



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2020 30 stp**  
REALTEK

## **Detektering av energitilstander til moduler av krysslåst tre i perioden 2014 til 2019**

Detecting energy states of CLT modules in the  
period 2014 to 2019

**Amira Elazzouzi**  
Byggeteknikk og arkitektur

## Forord

Denne oppgaven er skrevet ved fakultetet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU, våren 2020. Oppgaven er avsluttende for masterstudiet byggeteknikk og arkitektur med fordypning bygningsfysikk og utgjør 30 studiepoeng.

Det har vært en lang og lærerik periode med innspill fra mange kunnskapsrike personer. Gjennom arbeidet med masteren har jeg vært heldig å komme i kontakt med flere aktører innad forskningsmiljøet på NMBU. Det har både vært spennende, så vel som utfordrende å knytte bygningsfysikk opp mot andre disipliner som statistikk og programmering.

Jeg vil takke min hovedveileder professor Tormod Aurlien for tålmodighet, engasjement og støtte. Han har vært et viktig forbindelsesledd i kontakt med aktører som Kristine Nore, Kristian Liland og Tom Ringstad. Det har vært givende å være i dialog med dem og resultert i mange gode samtaler.

Takk til Signe Kroken, avdelingsingeniør på BIOKLIM ved NMBU med anskaffelse av værdata fra Søråsfeltet, Tom Ringstad for innspill, og informasjon om målingene på Søråsjordet og Kristian Liland for statistikkveiledning.

Takk til medstudenter og forskningsmiljøet på NMBU.

Takk til familien min og mine beste venninner Dalia, Deqa og Saba for all støtten gjennom masterskrivingen og hele utdanningsperioden.

Ås, 20. juli 2020

---

Amira Elazzouzi

## Sammendrag

Denne studien har som ønske å øke kunnskap på modellaging. Det innebærer å knytte modell opp mot virkelighet. Studien har sett på om en empirisk modell gir nok informasjon om energien som brukes i en bygning. Studien tar for seg detektering av energitilstander til moduler av krysslimtre i perioden 2014 til og med 2019. Med energitilstander menes en bestemt energikurve som kan relateres til en bestemt periode. I perioden er det flere parametere som påvirker bygget. Det kan være parametere som sol, vind eller energiøkonomiske tiltak som veggisolering og vindusinnsetting. Ved å studere disse energitilstandene kan man finne ut av når de inntreffer og hvilke parametere som er ledende for energibruken.

Fra energidataene har det blitt utarbeidet modeller for ulike typer bygg ved å se på målt og beregnet energibruk, samt klimaparametere. Beregnet energibruk tar utgangspunkt i NS3031:2014 og målte verdier er hentet fra modulene i krysslimttre. Modulene er en del av forskningsprosjektet WEEE som ligger på Søråsjordet på Ås. Andre målte verdier er klimadata hentet fra meteorologisk værstasjon på samme sted som modulene. Dataene ble bearbeidet med hensyn til bygg og mikrometeorologi ved å se på energidata i sammenheng med klimaparametere som temperatur, vind og solstråling. I studien ble R Studio benyttet til å finne perioder for de ulike byggene, samt til å lage regresjonsmodeller. De lineære regresjonsmodellene som ble laget i denne studien var ikke optimale, basert på determinasjonskoeffisienten  $R^2$  til de ulike modellene. Determinasjonskoeffisienten gir informasjon om hvor stor andel av den målte energien som kan predikeres med en lineær kurve. I resultatene varierer determinasjonskoeffisient fra 0,3 til 0,9 for de forskjellige byggene. Det kreves mer forskning for å hente ut perioder med energidata som gir en determinasjonskoeffisient tilnærmet lik én.

## Abstract

This study aims to increase knowledge of modeling. It involves linking the model to reality. The study has looked at whether an empirical model provides enough information about the energy used in a building. The study deals with the detection of energy states in tiny houses of cross laminated timber (CLT) in the period 2014 to 2019. Energy states covers a specific energy curve that can be related to a specific period. During the period, there are several parameters that affect the building. Examples of parameters are solar radiation, wind and energy efficient measures such as wall insulation and windows. By studying these energy states, one can find out when they occur, and which parameters are dominant on consumption of energy.

Models for different types of buildings are made from measured and calculated energy consumption, as well as climate parameters. Calculated energy use is based on NS 3031:2014 and measured values are taken from the tiny houses or modules of cross laminated timber. The tiny houses are part of a research project called WEEE, which are located at a field named Sørås in Ås. Other measured values are climate data obtained from the meteorological weather station at the same place as the tiny houses. The data have been processed with regard to the building and micrometeorology by looking at energy data in connection with climate parameters such as temperature, wind and solar radiation. This study uses R Studio to find periods for the various buildings, as well as to create regression models. The linear regression models made in this study were not optimal, based on the coefficient of determination  $R^2$ . The coefficient of determination provides information on how well a linear model can predict the measured energy. In the results the coefficient of determination varies from 0.3 to 0.9 for the different buildings. More research is required to extract time periods with energy data that results in a coefficient of determination approximate to one.

