

# Framtidens energigiveier for bygninger - muligheter for energieffektivisering og konvertering til fornybar energikilde i bygningssmasse

**Eirik Andre Nesgård**  
**Minh Huy Ngo**

Produktutvikling og produksjon

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Natasa Nord, EPT

Medveileder: Nina H. Sandberg, INDECOL

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for energi- og prosesseteknikk



EPT-M-2018- 59/61

**MASTEROPPGAVE**

for

Studenter Eirik Nesgård og Minh Huy Ngo

Våren 2018

Framtidens energiveier for bygninger - muligheter for energieffektivisering og konvertering til fornybar energikilde i bygningsmasse

*Future energy pathways – possibilities for energy efficiency improvement and transition to renewable energy sources in building stock*

**Bakgrunn og målsetting**

Framtidens energikrav til bygninger kommer til å bli strengere både når det gjelder energieffektivisering og krav til fornybare energikilder. Ved rehabilitering av en eksisterende bygning, kan ikke alle teknologiene implementeres. Studentene skal begynne med å kartlegge energitilstand til eksisterende bygninger. NTNU campus Gløshaugen og videre utvikling av campusen skal være ett eksempel område i prosjektet. For transparent energiplanlegging og aggregering av energibehov på område nivå, er det viktig å utvikle gode generelle modeller som representere godt det observerte området. Når det gjelder NTNU campus, vil det innebære å definere en generell bygning som kan representere på god måte energitilstand og aktiviteter på NTNU. Studentene skal definere mulige og relevante energieffektiviseringstiltak for enkle bygninger. IDA-ICE skal benyttes i oppgaven. I løpet av prosjektoppgave har studenter utviklet en generell modell som representerer NTNU campus. Modellen skal videre utvikles og nye tiltak skal påføres under masteroppgave. På basis av relevante og framtidens teknologier, skal studentene definere ulike scenarier for oppgradering relatert til energieffektivisering og energiforsyning av enkeltbygg. Studentene skal gå i dybden på analysen av enkeltbygg og hvordan endringer i dem kan påføres. Oppgaven er knyttet til følgende forskningsaktiviteter: forskningsprosjekt, ExPOSe, om energiplanlegging av bygninger og FME Zero emission neighborhood (ZEN). Resultater om times profiler for varme- og elektrisitet forbruk og eventuelt andre skal diskuteres med NTNU Eiendom, fordi resultatene er også til nytte for NTNU campus utvikling.

Målet med oppgaven er å definere en generell bygningsmodell som kan representere på en god måte energitilstand og aktiviteter på NTNU samt med å analysere utvalgte energieffektiviseringstiltak. NTNU campus skal benyttes som eksempel område.

**Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter**

1. Litteraturstudium av følgende temaer: tidligere, nåværende og kommende energikrav til bygninger i Norge, energiplanlegging, verktøy for energiplanlegging. Se på eksempler hvordan typiske og representative bygnings modeller kan utvikles.

2. Samle informasjon om bygningstyper på NTNU campus. Definere typisk konstruksjon, energitilstand, innhold og andre typiske parameterer i NTNU bygninger som kan benyttes for å lage en generell NTNU bygning. Samle informasjon om NTNU campus utvikling.
3. Samle driftsdata for drift av typiske anlegg som ventilasjon, varme, osv. på Gløshaugen.
4. Definere tekniske tiltak som kan være påført på bygninger på NTNU. De tekniske tiltakene kan være relatert til fysisk forbedring og forbedring av drift. Brukeroppførsel kan også introduseres hvis relevant.
5. Sette seg inn i metodikk for modellering av bygningsmasse utviklet i Excel og MATLAB for å forstå hvordan eget arbeid plasseres i en større kontekst. Fortsette med samarbeid med en prosjektstudent ved IndEcol.
6. Kalibrere og forbedre bygningssimuleringsmodell for en generell bygning som representerer NTNU campus på basis av samlet informasjon. Kalibrering skal innebære å sammenligne total årlig energibruk og times verdier.
7. Simulere og teste de foreslåtte scenarioer for forbedring av bygninger og mulige videre utvikling av campusen.
8. Samarbeide og overføre relevante data til en masterstudent ved IndEcol, det vil si times profiler for varme- og elektrisitet forbruk og levere til dem. Profilene skal også analyseres med NTNU Eiendom, fordi resultatene er også til nytte for NTNU campus utvikling.
9. Simulere aggregerte energiprofiler etter innføring av relevante tiltak.
10. Forberede material for en draft artikkel.

” \_ ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sendte instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosessteknikk.

Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, institutt navn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømningsmeknikk, varmeteknikk)  
 Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosessmeknikk, 15. januar 2018



Natasa Nord

Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e):

Nina H. Sandberg, Post.doc. EPT/Indekøl/NTNU [nina.h.sandberg@ntnu.no](mailto:nina.h.sandberg@ntnu.no)



## Forord

Masteroppgaven er skrevet våren 2018 ved institutt for energi- og prosessteknikk på Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet.

Vi vil først og fremst takke alle som har hjulpet og inspirert oss i dette arbeidet. Spesielt til hovedveileder Natasa Nord for god hjelp og veiledning.

Vi vil også takke vår medveileder Nina H. Sandberg, Helge Brattebø, Jan Sandstad Næss, Aleksandra Woszczek og Hilde Enevoldsen for gode inputs i møter underveis i semesteret i forbindelse med forskningsprosjektene ExPOSe, FME ZEN og UROP.

Helt til slutt vil vi gi en ekstra stor takk til Post. Doc. Martin Thalfeldt, Post. Doc. Tymofii Tereshchenko og Stipendiat John Clauss for veldig god og nødvendig hjelp i det avanserte simuleringsprogrammet IDA ICE.

Trondheim, 12.06.2018



Minh Huy Ngo



Eirik Nesgård





## Sammendrag

Denne oppgaven er delt i fire deler: 1) En litteraturstudie som omfatter temaer innenfor energibruk i bygninger, energieffektiviseringstiltak og bygningssimulering. 2) En analyse av bygningsmassen på Gløshaugen med formål om å finne den typiske universitetsbygningen. 3) Fremgangsmetode for å etablere referansemodeller som skal representere energibruken til bygningsmassen på Gløshaugen. 4) Utforske besparingspotensialet av forskjellige energieffektiviseringstiltak som kan implementeres på Gløshaugen.

Analysen av bygningsmassen viste at den typiske universitetsbygningen på Gløshaugen er fra byggeperioden 1951-1970. Det typiske bygget inneholder fasiliteter som kontor, forelesningssal, lesesal og laboratorium.

Videre ble bygningsmassen på Gløshaugen delt inn i fire kohorter; Før 1950, 1951-1970, 1971-1999 og 2000-2020. Det ble etablert fire Referansebygg for å definere energibruken på Gløshaugen. Hvert Referansebygg representerer sin tilhørende kohort og har til sammen et totalt spesifikk energiforbruk på 294,1 kWh/m<sup>2</sup>. Til sammenligning ble det vist at bygningsmassen på Gløshaugen bruker 285,2 kWh/m<sup>2</sup>. Fire referansemodeller ble etablert: Bygg 1 representerer kohort Før 1950, Bygg 2 representerer kohort 1951-1970, Bygg 3 representerer kohort 1971-1999 og Bygg 4 representerer kohort 2000-2020. Simuleringsresultatene ga til sammen et totalt spesifikk energiforbruk på 281,4 kWh/m<sup>2</sup>. Hver referansemodell ga et tilfredsstillende årsforbruk på energi, men grundigere analyser viste at det fortsatt var mye avvik. Det kan derfor konkluderes at referansemodellene fortsatt har forbedringspotensial.

Etter at referansemodellene var etablert ble det opprettet fire energieffektiviseringspakker, P1-P4, som inneholdt flere enøktiltak. Alle pakkene var teknisk oppnåelig for bygningsmodellene og rettet seg mot varmekonsumet. P1 og P2, Standard og Ambisiøs Pakke, tok for seg oppgradering av fasaden til bygningen. P3, Teknisk Pakke, tok for seg oppgradering av de tekniske systemene. Her ble varmegjenvinneren i ventilasjonsanlegget oppgradert til TEK17-nivå og varmesystemet ble byttet ut til et lav temperatursystem. P4, Ambisiøs + Teknisk Pakke, er en kombinasjon av P2 og P3.

Simuleringene viste at besparingspotensialet var svært avhengig av byggeperioden. Besparingspotensialet varierte fra 8% til 82% avhengig av hvilken pakke og bygningsmodell. Ved å aggregere opp energibruken til referansemodellene og energieffektiviseringspakkene til å representere energibruken på Gløshaugen, ble besparingspotensialet til fjernvarme per år for P1-P4 på henholdsvis 14%, 15%, 39% og 51%. Resultatene viser at besparingspotensialet av bygningsmassen på Gløshaugen er svært høyt.



## Abstract

This assignment is divided into four parts: 1) A literature study that includes topics in energy usage in buildings, energy efficiency measures and building simulation. 2) An analysis of the building stock at Gløshaugen with the purpose of finding the typical university building. 3) Procedure for establishing reference models to represent the energy usage of the building stock at Gløshaugen. 4) Explore the saving potential of various energy efficiency measures that can be implemented at Gløshaugen.

The analysis of the building stock showed that the typical university building at Gløshaugen is from 1951-1970. The typical building contains facilities such as office, lecture hall, study hall and laboratory.

Furthermore, the building stock at Gløshaugen was divided into four cohorts; Before 1950, 1951-1970, 1971-1999 og 2000-2020. Four reference buildings were established to define the energy consumption at Gløshaugen. Each Reference Building represents its associated cohort and has a combined total specific energy consumption of 294,1 kWh/m<sup>2</sup>. By comparison, it was shown that the building stock at Gløshaugen uses 285,2 kWh/m<sup>2</sup>. Four reference models were established: Bygg 1 represents cohort Before 1950, Bygg 2 represents cohort 1951-1970, Bygg 3 represents cohort 1971-1999 and Bygg 4 represents cohort 2000-2020. The simulation results combined gave a total specific energy consumption of 281,4 kWh/m<sup>2</sup>. Each of the reference models gave a satisfactory annual energy consumption, but a thorough analyses showed that there were still a lot of deviations. It can therefore be concluded that the reference models still have potential for improvement.

After the reference models were established, four energy efficiency packages were created, P1-P4. Each package included several energy efficiency measures. All packages were technically obtainable for the building models and aimed at reducing the heat consumption. P1 and P2, Standard and Ambisøs Pakke, upgraded the building facade. P3, Teknisk Pakke, upgraded the technical systems. In this package, the heat exchanger in the ventilation system was upgraded to TEK17 standard and the heating system was changed to a low temperature system. P4, Ambisøs + Teknisk Pakke, is a combination of P2 and P3.

The simulations showed that the saving potential was highly dependent on the construction period of the building model. The saving potential varied from 8% to 82%, depending on the package and building model. The energy usage of the reference models an energy efficiency packages were aggregated to represent the energy consumption at Gløshaugen. The saving potential of heating consumption per year for P1-P4 was 14%, 15%, 39% and 51% respectively. The results show that the saving potential of the building stock at Gløshaugen is very high.



# Innholdsfortegnelse

Forord . . . . .	i
Sammendrag . . . . .	iii
Abstract . . . . .	v
Tekniske begreper og forkortelser . . . . .	xvii
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn og motivasjon . . . . .	1
1.2 Mål . . . . .	2
1.3 Struktur . . . . .	3
1.4 Begrensning av arbeid . . . . .	4
<b>2 Teoretisk bakgrunn</b>	<b>5</b>
2.1 Energibruk i bygninger . . . . .	5
2.2 Energiforsyningsteknologier . . . . .	9
2.3 Energikrav til bygninger . . . . .	14
2.4 Veien mot bærekraftige univversitetsbygninger . . . . .	16
2.5 Energieffektiviseringstiltak i bygninger . . . . .	18
2.6 Bygningssimulering . . . . .	26
<b>3 Metodikk</b>	<b>33</b>
3.1 Oppgavens overordnende fremgangsmåte . . . . .	33
3.2 Datainnsamling . . . . .	34
3.3 Beregning av spesifikk energibruk og vektet gjennomsnitt . . . . .	34
<b>4 Etablering av kohorter og referansebygg</b>	<b>37</b>
4.1 Energibruk på Gløshaugen campus . . . . .	37
4.2 Utvelgelse av kohorter . . . . .	40
4.3 Etablering av referansebygg for kohort 1951-1970 . . . . .	41
4.4 Etablering av referansebygg for resterende kohorter . . . . .	43
<b>5 Etablering av referansemodell for kohort 1951-1970</b>	<b>45</b>
5.1 Etablering av bygningsgeometri . . . . .	45

5.2	Etablering av bygningskropp . . . . .	49
5.3	Etablering av tekniske systemer og drift og bruk . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Etablering av referansemodell for resterende kohorter</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Etablering av energieffektiviseringstiltak</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>Resultater fra referansemodellene</b>	<b>69</b>
8.1	Elektrisitetsskalibrering for Bygg 2: 1951-1970 . . . . .	69
8.2	Resultater fra referansemodell Bygg 2: 1951-1970 . . . . .	70
8.3	Resultater fra referansemodellene for resterende kohorter . . . . .	80
8.4	Sammenligning mot energibruken på Gløshaugen . . . . .	90
<b>9</b>	<b>Resultater fra energieffektiviseringstiltak</b>	<b>93</b>
9.1	Resultater fra enøktiltak for Bygg 2: 1951-1970 . . . . .	93
9.2	Resultater fra energieffektiviseringspakker . . . . .	96
<b>10</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>107</b>
10.1	Datagrunnlag . . . . .	107
10.2	Referansemodell . . . . .	107
10.3	Energieffektiviseringstiltak . . . . .	108
10.4	Bruk av simulert data i andre prosjekter . . . . .	109
10.5	Påvirkning av radiatorstørrelse på varmeeffekt og resultater . . . . .	110
<b>11</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>113</b>
<b>12</b>	<b>Videre arbeid</b>	<b>115</b>
	<b>Bibliografi</b>	<b>116</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>121</b>
A.1	Oversikt av variantene til Boligblokk (Kilde: Brattebø et al. (2016)) . . . . .	121
A.2	Oversikt av hele Gløshaugen campus (Kilde: NTNU Drift) . . . . .	125
A.3	Romfordeling av referansebyggene (Kilde: NTNU Drift) . . . . .	128
A.4	Sonefordeling av referansebyggene (Kilde: NTNU Drift) . . . . .	132
A.5	Database av referansebyggene (Kilde: Energiattester) . . . . .	135
A.6	Brukerrate i referansemodellene . . . . .	144
A.7	NS 3031:2014 Tabell A.1 . . . . .	146
A.8	Beregning av elektrisitetsforbruket . . . . .	147
A.9	Radiator dimensjonering . . . . .	150
A.10	Simuleringsresultater fra IDA-ICE for Bygg 1-4 . . . . .	152

A.11 Beregning av Ref.bygg, Ref.modell og Gløshaugen . . . . .	154
A.12 Beregning av besparingspotensial for Gløshaugen . . . . .	157
A.13 Beregning av besparingspotensial i kr for Gløshaugen . . . . .	160





# Figurer

2.1	Faktorer som påvirker energibruken i en bygning [40]. . . . .	6
2.2	Energibalansen for en bygning [31]. . . . .	7
2.3	Gjennomsnittlig målt spesifikk energibruk i universitet- og høyskolebygg i forskjellige statistikker, røde prikker representerer antall observasjoner [24] . . . . .	8
2.4	Oversikt over fjernvarmesystemet i Trondheim [35]. . . . .	11
2.5	Oversiktsbilde over fjernvarmenettet på NTNU gløshaugen, de røde prikkene er abonnentsentraler . . . . .	12
2.6	Oversikt over minimumskrav fra nåværende og tidligere TEK[2]. . . . .	14
2.7	Prinsippskisse av avskalling av potensial for energieffektivisering [2]. . . . .	19
2.8	Potensial for universitetsbygg [2]. . . . .	20
2.9	Potensial per tiltakskategori [2]. . . . .	21
2.10	Resultater fra de forskjellige aldersklassene for Boligblokk [3] . . . . .	25
2.11	Fire hovedområder som definerer et referansebygg ifølge DOE metoden [4] . . . . .	28
2.12	Generell metode for å etablere referansemodeller [4] . . . . .	29
2.13	Oversikt av kalibreringsmetoden [30] . . . . .	31
4.1	Spesifikk elektrisitetsforbruk og varmeforbruk [12] . . . . .	37
4.2	U-verdier av utside vegg [12] . . . . .	38
4.3	Sammenligning av en gjennomsnittsdag for målt og simulert elektrisitets- og varmeforbruk i november [12] . . . . .	39
4.4	Byggeår av Gløshaugen [12] . . . . .	40
4.5	Spesifikk elektrisitet og varmeforbruk til Referansebygg 2 i 2016 . . . . .	42
4.6	Spesifikk elektrisitet og fjernvarmeforbruk til byggene tilhørende referansebygg 1, 3 og 4 . . . . .	44
4.7	Spesifikk elektrisitet og fjernvarmeforbruk til referansebygg 1, 3 og 4 . . . . .	44
5.1	Sonefordeling av Referansebygg 2 . . . . .	46
5.2	Sonefordeling av referansemodellen . . . . .	47
5.3	Bilde av simuleringsmodellen og etasjeplan . . . . .	48
5.4	Bruksmønsteret til Kontor i ukedager. . . . .	51

5.5 Bruksmønster til Kontor i helg og ferie. . . . .	51
5.6 Bruksmønster til Spesialrom i ukedager. . . . .	51
5.7 Bruksmønster til Lesesal i ukedager. . . . .	52
5.8 Bruksmønster til Lesesal i helger. . . . .	52
5.9 Bruksmønster til Lesesal under eksamenperiode. . . . .	52
5.10 Bruksmønster til Forelesning i ukedager. . . . .	52
5.11 Bruksmønster til Trafikk i ukedager. . . . .	53
5.12 Settpunkt for tilluftstemperatur . . . . .	55
5.13 Elektrisitetsforbruket i 2016 for Referansebygg 1951-1970 . . . . .	56
5.14 Temperaturkorrigert fyringskurve NTNU campus . . . . .	59
8.1 Resultat fra elektrisitetskalibrering . . . . .	69
8.2 Sammenligning av spesifikk energiforbruk for Bygg 2 og Referansebygg 2 . . . . .	70
8.3 Spesifikk månedsforbruk for målte og simulerte verdier Bygg 2 . . . . .	71
8.4 Sammenligning av varighetskurve for elektrisitets- og varmebehovet for målte og simulerte verdier Bygg 2 . . . . .	73
8.5 Timesforbruk for målt og simulert forbruk for Bygg 2 . . . . .	74
8.6 Spredningsplott for målt og simulert forbruk for Bygg 2 . . . . .	75
8.7 Sammenligning av en gjennomsnittsdag for målt og simulert elektrisitetsforbruk for månedene februar, september og november . . . . .	76
8.8 Sammenligning av en gjennomsnittsdag for målt og simulert varmeforbruk for månedene februar, september og november . . . . .	78
8.9 Sammenligning av spesifikk forbruk for Bygg 1, 3 og 4 . . . . .	80
8.10 Sammenligning av spesifikk energiforbruk til Bygg 1 og Referansebygg 1 . . . . .	81
8.11 Timesforbruk til målt mot simulert forbruk for Bygg 1 . . . . .	82
8.12 Spredningsplott til målt og simulert forbruk Bygg 1 . . . . .	82
8.13 Sammenligning av spesifikk energiforbruk til Bygg 3 og Referansebygg 3 . . . . .	84
8.14 Timesforbruk til målt mot simulert forbruk for Bygg 3 . . . . .	85
8.15 Spredningsplott til målt og simulert forbruk Bygg 3 . . . . .	85
8.16 Sammenligning av spesifikk energiforbruk til Bygg 4 og Referansebygg 4 . . . . .	87
8.17 Timesforbruk til målt mot simulert forbruk for Bygg 4 . . . . .	88
8.18 Spredningsplott til målt og simulert forbruk Bygg 4 . . . . .	88
8.19 Sammenligning av spesifikk energiforbruk for Referansebygg, Referansemodell og Gløshaugen . . . . .	90
9.1 Spesifikk energiforbruk per år for Bygg 2 og enøktiltakene T1-T9 . . . . .	93
9.2 Formålsdelt spesifikk årsforbruk for Bygg 1 og energieffektiviseringspakkene . . . . .	96
9.3 Varighetskurve til Bygg 1 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene . . . . .	97

9.4	Spesifikk årsforbruk for Bygg 2 og energieffektiviseringspakkene . . . . .	98
9.5	Varighetskurve til Bygg 2 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene . . . . .	99
9.6	Spesifikk årsforbruk for Bygg 3 og energieffektiviseringspakkene . . . . .	100
9.7	Varighetskurve til Bygg 3 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene . . . . .	101
9.8	Spesifikk årsforbruk for Bygg 4 og energieffektiviseringspakkene . . . . .	102
9.9	Varighetskurve til Bygg 4 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene . . . . .	103
9.10	Det aggregerte totale årsforbruket og besparingspotensialet til Gløshaugen . . . . .	104
10.1	Estimert levert energi fra fjernvarme på Gløshaugen over et år og lastkurven . . . . .	109
10.2	Estimert fremtidig utvikling av levert energi fra fjernvarme på Gløshaugen . . . . .	110
10.3	Resultat av radiatoranalyse . . . . .	111



# Tabeller

2.1	Barrierer ved enøktiltak . . . . .	22
2.2	Eksempel på rehabiliteringsvarianter . . . . .	24
4.1	Oversikt over kohort, referansebygg og referansemodell . . . . .	40
4.2	Oversikt over byggene tilhørende Referansebygg 2 . . . . .	41
4.3	Oversikt over bygningene som representeres i referansebyggene . . . . .	43
5.1	Generell informasjon og bygningsstørrelser av referansemodellen . . . . .	48
5.2	Soneareal per etasje . . . . .	49
5.3	Bygningskroppen til referansemodell Bygg 2 . . . . .	49
5.4	Brukerrate for de forskjellige sonene i referansemodellen . . . . .	50
5.5	Inputparametere for ventilasjonssystemet i referansemodell Bygg 2 . . . . .	54
5.6	Ventilasjonsparametere for referansemodell Bygg 2 . . . . .	54
5.7	Lys og utstyr fra NS 3031 benyttet i E.01 . . . . .	56
5.8	Inputverdier for elektrisitet i E.02 . . . . .	57
5.9	Inputverdier for elektrisitet i E.03 . . . . .	58
5.10	Dimensjonering Radiatorer referansemodell . . . . .	59
6.1	Oversikt over referansemodeller . . . . .	61
6.2	Bygningskroppen til referansemodellene . . . . .	62
6.3	Parametere tekniske systemer . . . . .	62
6.4	Tillufstmengder i sonene til referansemodell Bygg 1, 3 og 4 [ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ] . . . . .	63
6.5	Spesialrom Grunnlast for referansemodell Bygg 1, 3 og 4 . . . . .	63
6.6	Dimensjonert radiator kapasitet for referansemodell Bygg 1, 3 og 4 . . . . .	63
7.1	Energieffektiviseringstiltakene . . . . .	65
7.2	Energieffektiviseringspakker . . . . .	66
8.1	Oversikt av elektrisitetsskalibrering . . . . .	70
8.2	Månedsforsbruk og avvik for målt og simulert data for Bygg 2 . . . . .	72
8.3	Totalt spesifikk energiforbruk for Bygg 1, 3 og 4 . . . . .	80

8.4 Sammenligning av spesifikk energiforbruk til Referansebygg, Referansemodell og Gløshaugen . . . . .	91
9.1 Besparelse for enøktiltak 1 . . . . .	94
9.2 Besparelse for enøktiltak 2 . . . . .	94
9.3 Endring av topplastverdier etter implementering av enøktiltakene . . . . .	95
9.4 Spesifikk fjernvarmeforbruk og besparelse for Bygg 1 og energieffektiviseringspak- kene . . . . .	97
9.5 Spesifikk fjernvarmeforbruk og besparelse for Bygg 2 og energieffektiviseringspak- kene . . . . .	98
9.6 Spesifikk fjernvarmeforbruk og besparelse for Bygg 3 og energieffektiviseringspak- kene . . . . .	100
9.7 Spesifikk fjernvarmeforbruk og besparelse for Bygg 4 og energieffektiviseringspak- kene . . . . .	102
9.8 Besparelse gitt i kr . . . . .	105

## Tekniske begreper og forkortelser

**BNP** Brutto Nasjonal Produkt - verdien av de varer og tjenester som er produsert i løpet av et år i et land

**BRA** Bruksareal - Boligens innvendige areal, målt til innsiden av omsluttende vegger

**Brukerrate** Antall personer per kvadratmeter gulv

**CAV** Constant Air Volume - Konstant luftmengede tilførsel i ventilasjonssystemet

**COP** Coefficient Of Performance - Virkningsgrad i avgitt effekt i forhold til forbruk for en varmepumpe

**Driftstid** Den tiden det er personbelastning i en bygning eller et teknisk system kjøres som normalt.

**Kohort** Bygninger i fra samme byggeår eller periode

**Kuldebro** Kuldebro er en del av en bygningskonstruksjon som har vesentlig lavere varmemotstand enn konstruksjonen for øvrig.

**Lekkasjetall** Angir hvor mange ganger luften skiftes ut per time under et gitt trykk

**LNG** Liquefied Natural Gas - Flytende naturgass

**LPG** Liquefied Petroleum Gas - Flytende petroleumsgass

**NS** Norsk Standard

**Oppvarmet BRA** Den delen av BRA som varmes opp av bygningens varmesystemer.

**SFP** Specific Fan Power - spesifikk vifteeffekt, er et tall som angir forholdet mellom elektrisk effekt nødvendig for drift av vifter i et ventilasjonsanlegg, og den luftmengden som viftene bidrar til å skifte ut de ventilerte lokaler.

**Spesifikk Energi** Energi per kvadratmeter BRA. Gitt i  $kWh/(m^2)$

**TEK** Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift). TEK17 er en forkortelse for utgaven i 2017

**U-verdi** Varmegjennomgangskoeffisient. Er et mål som brukes for å angi en bygningsdels varmeisolerende evne. Måles i  $W/(m^2K)$  og angir hvor mye varme per tidsenhet som kan strømme gjennom et areal på  $1 m^2$  ved konstant temperaturforskjell på 1 kelvin ( $1^\circ C$ )

**VAV** Variable Air Volume - Variabel luftmengde tilførsel i ventilasjonssystemet





# 1. Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn og motivasjon

Energibruk og klimagassutslipp er to temaer som ofte linkes sammen og har stort fokus verden over, spesielt i Norge. På verdensbasis står bygninger for 32% av energibruken og for over 30% av energirelaterte klimagassutslipp når man inkluderer utslipp fra bruk av elektrisitet og fjernvarme [14]. I Norge står bygninger for omtrent 40% av det totale energiforbruket på fastlandet, hvor hele 15% går til yrkesbygg [22][24]. Med disse prosentandelene er det tydelig at bygningsektoren har stor betydning når det kommer til energibruk og klimagassutslipp. Det har også blitt vist av IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) at bygningsektorene er der det er mest lønnsomt å redusere klimagassutslipp [14]. Norge har gjennom Paris-avtalen forpliktet seg til å kutte sine klimagassutslipp med hele 40%, og en av måtene dette gjøres på er gjennom energieffektivisering. Norge har satt igang tiltak der framtidens energikrav til bygninger er blitt strengere både når det gjelder energieffektivisering og krav til fornybare energikilder. Et av regjeringens klimamål er at det samlede energiforbruket i eksisterende bygg skal reduseres med 10 TWh innen 2030.

Noen av yrkesbyggene i Norge med stort potensiale innenfor energieffektivisering er landets universiteter. NTNU, som er Norges største universitet, sier at de skal være et foregangsuniversitet som benytter kunnskap fra forskningen i egen praksis for å sikre en gjennomgående miljøforvarlig virksomhet. Miljøpåvirkningen til virksomheten skal synliggjøres for ansatte og studenter og de skal også til enhver tid ha klare mål for hvordan miljøpåvirkningen skal reduseres. To av disse målene er å redusere eget energibruk med 20% fra 2010 til 2020 og 5% av bygningsmassen skal ha energimerke A.

For å få til dette er det behov for energianalyser og kartlegging av energitilstand til den eksisterende bygningsmassen, samtidig utforske muligheter for rehabilitering.

## 1.2 Mål

Hovedmålet med denne oppgaven er å etablere bygningssimuleringsmodeller som representerer energibruken til bygningsmassen på Gløshaugen. Hvor problemstillingen for oppgaven er konsentrert rundt følgende tre forsknings spørsmål:

- Hvilken funksjonalitet (kontor, forelesningssal, laboratorium, osv.) og egenskaper har den typiske universitetsbygningen på Gløshaugen?
- Hvordan etablere flere bygningssimuleringsmodeller med formål om å representere energibruken til bygningsmassen på Gløshaugen?
- Hvilket muligheter for enøktiltak kan implementeres for å redusere energibruken til bygningsmassen på Gløshaugen?

For å nå hovedmålet og svare på forsknings spørsmålene er følgende delmål fullført;

- Litteraturstudium av energibruk og energikrav til bygninger, energiforsyningsteknologier, energieffektiviseringstiltak og bygningssimulering.
- Fordypning i simuleringsverktøyet IDA ICE.
- Etablere samarbeid med studenter ved Ind. Ecol.
- Samle informasjon om bygningstyper på NTNU campus. Typiske konstruksjoner, energitilstander, og relevante drifts parametere
- Utvikle flere bygningssimuleringsmodeller i IDA ICE på basis av samlet informasjon
- Utforske muligheter og implementere enøktiltak på bygningsmodellene

## 1.3 Struktur

Målene er utført gjennom totalt 12 kapitler, og er strukturert som følgende:

- Kapittel 1
  - Gir en introduksjon til oppgaven med bakgrunn og motivasjon, hvor hovedmålet med oppgaven blir presentert sammen med oppgavens struktur og begrensninger.
- Kapittel 2
  - Tar for seg relevant litteraturstudie for å kunne nå målet. Litteraturstudien tar for seg energibruk i bygninger, energiforsyningsteknologier, energikrav til bygninger, bærekraftige universitetsbygninger, energieffektiviseringstiltak og bygningsimulering.
- Kapittel 3
  - Forklarer fremgangsmåten for hvordan oppgaven er besvart, og tar for seg hvordan data har blitt samlet inn og hvilke beregninger som har blitt gjort.
- Kapittel 4
  - Omhandler den delen av oppgaven som tar for seg energibruken på gløshaugen, hvor elektrisitetsbruken og varmebehovet på campus blir undersøkt. Kapitlene tar også for seg hvilket bygg som skal representere energibruken på Gløshaugen for å kunne lage flere bygningsimuleringsmodeller.
- Kapittel 5-6
  - Omhandler den delen av oppgaven der bygningsimuleringsmodellene blir etablert.
- Kapittel 7
  - Omhandler energieffektiviseringstiltakene som blir etablert og implementert i bygningsmodellene.
- Kapittel 8
  - Presentasjon og analyse av resultatene fra simuleringene av bygningsmodellene.
- Kapittel 9
  - Presentasjon og analyse av resultatene fra simuleringene av energieffektiviseringstiltakene.
- Kapittel 10-12
  - Tar for seg diskusjon om selve oppgaven og arbeidet som har blitt utført, det blir lagt fram en konklusjon av oppgaven og til slutt blir det sett på muligheter for videre arbeid.

## 1.4 Begrensning av arbeid

Stor usikkerhet rundt plassering og reliabilitet for energimålerne tilhørende byggene på NTNU campus, og hvorvidt målerne leser av verdier for 1 eller 2 bygninger. Verdiene fra målerne gir kun energidata for hele bygningen. Dette gjør at analysen om bygningsmassen kun blir utført på bygningsnivå og ikke på detaljnivå som energibruken i forskjellige soner, rom, osv.

Informasjon om selve bygningsmassen er begrenset og hovedkilden er energiattester fra NVE (Norges vassdrag- og energidirektorat). Mangel på energiattester snevrer ned representative bygninger for modellen og gjør modellen mindre presis. Noen av parametrene brukt i IDA ICE er hentet fra standarder og kan ha avvik fra faktiske verdier. I oppgaven er klima fra Værnes benyttet. Informasjon om klima på Gløshaugen ble ikke funnet. Dette fører til usikkerhet rundt validiteten av modellene.

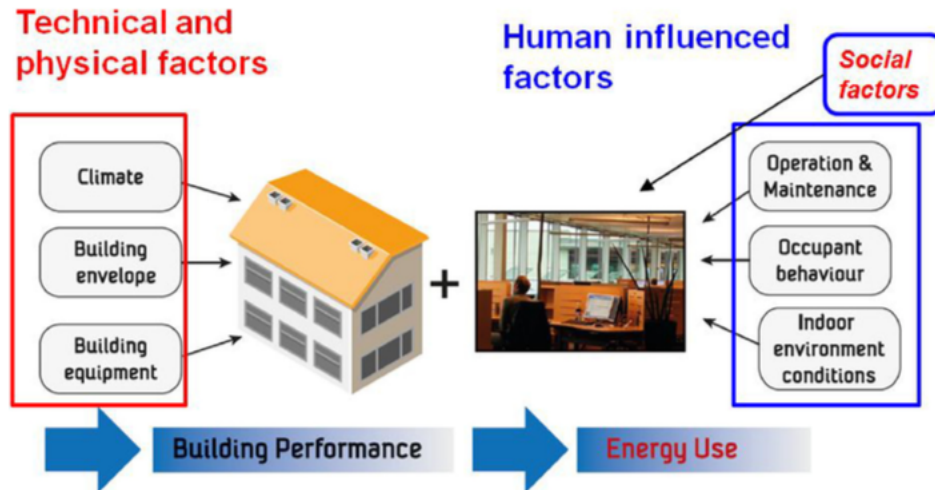
Det er ikke mulig å få tak i informasjon om kostnader relatert til rehabilitering av NTNU, derfor vil ikke dette bli tatt hensyn til ved etablering av enøktiltak.

## 2. Teoretisk bakgrunn

Dette kapitlet tar for seg bakgrunnsteori som omfatter hovedsakelig energibruk i bygninger og bygningsmodellering. Her vil det bli presentert tidligere forskning, begreper og terminologi som blir brukt i oppgaven.

### 2.1 Energibruk i bygninger

Energiforbruket i en bygning påvirkes i hovedsak av seks faktorer: klima, bygningskropp, teknisk utstyr og energisystemer, drift og vedlikehold, menneskelige aktiviteter og oppførsel og innemiljøkvalitet [40]. De seks faktorene deles gjerne inn i to grupper, fysiske og menneskelig påvirkelige faktorer. Innenfor fysiske faktorer tilhører klima, bygningskropp og teknisk utstyr og energisystemer. Dette er faktorer som har faste parametere og er vanskelig å gjøre noe med. Innenfor menneskelig påvirkelige faktorer tilhører drift og vedlikehold, menneskelige aktiviteter og oppførsel og innemiljøkvalitet. Dette er alle faktorer som er lett påvirkelige og varierer fra bruker til bruker. Når man slår sammen disse faktorene får man den virkelige energibruken, eller den faktiske energibruken ifølge Yoshino et al. [40]. Faktorene som påvirker energibruken er illustrert i figur 2.1.

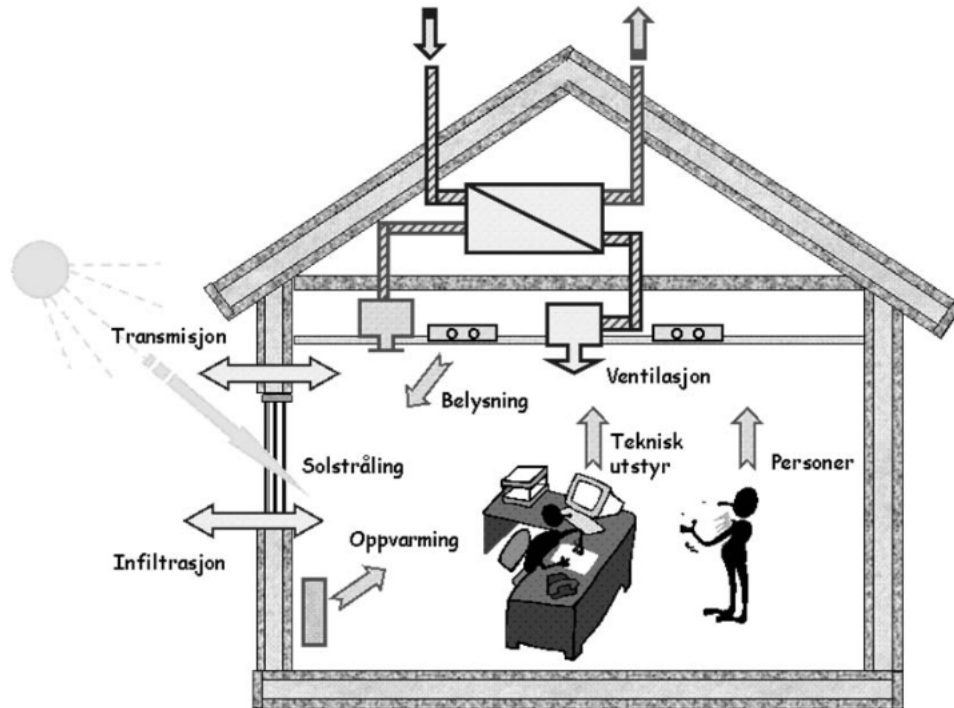


Figur 2.1: Faktorer som påvirker energibruken i en bygning [40].

I tillegg til de seks faktorene eksisterer det en syvende faktor, den sosiale faktor. Yoshino et al. [40] forklarer at denne faktoren omhandler lokale vaner innefor bygningsbruk, energipris, dominerende energikilde i det bestemte området, holdning til energibesparelse og politiske forhold. Den sosiale faktoren er vanskelig å definere, det er derfor mange ulike måter for hvordan denne blir behandlet.

Tidligere har det vært stort fokus på de tekniske og fysiske faktorene. Leth-Petersen and Togeby [20] studerte effekten instrammingen av tekniske forskrifter har på energibruken i nye bygninger, og fant ut fra undersøkelser at effekten har vært betydelig. En konsekvens er at de menneskelige påvirkningene blir enda mer viktig og har derfor også fått mer fokus de siste årene. I rapporten *"Occupant behavior: impact on energy use of private offices"* av Hong and Lin [16] blir forskjellen i energibruk, ut ifra hvor energibeviste personer er, satt i fokus. Energibeviste personer i undersøkelsen ga en energibesparelse på opp mot 50% , mens energisløsete personer økte energibruken med 89%. Dette viser hvor mye de menneskelige faktorene har å si. Et eksempel er forbruket av varmtvann, hvor det er vist at japanere foretrekker å ta et varm bad, mens kinesere foretrekker dusj, noe som gir 7-9 ganger større forbruk [40].

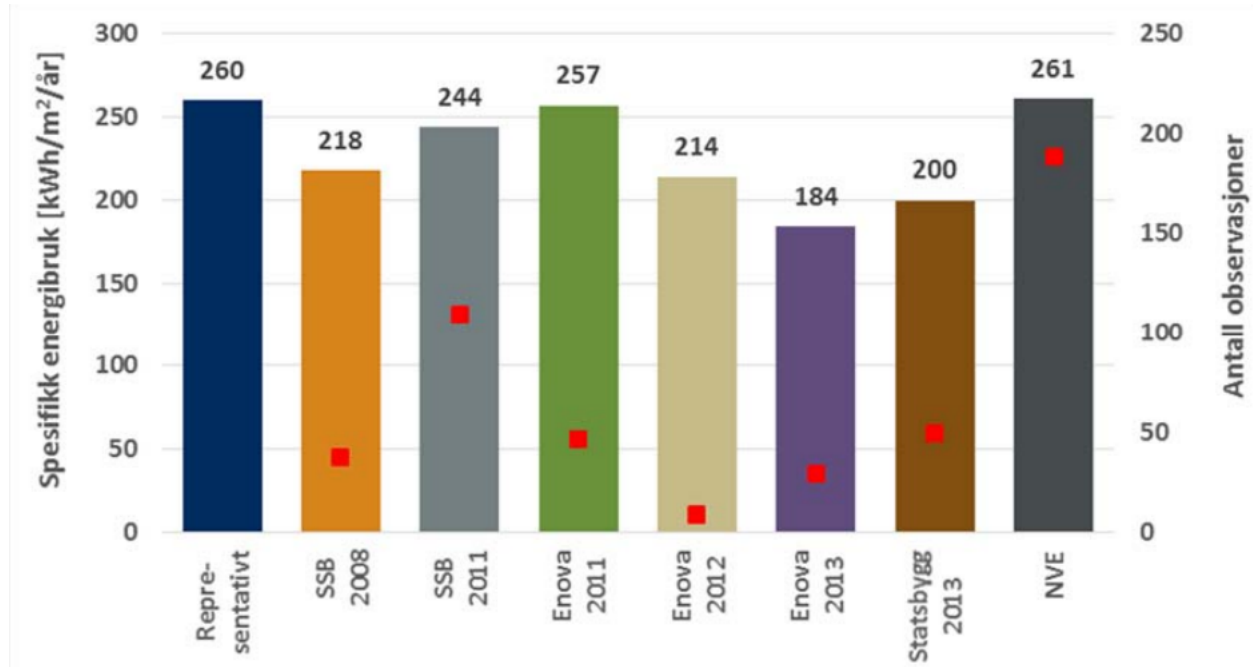
For en bygnings energibruk og energitilskudd er det naturlig å ta for seg energibalansen til bygningen, vist i figur 2.2. Denne energibalansen legger grunnlag for hvordan energibehov til en bygning blir beregnet. Den norske standarden NS 3031 gir fremgangsmåten på hvordan energibehovet kan beregnes. Den tar for seg beregninger av bygningers energiytelse - metode og data. Standardens kompleksitet og omfang tilsier at reglene gitt i standarden i praksis egner seg for databaserte beregningsverktøy. Det anbefales derfor å bruke NS 3031 sammen med dynamiske simuleringsverktøy når energibruk i bygninger skal beregnes.



Figur 2.2: Energibalansen for en bygning [31].

Energiforbruk i ulike bygningstyper varierer mye. Statistisk sentralbyrå gjorde i 2011 en undersøkelse på 2800 bygg som viste stor variasjon i spesifikk energibruk for ulike bygningstyper. Sykehus hadde høyest forbruk med  $375 \text{ kWh/m}^2$ , mens universitet- og høyskolebygninger lå på  $238 \text{ kWh/m}^2$  [34]. Energibruken hentet inn av SSB er både temperaturkorrigert for normalår og stedskorrigert for de ulike byggene.

NVE sammenlignet i 2016 gjennomsnittlig målt spesifikk energibruk i universitet- og høyskolebygg i forskjellige statistikker, som vist i figur 2.3 Av statistikken ble det vist at et representativt energiforbruk for universitet- og høyskolebygg er på  $260 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . I en rapport og case-studie gjennomført av Guan et al. [12] ble energibruk på NTNU campus undersøkt og funnet til å ligge på  $99 \pm 14 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  for oppvarming og  $197 \pm 9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  for elektrisitet. Dette tilsier at NTNU campus har et høyere forbruk enn resten av landets universiteter.



Figur 2.3: Gjennomsnittlig målt spesifikk energibruk i universitet- og høyskolebygg i forskjellige statistikker, røde prikker representerer antall observasjoner [24]



## 2.2 Energiforsyningsteknologier

### Varmepumpe

Varmepumpen fungerer slik at den ved hjelp av et arbeidsmedium transporterer termisk energi fra et sted med lavere temperatur til et sted med høyere temperatur. For å ikke bryte termodynamikkens 2. hovedsetning tilføres varmpumpen høyverdig energi, som regel elektrisitet, for å kunne overføre den termiske energien [13]. Varmepumpen leverer mer energi enn det den blir tilført, denne egenskapen måles i en varmfaktor COP (Coefficient Of Performance)

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (2.1)$$

I ligning 2.1 symboliserer  $Q$  varmeeffekten gitt i watt ut av varmpumpen, mens  $W$  er tilført kompressor effekt, også i watt. Bruken av varmpumpe har blitt mer og mer populær de siste 10 - 15 årene, og har en viktig rolle i det norske energi- og kraftsystemet. Den store veksten er først og fremst luft-luft varmpumper tilhørende mindre husholdninger med en effekt på under 10kW, men også mer kompliserte vannbårne varmpumpesystemer har blitt mer vanlig.

Den kraftigste varmpumpen i Norge ble installert på Skøyen i Oslo i 2005. Varmepumpen bruker ubehandlet kloakk og har en varmekapasitet på 27,6 MW, noe som gjør den til verdens største i sitt slag [38]. Verdens største varmpumpe med ammoniakk som arbeidsmedium ligger også i Norge. Den ble satt i drift i 2011 og er koblet opp mot fjernvarmeanlegget i Drammen. Varmekapasiteten er på 15 MW. Varmekapasiteten til varmpumper har stort potensiale, i Helsinki ble det i 2006 installert et varmpumpeanlegg med en varmekapasitet på hele 90 MW.

Beregninger viser at varmpumper i Norge samlet produserte 15 TWh varme i 2015. Varmepumpene ble tilført ca 6,5 TWh elektrisitet, og hentet ut 8,5 TWh med termisk energi fra omgivelsene [9].

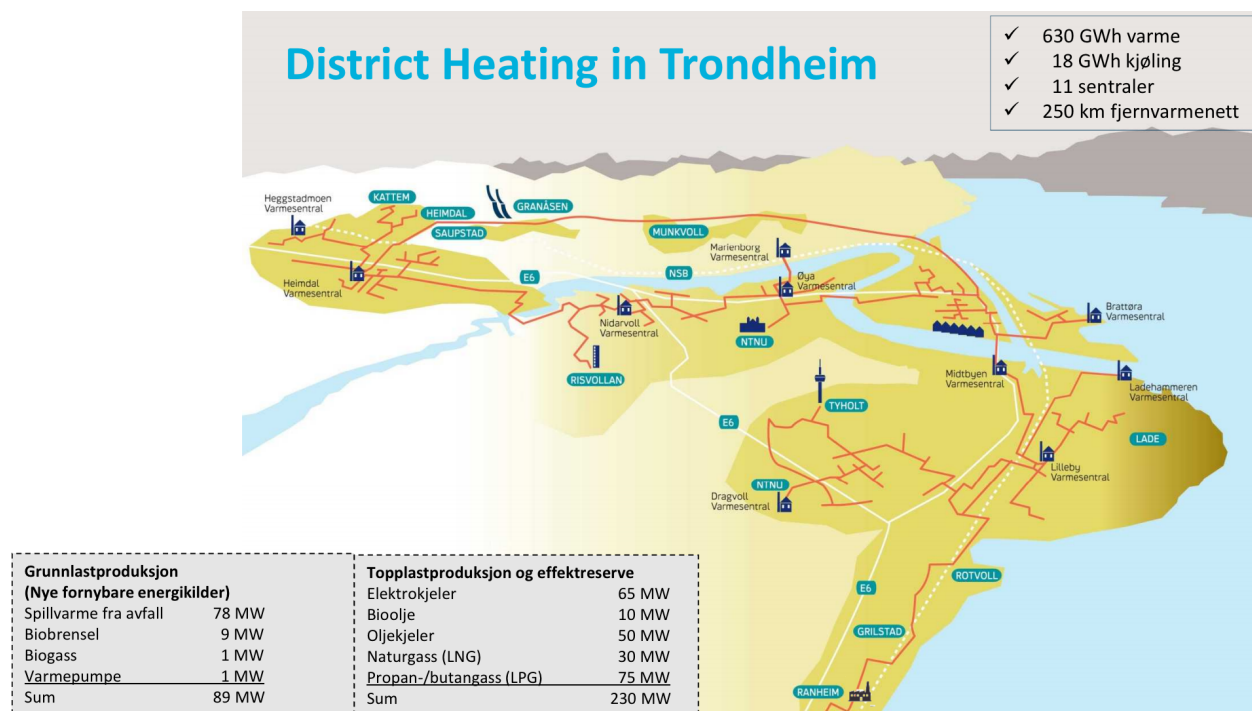
Store og kraftfulle varmpumper har også blitt tatt mer i bruk de siste årene. Varmepumpen kan også kombineres med andre teknologier. Flere steder i Europa har fjernvarmesystemet blitt kombinert med bruk av varmpumpe i hver bygning. Ved å kombinere disse to teknologiene kan man operere med lavere temperatur i fjernvarmesystemet, noe som fører til lavere varmetap og høyere systemvirkningsgrad [9].

