effektivitet.....	12
Formel 3: Andel nyttbart varmebidrag fra belysning.....	23
Formel 4: Prismodell for næringskunder	33
Formel 5: Beregning av effektledd for abonnert effekt	33

VEDLEGG

Vedlegg A1

Nydalsveien 28

Armaturliste

19.08.2014	C20-R300 228HF SL	D70-R155 LED 1400 HF 840 SI	D70-R108 LED 700 DALI 840 MB	D70-R195 LED 3000 DALI 840 SI	OULO 4252 440DALI	S70 MIDI LED 2000 DALI 840 14°	C62-R600 414HF SL/CL	C50-R 128DALI OP	Reed 40/60 LED 6000 DALI 840 MP	A10-S440 LED 2500 HF 840	SLIMLINE LED STRIP 1500mm	EMINENT 249HF CL	EMINENT 128HF CL	C20-S3 250 235HF SL	C20-R300 228HF SL	A40-W 128HF OU	A40-W 124 OU	D70-R195 LED 3000 HF 840 SI	D70-R108 LED 700 HF 840 MB	D70-R155 LED 1400 830 SI IP55 CL	O86-W LED 2x500 840 OP	D81-R220 70W HIT	
	UP1	UP2	UP3	UP4	UP5	UP6	UP7	UP8	UP9	UP10	UP11	UP12	UP13	UP14	UP15	UP16	UP17	UP18	UP19	UP20	UP30	UP31	
U2. Etg		49								6		14	4	13		2			8				
U1. Etg	38	158	80	120			17			8	1	12	5	3	30	5		11	9			7	
1. Etg	135	161	55	70	18	40		11	2	8		4	5	4	3	6	2	30	30			5	10
2. Etg	166	187	40	29						8	4	1	5	2	5	6	2	30	36			3	
3. Etg	166	187	40	29	0	0	0	0	0	8	4	1	5	2	5	6	2	30	36	0		3	0
4. Etg	181	193	44	32						8	4	1	5	2	6	6	2	32	36			3	
5. Etg	181	193	44	32	0	0	0	0	0	8	4	1	5	2	6	6	2	32	36	0		3	0
6. Etg	69	83	12	9						6	2	23	5		3	4		16	18			2	
7. Etg	42	59	12	9	0	0	0	0	0	4	1	1	3	0	2	2	0	12	9				
8. Etg	42	59	12	9	0	0	0	0	0	4	1	1	3	0	2	2	0	12	9				
9. Etg	42	59	12	9	0	0	0	0	0	4	1	1	3	0	2	2	0	12	9				
10. Etg	42	59	12	9						4	1	1	3		2	2		12	9				
11. Etg	42	59	12	9	0	0	0	0	0	4	1	1	3	0	2	2	0	12	9				
12. Etg	32	43	8	6						4	1	1	3		2	2		8	9			1	
13. Etg		2								2		19	3					2				1	
Totalt	1178	1551	383	372	18	40	17	11	2	86	25	82	60	28	70	53	10	259	255	6	0	28	10

Vedlegg A2

ENERGIKRAV TEK	TEK 10	TEK 07	TEK 97	TEK 87	TEK 69	TEK 49	Eldre
Begrensning glass/vindu/dørareal	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
U-verdi yttervegg [W/m ² K]	0,18	0,18	0,22	0,30	0,7 / 1,0	1,05	1,30
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,15	0,15	0,15	0,30	0,46	0,60	0,60
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	0,13	0,15	0,20	0,46 / 0,58	0,81	1,00
U-verdi vinduer/ dører [W/m ² K]	1,20	1,20	2,00	2,40	2,80	2,80	2,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² ,K]	0,03 / 0,06	0,03 / 0,06	0,03 / 0,06	0,05 / 0,12	0,05 / 0,12	0,04 / 0,08	0,03 / 0,06
Lufttetthet, lekkasjetall N50 [1/h]	1,5	1,5	1,5/3,0	1,5/3,0	2,5/3,0	2,5/3,0	2,5/3,0

Vedlegg A3

Beregning av nyttbart varmbidrag fra belysning og diverse teknisk komponenter, sett over et år, i funksjon av graddagstall/års.mid.temp og teknisk byggstandard

Modellspefike data	
Oppvarmet areal:	1000 m ²
Andel ytterveggareal:	60 % Ytterveggsareal/BRA
Andel vindusareal:	12 % Vindusareal/BRA
Etasjer:	2 stk
Etasjehøyde:	2,7 m
Tak- og gulvareal:	500 m ²
Solskjærming:	Variabel utvendig sydvegg
Kuldebroverdi:	0,03 -0,09 W/m ² K
Oppvarming:	Elektrisk
Virkningsgrad oppvarming:	100 % (For beregningens skyld)
Ventilasjon	CAV
Tilluft i driftstid	8 m ³ /h
Tilluft utenfor driftstid	2 m ³ /h
Gjennvinningsgrad	65-83 % (TEK avhengig)
Kjøling:	Nei
Belysningen	6 - 12 W/m ² (TEK avhengig)