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>I</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>II</b>
<b>Begreper</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 Innledning og problemstilling</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introduksjon.....	1
1.2 Bakgrunn.....	2
1.3 Avgrensninger.....	5
1.4 Formål og problemstilling.....	6
<b>2 Teori</b> .....	<b>7</b>
2.1 Varmetransportskoeffisient.....	7
2.2 Varmebalanse.....	10
2.3 Effekt og energi.....	11
2.4 Klimadata.....	13
2.4.1 Solstråling.....	13
2.4.2 Vind.....	14
2.4.3 Temperatur.....	14
2.5 Empiriske modeller.....	16
2.6 Energi- og Temperaturkurve.....	17
<b>3 Metode</b> .....	<b>18</b>
3.1 Behandling av data.....	18
3.2 Kontrollsjekk av data.....	22
<b>4 Resultater</b> .....	<b>24</b>
4.1 Energi.....	24
4.2 Varmetransportskoeffisient, H.....	26
4.3 Modeller.....	28
4.3.1 Tilstand 1.....	28
4.3.2 Tilstand 2.....	31
4.3.3 Tilstand 3.....	34
4.3.4 Tilstand 4A.....	37
<b>5 Diskusjon</b> .....	<b>39</b>
5.1 Forskningsspørsmål 1.....	39
5.2 Forskningsspørsmål 2.....	41
5.3 Forskningsspørsmål 3.....	43
<b>6 Konklusjon</b> .....	<b>45</b>
<b>7 Videre arbeid</b> .....	<b>46</b>

<b>Litteratur</b> .....	<b>47</b>
<b>Vedlegg</b> .....	<b>49</b>
VEDLEGG A: Beregnet varmetransportskoeffisient.....	49
VEDLEGG B: Databehandling.....	56
VEDLEGG C: Energimodeller.....	79
VEDLEGG D: Varmetransportskoeffisient.....	87
VEDLEGG E: Klimakorrigerings.....	91
Graddager.....	91
Solstråling.....	95
Luftfuktighet.....	97
Vind.....	98
VEDLEGG F: Luftinfiltrasjon.....	100

## Begreper

Big data	Ekstremt store mengder med data
BIOKLIM	Bioklimatiske studier ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet
BRA	Bruksareal, arealet innenfor ytterkonstruksjonen
DiBK	Direktoratet for byggkvalitet, sentral myndighet for det bygningstekniske regelverket
ENØK	Energiøkonomisk
Graddagtall	Utarbeides fra temperaturdifferanser som en klimaindeks for å se hvordan klimaet er i forhold til oppvarmingsbehovet
Infiltrasjonstall	Mål på et byggs uønsket luftinfiltrasjon
Klimaskjerm	Bygningers ytterkonstruksjon
Mikrometeorologi	Atmosfæriske fenomener i liten skala
NS	Norsk Standard er utgitt og fastsatt av Standard Norge
Regresjon	Kurvetilpasning av eksisterende data ved grafisk fremstilling
SD	Sentraldriftsanlegg
TEK	Byggeteknisk forskrift
TEK17	Byggeteknisk forskrift utarbeidet av direktoratet for byggekvalitet, tråde i kraft i 2017.

Varmegjennomgangskoeffisient, U-verdi	Stasjonær varmestrøm dividert med arealet og temperaturforskjellen mellom hver side av et system. Forutsetter en definisjon av systemet. Referansetemperaturer og andre grensebetingelser etter betingelsesstandarder og prøvingsstandarder.
Varmetapstall	Varmetransportskoeffisient for transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon dividert med oppvarmet bruksareal (BRA)
Varmetransmisjon	Varmetransport som skyldes varmegjennomgang i bygningsdeler
Varmetranspotskoeffisient	Varmestrøm pga. transmisjon og ventilasjon dividert med temperaturdifferansen mellom to miljøer
WEEE	Forskningsprosjekt hvor bokstavene står for Wood, Emissions og Experience.



# 1 Innledning og problemstilling

## 1.1 Introduksjon

Globale målsetninger om å redusere klimagassutslipp har rettet fokuset mot energieffektive bygg. Energi utgjør en vesentlig del av klimaregnskapet og bærekraftsmål 7 innebærer at alle skal ha tilgang til ren energi. I følge FN må energieffektiviteten doubles innen 2030 (FN-sambandet, 2020). Bygg og anlegg er en av de største bransjene i Norge og har et stort potensial for å øke energieffektiviteten. For å måle energieffektiviteten kreves det teknologi og utstyr, dette gir underlag for å sikre bærekraftsdelmålet 7.1 «sikre allmenn tilgang til pålitelige og moderne energitjenester til en overkommelig pris». Energieffektivitet i byggebransjen vil redusere klimabelastningen.