## Fjernvarme

Fjernvarme er et energisystem der energi til oppvarming produseres ett sted og anvendes et annet sted. Et sentralisert varmeanlegg, kalt en fjernvarmesentral forsyner et større antall abonnenter med varme gjennom ett eller flere fjernvarmenett. Den termiske energien distribueres i form av varmt vann gjennom isolerte rør, hvor rørene utgjør fjernvarmenettet. Fjernvarmenettet i Norge er mest utbredt i de store byene, dette skyldes at det her er tettere bebyggelse. Det er dermed større varmebehov relativt til arealet, noe som gjør det mer lønnsomt. Fjernvarme er i stadig utvikling og begynner å dukke opp i mindre tettsteder også, dette skyldes i all hovedsak at myndighetene stiller strengere krav til levert energi [6]. Fjernvarmesystemet som eksisterer idag i Norge er i hovedsak et 3. generasjons fjernvarme nett med tur temperaturer på både over og under 100 °C. De største fjernvarmeanleggene i Norge har normalt en dimensjonerende turtemperatur på 120 °C [23].

## Fjernvarme i Trondheim

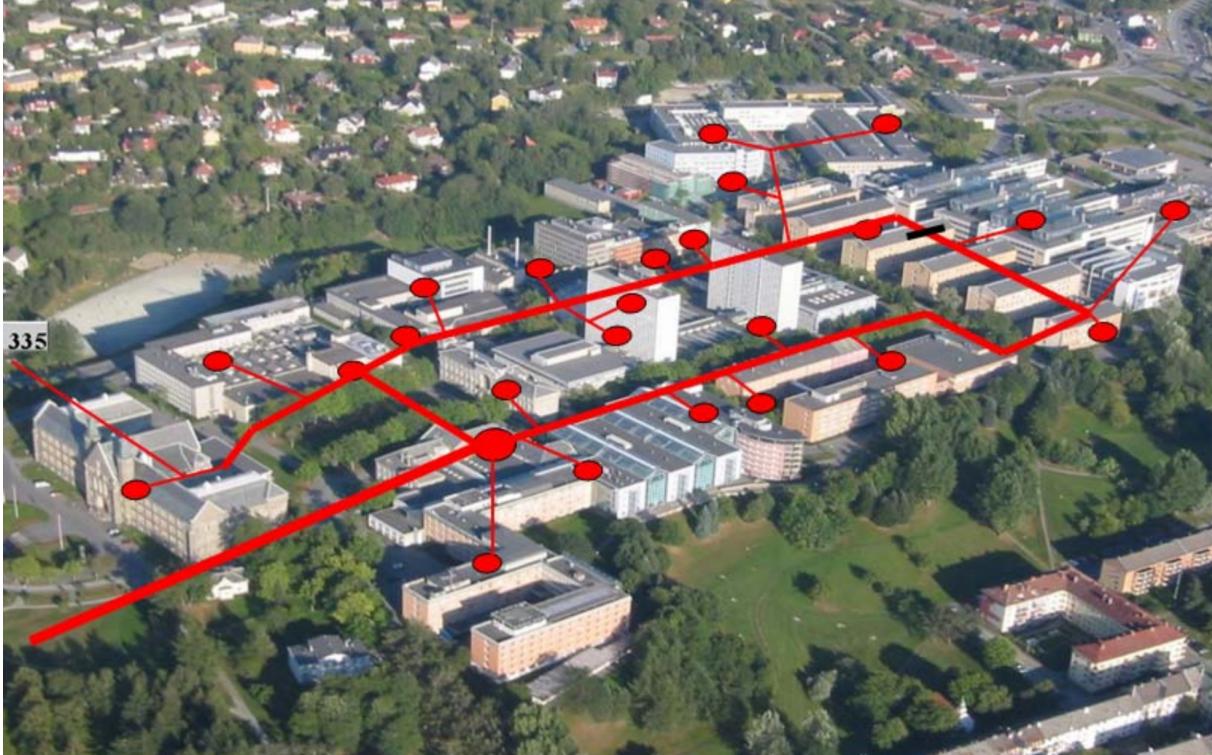
Fjernvarmevirksomheten i Trondheim startet allerede i 1982. Det var da Trondheims Elektrisitetsverk som sto for driften og det var også de som var pådrivere for å starte fjernvarmeutbygging i offentlig regi i Trondheim [36]. Fjernvarmesystemet i Trondheim leveres og drives idag av Statkraft. De leverer cirka 1/3 av varmebehovet i Trondheim. Med et 250 km langt fjernvarmenett distribueres det varme til omtrent 10 000 husholdninger og 900 bedrifter[35].



Figur 2.4: Oversikt over fjernvarmesystemet i Trondheim [35].

I figur 2.4 ser man at det er flere varmeproduserende varmesentraler koblet på fjernvarmenettet i Trondheim, av disse er Heimdal varmesentral den største og har en varmeproduksjonskapasitet på hele 112,5 MW. Undersentraler er også koblet på fjernvarmenettet og er plassert strategisk for å kunne supplere med sikker leveranse og topplast når nødvendig. I Trondheim kan tur- returtemperaturen ligge på rundt 115/75 °C og varmetapet i distribusjonsnettet per år av produsert varme kan variere mellom 8-15% [23]. Statkraft fjernvarme produserte i 2016 hele 626,9 GWh med varmenergi. For varmeproduksjonen kommer 75% fra gjenvunnet energi fra restavfall[36]. De resterende 25% blir dekket av bioenergi, varmepumper, deponigass, LNG og LPG og elektrisk strøm. Kjente bygg som er koblet på fjernvarmenettet er Nidarosdomen, Lerkendal stadion, NTNU og St.Olavs Hospital.

NTNU Gløshaugen er også koblet opp mot fjernvarmenettet gjennom en abonnentsentral som er lokalisert i Gamle Elektro. Her overføres varmen gjennom en varmeveksler til NTNU sitt sekundærnett som igjen transporteres rundt til andre undersentraler til hvert enkelt bygg, som vist i figur 2.5. I 2012 ble det logget i hovedmåleren til Sentral driftkontroll anlegget, levert av Schneider Electric, et varmeforbruk på 27,9 GWh [33]. Denne varmeenergien kommer fra det primære fjernvarmenettet, men noe ekstra varme kommer også fra avkast varme fra kjøling av store data-servere og lokale varmepumper som er koblet på det interne sekundærnettet.



Figur 2.5: Oversiktsbilde over fjernvarmenettet på NTNU gløshaugen, de røde prikkene er abonnentsentraler

#### 4. generasjons fjernvarme

4. generasjons fjernvarme, også kjent som lavtemperatur fjernvarme, er et fjernvarmesystem hvor energibæreren vann holder så lave temperaturer som 40-50 °C. Den lave tur temperaturen gjør det enklere å koble til fornybare energikilder på produksjonsiden og gir lavere varmetap. Det nye fjernvarmesystemet er tilpasset energigjerrige bygg og smarte varmenett. Den lave temperaturen gir større mulighet til termisk lagring i fjernvarme systemet og muligheten for bruk av plastrør og rimeligere rørkvaliteter. Lavere temperatur vil øke COP effekten til eventuelle tilkoblede varmepumper og termisk- spenninger og ekspansjon i rørene vil bli mindre og påfølgende lekkasjer vil reduseres [11].

Oppgradering av fjernvarmenettet fører også med seg utfordringer. En utfordring med lavtemperatur fjernvarme er faren for legionella smitte, men det jobbes med ulike løsninger for rensing av vannet. En annen utfordring er implementeringen av denne infrastrukturen i gamle og nye bygg, da mange gamle bygg allerede har systemer designet for et høytemperatursystem [25][23].

## Radiatorer

Radiatorer er den mest utbredte løsningen ved vannbårne varmesystemer i norske bygg. Radiatorer har en tendens til å ta opp mye plass men har relativt rask temperaturrespons og komfortabel varmfordeling. [23].

I bygg tilknyttet til fjernvarme vil typisk radiatorheteplatene være dimensjonert for en middeltemperatur på 70 - 80 °C, ved overgang til lavtemperaturdrift vil radiatorene måtte bli omtrent 2,5 ganger større for å avgi samme varmemengde. [37] Det eksisterer radiatorer spesielt tilpasset lavtemperatur systemer, med dimensjonerende tur- og returtemperaturer på henholdsvis 55 og 25 °C. Ved godt isolerte bygg vil et lavtemperatur radiator system kunne gi tilstrekkelig med varme, uten å måtte ha for store flater.

Radiator plasseres som regel under vinduer for å forhindre kaldras" (Bevegelse av luft på grunn av avkjøling fra kalde vindusoverflater), ved godt isolerte vinduer er ikke denne effekten like stor og radiatorene plasseres der det er mest praktisk. Varmen fra radiatoroverflaten avgis både via konveksjon og stråling, der strålingsandelen normalt ligger i området 30-60% [41].

## 2.3 Energikrav til bygninger

Dette kapittelet vil ta for seg tidligere, nåværende og kommende energikrav til bygninger i Norge.

### Historiske energikrav

Den første byggeforskriften kom ut i desember 1949 og har i ettertid blitt jevnlig forbedret og oppdatert. De tekniske kravene til byggene har blitt strengere med årene. De ulike byggeforskriftene har flere ulike tilleggskrav som har endret seg gjennom tidene. I 1969 ble det satt krav til bygningstetthet, med TEK07 ble det satt krav til maksimalt netto energibehov [7]. Siden har det kommet krav til blant annet maksimale kuldebroverdier, minimum effektivitet til varmegjenvinning og maksimal vifteeffekt. Med TEK10 ble energikravene skjerpet til passivhusnivå [5]. Dette førte til store protester fra byggersiden på grunn av de økte kostnadene tiltakene medførte.

### Nåværende energikrav

#### TEK17

Den nye tekniske forskriften TEK17 trådte i kraft 1.juli 2017. Med den nye forskriften har utvalgte krav blitt fjernet, lempet på og forenklet slik at forskriften skal bli enklere å bruke og redusere byggekostnader primært for boliger. Noen av energikravene har blitt endret fra TEK10.

U-verdien for gulv og vinduer/dører og krav til varmegjenvinning og SFP-faktoren har blitt strengere. For småhus/øvrige bygg har kravet for normalisert kuldebro blitt redusert fra 0,03/0,06 W/m<sup>2</sup>K til 0,05/0,07 W/m<sup>2</sup>K [6].

Figur 2.6 viser en oversikt av utvalgte energikrav fra nåværende og tidligere TEK. Verdiene for Eldre bygg kommer fra Bøhn et al. [2]. Dette er verdier de har anslått selv.

Energikrav TEK	TEK17	TEK10	TEK07	TEK97	TEK87	TEK69	TEK49	Eldre
U-verdi yttervegg [W/m <sup>2</sup> K]	0,18	0,18	0,18	0,22	0,30	0,7/1,0	1,05	1,30
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	0,15	0,15	0,15	0,30	0,46	0,60	0,60
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,13	0,13	0,13	0,15	0,20	0,46/0,58	0,81	1,00
U-verdi vinduer/ dører [W/m <sup>2</sup> K]	0,80	1,20	1,20	2,00	2,40	2,80	2,80	2,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,05/0,07	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
Begrensning glass/vindu/dørareal	25 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Lufttetthet, lekkasjetall N50 [1/h]	0,6	1,5	1,5	1,5/3,0	1,5/3,0	2,5/3,0	2,5/3,0	2,5/3,0
Varmegjenvinning ventilasjon [%]	80 %	80 %	70 %	65 %	60 %	25 %	0 %	0 %
SFP-faktor [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	1,5	2	2	3,5	4	4	Ingen	Ingen

Figur 2.6: Oversikt over minimumskrav fra nåværende og tidligere TEK[2].

### **Passivhus-standard**

Kravene til passivhus-standarden, NS 3700 for boliger ble utviklet av en komite bestående av personer fra byggenæringen og myndighetene. Første versjon kom ut i 2011. Passivhus har langt strengere krav til energieffektivitet enn hva som er lovpålagt. NS 3701 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – yrkesbygg, ble utgitt i 2012 [27].

Da standarden først kom ut, var kostnaden for å bygge etter passivhus-standarden en mye dyrere byggemetode sammenlignet med TEK10. For å øke incentivet til å bygge etter passivhus-standarden, ga Enova tilskudd til de som valgte å bygge etter denne standarden. Denne ordningen ble utfaset i 2013 da det ikke var behov for å gi tilskudd lenger, siden man sparte inn ekstrakostnader gjennom lavere energikostnader [26].

### **Fremtidlige energikrav**

I 2016 la regjeringen frem stortingsmelding om energipolitikken, Meld. St. 25 Kraft til endring – energipolitikken mot 2030. Stortingsmeldingen inneholder utviklingstrekk, status og perspektiver for den innenlandske energiforsyningen i Norge. Regjeringen vil frem mot 2030 prioritere fire innsatsområder i energipolitikken:

- Styrket forsyningssikkerhet
- Lønnsom utbygging av fornybar energi
- Mer effektiv og klimavennlig bruk av energi
- Næringsutvikling og verdiskaping gjennom effektiv utnyttelse av lønnsomme fornybarressurser

Målet er at Norge skal være en foregangsnaasjon innen miljøvennlig energibruk og produksjon av fornybar energi. Dette skal oppnås ved å redusere energiintensiteten (energibruk/BNP, [kWh/NOK]) med 30 prosent innen 2030. Regjeringen arbeider også med å utforme et forslag som gjør at det blir forbudt å bruke fossilt brensel til oppvarming i husholdninger og til grunnlast i øvrige bygg etter 2020 [29].

## 2.4 Veien mot bærekraftige universitetsbygninger

Universitets campuser består av en gruppe med mange varierte og komplekse bygninger med et høyt energiforbruk. Dette gjør at universitets campuser kan sammenlignes med en småby, og er et ideelt teststed for å lære om energibruk og energieffektiv planlegging for fremtidige byer. Et universitet har mange forskjellige type funksjoner som utdanning, bibliotek, forskningslaboratorium, kontorer, osv. En universitetsbygning inneholder flere av disse funksjonene. Guan et al. [12] analyserte energibruken til 24 bygninger på NTNU Gløshaugen over en 3 årsperiode (2011-2013). Bygningsmassen ble hovedsakelig delt opp i to typer, kunst- og vitenskapsbygg (K&V) og ingeniør- og teknologibygg (I&T). Rapporten viste at det er stor variasjon på energibruken mellom de to typene. Dette gjelder for både varmebehovet og elektrisitetforbruket. I&T-byggene brukte nesten dobbelt så mye energi til oppvarming og elektrisitet som K&V-byggene. En av grunnene til den store variasjonen kom av laboratoriene i de forskjellige bygningene. Hvert laboratorium er unikt, og elektrisitet- og varmebehovet varierer stort i mellom dem. Faktorer som dette gjør at det er komplisert å definere energibruken for den typiske universitetsbygningen.

I de siste tiårene har det vært et stort fokus om å redusere energibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp. Etter utgivelsen av *"The European Directive on Energy Performance of Buildings"* har interessen av bærekraftige universiteter økt [19]. Hong et al. [17] analyserte energibruken og CO<sub>2</sub>-utslippet til Sør-Koreas sjetteste største universitet, Kyungpook National University. Rapporten viste at elektrisitetforbruket steg med mer enn 5% hvert år siden 2006. Dette kom av at etterspørselen av årlig gjennomsnitts temperatur og kjølebehov økte. De foreslo forskjellige tiltak for å redusere energibehovet. Tiltakene var å gå over til nyere teknologi som krevde mindre elektrisitet, øke effektiviteten av energiforsyningene og installere fornybare energisystemer.

Energibruk i bygninger er et komplisert tema med mange parametere som påvirker forbruket. Det eksistere i dag mange forskjellige miljøsertifiseringsverktøy som måler en bygnings miljøprestasjon. Agdas et al. [1] viste at slike miljøsertifiseringer fortsatt har sine mangler og stilte spørsmål til dens gyldighet. Ved å sammenligne 24 universitetsbygg i USA, der 10 hadde oppnådd en LEED-sertifikat (Leadership in Energy and Environmental Design) og 14 ikke-LEED bygninger, ble det ikke funnet noen stor forskjell i spesifikk energiforbruk.

NTNU har siden 2012 erklært at de skal være et ledende universitet innen bærekraftig utvikling. Hovedfokuset vil være på forskning innen energi, hav, helse og bærekraft [28].

I NTNUs Miljøambisjon står det: *"NTNU skal være et foregangsuniversitet som benytter kunnskap fra forskningen i egen praksis for å sikre en gjennomgående miljøforsvarlig virksomhet. Dette medfører at vi skal ha full oversikt over hvor stor miljøpåvirkning virksomheten har, og synliggjøre dette overfor ansatte, studenter og omverden. NTNU skal til enhver tid ha klare mål for hvordan*



*miljøpåvirkningen skal reduseres.”*

Som en del av arbeidet mot en bærekraftig fremtid, har NTNU blitt medlem av International Sustainable Campus Network (ISCN) og Nordic Sustainable Campus Network (NSCN). ISCN er et nettverk bestående av over 80 universiteter og høyskoler fra hele verden som jobber med bærekraftig forskning og undervisning. Her har de muligheten til å dele informasjon, ideer og beste praksis med hverandre.

I ISCNs *”WEF-GULF ISCN Report: Educating for Sustainability”* er det blitt samlet case-studier fra 30 universiteter som er ledende i bærekraftig utdanning [18]. Rapporten handler om hvordan universitetene har gått fram for å fremheve bærekraftig utvikling. Ved Princeton University er det blitt lagt til ekstrapensum i 110 emner som omhandler bærekraft. I studieprogrammet SEEDS<sup>1</sup> Sustainability Program ved University of British Columbia er det inngått en avtale om samarbeid mellom 6,500 studenter, fakulteter og ansatte som har gitt dem muligheten til å gjennomføre hundrevis av innovative og virkningsfulle prosjekter med bærekraft i fokus. Yale University miljøambisjoner, som er beskrevet i *”Yale Sustainability Plan 2025”*, fremhever deres mål innen lederskap, helse, klimatiltak, bygg, materialer og teknologi for å oppnå en bærekraftig fremtid [39].

---

<sup>1</sup>Social Ecological Economic Development Studies

## 2.5 Energieffektiviseringstiltak i bygninger

Dette delkapittelet vil presentere to studier som tar for seg energieffektiviseringstiltak i bygninger. Den første studien omhandler potensial og barrierer knyttet til energieffektiviseringstiltak av næringsbygg i Norge. Den andre presenterer eksempler på tiltak for energieffektivisering for boligbygg i Norge.

### **Teoretisk, teknisk, økonomisk og reelt potensial**

I en studie utarbeidet av Multiconsult AS og Analyse & Strategi AS på oppdrag av Enova, er det blitt gjennomført en analyse for å avdekke potensial og barrierer knyttet til næringsbyggs energiytelse frem til 2020. Målet med studien var å avdekke hva som er potensialet for enøktiltak for norske næringsbygg [2]. Studien tar for seg alle slags næringsbygg i Norge (kontorbygning, sykehus, hotellbygning osv.). Bygningsmassen ble fordelt inn i 7 forskjellige TEK-standarder: Eldre bygg, TEK49, TEK69, TEK87, TEK97, TEK07 og Nybygg (TEK10). Dette avsnittet fokuserer først og fremst på resultatene av universitetsbygg i studien.

I studien blir det skilt mellom teoretisk, teknisk, økonomisk og reelt potensial. Bøhn et al. [2] beskriver de forskjellige potensialene som følgende:

- **Teoretisk potensial**

Det teoretiske potensialet er energibesparelsen som er mulig å oppnå uten å ta hensyn til hva som teknisk mulig og lønnsomt for eksisterende bygg. Den eksisterende bygningsmassen løftes opp til TEK10-nivå. Bygningsmassen for nybygg løftes til passivhus- og nær null energistandard.

- **Teknisk potensial**

Teknisk potensial er andelen av teoretisk potensial som er teknisk gjennomførbar. Det blir tatt hensyn til at en viss andel av eksisterende bygg ikke kan løftes opp til TEK10-nivå.

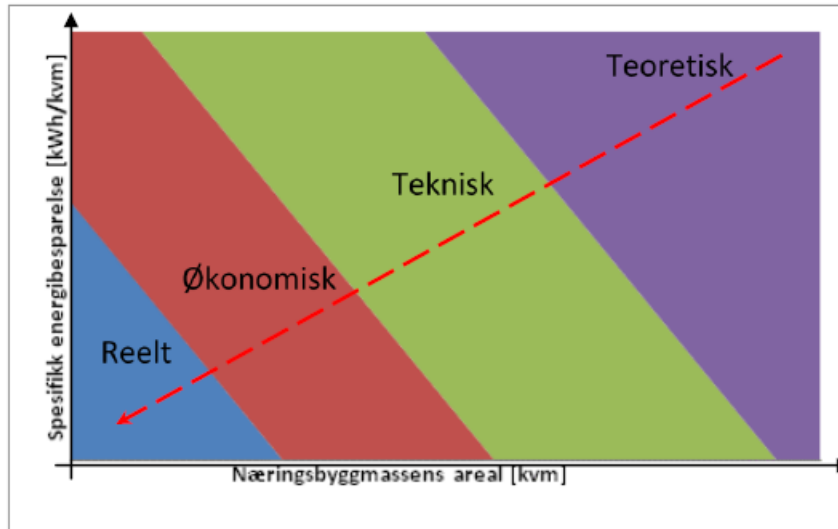
- **Økonomisk potensial**

Økonomisk potensial er andelen av teknisk potensial som er økonomisk lønnsomt å gjennomføre.

- **Reelt potensial**

Reelt potensial er andelen av økonomisk potensial som ikke naturlig utløses. Selv om et tiltak er økonomisk lønnsomt blir det ikke automatisk gjennomført på grunn av andre faktorer. Disse faktorene blir beskrevet som barrierer i studien.

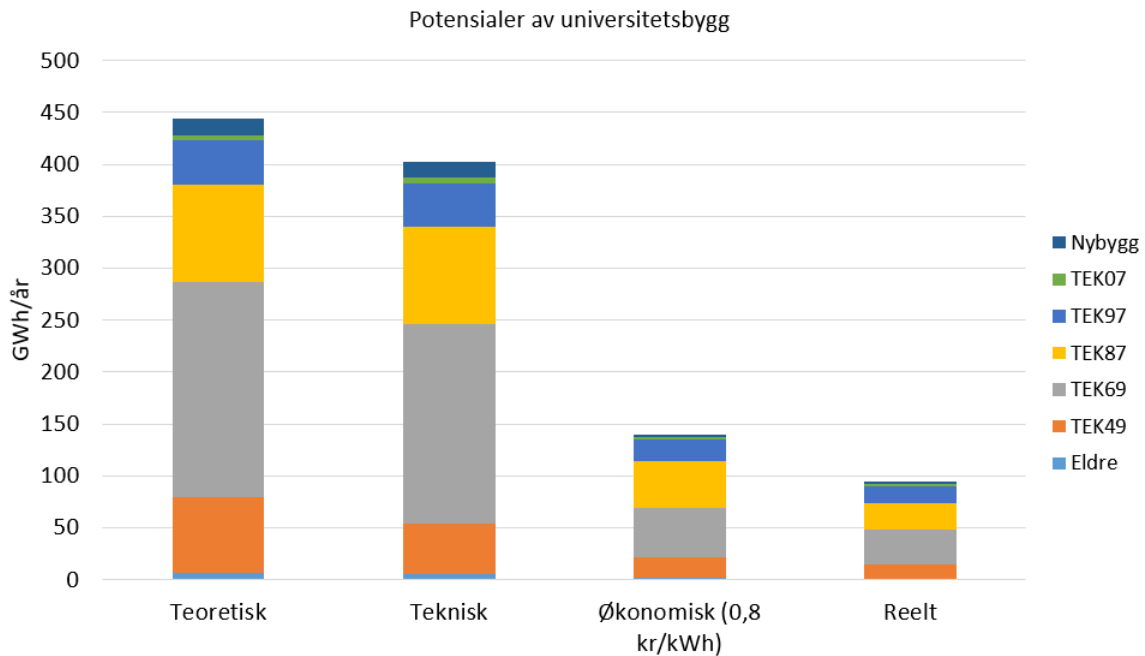
Det er verdt å nevne at reelt potensial ikke er en direkte avskalling av økonomisk potensial. Dette kommer av at potensial som utløses ved rehabilitering ikke alltid er økonomisk lønnsomme tiltak, men tiltak som gjøres for å tilfredsstille nye energikrav ved en hovedombygning.



Figur 2.7: Prinsippkisse av avskalling av potensial for energieffektivisering [2].

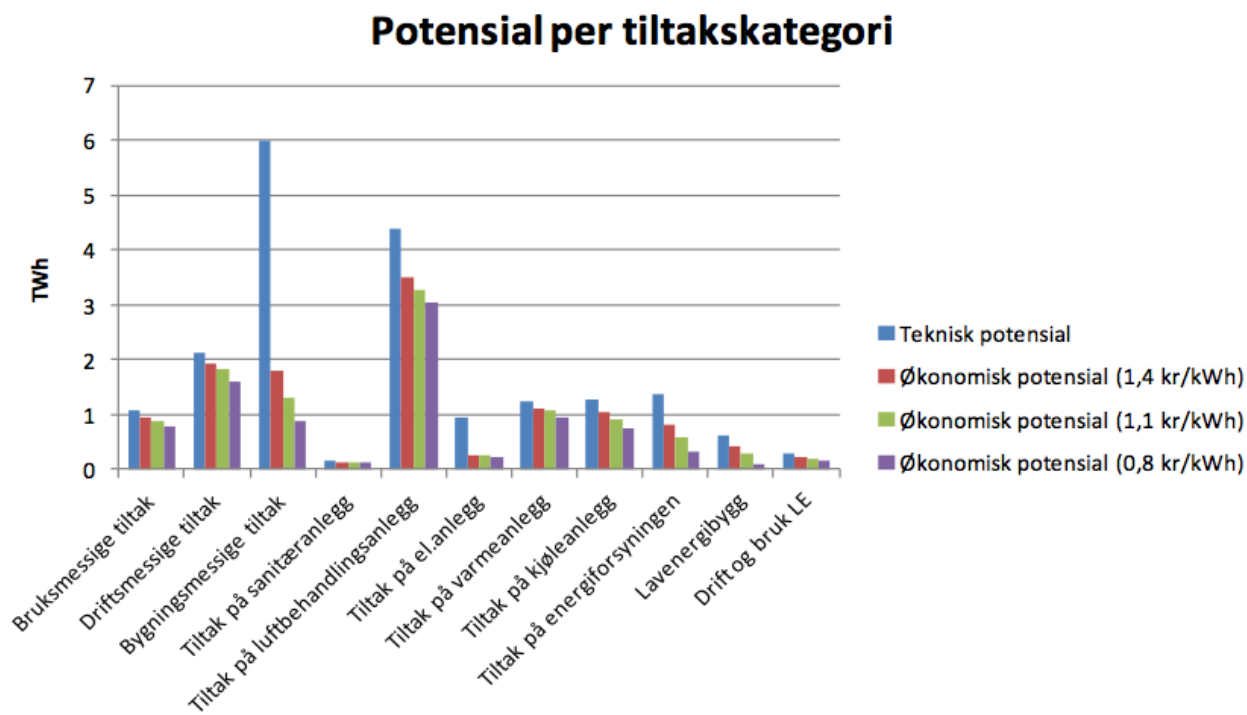
Figur 2.7 viser avskallingen for energieffektivisering. Figuren viser sammenhengen mellom spesifikk energibesparelse [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ] og det totale arealet [ $\text{m}^2$ ] av næringsbyggmassens i Norge. Produktet av disse gir det aggregerte potensialet for energieffektivisering, illustrert i form av arealene i figuren.

Figur 2.8 viser de forskjellige potensialene for universitetsbygg. Bygningene som er bygget under TEK69 og TEK87 har det største potensialene for alle gruppene. Fra teknisk til økonomisk potensial er det en stor reduksjon, fra 400 GWh/år til 140 GWh/år. Dette illustrerer den store forskjellen mellom hva som er teknisk mulig å gjennomføre og hva som er økonomisk lønnsomt av energieffektiviseringstiltak.



Figur 2.8: Potensial for universitetsbygg [2].

Figur 2.9 viser teknisk potensial og økonomisk potensial summert per tiltakskategori. Det økonomiske potensialet er vist med ulike energipriser og er sammenlignet med det tekniske potensialet. Det største tekniske potensialet kommer fra bygningsmessige tiltak. Det økonomiske potensialet for denne tiltaksgruppen er sterkt redusert på grunn av de høye investeringskostnadene involvert, noe som gir en lav lønnsomhet. Det største økonomiske potensialet kommer fra tiltak på luftbehandlingsanlegg, etterfulgt av driftsmessige tiltak og bygningsmessige tiltak.



Figur 2.9: Potensial per tiltakskategori [2].

Bygningmessige tiltak innebærer:

- Etterisolering av tak
- Etterisolering av gulv
- Etterisolering av vegg
- Utskifting av vinduer
- Tetting (forbedring av lekkasjetall)

Tiltak på luftbehandlingsanlegg innebærer:

- Oppgradering av ventilasjonsanlegg
- Forbedring av varmegjenvinneren i ventilasjonen
- Forbedring av SFP
- Behovsstyring VAV

Driftsmessige tiltak innebærer:

- Energioppfølgingssystem (EOS)
- Sentral driftskontroll (SD-anlegg)
- Optimalisering av den generelle driften av bygningen

**Barrierestudie**

Videre blir det gjort en barrierestudie for å avdekke barrierer og holdninger tilknyttet enøktiltak ved eksisterende bygg. Tabell 2.1 viser de viktigste barrierene som fremheves i studien. Spesielt de økonomiske barrierene fremheves som de viktigste og største hinderene i studien.

Tabell 2.1: Barrierer ved enøktiltak

<b>Kategorier av barrierer</b>	<b>Konkrete barrierer</b>
<b>Praktiske</b>	Forankring i egen organisasjon
	Motstridende myndighetskrav
	Utforming av kontrakter mellom eier og leietaker som gir de riktige insentivene
<b>Økonomiske</b>	Rigid rammeverk for offentlige aktører
	Offentlige virksomheter får ikke låne penger
	Høye investeringskostnader
<b>Holdninger</b>	Lav bevissthet knyttet til energibruk
	Bedriftskultur/skepsis til energieffektivisering
<b>Kunnskap</b>	Generelt manglende kunnskap om fordeler og lønnsomhet ved energieffektivisering
	Manglende kompetanse knyttet til drift av bygg

## Typologier for norske boligbygg

I en rapport av Brattebø et al. [3] ble det presentert en topologi-brosjyre av norske boligbygg med vekt på å vise effekter av tiltak for energieffektivisering. Rapporten er utarbeidet som en del av prosjektet EPISCOPE (Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks). Hensikten med prosjektet er å bidra til en mer transparent og effektiv prosess for energieffektivisering og rehabilitering av den europeiske boligmassen. Studien tar ikke for seg det økonomiske aspektet, kun det tekniske potensialet.

Typologien for norske boligbygg ble klassifisert inn i 21 segmenter:

- 3 bygningstyper:
  - Enebolig (SFH - Single Family House)
  - Tomansbolig, rekkehus o.l. (TH - Terraced House)
  - Boligblokk (AB - Apartment Block)
- 7 aldersklasser:
  - Frem til og med 1955 (XX.01)
  - 1956-1970 (XX.02)
  - 1971-1980 (XX.03)
  - 1981-1990 (XX.04)
  - 1991-2000 (XX.05)
  - 2001-2010 (XX.06)
  - 2010 og fremover (XX.07)

Dette avsnittet vil fokusere på Boligblokk(AB)-delen av rapporten, ettersom boligblokker er den bygningstypen som er mest tilnærmet universitetsbyggene på Gløshaugen.

I rapporten presenteres forskjellige varianter av energieffektiviseringspakker. Pakkene tar for seg komponenter i bygningskroppen (tak, yttervegg, vinduer og gulv) og i energisystemet (for romoppvarming og varmtvann). De forskjellige variantene blir forklart i rapporten som følgende:

Den aktuelle bygningen presenteres i tre varianter. For bygninger oppført inntil 2010 representerer variantene tre ulike nivå for rehabilitering: Variant 1 er bygningen i sin nå-tilstand, uten omfattende rehabilitering. Variant 2 er bygningen slik den antas å være etter en typisk vanlig rehabilitering. Variant 3 er bygningen slik den antas å være etter en ambisiøs rehabilitering.

For bygninger oppført fra og med 2011 representerer variantene tre ulike nivå for bygningens energibruk og energiytelse: Variant 1 er bygningen slik den oppføres iht. TEK10 standard. Variant 2 er bygningen slik den antas å være iht. passivhus standard. Variant 3 er bygningen slik den antas å være iht. NZEB ambisjoner, og her har vi forutsatt at komponentene i bygnings-

kroppen fortsatt følger passivhus standard (altså tilsvarende Variant 2), mens energisystemet er ytterligere oppgradert for eksempel ved bruk av takmontert solcelleanlegg [3, s. 13].

Kort forklart er variant 1 bygningens nå-tilstand, variant 2 fokuserer på bygningskroppen og variant 3 ser både på bygningskropp og energisystemet. Tabell 2.2 viser et eksempel på hvordan variantene er satt sammen.

Tabell 2.2: Eksempel på rehabiliteringsvarianter

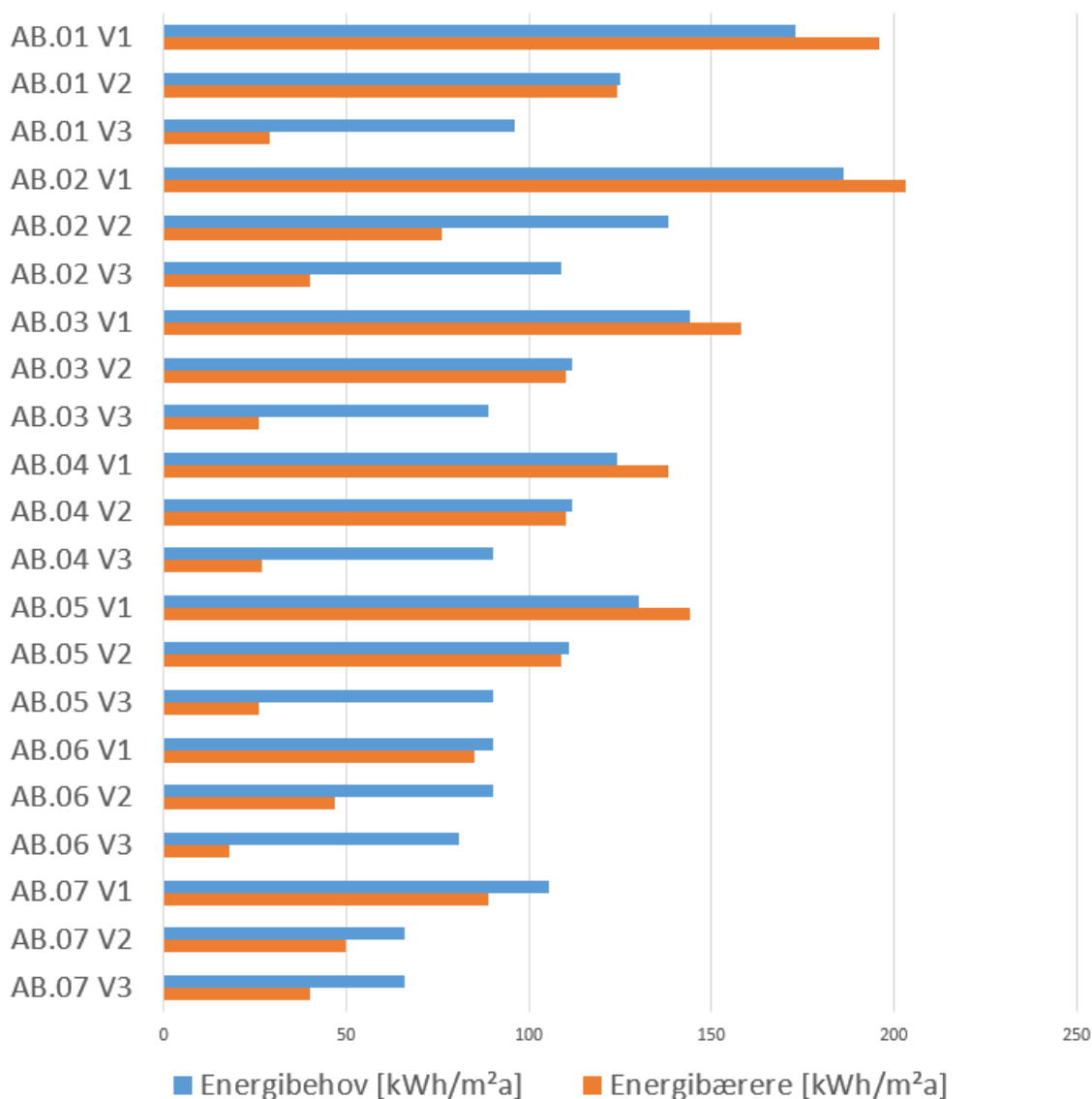
Type	Variant		
AB.03	Variant 1	Variant 2	Variant 3
Konstruksjon	U-verdi	U-verdi	U-verdi
Tak	0,21	0,14	0,14
Yttervegg	0,41	0,20	0,20
Vinduer	2,80	1,90	1,20
Gulv	0,34	0,26	0,26
Installasjoner	Verdi	Verdi	Verdi
Oppvarming	1,31	1,27	0,42
Varmtvann	2,19	1,14	1,00
Ventilasjon (gjennvinner)	0	0	85%
Solceller	0	0	3 [kW <sub>p</sub> ]

Fra variant 1 til variant 2 og 3 er bygningskroppen blitt etterisolert med mineralull og vinduene er skiftet ut til en høyere energistandard. Tekniske installasjoner er forbedret. I dette eksempelet benytter variant 1 elektrisk oppvarming og elektrisk fyrkjel for varmtvannet. Variant 2 benytter en luft/vann varmepumpe for varmtvann. Variant 3 benytter jordvarmepumpe for både oppvarming og varmtvann. Verdien som er oppgitt for oppvarming og varmtvann er et tall for primærenergifaktoren. Faktoren angir mengden primærenergi per enhet energibehov. I variant 3 er det lagt til et ventilasjonsanlegg av passivhus-standard med en varmegjennvinner på 85%. Det er også installert takmonterte solcelleanlegg med en effektkapasitet på 3 kW<sub>p</sub>.

En full oversikt av de forskjellige variantene for Boligblokk er gjengitt i Appendix A.1.

Figur 2.10 viser resultatene av simuleringene.





Figur 2.10: Resultater fra de forskjellige aldersklassene for Boligblokk [3]

Resultatene viser at rehabiliteringsvariantene gir en stor reduksjon på både energibehovet og energibærere (levert energi). Spesielt energibærere reduseres kraftig med variant 3. Dette kommer av at i variant 3 for alle aldersklassene er det installert takmonterte solcelleanlegg. Resultatene viser at det er mye energi å spare ved å rehabilitere både bygningskroppen og energisystemet. Ved å installere mer effektive energisystemer kan man senke levert energi drastisk.

## 2.6 Bygningssimulering

Bygningsmodellering og simulering er kjent for å være det mest effektive analyseringsverktøyet som er tilgjengelig for å analysere ytelsen av et bygg. I perioden før bygningssimulering var mulig, måtte arkitekter og byggingeniører ty til egne kalkulasjoner basert på forhåndsbestemte verdier og ”tommelfingerregler” når de skulle dimensjonere energisystemer. Denne tilnærmingen førte til at det ofte ble overdimensjonerte energisystemer og dårlig energiutnyttelse. Med dagens teknologi kan arkitekter og ingeniører enkelt teste ut nye innovative idéer og konsepter med bygningssimuleringsprogrammer, og utforske nye metoder for å effektivisere energibruken til en bygning [15].

Selv om BPS<sup>2</sup> er en effektiv metode for å støtte design og drift av bygninger, er det ofte betydelig avvik mellom simulerte resultater og virkelig forbruk i reelle bygninger. Flere studier viser at det er store muligheter for forbedringspotensiale om man skal bruke BPS som et pålitelig verktøy for å estimere energiytelse av et bygg [30].

I det påfølgende avsnittet vil begrepene referansebygg og kalibrering bli forklart. En fremgangsmetode for å etablere referansebygg og kalibrering vil også bli presentert.

---

<sup>2</sup>Building Performance Simulation

## Fremgangsmetode for referansebygg

Det eksisterer per i dag ikke en uniform definisjon av begrepet *referansebygg*. Referansebygg blir ofte brukt til å kunne sammenligne ulike prosjekter på en objektiv måte. Siden det ikke finnes en standardisert metode, er tilnæringsmåtene svært ulike med tanke på metode og grad av nøyaktighet ved etablering av et referansebygg. Det kan blant annet være basert på gyldige standarder, målinger og statiske data.

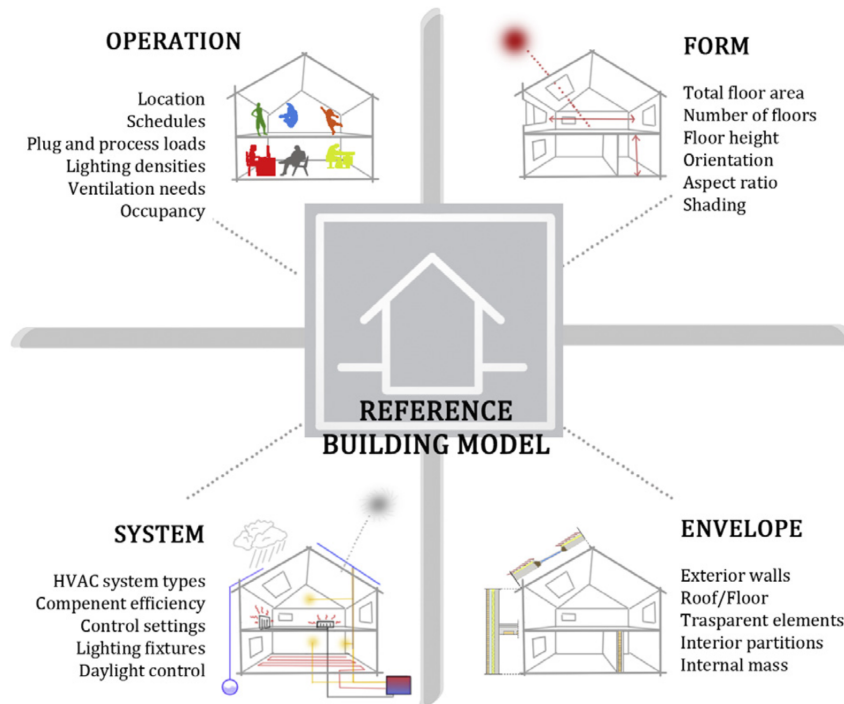
Energy Performance of Buildings Directive (EPDB) i EU definerer referansebygg som følgende: *”Bygninger som karakteriseres av og representerer sin funksjonalitet og geografiske beliggenhet, dette inkluderer innendørs og utendørs klimaforhold”*. Målet er å representere typiske og gjennomsnittlig bygningsmasse i form av klimatiske forhold og funksjonalitet (kontorbygg, skoler, o.l.) [10].

Corgnati et al. [4] legger frem en metode for å etablere et referansebygg. Denne metoden tar inspirasjon fra retninglinjer gitt av EPDB og Department of Energy (DOE) i USA.

Figur 2.11 illustrerer fremgangsmetoden for å definere et referansebygg som er laget av DOE. Figuren viser de fire hovedområdene det må samles tilstrekkelig data for å definere et referansebygg.

Hovedområdene er:

- Bygningsgeometri
- Bygningskropp
- Tekniske systemer
- Drift og bruk



Figur 2.11: Fire hovedområder som definerer et referansebygg ifølge DOE metoden [4]

Bygningsgeometri omfatter bygningstypen (kontor, skole, sykehus, osv.), størrelse og generell geometri av bygningen. Bygningskropp omfatter konstruksjonsmetoden og materialene som er brukt i bygningen. Dette skal beskrive de termofysiske egenskapene til bygningskroppen. Tekniske systemer tar for seg oppvarming- og kjølesystemer, ventilasjonssystemer og energiforsyninger inne i bygningen. Drift og bruk består av de operative parametrene som påvirker bruken av bygningen. De er som regel representert i form av tidsplaner (tidsplan for lys, tidsplan for innetemperatur, osv.). Parametere som geografisk beliggenhet og klima inngår her under drift og bruk.

Videre er det anbefalt å samle inn data fra bygninger fra samme byggeperiode, beliggenhet og bygningstype [10]. Retninglinjene fra EPBD viser til tre metoder for å etablere referansebygg. Metodene baserer seg på hva slags data som er tilgjengelig og hvor datakilden er fra. De tre metodene er som følger:

### 1. Opprette et "eksempel- (referanse) bygg"

Denne metoden baserer seg på antagelser og forskning fra eksperter. Informasjonen kommer fra forskjellige eksperter, fagbøker, design manualer og standarder. På basis av antagelser gjort av eksperter, kombineres informasjonen på en riktig måte for å opprette et referansebygg som best mulig representerer en gruppe bygninger som er innenfor samme beliggenhet og byggeperiode. Denne metoden brukes som regel kun når det ikke eksiste-

rer statistiske data.

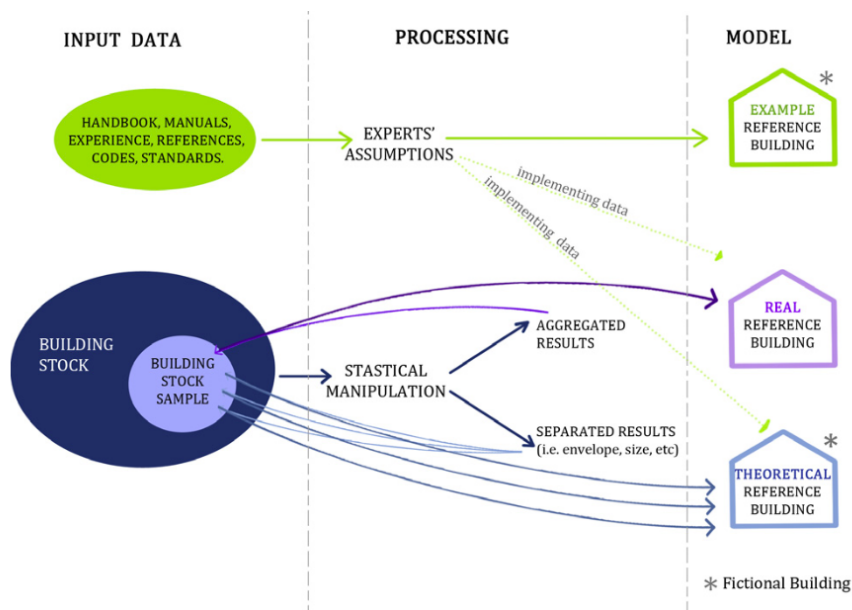
## 2. Utvelgelse av et "reelt- (referanse) bygg"

Et eksisterende bygg blir utvalgt som referansebygg ut ifra sine gjennomsnittlige egenskaper basert på statistiske analyser. Dette referansebygget representerer det bygget som er mest typisk blant en bestemt kategori. Denne metoden krever store mengder av informasjon om bygningsmassen.

## 3. Opprette et "teoretisk- (referanse) bygg"

Referansebygget opprettes fra informasjon som er basert på behandlede statistiske data. Referansebygget skal representere forskjellige karakteristiske egenskaper innen en kategori av bygningsmassen. Dette vil si at referansebygget er en summering av forskjellige egenskaper fra reele bygninger, men den representerer ikke en ekte bygning i seg selv. På grunn av dette består referansebygget av de mest vanlige materialene og systemene i en bygningsmasse.

Disse metodene kan anvendes på hver av de fire hovedområdene som er nevnt tidligere. Avhenging av hva slags data som er tilgjengelig, kan det være mulig å kun bruke en metode for alle områdene i et referansebygg. Det eksisterer kun et begrenset antall av informasjon om nasjonal/regional bygningsmasse som er tilgjengelig. Disse kommer fra undersøkelser og energisertifiseringer som er utført. Derfor er det vanlig å anvende de forskjellige metodene på hver av hovedområdene. De tre metodene som er beskrevet ovenfor er illustrert i figur 2.12.



Figur 2.12: Generell metode for å etablere referansemodeller [4]

## Fremgangsmetode for kalibrering

Kalibrering er et viktig verktøy for å etablere en pålitelig og presis referansemodell. Kalibreringsprosessen går ut på å justere eller kalibrere diverse input parametere i programmet slik at beregnet energibruk samsvarer med målt energibruk [32].