Graddager 81-2010	Lokasjon	års. Mid. Temp	Verdi	Passivhus	TEK10	TEK97	TEK87	TEK69	TEK49
3452	Stavanger	8,4	Spes. Levert energi	78,3	101,4	131,6	171,9	211,7	242,5
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	64,3	87	117,2	158,4	200,9	232,5
			Nyttbart varmebidrag	25,5 %	42,6 %	54,0 %	64,1 %	71,3 %	73,4 %
3480	Kistiansand	7,9	Spes. Levert energi	81,2	107	139,9	183	225,4	257,6
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	68,1	93	125,2	168,1	212,6	245,4
			Nyttbart varmebidrag	30,3 %	44,2 %	53,0 %	60,4 %	66,0 %	67,6 %
3408	Sola	7,4	Spes. Levert energi	80,7	106,3	139,6	184,1	228,9	262,8
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	67,7	93,2	126,8	172,3	219,5	254,1
			Nyttbart varmebidrag	30,9 %	47,8 %	59,1 %	68,6 %	75,0 %	76,9 %
4052	Oslo	6,3	Spes. Levert energi	86,9	117,8	156,3	206,5	256,7	293,6
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	75,2	105,2	142,7	192,2	244	281,6
			Nyttbart varmebidrag	37,8 %	49,8 %	56,5 %	62,0 %	66,2 %	68,1 %
4245	Trondheim	5,1	Spes. Levert energi	86,1	116,9	156,3	208,7	262,5	302
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	74,5	105,1	144,6	197,7	253,6	293,8
			Nyttbart varmebidrag	38,3 %	53,0 %	62,6 %	70,7 %	76,3 %	78,2 %
4439	Kongsberg	4,7	Spes. Levert energi	90,9	124,7	166,7	221,9	278,2	319,4
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	79,7	112,8	154,1	209,2	267,3	309
			Nyttbart varmebidrag	40,4 %	52,6 %	59,7 %	66,2 %	71,0 %	72,3 %
4821	Mo i Rana	3,4	Spes. Levert energi	93,9	130,1	175,3	235,2	297,3	342,2
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	83,4	119,5	164,7	225	288,8	334,3
			Nyttbart varmebidrag	44,1 %	57,8 %	66,1 %	72,9 %	77,4 %	79,0 %

5055	Tromsø	2,9	Spes. Levert energi	91,8	128,4	174,8	236,6	301,5	348,4
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	82,2	119,6	167	230	296,5	343,7
			Nyttbart varmebidrag	48,9 %	64,9 %	75,1 %	82,4 %	86,7 %	87,5 %
5160	Hammerfest	1,9	Spes. Levert energi	93,8	132,6	182	247,9	317,2	366,7
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	84,6	124,5	175,1	241,9	312,5	362,2
			Nyttbart varmebidrag	51,1 %	67,7 %	78,0 %	84,0 %	87,5 %	88,0 %
5881	Røros	1,0	Spes. Levert energi	100,3	141,4	192,6	260,6	332	383
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	90,4	131,5	183,1	251,7	324,7	376,1
			Nyttbart varmebidrag	47,3 %	60,6 %	69,6 %	76,3 %	80,6 %	81,6 %
7025	Karasjok	-2,5	Spes. Levert energi	114,9	165,8	228,2	310,9	398,6	460,4
			Spes. Belyst energi	18,8	25,1	31,3	37,6	37,6	37,6
			Ny spes. Levert energi	106,8	158,1	221,4	304,7	393,4	455,5
			Nyttbart varmebidrag	56,9 %	69,3 %	78,3 %	83,5 %	86,2 %	87,0 %

Andel nyttbar internlast fra belysning (TEORETISK)									
Graddager 81-2010	Lokasjon	års. Mid. Temp	TEK:	Passivhus	TEK10	TEK97	TEK87	TEK69	TEK49
			Belysning:	6 W/m ²	8 W/m ²	10 W/m ²	12 W/m ²	12 W/m ²	12 W/m ²
3452	Stavanger	8,4		25,5 %	42,6 %	54,0 %	64,1 %	71,3 %	73,4 %
3480	Kistiansand	7,9		30,3 %	44,2 %	53,0 %	60,4 %	66,0 %	67,6 %
3408	Sola	7,4		30,9 %	47,8 %	59,1 %	68,6 %	75,0 %	76,9 %
4052	Oslo	6,3		37,8 %	49,8 %	56,5 %	62,0 %	66,2 %	68,1 %
4245	Trondheim	5,1		38,3 %	53,0 %	62,6 %	70,7 %	76,3 %	78,2 %
4439	Kongsberg	4,7		40,4 %	52,6 %	59,7 %	66,2 %	71,0 %	72,3 %
4821	Mo i Rana	3,4		44,1 %	57,8 %	66,1 %	72,9 %	77,4 %	79,0 %
5055	Tromsø	2,9		48,9 %	64,9 %	75,1 %	82,4 %	86,7 %	87,5 %
5160	Hammerfest	1,9		51,1 %	67,7 %	78,0 %	84,0 %	87,5 %	88,0 %
5881	Røros	1,0		47,3 %	60,6 %	69,6 %	76,3 %	80,6 %	81,6 %
7025	Karasjok	-2,5		56,9 %	69,3 %	78,3 %	83,5 %	86,2 %	87,0 %