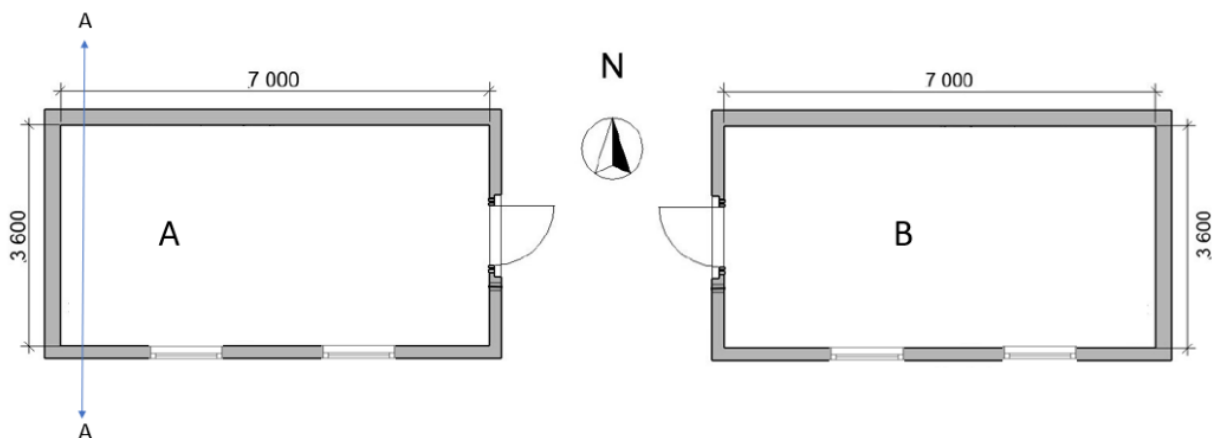
Teknologien i bygg har utviklet seg så betraktelig at energidata kan leses i sanntid og behandles nesten uten forpliktelse. Det er vanlig å inkorporere energimålinger i smarthusløsninger, byggene installeres med sensorer som samler inn data til beregnede- og optimaliserende systemer. Systemene gir umiddelbare varslinger om at energiforbruket er for høyt som følge av at for eksempel vinduet har stått åpent. Dette gjør at uønskede driftstilstander kan oppdages hurtig. Fremskrittene som har blitt gjort innen smarthus skyldes enorme datamengder, så kalt big data og analyseringsverktøy. Big data danner et godt grunnlag for å utvikle modeller ettersom en modell forutsetter tilstrekkelig tilgang på data. Smarthusteknologien har spredt seg til allmenne hjem etter at det ble bestemt at alle strømkunder i Norge innen 1. januar 2019 skal ha tilgang til smarte strømmålere (Sæle et al., 2018). Dette innebærer at energiforbruket til private husholdninger lagres hos de store strømselskapene, og denne informasjonen kan være av verdi. Hvordan energi brukes kan fortelle mye om hvordan et menneske velger å leve og hvilke vaner det har. Det kan være urovekkende at strømselskaper sitter på informasjon som kan være av interesse for flere andre aktører.

Denne studien har som ønske å øke kunnskap på modellaging, som innebærer å knytte modell opp mot virkelighet. Relevant og pålitelige klimadata skal bearbeides med hensyn til bygg og mikrometeorologi. Med mikrometeorologi menes atmosfæriske fenomener i liten skala. Kombinasjonen av bygg og klimadata er sentral for planlegging og prosjektering av bygg. Det gir muligheten til å utforske om klimaet som er registrert av observasjonsstasjoner stemmer

overens med mikroklimaet rundt bygget. I studien skal vi se på energidata i sammenheng med klimaparameterne temperatur, vind og solstråling. Det benyttes norsk standard NS 3031:2014 til å beregne bygningers energiytelse. Fra energidataene skal det utarbeides modeller for ulike type bygg avhengig av energiøkonomiske tiltak som har blitt iverksatt.

## 1.2 Bakgrunn

I denne oppgaven blir data fra forskningsprosjektet WEEE benyttet. WEEE står for Wood, Energy, Emissions og Experience. WEEE prosjektet se figur 1.1, ble satt opp for å se på bruken av innendørs eksponert krysslimtetre og hvordan det påvirker innendørs klima. Forskningsprosjektet registrer data som temperatur, relativ fuktighet og energibruk ved hjelp av sensorer. Innendørs klimadata fra modulene brukes i denne masteroppgaven. Det er programmert et system i Labview som oppfyller målsettingen med å måle og lagre data. Forskningsprosjektet er fra 2013 og har over seks år med data. Fra datamengden skal energi og innetemperatur brukes videre til å lage grafiske modeller for bestemte energitilstander.



Figur 1. 1 WEEE prosjektet består av to testhus på Søråsjordet. Testhusene er kjent som modul A og modul B. Testhusene ble satt opp i 2013 og tilhører bioklimatiske studier (BIOKLIM) ved NMBU. De er på ca.25m<sup>2</sup> og begge har to vinduer mot sør. Vegger med dør og vindu har 50mm mindre isolasjon enn resterende vegger på 150mm. Modul A viser snitt A-A.