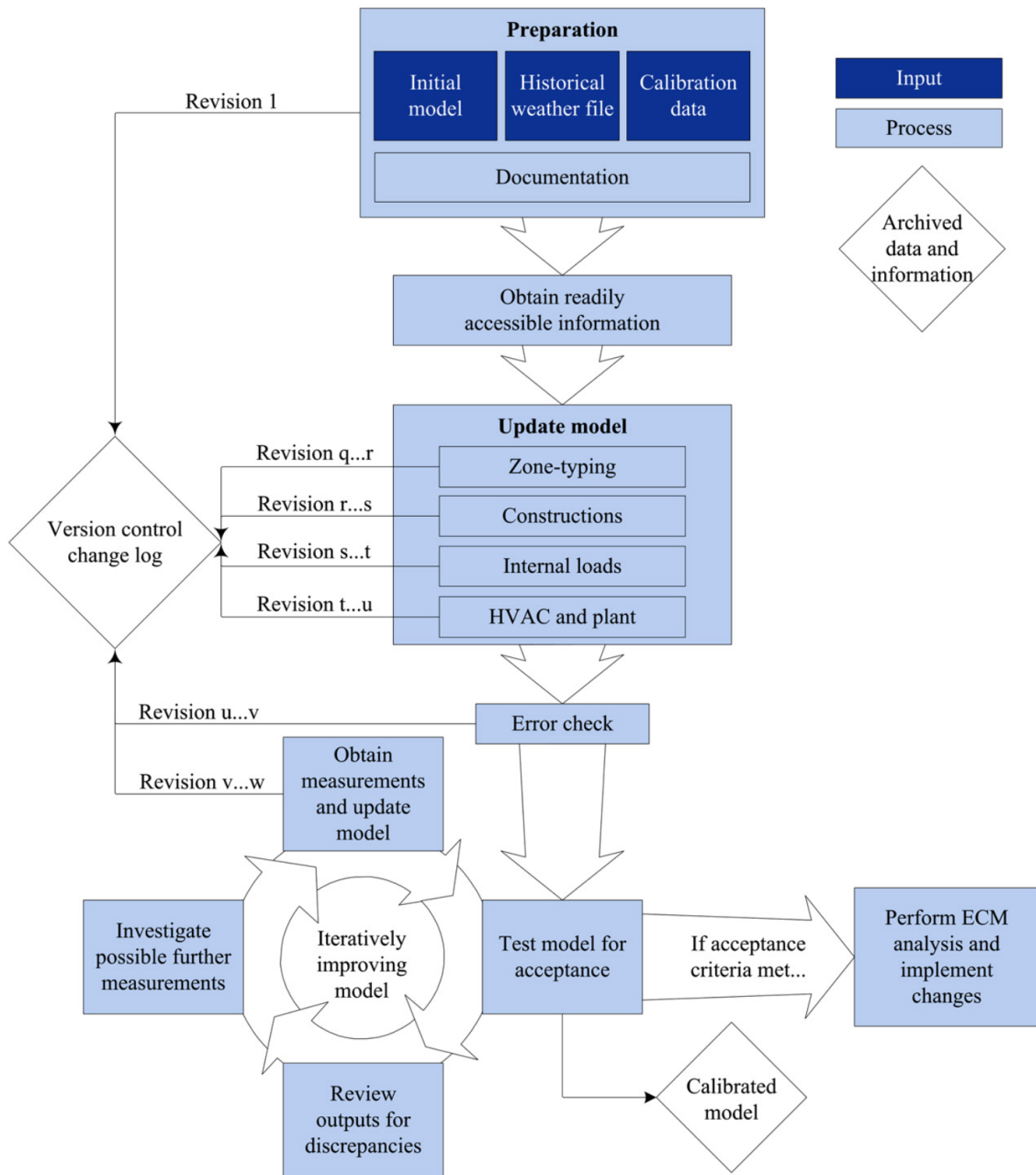
Å kalibrere modeller i forhold til virkelige målte data gir mange fordeler:

- De kalibrerte modellene kan brukes til å identifisere og estimere besparelser av energi-effektiviseringstiltak. Modellene åpner opp muligheten til å analysere de ulike tiltakene i detalj.
- I forskningssammenheng kan kunnskapen som blir tilegnet under kalibreringsprosessen bli brukt til å forbedre utviklingen av simuleringsverktøy, og identifisere hvilket område som krever videre forskning.
- Kalibreringsprosessen kan gi verdifull tilbakemelding om hvordan kvaliteten av fremtidige designmodeller kan forbedres ved å identifisere feilantagelser i modellene og ved å videreutvikle modelleringsprosedyrene.

Ved å benytte kalibrering oppstår det også problemer og utfordringer. For å lage en energimodell av en bygning må et stort antall av parametere bestemmes. Med tanke på at det er generelt mangel på tilstrekkelig data om bygninger, vil dette føre til et stort antall ubestemte parametere. Det eksisterer standard kriterier for å bestemme når en modell kan betraktes som ferdig kalibrert. Disse kriteriene er basert på hvor godt modellen samsvarer med årsforbruket målt i måneds- eller timesintervaller, og beskriver ikke eksplisitt metoden for å kalibrere modellen. Denne mangelen av en formell metode gjør at resultatene er svært avhengig av hvem som utfører vurderingene [30].

Raftery et al. [30] går gjennom eksisterende casestudier og metoder for kalibrering av energimodeller for bygninger. Her blir det lagt frem en systematisk, bevisbasert metode for å kalibrere modellene. Figur 2.13 illustrerer metoden for å kalibrere en modell.

Raftery et al. [30] kaller metoden for *"evidence based calibration"*, bevisbasert kalibrering. Forandringer i input parametere skal gjøres basert på tilgjengelig bevis. Ulike kilder skal prioriteres etter pålitelighet. Metoden fører til at den ferdig kalibrerte modellen er utelukkende basert på bevis. For å forbedre reproduserbarheten til modellen anbefales det å loggføre alle endringer gjennom kalibreringsprosessen, sammen med bevisgrunlaget.



Figur 2.13: Oversikt av kalibreringsmetoden [30]

### **IDA ICE**

IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy) er et detaljert og dynamisk helårs simuleringprogram. Programmet brukes til å studere og beregne inneklime og energiforbruk i bygninger. IDA ICE leveres av EQUA Simulation AB som er et svensk eid firma. De er globalt ledende innen simuleringer og er kjent for sin ekspertise, høye kvalitet og ledende teknologi utvikling. Programmet har åpen kildekode, noe som gir brukeren muligheten til å tilpasse programmet etter eget behov og også muligheten til å øke forståelsen av hva som blir tatt hensyn til og ikke i simuleringene [8].



## 3. Metodikk

### 3.1 Oppgavens overordnende fremgangsmåte

Masteroppgaven er gjennomført som et casestudie hvor hovedmålet er å etablere bygningssimuleringsmodeller av bygningsmassen på Gløshaugen. Modellene skal representere energibruken til den typiske bygningen for den tilhørende kohorten på Gløshaugen. Videre skal det undersøkes måter å rehabilitere bygningsmodellene med enøktiltak. IDA-ICE er benyttet for å modellere og simulere bygningsmodellene. I oppgaven er begrepene *referansemodell* og *referansebygg* tatt i bruk. Det er viktig å presisere forskjellen mellom de to. Med *referansebygg* menes de virkelige bygningene som er blitt valgt ut for å etablere en simuleringsmodell. Den ferdig kalibrerte simuleringsmodellen kalles for *referansemodell*.

I litteraturstudien er en fremgangsmetode lagt frem for å etablere et referansebygg, (avsnitt 2.6). Denne metoden er benyttet for å etablere referansebygg og referansemodeller i oppgaven. Metoden ble valgt fordi det ga oppgaven en mer logisk struktur og oppbygging. Et alternativ er å bruke de seks faktorene som påvirker energibruken i bygninger, (avsnitt 2.1), ettersom de dekker de samme områdene.

For å etablere en referansemodell, må det først defineres referansebygg som skal representere energiforbruket til den typiske bygningen på Gløshaugen. Data om energibruken på Gløshaugen er samlet inn og analysert. Når referansebyggene er definert, kan referansemodellene etableres. Basert på innhentet data ble de fire hovedområdene definert; Bygningsgeometri, bygningsskropp, tekniske systemer og drift og bruk.

Universitetsbygningene på Gløshaugen ble delt inn i fire kohorter. På grunn av begrensning av tid, har alle bygningsmodellene samme bygningsgeometri. Drift og bruk ansees også som lik for alle modellene. Resultatene som er oppnådd fra simuleringene er sammenlignet med de målte verdiene fra de tilhørende kohortene.

Etter at alle referansemodellene er etablert skal det undersøkes måter å energieffektivisere bygningsmodellene ved hjelp av enøktiltak. Tiltakene som ble etablert er basert på hva som er funnet i litteraturstudien, (avsnitt 2.5).

## 3.2 Datainnsamling

Energidata for Gløshaugen campus er hentet ut fra [Schneider Electric](#). Dette er et nettbasert energi overvåkningssystem (Energy Monitoring System). Via Schneider Electric ble data om varmeforbruk, elektrisitetsforbruk og andre relevante målte indikatorer eksportert. Rådata fra Schneider Electric inneholder flere feilmålinger med mange ekstremverdier, dette er blitt rettet opp der det er mulig.

For innsamling av data for å definere hovedområdene for referansebyggene og referansemodellen ble det samlet inn data fra forskjellige kilder. For bygningskropp og bygningsgeometri er det hovedsakelig data fra energiattester gjennomført av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) benyttet. Attestene er gjennomført i perioden 2010-2014. Arealfordeling av Gløshaugen ble tilsendt fra NTNU Drift. For å definere områdene tekniske systemer og drift og bruk er det blitt benyttet data fra energiattestene, standarder (NS 3031 og TEK17) og Schneider Electric. Avdelingsingeniør i seksjon teknisk drift, Øystein Engan, har også bidratt med informasjon.

Klima og værdata for Trondheim i 2016 er hentet fra [Landbruksmeteorologisk tjeneste](#).

## 3.3 Beregning av spesifikk energibruk og vektet gjennomsnitt

### Spesifikk energibruk

Spesifikk energiforbruk benyttes til å sammenligne energiforbruket mellom forskjellige bygninger. Spesifikk energiforbruk er definert i likning 3.1.

$$\text{Spesifikk energiforbruk} = \frac{\text{Energiforbruk}}{\text{Oppvarmet BRA}} \quad (3.1)$$

Den samme formelen er brukt til å beregne spesifikk elektrisitetsforbruk og spesifikk varmeforbruk.

## Vektet gjennomsnitt

Vektet gjennomsnitt er liknende et vanlig gjennomsnitt, men istedenfor at hver enhet teller like mye for resultatet, er hver enhet tillagt en vekt etter sin betydning for resultatet. En generell formell er vist i likning 3.2.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3.2)$$

$\bar{x}$  er vektet gjennomsnitt,  $x_i$  er enheten og  $w_i$  er vektingen.



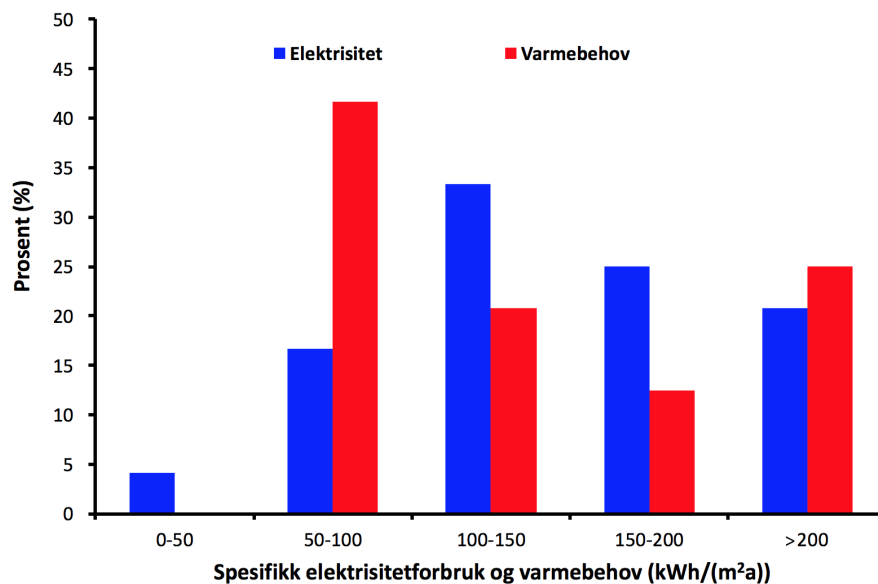
## 4. Etablering av kohorter og referansebygg

I dette kapittelet presenteres først energibruken på Gløshaugen campus. Deretter vil bygningsmassen på campus bli delt opp i kohorter og referansebygg vil bli etablert basert på hvilken kohort de tilhører.

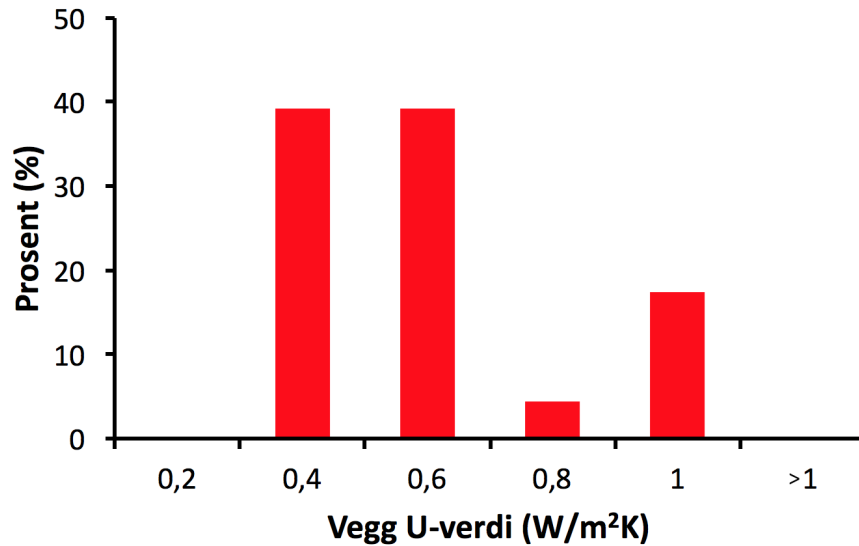
### 4.1 Energibruk på Gløshaugen campus

Gløshaugen campus består av 46 bygninger (ekskludert Nina-huset og ZEB-laboratoriene), med et totalt nettoareal på 297 546 m<sup>2</sup>. Universitetsbygningene på Gløshaugen blir varmet opp med vannbåren varme fra fjernvarmenettverket, det vil si at elektrisitetsbruken i all hovedsak går til å drive pumper, vifter, teknisk utstyr og belysning.

Som tidligere nevnt i kapittel 2.4 analyserte Guan et al. [12] energibruken til 24 bygninger på Gløshaugen campus. Tilgang til rådata fra rapporten til Guan et al. [12] er gitt av Natasa Nord.



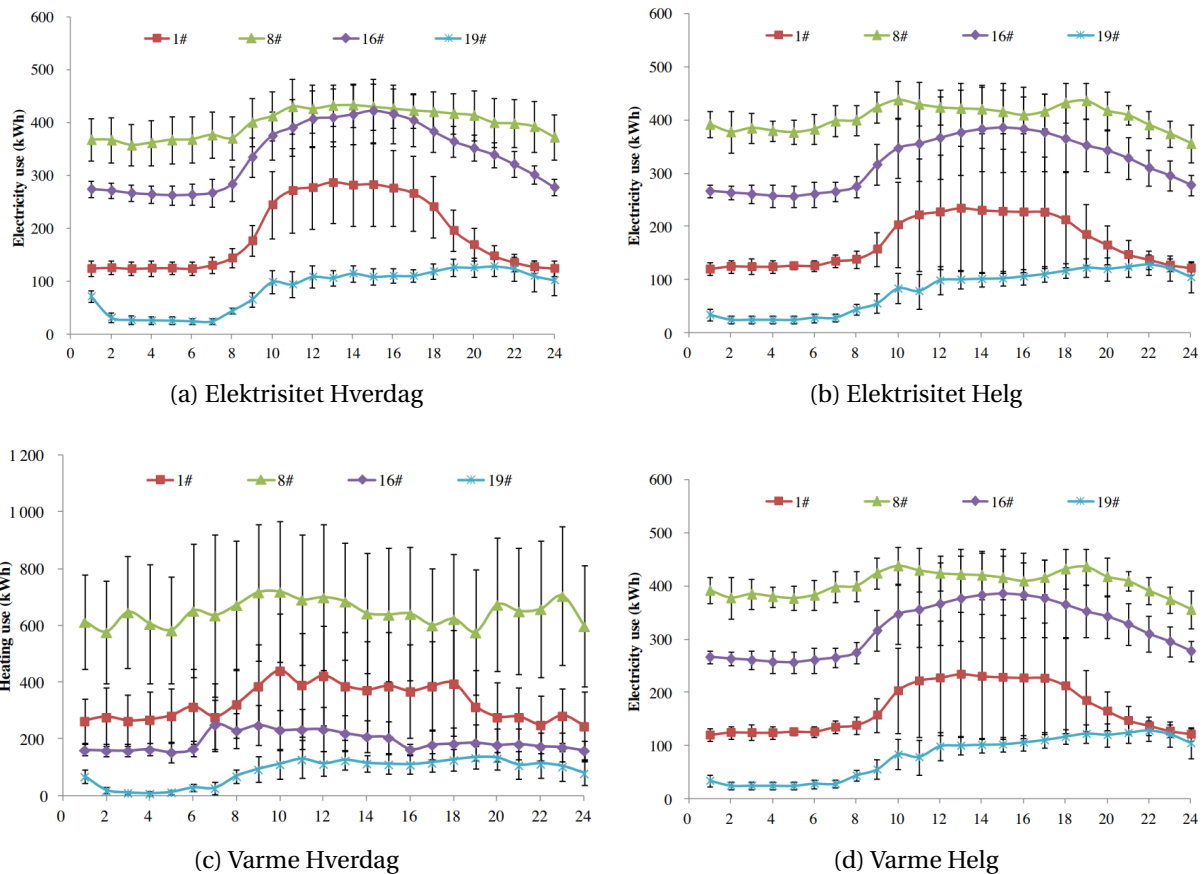
Figur 4.1: Spesifikk elektrisitetsforbruk og varmeforbruk [12]



Figur 4.2: U-verdier av utside vegg [12]

Figur 4.1 viser frekvensen av spesifikk elektrisitetforbruk og varmeforbruk for bygningene som er analysert. Det er betydelig variasjon i fordelingen av spesifikk elektrisitetsbruk og varmeforbruk mellom de individuelle bygningene. Fordelingen viser at de fleste bygningene har et spesifikk elektrisitetsforbruk mellom 100-150 kWh/m<sup>2</sup> per år og et spesifikk varmeforbruk mellom 50-100 kWh/m<sup>2</sup> per år. Flesteparten av bygningene har et totalt spesifikk energiforbruk under 300 kWh/m<sup>2</sup> per år [12]. I noen bygg er det mange datasaler og serverparker som drar mye elektrisitet jevnt gjennom året, mens andre bygg har laboratorium med ujevnt bruksmønster og dermed et varierende elektrisitetsforbruk. De ulike elektrisitets- og varmeforbrukprofilene gjør det vanskelig å definere energibruken til den typiske bygningen på Gløshaugen. Fra rapporten ble det oppgitt at gjennomsnittet for årlig energiforbruk for elektrisitet og oppvarming for hele Gløshaugen er henholdsvis på 60 070 MWh og 30 343 MWh. Figur 4.2 viser U-verdien av utside vegg til bygningsmassen. Fra figuren sees det at flesteparten av bygningene på Gløshaugen har en utside vegg med U-verdi mellom 0,4-0,6 W/m<sup>2</sup>K.

En full oversikt av alle bygningene på Gløshaugen er oppgitt i Appendix A.2.

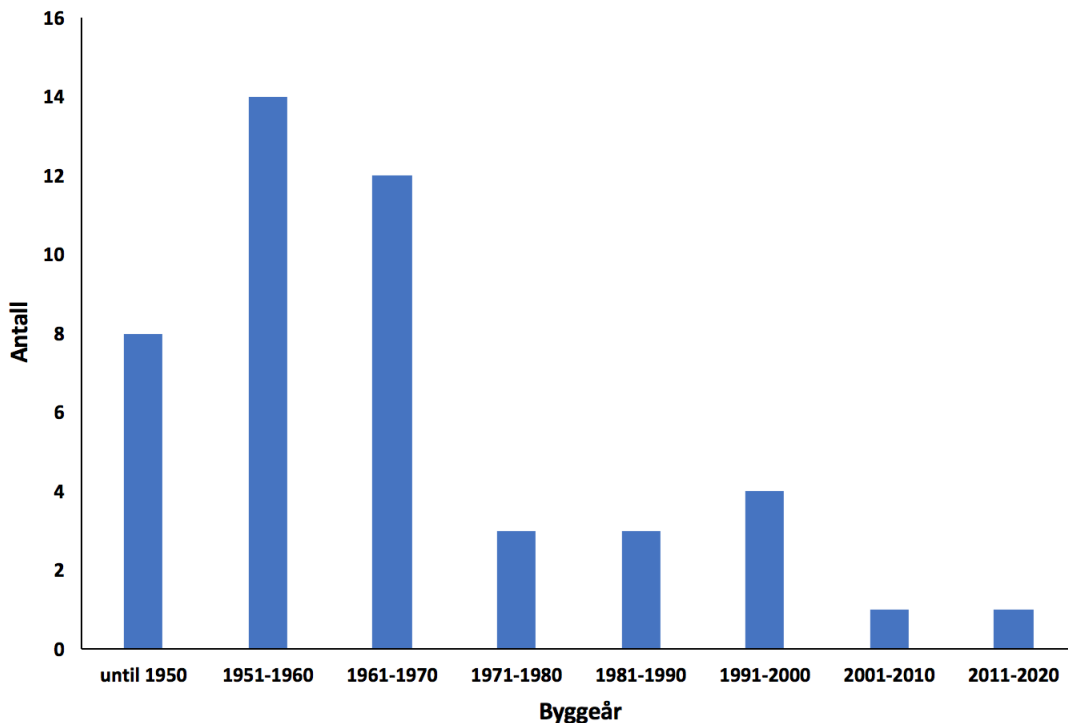


Figur 4.3: Sammenligning av en gjennomsnittsdag for målt og simulert elektrisitets- og varmeforbruk i november [12]

Videre i rapporten sammenlignet Guan et al. [12] timesprofilen for elektrisitets- og varmeforbruket for fire forskjellige bygg på campus for en typisk måned (november), vist i figur 4.3. 1# representerer et universitetsbygg uten laboratorium, 8# og 16# representerer et universitetsbygg med laboratorium, hvor 8# representerer et I&T og 16# et K&V-bygg. 19# representerer et idrettsbygg. Figurene viser at energibruken ofte er høyere i brukstiden (08-18) enn ved utenom brukstid (19-07), spesielt for elektrisitet. Figur 4.3c viser at varmeforbruket varierer i stor grad i hverdagen og i brukstiden, spesielt for 8#. Ifølge Guan et al. [12] kan dette komme av den spredte bruken av laboratoriumsfasiliteter og dens varmebehov. Sammenlignes dette med figur 4.3a vises det at elektrisitetsforbruket varierer gjennomgående mindre enn varmeforbruket. Det relativt standardavviket er generelt under 25% for elektrisitetsforbruket.

## 4.2 Utvelgelse av kohorter

Figur 4.4 viser en oversikt av bygningene på Gløshaugen sortert etter byggeperiode.



Figur 4.4: Byggeår av Gløshaugen [12]

For å representere bygningsmassen på Gløshaugen ble det bestemt å dele opp bygningsmassen inn i fire kohorter. For hver kohort skal det etableres en bygningsmodell, referert til som referansemodell, som skal simuleres. Referansemodellene baserer seg på sin tilhørende Referansebygg, som igjen baserer seg på sin tilhørende kohort. Tabell 4.1 viser sammenhengen mellom kohort, referansebygg og referansemodell.

Tabell 4.1: Oversikt over kohort, referansebygg og referansemodell

Kohort	Referansebygg	Referansemodell
før 1950	Referansebygg 1	Bygg 1
1951 - 1970	Referansebygg 2	Bygg 2
1971 - 1999	Referansebygg 3	Bygg 3
2000 - 2020	Referansebygg 4	Bygg 4

Figur 4.4 viser at flesteparten av bygningene på campus er fra perioden mellom 1951 og 1970.



Dette tilsvarer 26 bygninger. Det ble derfor valgt å etablere Referansebygg 2 og referansemodell Bygg 2 først.

### 4.3 Etablering av referansebygg for kohort 1951-1970

For å etablere en referansemodell, må det først etableres et referansebygg eller flere referansebygninger. Som nevnt i avsnitt 2.6, er det anbefalt å velge ut referansebygg fra samme byggeperiode, beliggenhet og bygningstype. Alle bygningene på Gløshaugen har samme geografiske beliggenhet. Av bygningstype er universitetsbygning valgt som kriteriet.

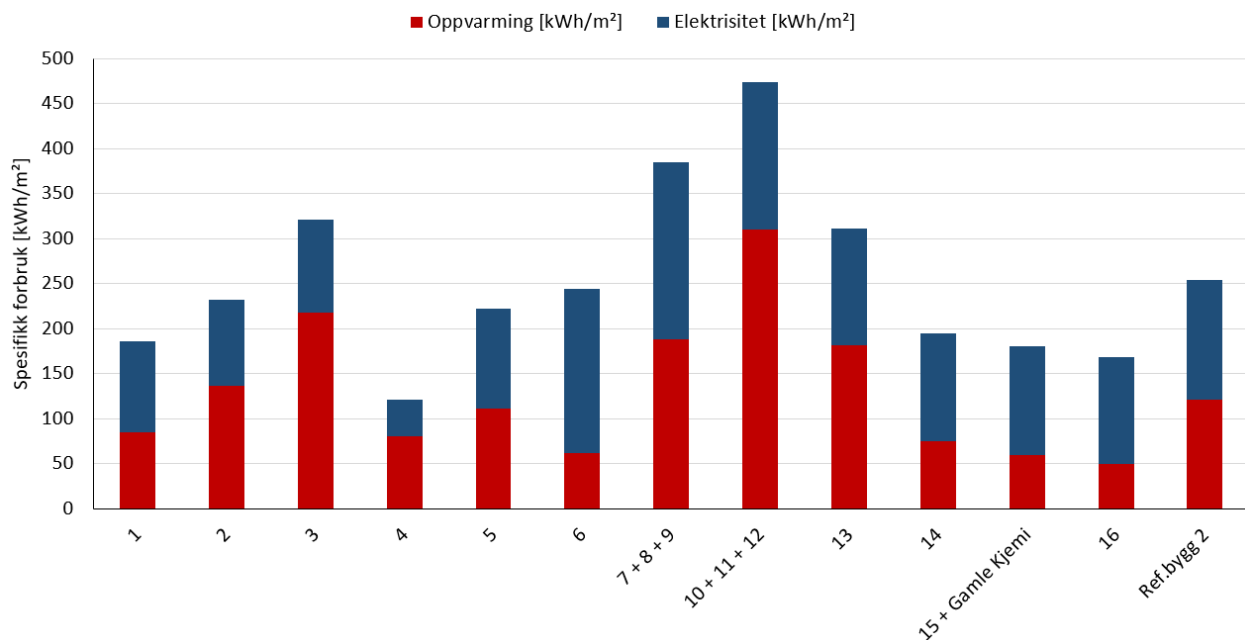
Videre er det ønsket å bruke data fra samme kilde for å definere hovedområdene bygningsgeometri og bygningskropp til referansemodellen. Fra NTNU Drift ble det gitt tilgang til energiattester for en rekke bygninger på Gløshaugen. De bygningene uten energiattest ble fjernet fra utvalget. Ved å følge kriterene for byggeperiode, beliggenhet, bygningstype og energiattest ble 18 bygninger valgt ut til Referansebygg 2. Tabell 4.2 viser en oversikt over de 18 bygningene.

Tabell 4.2: Oversikt over byggene tilhørende Referansebygg 2

Nr	Bygning	Byggeår	Oppvarmet BRA [m <sup>2</sup> ]	Type
1	Varmeteknisk	1962	15 026	O+L
2	Strømteknisk	1965	3 030	O+L
3	Metallurgi	1951	2 215	O+L
4	Oppredning	1960	7 598	O+L+E
5	Verkstedteknisk	1966	11 400	O+L+E
6	Materialteknisk	1958	12 600	O+L+E
7	Kjemi 1	1954	6 067	O+L
8	Kjemi 2	1955	3 988	O+L
9	Kjemi 3	1967	5 050	O+L
10	Kjemi 4	1965	4 510	O+L
11	Kjemi 5	1957	4 837	O+L+E
12	Kjemihallen	1959	4 440	O+L
13	IT-bygget sydfløy	1965	3 684	O+L+E
14	Sentralbygg 1	1961	16 265	O+E
15	Sentralbygg 2	1968	12 497	O+E
16	Elektro A	1961	6 006	O+L+E
17	Elektro B	1959	3 600	O+L+E
18	Elektro C	1960	2 889	O+L+E

I kolonnen Type står O for Office (kontor), L for laboratorium, og E for educational (undervisning).

Figur 4.5 viser en oversikt av spesifikk varme- og elektrisitetsforbruket til de valgte referansebyggene. Mange av bygningene på Gløshaugen deler enten elektrisitetsmåler eller fjernvarmemåler. Derfor er noen bygninger slått sammen og bygninger som ikke er et referansebygg med i figuren. Elektro B og Elektro C er ikke med i figuren ettersom det var manglende informasjon om målerne. Kjemibyggene har det høyeste energiforbruket. Kjemi 1, 2 og 3 har det høyeste spesifikke elektrisitetsforbruket på 197 kWh/m<sup>2</sup>, mens Kjemi 4, 5 og Kjemihallen har det høyeste spesifikke varmeforbruket på 310 kWh/m<sup>2</sup>. Den mest energieffektive bygningen er Oppredningen med et totalt spesifikk energiforbruk på 121 kWh/m<sup>2</sup>. Figuren viser at variasjonen på spesifikk energiforbruk er stor. På enden av figuren er alle referansebyggene summert. Dette ga et spesifikk elektrisitetsforbruk på 133,1 kWh/m<sup>2</sup>, spesifikk varmeforbruk på 121,1 kWh/m<sup>2</sup>, totalt på 254,2 kWh/m<sup>2</sup>. Spesifikk energiforbruk er beregnet ved å benytte målt data fra 2016 og oppvarmet BRA fra energiattestene.



Figur 4.5: Spesifikk elektrisitet og varmeforbruk til Referansebygg 2 i 2016

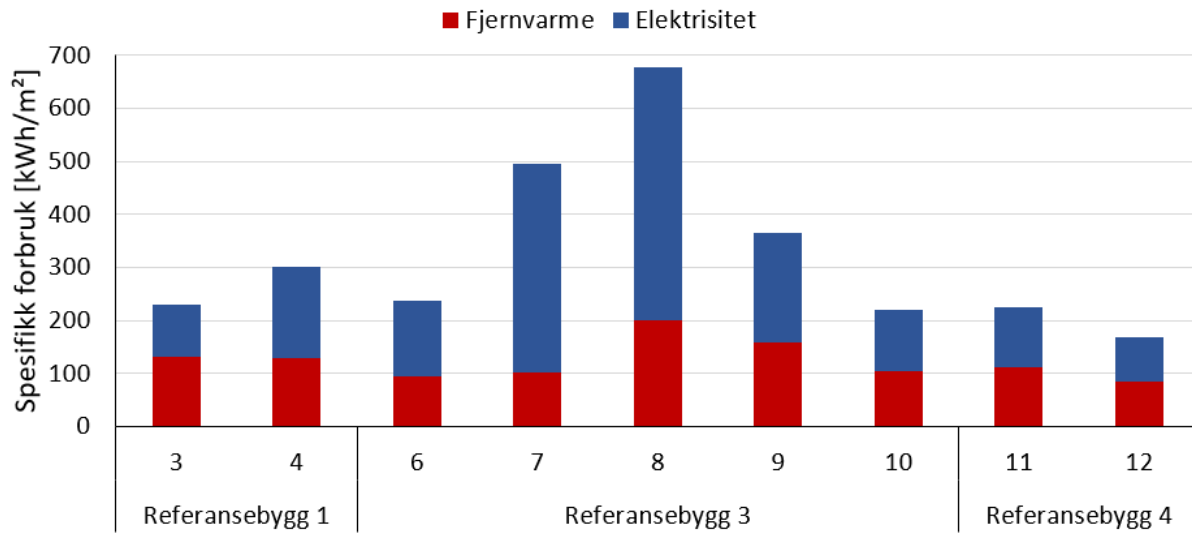
## 4.4 Etablering av referansebygg for resterende kohorter

Ved å følge de samme kriteriene for utvelgelse av referansebygg som i avsnitt 4.3, men for forskjellige byggeperioder, ble referansebygg valgt ut til Referansebygg 1, 3 og 4. Tabell 4.3 viser hvilket bygninger som ble valgt ut som referansebygg.

Tabell 4.3: Oversikt over bygningene som representeres i referansebyggene

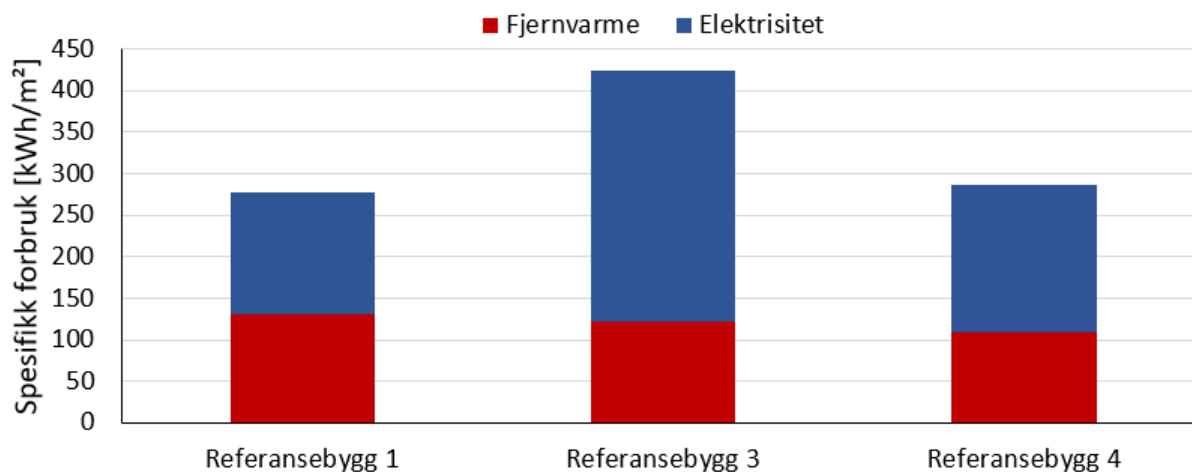
	Nr	Bygg	Byggeår	Oppvarmet BRA [m <sup>2</sup> ]
<b>Referansebygg 1</b>	1	Gamle Kjemi	1910	3 375
	2	Gamle Elektro Del 1	1910	4 315
	3	Vannkraftlab.	1916	2 353
	4	Gamle Fysikk	1924	4 116
<b>Referansebygg 3</b>	5	Elektro D+B2	1971	6 228
	6	IT Bygg	1973	5 484
	7	Byggteknisk	1975	18 175
	8	Berg avd	1981	3 955
	9	ELA Elektro	1986	10 457
	10	Produktdesign	1996	2 476
<b>Referansebygg 4</b>	11	Realfagsbygget	2000	52 773
	12	Høgskoleringen	2002	4 312

Figur 4.6 viser en oversikt over spesifikk fjernvarme- og elektrisitetsforbruk til byggene tilhørende Referansebygg 1, 3 og 4. Bygg med energiattest, men med manglende informasjon fra målere, er ikke med i figuren. Byggene dette gjelder er Gamle Kjemi, Gamle Elektro Del 1 og Elektro D+B2.



Figur 4.6: Spesifikk elektrisitet og fjernvarmeforbruk til byggene tilhørende referansebygg 1, 3 og 4

Figur 4.7 viser en oversikt over spesifikk fjernvarme- og elektrisitetsforbruk til Referansebygg 1, 3 og 4. Det spesifikke fjernvarmeforbruket til Referansebygg 1, 3 og 4 er på henholdsvis 129,9 kWh/m<sup>2</sup>, 121,5 kWh/m<sup>2</sup> og 109,9 kWh/m<sup>2</sup> mens det spesifikke elektrisitetsforbruket er på henholdsvis 146,6 kWh/m<sup>2</sup>, 301,7 kWh/m<sup>2</sup> og 176,3 kWh/m<sup>2</sup>. Det spesifikke fjernvarmeforbruket er lavere desto nyere referansebyggene er, mens det spesifikke elektrisitetsforbruket varierer mye. Spesielt det høye spesifikke elektrisitetsforbruket til Byggteknisk og Berg gjør at det blir høyt for Referansebygg 3. Spesifikk energiforbruk er beregnet ved å benytte målt data fra 2016 og oppvarmet BRA fra energiattestene.



Figur 4.7: Spesifikk elektrisitet og fjernvarmeforbruk til referansebygg 1, 3 og 4

# 5. Etablering av referansemodell for kohort 1951-1970

For å etablere en referansemodell må det samles tilstrekkelig med data fra de fire hovedområdene, (se avsnitt [2.6](#)). Hovedområdene er som følger:

- Bygningsgeometri
- Bygningskropp
- Tekniske systemer
- Drift og bruk

Dette kapitlet vil ta for seg hvordan hovedområdene er definert. Alle referansemodellene vil ha samme bygningsgeometri og drift og bruk. Det er områdene bygningskropp og tekniske systemer som skiller de forskjellige referansemodellene fra hverandre. Dette kapitlet tar kun for seg referansemodell Bygg 2 som reparerer kohort 1951-1970. De resterende referansemodellene blir beskrevet i kapittel [6](#).

## 5.1 Etablering av bygningsgeometri

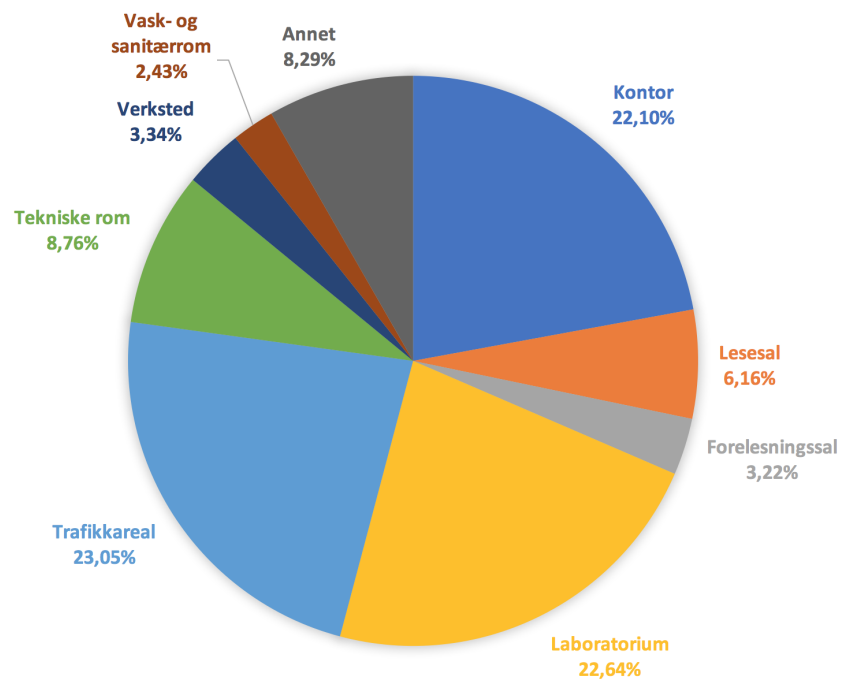
Under bygningsgeometri inngår områder som bygningstype, størrelse og generell geometri av bygningen. Bygningstypen er en universitetsbygning som inneholder funksjonene kontorer, undervisningslokaler, lesesaler, grupperom og laboratorium.

### Sonefordeling

Fra NTNU Drift ble det oppgitt data om areal- og romfordelingen for alle bygningene på Gløshaugen. Arealfordelingen fra NTNU Drift består av 140 romtyper fordelt over 18 soner/delfunksjoner. For å bestemme hvordan sonefordelingen til referansemodellen skal være, ble arealfordelingen av referansebyggene delt inn i 9 forskjellige soner:

- Kontor
- Lesesal - (Lesesal, grupperom, seminarrom osv.)
- Forelesningssal - (Forelesningssal, auditorium, undervisningsrom osv.)
- Laboratorium
- Trafikkareal
- Verksted
- Tekniske rom
- Vask- og sanitærrom
- Annet

Hvilket rom som er plassert i de forskjellige sonene er oppgitt i Appendix A.3.



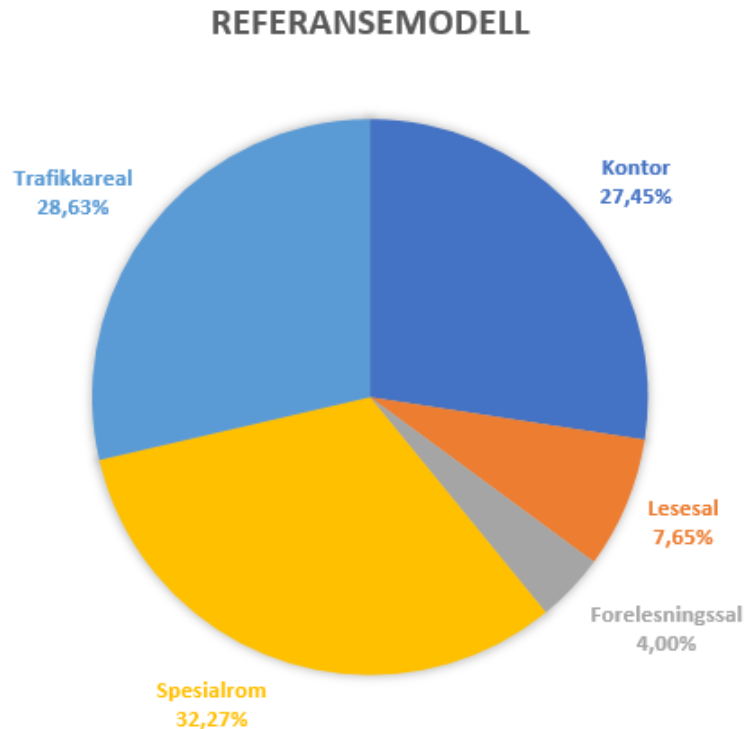
Figur 5.1: Sonefordeling av Referansebygg 2

Figur 5.1 viser sonefordelingen av Referansebygg 2. Kontor, trafikkareal og laboratorium utgjør den største andelen med 67,79% til sammen.

Videre ble det bestemt at referansemodellen skal bestå av 5 soner:

- Kontor
- Lesesal
- Forelesningssal
- Spesialrom
- Trafikk

I sonefordelingen for referansemodellen ble laboratorium, verksted og diverse rom som krever mye elektrisitet (serverrom, supercomputer-rom, rom for kjølesystem o.l) slått sammen til en sone. Denne sonen blir referert til som Spesialrom. Tekniske rom, vask- og sanitærom og annet ble neglisjert. De utgjør en liten del av totalarealet og er av liten betydning for energibruken.



Figur 5.2: Sonefordeling av referansemodellen

Figur 5.2 viser den endelige sonefordelingen for referansemodellene. En full oversikt over areal- og prosentandel av Referansebygg 2 og referansemodell Bygg 2 er oppgitt i Appendix A.4

## Størrelse og geometri

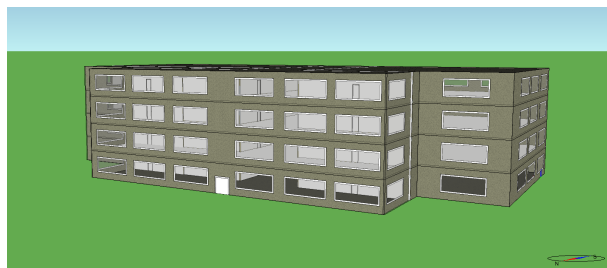
Relevante tall fra energiattestene ble satt sammen til en database og viderebehandlet. Gulvareal er basert på gjennomsnittsverdier av oppvarmet BRA. Antall etasjer og etasjehøyde er basert på gjennomsnittsverdier av arealet og volumet til referansebyggene. Geometrien på referansemodellen er basert på plantegninger av Gløshaugen. Databasen er oppgitt i Appendix A.5

Tabell 5.1 gir en oversikt av generell informasjon og bygningsstørrelser av referansemodellen.

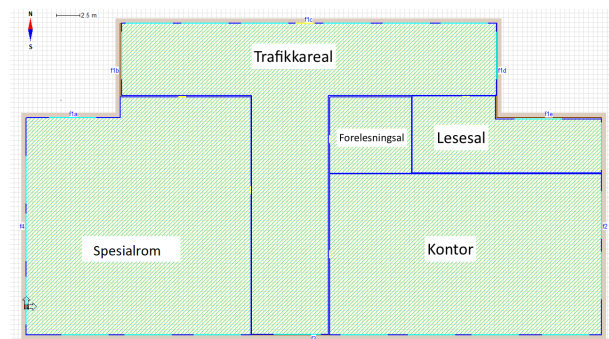
Tabell 5.1: Generell informasjon og bygningsstørrelser av referansemodellen

Bygningsgeometri	Parameter	Referansemodell
Generelt	Totalt areal [m <sup>2</sup> ]	7 220,00
	Oppvarmet BRA [m <sup>2</sup> ]	7 159,20
	Etasjeareal [m <sup>2</sup> ]	1805,00
	Antall etasjer	4
Totalt soneareal	Kontor [m <sup>2</sup> ]	1 967,60
	Lesesal [m <sup>2</sup> ]	545,20
	Forelesningssal [m <sup>2</sup> ]	282,00
	Spesialrom [m <sup>2</sup> ]	2 321,20
	Trafikkareal [m <sup>2</sup> ]	2 043,20

Figur 5.3 viser bilde av hele bygningsmodellen og etasjeplanet med soneinndeling. Tabell 5.2 gir en oversikt av sonearealet for hver etasje.



(a) Simuleringsmodellen



(b) Etasjeplan

Figur 5.3: Bilde av simuleringsmodellen og etasjeplan



Tabell 5.2: Soneareal per etasje

Sone	Areal [m <sup>2</sup> ]
Kontor	491,90
Lesesal	136,30
Forelesningsal	70,50
Spesialrom	580,30
Trafikkareal	510,80

## 5.2 Etablering av bygningskropp

U-verdier til bygningskroppen og andre parametere av betydning er basert på en vektet gjennomsnittsverdi av referansebyggene, som vist i formel 5.1. Total oppvarmet BRA er brukt som fordelingsgrunnlag. Arealet til vinduene er satt til 2×5 m<sup>2</sup>.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \text{Oppvarmet BRA}_i}{\text{Total oppvarmet BRA}} \quad (5.1)$$

Databasen og detaljert utregning er oppgitt i Appendix A.5. Input data/parametere av bygningskroppen til referansemodell Bygg 2 er vist i tabell 5.3

Tabell 5.3: Bygningskroppen til referansemodell Bygg 2

Kategori	Parameter	Referansemodell	Kommentar
U-verdier	Yttervegg [W/m <sup>2</sup> K]	0,57	
	Indrevegg [W/m <sup>2</sup> K]	0,62	Standard i IDA-ICE
	Ytre gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,19	
	Indre gulv [W/m <sup>2</sup> K]	2,39	Standard i IDA-ICE
	Vinduer [W/m <sup>2</sup> K]	2,19	Åpning av vinduer er behovsstyrt
	Dører [W/m <sup>2</sup> K]	1,09	Standard i IDA-ICE
	Tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,48	
Generelt for fasade	Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	m <sup>2</sup> i gulvareal
	Lekkasjetall [1/h]	3,07	Lekkasjetallet er oppgitt som n50 = målt luftlekkasje/volum
	Arealandel for vindu [%]	13,16	

### 5.3 Etablering av tekniske systemer og drift og bruk

For å definere hovedområdene tekniske systemer og drift og bruk ble hovedsakelig informasjon fra energiattester og NTNU Drift benyttet. Måledata som er benyttet til referansebyggene er fra 2016. For å simulere med samme værforhold må klima og værdata fra 2016 i Trondheim benyttes. En egendefinert klimafil ble laget for IDA-ICE hvor klima og værdata i 2016 Trondheim ble hentet fra Landbruksmeteorologisk tjeneste. Begrensning av tid førte til at forbruket av varmtvann ikke ble analysert. Årsforbruket av varmtvann er satt etter NS 3031 på 5 kWh/(m<sup>2</sup>· år).