Andel nyttbar internlast fra belysning (praktisk og justerte verdier)									
Totaljustering:	-15 %								
Innenlandsjustering:	5 %								
Kystbyjustering:	-5 %								
Graddager 81-2010	Lokasjon	års. Mid. Temp	TEK:	Passivhus	TEK10	TEK97	TEK87	TEK69	TEK49
			Belysning:	6 W/m ²	8 W/m ²	10 W/m ²	12 W/m ²	12 W/m ²	12 W/m ²
3452	Stavanger	8,4		20,4 %	34,1 %	43,2 %	51,3 %	57,0 %	58,7 %
3480	Kistiansand	7,9		25,8 %	37,6 %	45,1 %	51,3 %	56,1 %	57,4 %
3408	Sola	7,4		24,7 %	38,2 %	47,3 %	54,9 %	60,0 %	61,5 %
4052	Oslo	6,3		32,1 %	42,3 %	48,1 %	52,7 %	56,3 %	57,9 %
4245	Trondheim	5,1		27,6 %	40,0 %	48,2 %	55,1 %	59,9 %	61,5 %
4439	Kongsberg	4,7		36,4 %	47,3 %	53,8 %	59,6 %	63,9 %	65,1 %
4821	Mo i Rana	3,4		37,5 %	49,1 %	56,2 %	61,9 %	65,8 %	67,1 %
5055	Tromsø	2,9		39,1 %	52,0 %	60,1 %	66,0 %	69,4 %	70,0 %
5160	Hammerfest	1,9		40,9 %	54,2 %	62,4 %	67,2 %	70,0 %	70,4 %
5881	Røros	1,0		42,6 %	54,5 %	62,7 %	68,7 %	72,5 %	73,5 %
7025	Karasjok	-2,5		51,2 %	62,4 %	70,4 %	75,2 %	77,6 %	78,3 %

Vedlegg A4

Lørdag 3. juli

Tid	Vær	Min. temp.	Maks temp.	Målt temp.	Nedbar mm	Snødybde cm	Vind m/s	Kraftigste vindkast m/s	Luftfuktighet %
02	-	18,5°	18,9°	18,7°	0,0	-	4,6 ✓	5,8	54 %
03	-	17,7°	18,7°	17,7°	0,0	-	2,6 ✓	5,5	57 %
04	-	17,0°	17,7°	17,1°	0,0	-	2,4 ✓	4,2	59 %
05	-	16,9°	17,4°	17,4°	0,0	-	4,0 ✓	5,8	56 %
06	-	17,4°	18,5°	18,5°	0,0	-	4,5 ✓	6,9	51 %
07	-	18,5°	19,6°	19,6°	0,0	-	3,4 ✓	6,8	49 %
08	-	19,5°	20,8°	20,8°	0,0	-	4,3 ✓	6,1	46 %
09	-	20,8°	22,9°	22,7°	0,0	-	3,9 ✓	5,9	40 %
10	-	22,7°	24,3°	24,3°	0,0	-	3,8 ✓	5,8	39 %
11	-	24,3°	25,8°	25,7°	0,0	-	3,2 ✓	5,3	32 %
12	-	25,7°	26,9°	26,9°	0,0	-	3,2 ✓	5,8	30 %
13	-	26,9°	27,8°	27,5°	0,0	-	3,3 ✓	7,6	25 %
14	-	27,4°	28,5°	28,4°	0,0	-	3,8 ✓	6,9	28 %
15	-	28,1°	28,8°	28,5°	0,0	-	2,8 ✓	6,9	28 %
16	-	27,7°	28,6°	27,9°	0,0	-	2,8 ✓	7,2	28 %
17	-	27,7°	29,4°	29,4°	0,0	-	2,8 ✓	6,4	25 %
18	-	28,8°	29,8°	28,8°	0,0	-	4,6 ✓	7,1	26 %
19	-	28,3°	29,1°	28,6°	0,0	-	3,2 ✓	9,3	28 %
20	-	26,8°	28,6°	26,8°	0,0	-	3,4 ✓	6,2	31 %
21	-	26,4°	26,9°	26,4°	0,0	-	3,0 ✓	8,0	30 %
22	-	24,8°	26,4°	24,8°	0,0	-	0,9 ✓	6,0	34 %
23	-	22,9°	24,8°	22,9°	0,0	-	1,2 ✓	1,8	42 %
00	-	22,2°	22,9°	22,2°	0,0	-	1,4 ✓	2,8	46 %
01	-	22,1°	22,4°	22,3°	0,0	-	1,4 ✓	2,2	47 %