Studien benytter seg av klimadata hentet fra BIOKLIM. BIOKLIM som står for bioklimatiske studier, er en værstasjon på samme felt som WEEE modulene se figur 1.2. Klimadata som registreres og benyttes i denne studien er utetemperatur, global stråling og vindhastighet. Global stråling er summen av direkte og diffus solstråling og måles av et instrument kalt pyranometer. Intensiteten oppgis som timesummer i W/m<sup>2</sup>. Værstasjonen registrerer lufttemperatur og vindhastighet hvert tiende minutt. Lufttemperaturen måles i en

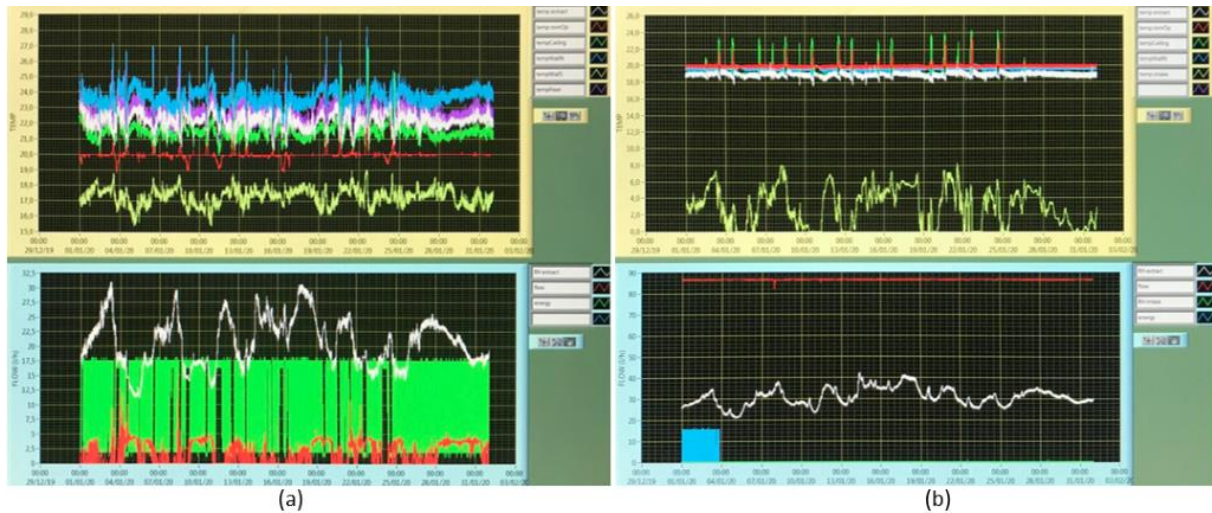
meteorologisk instrumenthytte i 2 meters høyde. Den automatiske målingen foregår ved hjelp av platina motstandstermometer. For kontroll av datakvalitet avleses også lufttemperaturen manuelt. Vindhastighet måles 10 meter over bakken av et ultralydanemometer og oppgis i horisontalplanet (Grimenes & Thue-Hansen, 2010; Wolff et al., 2020).



Figur 1. 2 Feltet ligger på et flatt og åpent område, uten bebyggelse rundt. Testhusene er kjent som modul A og modul B. Denne betegnelsen brukes videre i oppgaven. I dette prosjektet benyttes måldata fra begge modulene.

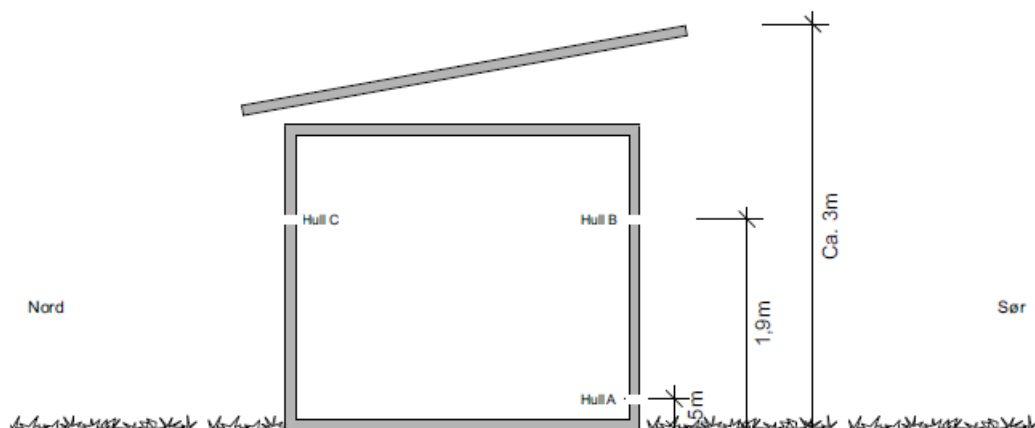
Energi- og temperaturmålinger fra WEEE loggføres automatisk i Labview, se figur 1.3. De logges i et arkiv for hver modul med flere månedsfiler som ikke kan fjernleses. Energibruken i modul A er summen av strømforbruket til en datamaskin, viften i ventilasjonsanlegget og en elektrisk varmeovn med manuell av-på-termostat. I modul B er det ingen datamaskin eller avtrekksvifte, den har kun en manuell av-på-termostat varmeovn. B modul har naturlig ventilasjon uten mekanisk avtrekk sammenlignet med A modul som har mekanisk avtrekk. Den automatisk lagrede energibruken kan leses av i Labview for hvert minutt som wattimer, Wh. Fem temperatursensorer er koblet opp til datamaskinen og kan leses av i grader celsius. I denne studien benyttes temperatursensoren på innsiden av ventilasjonsavtrekket som innetemperatur.