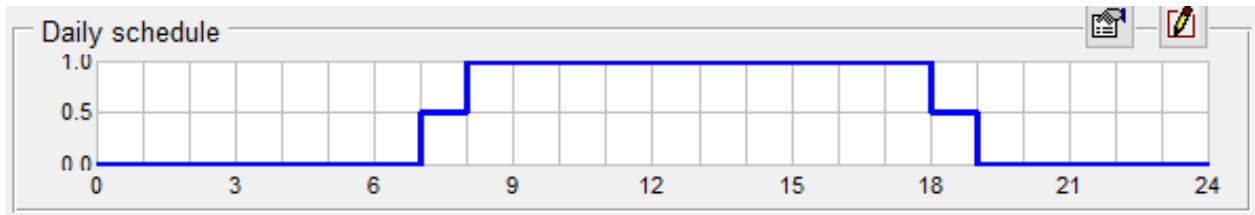
#### Brukerrate og bruksmønster

Tabell 5.4 viser brukerraten for referansemodellen. Brukerraten for Lesesal, Kontor og Spesialrom ble beregnet ut ifra verdier gitt i NS 3031, mens brukerraten i Forelesningsal ble beregnet etter faktisk kapasitet i forelesningslokalene i Sentralbygget på NTNU. Brukerraten i Trafikk ble funnet ved å summere antall personer i lesesal og forelesning. Beregning og tall er vist i Appendix A.6.

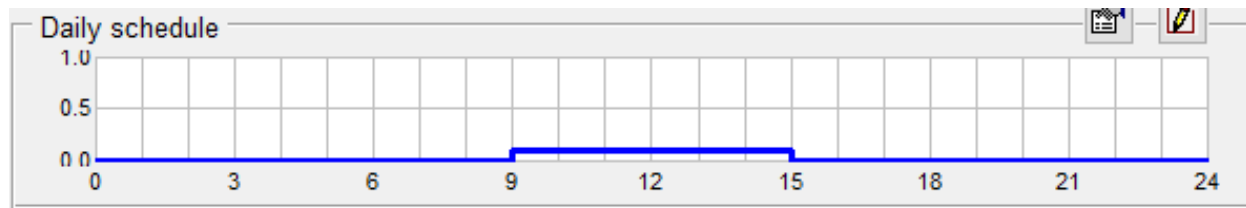
Tabell 5.4: Brukerrate for de forskjellige sonene i referansemodellen

Sone	Personer/m <sup>2</sup>
Lesesal	0,2069
Kontor	0,0690
Spesialrom	0,1034
Forelesningsal	0,8791
Trafikk	0,1765

Bruksmønsteret i referansemodellen er opprettet utifra egne erfaringer og samtaler med NTNU Drift. Bruksmønsterprofilene sier noe om andelen av brukerraten som er tilstede i de forskjellige sonene i løpet av en 24 timers periode. Aktivitetsnivået for sonene Kontor, Lesesal, Forelesning og Spesialrom er angitt til å være 1 met, tilsvarende 58 W/pers. For Trafikk er aktivitetsnivået satt til 1,9 met, tilsvarende 110,2 W/pers. Bruksmønsteret for Referansemodellens fem soner er vist i figur 5.4-5.11. Det er blitt lagt til påskeferie, fellesferie og juleferie i modellen.

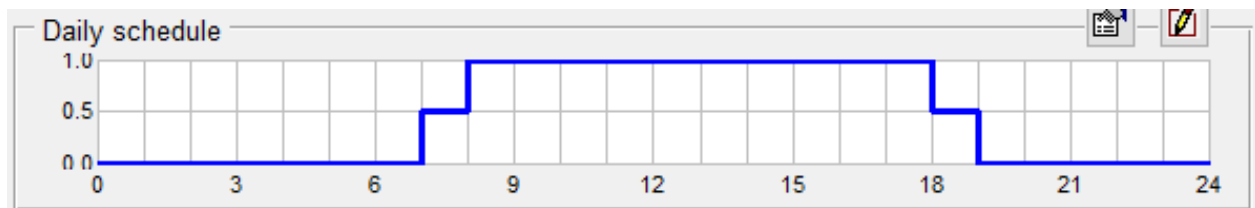
Kontor

Figur 5.4: Bruksmønsteret til Kontor i ukedager.



Figur 5.5: Bruksmønster til Kontor i helg og ferie.

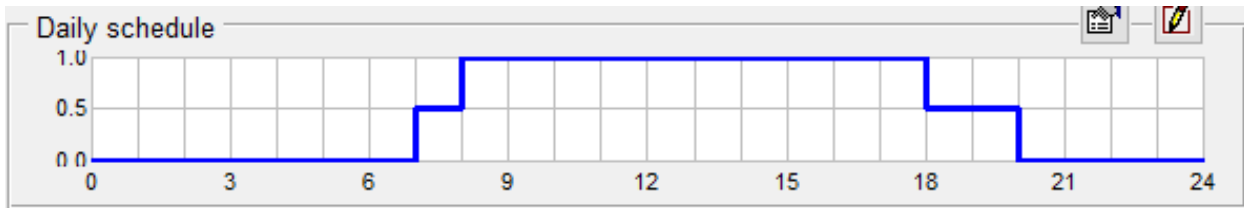
Bruksmønsteret for kontorer er satt utifra samtaler med NTNU Drift, basert på når ventilasjonsanlegget er på. Det er antatt at ansatte kommer på jobb mellom 7:00 og 8:00 og drar mellom 18.00 og 19:00, vist i figur 5.4. I helger og ferier er 10% på tilstede mellom 9:00 og 15:00, vist i figur 5.5.

Spesialrom

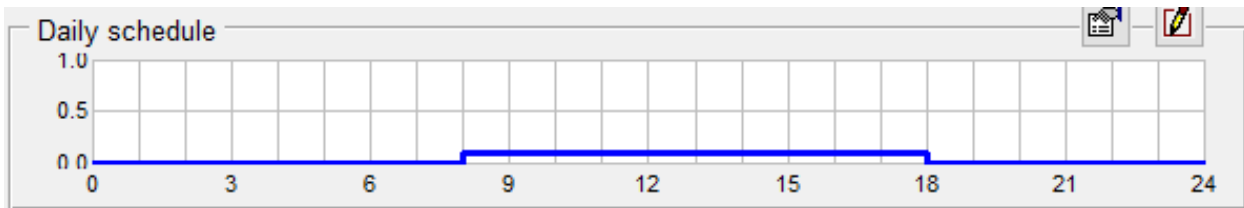
Figur 5.6: Bruksmønster til Spesialrom i ukedager.

Bruksmønsteret for Spesialrom er den samme som for Kontor i ukedagene, men antas ikke å være i bruk i helger eller ferier.

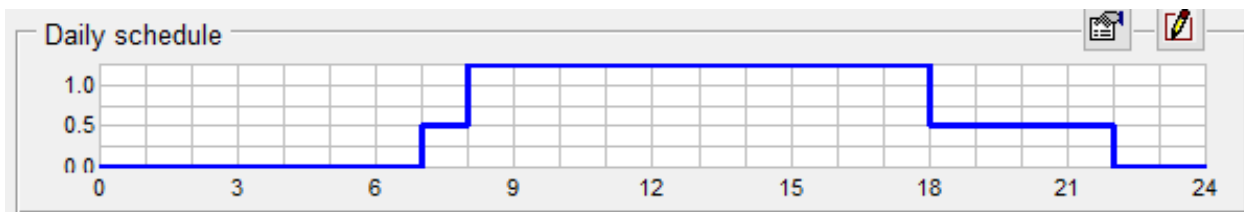
Lesesal



Figur 5.7: Bruksmønster til Lesesal i ukedager.



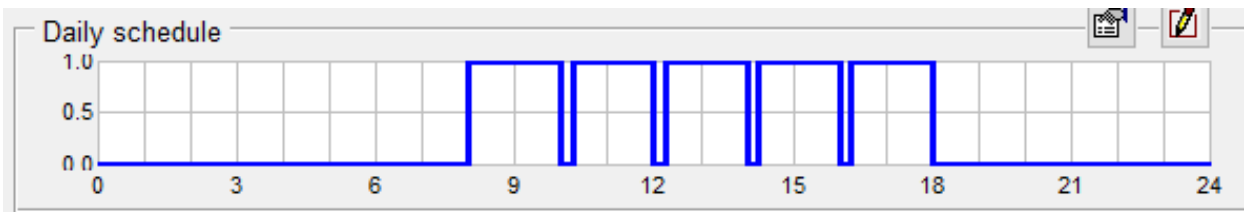
Figur 5.8: Bruksmønster til Lesesal i helger.



Figur 5.9: Bruksmønster til Lesesal under eksamenperiode.

Bruksmønsteret for Lesesal er basert på fem år med egne erfaringer. Lesesal brukes av studenter fra rundt 8:00 til 18:00, hvor cirka halvparten sitter enda litt lenger, til 20:00, vist i figur 5.7. I helger antas det 10% tilstedeværelse, vist i figur 5.8. I ferier er lesesalen ikke i bruk. I eksamensperioden er lesesalen helt full, og det antas 25% høyere brukerrate enn til vanlig, og rundt halvparten av studentene sitter til langt ut på kvelden, til 22:00, som vist i figur 5.9.

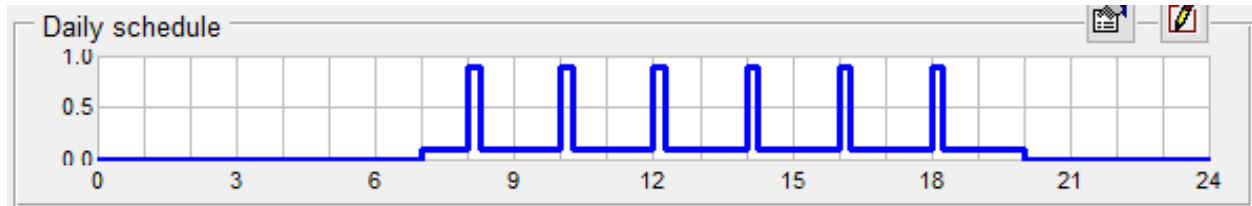
Forelesning



Figur 5.10: Bruksmønster til Forelesning i ukedager.

Forelesninger på NTNU foregår som regel fra 8:15 om morgningen til 18:00 på kvelden, med nye fag hver andre time. Bruksmønsteret til Forelesing er derfor som vist i figur 5.10, med tom forelesingsal i et kvarter hver andre time. I helger, ferier, og eksamenperiode antas forelesingsalene som ikke i bruk.

### Trafikk



Figur 5.11: Bruksmønster til Trafikk i ukedager.

I Trafikk så strømmer det til med mennesker i starten av dagen når studenter skal i forelesing og ansatte på jobb. Trafikkarealet blir fylt opp igjen i et kvarter hver andre time når studenter er ferdig med forelesning eller skal i en ny. Det er også lagt inn en liten tilstedeværelse av folk i trafikk generelt gjennom dagen, rundt 10% av maks. Bruksmønsteret for ukedager er vist i figur 5.11. I helger og ferier antas Trafikk som ikke i bruk.

## Ventilasjon i referansemodell Bygg 2

Ved hjelp av energiattester og NTNU Drift er det satt sammen et ventilasjonssystem for referansemodellen i IDA ICE. Ventilasjonen i referansemodellen består av fem luftbehandlingsenheter, tre med CAV og to med VAV. Sonene Lesesal og Forelesning blir betjent med VAV, mens Kontor, Trafikk og Spesialrom med CAV. Luftbehandlingsenhetene har forskjellige varmegjenvinnere, rekuperativ eller regenerativ, dette er fordi de fleste ventilasjonssystemene tilhørende et laboratorium på NTNU har rekuperative varmegjenvinner for å unngå blanding av innluft og utluft. En rekuperativ varmegjenvinner er mer ømfintlig for frost, og har derfor en høyere minste avkasttemperatur. For de andre ventilasjonssystemene er det simulert en regenerativ varmegjenvinner, da dette er den vanligste gjenvinneren for referansebyggene, gjerne i form av en roterende gjenvinner. Det er også ventilasjonssystemer i referansebyggene som ikke har varmegjenvinner, dette gjør at den gjennomsnittlige vektete varmegjenvinner effektiviteten blir lav. Varmegjenvinnereffektiviteten og SFP er hentet fra de vektete verdiene fra energiattestene og er på henholdsvis 55% og 2,64 kW/(m<sup>3</sup>/s). Kjølebatteriet er skrudd av i alle luftbehandlingsenhetene. Tabell 5.5 viser en oversikt av utvalgte inputparametere for ventilasjonssystemet i referansemodell Bygg 2.

Tabell 5.5: Inputparametere for ventilasjonssystemet i referansemodell Bygg 2

Parameter	Bygg 2
Varmegjenvinner [%]	55,00
SFP [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	2,64
Ventilasjon tilluft [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h]	9,71

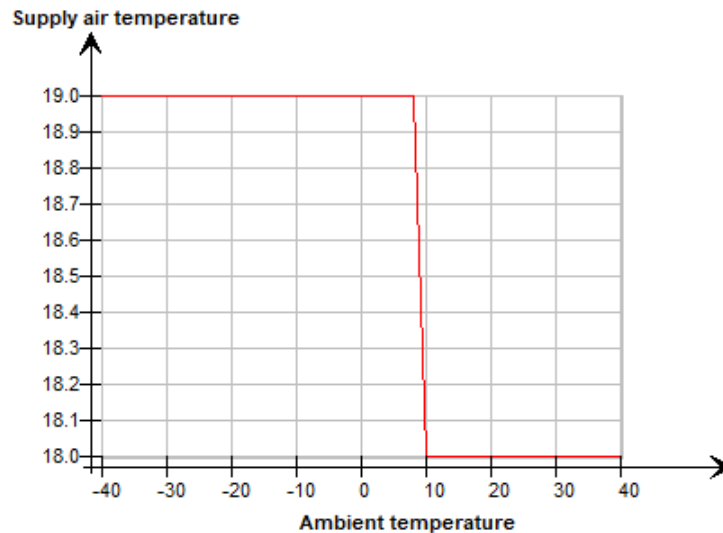
Tabell 5.6: Ventilasjonsparametere for referansemodell Bygg 2

Sone	Ventilasjons system	Minste avkasttemperatur fra varmegjenvinner [°C]	Lufttilførsel driftstid [m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )]	Driftstid
Lesesal	VAV, CO <sub>2</sub>	-10	9,71	Alltid på
Kontor	CAV	-10	9,71	6-18 (9-15)
Spesialrom	CAV	0	9,71	Alltid på
Forelesning	VAV, CO <sub>2</sub> og temperatur	-10	21,60	Alltid på i hverdager
Trafikk	CAV	-10	8,07	6-18 (9-15)

Driftstiden for ventilasjonsenhetene og type ventilasjon er vist i tabell 5.6. Driftstidene er gitt av NTNU Drift, som fortalte at for Lesesal og Spesialrom er ventilasjonen alltid på, mens for Trafikk og Kontor så styres det med tidsur. Forelesning er alltid på i hverdager. Ventilasjonen i Lesesal og Forelesning er CO<sub>2</sub> styrt, og lufttilførselen styres dermed etter behov. Lufttilførselen i driftstid for CAV systemene er det vektete gjennomsnittet for lufttilførselen for alle referansebyggene. I Spesialrom er det CAV som går hele døgnet, med en lufttilførsel på 9,71 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>). For Kontor er det en konstant lufttilførsel på 9,71 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) mellom klokka 6-18 i hverdager og mellom 9-15 i helger. Utenom driftstid er ventilasjonen skrudd av. Preliminære simuleringer viste at luftkvaliteten ble meget dårlig i Forelesning ved å benytte lufttilførselen på 9,71 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>). For å forbedre luftkvaliteten ble lufttilførselen i Forelesning satt opp til 21,6 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>), mens Trafikk ble nedjustert til 8,71 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) slik at den totale luftmengden for hele bygget fortsatt er 9,71 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>), som gitt av energiattestene. Valget om å redusere lufttilførselen i Trafikk ble gjort på grunnlag av at Trafikk er en stor sone uten høy tilstedeværelse over lengre tid. I referansemodell- en er lufttilførselen den samme for tilluft og avtrekk.

Tilluftstemperaturen for bygg på Gløshaugen ble estimert av NTNU Drift til å variere mellom 18-22°C ut ifra hva utetemperatur er. I referansemodellen modelleres dette ved å la tilluftstemperaturen variere mellom 18-19°C. Ved en utetemperatur lavere enn 8°C, er tilluftstemperaturen

satt til 19°C. Når utetemperaturen overstiger 10°C, senkes tilluftstemperaturen til 18°C. Dette vil gi en tilluftstemperatur på 19-20°C inn til sonene ettersom tilluftstemperaturen stiger med 1°C over viften. Figure 5.12 viser tilluftstemperatur-innstillingen i IDA-ICE.



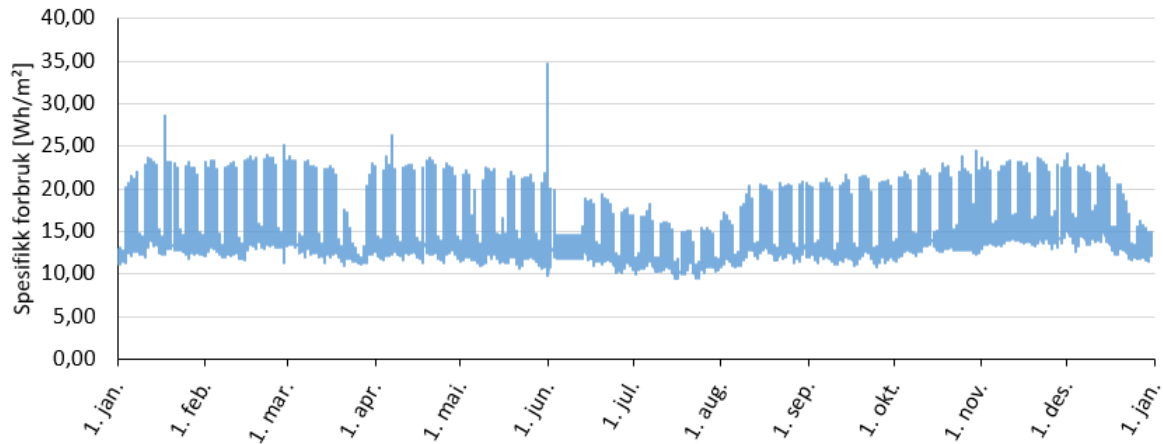
Figur 5.12: Settpunkt for tilluftstemperatur

## Kjøling

Fra NTNU Drift ble det informert om at det ikke var vanlig med kjøleenheter i de "vanlige" arealene på Gløshaugen. Kun rom med spesialisert behov og utstyr har installert kjøling. I referansemodellen er det derfor lagt inn en ideell kjøler i Spesialrom. Dimensjoneringen av kjøleenheten er gitt av energiattester og er på 17 W/m<sup>2</sup>.

## Elektrisitetsforbruk

For å definere elektrisitetsforbruk for referansemodellen er virkelig elektrisitetsforbruk fra referansebyggene benyttet. Figur 5.13 viser elektrisitetsforbruket i 2016 for Referansebygg 2. Figuren viser at elektrisitetsforbruket har en grunnlast på rundt 12 Wh/m<sup>2</sup> og topper på rundt 10 Wh/m<sup>2</sup> opp fra grunnlasten. NTNU Drift informerte om at toppene skyldes først og fremst belysning og datautstyr. Det ble også informert om at den høye grunnlasten kommer fra blant annet strømtrafoer, IT-drifting og annet utstyr som har et høyt og stabilt elektrisitetsforbruk. Jule-, påske- og fellesferien påvirker også elektrisitetsforbruket.



Figur 5.13: Elektrisitetsforbruket i 2016 for Referansebygg 1951-1970

Fremgangsmåten for å få referansemodellen til å ha en lignende elektrisitetsprofil som Referansebygg 2 blir forklart nærmere under. Det ble kjørt en kalibreringsprosess for å optimalisere forbruksmønsteret i modellen. I de følgende modellene er det benyttet ideel oppvarming. Oppvarmingsenhetene er blitt satt høyt nok slik at enhetene alltid kan levere nok varme når det trengs. Brukermønsterprofilene for utstyr og belysning i alle sonene utenom Forelesning og Trafikk har samme profil som beskrevet tidligere. For Forelesning og Trafikk er utstyr og belysning 100% ved driftstid og 0% utenom driftstid.

### Strømmodell 1 - E.01

Den første modellen benytter normerte inndata fra NS 3031:2014 (Appendix A.7). For at alle sonene ikke skal bli identiske er det blitt valgt å tildele de forskjellige sonene inn i bygningskategoriene gitt i NS 3031. Spesialrom, er udefinerbar og settes lik et universitetsbygg i den første modellen. Inputverdiene er gjengitt i tabell 5.7.

Tabell 5.7: Lys og utstyr fra NS 3031 benyttet i E.01

Sone	Belysning [ $W/m^2$ ]	Utstyr [ $W/m^2$ ]	Bygningskategori NS
Lesesal	8	11	Univsertsittetsbygning
Kontor	8	11	Kontorbygning
Spesialrom	8	11	Univsertsittetsbygning
Forelesning	8	6	Skolebygning
Trafikk	8	3	Halvparten av skolebygning



**Strømmodell 2 - E.02**

E.01 ga en elektrisitetsprofil som hadde for lav grunnlast og for høye topper. Etter samtaler med NTNU Drift ble det informert om at lys på Gløshaugen kjøres svært energieffektivt. I modell E.02 er lys satt ned til  $4 \text{ W/m}^2$ . Før å definere elektrisitetsforbruket til Spesialrom i E.03 ble det bestemt at Sentralbygg 1 skal være et referansebygg for et universitetsbygg uten Spesialrom. Sentralbygg 1 har et spesifikk elektrisitetsforbruk på  $120 \text{ kWh/m}^2$ . Preliminære simuleringer viste at ved å benytte en verdi for utstyr på  $1,75 \text{ W/m}^2$  for Lesesal, Kontor og Spesialrom,  $1 \text{ W/m}^2$  for Forelesning og  $0,5 \text{ W/m}^2$  for Trafikk, ga en tilfredstillende elektrisitetsprofil for toppene. Ved å benytte en grunnlast på  $7,826 \text{ W/m}^2$  for alle sonene, ble det spesifikke elektrisitetsforbruket på  $120 \text{ kWh/m}^2$ . Denne grunnlasten er på hele døgnet. Inputverdiene er gjengitt i tabell 5.8.

Tabell 5.8: Inputverdier for elektrisitet i E.02

Sone	Belysning [ $\text{W/m}^2$ ]	Utstyr [ $\text{W/m}^2$ ]	Grunnlast [ $\text{W/m}^2$ ]
Lesesal	4	1,75	7,826
Kontor	4	1,75	7,826
Spesialrom	4	1,75	7,826
Forelesning	4	1,00	7,826
Trafikk	4	0,50	7,826

**Strømmodell 3 - E.03**

Med denne modellen skal elektrisitetsforbruket for Spesialrom defineres. Spesialrom skal representere arealer som inneholder laboratorium, verksted og diverse rom som krever mye elektrisitet. Disse fasilitetene varierer i stor grad både på elektrisitetsforbruk og varmeforbruk. Det eksisterer heller ikke egne energimålere til laboratoriumene. Dette gjør det vanskelig å definere elektrisitetsforbruket, og hvor mye av forbruket som skal gå til oppvarming av rommet. For eksempel vil vindtunnelen på Strømteknisk dra mye elektrisitet og lite vil gå til oppvarming av rommet, mens i serverrom vil mye av elektrisiteten gå til oppvarming.

Det ble derfor tatt et konservativt valg ved legge inn en ekstra grunnlast i hvert Spesialrom som er på hele døgnet, men avgir ikke varme til rommet. Dette ble bestemt for å unngå urealistiske varmeavgivelser fra utstyr til rom. Det ble i tillegg informert fra NTNU Drift at mye av grunnlasten til elektrisitetsforbruket på Gløshaugen ikke nødvendigvis vil gå til oppvarming til rom. Denne ekstra grunnlasten skal høyne spesifikk elektrisitetsforbruket i modellen fra  $120 \text{ kWh/m}^2$  til  $132,2 \text{ kWh/m}^2$ . Det ble beregnet frem til at ekstra grunnlasten skal ha en verdi på  $2594,80 \text{ W}$ . Full utregning er oppgitt i Appendix A.8. Inputverdiene for E.03 er gjengitt i tabell 5.9.

Tabell 5.9: Inputverdier for elektrisitet i E.03

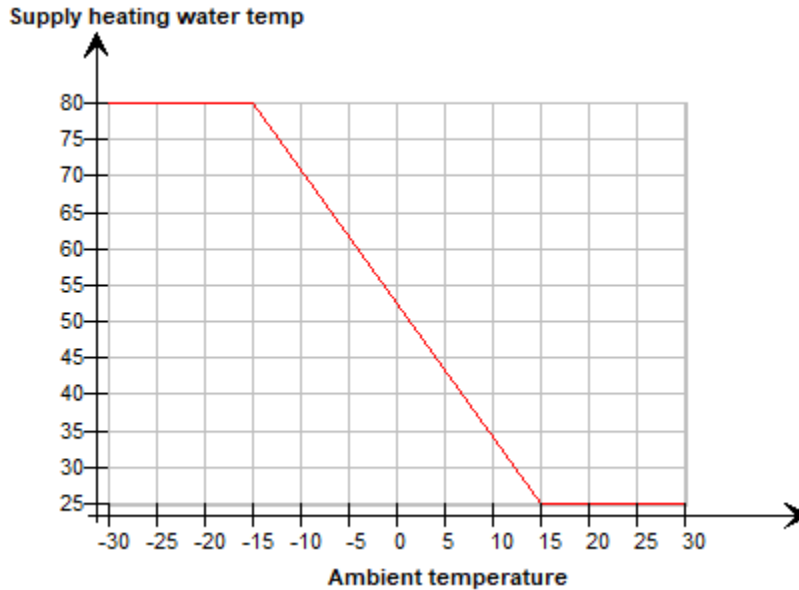
Sone	Belysning [W/m <sup>2</sup> ]	Utstyr [W/m <sup>2</sup> ]	Grunnlast [W/m <sup>2</sup> ]	Spesialrom Grunnlast [W]
Lesesal	4	1,75	7,826	0
Kontor	4	1,75	7,826	0
Spesialrom	4	1,75	7,826	2594,80
Forelesning	4	1,00	7,826	0
Trafikk	4	0,50	7,826	0

Ved å benytte E.02 og legge til ekstra grunnlasten i Spesialrom, ble E.03 etablert og ansett som en tilfredstillende modell for å emulere elektrisitetsforbruket til Referansebygg 1951-1970.

## Oppvarmingsforbruk

For å representere oppvarmingsforbruket på Gløshaugen i referansemodellen, er det etter samtaler med NTNU Drift implementert vannbårne radiatorer. Radiatorene er designet for en tur- og returtemperatur på 80°C og 60°C respektivt. De er plassert på veggen under sonens vinduer untatt i sonen Forelesning hvor radiatoren er plassert midt i sonen. Det er plassert en radiator i hver sone, da det viste seg at forskjellen på å implementere en stor kontra mange små ga lite utslag på total energiforbruk. Dette blir vist senere i kapittel [10.5](#).

Effektiviteten i varmesystemet er satt til 87%, gitt av energiattestene. Utetemperatur-korrigerede fyringskurven, drifts-turtemperaturerne radiatorer blir kjørt på, ble gitt av NTNU Drift og implementert i referansemodellen. Fyringskurven for NTNU campus er vist i figur [5.14](#)



Figur 5.14: Temperaturkorrigert fyringskurve NTNU campus

Radiatorkapasiteten er dimensjonert ved at en heating load simulering er gjennomført med syntetisk vær og ideelle oppvarmingsenheter. En heating load simulering med syntetisk vær er basert på en dags ekstreme våt og tørrluftstemperaturer, vindhastighet og retning, og simuleres med 0% varmeavgivelse fra interne laster og ingen varmestråling fra sola.

Radiatorne er dimensjonert ved se på maks levert effekt fra de ideelle oppvarmingsenheterne i hver sone i 4. etasje under den kalde syntetiske vær dagen. Det ble valgt å se på 4. etasje siden varmebehovet her er størst. Siden noe av varmen til veggmonterte radiatorer går direkte i vegg bak, er radiatorne dimensjonert til 110% av maks levert effekt fra de ideelle oppvarmingsenheterne. Det å overdimensjonere med cirka 10% er vanlig praksis for å alltid kunne møte varmebehovet [21]. I modellen er dimensjonert radiator effekt rundet av til nærmeste 500, da mindre kapasitetsnyanser er urealistiske. Dimensjonert radiator kapasitet er vist i tabell 5.10. Full utregning er vist i Appendix A.9.

Tabell 5.10: Dimensjonering Radiatorer referansemodell

Sone	Max levert effekt Ideeloppvarmingsenhet [W]	Dimensjonert radiator kapasitet [W]
Kontor	30 240	33 500
Spesialrom	28 604	31 500
Lesesal	8 273	9 000
Forelesning	2 014	2 000
Trafikk	34 407	38 000



## 6. Etablering av referansemodell for resterende kohorter

På grunn av begrenset tid er hovedområdet bygningsgeometri til referansemodell Bygg 1, 3 og 4 den samme som for referansemodell Bygg 2. Drift og bruk ansees som lik for alle bygningsmodellene. Bygningskropp og tekniske systemer er forskjellige for hver modell og er basert på energiattester og informasjon fra NTNU Drift. Basert på data fra referansebyggene ble referansemodellene Bygg 1, Bygg 3 og Bygg 4 etablert. En oversikt er gitt i tabell [6.1](#).

Tabell 6.1: Oversikt over referansemodeller

<b>Kohort</b>	<b>Referansebygg</b>	<b>Referansemodell</b>
før 1950	Referansebygg 1	Bygg 1
1971-1999	Referansebygg 3	Bygg 3
2000-2020	Referansebygg 4	Bygg 4

### Etablering av bygningskropp

Parametrene som definerer bygningskroppen til modellene er basert på de vektete gjennomsnittsparementre for referansebyggene, en oversikt er gitt i tabell [6.2](#), mens detaljert oversikt er gitt i Appendix [A.5](#).

Tabell 6.2: Bygningskroppen til referansemodellene

Kategori	Parameter	Bygg 1	Bygg 3	Bygg 4
U-verdier	Yttervegg [W/m <sup>2</sup> K]	0,74	0,36	0,21
	Indrevegg [W/m <sup>2</sup> K]	0,62	0,62	0,62
	Ytre gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,16	0,23	0,075
	Indre gulv [W/m <sup>2</sup> K]	2,39	2,39	2,39
	Vinduer [W/m <sup>2</sup> K]	2,70	1,98	1,68
	Dører [W/m <sup>2</sup> K]	1,09	1,09	1,09
	Tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,55	0,27	0,15
Generelt for fasade	Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	0,08	0,09
	Lekkasjetall [1/h]	2,78	2,42	1,54

## Etablering av tekniske systemer og drift og bruk

Hovedparametere som definerer tekniske systemer i referansemodellene er basert på de vektete gjennomsnittsparementene for referansebyggene og er vist i tabell 6.3, mens detaljert oversikt er gitt i Appendix A.5.

Tabell 6.3: Parametere tekniske systemer

Parameter	Bygg 1	Bygg 3	Bygg 4
Varmegjenvinner [%]	47,11	56,19	65,63
SFP [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	2,82	2,38	3,39
Ventilasjon tilluft [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h]	9,19	9,11	12,76
Effektivitet varmesystem [%]	85,00	84,00	88,00
Kjøleenheter [W/m <sup>2</sup> ]	Ingen kjøling	53,78	39,24

Tabell 6.4 gir en oversikt over tilluftsmengdene i sonene til de forskjellige referansemodellene. Verdiene er oppgitt i m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h.

Tabell 6.4: Tilluftsmengder i sonene til referansemodell Bygg 1, 3 og 4 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h]

Sone	Bygg 1	Bygg 3	Bygg 4
Lesesal	9,19	9,11	12,76
Kontor	9,19	9,11	12,76
Spesialrom	9,19	9,11	12,76
Forelesning	21,60	21,60	21,60
Trafikk	7,49	7,43	11,59

## Elektrisitet

For å oppnå korrekt elektrisitetsforbruk til de forskjellige referansemodellene, ble en ny Spesialrom Grunnlast beregnet. Inputverdier for elektrisitet, gitt i W/m<sup>2</sup>, for belysning, utstyr og grunnlast er likt det som ble benyttet for Bygg 2, oppgitt i tabell 5.9.

Spesialrom grunnlasten for referansemodellene er vist i tabell 6.5. En utfyllende utregning er oppgitt i Appendix A.8.

Tabell 6.5: Spesialrom Grunnlast for referansemodell Bygg 1, 3 og 4

Sone	Bygg 1	Bygg 3	Bygg 4
Spesialrom Grunnlast [W]	6126,7	38431,7	411,5

## Oppvarmingsbehov

Dimensjonering av radiatorene for Bygg 1, Bygg 3 og Bygg 4 er gjennomført på samme måte som for Bygg 2. Dimensjonert radiator kapasitet er 110% av maks levert effekt fra en ideell oppvarmingsenhet i hver sone i 4 etasje. En oversikt over dimensjonert radiator effekt er gitt i tabell 6.6. En fullstendig utregning er vist i Appendix A.9.

Tabell 6.6: Dimensjonert radiator kapasitet for referansemodell Bygg 1, 3 og 4

Sone	Radiator Bygg 1 [W]	Radiator Bygg 3 [W]	Radiator Bygg 4 [W]
Kontor	37 000	24 500	19 000
Spesialrom	35 500	24 000	19 000
Lesesal	10 000	7 000	5 000
Forelesning	2 500	1 500	1 000
Trafikk	42 000	28 000	22 500





## 7. Etablering av energieffektiviseringstiltak

Dette kapittelet tar for seg hvordan energieffektiviseringstiltakene ble opprettet og implementert i referansemødelene.

Tiltakene som ble opprettet er valgt på grunnlag av hva som ble funnet i kapittel 2.5, byggeforskrifter og samtaler med veileder og medveileder. Det ble valgt å opprette tiltak som er teknisk oppnåelig for alle kohortene. Modellene i dette kapittelet simuleres med en klimafil som representerer et typisk år i Trondheim. Klimafil som er benyttet er av typen ASHRAE IWEC 2.

Tabell 7.1 gir en oversikt av energieffektiviseringstiltakene som skal implementeres.

Tabell 7.1: Energieffektiviseringstiltakene

#	Tiltak	Kommentar
T1.	Yttervegg 1	Etterisolering av yttervegg 50 mm mineralull
T2.	Yttervegg 2	Etterisolering av yttervegg 100 mm mineralull
T3.	Tak	Etterisolering av tak 50 mm mineralull
T4.	Vindu 1	Utskifting av vindu til TEK17-nivå, U-verdi 0,8 W/m <sup>2</sup> K
T5.	Vindu 2	Utskifting av vindu til ambisiøst nivå, U-verdi 0,6 W/m <sup>2</sup> K
T6.	Lufttetthet, lekkasjetall N50	Forbedring av lekkasjetall til 1,5 l/h ved 50 Pa trykkforskjell
T7.	Normalisert kuldebro	Forbedring av normalisert kuldebroverdi til 0,06 W/m <sup>2</sup> K
T8.	Varmegjenvinning ventilasjon	Utskifting av varmegjenvinner med 80%
T9.	Lavtemperatur varmesystem	Gå over fra 80/60 °C til 60/40 °C system

Enøktiltakene i tabell 7.1 vil kun bli simulert hver for seg for Bygg 2.

For å redusere antall modeller og simulere flere realistiske scenarier ble det bestemt å opprette energieffektiviseringspakker av enøktiltakene nevnt ovenfor. Det ble opprettet fire typer pakker: Standard pakke, Ambisiøs pakke, Teknisk pakke og Ambisiøs+Teknisk pakke. Tabell 7.2 gir en oversikt av energieffektiviseringspakker som skal implementeres.

Tabell 7.2: Energieffektiviseringspakker

#	Pakke	Tiltak
1.	P1: Standard Pakke	Yttervegg 1
		Tak
		Vindu 1
		Lufttetthet, lekkasjetall N50
		Normalisert kuldebro
2.	P2: Ambisiøs Pakke	Yttervegg 2
		Tak
		Vindu 2
		Lufttetthet,lekkasjetall N50
		Normalisert kuldebro
3.	P3: Teknisk Pakke	Varmegjenvinning ventilasjon
		Lavtemperatur varmesystem
4.	P4: Ambisiøs + Teknisk Pakke	Yttervegg 2
		Tak
		Vindu 2
		Lufttetthet,lekkasjetall N50
		Normalisert kuldebro
		Varmegjenvinning ventilasjon
		Lavtemperatur varmesystem

### P1 - Standard Pakke og P2 - Ambisiøs Pakke

Disse rehabiliteringspakkene tar for seg bygningskroppen i modellen. Yttervegg og tak etterisoleres, vinduene skiftes ut og bygningen tettes. Dette vil ha en positiv effekt på lekkasjetallet og samtidig redusere kuldebroverdien i bygningen.

Det kan diskuteres om hvor mye lekkasjetallet og kuldebroverdien vil forbedres ved en rehabilitering. Dette avhenger først og fremst av entreprenøren som utfører arbeidet og hvor mye fokus det er på å forbedre lekkasjetallet og kuldebroverdien. De ble derfor satt til minimumskravet oppgitt i TEK17 for begge pakkene.

Forskjellen mellom P1 og P2 er ytterveggen og vinduene. For ytterveggene blir P1 og P2 skilt ved å etterisolere med henholdsvis 50 mm og 100 mm mineralull. For vinduer er U-verdien i P1 og P2 henholdsvis 0,8 W/m<sup>2</sup>K og 0,6 W/m<sup>2</sup>K. Vinduet i P1 tilsvarer TEK17-nivå og P2 tilsvarer det mest isolerte vinduet tilgjengelige på markedet.

---

### **P3 - Teknisk Pakke**

Denne pakken tar for seg de tekniske installasjonene i bygget. Tiltakene som implementeres er utskifting av varmegjenvinneren for ventilasjonen, og varmesystemet i bygningen som endres til et 4. generasjons fjernvarmesystem som benytter 60/40°C. NTNU Drift informerte at noen bygg allerede har gått over til lavtemperatursystem og ser på muligheten til å implementere dette i flere eksisterende bygg i fremtiden. Å gå fra et høy- til lav-temperatur system krever som regel omfattende utskiftninger av rør og radiatorer. Dette kommer av at en radiator dimensjonert for et lavtemperatursystem krever en større overflate for å levere samme varmeeffekt. I modellen vil dette tiltaket bli implementert ved å kun endre designbetingelsene til radiatoren i form av tur/retur-temperatur. Utetemperatur-korrigerte fyringskurven av varmesystemet settes ned fra 80°C til 60°C ved utetemperaturer under -15°C.

### **P4 - Ambisiøs + Teknisk Pakke**

P4 er satt sammen av pakkene P2 og P3. Denne pakken blir det tilsvarende av å implementere alle tiltakene.

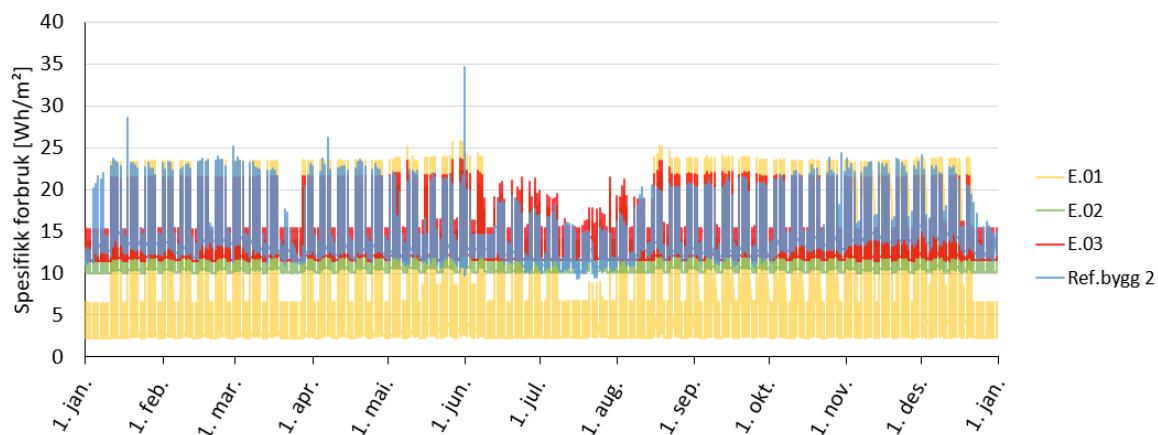


## 8. Resultater fra referansem modellene

Dette kapitlet tar for seg simuleringsresultatene for alle referansem modellene; Bygg 1, Bygg 2, Bygg 3 og Bygg 4. Simuleringsresultatene vil bli diskutert og sammenlignet med målt forbruk for tilhørende Referansebygg. Til slutt vil resultatene bli sammenlignet med energibruken for hele bygningsmassen på Gløshaugen. Bygningsmodellene baserer seg på Bygg 2. Derfor vil denne modellen bli presentert først og ha en mer utdypende analyse enn de andre bygningsmodellene. I dette kapitlet vil Bygg X og simulerte verdier brukes om hverandre, tilsvarende for Referansebygg X og målte verdier.

### 8.1 Elektrisitetskalibrering for Bygg 2: 1951-1970

Før referansem modell Bygg 2 ble etablert ble det gjennomført en elektrisitetskalibrering. Figur 8.1 viser resultatet fra kalibreringsprosessen. Figuren viser kun spesifikk elektrisitetsforbruk.



Figur 8.1: Resultat fra elektrisitetskalibrering

Fra figuren er det lett å se at E.01 (NS 3031 verdier) gir en lav grunnlast og for høy topplast. For E.02 er spesifikt elektrisitetsforbruket lik Sentralbygg 1 på 120 kWh/m<sup>2</sup>. Grunnlastet er hevet og topplasten er redusert. I E.03 er grunnlasten hevet slik at spesifikt elektrisitetsforbruket er lik Referansebygg 2.

Tabell 8.1 viser en oversikt av spesifikt elektrisitetsforbruk for Referansebygg 2 og strømmodellene, i tillegg til avvik og prosentvis avvik.

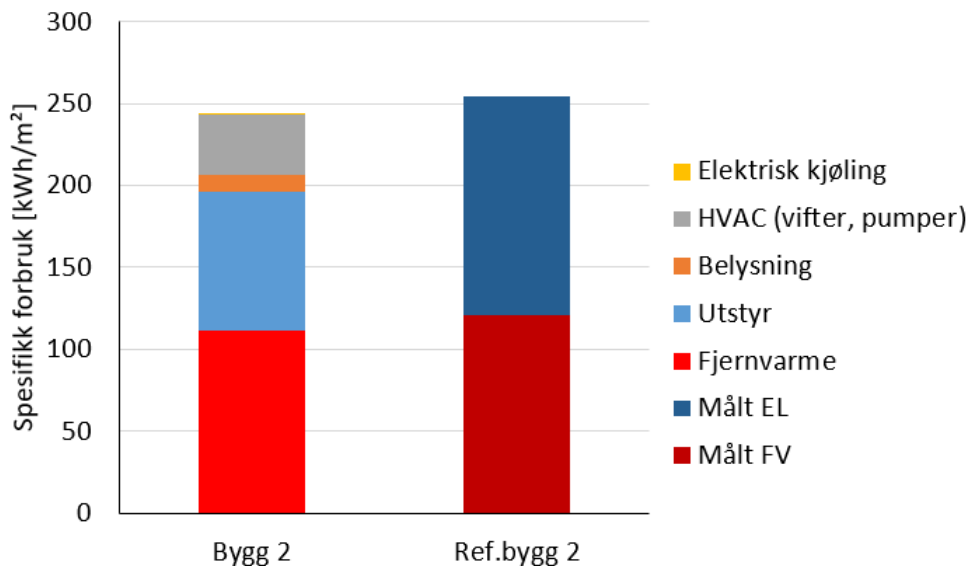
Tabell 8.1: Oversikt av elektrisitetskalibrering

	Ref.bygg 2	E.01	E.02	E.03
Elektrisitetsforbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	133,1	78,2	119,4	132,3
Avvik fra Ref.bygg 2 [kWh/m <sup>2</sup> ]		54,9	13,7	0,8
Prosentvis avvik [%]		41,25	10,29	0,60

Tabellen viser at avviket fra Referansebygg 2 reduseres for hver modell. E.01, E.02 og E.03 har et prosentvis avvik på henholdsvis 41,25%, 10,29% og 0,60%. Det ble bestemt at modell E.03 ga et tilfredstillende elektrisitetsforbruk ettersom avviket er meget lavt.

## 8.2 Resultater fra referansemodell Bygg 2: 1951-1970

Figur 8.2 viser spesifikk energiforbruk for Bygg 2 og målt spesifikk energiforbruk for Referansebygg 2.

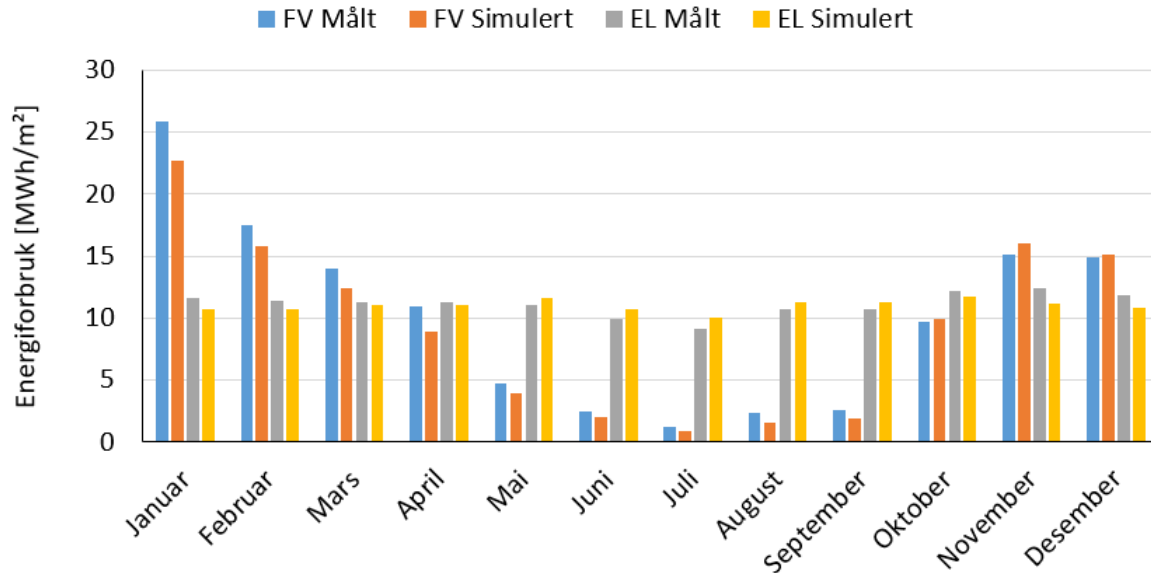


Figur 8.2: Sammenligning av spesifikk energiforbruk for Bygg 2 og Referansebygg 2

Figuren viser at simuleringsresultatene for Bygg 2 ligger litt under målte verdier. Total spesifikk energiforbruk for Bygg 2 og Referansebygg 2 er henholdsvis på 244,0 kWh/m<sup>2</sup> og 254,2 kWh/m<sup>2</sup>. Dette gir et prosentvis avvik på 4,01%. Det viser seg at modellen har et for lavt varmeforbruk.

Modellen har et spesifikt varmeforbruk på 111,7 kWh/m<sup>2</sup>, kontra 121,1 kWh/m<sup>2</sup> for Referansebygg 2. Dette gir et prosentvis avvik på 7,76%. Prosentvis avvik for elektrisitetsforbruket er, som nevnt i forrige avsnitt, 0,60%. Resultatene tyder på at modellen gir tilfredsstillende verdier for årsforbruk. Avvikene for varme-, elektrisitets- og total forbruket er under 10%.

Figur 8.3 viser spesifikk elektrisitets- og varmeforbruk per måned for Bygg 2 og Referansebygg 2. I figuren står FV for fjernvarme og EL for elektrisitet.



Figur 8.3: Spesifikk månedsforbruk for målte og simulerte verdier Bygg 2

Fra figuren sees det at varmeforbruket for simulerte verdier er for lave i store deler av året. I de tre siste månedene av året er forbruket for høyt i forhold til målte verdier. For elektrisitetsforbruket er det i de fire første månedene for lavt forbruk. Fra mai til september er forbruket for høyt, og fra oktober til desember er det for lavt. Tabell 8.2 viser avviket for hver måned. Benevnningen for verdiene er MWh/m<sup>2</sup>.