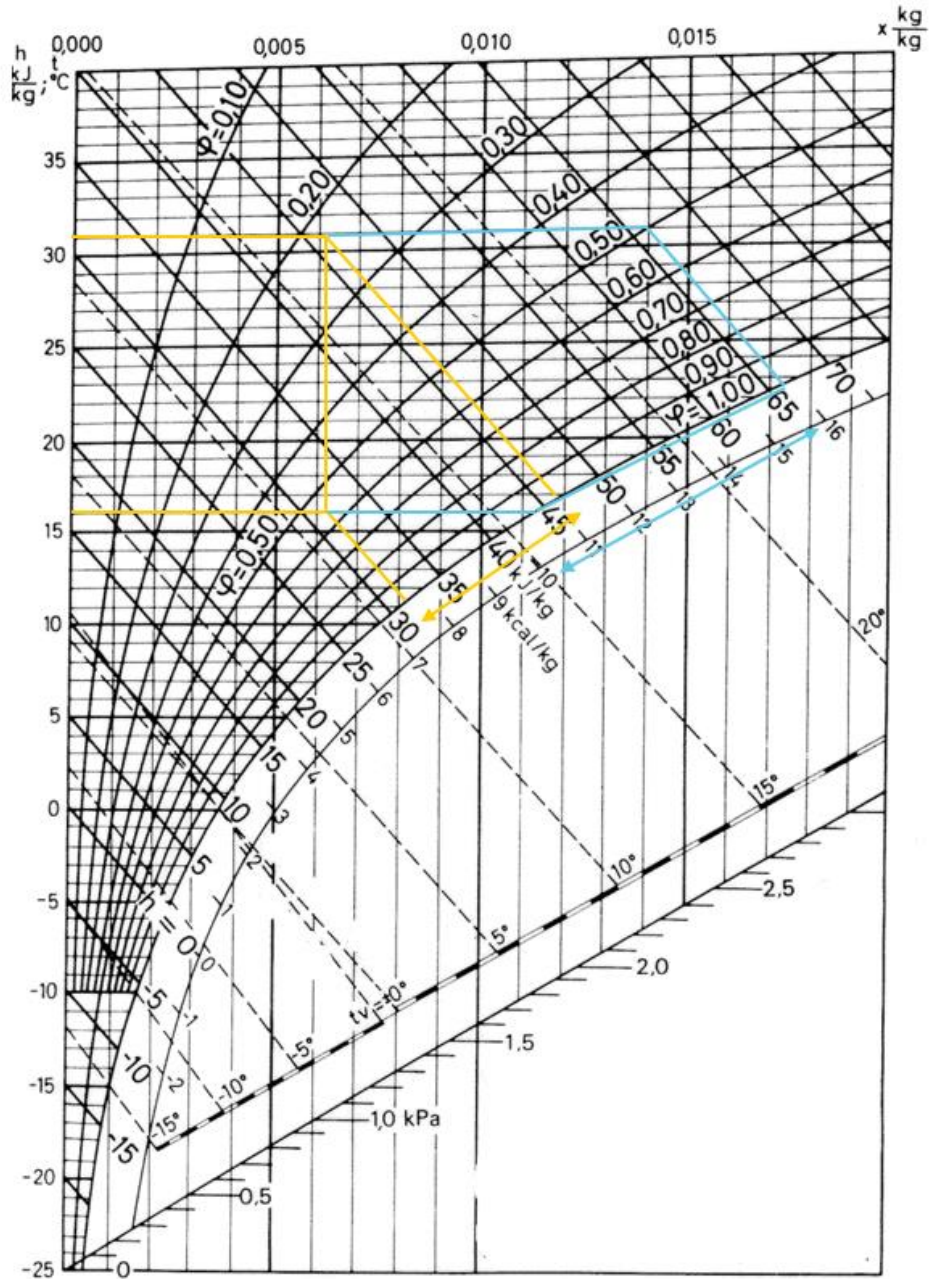
Fredag 19. juni

Tid	Vær	Min. temp.	Maks temp.	Målt temp.	Nedbar mm	Snødybde cm	Vind m/s	Kraftigste vindkast m/s	Luftfuktighet %
02	-	21,0°	21,9°	21,0°	0,0	-	2,4 ✓	3,4	59 %
03	-	19,9°	21,0°	19,9°	0,0	-	3,2 ✓	5,1	63 %
04	-	19,2°	19,9°	19,2°	0,0	-	3,4 ✓	4,3	66 %
05	-	18,9°	19,5°	19,5°	0,0	-	3,7 ✓	6,1	66 %
06	-	19,1°	19,8°	19,8°	0,0	-	4,4 ✓	6,0	65 %
07	-	19,8°	21,2°	21,2°	0,0	-	3,2 ✓	6,0	62 %
08	-	20,8°	22,6°	22,6°	0,0	-	4,4 ✓	6,1	54 %
09	-	22,6°	24,0°	24,0°	0,0	-	4,4 ✓	6,2	48 %
10	-	23,9°	25,1°	24,9°	0,0	-	3,9 ✓	7,0	47 %
11	-	24,9°	26,8°	26,6°	0,0	-	4,3 ✓	8,5	42 %
12	-	26,2°	27,4°	27,2°	0,0	-	4,7 ✓	10,1	40 %
13	-	26,9°	28,5°	28,4°	0,0	-	5,5 ✓	10,2	34 %
14	-	27,8°	29,2°	28,7°	0,0	-	5,5 ✓	9,3	29 %
15	-	28,7°	29,9°	29,4°	0,0	-	4,1 ✓	8,3	28 %
16	-	28,8°	30,1°	29,5°	0,0	-	4,8 ✓	8,5	27 %
17	-	29,1°	30,3°	29,4°	0,0	-	4,7 ✓	9,1	29 %
18	-	28,9°	30,1°	29,0°	0,0	-	3,5 ✓	7,4	31 %
19	-	28,7°	29,7°	29,2°	0,0	-	3,0 ✓	7,3	30 %
20	-	28,1°	29,2°	28,5°	0,0	-	2,2 ✓	5,6	32 %
21	-	28,0°	28,6°	28,0°	0,0	-	2,6 ✓	5,6	33 %
22	-	26,8°	28,1°	26,8°	0,0	-	1,8 ✓	5,4	36 %
23	-	25,1°	26,8°	25,2°	0,0	-	2,1 ✓	3,9	42 %
00	-	23,2°	25,2°	23,2°	0,0	-	2,1 ✓	2,8	49 %
01	-	22,1°	23,2°	22,2°	0,0	-	2,4 ✓	3,7	52 %