Labview programmet slår av varmeovnen når romtemperaturen overstiger 20 grader C. Labview oppsettet kan anses som et enkelt driftskontrollsystem. Det er vanlig med sentrale driftskontrollsystem (SD) i større bygg som for eksempel et universitet. Labview logger og styrer energi og temperatur i modulene.



Figur 1. 3 Målinger i Labview viser fem forskjellige grafer for temperaturmålinger i de øverste rammene og i de nederste rammene vises grafer for energi, luftfuktighet og ventilasjonstrykk. For (a) modul A er energien illustrert som en grønn graf og viser ca. 17,5 Wh. Målingene fra B modulen er vist i figur (b) her er energien illustrert som en blå graf i nederste ramme, verdien ligger mellom 10 og 20 Wh. Legg merke til at grafen stopper brått 03.januar 2020.

I 2019 ble det laget flere store lekkasjepunkter i modul A. Disse lekkasjene ble laget i forbindelse med en masteroppgave om luftlekkasjer. Lekkasjehullene har en diameter på 100 mm og er kjent som B og C (Brænden & Aurlien, 2019). Hull A med diameter på 130 mm ble laget på et tidligere tidspunkt, men ble dekket til. Hull A og B befinner seg på sørveggen, hull C er i nordveggen, se figur 1.4. Hullene dekkes til med plastlokk og gaffateip når det ikke foretas tester.



Figur 1. 4 Snitt A-A med luftlekkasjer i modul A. Kilde: Brænden & Aurlien, 2019.

### 1.3 Avgrensninger

Forskningsprosjektet WEEE har hatt store endringer over tid. Dataene registreres i Labview så lenge programmet får kjøre på datamaskinen. Stopper programmet blir det ikke registrert noe data, det blir heller ikke registrert data når utstyr er defekt. Datasettet fra modulene har noen avvik i form av at det mangler data eller at det i visse perioder registres kun maksimum- eller minimumsverdier. Dette kommer av at ingen har vært ansvarlig for å drifte WEEE prosjektet eller vedlikeholde måleapparatene. Dataene viser spesielt avvik i luftfuktighet, men det forekommer også avvik i energidata. Et eksempel på det er energimåleren i B modul som slutter å virke 03.januar 2020 klokken 19:35, se figur 1.3 b). Det er flere eksempler på at innendørs eller utendørs luftfuktighetsmåler har sluttet å virke. I B modul slutter utendørs luftfuktighetsmåler å virke 11.februar 2015. I A modul gir innendørs luftfuktighetsmålinger avvik fra 30.januar 2014 til 19.februar 2014. Studien benytter seg ikke av luftfuktighetsmålingene. Energimålingene etter 31.12.2019 tas heller ikke med. Utenfor B modulen måles det temperatur på nordsiden. Denne temperaturmåleren måler kun varmegrader. Er det minusgrader blir temperaturregistreringene 0 °C.

Andre begrensninger i studien omfatter måleperioden, datamengden og usikkerhet i målingene. Måleperioden på seks år er relativt kort med tanke på at temperatur normalt midles over en 30-årperiode (Grimenes & Thue-Hansen, 2010; Thue, 2016, s. 94). Det blir ikke laget en egen ukenormal basert på 30 års normal for en måned. Omfanget av studien ligger i mengden rådata som har blitt samlet inn, størrelsen er for stor for Excel og må behandles i et databehandlingsprogram som kan håndtere størrelsen. I studien blir ikke karakteristiske varmetekniske egenskaper for bygningsdeler, som U-verdi og kuldebro tatt hensyn til (Thue, 2016). Det er usikkerhet knyttet til manuell avlesning av energi. Energien har blitt manuelt loggført siden 2014, men lagringen av disse dokumentene har ikke blitt opprettholdt. Manuelle avlesninger av energi blir dermed ikke tatt med i studien. Vindhastighet fra BIOKLIM har avvik på grunn av rim som kan gi spesielt høye verdier i rådata. For å utelukke eventuelle feil i klimadata benyttes timesverdier framfor rådata. Rådata har registreringer for hvert 10.minutt. Timesdata er verifiserte data gjort ved bioklimatiske studier ved NMBU.

## 1.4 Formål og problemstilling

Denne oppgaven ønsker å se på detektering av energitilstander til moduler av krysslindre i perioden 2014 til 2019. Med energitilstander menes en bestemt energikurve som kan relateres til en bestemt parameter som påvirker bygget. Det kan være parametere som sol, vind eller bygningsmessige egenskaper som isolasjon. Ved å studere disse energitilstandene kan man finne ut av hva som skiller dem, årsaken til at de inntreffer og hvordan de detekteres.

Studien ønsker å kvalitetssikre metodene for fremstilling av energidata og se om empiriske modeller gir informasjon i sanntid. For å se nærmere på dette er det formulert en problemstilling som understøttes av tre forskningsspørsmål.

### *Problemstilling*

Kan en empirisk modell detektere energitilstander?