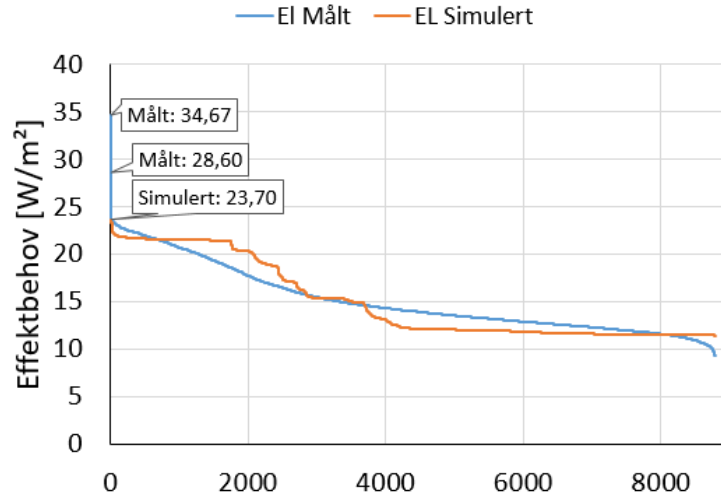
Tabell 8.2: Månedskonsum og avvik for målt og simulert data for Bygg 2

#	FV Målt	FV Sim.	EL Målt	EL Sim.	FV Avvik	EL Avvik	FV Avvik %	EL Avvik %
1	25,89	22,67	11,62	10,74	-3,22	-0,88	-12,43 %	-7,59 %
2	17,48	15,77	11,40	10,77	-1,70	-0,64	-9,75 %	-5,59 %
3	13,94	12,42	11,24	11,09	-1,52	-0,15	-10,92 %	-1,34 %
4	10,93	8,95	11,30	11,11	-1,98	-0,19	-18,10 %	-1,71 %
5	4,71	3,97	11,06	11,65	-0,74	0,59	-15,68 %	5,37 %
6	2,41	1,95	9,93	10,70	-0,46	0,77	-18,99 %	7,77 %
7	1,26	0,92	9,14	10,03	-0,34	0,89	-27,15 %	9,72 %
8	2,31	1,55	10,74	11,29	-0,76	0,55	-32,93 %	5,15 %
9	2,54	1,90	10,69	11,26	-0,63	0,58	-24,96 %	5,38 %
10	9,70	9,89	12,16	11,76	0,19	-0,40	1,96 %	-3,32 %
11	15,15	16,04	12,38	11,17	0,89	-1,21	5,86 %	-9,75 %
12	14,93	15,10	11,80	10,79	0,17	-1,01	1,14 %	-8,53 %

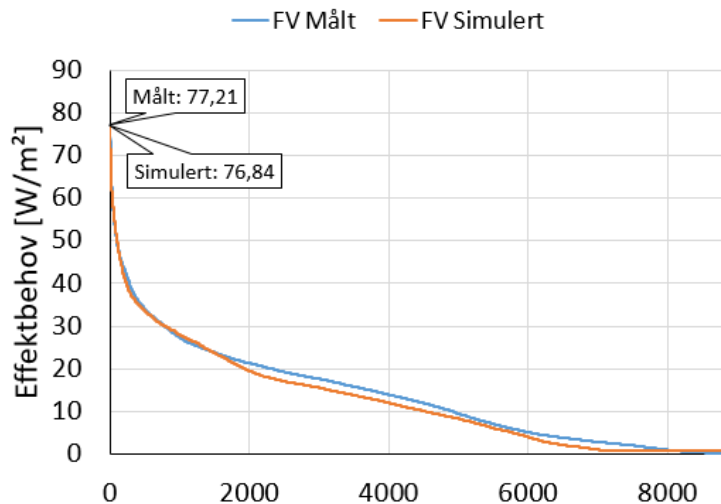
I sommermånedene er det prosentvise avviket relativt høyt for varmekonsumet (15-30%), men varmekonsumet, i MWh/m<sup>2</sup>, er generelt lavt i forhold til resten av året. De største avvikene i MWh/m<sup>2</sup> er i de fire første månedene av året. Det er her størsteparten av avviket i årskonsumet kommer fra. Januar har det største avviket på 3,22 MWh/m<sup>2</sup>. For elektrisitetskonsumet er avvik og prosentvis avvik lavere enn varmekonsumet, henholdsvis under 1,50 MWh/m<sup>2</sup> og 10% avvik. Høyeste prosentvise avvik er i november med 9,75%, etterfulgt av juni og desember med henholdsvis 9,72% og 8,53%.

Figur 8.4 sammenligner varighetskurven for spesifikk elektrisitets- og varmebehov for målte og simulerte verdier.





(a) Spesifikk elektrisitetsforbruk

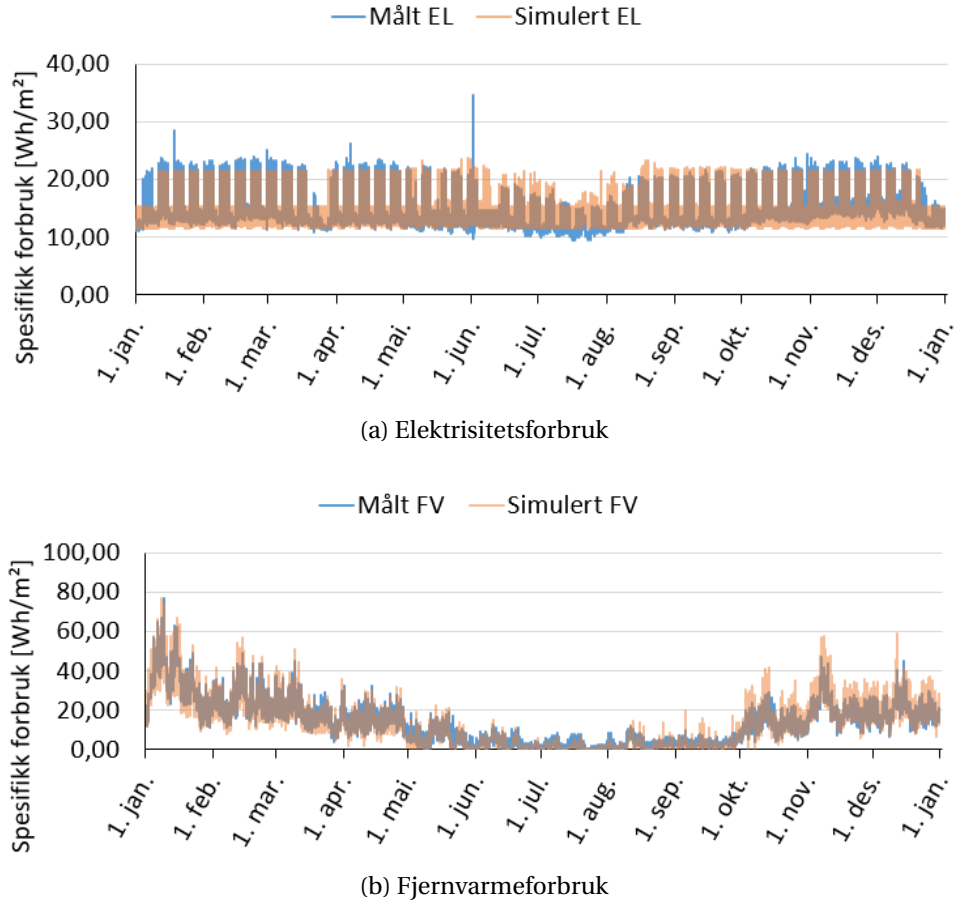


(b) Spesifikk varmeforbruk

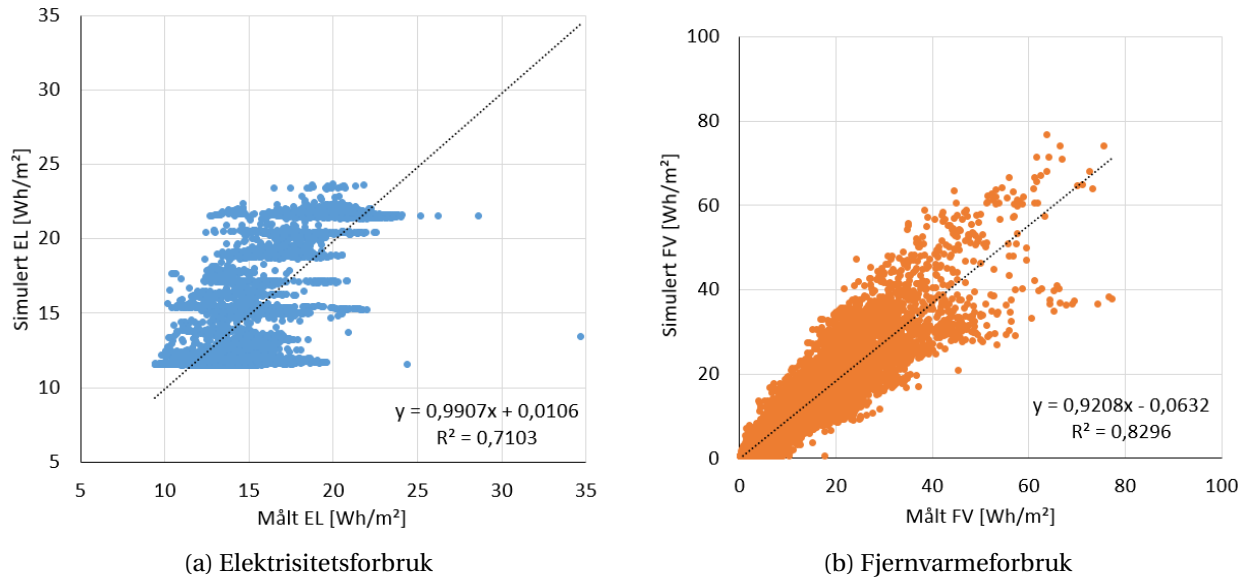
Figur 8.4: Sammenligning av varighetskurve for elektrisitets- og varmebehovet for målte og simulerte verdier Bygg 2

Fra figur 8.4a sees det at grunnlasten for elektrisitetsbehovet for simulerte verdier stabiliserer seg etter 4000 timer og er under målte verdier. For målte verdier synker effektbehovet gradvis gjennom året. Topplasten for målt og simulert er henholdsvis på  $34,67 \text{ W}/\text{m}^2$  og  $23,70 \text{ W}/\text{m}^2$ . Dette gir et prosentvis avvik på 31,64%. Topplasten for målte verdier er mest sannsynlig en feilmåling. Neste verdi er da  $28,60 \text{ W}/\text{m}^2$ , noe som gir et prosentvis avvik på 17,13%. Tilsvarende varighetskurve for varmebehovet vises i figur 8.4b. Her følger kurvene hverandre i stor grad. Topplasten for simulerte og målte verdier er henholdsvis  $77,21 \text{ W}/\text{m}^2$  og  $76,84 \text{ W}/\text{m}^2$ . Dette gir et prosentvis avvik på 0,47%. Dette tyder på at modellen gir en tilfredsstillende varighetskurven for varmebehovet, men ikke like tilfredsstillende for elektrisitetsbehovet.

Figur 8.5 viser timesforbruket gjennom året for spesifikk elektrisitets- og varmeforbruk for målte og simulerte verdier. Figur 8.6 viser de samme verdiene i et spredningsplott med trendlinje og  $R^2$ -verdien (determinasjonskoeffisienten).



Figur 8.5: Timesforbruk for målt og simulert forbruk for Bygg 2



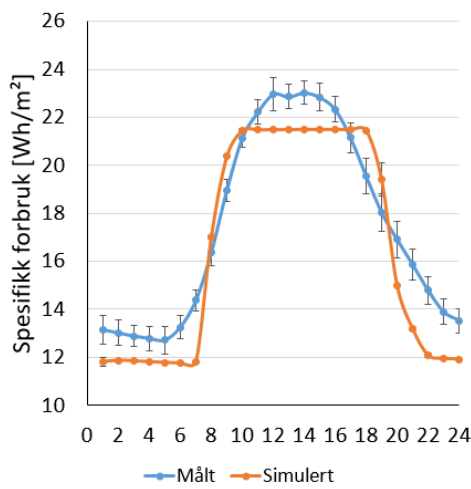
Figur 8.6: Spredningsplott for målt og simulert forbruk for Bygg 2

$R^2$  sier noe om hvor mye de simulerte verdiene korrelerer med de målte verdiene. En  $R^2 = 1$  vil bety perfekt lineær sammenheng mellom verdiene, mens  $R^2 = 0$  vil bety ingen lineær sammenheng mellom verdiene.

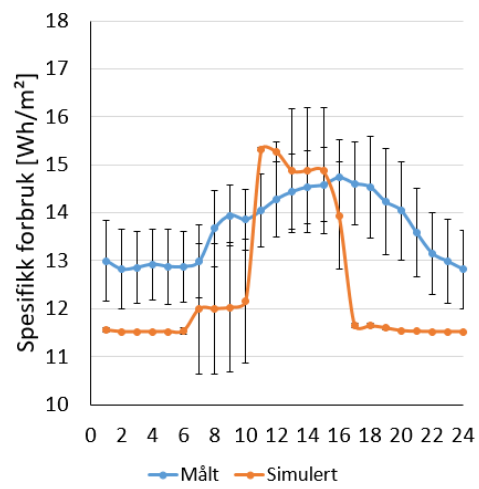
Fra figur 8.5a kan det sees at grunnlasten for elektrisitetsforbruket for Bygg 2 er litt under målte verdier i de to første månedene og etter oktober. Både grunnlasten og topplasten for Bygg 2 er generelt stabil og varierer lite. For målte verdier varierer dette både fra uke til uke og måned til måned. Dette er noe som er komplisert å modellere. Det fremkommer en høy topp rundt 1. juni for målte verdier, denne toppen er mest sannsynlig en feilmåling. Figur 8.6a viser tydeligere at grunnlasten til elektrisitetsforbruket i modellen er for lav. Fra figuren sees det at punktene går langs x-aksen ved  $y = 11,5 \text{ Wh/m}^2$ , noe som indikerer at grunnlasten er for lav i store deler av året. Ved  $y = 21,5 \text{ Wh/m}^2$  ser man lignende mønster for topplasten, hvor modellen gir for høye verdier.  $R^2 = 0,7103$ , noe som indikerer at det er en akseptabel korrelasjon mellom målte og simulerte verdier.

For varmeforbruket viser figur 8.5b at simulerte verdier følger samme mønster som de målte verdiene. Toppene for de simulerte verdiene er ofte for høye, spesielt i slutten av året. Dette vises tydeligere i figur 8.6b. Spredningen er relativ liten frem til  $40 \text{ Wh/m}^2$ , etter dette er spredningen mye høyere.  $R^2 = 0,8296$ , noe som indikerer en høy korrelasjon.

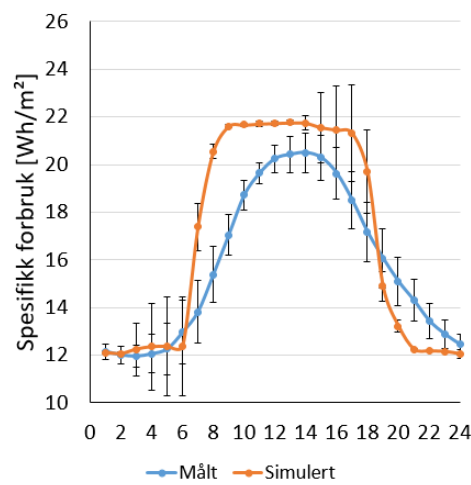
Figur 8.7 viser timesprofiler med gjennomsnittsverdi og avvik for en gjennomsnittsdag for målt og simulert elektrisitetsforbruk for månedene februar, september og november. Det er ikke tatt hensyn til sommertid, dermed er verdier i september forskjøvet tilbake med en time.



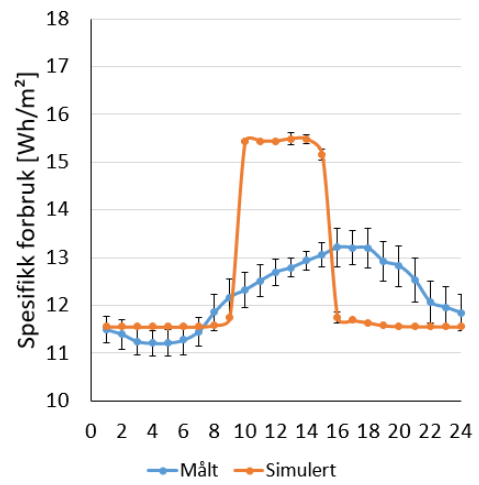
(a) Februar Hverdag



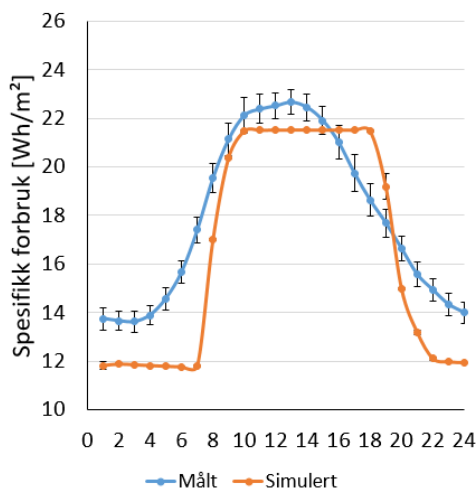
(b) Februar Helg



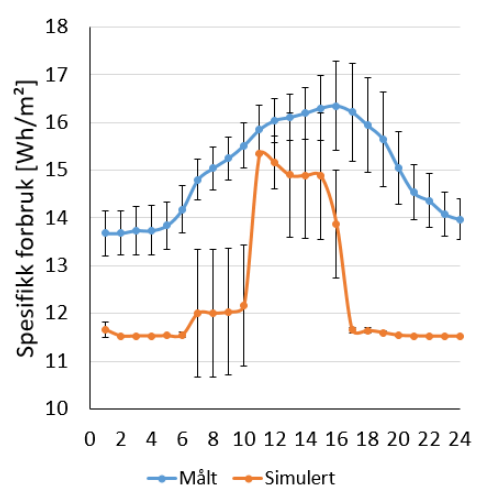
(c) September Hverdag



(d) September Helg



(e) November Hverdag

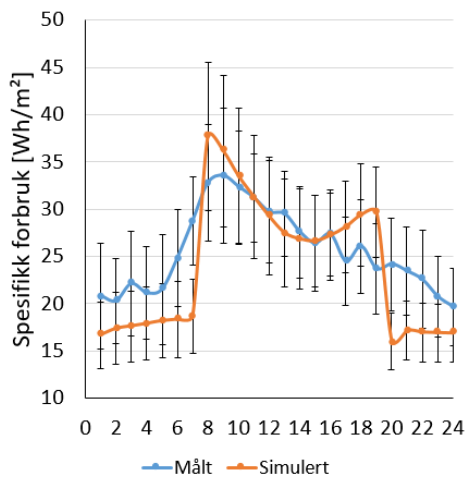


(f) November Helg

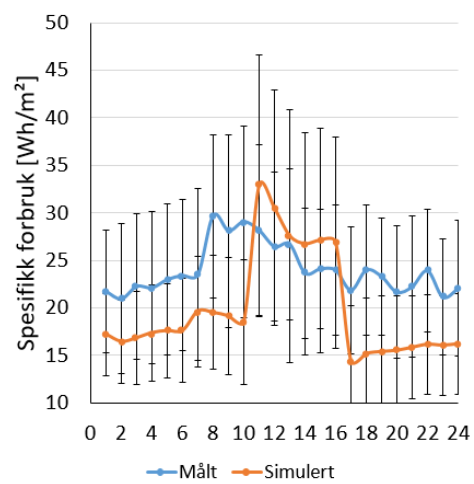
Figur 8.7: Sammenligning av en gjennomsnittsdag for målt og simulert elektrisitetsforbruk for månedene februar, september og november

Figur 8.7a, 8.7c og 8.7e viser gjennomsnittprofilen for elektrisitetsforbruk i en hverdag. Fra figurene vises det at simulerte verdier har en lik elektrisitetsprofil og varierer lite for alle de viste månedene. Grunnlasten ligger på  $12 \text{ Wh/m}^2$  og topplasten er rett under  $22 \text{ Wh/m}^2$ . Målt varierer i større grad. Februar- og novemberprofilene er veldig like for målte verdier, mens i september er forbruket noe lavere. I figur 8.7a og 8.7e vises det at grunnlasten og topplasten for modellen er litt for lav. For figur 8.7c, i september, er topplasten for høy. Figur 8.7b, 8.7d og 8.7f viser at profilene for målt og simulert er veldig forskjellige i helgen. Dette tyder på at antagelsene som har blitt gjort for elektrisitetsprofilene i helgen for modellen stemmer i liten grad. De målte gjennomsnittsverdiene svinger lite og går opp  $1-2 \text{ Wh/m}^2$  ved dagtid. Her sees det at topplasten fremkommer senere i helgen (kl 15) enn ved hverdagen (kl 12-13). I modellen er elektrisitetsbruken i helgen satt for høyt i brukstiden, dette vises tydelig i figur 8.7d. Det ble funnet at ventilasjonsanlegget er grunnen til den store økningen i elektrisitetsforbruket i helgen.

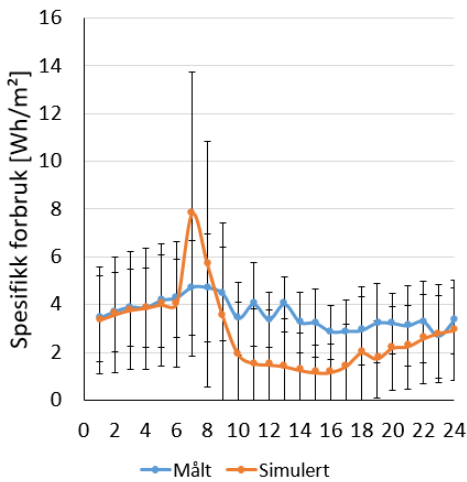
Figur 8.8 viser timesprofiler med gjennomsnittsverdi og avvik for en gjennomsnittsdag for målt og simulert varmeforbruk for månedene februar, september og november. Det er heller ikke her tatt hensyn til sommertid.



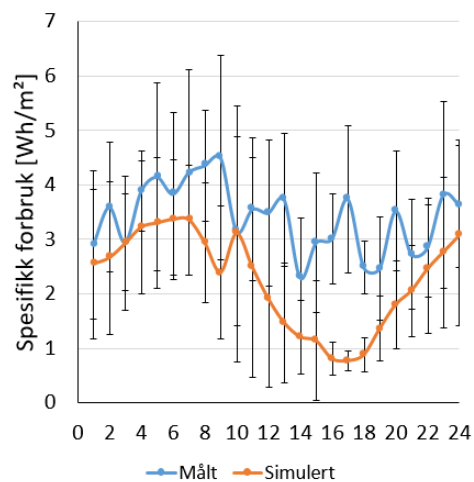
(a) Februar Hverdag



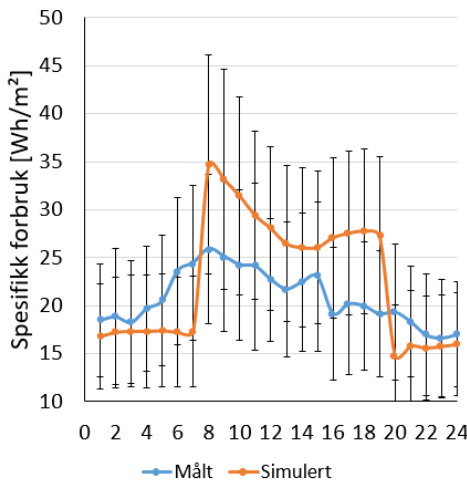
(b) Februar Helg



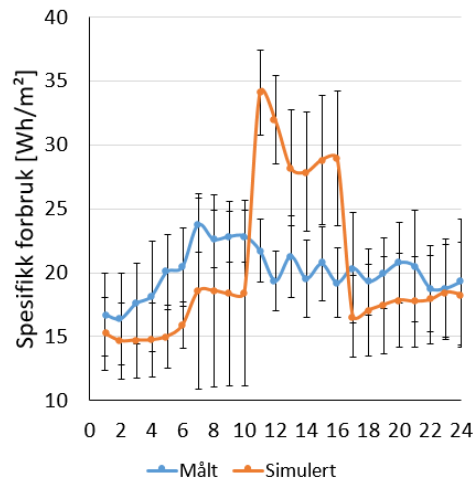
(c) September Hverdag



(d) September Helg



(e) November Hverdag



(f) November Helg

Figur 8.8: Sammenligning av en gjennomsnittsdag for målt og simulert varmeforbruk for månedene februar, september og november

Figurene viser at varmemeforbruket varierer i stor grad. I figur 8.8a gir modellen tilfredsstillende verdier i brukstiden (kl 08-18), men om utenom brukstid er varmemeforbruket for lavt. I figur 8.8c og 8.8e sees det at profilene for simulerte verdier ikke stemmer i like stor grad med målte verdier i brukstiden, men gir tilfredsstillende verdier utenom brukstid. Med tanke på hva som ble funnet i tabell 8.2 (avvik i månedsverdier), tyder det på at avviket utenom brukstid gir et større utslag på årsforbruket enn avvik i brukstiden. Forbruket i februar har et avvik på 1,7 MWh/m<sup>2</sup>, mens november er avviket på 0,89 MWh/m<sup>2</sup>. Ettersom varmemeforbruket varierer i stor grad, både dag for dag og time for time, er det vanskelig å si hva betydningen av avviket i brukstid kontra utenom brukstid er med sikkerhet.

I september, figur 8.8c, er simulerte verdier for lave i brukstiden (kl 07-17), men her er varmemeforbruket svært lavt i forhold til februar og november. Kl 07 har modellen en topp på 8 Wh/m<sup>2</sup> og variasjonen er også høy. Dette kan komme av at ventilasjonssystemet skrur på i noen av sonene. I november, figur 8.8e, er varmemeforbruket for høyt i brukstiden. Figur 8.8b, 8.8d og 8.8f viser at profilene for målte verdier svinger i liten grad gjennom helgen. De simulerte verdiene svinger i stor grad i brukstiden (09-15). Dette kan komme av at ventilasjonsanlegget kjøres for høyt i helgen. Ventilasjonsanlegget, i kombinasjon av at det er lave interne laster i bygget i helgen, fører til at varmemeforbruket øker kraftig i brukstiden om helgen. Dette vises tydelig i figur 8.8b og 8.8f. Grunnlasten er også generelt for lav i helgen i modellen.

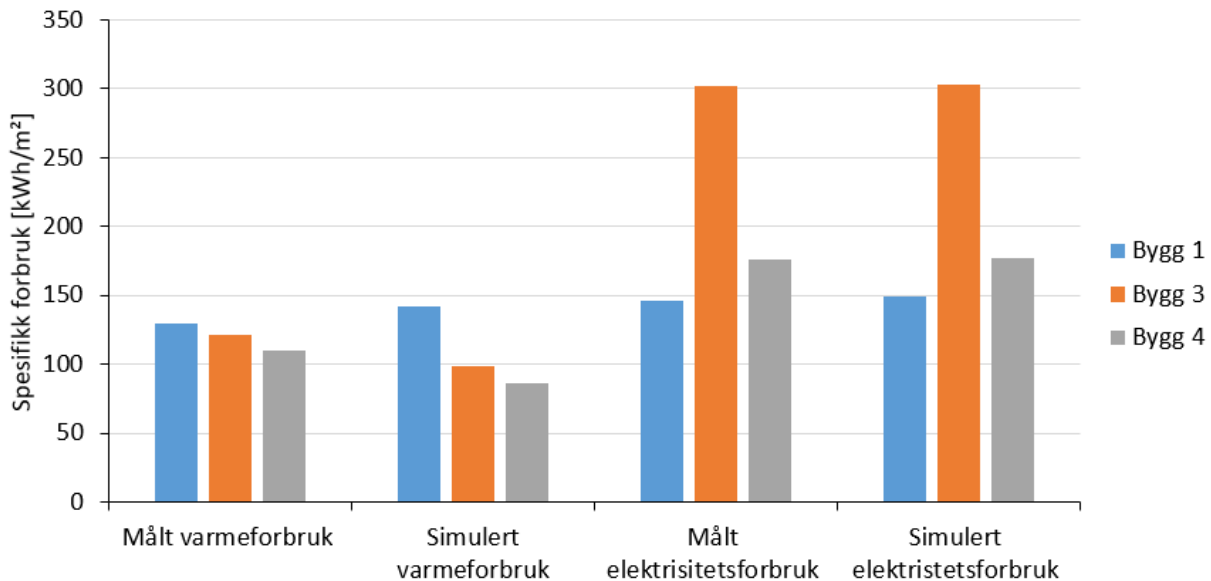
Analysen og diskusjonen av resultatene viser at Bygg 2 fortsatt har forbedringspotensial. For elektrisitetforbruket er grunnlasten for lav, og forbruket i brukstiden i helgene er for høyt. Det høye forbruket i helgen kommer mest sannsynlig av ventilasjonssystemet som kjøres for høyt. Varmeforbruket er generelt for lavt gjennom året i modellen. Dette kan komme av at simuleringene kjøres med forenklinger og ideelle forhold.

### 8.3 Resultater fra referansem modellene for resterende kohorter

Tabell 8.3 og figur 8.9 viser det målte og det simulerte spesifikke energiforbruket til Bygg 1, 3 og 4.

Tabell 8.3: Totalt spesifikk energiforbruk for Bygg 1, 3 og 4

Referansem modell	Kohort	Målt totalt energiforbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	Simulert totalt energiforbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]
Bygg 1	Før 1950	276,5	291,7
Bygg 3	1971-1999	423,2	402,3
Bygg 4	2000-2010	286,2	262,9



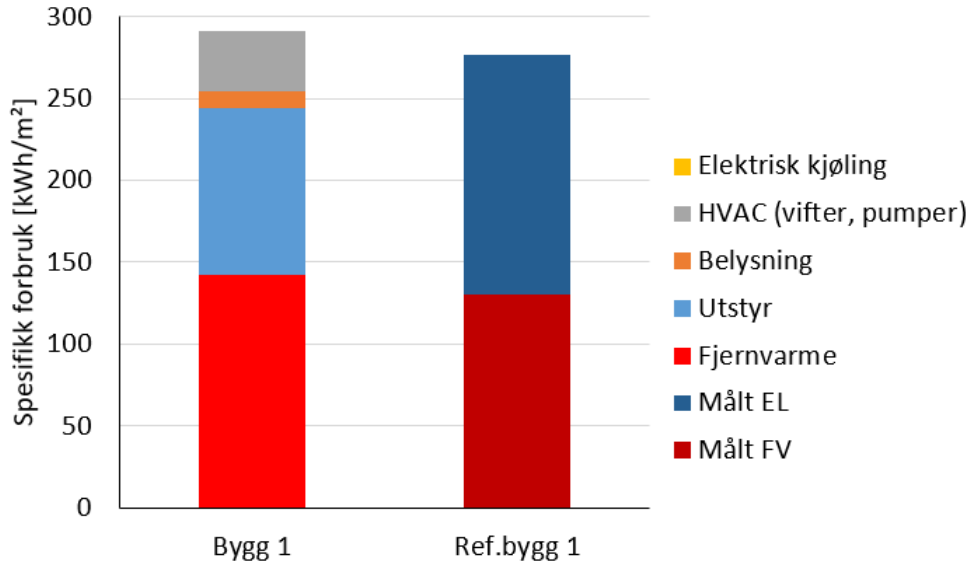
Figur 8.9: Sammenligning av spesifikk forbruk for Bygg 1, 3 og 4

Resultatene viser at modellene har et avvik på totalt energiforbruk på 5,5%, 4,9% og 8,1% for Bygg 1, 3 og 4 respektivt. Avviket mellom målt og simulert energiforbruk skyldes i all hovedsak avvik i fjernvarmeforbruket da elektrisitetsforbruket er så og si likt, dette vises i figur 8.9. Avvikene blir sett nærmere på i påfølgende resultater for hver enkelt referansem modell.



## Referansemodell Bygg 1: Før 1950

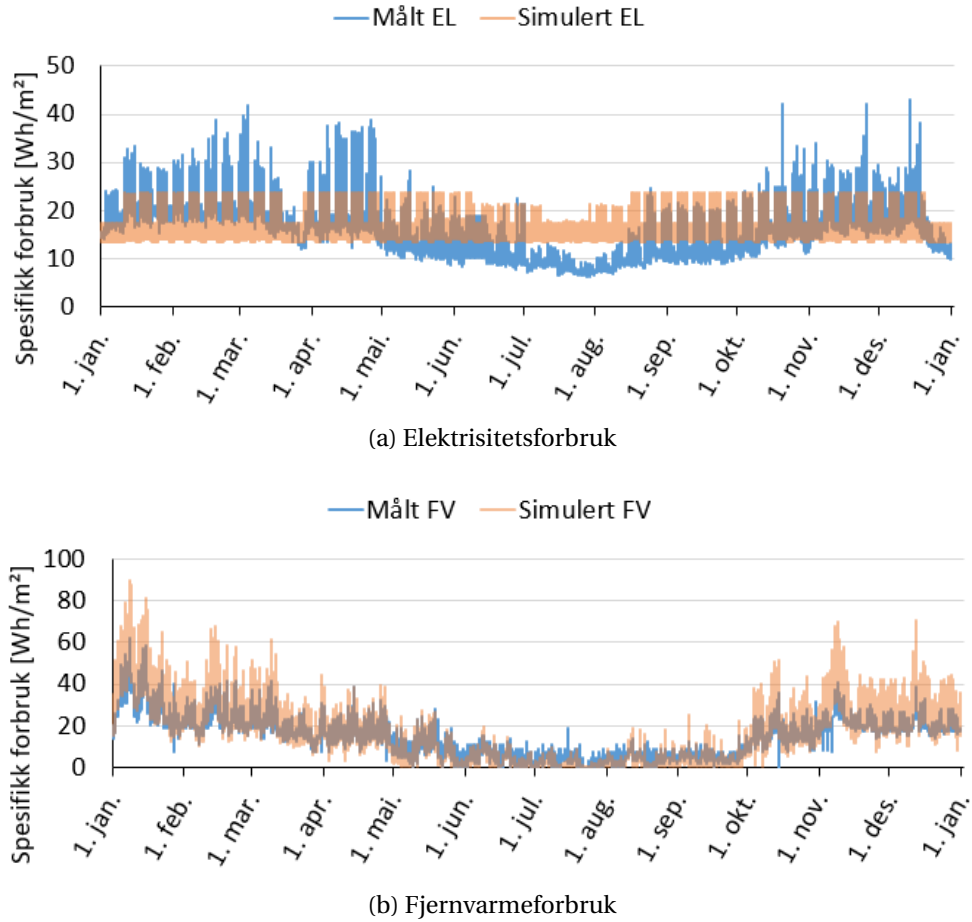
Figur 8.10 sammenligner spesifikk energiforbruk til Bygg 1 og Referansebygg 1.



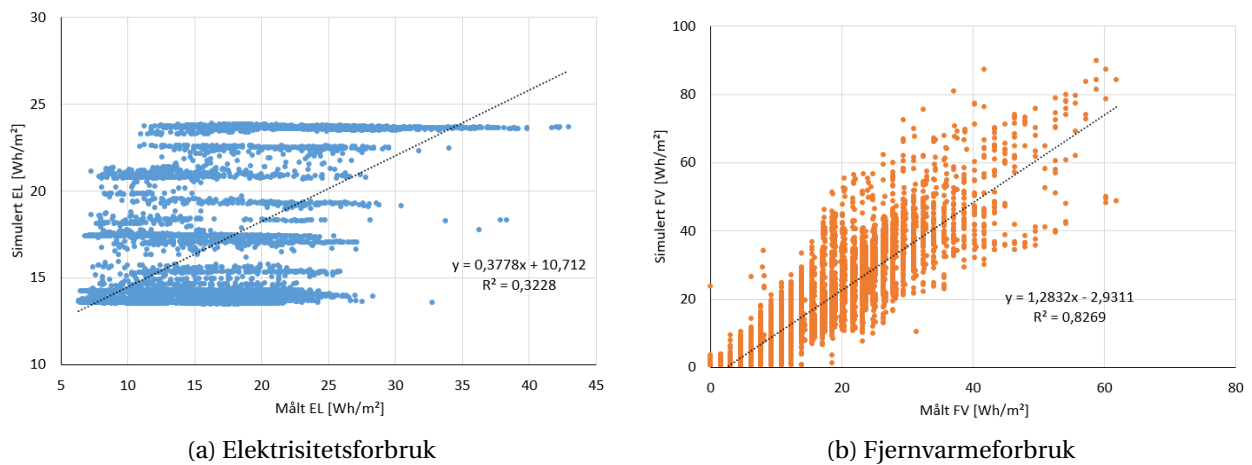
Figur 8.10: Sammenligning av spesifikk energiforbruk til Bygg 1 og Referansebygg 1

Det simulerte elektrisitets- og fjernvarmeforbruket er henholdsvis på 149,8 kWh/m<sup>2</sup> og 141,9 kWh/m<sup>2</sup>. Tilsvarende målt forbruk for Referansebygg 1 er 146,6 kWh/m<sup>2</sup> og 129,9 kWh/m<sup>2</sup>. Dette gir et prosentvis avvik på 2,2% for elektrisitetsforbruk, 9,2% for fjernvarmeforbruk og 5,5% for totalt forbruk. Referansemodell Bygg 1 representerer Referansebygg 1 i tilfredstillende grad når man ser på de årlige verdiene.

Figur 8.11 viser timesforbruket gjennom året for spesifikk elektrisitets- og varmeforbruk for målte og simulerte verdier. Figur 8.12 viser de samme verdiene i et spredningsplott med trendlinje og R<sup>2</sup>-verdien.



Figur 8.11: Timesforbruk til målt mot simulert forbruk for Bygg 1

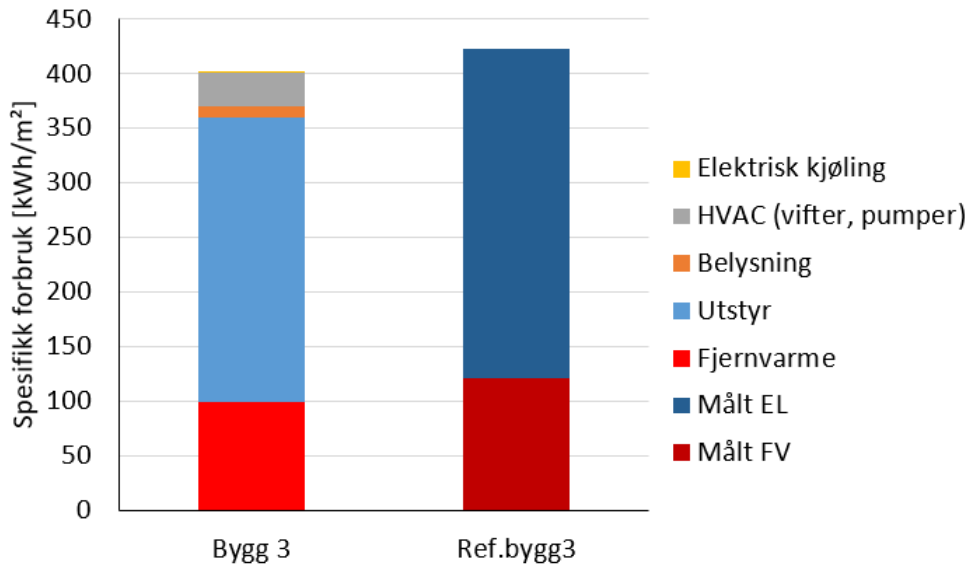


Figur 8.12: Spredningsplott til målt og simulert forbruk Bygg 1

Nærmere analyse av timesprofilene gjennom året viser at korrelasjonen mellom simulerte og målte er høyere for fjernvarme enn for elektrisitetsforbruk. Fra timesprofilen i figur 8.11a kan man se en tilgrads lav korrelasjon for elektrisitetsbruken gjennom året, dette bekreftes av en lav  $R^2$ -verdi på 0,32 vist i figur 8.12a. Hovedgrunnen til den lave korrelasjonen skyldes endringer i grunnlasten som det ikke tas høyde for i simuleringsmodellen, med høy grunnlast i vintermånedene og lav grunnlast i sommermånedene. Det simulerte fjernvarmeforbruket derimot korrelerer godt med målte verdier som man kan se i figur 8.11b. Modellen gir litt høye fjernvarmetopper i vintermånedene, men følger den målte profilen gjennom året i stor grad. Dette bekreftes av en høy  $R^2$ -verdi på 0,83 gitt av spredningsplottet i figur 8.12b.

## Referansemodell Bygg 3: 1971-1999

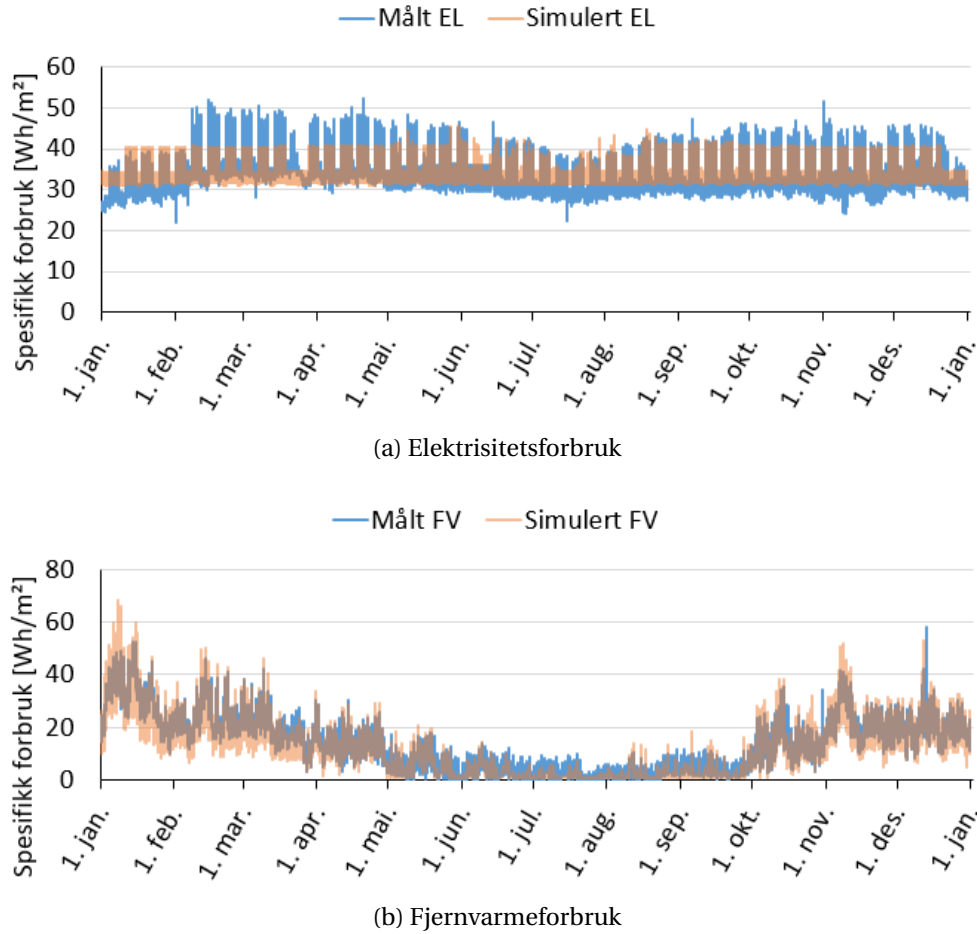
Figur 8.13 sammenligner spesifikk energiforbruk til Bygg 3 og Referansebygg 3.



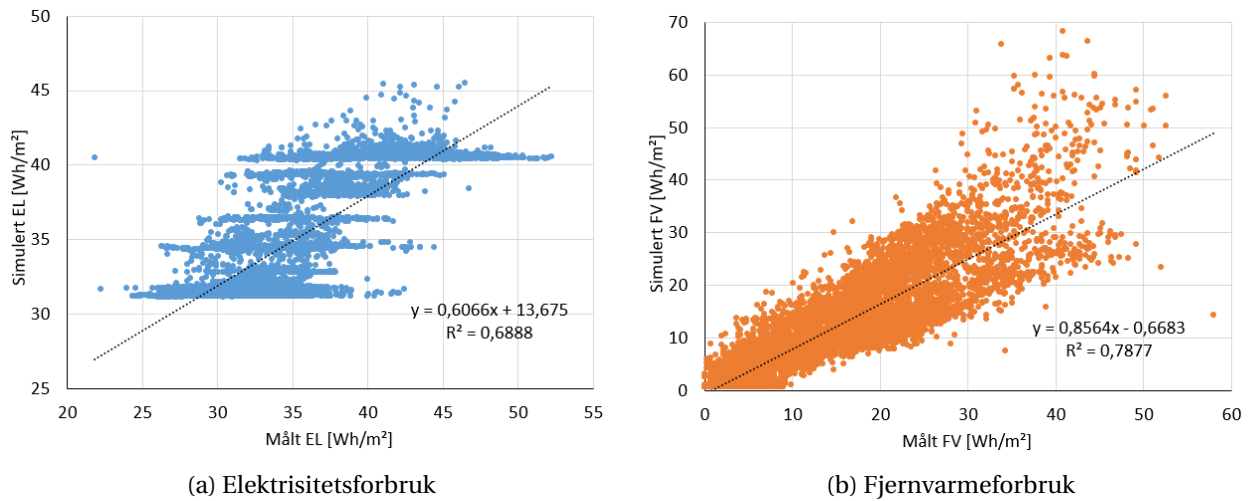
Figur 8.13: Sammenligning av spesifikk energiforbruk til Bygg 3 og Referansebygg 3

Det simulerte elektrisitetsforbruket og fjernvarmeforbruket til Bygg 3 er henholdsvis 303,4 kWh/m<sup>2</sup> og 98,9 kWh/m<sup>2</sup>. Tilsvarende målt forbruk for Referansebygg 3 er 301,7 kWh/m<sup>2</sup> og 121,5 kWh/m<sup>2</sup>. Dette gir et prosentvis avvik på 0,6% for elektrisitetsforbruk, 18,6% for varmeforbruk og 4,9% for total forbruk. Referansemodell Bygg 3 representerer Referansebygg 3 i tilfredstillende grad når det ses på det årlige elektrisitetsforbruket. Det årlige varmeforbruket treffer ikke like bra og kan skyldes at bygningsgeometrien i Bygg 3 er den samme som for Bygg 2, og dermed ikke representerer Referansebygg 3 i tilstrekkelig grad. Det kan også skyldes feil i energiattester som gjør at bygget overpresterer når det simuleres.

Figur 8.14 viser timesforbruket gjennom året for spesifikk elektrisitets- og varmeforbruk for målte og simulerte verdier. Figur 8.15 viser de samme verdiene i et spredningsplott med trendlinje og R<sup>2</sup>-verdien.



Figur 8.14: Timesforbruk til målt mot simulert forbruk for Bygg 3

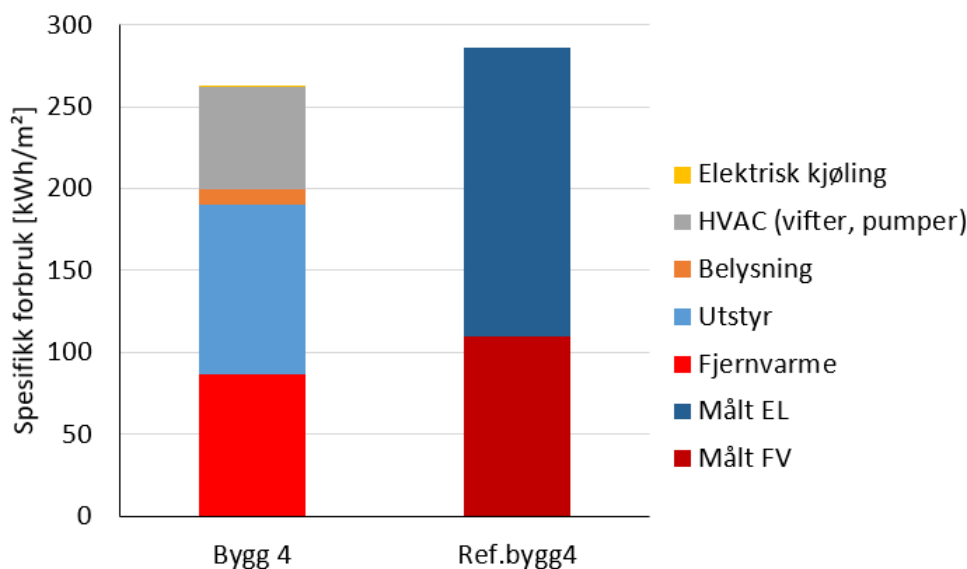


Figur 8.15: Spredningsplott til målt og simulert forbruk Bygg 3

Timesprofilen for elektrisitetsforbruket vist i figur 8.14a viser en akseptabel korrelasjon mellom målte og simulerte verdier. Dette bekreftes av en  $R^2$ -verdi på 0,69 gitt av spredningsplottet i figur 8.15a. Som i tilfellet for Bygg 1, tar ikke modellen her hensyn til endringer i grunnlasten gjennom året. Den litt lave korrelasjonen kommer også av at de målte verdiene har litt høyere topplast i visse deler av året. Det simulerte fjernvarmeforbruket derimot, vist i figur 8.14b, korrelerer godt med målte verdier. Som for Bygg 2 ser man at modellen har bedre korrelasjon når varmeforbruket er lavt, mens når varmeforbruket blir høyt er det store spredninger. Dette bekreftes av spredningsplottet gitt i figur 8.15b med en  $R^2$ -verdi på 0,79. Generelt for modellen simuleres det litt lavt fjernvarmeforbruk gjennom hele året, spesielt i sommermånedene, dette gir utslag på det årlige forbruket.