Vedlegg A5

19.06.2020

- Faktisk RF
- 50 % RF

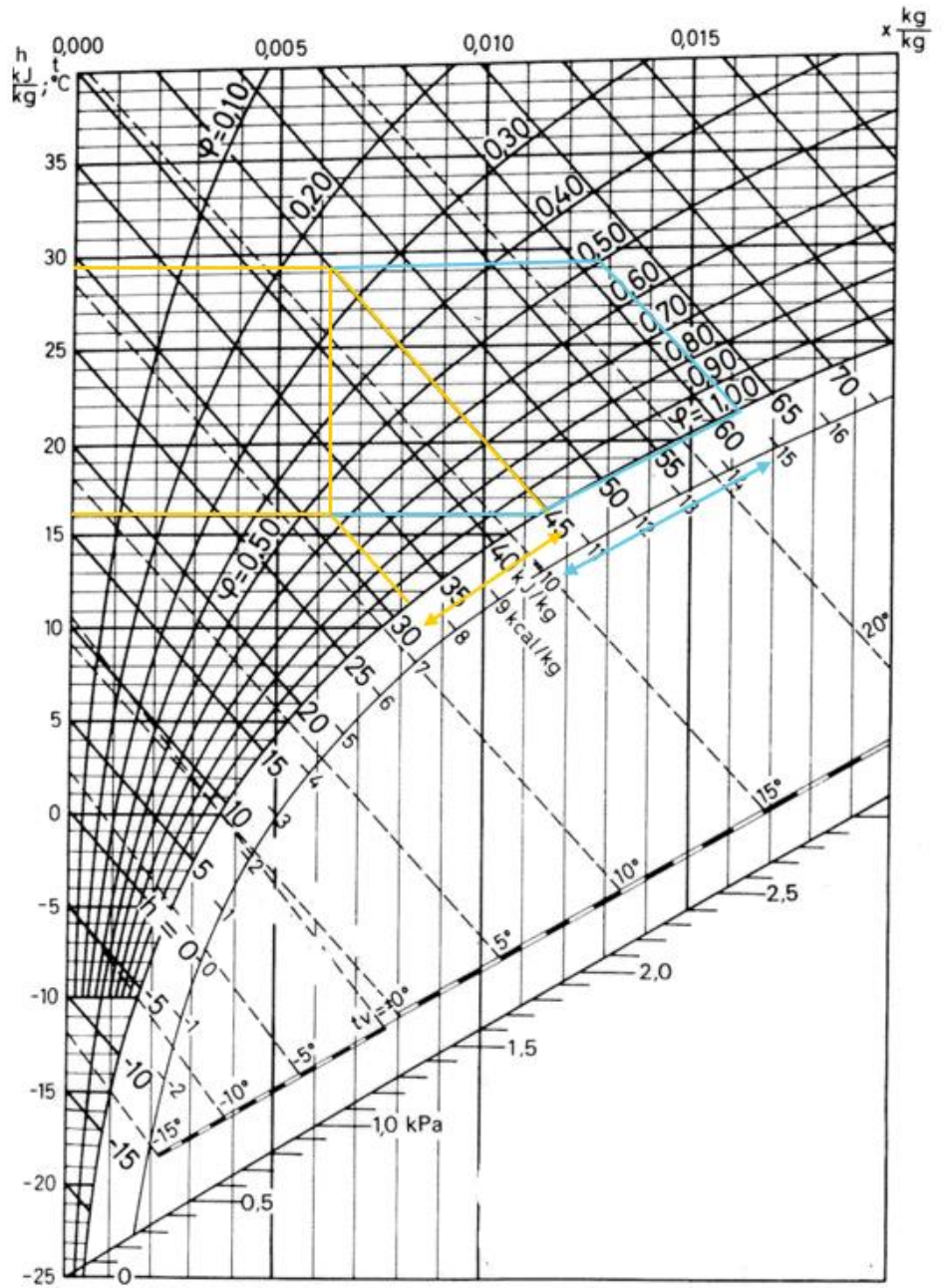


Vedlegg A6

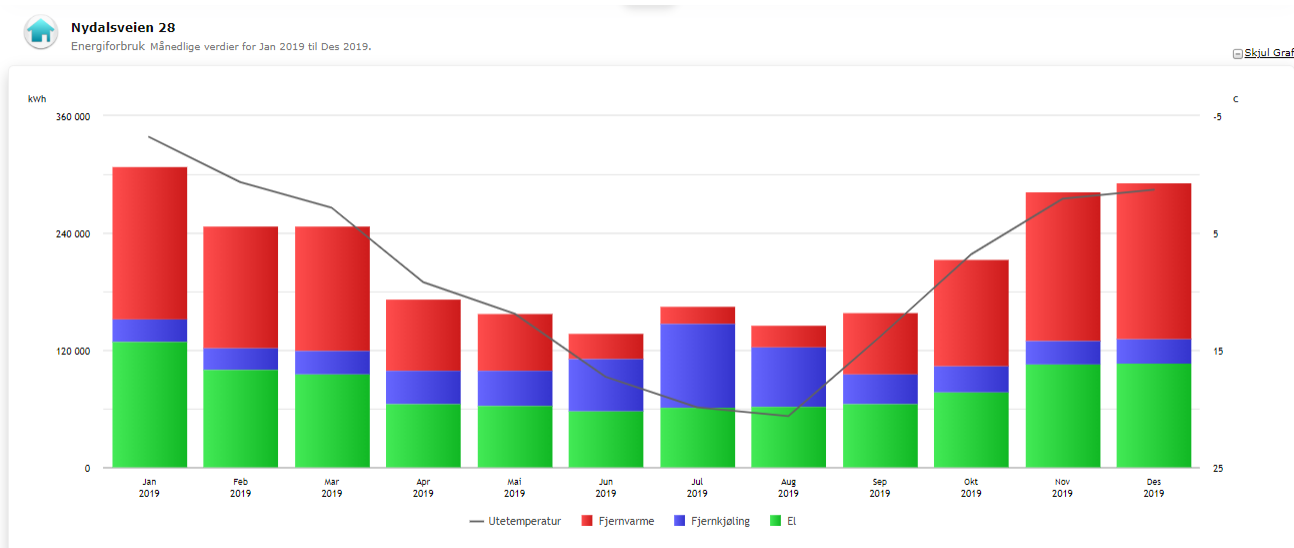
03.07.2021

 Faktisk RF

 50 % RF

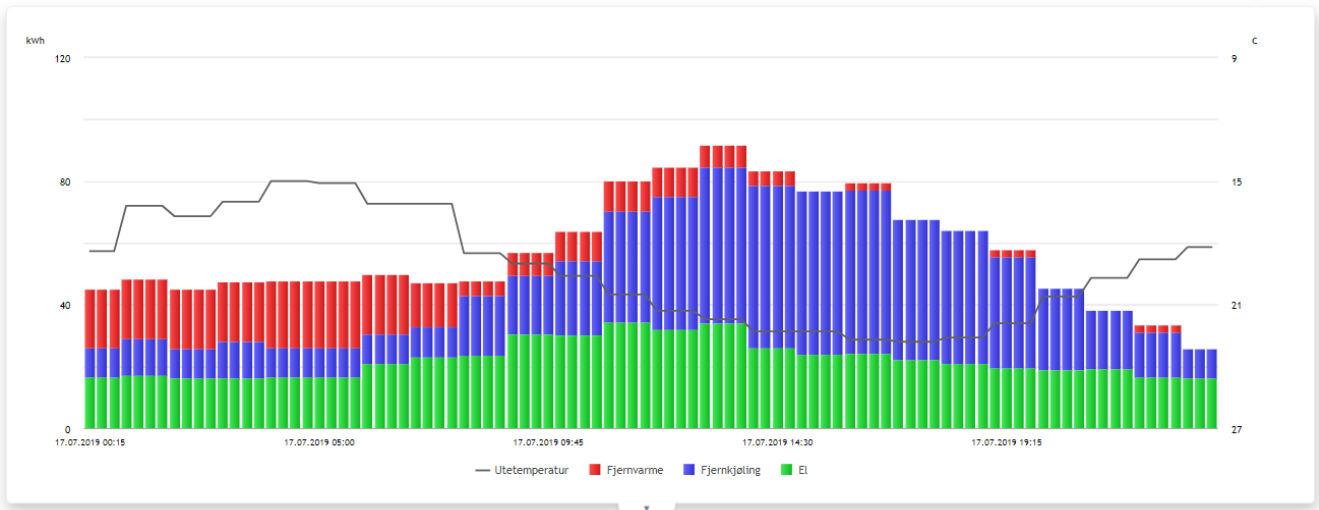


Vedlegg A7



Tid (Månedlig)	El Energi	Fjernvarme Energi	Fjernkjøling Energi	Utetemperatur
Jan 2019	128 798,00	156 271,72	23 383,16	-3,19
Feb 2019	100 685,00	125 430,13	21 636,15	0,68
Mar 2019	95 805,00	127 263,54	24 506,25	2,85
Apr 2019	65 802,00	73 163,58	33 586,90	9,20
Mai 2019	63 757,00	57 814,78	35 967,45	11,89
Jun 2019	57 931,00	26 330,06	53 524,02	17,29
Jul 2019	61 550,00	17 700,56	86 141,43	19,89
Aug 2019	62 674,00	22 826,42	60 675,28	20,63
Sep 2019	65 591,00	62 575,88	30 467,23	13,88
Okt 2019	77 480,00	108 910,25	27 021,19	6,83
Nov 2019	106 007,00	151 577,81	24 515,85	2,09
Des 2019	106 895,00	159 621,77	25 514,14	1,31

Vedlegg A8



Vedlegg A9

Simulering med normerte verdier



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Normert - Årssimulering
Tid/dato simulering: 15:22 24/5-2022
Programversjon: 6.013
Simuleringsansvarlig: Johanna Olsen
Firma: AF Gruppen Norge AS
Inndatafil: C:\...\SIMIEN - Nydalsveien 28.smi
Prosjekt: Nydalsveien 28
Sone: Kontorer med kjøling

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	669077 kWh	29,7 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	512708 kWh	22,8 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	112804 kWh	5,0 kWh/m ²	
3a Vifter	438433 kWh	19,5 kWh/m ²	
3b Pumper	38934 kWh	1,7 kWh/m ²	
4 Belysning	563952 kWh	25,1 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	775337 kWh	34,5 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	258034 kWh	11,5 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	3369278 kWh	149,7 kWh/m ²	

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	5250	
Areal tak [m ²]:	2636	
Areal gulv [m ²]:	2636	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	1961	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	22506	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	81022	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,23	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,07	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,09	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	8,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,09	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	26	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	3,00	