### *Forskningsspørsmål*

1. Hvilke indikasjoner ved tilstand til bygg får man av å sammenligne målt varmetransportskoeffisient med beregnet varmetransportskoeffisient?
2. Indikerer energimodellen endring av klimaskjermen?
3. Er en empirisk modell et godt verktøy i detektering av energi som energioppfølgingssystem?

I praksis innebærer dette å kontrollere energibruken ved å sammenligne den reelle varmetransportskoeffisienten i forhold til den beregnede. For å få til dette kreves et sammenlignbart tallmateriale. Det skal lages empiriske analyser basert på sammenhengen mellom klimaforhold og energibruk, samt klimakorrigere energibruken.

Motivasjonen for å skrive denne oppgaven er å komme frem til en fremstilling av energi som kan detektere avvik. Studien har vitenskapelig betydning for energieffektive bygg og hvordan fremstille energi i form av en enkel modell.

## 2 Teori

Dette kapitlet omhandler teori og prinsipper som danner grunnlaget for denne studiens analyser og metoder. Først presenteres varmetransportskoeffisient, med vekt på beregningsmetoder for energibehov i bygninger. Videre presenteres energi og klimadata. Klimadata omfatter temperatur, solstråling og vindhastighet.

### 2.1 Varmetransportskoeffisient

Varmetransportskoeffisienten ( $H$ ) er en vesentlig del av varmebalansen for en bygning. I Standard NS3031:2014 er varmetransportskoeffisient definert som varmestrøm på grunn av transmisjon og ventilasjon dividert med temperaturdifferansen mellom to miljøer (Standard Norge, 2014). Varmetransportskoeffisienten er en del av energiregnskapet og er knyttet til spesifikt varmetap, med spesifikt varmetap menes varmetapet når temperaturforskjellen over klimaskjermen er 1 Kelvin. Varmetapet dividert på oppvarmet bruksareal gir varmetapstallet. Det er varmetapstallet som inkluderes i samlet energibehov for en bygning. Samlet energibehov er nødvendig for å beregne energieffektiviteten til bygninger (Edvardsen & Ramstad, 2014).

Til beregning av varmetransportskoeffisient skal NS3031:2014 benyttes (Standard Norge, 2020). Våren 2020 publiserte Standard Norge en ny norsk spesifisering SN-NSEPK 3031:2020 *Bygningers energiytelse — Beregning av energibehov og energiforsyning*, som erstatter den tidligere fra 2016. Direktoratet for byggekvalitet (DiBK) tillater bruk av både spesifiseringen, SN-NSEPK 3031:2020 og standarden NS 3031 til å beregne energibehov. En vesentlig forskjell mellom SN-NSEPK 3031:2020 og NS 3031 er at SN-NSEPK 3031:2020 har definert varmetransportskoeffisient uten infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap. Infiltrasjonsvarmetapet har blitt erstattet med varmetransmisjonstap til tilliggende bygninger. Det utarbeides en ny norsk standard for beregning av energi som skal samsvare med den europeiske standarden NS-EN ISO 52000-1:2017. Den nye standarden og muligens TEK vil ta utgangspunkt i SN-NSEPK 3031:2020. Varmetransportskoeffisienten i norsk standard er oppgitt som summen av varmetransmisjonstap og infiltrasjonsvarmetap se formel 2.1 (Standard Norge, 2014). Varmetransportskoeffisienten kan også beregnes ved å ta målt energi dividert på målt temperaturdifferanse. I denne studien benyttes standard NS 3031:2014 til å beregne varmetransportskoeffisienten som sammenlignes med målt varmetransportskoeffisient.

$$H = H_D + H_U + H_g + H_v + H_{inf} \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (2.1)$$

Hvor  $H_D$  er direkte varmetransmisjonstap til det fri gjennom yttervegger, tak, gulv, vinduer, dører og kuldebruer,  $H_U$  er varmetransmisjonstap til uoppvarmede soner i bygget,  $H_g$  er varmetap mot grunnen,  $H_v$  er ventilasjonsvarmetap og  $H_{inf}$  er infiltrasjonsvarmetap gjennom luftlekkasjer. Varmetransportskoeffisienten kan brukes til å regne varmetapstallet.

Varmetapstall kan oppgis med poster satt opp i et varmetapsbudsjett. Postene inkluderer yttervegger, yttertak, gulv, kuldebroer, vinduer og dører. Varmetapstallet er en del av energiberegningene til en bygning. I likhet med varmetransportskoeffisienten har det i 2020 kommet endringer om at varmetapstallet ikke inkluderer infiltrasjon i beregningene. I byggeteknisk forskrift står det i paragraf § 14-2 (2) at “energitiltakene kan fravikes forutsatt at bygningens varmetapstall ikke øker, samtidig som kravene i § 14-3 oppfylles” (Byggeteknisk forskrift, 2017). Dette gir rom for å gjøre de endringene man ønsker så lenge man holder seg under maksimumskrav, se figur 2.1, og beregnet varmetapstall.