## Referansemodell Bygg 4: 2000-2020

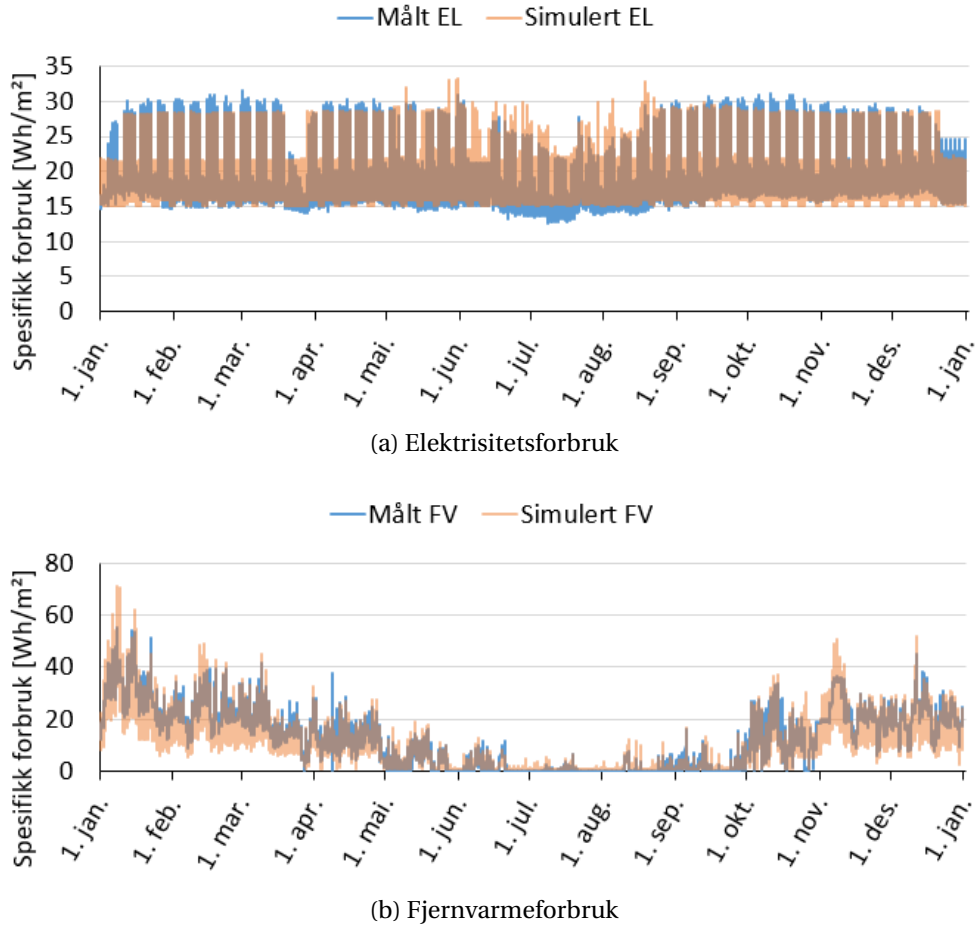
Figur 8.16 sammenligner spesifikk energiforbruk til Bygg 4 og Referansebygg 4.



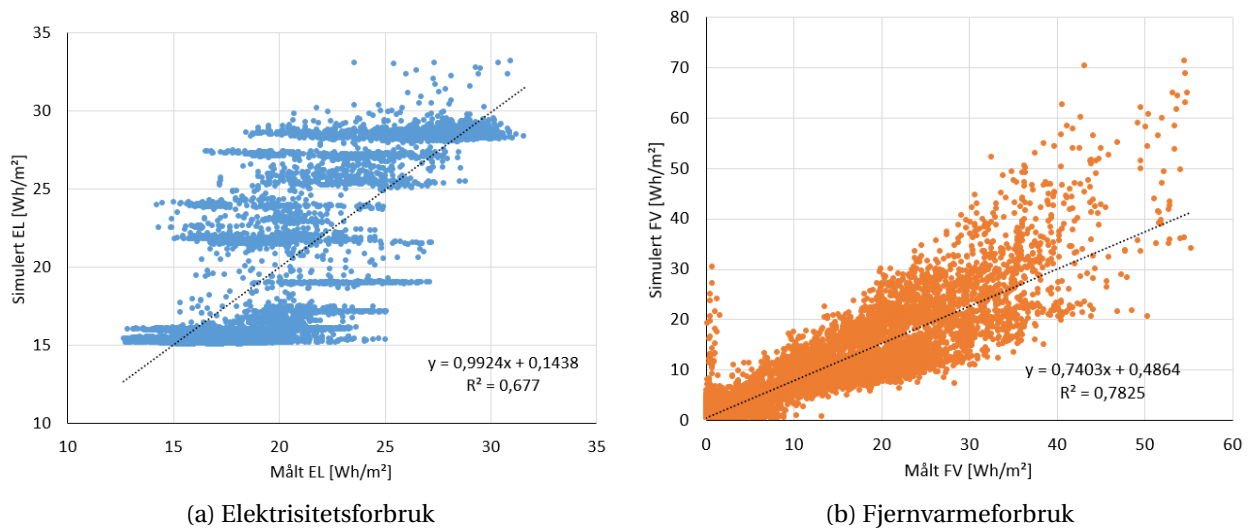
Figur 8.16: Sammenligning av spesifikk energiforbruk til Bygg 4 og Referansebygg 4

Det simulerte elektrisitetsforbruket og fjernvarmeforbruket til Bygg 4 er henholdsvis 176,7 kWh/m<sup>2</sup> og 86,2 kWh/m<sup>2</sup>. Tilsvarende målt forbruk for referansebygg 4 er 176,3 kWh/m<sup>2</sup> og 109,9 kWh/m<sup>2</sup>. Dette gir et prosentvis avvik på 0,2% for elektrisitetsforbruk, 21,6% for varmeforbruk og 8,1% for total forbruk. Elektrisitetsbruken i stemmer bra med målte data, men fjernvarmeforbruket skulle helst vært mer presist. Bygg 4 skiller seg fra de tre andre modellene ved å ha nesten dobbelt så høyt HVAC forbruk. Den store forskjellen skyldes i all hovedsak en høyere ventilasjonsrate gitt av energiattester, men også at bygget er bedre isolert og mer lufttett, som igjen fører til mer ventilasjon der det er temperatur- og CO<sup>2</sup>-styrt ventilasjon.

Figur 8.17 viser timesforbruket gjennom året for spesifikk elektrisitets- og varmeforbruk for målte og simulerte verdier. Figur 8.18 viser de samme verdiene i et spredningsplott med trendlinje og R<sup>2</sup>-verdien.



Figur 8.17: Timesforbruk til målt mot simulert forbruk for Bygg 4



Figur 8.18: Spredningsplott til målt og simulert forbruk Bygg 4

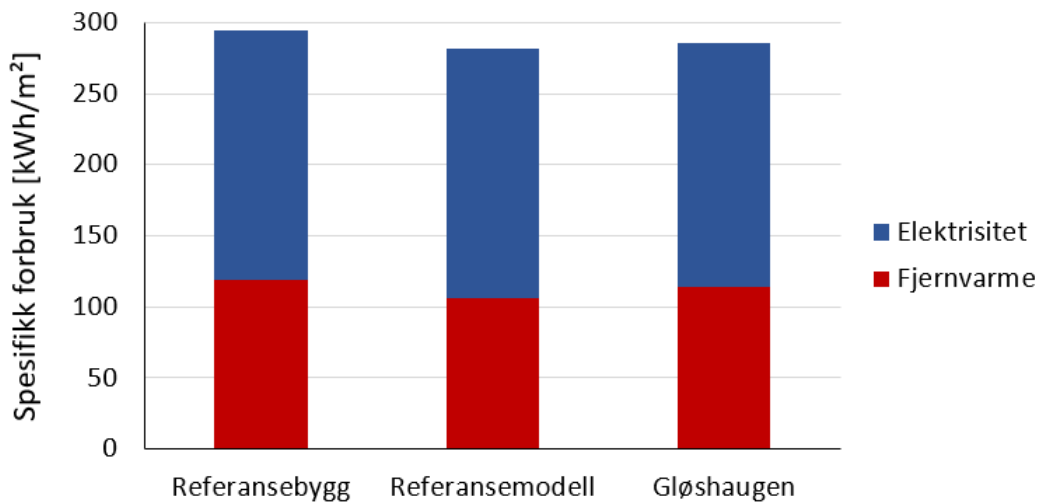


Fra timesforbruket i figur 8.17a og spredningsplottet i figur 8.18a kan man se en akseptabel korrelasjon mellom simulerte og målte verdier for elektrisitetsbruken gjennom året, med en  $R^2$ -verdi på 0,68. Bygg 4 bommer litt, som de andre modellene, ved at grunnlasten ikke endrer seg gjennom året. Modellen har også et høyt elektrisitets forbruk i helger i forhold til Referansebygg 4. På den andre siden følger modellen endringene i elektrisitetsbruken gjennom sommeren i tilfredstillende grad. Det simulerte fjernvarmeforbruket korrelerer godt med målte verdier, vist i figur 8.17b med en  $R^2$ -verdi på 0,78, vist i figur 8.18b. Bygg 4 følger den målte forbrukskurven godt gjennom året, men har generelt litt lavere forbruk, spesielt i vintermånedene.

## 8.4 Sammenligning mot energibruken på Gløshaugen

For å beregne total spesifikk energibruk for Referansebygg og Referansemodell ble det benyttet et vektet gjennomsnitt. Nettoareal er brukt som fordelingsgrunnlag. Dette ble gjort siden det ikke ble funnet informasjon om oppvarmet BRA for alle bygningene på Gløshaugen. Referansebygg refererer til målte verdier for de utvalgte referansebyggene og Referansemodell refererer til simuleringresultatene. Total spesifikk energiforbruk for Gløshaugen er beregnet ved bruke total energibruk delt på nettoareal. Full utregning er vist i Appendix A.11.

Figur 8.19 sammenligner spesifikk energiforbruk for Referansebygg, Referansemodell og Gløshaugen.



Figur 8.19: Sammenligning av spesifikk energiforbruk for Referansebygg, Referansemodell og Gløshaugen

Figuren viser at total spesifikk forbruk for Referansebygg er litt høyt i forhold til Gløshaugen. Dette er forventet ettersom ved beregning av energibruken til de individuelle referansebyggene ble det benyttet oppvarmet BRA fra energiattestene. Oppvarmet BRA var for de fleste bygningene lavere enn nettoarealet oppgitt fra NTNU Drift. For Referansemodellen er spesifikk forbruk veldig tilfredsstillende sammenlignet med Gløshaugen. Analysen tidligere i kapitlet viste at varmekonsumet er generelt for lavt for referansemodellene i forhold til sin tilhørende Referansebygg, dette fører til at total spesifikk energiforbruk til Referansemodell stemmer godt overens med Gløshaugen.

Tabell 8.4 viser en oversikt over spesifikk forbruk og avvik fra bygningsmassen på Gløshaugen.

Tabell 8.4: Sammenligning av spesifikk energiforbruk til Referansebygg, Referansemodell og Gløshaugen

	<b>Referansebygg</b>	<b>Referansemodell</b>	<b>Gløshaugen</b>
EL [kWh/m <sup>2</sup> ]	174,92	175,28	171,50
FV [kWh/m <sup>2</sup> ]	119,24	106,08	113,70
Total [kWh/m <sup>2</sup> ]	294,16	281,36	285,20
EL Avvik [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,42	3,78	
FV Avvik [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,54	7,62	
Total Avvik [kWh/m <sup>2</sup> ]	8,96	3,84	
EL Prosentvis avvik [%]	1,95%	2,16%	
FV Prosentvis avvik [%]	4,65%	7,19%	
Total Prosentvis avvik [%]	3,05%	1,36%	

Tabellen viser at spesifikk elektrisitetsforbruk er for høyt for både Referansebygg og Referansemodell, henholdsvis på 1,95% og 2,16%. For spesifikk fjernvarmeforbruk er Referansebygg for høyt med 4,65%, mens Referansemodell er for lavt med 7,19%. Total spesifikk energiforbruk for Referansebygg, Referansemodell og Gløshaugen er henholdsvis 294,16 kWh/m<sup>2</sup>, 281,36 kWh/m<sup>2</sup> og 285,2 kWh/m<sup>2</sup>. Dette gir et prosentvis avvik på 3,05% for Referansebygg og 1,36% for Referansemodell.

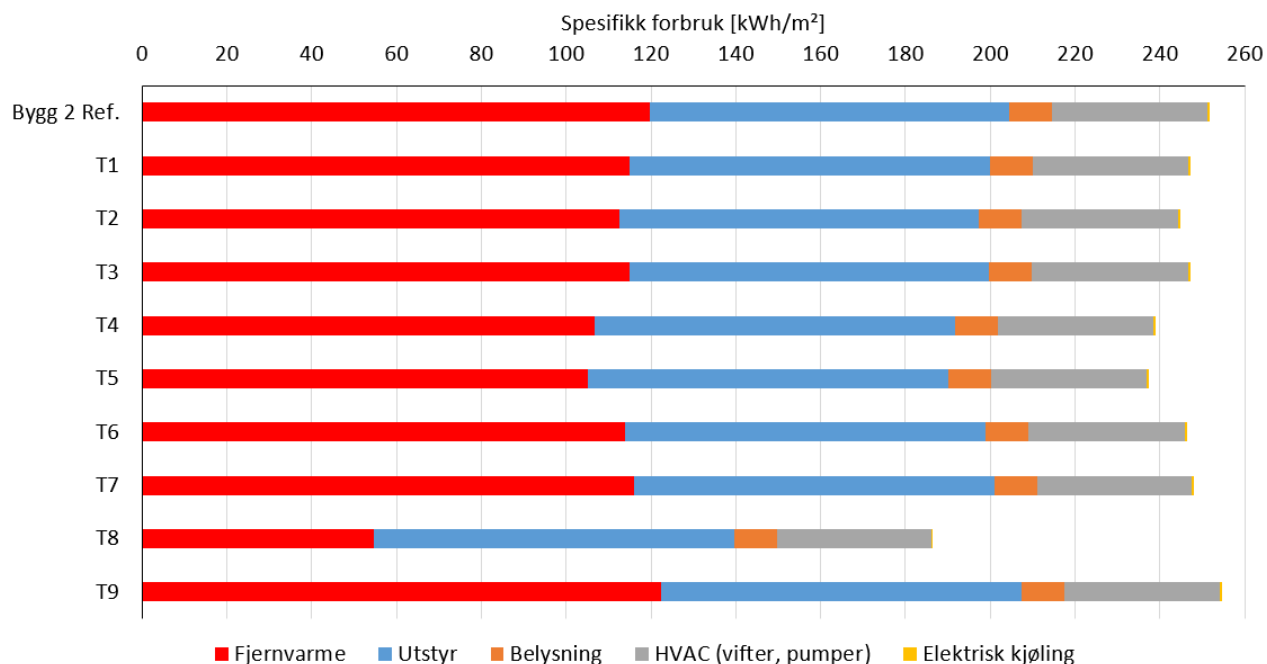


## 9. Resultater fra energieffektiviseringstiltak

Dette kapitlet tar for seg resultatene av energieffektiviseringstiltakene. Resultatene fra enøktiltakene av Bygg 2 presenteres først, deretter resultatene av energieffektiviseringspakkene som ble opprettet.

### 9.1 Resultater fra enøktiltak for Bygg 2: 1951-1970

Figur 9.1 viser simuleringsresultatene av spesifikk årsforbruk for Bygg 2 og enøktiltakene.



Figur 9.1: Spesifikk energiforbruk per år for Bygg 2 og enøktiltakene T1-T9

Figuren viser at de fleste av enøktiltakene i seg selv ikke gir en stor besparelse. Alle tiltakene som er implementert retter seg først og fremst på oppvarmingens behovet. Elektrisitetsforbruket varierer derfor minimalt. T8 Varmegjenvinner gir den største besparelsen av alle tiltakene,

etterfulgt av T5 Vindu 2. For tiltaket T9 Lavtemperatur varmesystem gikk forbruket opp. Økningen er minimal og gir en endring på 1,11%.

Verdiene på besparelsene er vist i tabell 9.1 og 9.2.

Tabell 9.1: Besparelse for enøktiltak 1

	<b>Bygg 2 Ref.</b>	<b>T1 Yttervegg 1</b>	<b>T2 Yttervegg 2</b>	<b>T3 Tak</b>	<b>T4 Vindu 1</b>	<b>T5 Vindu 2</b>
<b>Totalt spesifikk forbruk [kWh/m<sup>2</sup>/år]</b>	251,8	247,2	244,7	247,2	239,0	237,4
<b>Besparelse [kWh/m<sup>2</sup>/år]</b>		4,6	7,1	4,6	12,8	14,4
<b>Prosentvis besparelse [%]</b>		1,83%	2,82%	1,83%	5,08%	5,72%

Tabell 9.2: Besparelse for enøktiltak 2

	<b>T6 Lufttetthet</b>	<b>T7 Normalisert kuldebro</b>	<b>T8 Varmegjenvinning ventilasjon</b>	<b>T9 Lavtemp. varmesystem</b>
<b>Totalt spesifikk forbruk [kWh/m<sup>2</sup>/år]</b>	246,3	248,1	186,5	254,6
<b>Besparelse [kWh/m<sup>2</sup>/år]</b>	5,5	3,7	65,3	-2,8
<b>Prosentvis besparelse [%]</b>	2,18%	1,47%	25,93%	-1,11%

Ved å implementere T8 Varmegjenvinning ventilasjon, ble det oppnådd en prosentvis besparelse på 25,93%. Varmegjenvinnereffektiviteten ble forbedret fra 55% til 80% i T8, dermed er det naturlig å forvente at den største besparelsen er fra dette tiltaket. Tabellen viser at gevinsten av å implementere T1 Yttervegg 1 kontra T2 Yttervegg 2, og T4 Vindu 1 kontra T2 Vindu 2 er meget liten. For etterisolering av ytterveggen ble besparelsen på henholdsvis 1,83% og 2,82% for 50mm og 100mm mineralull. For vinduene ble besparelsen på henholdsvis 5,08% og 5,72% for TEK17-nivå og ambisiøst-nivå. Resultatene tyder på at ved å redusere U-verdien til yttervegg/vindu når det allerede er godt isolert vil gi et avtagende utbytte for besparelsen, noe som betyr at den økonomiske lønnsomheten også er avtagende. Utskifting av vinduer ga en høyere besparelse enn etterisolering av ytterveggen. Dette kommer av at vinduene først og fremst var veldig dårlig isolert fra før av med en U-verdi på 2,19 W/m<sup>2</sup>K. Det er viktig å påpeke at resultatene er nogenlunde

misvisende ettersom enkelte tiltak vil påvirke andre parametere enn kun det som er modellert. For eksempel vil etterisolering av yttervegg påvirke både lufttettetheten og kuldebroen i bygningen i virkeligheten.

Tabell 9.3 viser den høyeste topplastverdien for de forskjellige enøktiltakene.

Tabell 9.3: Endring av topplastverdier etter implementering av enøktiltakene

#	Topplast [kW]	Reduksjon [kW]	Prosentvis reduksjon [%]
<b>Bygg 2 Ref.</b>	559,5		
<b>T1</b>	541,7	17,8	3,18%
<b>T2</b>	531,0	28,5	5,09%
<b>T3</b>	542,7	16,8	3,00%
<b>T4</b>	497,4	62,1	11,10%
<b>T5</b>	488,9	70,6	12,62%
<b>T6</b>	539,4	20,1	3,59%
<b>T7</b>	547,1	12,4	2,22%
<b>T8</b>	407,7	151,8	27,13%
<b>T9</b>	555,7	3,8	0,68%

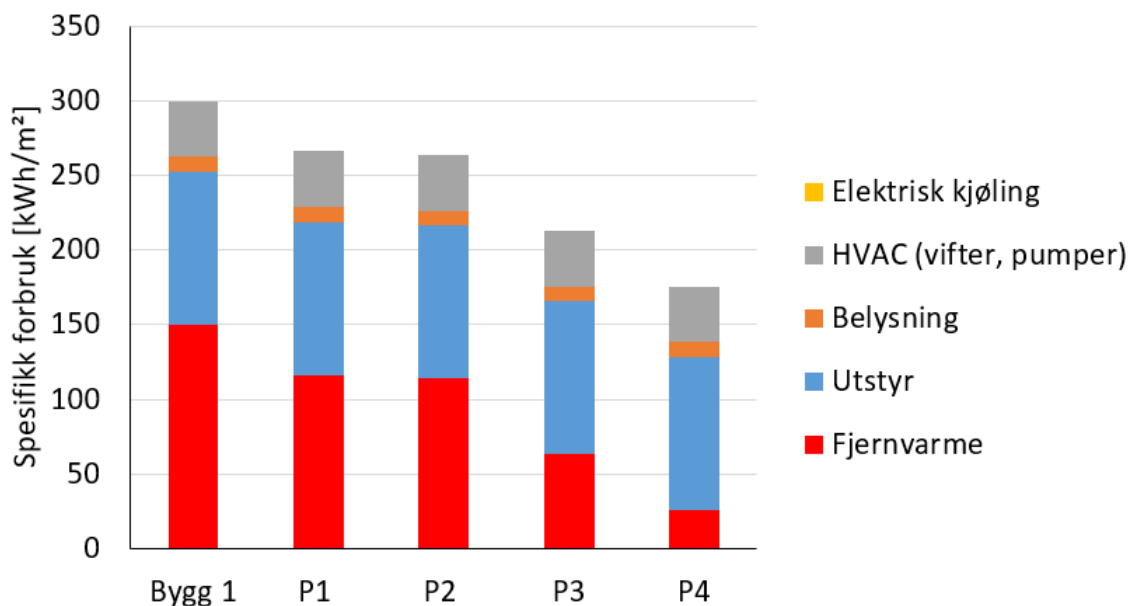
Reduksjonen i topplasten er tilsvarende som besparelsen for enøktiltakene. T8 Varmegjenvinning ventilasjon gir den største reduksjonen på 151,8 kW, etterfulgt av T5 Vindu 2 med 70,6 kW. For T9 Lavtemperatur varmesystem ble det også her en minimal endring, en reduksjon på 0,68%.

## 9.2 Resultater fra energieffektiviseringspakker

Resultatene av implementeringen av de 4 energieffektiviseringspakkene, beskrevet i kapittel 7, vil fremstilles i dette delkapittelet.

### Energieffektiviseringspakker Bygg 1: Før 1950

Figur 9.2 viser formålsdelt spesifikk årsforbruk for Bygg 1 og for simuleringene etter implementeringen av energieffektiviseringspakkene.



Figur 9.2: Formålsdelt spesifikk årsforbruk for Bygg 1 og energieffektiviseringspakkene

Figur 9.2 viser at det er besparelse i fjernvarmeforbruket som påvirker den totale besparelsen i størst grad. Belysning og utstyr er uforandret, dette er naturlig siden det ikke har blitt gjort noen endringer i pakkene på disse områdene. HVAC forandrer seg også minimalt, under 1 kWh/m<sup>2</sup> for alle pakkene. Hovedfokuset videre blir på fjernvarmeforbruket, ettersom de ulike energieffektiviseringspakkene retter seg hovedsakelig på fjernvarmeforbruket. Tabell 9.4 gir en oversikt over besparelse i fjernvarmeforbruket etter implementering av de ulike energieffektiviseringspakkene.

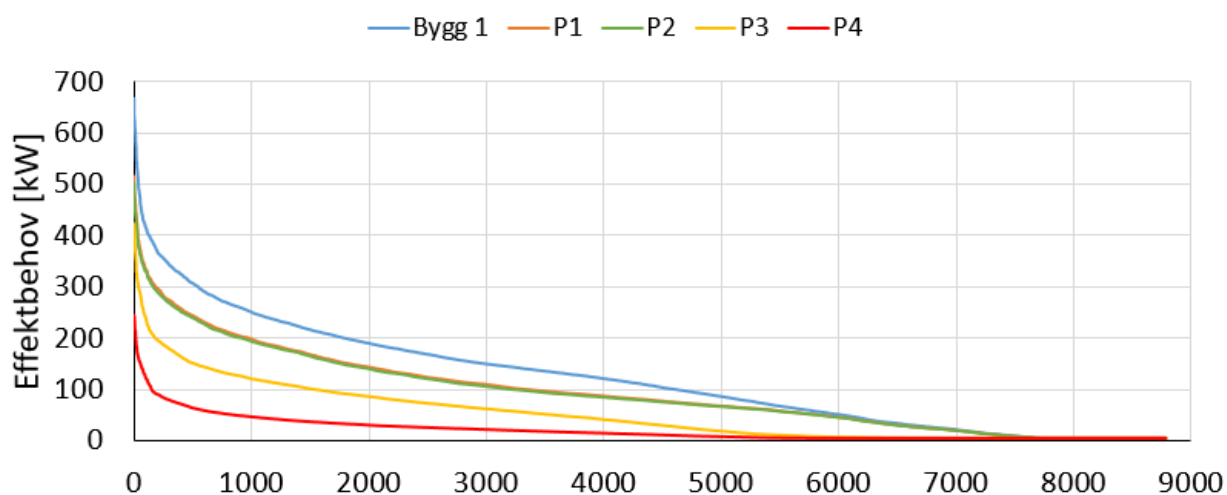


Tabell 9.4: Spesifikk fjernvarmeforbruk og besparelse for Bygg 1 og energieffektiviseringspakke-

	Bygg 1	P1	P2	P3	P4
<b>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	150,1	116,4	114,0	63,4	26,3
<b>Besparelse FV [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		33,7	36,1	86,7	123,8
<b>Prosentvis Besparelse FV</b>		22 %	24 %	58 %	82 %

Det er tydelig at det er P4, Ambisiøs + Teknisk pakke, som gir størst besparelse på fjernvarmeforbruket med hele 82%. Dette er å forvente siden det er en kombinasjon av de to antatt mest energibesparende pakkene. P1 og P2, Standard og Ambisiøs pakke, har nesten like stor fjernvarmebesparelse på henholdsvis 22% og 24%. P3, Teknisk pakke, gir en fjernvarmebesparelse på hele 58%. I P3 og P4 er det i hovedsak oppgraderingen av varmegjenvinneren som gjør at besparelsen blir så høy.

Figur 9.3 viser varighetskurven til Bygg 1 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene.

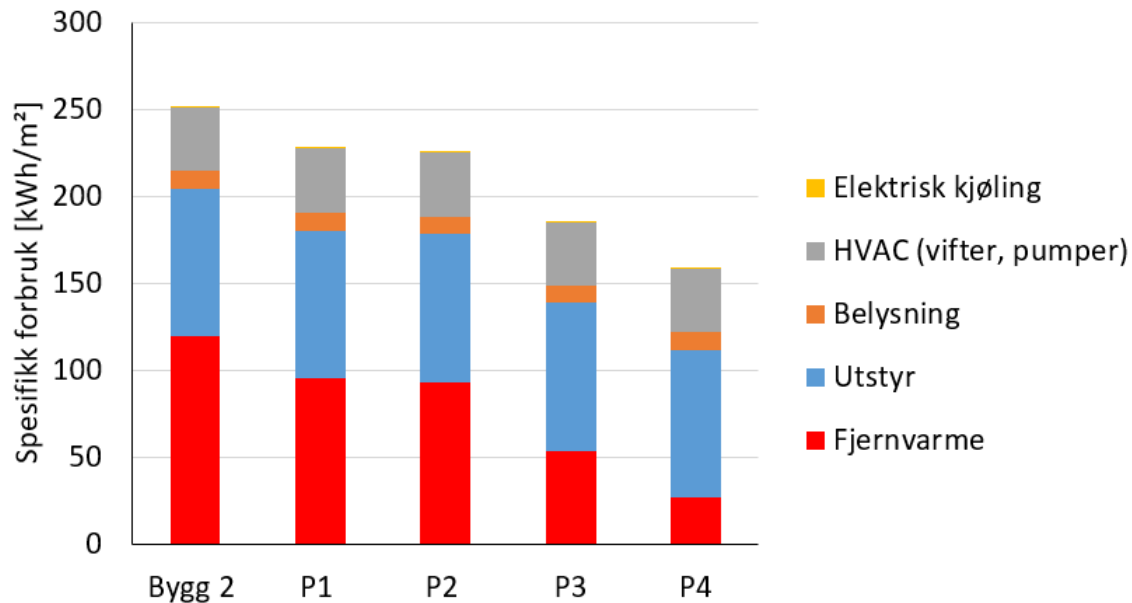


Figur 9.3: Varighetskurve til Bygg 1 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene

Figuren viser at varighetskurven synker ved å implementere pakkene. P4 gir den største reduksjonen på effektbehovet, etterfulgt av P3. Ved å implementere P4 gikk topplasten fra 667 kW til 245 kW, en prosentvis reduksjon på 63%. Energieffektiviseringspakkene fører til at behovet for høye laster i løpet av året reduseres. Dette er noe som er svært positivt med tanke på at det er svært kostbart å ha høye effektlaste gjennom året. Varighetskurven til P1 og P2 er nesten identiske. Dette tyder på at gevinsten av å implementere P2 fremfor P1 er liten.

## Energieffektiviseringspakker Bygg 2: 1951-1970

Figur 9.4 viser formålsdelt spesifikk årsforbruk for Bygg 2 og for simuleringen etter implementeringen av energieffektiviseringspakkene.



Figur 9.4: Spesifikk årsforbruk for Bygg 2 og energieffektiviseringspakkene

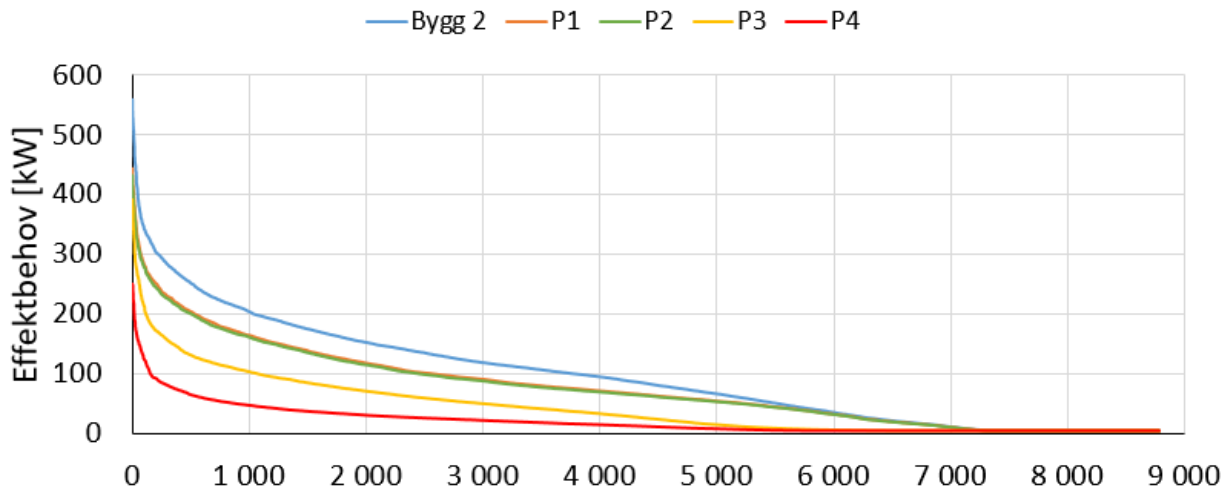
Som for Bygg 1 er det fjernvarmeforbruket som endrer seg mest etter implementeringen av energieffektiviseringspakkene. Tabell 9.5 gir en oversikt over besparelse i fjernvarmeforbruket for Bygg 2 etter implementering av de ulike energieffektiviseringspakkene.

Tabell 9.5: Spesifikk fjernvarmeforbruk og besparelse for Bygg 2 og energieffektiviseringspakkene

	Bygg 2	P1	P2	P3	P4
<b>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	119,6	95,4	93,2	53,9	27,0
<b>Besparelse FV [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		24,2	26,4	65,7	92,6
<b>Prosentvis Besparelse FV</b>		20 %	22 %	55 %	77 %

P1 og P2 gir en besparelse på henholdsvis 20% og 22%, dette er nesten like stor besparelse som hos Bygg 1. Dette skyldes at Bygg 2 har lavere U-verdier, men høyere infiltrasjon enn Bygg 1. Den gunstigste endringen er fremdeles endringer på det tekniske hvor P3 og P4 gir en besparelse på henholdsvis 55% og 77%.

Figur 9.5 viser varighetskurven til Bygg 2 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene.

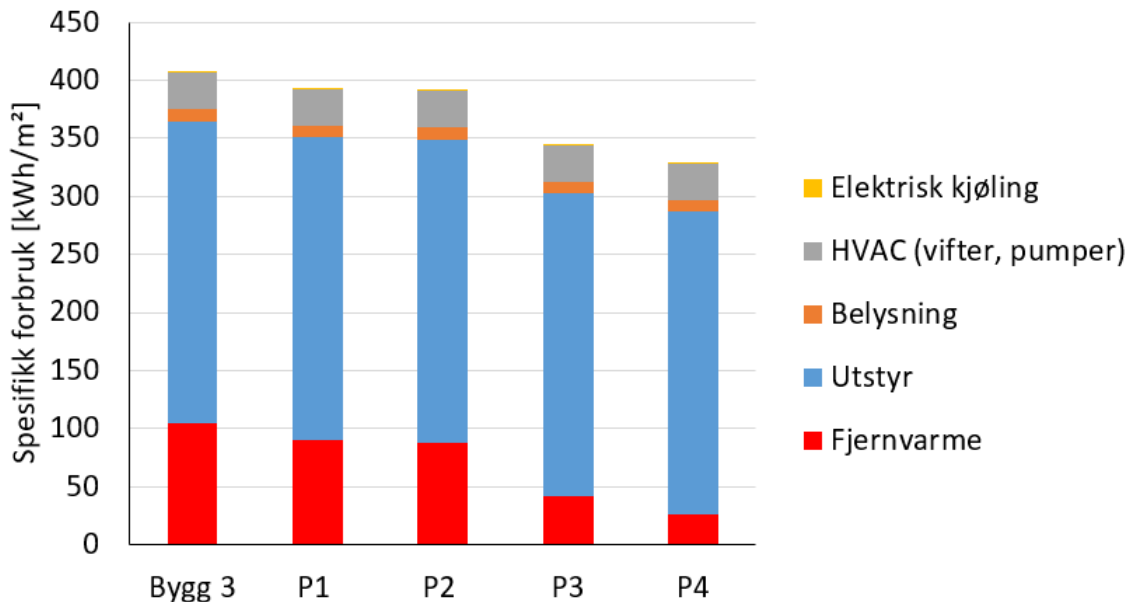


Figur 9.5: Varighetskurve til Bygg 2 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene

Figuren viser at forbedringene på varighetskurven følger samme mønster som for Bygg 1. I likhet med Bygg 1, gir P4 den største reduksjonen på effektbehovet, etterfulgt av P3. Ved å implementere P4 gikk topplasten fra 559 kW til 251 kW, en prosentvis reduksjon på 55%.

## Energieffektiviseringspakker Bygg 3: 1971-1999

Figur 9.6 viser formålsdelt spesifikk årsforbruk for Bygg 3 og for simuleringen etter implementeringen av energieffektiviseringspakkene.



Figur 9.6: Spesifikk årsforbruk for Bygg 3 og energieffektiviseringspakkene

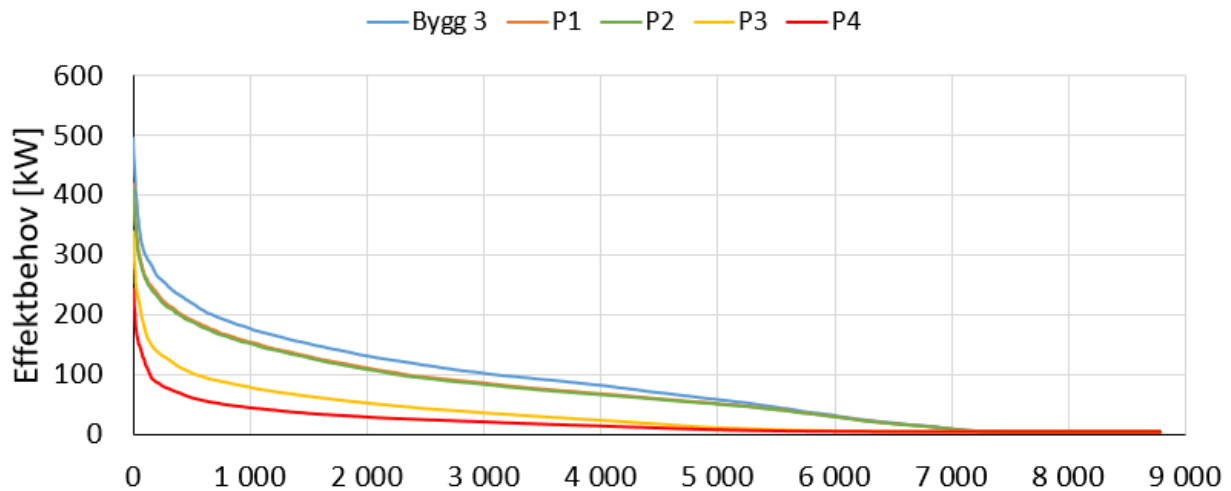
I figur 9.6 ser man at det er lite endringer i elektrisk kjøling, HVAC, belysning og utstyr. Det er bare fjernvarmen som endrer seg betydelig. Tabell 9.6 gir en oversikt over besparelse i fjernvarmeforbruket for Bygg 3 etter implementering av de ulike energieffektiviseringspakkene.

Tabell 9.6: Spesifikk fjernvarmeforbruk og besparelse for Bygg 3 og energieffektiviseringspakkene

	<b>Bygg 3</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Fjernvarme [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	104,2	90,2	88,3	41,9	26,0
<b>Besparelse FV [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		14,0	15,9	62,3	78,2
<b>Prosentvis Besparelse FV</b>		13 %	15 %	60 %	75 %

Som forventet er besparelsen til P1 og P2 for Bygg 3, på henholdsvis 13% og 15%, betydelig lavere enn det det var for Bygg 1 og Bygg 2. Dette stemmer godt overens med at det er mindre energi å spare ved fasaderenovering av nyere bygg. Varmegjennvinner effektiviteten til Bygg 3 og Bygg 2 er nesten den samme. Den tekniske pakken gir derfor nesten lik total besparelse som hos Bygg 2, på 62,3 kWh/m<sup>2</sup>. Siden Bygg 3 er et mer energieffektivt enn Bygg 2 blir den prosentvise besparelsen til P3 på hele 60%.

Figur 9.7 viser varighetskurven til Bygg 3 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene.

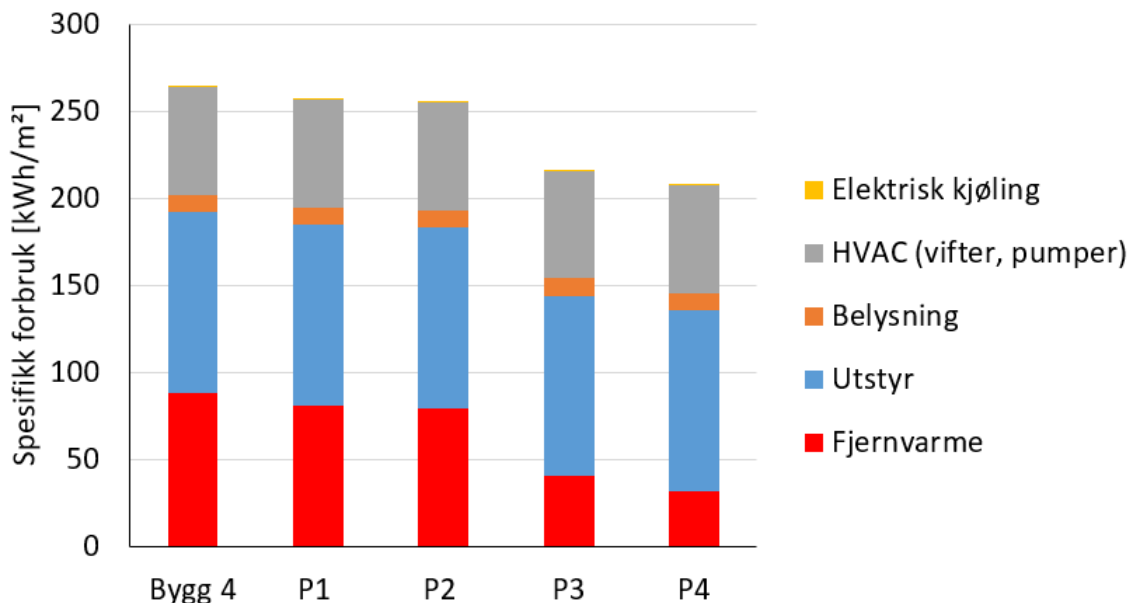


Figur 9.7: Varighetskurve til Bygg 3 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene

Figuren viser tydeligere på hvorfor fasaderenovering ga en liten reduksjon på besparelsen. Varighetskurven til P1 og P2 ligger nær Bygg 3 gjennom året. Ved å implementere P4 gikk topplasten fra 496 kW til 243 kW, en prosentvis reduksjon på 51%.

## Energieffektiviseringspakker Bygg 4: 2000-2020

Figur 9.8 viser formålsdelt spesifikk årsforbruk for Bygg 4 og for simuleringen etter implementeringen av energieffektiviseringspakkene.



Figur 9.8: Spesifikk årsforbruk for Bygg 4 og energieffektiviseringspakkene

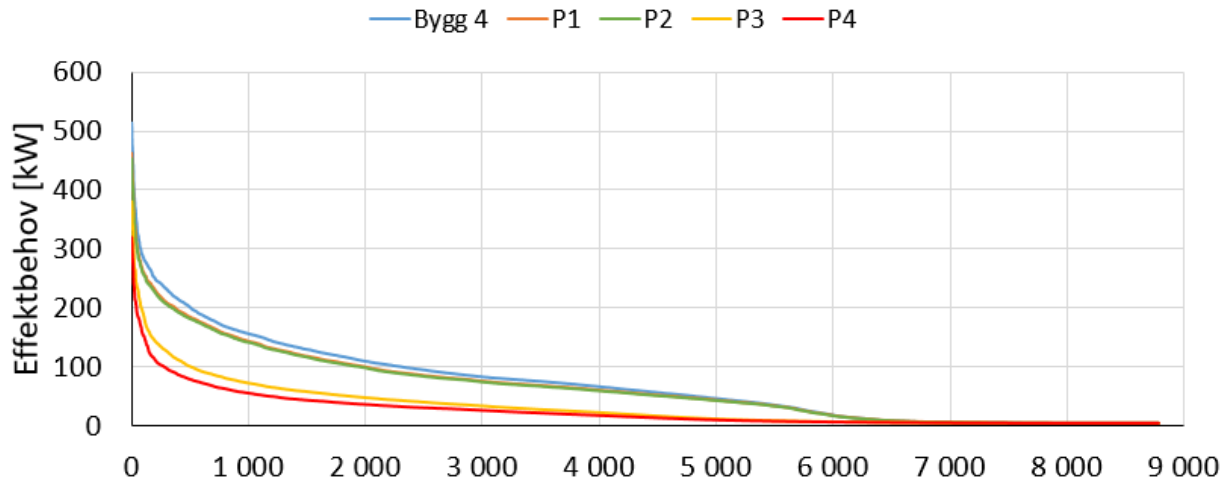
I figur 9.8 ser man at det er lite endringer i elektrisk kjøling, HVAC, belysning og utstyr. Det er bare fjernvarmen som endrer seg betydelig. Tabell 9.7 gir en oversikt over besparelse i fjernvarmeforbruket for Bygg 4 etter implementering av de ulike energieffektiviseringspakkene.

Tabell 9.7: Spesifikk fjernvarmeforbruk og besparelse for Bygg 4 og energieffektiviseringspakkene

	Bygg 4	P1	P2	P3	P4
<b>Fjernvarme [kWh/m²]</b>	88,3	81,2	79,7	40,4	32,1
<b>Besparelse FV [kWh/m²]</b>		7,1	8,6	47,9	56,2
<b>Prosentvis Besparelse FV</b>		8 %	10 %	54 %	64 %

Tabell 9.7 viser at besparelsen til P1 og P2 er på 8% og 10% respektivt, betydelig lavere sammenlignet med de andre referansemodellene. Dette er naturlig da Bygg 4 er fra en nyere byggeperiode og allerede har lave U-verdier. Den største besparelsen får man da i P3 og P4 med tekniske oppgraderinger, som gir en total prosentvis besparelse på henholdsvis 54% og 64%.

Figur 9.9 viser varighetskurven til Bygg 4 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene.



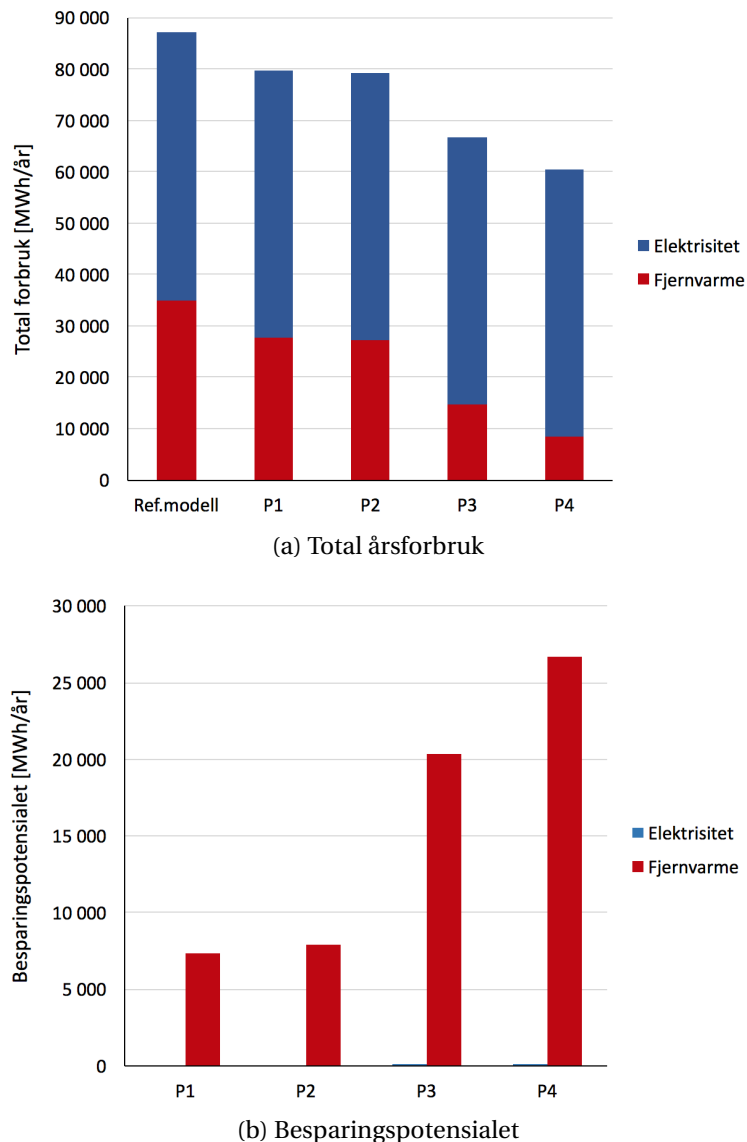
Figur 9.9: Varighetskurve til Bygg 4 og de forskjellige energieffektiviseringspakkene

Figuren viser at varighetskurven P1 og P2 ligger tett inntil Bygg 4 gjennom året. Ved å implementere P4 gikk topplasten fra 514 kW til 319 kW, en prosentvis reduksjon på 38%. I dette tilfellet er varighetskurven til P3 og P4 veldig like. Med tanke på de høye investeringskostnadene knyttet til fasaderenovering, vil ikke P4 nødvendigvis være mer økonomisk lønnsomt enn P3.