Temperaturvirkningsqr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,07	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	10,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,87	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	100	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	50	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,26	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,16	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,47/0,79/0,57/0,65	

Vedlegg A10

Simulerig med normerte verdier og sikkerhetsmargin på 30 % på ventilasjon



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Normert + 10 % - Årssimulering

Tid/dato simulering: 15:24 24/5-2022

Programversjon: 6.013

Simuleringsansvarlig: Johanna Olsen

Firma: AF Gruppen Norge AS

Inndatafil: C:\...\SIMIEN - Nydalsveien 28.smi

Prosjekt: Nydalsveien 28

Sone: Kontorer med kjøling

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	736988 kWh	32,7 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	615970 kWh	27,4 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	112804 kWh	5,0 kWh/m ²	
3a Vifter	559982 kWh	24,9 kWh/m ²	
3b Pumper	41486 kWh	1,8 kWh/m ²	
4 Belysning	563952 kWh	25,1 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	775337 kWh	34,5 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	314894 kWh	14,0 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	3721413 kWh	165,4 kWh/m ²	

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	5250	
Areal tak [m ²]:	2636	
Areal gulv [m ²]:	2636	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	1961	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	22506	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	81022	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,23	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,07	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,09	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	8,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,09	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	26	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	3,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,07	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	13,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,87	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	100	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	50	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,26	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,16	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,47/0,79/0,57/0,65	

Vedlegg A11

Simulering med realistiske verdier