U-verdi yttervegg [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m <sup>2</sup> K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5

Figur 2. 1 Maksimumskrav hentet fra §14-3. Kravene gjelder for til alle bygg med unntak av laftede bygg. Kilde: Byggeteknisk forskrift

Varmetapet gjennom bygningsdelene er knyttet til transmisjonstap gjennom de samme bygningsdelene som er oppgitt som poster i et varmetapsbudsjett, det vil si yttervegger, tak, gulv, vinduer, dører og kuldebruer. Dette gjelder når vi har en temperaturforskjell over bygningsdelen. Varmetapet bestemmes av areal og varmegjennomgangskoeffisient for hver enkelt bygningsdel se formel 2.2. Bygningsstandarden til et bygg vil komme til uttrykk gjennom varmetapet. Transmisjon står for det største varmetapet, sammenlignet med ventilasjon og infiltrasjon. Hvis man regner med forenklet metode kan man se bort fra kuldeboer, da vil de to siste leddene i formel 2.2 falle bort.

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \Psi_k + \sum_j \chi_j \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (2.2)$$



Der  $A_i$  er arealet til bygningsdelen basert på totalt mål i  $m^2$  og  $U_i$  er varmegjennomgangskoeffisienten for ugjennomsiktige bygningsdeler målt i  $W/(m^2K)$ . De resterende leddene tas ikke med i forenklet beregningsmetode av transmisjonstap, vedlegg A.

En mindre del av varmetapet skyldes ventilasjonen og det vil øke proporsjonalt med luftmengdene som skiftes ut og temperaturforskjellen mellom inne og ute. Naturlig ventilasjon er uten ventilasjonsvifter, da vil luftvekslingen variere med temperaturforskjellen og vindforholdene. Når man regner på ventilasjon tar man ikke hensyn til friskluft som skyltes lufting. Ventilasjon uten varmegjenvinning gir en gjenvinningsgrad lik null.

$$H_v = 0,33 \times \dot{V}(1 - \eta_T) \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (2.3)$$

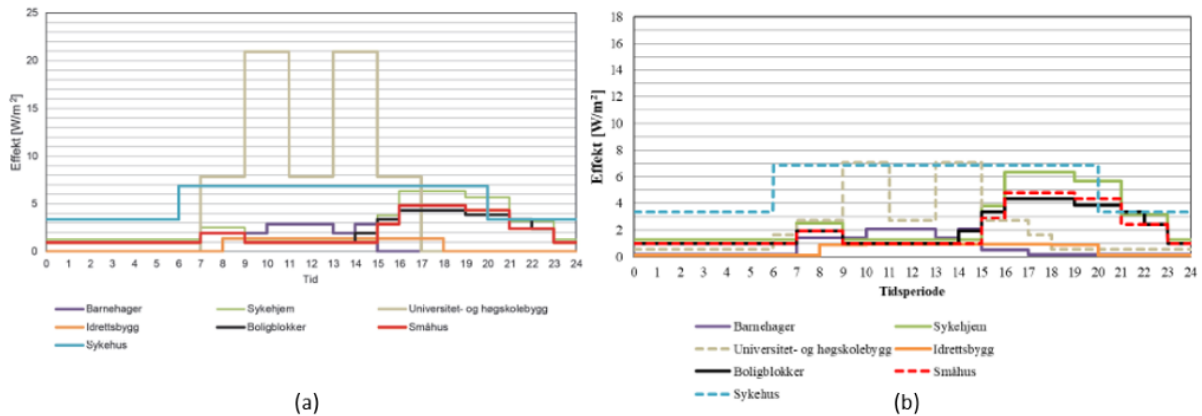
Der  $\dot{V}$  er gjennomsnittlig ventilasjonsluftmengde i  $m^3/h$ ,  $\eta_T$  er temperturvirkningsgrad for varmegjenvinner.

Infiltrasjonsvarmetap skyldes luftveksling utenom ventilasjonsanlegget. Et eksempel på det er varmetap gjennom utettheter i klimaskjermen. Konsekvensene av luftlekkasjer øker med bedre varmeisolasjon (Thue, 2016). Store luftlekkasjer gir utilsiktet ventilasjon og økt ventilasjonstap. Samtidig som lufthastigheten øker vil varmetapet øke ved at romtemperaturen heves for å redusere ubehag ved trekk. Infiltrasjonsvarmetap gir erfaringsmessig det minste varmetapet, se vedlegg A. Formelen for infiltrasjonsvarmetap er gitt ved

$$H_{inf} = 0,33 \times n_{inf} V \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (2.4)$$

Hvor  $n_{inf}$  er luftskifte for infiltrasjon og  $V$  er oppvarmet luftvolum i  $m^3$ . Varmetilførsel i en bygning kan komme fra oppvarmingsanlegget, teknisk utstyr og strålingsvarme. Andelen avhenger av differansen mellom summen av tapsleddene fratrukket varmetilskuddene. Varmegevinst fra teknisk utstyr innebærer varmetilførsel fra utstyr som har andre formål enn å holde romtemperaturen på et bestemt nivå, som for eksempel datautstyr. Varmetilførselen fra datautstyr er liten i bolighjem, og det er vanlig å se bort fra den når dimensjonerende effektbehov for oppvarming beregnes. I standard NS 3031:2014 i tabell A2 finner man normerte verdier for varmetilskudd fra utstyr gitt en bygningstype. For småhus ligger denne verdien fra utstyr på  $1,80 W/m^2$  eller  $10,5 kWh/(m^2\text{år})$ . Verdiene representerer ikke reelle forhold og er å anse som usikre. Det har også kommet nye verdier for varmetilskudd i SN-NSEPK 3031:2020. I motsetning til teknisk utstyr innvirker varmegevinst fra solstråling

betraktelig på et byggs varmebalanse. Det blir ikke tatt hensyn til tilført strålingsvarme gjennom ugjennomsiktig vegger og tak. I denne studien er det ingen gjennomsiktige vegger, kun gjennomsikt vinduer. Stråling gjennom vinduene tas med i energiberegningene (vedlegg A).