## Energieffektiviseringspakker Gløshaugen

Hver Referansemodell og P1-P4 ble multiplisert med sitt tilhørende nettoareal. Energiforbruket til Referansemodellene og energieffektiviseringspakkene ble aggregert opp til å representere energiforbruket til bygningsmassen på Gløshaugen. Full utregning er vist i Appendix A.12.

Figur 9.10 viser det aggregerte totale årsforbruket og besparingspotensialet til Gløshaugen.



Figur 9.10: Det aggregerte totale årsforbruket og besparingspotensialet til Gløshaugen

Tidligere ble det nevnt (avsnitt 4.1) at gjennomsnittlig årsforbruk på Gløshaugen er 30 343 MWh for fjernvarme og 60 070 MWh for elektrisitet. Figur 9.10a viser at Referansemodell ikke er så langt unna med 35 000 MWh for fjernvarme og 52 100 MWh for elektrisitet. Figur 9.10b viser at



besparingspotensialet for pakkene er høyt, spesielt for P3 og P4. Besparingspotensialet til fjernvarme for P1-P4 er henholdsvis på 7 315 MWh, 7 908 MWh, 20 326 MWh og 26 668 MWh. Dette gir en prosentvis besparelse på henholdsvis 14%, 15%, 39% og 51%. Som forventet er besparingspotensialet til elektrisitet svært lavt. For P1 og P2 øker elektrisitetsforbruket, men er ubetydelig lite. For P3 og P4 er besparingspotensialet henholdsvis på 120 MWh og 107 MWh. Resultatene viser at besparingspotensialet på Gløshaugen er svært høyt.

Fra NTNU Drift ble det informert om energipriser. Elektrisitet koster 0,90 kr/kWh og fjernvarme koster 0,98 kr/kWh. Begge prisene er inkludert mva. Tabell 9.8 viser besparelsene fra energieffektiviseringspakkene gitt i kr. Full utregning er gitt i Appendix A.13.

Tabell 9.8: Besparelse gitt i kr

#	EL Pris [kr]	FV Pris [kr]	Tot Pris [kr]
P1	-6 987	7 168 965	7 161 978
P2	-1 949	7 749 210	7 747 261
P3	107 772	19 918 724	20 026 496
P4	96 505	26 133 020	26 229 525

Tabellen viser at for P1-P4 vil besparelsene bli henholdsvis på 7,16 MNOK, 7,75 MNOK, 20,03 MNOK og 26,23 MNOK. Med tanke på at topplastene for varmebehovet reduseres i modellene, vil den virkelige besparelsen bli enda høyere.



## 10. Diskusjon

Formålet med dette kapittelet er å reflektere over oppgaven og gi et kritisk blikk av hva som har blitt gjort. Referansem modellene fra denne oppgaven er benyttet i andre forskningsprosjekter. Disse prosjektene ville få en kort presentasjon.

### 10.1 Datagrunnlag

En av de mest tidkrevende oppgavene var å finne relevant informasjon om bygningsmassen på Gløshaugen fra flere kilder. Rapporter og case-studier som tidligere har blitt gjort om bygningsmassen baserer seg på energiattester fra NVE. Energiattestene fra NVE sees på som pålitelige, men det står ikke noe i selve attestene om metodene som har blitt brukt for å måle de forskjellige parameterene. Informasjon om energibruken i de forskjellige bygningene ble funnet via Schneider Electric. Data fra de forskjellige målerene ga kun verdier for hele bygget, og ikke for forskjellige soner (kontor, lesesal, laboratorium, osv.). Dette gjorde at sammenligningsgrunnlaget ble begrenset. Det var kun mulig å sammenligne energibruken for hele bygget og ikke for de individuelle sonene. En annen kritisk faktor var usikkerheten rundt måledata fra Schneider Electric. Dataen inneholdt mange feilmålinger og anormal oppførsel til tider. Det hadde vært fordelaktig å ha brukt måledata for flere år, men siden NTNU har vært i en overgangsfase til et nytt EMS-system siden julen 2017, har det ikke vært mulig å få tak i eldre data.

### 10.2 Referansemmodell

På grunn av begrenset tid, baserte bygningsmodellene seg på hva som ble gjort for Bygg 2. Arbeidet som ble gjort for Bygg 2 la mye av grunnlaget for hvordan de resterende modellene kom til å prestere. Spesielt sonfordelingen henger det mye usikkerhet rundt. Beregningen av sonfordelingen var en tidkrevende prosess, og det er usikkert på hvor mye bedre modellene ville prestert om en korrekt sonfordeling hadde blitt beregnet for Bygg 1, 3 og 4.

For definere bygningskroppen i IDA-ICE ble det benyttet standard maler for fasaden (vegg, tak, gulv osv.). Dette førte til usikkerhet rundt den termiske massen av bygningen. Det fantes heller ikke informasjon om hvordan fasaden til universitetsbygningen på Gløshaugen er, noe som førte til at det ikke var noe vurderingsgrunnlag for termisk masse av universitetsbygningene. For modellene i oppgaven er det ikke av stor betydning, men hvis nattkjøling skulle blitt implementert ville dette vært en kritisk faktor.

Å definere hovedområdene tekniske systemer og drift og bruk var en komplisert oppgave. Det ble funnet lite litteratur på dette, og meste parten av informasjonen som er brukt er hentet ut i fra standarder eller samtaler med NTNU Drift. Under elektrisitetskalibreringen ble det valgt å benytte målt data av elektrisitetsforbruket til Sentralbygg 1 for å definere grunnlasten. Dette ga også grunnlaget til å definere elektrisitetsbruken av Spesialrom. Modelleringen av Spesialrom bydde på mange utfordringer. Den eneste informasjonen som var tilgjengelig var energiforbruket for hele bygningen. Dette førte til at det var mye usikkerhet ved modelleringen av Spesialrom. Det ble tatt et konservativt valg ved å ikke la noe av ekstra grunnlasten i Spesialrom avgi varme til rommet. Dette var en kritisk faktor på hvordan modellen kom til å prestere. Preliminære simuleringer viste at ved å la ekstra grunnlasten avgi varme til rommet, endret både elektrisitets- og varmeforbruket seg. Elektrisitetsforbruket økte, mens varmeforbruket ble redusert. Dette kommer av at ventilasjonssystemet måtte kjøres i høyere grad på grunn av ekstralasten med varmeavgivelse. Resultatene viste at for årsforbruket hadde samtlige modeller tilfredstillende verdier, men analysen av måneds- og timesforbruket viste at det fortsatt er forbedringspotensiale. Bruksmønster for trafikkarealet ble det heller ikke funnet noe litteratur på. Derfor ble trafikkarealet modellert etter vår egen erfaring. Ventilasjonsparametere og drift av ventilasjonen var det også stor usikkerhet rundt. Mye av varmen til bygg forsvinner ut gjennom ventilasjonsanleggene. NTNU har et mye mer komplisert ventilasjonssystem enn det som simuleres i IDA ICE, og kan være en av grunnene til avvik i det spesifikke forbruket mellom referansemodellene og referansebyggene. Resultatene viste at modelleringen av driften av ventilasjonsanlegget i helgene ikke var korrekt.

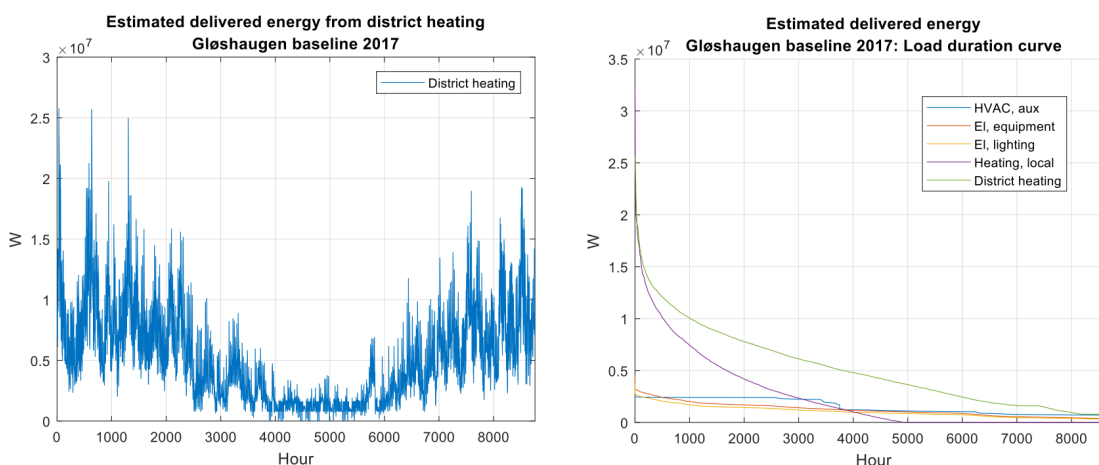
### 10.3 Energieffektiviseringstiltak

Tiltakene som ble etablert skulle være teknisk oppnåelig for alle kohortene. Etter samtaler med amanuensis i Institutt for bygg- og miljøteknikk, Arvid Dalhaug, ble det informert at utsidefasden til mange av bygningene på Gløshaugen er vernet. Dette betyr at mange av tiltakene som er blitt gjort i oppgaven ikke vil være mulig i realiteten. Det er heller ikke tatt hensyn til kostnader knyttet til rehabilitering. Som diskutert i kapittel 2.5 er det de økonomiske barrierene som er de største hindrene ved en rehabilitering.

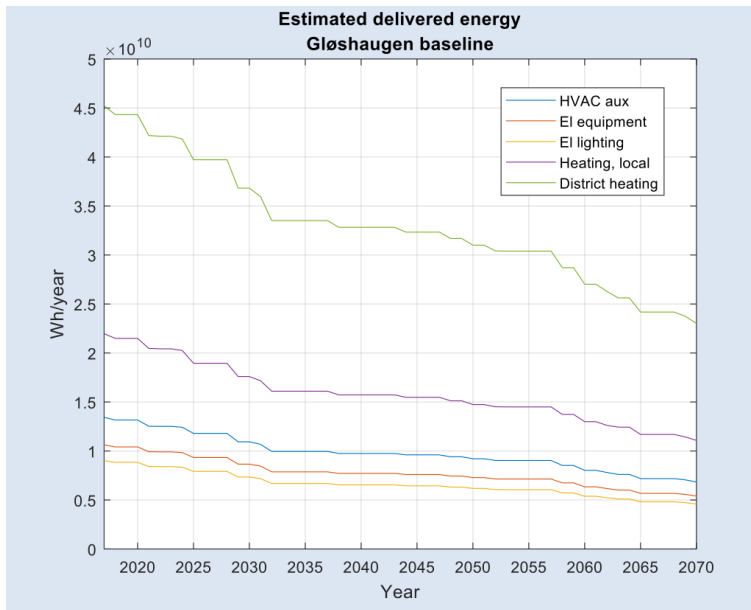
## 10.4 Bruk av simulert data i andre prosjekter

Denne oppgaven er knyttet til forskjellige forskningsprosjekter som ExPOSe og FME Zero emission neighborhood (ZEN). Resultatene fra simuleringene av Referansemodellen vil bli benyttet i de prosjektene. FME ZEN forsker på hvordan energibruken på Gløshaugen utvikler seg i fremtiden. Figur 10.1 og figur 10.2 viser eksempler på hvordan simuleringresultatene fra referansemodellene har blitt brukt i det prosjektet.

### Energy analysis, Gløshaugen



Figur 10.1: Estimert levert energi fra fjernvarme på Gløshaugen over et år og lastkurven

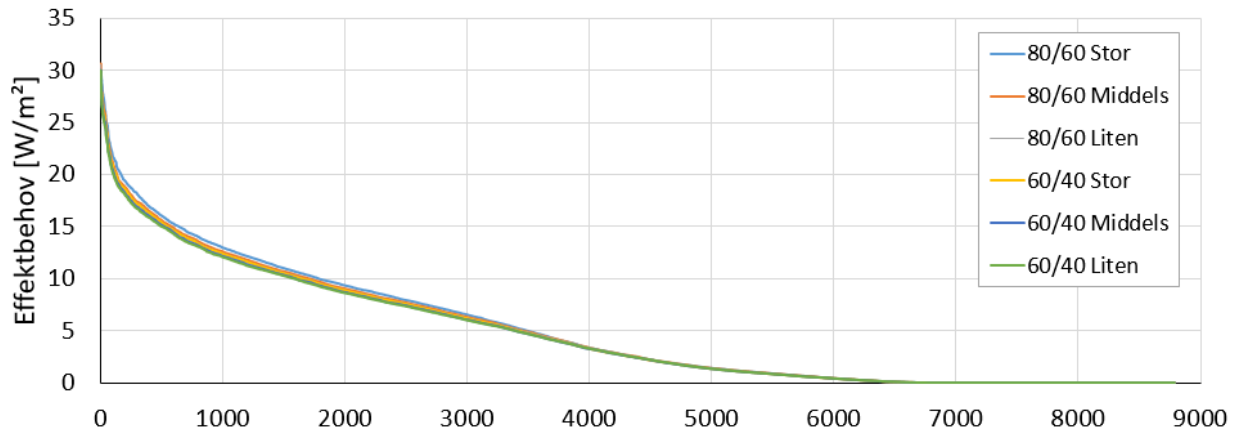


Figur 10.2: Estimert fremtidig utvikling av levert energi fra fjernvarme på Gløshaugen

## 10.5 Påvirkning av radiatorstørrelse på varmeeffekt og resultater

Via forskningsprogrammet Undergraduate Research Opportunities Program (UROP) ble en modifisert versjon av Bygg 2 benyttet til å analysere hvor stort utslaget er av å endre utvalgte radiatorparametere. To parametere i radiatoren ble endret på, tur/retur-temperaturen og arealet av radiatoren. Radiatorene kjører enten 80/60°C eller 60/40°C, og størrelsene varierer mellom liten, middels og stor. Middels størrelse er hva som er benyttet i referansemodellene. For liten størrelse er arealet av radiatoren halvert, og for stor størrelse er det blitt plassert en ekstra radiator i hver sone med samme areal som middels størrelse.

Figur 10.3 viser resultatet fra analysen. Simuleringsresultatene er basert på arbeid utført av 3.års student Hilde Enevoldsen.



Figur 10.3: Resultat av radiatoranalyse

Figuren viser varighetskurven til de forskjellige variantene og at utslaget er minimalt. Ingen av variantene ga nevneverdig utslag. Dette tyder på at modelleringen av radiatorene i referansemodellene kan betraktes som pålitelige ettersom endringene i radiatorstørrelse ikke ga store differanser. Eventuelle endringer i temperaturen på returvannet til fjernvarme kan oppstå, men dette er ikke analysert i denne oppgaven.

Basert på resultatene fra analysen kan man gjøre videre studier om lagring av varme i bygnings termiske masse og dens påvirkning på inneklimate.





# 11. Konklusjon

Hovedmålet med denne oppgaven var å etablere bygningssimuleringsmodeller med formål om å representerer energibruken til bygningsmassen på Gløshaugen.

Forskningsspørsmålene som skulle besvares var:

- Hvilke funksjonalitet og egenskaper har den typiske universitetsbygningen på Gløshaugen?
- Hvordan etablere flere bygningssimuleringsmodeller med formål om å representere energibruken til bygningsmassen på Gløshaugen?
- Hvilket muligheter for enøktiltak kan implementeres for å redusere energibruken til bygningsmassen på Gløshaugen?

Det ble vist at den typiske universitetsbygningen på Gløshaugen inneholder fasiliteter som kontorer, lesesaler, forelesningssal og laboratorier. Videre ble bygningsmassen på Gløshaugen delt inn i fire kohorter; Før 1950, 1951-1970, 1971-1999 og 2000-2020. Det ble etablert fire Referansebygg for å definere energibruken på Gløshaugen. Hvert Referansebygg representerer sin tilhørende kohort og har til sammen et totalt spesifikk energiforbruk på 294,1 kWh/m<sup>2</sup>. Til sammenligning ble det vist at bygningsmassen på Gløshaugen bruker 285,2 kWh/m<sup>2</sup>. Fire referansemodeller ble etablert. Bygg 1 representerer kohort Før 1950, Bygg 2 representerer kohort 1951-1970, Bygg 3 representerer kohort 1971-1999 og Bygg 4 representerer kohort 2000-2020. Simuleringsresultatene ga til sammen et totalt spesifikk energiforbruk på 281,4 kWh/m<sup>2</sup>. Hver referansemodell ga et tilfredsstillende årsforbruk på energi, men grundigere analyser viste at det fortsatt var mye avvik. For Bygg 2 ble det vist følgende:

- Grunnlasten til elektrisitetsforbruket var for lavt og forbruket i brukstiden i helgene var for høyt.  $R^2$  (determinasjonskoeffisienten) var på 0,7103, en akseptabel korrelasjon mellom simulert og målt data.
- Varmeforbruket var generelt for lavt gjennom året.  $R^2$  var på 0,8296, en høy korrelasjon mellom simulert og målt data.

Det kan derfor konkluderes at referansemodellene fortsatt har forbedringspotensial.

Etter at referansem modellene var etablert ble det utforsket muligheter for enøktiltak. Det ble etablert fire energieffektiviseringspakker, P1-P4, som inneholdt flere tiltak. Alle pakkene var teknisk oppnåelig for bygningsmodellene og rettet seg mot varmeforbruket. P1 og P2, Standard og Ambisiøs Pakke, tok for seg oppgradering av fasaden til bygningen. P3, Teknisk Pakke, tok for seg oppgradering av de tekniske systemene. Her ble varmegjenvinneren i ventilasjonsanlegget oppgradert til TEK17-nivå og varmesystemet ble byttet ut til et lav temperatursystem. P4, Ambisiøs + Teknisk Pakke, var en kombinasjon av P2 og P3. Ettersom energieffektiviseringspakkene tok for seg først og fremst varmeforbruket, ble det kun fokusert på besparingspotensialet av varmeforbruket. Elektrisitetsforbruket endret seg minimalt for alle bygningsmodellene.

Simuleringene viste at besparingspotensialet av P1 og P2 var svært avhengig av byggeperioden til bygningsmodellen. For P1 var den prosentvise besparelsen for Bygg 1-4 henholdsvis på 22%, 20%, 13% og 8%. Tilsvarende verdier for P2 var 24%, 22%, 15% og 10%. Forskjellen mellom P1 og P2 ga ikke et like stort utslag på varmeforbruket som forventet. Det viste seg at P1 og P2 ga en nesten like stor besparelse på varmeforbruket, en forbedring på kun 2% fra P1 til P2. Implementeringen av P3 og P4 ga høye besparingspotensialer for alle bygningsmodellene. Det er i hovedsak oppgraderingen av varmegjenvinneren i ventilasjonsanlegget som fører til det høye besparingspotensialet. For P3 var den prosentvise besparelsen for Bygg 1-4 henholdsvis på 58%, 55%, 60% og 54%. Tilsvarende verdier for P4 var 82%, 77%, 75% og 64%. Varighetskurven til bygningsmodellene viste at alle hadde et lignende mønster av forbedring for energieffektiviseringspakkene. P4 viste den største forbedringen, etterfulgt av henholdsvis P3, P2 og P1. Fra initiel tilstand til P4 ble topplasten redusert for Bygg 1-4 henholdsvis på 63%, 55%, 51% og 38%. Reduksjonen i topplasten er svært positivt med tanke på store kostnader knyttet til høye effektlaste gjennom året. Ved å aggregere opp energibruken til referansem modellene og energieffektiviseringspakkene til å representere energibruken på Gløshaugen, ble besparingspotensialet til fjernvarme per år for P1-P4 henholdsvis på 14%, 15%, 39% og 51%.

Oppsummert vil det lønne seg å implementere alle tiltakene om man ikke tar hensyn til kostnadene. Tar man høyde for kostnadene knyttet til rehabilitering vil P1 være mer lønnsomt fremfor P2 for alle referansem modellene, og for Bygg 4 vil P3 være den eneste lønnsomme pakken siden besparingspotensialet fra faserenoveringen var lav.

## 12. Videre arbeid

Videre arbeid for oppgaven:

- Utforske dypere i hvordan man kan modellere Spesialrom-sonen, spesielt med tanke på laboratorier på Gløshaugen.
- Utforske energibruken til oppvarming av varmtvannet på Gløshaugen.
- Beregne korrekt soneareal for alle referansem modellene.
- Forbedre driften av ventilasjonsanlegget ved å benytte NTNU Drift ytterligere og Sentralstyrt Driftsanlegget (SD) hos NTNU.
- Utforske flere enøktiltak som forbedring av SFP-faktoren, behovsstyrt ventilasjon i alle soner og tiltak som går på elektrisitetsforbruket. Samt flere tiltak for å redusere topplaster for varmebehovet.
- Utforske metoder for å beregne det økonomiske og reelle potensialet av enøktiltak på Gløshaugen. Denne oppgaven tok kun for seg det tekniske potensialet av enøktiltak.
- I noen bygninger på Gløshaugen er det installert en varmepumpe. Dette er noe som kan legges til i referansem modellene.
- Utforske betydningen av termisk masse i bygninger med tanke på termisk lagring, reduksjon av topplaster for varmebehovet og reduksjon av turtemperaturen i varmesystemet.



# Bibliografi

- [1] Agdas, D., Srinivasan, R. S., Frost, K., and Masters, F. J. (2015). Energy use assessment of educational buildings: Toward a campus-wide sustainable energy policy. *Sustainable Cities and Society*, 17:15–21.
- [2] Bøhn, T., Palm, L., Bakken, L., Nossum, Å., and Jordell, H. (2012). Potensial-og barrierestudie: Energieffektivisering i norske yrkesbygg. bakgrunnsrapport. *Enova report*.
- [3] Brattebø, H., O’Born, R. J., Sartori, I., Klinski, M., and Nørstebø, B. (2016). Typologier for norske boligbygg-eksempler på tiltak for energieffektivisering. *EPISCOPE*.
- [4] Corgnati, S. P., Fabrizio, E., Filippi, M., and Monetti, V. (2013). Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. *Applied energy*, 102:983–993.
- [5] DIBK (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10)*.
- [6] DIBK (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK17)*.
- [7] Direktoratet for byggkvalitet (1997). *Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997*.
- [8] EQUA (2018). IDA ICE. <https://www.equa.se/en/ida-ice>[Hentet: 2018-05-09].
- [9] Ericson, T., Fidje, A., Fonnelop, J. E., Langseth, B., Magnussen, I. H., Rode, W. W., and Saugen, B. (2016). Varmepumper i energisystemet.
- [10] European Parliament, C. o. t. E. U. (2010). Directive 2010/31/eu of the european parliament and of the council of 19 may 2010 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Union*.
- [11] Frederiksen, S. and Werner, S. (2013). *District heating and cooling*. Studentlitteratur.
- [12] Guan, J., Nord, N., and Chen, S. (2016). Energy planning of university campus building complex: Energy usage and coincidental analysis of individual buildings with a case study. *Energy and Buildings*, 124:99–111.

- [13] Helstrup, A., Bolstad, and Aw-Abdi (2012). Et nyskapende og praktisk undervisningsopplegg for varmepumper.
- [14] Hestnes, A. G. (2014). Energieffektivisering og bygninger.
- [15] Hong, T., Chou, S., and Bong, T. (2000). Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and environment*, 35(4):347–361.
- [16] Hong, T. and Lin, H.-W. (2013). Occupant behavior: impact on energy use of private offices. Technical report, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA (US).
- [17] Hong, W.-H., Kim, J.-Y., Lee, C.-M., and Jeon, G.-Y. (2011). Energy consumption and the power saving potential of a university in korea: using a field survey. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 10(2):445–452.
- [18] ISCN (2017). Educating for sustainability.
- [19] Janssen, R. (2004). Towards energy efficient buildings in europe. *London: The European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings*.
- [20] Leth-Petersen, S. and Tøgeby, M. (2001). Demand for space heating in apartment blocks: measuring effects of policy measures aiming at reducing energy consumption. *Energy Economics*, 23(4):387–403.
- [21] Ljunggren, P. and Wøllerstrand, J. (2006). Optimum performance of radiators space heating systems connected to achieve lowest possible district heating return temperature. *10th international Symposium on district heating and cooling, Sektion 8b, Heat metering and water quality*.
- [22] Magnussen, I. H., Spilde, D., and Magnus, K. (2011). Energibruk i fastlands-norge.
- [23] Nielsen, E. K. (2016). Lavtemperatur-varmenett. Master's thesis, Institutt for energi-og prosessteknikk.
- [24] Norges vassdrags- og energidirektorat (2016). Analyse av energibruk i yrkesbygg.
- [25] Norsk Fjernvarme (2018). 4 generasjons fjernvarme. <http://www.fjernvarme.no/index.php?pageID=102&openLevel=36>[Hentet: 2018-05-03].
- [26] Norsk Standard (2013a). *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*.
- [27] Norsk Standard (2013b). *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger*.
- [28] NTNU (2014). *ISCN-GULF Sustainable Campus Charter Report 2014*. NTNU.

- 
- [29] Olje- og energidepartementet (2015). *Meld. St. 25 (2015–2016) Melding til Stortinget*.
- [30] Raftery, P., Keane, M., and O'Donnell, J. (2011). Calibrating whole building energy models: An evidence-based methodology. *Energy and Buildings*, 43(9):2356–2364.
- [31] Rausand, M. (2014). *ENOK I BYGNINGER Effektiv energibruk*. Wiley, Hoboken, NJ.
- [32] Reddy, T. A. (2006). Literature review on calibration of building energy simulation programs: Uses, problems, procedures, uncertainty, and tools. *ASHRAE transactions*, 112(1).
- [33] Sretenovic, A. (2013). Analysis of energy use at university campus. Master's thesis, Institutt for energi-og prosessteknikk.
- [34] SSB (2011). Energibruk i tjenesteytende næringer. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/entjeneste/hvert-3-aar/2012-12-19>[Hentet: 2017-12-06].
- [35] Statkraft (2017). Fjernvarme trondheim.
- [36] Statkraft varme (2017). Statkraft varme. <https://www.statkraftvarme.no>[Hentet: 2017-12-06].
- [37] Stensaas, L. (2007). *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. Skarland Press AS.
- [38] Sveinall, O. (2008). Analyse av kloakkbasert r134a-varmepumpeanlegg i fjernvarmesystem. Master's thesis, Institutt for energi-og prosessteknikk.
- [39] Yale (2016). Yale sustainability plan 2025.
- [40] Yoshino, H., Hong, T., and Nord, N. (2017). Iea ebc annex 53: Total energy use in buildings—analysis and evaluation methods. *Energy and Buildings*, 152:124–136.
- [41] Zijdemans, D. (2012). *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. Skarland Press AS.





# **A. Appendix**

## **A.1 Oversikt av variantene til Boligblokk (Kilde: Brattebø et al. (2016))**

Type	Variant	År	Type	Variant	År	Type	Variant	År	Type	Variant
AB01	1	...1955	AB01	2	...1955	AB01	3	...1955	AB01	3
<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>
Tak	0,28 Tak konstruksjon 150mm isolasjon	0,76	Tak	0,21 50mm ekstra min. ull på kladd loft	0,27	Tak	0,21 50mm ekstra min. ull på kladd loft	0,17	Tak	0,21 50mm ekstra min. ull på kladd loft
Yttervegg	Teg/vegg med innvendig porebetong		Yttervegg	0,27 Utforing, 100mm ekstra min. ull		Yttervegg	0,27 Utforing, 100mm ekstra min. ull		Yttervegg	0,17 Utforing, 100mm ekstra min. ull
Vinduer	2,2 TEK87 Vindu		Vinduer	1,9 Tolags isolerrute, ett belagt glass, luftfylt		Vinduer	1,2 Tolags isolerrute, ett belagt glass, luftfylt	1,2	Vinduer	1,2 Tolags isolerrute, ett belagt glass, luftfylt
Gulv	0,9 Betonggulv på grunnen, LECA-kuler		Gulv	0,4 Nedforing med 50mm min. ull		Gulv	0,4 Nedforing med 50mm min. ull	0,4	Gulv	0,4 Nedforing med 50mm min. ull
<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>
Oppvarming	1,31 El-varme + vedovn		Oppvarming	1,27 El-varme + vedovn		Oppvarming	1,27 El-varme + vedovn	0,43	Oppvarming	0,43 Jordvarme varmepumpe
Varmtvann	2,19 Fyrkjel, el		Varmtvann	1,14 Fyrkjel, el		Varmtvann	1,14 Fyrkjel, el	1	Varmtvann	1 Jordvarme varmepumpe
Ventilasjon (gjennvinner)	0 Ingen mekanisk ventilasjon		Ventilasjon (gjennvinner)	0 Ingen mekanisk ventilasjon		Ventilasjon (gjennvinner)	0 Ingen mekanisk ventilasjon	85	Ventilasjon (gjennvinner)	85 85% varmegjennvinning
Solceller	0 Ingen		Solceller	0 Ingen		Solceller	0 Ingen	3	Solceller	3 Standard-PV-System, takmontert
<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>
AB.02	1	1956-1970	AB.02	2	1956-1970	AB.02	3	1956-1970	AB.02	3
<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>
Tak	0,35 100mm min. ull, etasjeskille mot kaldt loft		Tak	0,25 50mm ekstra min. ull på kladd loft		Tak	0,25 50mm ekstra min. ull på kladd loft	0,25	Tak	0,25 50mm ekstra min. ull på kladd loft
Yttervegg	Betong sandwich vegg med isolasjon imellom.		Yttervegg	0,24 Utforing, 100mm ekstra min. ull		Yttervegg	0,24 Utforing, 100mm ekstra min. ull	0,19	Yttervegg	0,19 Utforing, 200mm ekstra min. ull
Vinduer	0,42 100mm min. ull		Vinduer	1,9 Tolags isolerrute, vanlig glass, luftfylt		Vinduer	1,9 Tolags isolerrute, ett belagt glass, luftfylt	1,2	Vinduer	1,2 TEK10 vindu
Gulv	2,8 Tolags isolerrute, vanlig glass, luftfylt		Gulv	0,38 Nedforing med 50mm min. ull		Gulv	0,38 Nedforing med 50mm min. ull	0,37	Gulv	0,37 Nedforing med 50mm min. ull
<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>
Oppvarming	1,33 Fyrkjel, el		Oppvarming	0,65 Luft/vann varmepumpe		Oppvarming	0,65 Luft/vann varmepumpe	0,45	Oppvarming	0,45 Luft/vann varmepumpe + solvarme
Varmtvann	2,19 Fyrkjel, el		Varmtvann	1,14 Luft/vann varmepumpe		Varmtvann	1,14 Luft/vann varmepumpe	0,57	Varmtvann	0,57 Luft/vann varmepumpe + solvarme
Ventilasjon (gjennvinner)	0 Ingen mekanisk ventilasjon		Ventilasjon (gjennvinner)	0 Ingen mekanisk ventilasjon		Ventilasjon (gjennvinner)	0 Ingen mekanisk ventilasjon	85	Ventilasjon (gjennvinner)	85 85% varmegjennvinning
Solceller	0 Ingen		Solceller	0 Ingen		Solceller	0 Ingen	3	Solceller	3 Standard-PV-System, takmontert
<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>
AB.03	1	1971-1980	AB.03	2	1971-1980	AB.03	3	1971-1980	AB.03	3
<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>
Tak	0,21 Betongdekke, 180mm min. ull. Flatt tak mot det fri		Tak	0,14 Erstatte 180mm med 250mm min. ull		Tak	0,14 Erstatte 180mm med 250mm min. ull	0,14	Tak	0,14 Erstatte 180mm med 250mm min. ull
Yttervegg	0,41 Lett bindingsverk, 48x98 stender, 100mm min. ull		Yttervegg	0,2 tegforblending		Yttervegg	0,2 tegforblending	0,2	Yttervegg	0,2 tegforblending
Vinduer	2,8 Tolags isolerrute, vanlig glass, luftfylt		Vinduer	1,9 Tolags isolerrute, ett belagt glass, luftfylt		Vinduer	1,9 Tolags isolerrute, ett belagt glass, luftfylt	1,2	Vinduer	1,2 TEK10 vindu
Gulv	Betonggulv, 100mm min. ull. Gulv mot		Gulv	0,26 Nedforing med 50mm min. ull		Gulv	0,26 Nedforing med 50mm min. ull	0,26	Gulv	0,26 Nedforing med 50mm min. ull
<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Verdi</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Kommentar</b>
Oppvarming	1,31 El-varme		Oppvarming	1,27 El-varme		Oppvarming	1,27 El-varme	0,42	Oppvarming	0,42 Jordvarme varmepumpe
Varmtvann	2,19 Fyrkjel, el		Varmtvann	1,14 Fyrkjel, el		Varmtvann	1,14 Luft/vann varmepumpe	1	Varmtvann	1 Jordvarme varmepumpe
Ventilasjon (gjennvinner)	0 Avtrekk ventilasjonssystem		Ventilasjon (gjennvinner)	0 Avtrekk ventilasjonssystem		Ventilasjon (gjennvinner)	0 Avtrekk ventilasjonssystem	85	Ventilasjon (gjennvinner)	85 85% varmegjennvinning
Solceller	0 Ingen		Solceller	0 Ingen		Solceller	0 Ingen	3	Solceller	3 Standard-PV-System, takmontert
<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>	<b>År</b>	<b>Type</b>	<b>Variant</b>
AB.04	1	1981-1990	AB.04	2	1981-1990	AB.04	3	1981-1990	AB.04	3
<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>Kommentar</b>
Tak	0,2 Betongdekke, 180mm min. ull. Flatt tak mot det fri		Tak	0,16 Nedforing med 50mm min. ull		Tak	0,16 Nedforing med 50mm min. ull	0,16	Tak	0,16 Nedforing med 50mm min. ull

Yttervegg	0,29	Bindingsverk i tre, 150mm min. ull, 50mm kuldebrobrytere	Yttervegg	0,17	Utforing, 50mm ekstra min. ull + teglforblending	Yttervegg	0,17	Utforing, 50mm ekstra min. ull + teglforblending
Vinduer	1,9	Tolags isolerrute, vanlig glass, luftfylt	Vinduer	1,9	Tolags isolerrute, ett belagt glass, luftfylt	Vinduer	1,2	TEK10 vindu
Gulv	0,27	Betonggulv, 120mm min. ull. Gulv mot oppvarmet kjeller	Gulv	0,27	Ingen endring	Gulv	0,27	Ingen endring
<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>
Oppvarming	1,32	El-varme	Oppvarming	1,27	El-varme	Oppvarming	0,42	Jordvarme varmepumpe
Varmtvann	2,19	Fyrkjel, el	Varmtvann	1,14	Luft/vann varmepumpe	Varmtvann	1	Jordvarme varmepumpe
Ventilasjon (gjennvinner)	0	Avtrekk ventilasjonssystem	Ventilasjon (gjennvinner)	0	Avtrekk ventilasjonssystem	Ventilasjon (gjennvinner)	85	Passivhus balansert ventilasjonsanlegg med 85% varmegjennvinning
Solceller	0	Ingen	Solceller	0	Ingen	Solceller	3	Standard-PV-System, takmontert
<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>	<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>	<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>
AB.05	1991-2000	1	AB.05	1991-2000	2	AB.05	1991-2000	3
<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>
Tak	0,2	Betongdekke, 180mm min. ull. Flatt tak mot det fri	Tak	0,16	Nedforing med 50mm min. ull	Tak	0,16	Nedforing med 50mm min. ull
Yttervegg	0,29	Bindingsverk i tre, 150mm min. ull, 50mm kuldebrobrytere	Yttervegg	0,17	Utforing, 50mm ekstra min. ull + teglforblending	Yttervegg	0,17	Utforing, 50mm ekstra min. ull + teglforblending
Vinduer	2,4	TEK87	Vinduer	1,9	Tolags isolerrute, ett belagt glass, luftfylt	Vinduer	1,2	TEK10
Gulv	0,27	Betonggulv, 120mm min. ull. Gulv mot oppvarmet kjeller	Gulv	0,27	Ingen endring	Gulv	0,27	Ingen endring
<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>
Oppvarming	1,32	El-varme	Oppvarming	1,27	El-varme	Oppvarming	0,42	Jordvarme varmepumpe
Varmtvann	2,19	Fyrkjel, el	Varmtvann	1,14	Luft/vann varmepumpe	Varmtvann	1	Jordvarme varmepumpe
Ventilasjon (gjennvinner)	0	Avtrekk ventilasjonssystem	Ventilasjon (gjennvinner)	0	Avtrekk ventilasjonssystem	Ventilasjon (gjennvinner)	85	Passivhus balansert ventilasjonsanlegg med 85% varmegjennvinning
Solceller	0	Ingen	Solceller	0	Ingen	Solceller	3	Standard-PV-System, takmontert
<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>	<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>	<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>
AB.06	2001-2010	1	AB.06	2001-2010	2	AB.06	2001-2010	3
<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>
Tak	0,08	I-bærere 50 mm isolasjon	Tak	0,08	Ingen endring	Tak	0,08	Ingen endring
Yttervegg	0,12	I-bærere, 38 cm cellulose + 3,5 cm porøs trefiberplate, totalt 35 cm isolasjon	Yttervegg	0,09	Utforing, 50mm ekstra min. ull + teglforblending	Yttervegg	0,09	Utforing, 50mm ekstra min. ull + teglforblending
Vinduer	0,82	Passivhus vindu	Vinduer	0,82	Ingen endring	Vinduer	0,82	Ingen endring
Gulv	0,11	Betonggulv på grunnen, 350mm isolasjon	Gulv	0,11	Ingen endring	Gulv	0,11	Ingen endring
<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>
Oppvarming	1,02	Fyrkjel, el	Oppvarming	0,59	Luft/vann varmepumpe	Oppvarming	0,42	Luft/vann varmepumpe
Varmtvann	2,19	Fyrkjel, el	Varmtvann	1,14	Luft/vann varmepumpe	Varmtvann	1	Luft/vann varmepumpe
Ventilasjon (gjennvinner)	70	TEK10 balansert ventilasjonsanlegg med 70% varmegjennvinning	Ventilasjon (gjennvinner)	85	Passivhus balansert ventilasjonsanlegg med 85% varmegjennvinning	Ventilasjon (gjennvinner)	85	Passivhus balansert ventilasjonsanlegg med 85% varmegjennvinning
Solceller	0	Ingen	Solceller	0	Ingen	Solceller	3	Standard-PV-System, takmontert
<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>	<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>	<b>Type</b>	<b>Ar</b>	<b>Variant</b>
AB.07	2011...	1	AB.07	2011...	2	AB.07	2011...	3
<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Konstruksjon</b>	<b>U-verdi</b>	<b>Kommentar</b>
Tak	0,14	Betong hulldekke, 220mm min. ull	Tak	0,09	Passivhus typisk tak	Tak	0,09	Passivhus typisk tak
Yttervegg	0,22	Bindingsverk i tre, 200mm min. ull, 100mm kuldebrobrytere	Yttervegg	0,12	Passivhus typisk vegg	Yttervegg	0,12	Passivhus typisk vegg
Vinduer	1,2	TEK10 vindu	Vinduer	0,8	Passivhus vindu	Vinduer	0,8	Passivhus vindu
Gulv	0,15	250mm markplate, 100mm armeret betong	Gulv	0,15	Passivhus typisk gulv	Gulv	0,15	Passivhus typisk gulv
<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Installasjoner</b>	<b>Verdi</b>	<b>Kommentar</b>
Oppvarming	1,06	Fjernvarme, varmevekslere	Oppvarming	0,76	Fjernvarme, varmevekslere	Oppvarming	0,76	Fjernvarme, varmevekslere

Varmtvann	2,28	Fjernvarmeveksler	Varmtvann	2,28	Fjernvarmeveksler	Varmtvann	2,28	Fjernvarmeveksler
Ventilasjon (gjennvinner)		TEK10 balansert ventilasjonsanlegg med 70% 70 varmegjennvinning	Ventilasjon (gjennvinner)		Passivhus balansert ventilasjonsanlegg med 85% varmegjennvinning	Ventilasjon (gjennvinner)		Passivhus balansert ventilasjonsanlegg med 85% varmegjennvinning
Solceller		0 Ingen	Solceller		0 Ingen	Solceller		3 Standard-PV-System, takmontert

## **A.2 Oversikt av hele Gløshaugen campus (Kilde: NTNU Drift)**

		Year		Netto area	Brutto area	Owned by	
1	301	Hovedbygningen	1910	Kontor-/undervisningsbygg	13930,40	17215,24	120009 - NTNU
2	361	ZEB Living Lab	0	Laboratoriebygg	0,00	0	120009 - NTNU
3	362	ZEB Test Cells Lab	0	Laboratoriebygg	0,00	0	810009 - SINTEF
4	330	Vestre Gløshaugen	1850	Kontorbygg	515,83	596,14	120009 - NTNU
5	342	Østre Gløshaugen	1872	Administrasjonsbygg	157,95	192,88	120009 - NTNU
6	343	Infohuset	1898	Kontorbygg	346,15	430,46	120009 - NTNU
7	323	Gamle kjemi	1910	Administrasjonsbygg	2912,06	3702,98	120009 - NTNU
8	325	Gamle elektro	1910	Kontor-/undervisningsbygg	7570,78	9060,98	120009 - NTNU
9	324	Vannkraftlaboratoriet	1916	Kontor-/laboratoriebygg	2049,51	2525,03	120009 - NTNU
10	319	Gamle fysikk	1924	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	4147,27	4968,17	120009 - NTNU
11	304	Metallurgi	1951	Kontor-/laboratoriebygg	2142,45	2308,61	120009 - NTNU
12	354	Kjelhuset	1951	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	4295,29	5053,03	120009 - NTNU
13	305	Oppredning/gruvedrift	1953	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	3450,32	3954,75	120009 - NTNU
14	311	Kjemi 1	1954	Kontor-/laboratoriebygg	4313,25	4969,16	120009 - NTNU
15	312	Kjemi 2	1955	Kontor-/laboratoriebygg	4450,71	5236,48	120009 - NTNU
16	315	Kjemi 5	1957	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	4869,31	5627,68	120009 - NTNU
17	308	Materialteknisk	1958	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	11473,20	12616,27	120009 - NTNU
18	332	Grønnbygget	1958	Kontor-/laboratoriebygg	2454,94	2746,83	120009 - NTNU
19	316	Kjemihallen	1959	Kontor-/laboratoriebygg	4970,64	5728,08	120009 - NTNU
20	327	Elektro B	1959	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	3203,29	3599,17	120009 - NTNU
21	306	Geologi	1960	Kontor-/undervisningsbygg	2797,14	3167,83	120009 - NTNU
22	309	Driftssentralen	1960	Kontor-/verkstedbygg	1885,84	2109,23	120009 - NTNU
23	320	SINTEF Energi	1960	Kontor-/laboratoriebygg	4447,89	5028,28	810009 - SINTEF
24	328	Elektro C	1960	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	2521,30	2899,76	120009 - NTNU
25	321	Sentralbygg 1	1961	Kontor-/undervisningsbygg	16151,36	18120,05	120009 - NTNU
26	326	Elektro A	1961	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	5652,89	6264,84	120009 - NTNU
27	302	Varmeteknisk	1962	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	14065,56	15716,64	120009 - NTNU
28	303	Strømningsteknisk	1965	Kontor-/laboratoriebygg	2608,79	3035,24	120009 - NTNU
29	314	Kjemi 4	1965	Kontor-/laboratoriebygg	4827,37	5569,48	120009 - NTNU

30	318	IT-bygget, sydfløy	1965	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	3827,47	4313,25	120009 - NTNU
31	307	Verkstedteknisk	1966	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	11130,11	12336,25	120009 - NTNU
32	335	Idrettsbygget	1966	Idrettsbygg	4311,90	4906,29	7110 - Studentsamskipnaden
33	310	Kjemi sydfløy	1967	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	1054,52	1184,04	120009 - NTNU
34	313	Kjemi 3	1967	Kontor-/laboratoriebygg	5603,99	6634,72	120009 - NTNU
35	322	Sentralbygg 2	1968	Kontor-/undervisningsbygg	11093,07	12860,96	120009 - NTNU
36	331	Gløshaugen legesenter	1970	Sykehusbygg	433,03	464,88	120009 - NTNU
37	329	Elektro D+B2	1971	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	5443,37	6284,26	120009 - NTNU
38	317	IT-bygget	1973	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	5467,34	6185,49	120009 - NTNU
39	337	Byggteknisk	1975	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	17016,39	19882,28	120009 - NTNU
40	333	Berg	1981	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	6757,81	7636,21	120009 - NTNU
41	334	Skiboli	1985	Undervisningsbygg	182,07	203,39	120009 - NTNU
42	341	Elektro E/F	1986	Kontor-/laboratoriebygg	9522,73	10460,43	120009 - NTNU
43	356	Produktdesign	1996	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	2405,77	2652,29	120009 - NTNU
44	357	VM-paviljongen	1996	Kontor-/undervisningsbygg	759,56	829,04	120009 - NTNU
45	365	PFI	1998	Kontor-/laboratoriebygg	4208,41	4781,21	821209 - PFI
46	360	Realfagbygget	2000	Kontor-/laboratorie-/undervisningsbygg	55615,30	62267,3	120009 - NTNU
47	358	Høgskoleringen 3	2002	Laboratorie-/undervisningsbygg	4460,03	4911,84	7110 - Studentsamskipnaden
48	370	NINA-huset	2013	Kontor-/laboratoriebygg	0,00	0	
49	380	Handelshøyskolen	2013	Undervisningsbygg	16041,88	17867,28	940609 - KLP Eiendom Trondheim AS

### **A.3 Romfordeling av referansebyggene (Kilde: NTNU Drift)**



Kontor	100 - Kontorvirksomhet 101 - Kontor 102 - Ekspedisjonslokale 103 - Arbeidsrom 105 - Stillerom 110 - Boksamling/instituttbibl. 111 - Møterom 112 - Spiserom 113 - Kjøkken 114 - Pauserom 120 - Kopirom 130 - Intern post 140 - Arkiv 141 - Møterom felles 142 - Spiserom felles
Lesesal	152 - Grupperom 153 - Forberedelse 154 - Seminarrom 157 - Undervisningsrom data 190 - Undervisningsrom felles 192 - Grupperom felles 194 - Seminarrom felles 250 - Studentarbeidsplass 251 - Lesesal 252 - Dataarbeidsplass 258 - Leserom UU 290 - Studentarbeidsplass felles 291 - Lesesal felles 292 - Dataarbeidsplass felles
Forelesning	150 - Undervisningsrom 151 - Auditorium 191 - Auditorium felles 197 - Undervisningsrom data felles
Laboratorium	155 - Undervisningslaboratorium 156 - Ferdighetslaboratorium 195 - Undervisningslaboratorium felles 200 - Laboratorium 201 - Instrumentrom, veierom 202 - Klimarom 203 - Laboratoriekontor 204 - Kontrollrom 210 - Laboratorium NHL

Verksted	<p>257 - Studentverksted</p> <p>500 - Verksted</p> <p>515 - Elektroverksted</p> <p>520 - Mekanikerverksted</p>
Tekniske rom	<p>700 - Teknisk rom</p> <p>706 - Avfall</p> <p>710 - Elektrisk</p> <p>711 - Telematikkrom</p> <p>712 - Trafo</p> <p>716 - Datamaskinrom</p> <p>720 - Maskinrom</p> <p>721 - Vifte/ventilasjonsrom</p> <p>722 - Heismaskinrom</p> <p>732 - Fotoatelier, studio</p> <p>734 - TV-studio/videorom</p>
Trafikkareal	<p>770 - Trafikkareal</p> <p>771 - Garderobe</p> <p>772 - Garderobe felles</p> <p>781 - Korridor</p> <p>782 - Trapp, trapperom</p> <p>783 - Galleri</p> <p>784 - Vrimleareal, vestibyle</p> <p>785 - Vindfang</p> <p>786 - Vareinntak</p> <p>787 - Heis</p>
Vask- og sanitærrom	<p>609 - WC</p> <p>740 - Våtrom</p> <p>741 - Bad, dusj</p> <p>743 - WC</p> <p>744 - WC - damer</p> <p>745 - WC - herrer</p> <p>746 - WC - handicap</p> <p>747 - Vaskerom</p> <p>748 - Renholdsrom</p> <p>749 - WC / dusj</p> <p>750 - Forrom WC</p>
Annet	<p>255 - Tegnesal</p> <p>300 - Bibliotek</p> <p>301 - Ekspedisjon</p> <p>310 - Bokmagasin</p> <p>351 - Butikk</p> <p>400 - Kantine</p> <p>401 - Kasse, servering</p>

	411 - Kantinekjøkken
	412 - Oppvask
	413 - Kjøle/fryserom
	450 - Utstilling
	552 - Trimrom el.l.
	800 - Lager
	801 - Nærlager
	850 - Tilfluktsrom
	851 - Tilfluktsrom / oppholdsrom / lager
	852 - Tilfluktsrom / sluse
	854 - Tilfluktsrom / toalett
	855 - Tilfluktsrom / garderobe
	901 - Diverse, annet
	903 - Kjellerrom
	904 - Hvile/stellerom
	908 - Ikke anvendelig
	909 - Ukjent

## **A.4 Sonefordeling av referansebyggene (Kilde: NTNU Drift)**

Bygg	Kontor	Lesesal	Forelesning	Lab	Verksted	Tekniske rom	Trafikkareal	Vask- og sa	Annet
302VARMETEKNISK NORD	3 345,00	490,39	66,51	4 785,68	900,51	1 356,76	3 291,22	244,21	1 236,32
303 STROMNINGSTEK.	667,56	58,84	0,00	1 133,41	313,64	168,66	558,09	60,74	74,30
304 METALLURGI	197,70	222,12	47,53	752,91	143,44	175,91	365,10	37,84	366,08
305 OPREDNINGEN	1 099,02	78,73	66,06	988,13	248,49	118,74	1 006,52	72,95	276,10
307 VERKSTED TEKNISK	3 265,02	845,53	646,24	2 625,26	588,83	710,40	2 333,90	153,57	1 167,49
308 MATERIAL TEKNISK	2 799,74	510,59	0,00	4 205,24	886,04	305,23	2 427,33	241,78	1 240,32
311 KJEMI 1	954,48	0,00	100,07	1 113,35	0,00	766,77	1 731,08	124,87	178,51
312 KJEMI 2	1 029,19	142,52	23,57	1 750,66	0,00	769,98	1 284,19	86,44	149,94
313 KJEMI 3	1 017,46	92,74	0,00	2 487,18	17,13	927,98	1 255,64	325,63	510,96
314 KJEMI 4	1 418,85	266,88	112,93	1 594,40	25,77	590,05	1 348,15	95,69	116,76
315 KJEMI 5	1 389,05	171,66	209,45	1 180,63	0,00	584,62	1 230,98	82,64	778,66
316 KJEMI 6 Kjemihallen	971,07	153,78	0,00	2 389,22	220,18	689,31	964,57	73,79	192,27
318 IT BYGG SYD	613,52	672,61	669,95	0,00	18,25	446,10	1 048,85	148,70	695,26
321 SENTRALBYG 1	4 279,15	2 738,30	1 105,19	143,61	50,39	1 197,66	4 364,79	553,86	3 687,09
322 SENTRALBYG 2	3 701,42	1 740,89	1 754,63	128,48	24,03	715,12	3 630,49	414,85	751,05
326 ELEKTRO A	1 158,63	481,10	126,30	1 334,80	0,00	403,41	1 923,18	125,73	711,69
327 ELEKTRO B	1 123,36	290,73	110,14	180,78	0,00	614,38	1 017,94	188,77	73,08
328 ELEKTRO C	919,64	251,66	0,00	414,63	412,31	42,36	555,55	85,81	217,80

### Prosentandel

Bygg	Kontor	Lesesal	Forelesning	Lab	Verksted	Tekniske rom	Trafikkareal	Vask- og sa	Annet
302VARMETEKNISK NORD	21,28 %	3,12 %	0,42 %	30,45 %	5,73 %	8,63 %	20,94 %	1,55 %	7,87 %
303 STROMNINGSTEK.	21,99 %	1,94 %	0,00 %	37,34 %	10,33 %	5,56 %	18,39 %	2,00 %	2,45 %
304 METALLURGI	8,56 %	9,62 %	2,06 %	32,61 %	6,21 %	7,62 %	15,81 %	1,64 %	15,86 %
305 OPREDNINGEN	27,79 %	1,99 %	1,67 %	24,99 %	6,28 %	3,00 %	25,45 %	1,84 %	6,98 %
307 VERKSTED TEKNISK	26,47 %	6,85 %	5,24 %	21,28 %	4,77 %	5,76 %	18,92 %	1,24 %	9,46 %
308 MATERIAL TEKNISK	22,19 %	4,05 %	0,00 %	33,33 %	7,02 %	2,42 %	19,24 %	1,92 %	9,83 %
311 KJEMI 1	19,21 %	0,00 %	2,01 %	22,41 %	0,00 %	15,43 %	34,84 %	2,51 %	3,59 %

312 KJEMI 2	19,65 %	2,72 %	0,45 %	33,43 %	0,00 %	14,70 %	24,52 %	1,65 %	2,86 %
313 KJEMI 3	15,34 %	1,40 %	0,00 %	37,49 %	0,26 %	13,99 %	18,93 %	4,91 %	7,70 %
314 KJEMI 4	25,48 %	4,79 %	2,03 %	28,63 %	0,46 %	10,59 %	24,21 %	1,72 %	2,10 %
315 KJEMI 5	24,68 %	3,05 %	3,72 %	20,98 %	0,00 %	10,39 %	21,87 %	1,47 %	13,84 %
316 KJEMI 6 Kjemihallen	17,17 %	2,72 %	0,00 %	42,26 %	3,89 %	12,19 %	17,06 %	1,30 %	3,40 %
318 IT BYGG SYD	14,22 %	15,59 %	15,53 %	0,00 %	0,42 %	10,34 %	24,32 %	3,45 %	16,12 %
321 SENTRALBYG 1	23,62 %	15,11 %	6,10 %	0,79 %	0,28 %	6,61 %	24,09 %	3,06 %	20,35 %
322 SENTRALBYG 2	28,78 %	13,54 %	13,64 %	1,00 %	0,19 %	5,56 %	28,23 %	3,23 %	5,84 %
326 ELEKTRO A	18,49 %	7,68 %	2,02 %	21,31 %	0,00 %	6,44 %	30,70 %	2,01 %	11,36 %
327 ELEKTRO B	31,21 %	8,08 %	3,06 %	5,02 %	0,00 %	17,07 %	28,28 %	5,24 %	2,03 %
328 ELEKTRO C	31,71 %	8,68 %	0,00 %	14,30 %	14,22 %	1,46 %	19,16 %	2,96 %	7,51 %

<b>Total</b>	<b>22,10 %</b>	<b>6,16 %</b>	<b>3,22 %</b>	<b>22,64 %</b>	<b>3,34 %</b>	<b>8,76 %</b>	<b>23,05 %</b>	<b>2,43 %</b>	<b>8,29 %</b>
--------------	----------------	---------------	---------------	----------------	---------------	---------------	----------------	---------------	---------------

Referansebygg	Kontor	Lesesal	Forelesning	Lab	Trafikk	Totalt
	27,45 %	7,65 %	4,00 %	32,27 %	28,63 %	100,00 %
<b>SUM</b>	<b>80,52 %</b>					
1805	495,476791	138,14951	72,1747636	582,437518	516,76142	1805

## **A.5 Database av referansebyggene (Kilde: Energiattester)**

I referansemodellene ble gulvareal, etasjer og etasjehøyde bestemt av gjennomsnittsverdier av Referansebygge 2. Resten av input data/parametere er bestemt av en vektet gjennomsnittsverdi.