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Realistisk - Årssimulering 100%

Tid/dato simulering: 15:35 24/5-2022

Programversjon: 6.013

Simuleringsansvarlig: Johanna Olsen

Firma: AF Gruppen Norge AS

Inndatafil: C:\...\SIMIEN - Nydalsveien 28.smi

Prosjekt: Nydalsveien 28

Sone: Kontorer med kjøling

Energipost	Energibudsjett	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		1338847 kWh	59,5 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		451559 kWh	20,1 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		95076 kWh	4,2 kWh/m ²
3a Vifter		249273 kWh	11,1 kWh/m ²
3b Pumper		36821 kWh	1,6 kWh/m ²
4 Belysning		271325 kWh	12,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		14854 kWh	0,7 kWh/m ²
6a Romkjøling		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		132163 kWh	5,9 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		2589919 kWh	115,1 kWh/m ²


Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	5250	
Areal tak [m ²]:	2636	
Areal gulv [m ²]:	2636	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	1961	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	22506	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	81022	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,23	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,18	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,07	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,09	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	8,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,09	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	26	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	3,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,07	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,40	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,85	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	100	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	50	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	10,0	
Driftstid belysning (timer)	10,0	
Driftstid utstyr (timer)	10,0	
Oppholdstid personer (timer)	10,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	5,48	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	2,32	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	0,30	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	0,13	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	5,33	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,26	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,16	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,47/0,79/0,57/0,65	