### **Bygg 2 1951-1970**

Bygning	Ytre-vegg [m <sup>2</sup> ]	Tak [m <sup>2</sup> ]	Gulv [m <sup>2</sup> ]	Areal- andel for vinduer, dører og glassfelt [m <sup>2</sup> ]	Oppvarmet BRA [m <sup>2</sup> ]	Totalt BRA [m <sup>2</sup> ]	Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]	U-verdi for yttervegger [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for gulv [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for vinduer, dører og glassfelt [W/(m <sup>2</sup> K)]	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt [%]	Normalisert kuldebro- verdi [W/(m <sup>2</sup> K)]	Byggeår [år]
302 VARMETEKNIISK NORD	5 504	4 315	4 824	2 293	15 026	15 026	73 600	0.35	0.35	0.12	2.04	15.3	0.09	1962
303 STROMNINGSTEK.	1 632	1 098	1 098	354	3 030	3 030	12 520	0.87	0.58	0.23	2.05	11.7	0.09	1965
304 METALLURGI	1 572	1 315	1 315	294	2 215	2 215	6 867	0.56	0.46	0.3	2.7	13.3	0.12	1951
305 OPREDNINGEN	1 812	1 113	1 257	493	7 598	7 598	23 554	0.56	0.23	0.18	2.7	6.5	0.12	1960
307 VERKSTED TEKNIISK	2 592	3 064	3 214	1 830	11 400	11 400	39 000	0.43	0.81	0.28	2.01	16.1	0.09	1966
308 MATERIAL TEKNIISK	4 038	5 480	5 640	1 032	12 600	12 600	48 570	0.82	0.81	0.15	1.28	8.2	0.12	1958
311 KJEMI 1	2 407	1 566	1 566	390	6 067	6 067	20 455	0.34	0.46	0.19	2.57	6.4	0.09	1954
312 KJEMI 2	2 058	797	800	526	3 988	3 988	12 363	0.33	0.74	0.38	1.64	13.2	0.09	1955
313 KJEMI 3	1 686	1 080	930	607	5 050	5 050	13 130	0.49	0.35	0.19	4.95	12	0.12	1967
314 KJEMI 4	2 386	1 064	1 052	590	4 510	4 510	15 560	0.28	0.74	0.18	1.66	13.1	0.12	1965
315 KJEMI 5	1 935	1 175	1 175	651	4 837	4 837	15 237	0.38	0.32	0.12	1.72	13.5	0.09	1957
316 KJEMI 6 KJEMIHALLEN	1 819	1 338	231	473	4 440	4 440	15 400	0.56	0.27	0.18	1.89	10.7	0.09	1959
318 IT BYGG SYD	1 210	1 700	1 600	390	3 684	3 684	10 500	0.56	0.46	0.14	1.85	10.6	0.12	1965
321 SENTRALBYG 1	5 504	3 820	3 500	2 626	16 265	16 265	45 500	0.75	0.3	0.18	2.23	16.1	0.08	1961
322 SENTRALBYG 2	4 420	2 270	2 000	1 959	12 497	12 497	35 000	0.77	0.37	0.19	2.48	15.7	0.08	1968
326 ELEKTRO A	1 508	1 092	1 114	1 348	6 006	6 006	27 680	0.6	0.46	0.21	2.27	22.4	0.12	1961
327 ELEKTRO B	1 368	660	663	366	3 600	3 600	11 000	0.6	0.46	0.23	2.13	10.2	0.12	1959
328 ELEKTRO C	1 301	567	583	311	2 889	2 889	9 534	0.6	0.46	0.23	2.11	10.8	0.12	1960
<b>Gj.snitt</b>	<b>2 486.22</b>	<b>1 861.89</b>	<b>1 809.00</b>	<b>918.50</b>	<b>6 983.44</b>	<b>6 983.44</b>	<b>24 192.78</b>	<b>0.55</b>	<b>0.48</b>	<b>0.20</b>	<b>2.24</b>	<b>12.54</b>	<b>0.10</b>	<b>1960.72</b>



**Vektet gjennomsnittverdi**

Bygning	U-verdi for ytturvegger [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for gulv [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for vinduer, dører og glassfelt [W/(m <sup>2</sup> K)]	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt [%]	Normalisert kuldebroverdi [W/(m <sup>2</sup> K)]
302VARMETEKNISK NORD	0.0418	0.0418	0.0143	0.2439	1.8289	0.0108
303 STROMNINGSTEK.	0.0210	0.0140	0.0055	0.0494	0.2820	0.0022
304 METALLURGI	0.0099	0.0081	0.0053	0.0476	0.2344	0.0021
305 OPREDNINGEN	0.0338	0.0139	0.0109	0.1632	0.3929	0.0073
307 VERKSTED TEKNISK	0.0390	0.0735	0.0254	0.1823	1.4601	0.0082
308 MATERIAL TEKNISK	0.0822	0.0812	0.0150	0.1283	0.8219	0.0120
311 KJEMI 1	0.0164	0.0222	0.0092	0.1240	0.3089	0.0043
312 KJEMI 2	0.0105	0.0235	0.0121	0.0520	0.4188	0.0029
313 KJEMI 3	0.0197	0.0141	0.0076	0.1989	0.4821	0.0048
314 KJEMI 4	0.0100	0.0266	0.0065	0.0596	0.4700	0.0043
315 KJEMI 5	0.0146	0.0123	0.0046	0.0662	0.5195	0.0035
316 KJEMI 6 KJEMIHALLEN	0.0198	0.0095	0.0064	0.0668	0.3779	0.0032
318 IT BYGG SYD	0.0164	0.0135	0.0041	0.0542	0.3107	0.0035
321 SENTRALBYG 1	0.0970	0.0388	0.0233	0.2885	2.0832	0.0104
322 SENTRALBYG 2	0.0766	0.0368	0.0189	0.2466	1.5609	0.0080
326 ELEKTRO A	0.0287	0.0220	0.0100	0.1085	1.0703	0.0057
327 ELEKTRO B	0.0172	0.0132	0.0066	0.0610	0.2921	0.0034
328 ELEKTRO C	0.0138	0.0106	0.0053	0.0485	0.2482	0.0028
<b>Sum</b>	<b>0.5684</b>	<b>0.4754</b>	<b>0.1910</b>	<b>2.1894</b>	<b>13.1628</b>	<b>0.0992</b>

Bygning	Lekkasjetall [1/h]	Temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner	Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder i driftstiden	Gjennomsnittlig spesifikk ventilasjonsluftmengde i driftstiden	Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingsystemet	Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatteri)	Settpunkttemperatur for oppvarming i driftstiden	Årsgjennomsnittlig kjølefaktor for kjølesystemet	Settpunkttemperatur for kjøling	Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling
	[1/h]	[%]	[kW/(m <sup>3</sup> /s)]	[m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	[%]	[W/m <sup>2</sup> ]	[°C]	[%]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> ]
302 VARMETEKNISK NORD	2.7	62	2.42	10.5	85	100	21	250	22	31
303 STROMNINGSTEK	2	9	4.53	8	84	80	21	250	22	30
304 METALLURGI	3	11	2.62	8	84	181	21	250	22	0
305 OPREDNINGEN	3	31	2.36	8	84	53	21	250	22	0
307 VERKSTED TEKNISK	2	68	2.9	12	88	90	20	240	22	6
308 MATERIAL TEKNISK	1.5	40	2	8	88	150	21	250	22	0
311 KJEMI 1	1.9	68	3.03	8.8	88	176	20	220	22	42
312 KJEMI 2	1.5	51	3.34	13.7	88	250	20	220	22	68
313 KJEMI 3	0.91	40	4	8	88	200	21	250	22	0
314 KJEMI 4	1.5	51	3.77	17.7	84	220	20	240	22	122
315 KJEMI 5	1.5	30	4	13	89	130	20	220	22	10
316 KJEMI 6 KJEMIHALLEN	1.5	30	4	13	89	140	20	240	22	90
318 IT BYGG SYD	4	65	3.15	11.1	84	80	21	250	22	0
321 SENTRALBYG 1	6	79	2	8	88	120	20	250	22	0
322 SENTRALBYG 2	6	79	2	8	88	120	20	250	22	0
326 ELEKTRO A	3	50	2	8.5	84	103	21	250	22	0
327 ELEKTRO B	3	50	2	8	84	100	21	250	22	0
328 ELEKTRO C	3	50	2	8	84	130	21	250	22	0

**Vektet gjennomsnitt**

Bygning	Lekkasjetall [1/h]	Temperatur- virkningsgrad for varmegjenn- vinner [%]	Spesifikk vifteeffekt (SFP) relatert til luftmengder i driftstiden [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	Gjennomsnittlig spesifikk ventilasjonsluft- mengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingsystem et [%]	Installert effekt for romoppvarming og ventilasjons- varme (varmebatteri) [W/m <sup>2</sup> ]	Settpunkt- temperatur for oppvarming i driftstiden [°C]	Årsgjennom- snittlig kjølefaktor for kjølesystemet [%]	Settpunkt- temperatur for kjøling [°C]	Installert effekt for romkjøling og ventilasjons- kjøling [W/m <sup>2</sup> ]
302 VARMETEKNISK NORD	0.3227	7.4113	0.2893	1.2551	10.1606	11.9537	2.5103	29.8842	2.6298	3.7056
303 STROMNINGSTEK	0.0482	0.2169	0.1092	0.1928	2.0248	1.9284	0.5062	6.0262	0.5303	0.7231
304 METALLURGI	0.0529	0.1938	0.0462	0.1410	1.4802	3.1894	0.3700	4.4053	0.3877	0.0000
305 OPREDNINGEN	0.1813	1.8738	0.1426	0.4836	5.0773	3.2036	1.2693	15.1111	1.3298	0.0000
307 VERKSTED TEKNISK	0.1814	6.1670	0.2630	1.0883	7.9808	8.1622	1.8138	21.7658	1.9952	0.5441
308 MATERIAL TEKNISK	0.1504	4.0095	0.2005	0.8019	8.8209	15.0356	2.1050	25.0593	2.2052	0.0000
311 KIEMI 1	0.0917	3.2820	0.1462	0.4247	4.2473	8.4946	0.9653	10.6183	1.0618	2.0271
312 KIEMI 2	0.0476	1.6180	0.1060	0.4346	2.7919	7.9315	0.6345	6.9797	0.6980	2.1574
313 KIEMI 3	0.0366	1.6070	0.1607	0.3214	3.5353	8.0349	0.8437	10.0436	0.8838	0.0000
314 KIEMI 4	0.0538	1.8298	0.1353	0.6350	3.0138	7.8933	0.7176	8.6108	0.7893	4.3772
315 KIEMI 5	0.0577	1.1544	0.1539	0.5002	3.4247	5.0024	0.7696	8.4656	0.8466	0.3848
316 KIEMI 6 KIEMIHALLEN	0.0530	1.0596	0.1413	0.4592	3.1436	4.9450	0.7064	8.4772	0.7771	3.1789
318 IT BYGG SYD	0.1172	1.9050	0.0923	0.3253	2.4618	2.3446	0.6155	7.3269	0.6448	0.0000
321 SENTRALBYG 1	0.7764	10.2221	0.2588	1.0351	11.3866	15.5272	2.5879	32.3483	2.8467	0.0000
322 SENTRALBYG 2	0.5965	7.8540	0.1988	0.7953	8.7488	11.9301	1.9884	24.8544	2.1872	0.0000
326 ELEKTRO A	0.1433	2.3890	0.0956	0.4061	4.0135	4.9213	1.0034	11.9449	1.0512	0.0000
327 ELEKTRO B	0.0859	1.4320	0.0573	0.2291	2.4057	2.8639	0.6014	7.1598	0.6301	0.0000

328 ELEKTRO C	0.0689	1.1491	0.0460	0.1839	1.9306	2.9878	0.4826	5.7457	0.5056	0.0000
<b>Sum</b>	<b>3.0656</b>	<b>55.3743</b>	<b>2.6429</b>	<b>9.7128</b>	<b>86.6482</b>	<b>126.3493</b>	<b>20.4908</b>	<b>244.8270</b>	<b>22.0000</b>	<b>17.0983</b>

Cohort  
before 1951

Bygning	Ytrevegg [m2]	Tak [m2]	Gulv [m2]	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt [m2]	Oppvarmet BRA [m2]	Totalt BRA [m2]	Oppvarmet luftvolum [m3]	U-verdi for yttervegger [W/(m2K)]	U-verdi for tak [W/(m2K)]	U-verdi for gulv [W/(m2K)]	U-verdi for vinduer, dører og glassfelt [W/(m2K)]	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt [%]	Normalisert kuldebroverdi [W/(m2K)]	Byggeår [Year]
315 GAMLE FYSIKK	2 186,0	1 068,0	1 128,0	588,0	4 116,0	4 116,0	11 320,0	0,97	0,70	0,22	2,99	14,30	0,12	1924
323 GAMLE KJEMI	2 063,0	319,0	1 019,0	557,0	3 375,0	3 375,0	11 780,0	0,93	0,27	0,24	2,85	16,50	0,05	1910
324 VANIKRAFTLAB.	1 684,0	910,0	483,0	289,0	2 353,0	2 353,0	8 218,0	0,70	1,29	0,13	3,32	12,30	0,12	1916
325 GAMLE ELEKTRO Del 1	392,0	2 130,0	2 131,0	1 264,0	4 315,0	4 315,0	31 568,0	0,40	0,23	0,06	1,96	29,3	0,12	1910

Total heated areal 14 159,0

Bygning	Lekkasjetall [l/h]	Temperatur virkningsgrad for varmegjennvarmning i inner [°C]	Spesifikk viteeffekt (SFP) relatert til luftmengde i driftstiden [kW/(m3/s)]	Gjennomsnittlig spesifikk ventilasjonsluft mengde i driftstiden [m3/(m2h)]	Åsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingsystemet [%]	Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatter) [W/m2]	Settpunkt-temperatur for oppvarming i driftstiden [°C]	Åsgjennomsnittlig kjølefaktor for kjølesystemet [%]	Settpunkt-temperatur for kjøling [°C]	Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m2]
315 GAMLE FYSIKK	4,00	27,67	2,97	8,00	84,00	300,00	21,00	250,00	22,00	0,00
323 GAMLE KJEMI	5,00	50,00	4,00	13,00	89,00	120,00	20,00	220,00	22,00	0,00
324 VANIKRAFTLAB.	3,90	35,00	2,38	8,00	84,00	158,00	21,00	250,00	22,00	0,00
325 GAMLE ELEKTRO Del 1	2,00	70,00	2,00	8,00	84,00	130,00	21,00	250,00	22,00	0,00

WEIGHTED  
AVERAGE

Bygning	Oppvarmet luftvolum	U-verdi for yttervegger tak	U-verdi for vinduer, dører og glassfelt	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt	U-verdi for vinduer, dører og glassfelt	U-verdi for gulv	Normalisert kuldebroverdi
315 GAMLE FYSIKK	0,28	0,20	0,87	4,16	4,16	0,06	0,03
323 GAMLE KJEMI	0,22	0,06	0,68	3,93	3,93	0,01	0,01
324 VANIKRAFTLAB.	0,12	0,21	0,55	2,04	2,04	0,02	0,02
325 GAMLE ELEKTRO Del 1	0,12	0,07	0,60	8,93	8,93	0,04	0,04
<b>SUM</b>	<b>0,74</b>	<b>0,55</b>	<b>2,70</b>	<b>19,06</b>	<b>19,06</b>	<b>0,16</b>	<b>0,10</b>

Bygning	Lekkasjetall [l/h]	Temperatur virkningsgrad for varmegjennvarmning i inner [%]	Spesifikk viteeffekt (SFP) relatert til luftmengde i driftstiden [kW/(m3/s)]	Gjennomsnittlig spesifikk ventilasjonsluft mengde i driftstiden [m3/(m2h)]	Åsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingsystemet (varmebatter) [%]	Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatter) [W/m2]	Settpunkt-temperatur for oppvarming i driftstiden [°C]	Åsgjennomsnittlig kjølefaktor for kjølesystemet [%]	Settpunkt-temperatur for kjøling [°C]	Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m2]
315 GAMLE FYSIKK	1,16	8,04	0,86	2,33	24,42	87,21	6,10	72,67	6,40	0,00
323 GAMLE KJEMI	0,36	11,92	0,95	3,10	28,60	28,60	4,77	52,44	5,24	0,00
324 VANIKRAFTLAB.	0,65	5,82	0,40	1,33	13,96	26,26	3,49	3,66	3,66	0,00
325 GAMLE ELEKTRO Del 1	0,61	21,33	0,61	2,44	25,60	39,62	6,40	76,19	6,70	0,00
<b>SUM</b>	<b>2,78</b>	<b>47,11</b>	<b>2,82</b>	<b>9,19</b>	<b>88,19</b>	<b>181,69</b>	<b>20,76</b>	<b>243,85</b>	<b>22,00</b>	<b>0,00</b>

Cohort 1971 - 1999

Bygning	Ytrevegg	Tak	Gulv	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt	Oppvarmet BRA	Totalt BRA	Oppvarmet luftvolum	U-verdi for yttervegger	U-verdi for tak	U-verdi for gulv	U-verdi for vinduer, dører og glassfelt	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt	Normalisert kuldebroverdi	Byggeår
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[%]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	
329 ELEKTRO D+B2	2 493,0	826,0	1 434,0	857,0	6 228,0	6 228,0	20 552,0	0,55	0,46	0,12	2,12	13,8	0,12	1971
317 IT BYGG	1 963,0	5 684,0	1 021,0	942,0	5 484,0	5 484,0	15 630,0	0,58	0,46	0,17	2,10	17,20	0,12	1973
337 BYGGTEKNISK	6 216,0	5 884,0	5 884,0	1 955,0	18 175,0	18 175,0	58 156,0	0,23	0,19	0,39	1,86	10,80	0,07	1975
333 BERG AVD	2 377,0	1 274,0	607,0	1 274,0	3 955,0	3 955,0	12 260,0	0,45	0,23	0,23	2,10	15,30	0,12	1981
341 ELA (ELEKTRO E+F)	1 332,0	1 575,0	3 166,0	2 212,0	10 457,0	10 457,0	48 440,0	0,35	0,23	0,06	1,99	21,20	0,12	1986
356 PRODUKTDESIGN	999,0	873,0	887,0	350,0	2 476,0	2 476,0	8 047,0	0,22	0,20	0,14	2,01	14,10	0,09	1996

Total heated areal 46 775,0

Bygning	Lekkasjetall [1/h]	Temperaturvirkning til varmegjenvinner [%]	Spesifikk vitteeffekt (SFP) relatert til luftmengder i driftstiden [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	Gjennomsnittlig spesifikk ventilasjonsluftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	Årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrad for oppvarmingsystemet [%]	Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatteri) [W/m <sup>2</sup> ]	Settpunkttemperatur for oppvarming i driftstiden [°C]	Årsgjennomsnittlig kjølefaktor for kjølesystemet [%]	Settpunkttemperatur for kjøling [°C]	Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m <sup>2</sup> ]
329 ELEKTRO D+B2	2,00	50,00	2,00	5,00	84,00	100,00	21,00	250,00	22,00	0,00
317 IT BYGG	4,00	45,00	1,53	8,00	84,00	110,00	21,00	250,00	22,00	80,00
337 BYGGTEKNISK	1,62	53,00	2,72	9,40	84,00	115,00	21,00	250,00	22,00	106,00
333 BERG AVD	3,00	51,00	3,32	17,70	84,00	303,00	21,00	250,00	22,00	1,00
341 ELA (ELEKTRO E+F)	3,00	70,00	2,00	8,00	84,00	130,00	21,00	250,00	22,00	14,00
356 PRODUKTDESIGN	2,50	70,00	2,84	10,70	84,00	200,00	21,00	250,00	22,00	0,00

WEIGHTED AVERAGE

Bygning	U-verdi for yttervegger [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for gulv [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for vinduer, dører og glassfelt [W/(m <sup>2</sup> K)]	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt [%]	Normalisert kuldebroverdi [W/(m <sup>2</sup> K)]
329 ELEKTRO D+B2	0,07	0,06	0,02	0,28	1,84	0,02
317 IT BYGG	0,07	0,05	0,02	0,25	2,02	0,01
337 BYGGTEKNISK	0,09	0,07	0,02	0,72	4,20	0,03
333 BERG AVD	0,04	0,02	0,02	0,18	1,29	0,01
341 ELA (ELEKTRO E+F)	0,08	0,05	0,01	0,44	4,74	0,03
356 PRODUKTDESIGN	0,01	0,01	0,01	0,11	0,75	0,00
<b>Sum</b>	<b>0,36</b>	<b>0,27</b>	<b>0,23</b>	<b>1,98</b>	<b>12,99</b>	<b>0,08</b>

Bygning	Infiltr. [1/h]	Temp. eff. of heat recovery [%]	Specific fan power (SFP) related to air flow in the operating time [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	Average specific ventilation airflow in the operating time [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	Annual average system efficiency for heating [%]	Installed capacity for space heating and ventilation heat (heating coil) [W/m <sup>2</sup> ]	The set-point temperature for heating operation [°C]	Annual average cooling factor for the cooling system [%]	Set point temperature for cooling [°C]	Installed capacity for space cooling and ventilation cooling [W/m <sup>2</sup> ]
329 ELEKTRO D+B2	0,47	6,66	0,27	0,67	11,18	13,31	2,80	33,29	2,93	0,00
317 IT BYGG	0,27	5,28	0,18	0,94	9,85	12,90	2,46	29,31	2,58	9,38
337 BYGGTEKNISK	0,63	20,59	1,06	3,65	32,64	44,68	8,16	97,14	8,55	41,19
333 BERG AVD	0,25	4,31	0,28	1,50	7,10	25,62	1,78	21,14	1,86	0,08
341 ELA (ELEKTRO E+F)	0,67	15,65	0,45	1,79	18,78	29,06	4,69	55,89	4,92	3,13
356 PRODUKTDESIGN	0,13	3,71	0,15	0,57	4,45	10,59	1,11	13,23	1,16	0,00
<b>SUM</b>	<b>2,42</b>	<b>56,19</b>	<b>2,38</b>	<b>9,11</b>	<b>84,00</b>	<b>156,17</b>	<b>21,00</b>	<b>250,00</b>	<b>22,00</b>	<b>53,78</b>

Cohort 2000 - 2010

Bygning	Ytrevegg [m <sup>2</sup> ]	Tak [m <sup>2</sup> ]	Gulv [m <sup>2</sup> ]	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt [m <sup>2</sup> ]	Oppvarmet BRA [m <sup>2</sup> ]	Totalt BRA [m <sup>2</sup> ]	Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]	U-verdi for yttervegger [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for gulv [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for vinduer, dører og glassfelt [W/(m <sup>2</sup> K)]	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt [%]	Normalisert kuldebroverdi [W/(m <sup>2</sup> K)]	Byggeår
360 REALFAGBYGGET	14.48.0	6.651.0	9.380.0	6.478.0	52.773.0	52.773.0	187.429.0	0.21	0.15	0.07	1.67	12.30	0.09	2000
358 HOGSKOLERINGEN	8.807.0	771.0	7.710	763.0	4.312.0	4.312.0	16.199.0	0.21	0.15	0.14	1.84	17.80	0.09	2002
Gj. Snitt	8.127.5	3.711.0	5.075.5	3.623.0	28.542.5	28.542.5	101.814.0	0.2	0.2	0.1	1.8	15.1	0.1	2.001.0

Total heated area 57 085.0

Bygning	Lekkasjetall [1/h]	Temperaturvirkningseffekt for varmegjenvinner [%]	Spesifikk vitteeffekt (SFP) relatert til luftmengder i driftstiden [kW/(m <sup>2</sup> /s)]	Gjennomsnittlig spesifikk ventilasjonsluftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	Årsgjennomsnittlig systemvirkingsgrad for oppvarmingsystemet [%]	Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatter) [W/m <sup>2</sup> ]	Settpunkt-temperatur for oppvarming i driftstiden [°C]	Årsgjennomsnittlig kjølefaktor for kjølesystemet [%]	Settpunkt-temperatur for kjøling [°C]	Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m <sup>2</sup> ]
360 REALFAGBYGG	1.50	65.00	3.50	13.00	88.00	85.00	21.00	220.00	22.00	40.00
358 HOGSKOLERINGEN	2.00	72.00	2.00	9.80	84.00	120.00	21.00	250.00	22.00	30.00
Gj. Snitt	1.75	68.50	2.75	11.40	86.00	102.50	21.00	225.00	22.00	35.00

WEIGHTED AVERAGE

Bygning	U-verdi for yttervegger [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi for gulv [W/(m <sup>2</sup> K)]	Arealandel for vinduer, dører og glassfelt [%]	Normalisert kuldebroverdi [W/(m <sup>2</sup> K)]
360 REALFAGBYGGET	0.194137339	0.138669528	0.064712446	11.37090129	0.083201717
358 HOGSKOLERINGEN	0.015862661	0.011390472	0.010575107	1.34549356	0.006798383
SUM	0.21	0.15	0.075297554	12.71546064	0.09

Bygning	Lekkasjetall [1/h]	Temperaturvirkningseffekt for varmegjenvinner [%]	Spesifikk vitteeffekt (SFP) relatert til luftmengder i driftstiden [kW/(m <sup>2</sup> /s)]	Gjennomsnittlig spesifikk ventilasjonsluftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]	Årsgjennomsnittlig systemvirkingsgrad for oppvarmingsystemet [%]	Installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatter) [W/m <sup>2</sup> ]	Settpunkt-temperatur for oppvarming i driftstiden [°C]	Årsgjennomsnittlig kjølefaktor for kjølesystemet [%]	Settpunkt-temperatur for kjøling [°C]	Installert effekt for romkjøling og ventilasjonskjøling [W/m <sup>2</sup> ]
360 REALFAGBYGG	1.39	60.09	3.24	12.02	81.35	78.58	19.41	203.38	20.34	36.98
358 HOGSKOLERINGEN	0.15	5.44	0.15	0.74	6.35	9.06	1.59	18.88	1.66	2.27
SUM	1.54	65.53	3.39	12.76	87.70	87.64	21.00	222.27	22.00	39.24

## **A.6 Brukerrate i referansem modellene**



1 person med et aktivitetsnivå på 1 gir fra seg 58 [W]

Sone	W/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	W	Personer	Pers/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /pers
Lesesal	12	136,3	1635,6	28,2	0,2069	4,833333333
Kontor	4	491,9	1967,6	33,92413793	0,0690	14,5
Lab	6	580,3	3481,8	60,03103448	0,1034	9,666666667
Forelesningsal		70,5		61,97962859	0,8791	1,137470514
Trafikk		510,8		90,17962859	0,1765	5,66425043

Lesesal, Kontor og Lab er beregnet ut ifra standard verdier gitt av NS3031, hvor det ble gitt årsgjennomsnittlig varmetilskudd fra personer i [W/m<sup>2</sup>], et eksempel på hvordan brukerraten til Lesesal ble beregnet er vist under.

$$\text{Antall personer Lesesal} = (12 * 136,3)/58 = 28,2$$
$$\text{Brukerrate} = 28/136 = 0,2069 \text{ Pers/m}^2$$

Brukerraten i forelesning ble funnet ut ifra antall plasser og arealet til forelesningssalene i Sentralbygget

$$\text{Brukerraten til trafikk} = (\text{antall personer i Lesesal} + \text{antall personer i forelesning})/\text{areal Trafikk}$$

## A.7 NS 3031:2014 Tabell A.1

Tabell A.1 – Netto effekt- og energibehov – standardverdier for gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden og årlig energibehov for belysning, utstyr og varmtvann

Bygningskategori	Belysning <sup>a</sup>		Utstyr <sup>b</sup>		Varmtvann <sup>b, c</sup>	
	W/m <sup>2</sup>	kWh/(m <sup>2</sup> ·år)	W/m <sup>2</sup>	kWh/(m <sup>2</sup> ·år)	W/m <sup>2</sup>	kWh/(m <sup>2</sup> ·år)
Småhus <sup>d</sup>	1,95	11,4	3,00	17,5	5,1	29,8
Boligblokk	1,95	11,4	3,00	17,5	5,1	29,8
Barehage	8	21	2	5	3,8	10
Kontorbygning	8	25	11	34	1,6	5
Skolebygning	10	22	6	13	4,5	10
Universitets- og høyskolebygning	8	25	11	34	1,6	5
Sykehus	8	47	8	47	5,1	30
Sykehjem	8	47	4	23	5,1	30
Hotellbygning	8	47	1	6	5,1	30
Idrettsbygning	8	21	1	3	18,9	50
Forretningsbygning	15	56	1	4	2,7	10
Kulturbygning	8	23	1	3	3,5	10
Lett industribygning, verksted	8	19	10	23	4,3	10

<sup>a</sup> Verdiene for belysning skal som hovedregel benyttes ved kontrollberegning mot offentlige krav. Dersom det benyttes styringssystem for utnyttelse av dagslys eller styringssystem basert på tilstedeværelse, kan energibehovet til belysning reduseres med 20 %. Eventuelt kan andre verdier for belysning dokumenteres gjennom beregninger etter NS-EN 15193 eller tilsvarende. Varmetilskuddet fra belysning i tabell A.2 skal da reduseres tilsvarende.

<sup>b</sup> Verdiene for utstyr og varmtvann brukes for kontrollberegning mot offentlige krav.

<sup>c</sup> Dersom det benyttes avtrekksvarmepumpe, kan netto energibehov til varmt tappevann reduseres etter reglene i tillegg N.

<sup>d</sup> Småhus omfatter enebolig, to- til firemannsbolig og rekkehus.

MERKNAD 1 Verdiene i tabellen er utarbeidet for kontrollberegning mot offentlige krav og representerer ikke nødvendigvis reelle forhold.

MERKNAD 2 Årlig energibehov for belysning og utstyr er gitt som gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden multiplisert med driftstiden, gitt i tabell A.3.

## **A.8 Beregning av elektrisitetsforbruket**

<b>Bygg 2</b>	Målt varmeforbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	Målt el.forbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]			
<b>1951-1970</b>	<b>124,52</b>	<b>132,21</b>			
1.iterasjon					
El bruk Sim	Ønsket	Diff kwh/m <sup>2</sup>	W		
125,90	120,00	5,90	1 205,46		
Zone	Area	Gammel modell		Ny base load W	W/m <sup>2</sup>
Lesesal	136,30	1 158,55	91,80	1 066,75	7,83
Kontor	491,90	4 181,15	331,30	3 849,85	7,83
Lab	580,30	4 932,55	390,84	4 541,71	7,83
Forelesning	70,50	599,25	47,48	551,77	7,83
Trafikk	510,80	4 341,80	344,03	3 997,77	7,83
Sum	1 789,80				
2. iterasjon					
El bruk sim	Ønsket	Diff kwh/m <sup>2</sup>	W		
119,30	132,00	12,70	2 594,80		
Spesialrom grunnlast					
2 594,00					

<b>Bygg 1</b>	Målt varmeforbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	Målt el.forbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]		
<b>Før 1950</b>	<b>129,84</b>	<b>149,29</b>		
1. iterasjon				
El bruk sim	Ønsket	Diff	W	
119,30	149,29	29,99	6 126,74	
Lab lab				
4 271,00	10 397,74			

	Målt varmeforbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	Målt el.forbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	
<b>Bygg 3</b>			
<b>1971-1999</b>	121,99	302,08	
1. iterasjon			
El bruk sim	Ønsket	Diff	W
113,90	302,00	188,10	38 431,66

	Målt varmeforbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	Målt el.forbruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	
<b>Bygg 4</b>			
<b>2000-</b>	109,9417886	176,1140186	
1. iterasjon			
El bruk sim	Ønsket	Diff	W
174,1	176,114	2,014	411,4905

## **A.9 Radiator dimensjonering**

<b>Bygg 1, Kohort 1910-1950</b>	<b>Max levert effekt ideeoppvarmingsenhet 4.etg [W]</b>	<b>Dimensjonert Radiator Kapasitet [W]</b>	<b>Brukt i modell [W]</b>
Kontor	33721	37093	37000
Spesialrom	32052	35257	35500
Lesesal	9057	9963	10000
Forelesning	2196	2416	2500
Trafikk	38285	42114	42000
<b>Bygg 2, Kohort 1951-1970</b>	<b>Max levert effekt ideeoppvarmingsenhet 4.etg [W]</b>	<b>Dimensjonert Radiator Kapasitet [W]</b>	<b>Brukt i modell [W]</b>
Kontor	30240	33264	33500
Spesialrom	28604	31464,4	31500
Lesesal	8273	9100,3	9000
Forelesning	2014	2215,4	2000
Trafikk	34407	37847,7	38000
<b>Bygg 3, Kohort 1971-1999</b>	<b>Max levert effekt ideeoppvarmingsenhet 4.etg [W]</b>	<b>Dimensjonert Radiator Kapasitet [W]</b>	<b>Brukt i modell [W]</b>
Kontor	22058	24264	24500
Spesialrom	21558	23714	24000
Lesesal	6140	6754	7000
Forelesning	1406	1547	1500
Trafikk	25379	27917	28000
<b>Bygg 4, Kohort 2000 -</b>	<b>Max levert effekt ideeoppvarmingsenhet 4.etg [W]</b>	<b>Dimensjonert Radiator Kapasitet [W]</b>	<b>Brukt i modell [W]</b>
Kontor	17290	19019	19000
Spesialrom	17281	19009	19000
Lesesal	4540	4994	5000
Forelesning	1035	1139	1000
Trafikk	20325	22358	22500

## **A.10 Simuleringsresultater fra IDA-ICE for Bygg 1-4**

Energidata basert på måle data fra 2016.



	Bygg 1	Ref.bygg 1	Bygg 2	Ref.bygg 1	Bygg 3	Ref.bygg3	Bygg 4	Ref.bygg 4
Fjernvarme	141,9		111,7		98,9		86,2	
Utstyr	102,3		84,9		260,8		103,6	
Belysning	10,1		10,1		10,1		10,1	
HVAC (vifter, pumper)	37,4		36,7		31,3		62	
Elektrisk kjøling	0		0,6		1,2		1	
Målt FV		129,9		121,1		121,5		109,9
Målt EL		146,6		133,1		301,7		176,3
Sim Tot EL	149,8		132,3		303,4		176,7	
Sum	291,7	276,5	244	254,2	402,3	423,2	262,9	286,2

## **A.11 Beregning av Ref.bygg, Ref.modell og Gløshaugen**

Energidata basert på måle data fra 2016.

	EL [kWh/m <sup>2</sup> ]	FV [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total energibruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	Kommentar
Referansebygg 1	146,6	129,9	276,5	
Referansebygg 2	133,1	121,1	254,2	
Referansebygg 3	301,7	121,5	423,2	
Referansebygg 4	176,3	109,9	286,2	
Bygg 1	149,8	141,1	290,9	
Bygg 2	132,3	111,7	244	
Bygg 3	303,4	98,9	402,3	
Bygg 4	176,7	86,2	262,9	
<b>Gløshaugen</b>	171,5	113,7	285,2	Nettoareal

<b>Weighted avg</b>	EL [kWh/m <sup>2</sup> ]	FV [kWh/m <sup>2</sup> ]
Referansebygg 1	15,58396623	13,80871223
Referansebygg 2	61,74684852	56,17988998
Referansebygg 3	52,48606962	21,1370814
Referansebygg 4	45,10043224	28,11422293
Bygg 1	15,92413466	14,99930174
Bygg 2	61,37571795	51,81910578
Bygg 3	52,78181479	17,20541029
Bygg 4	45,2027588	22,05137413

	EL [kWh/m <sup>2</sup> ]	FV [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total energibruk [kWh/m <sup>2</sup> ]
Referansebygg	174,9173166	119,2399065	294,1572232
Referansemodell	175,2844262	106,0751919	281,3596182
<b>Gløshaugen</b>	171,5	113,7	285,2

	Gløs	Ref.bygg	Ref.modell
EL [kWh/m <sup>2</sup> ]	171,50	174,92	175,28
FV [kWh/m <sup>2</sup> ]	113,70	119,24	106,08
Total [kWh/m <sup>2</sup> ]	285,20	294,16	281,36
EL Avvik [kWh/m <sup>2</sup> ]		3,42	3,78
FV Avvik [kWh/m <sup>2</sup> ]		5,54	7,62
Total Avvik [kWh/m <sup>2</sup> ]		8,96	3,84
EL Prosentvis avvik [%]		1,95 %	2,16 %
FV Prosentvis avvik [%]		4,65 %	7,19 %
Total Prosentvis avvik [%]		3,05 %	1,36 %

According to Natasa				
	Number of buildings		Area netto [m <sup>2</sup> ]	
until 1950	8	17,4%	31629,95	10,63 %
1951-1960	14	30,4%	57275,57	19,25 %
1961-1970	12	26,1%	80760,06	27,14 %
1971-1980	3	6,5%	27927,0981	9,39 %
1981-1990	3	6,5%	16462,611	5,53 %
1991-2000	4	8,7%	62989,0389	21,17 %
2001-2010	1	2,2%	4460,02695	1,50 %
2011-2020	1	2,2%	16041,8806	5,39 %
	<b>46</b>	<b>100,0%</b>	<b>297546,23</b>	<b>100,00 %</b>
	Number of buildings		Area netto [m <sup>2</sup> ]	
Kohort 1	8	17,39 %	31629,9484	10,63 %
Kohort 2	26	56,52 %	138035,628	46,39 %
Kohort 3	9	19,57 %	51763,45	17,40 %
Kohort 4	3	6,52 %	76117,21	25,58 %
Sum	46	1	297546,232	1

## **A.12 Beregning av besparingspotensial for Gløshaugen**

	EL [kWh/m <sup>2</sup> ]	FV [kWh/m <sup>2</sup> ]	Total energibruk [kWh/m <sup>2</sup> ]
Bygg 1	149,7	150,1	299,8
Bygg 2	132,2	119,6	251,8
Bygg 3	303,2	104,2	407,4
Bygg 4	176,4	109,9	286,3
P1 Bygg 1	150	116,4	266,4
P1 Bygg 2	132,3	95,4	227,7
P1 Bygg 3	302,9	90,2	393,1
P1 Bygg 4	176,4	81,2	257,6
P2 Bygg 1	149,9	114	263,9
P2 Bygg 2	132,3	93,2	225,5
P2 Bygg 3	303	88,3	391,3
P2 Bygg 4	176,3	79,7	256
P3 Bygg 1	149,2	63,4	212,6
P3 Bygg 2	131,8	53,9	185,7
P3 Bygg 3	302,7	41,9	344,6
P3 Bygg 4	176,1	40,4	216,5
P4 Bygg 1	149,4	26,3	175,7
P4 Bygg 2	131,9	27	158,9
P4 Bygg 3	302,7	26	328,7
P4 Bygg 4	176	32,1	208,1

	EL kWh	Fv kWh
Bygg 1	4 735 003	4 747 655
Bygg 2	18 248 310	16 509 061
Bygg 3	15 694 677	5 393 751
Bygg 4	13 427 075	8 365 281
P1 Bygg 1	4 744 492	3 681 726
P1 Bygg 2	18 262 114	13 168 599
P1 Bygg 3	15 679 148	4 669 063
P1 Bygg 4	13 427 075	6 180 717
P2 Bygg 1	4 741 329	3 605 814
P2 Bygg 2	18 262 114	12 864 921
P2 Bygg 3	15 684 325	4 570 712
P2 Bygg 4	13 419 464	6 066 541
P3 Bygg 1	4 719 188	2 005 339
P3 Bygg 2	18 193 096	7 440 120
P3 Bygg 3	15 668 796	2 168 888
P3 Bygg 4	13 404 240	3 075 135
P4 Bygg 1	4 725 514	831 868
P4 Bygg 2	18 206 899	3 726 962
P4 Bygg 3	15 668 796	1 345 850
P4 Bygg 4	13 396 629	2 443 362

	Elektrisitet [kWh]	Fjernvarme [kWh]	Total [kWh]
Referansemodell	52 105 066	35 015 749	87 120 815
P1	52 112 830	27 700 105	79 812 935
P2	52 107 231	27 107 989	79 215 220
P3	51 985 320	14 689 483	66 674 803
P4	51 997 838	8 348 042	60 345 880

	Elektrisitet [MWh]	Fjernvarme [MWh]
Ref.modell	52 105	35 016
P1	52 113	27 700
P2	52 107	27 108
P3	51 985	14 689
P4	51 998	8 348

<b>Avvik MWh</b>			
	Elektrisitet	Fjernvarme	Prosentvis
P1	-7,76	7 315,64	14,04 %
P2	-2,17	7 907,76	15,18 %
P3	119,75	20 326,27	39,01 %
P4	107,23	26 667,71	51,18 %

## **A.13 Beregning av besparingspotensial i kr for Gløshaugen**



## Kostnader

<b>Tall fra NTNU drift</b>	2017	2016
Elektrisitet	0,9	0,9
Fjernvarme	0,9886	0,9713

Regner ut gj.snitt  
pris for rapporten

	kr/kWh
Elektrisitet	0,9
Fjernvarme	0,97995

<b>MWh</b>	Elektrisitet	Fjernvarme	EL Pris	FV Pris	Tot Pris
Ref.modell	52 105,07	35 015,75	46 894 560	34 313 683	81 208 243
P1	52 112,83	27 700,11	46 901 547	27 144 718	74 046 265
P2	52 107,23	27 107,99	46 896 508	26 564 473	73 460 982
P3	51 985,32	14 689,48	46 786 788	14 394 959	61 181 747
P4	51 997,84	8 348,04	46 798 054	8 180 663	54 978 718
<b>MWh</b>	Elektrisitet	Fjernvarme	EL Pris	FV Pris	Tot Pris
P1	-7,76	7 315,64	-6 987	7 168 965	7 161 978
P2	-2,17	7 907,76	-1 949	7 749 210	7 747 261
P3	119,75	20 326,27	107 772	19 918 724	20 026 496
P4	107,23	26 667,71	96 505	26 133 020	26 229 525