Vedlegg B1






Simulering i IDA-ICE uten tiltak

		<h3>Delivered Energy Report</h3>	
Project		Building	
Customer		Model floor area	1284.9 m ²
Created by	Johanna Olsen	Model volume	3855.0 m ³
Location	Kalmar	Model ground area	0.0 m ²
Climate file	Kalmar-1968	Model envelope area	1254.9 m ²
Case	ingen tiltak	Window/Envelope	8.4 %
Simulated	23.05.2022 16:36:22	Average U-value	0.3603 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.3255 m ² /m ³

Building Comfort Reference

Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	0 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	0 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	30 %

Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m ²	kW
	Lighting, facility	13161	10.2	4.22
	HVAC aux	30755	23.9	3.67
	Total, Facility electric	43916	34.2	
	District cooling	19805	15.4	45.19
	District heating	74546	58.0	63.34
	Total, Facility district	94351	73.4	
	Total	138267	107.6	
	Equipment, tenant	22335	17.4	7.16
	Total, Tenant electric	22335	17.4	
	Grand total	160602	125.0	

Vedlegg C1



Vedlegg nr. 2

Prismodell Kjøling for Områdekjøling på Økern/Ulven

Alle priser er oppgitt uten merverdiavgift

Prisen består av følgende ledd:

Effektledd

Års effekt kW	Fast kr/år	Variabel kr/kW år
0-50	1000	950
51-100	6000	850
101-250	18500	725
251-500	31000	675
501-	56000	640

Abonnert effekt fra første kjøleleveranse til bygget finner sted, og til utgangen av 5. hele kjølesesong (okt-sept). Deretter målt effekt resten av avtaleperioden.

Energiledd

Energiledd sommer (april - sept)	0,45 kr/kWh
Energiledd vinter (okt - mars)	0,25 kr/kWh

Incentiv

% Rabatt på effektledd per 1° høyere retur*	2,5 %
% Påslag på effektledd per 1° lavere retur*	2,5 %

* Sammenlignet med avtalt returtemperatur på sekundærside

Incentivordning trer i kraft ved begynnelsen av 3. kjølesesong (okt-sept).

Fortum Oslo Varme forbeholder seg retten å justere pris årlig.

Se for øvrig www.fortum.no for ytterligere informasjon.

Vedlegg C2

Kjøling med kjølemaskin		Fjernkjøling	
Investeringsbudsjett	Kr/kW	Investeringsbudsjett	Kr/kW
Prosjektering (15 %)	2 312,80	Prosjektering (15 %)	1 190,30
Kjølemaskin	2 500,00	Kjøleeksler (ink. Energimåler)	800,00
Elektroarbeid inkl andel trafo og El tavle	1 000,00	Elektroarbeid inkl andel trafo og El tavle	100,00
Rørarbeid inkl rør til tørrkjøler	1 166,67	Distrubusjonsnett	7 502,00
Tørrkjøler inkl bygningsmeddig	1 333,33	Automasjon	333,33
Distrubusjonsnett	7 502,00	Bygningsmessig/ støydemping	-
Automasjon	416,67	<hr/>	
Bygningsmessig/ støydemping	666,67	Byggekost	9 925,63
Uforutsett	833,33	Byggeledelse (5 %)	496,28
<hr/>		<hr/>	
Byggekost	17 731,47	Totalt	10 421,92
Byggeledelse (5 %)	886,57		
<hr/>			
Totalt	18 618,04		

Vedlegg C3

Kjøling med kjølemaskin		
Investeringsbudsjett	600	1100
Prosjektering (15 %)	1 387 680	2 152 770,00
Kjølemaskin	1 500 000	2 750 000,00
Elektroarbeid inkl andel trafo og El tavle	600 000	900 000,00
Rørarbeid inkl rør til tørrkjøler	700 000	1 000 000,00
Tørrkjøler inkl bygningsmeddig	800 000	1 400 000,00
Distribusjonsnett	4 501 200	6 751 800,00
Automasjon	250 000	250 000,00
Bygningsmessig/ støydemping	400 000	500 000,00
Uforutsett	500 000	800 000,00
Byggekost	9 251 200	14 351 800
Byggeledelse (5 %)	462 560	717 590
Totalt	9 713 760	15 069 390
Drift & vedlikehold 5%	485 688	753 470
	10 199	
SUM	448	15 822 860
Spesifikk kostnad for dimensjonerende effekt	16 190	13699
Spesifikk kostnad per kvm	432	670

Kjøling med fjernkjøling		
Investeringsbudsjett	600	1100
Prosjektering (15 %)	714 180	1 051 770,00
Kjøleeksler (inkl. Energimåler)	480 000	880 000,00
Elektroarbeid inkl andel trafo og El tavle	60 000	60 000,00
Distribusjonsnett	4 501 200	6 751 800
Automasjon	200 000	200 000
Bygningsmessig/ støydemping	-	-
Byggekost	4 761 200	7 011 800
Byggeledelse (5 %)	238 060	350 590
Totalt	4 999 260	7 362 390
Drift & vedlikehold 3%	149 978	220 872
SUM	5 149 238	7 583 262
Spesifikk kostnad for dimensjonerende effekt	8 332	6693
Spesifikk kostnad per kvm	222	327