Figur 2.2 (a) viser varmetilskudd i  $W/m^2$  hentet fra NS3031:2014 og (b) viser varmetilskudd fra SN-NSEPK 3031:2020. Aksen med effekt verdier er ikke identisk, men figurene viser lik utvikling for bygningskategorien småhus som studeres i denne studien.

## 2.2 Varmebalanse

Det er flere metoder for å beregne varmebalansen for en bygning som et helhetlig system.

Varmetapene fastsettes under bestemte, gitte forutsetninger eller ekstreme

forhold. Energibehovet avgjøres som regel av gjennomsnittlige normale forhold med hensyn til temperatur, stråling og varmetilskudd. Varmetilførselen bestemmes av betingelser og krav

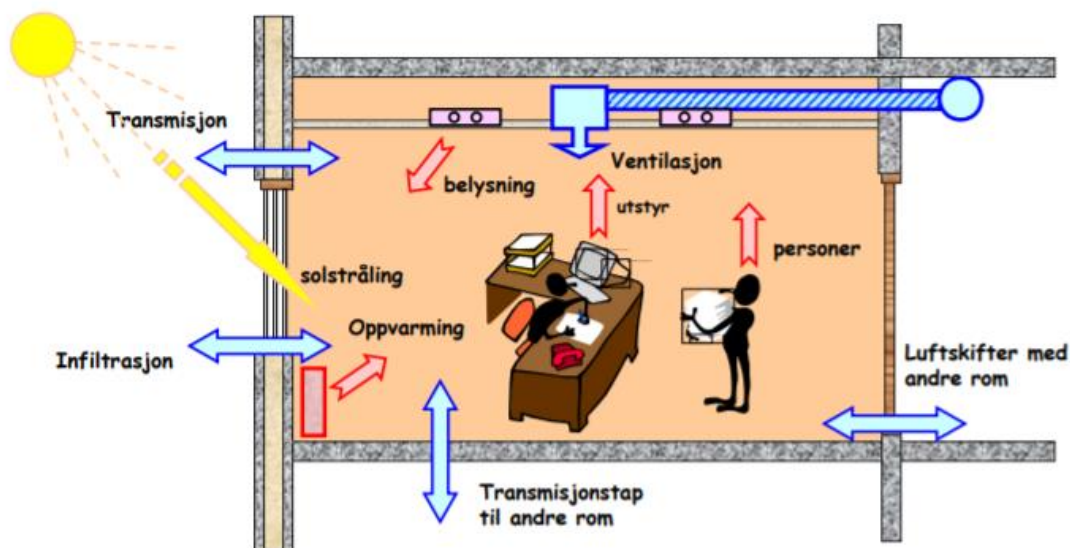
som er gitt. Den brukes til å beregne månedlig eller årlig energibehov til oppvarming og

ventilasjon som videre skal benyttes til fastsetting av den totale energibruken for når bygget er i bruk slik at det kan sammenlignes med tilsvarende bygg. Energibehovet finner man ved å ta gjennomsnittlig effektbruk av en valgt periode og multiplisere med periodens

lengde. Effektbehov og energibehov inneholder de samme komponentene, og er dermed to måter å si det samme på.

En bygning er et komplekst, dynamisk varmeteknisk system. Det finnes ulike metoder for å beregne energi- og effektbehov i bygninger med varierende grad av forenkling. Stasjonær metode for varmeberegning baserer seg på konstante temperaturer og varmestrømmer for hver enkelt beregningsperiode. Bygningsdelers varmekapasitet har ingen innvirkning på de termiske forholdene. Tidsrammen for stasjonær metode baserer seg på måned, uke eller

dag (Thue, 2016). For enkle bygg som bolig og lager kan stasjonær metode benyttes som omtalt i NS3031 og NS-EN ISO 52016-1:2017. Metoden benytter seg av varmegjennomgangskoeffisienten (U-verdi) til bygningselementene for å estimere totalt varmetap eller varmetilskudd som er avhengig av temperatur, det inkluderer ikke forandringer i solinnstråling eller personbelastning. Det blir heller ikke tatt hensyn til de dynamiske effektene til termiske masser i varierende klima. Empiriske metoder er unøyaktige og har lav tidsoppløsning, ofte et år eller eventuelt måneder. De har lav kompleksitet og beregnes med få antall parametere. Beregninger kan være basert på graddagtallet eller normtallet. Metoden er egnet for overslagsberegninger. Stasjonær og empirisk metode kan benyttes til å beregne energi- og effektbehov i bygg.

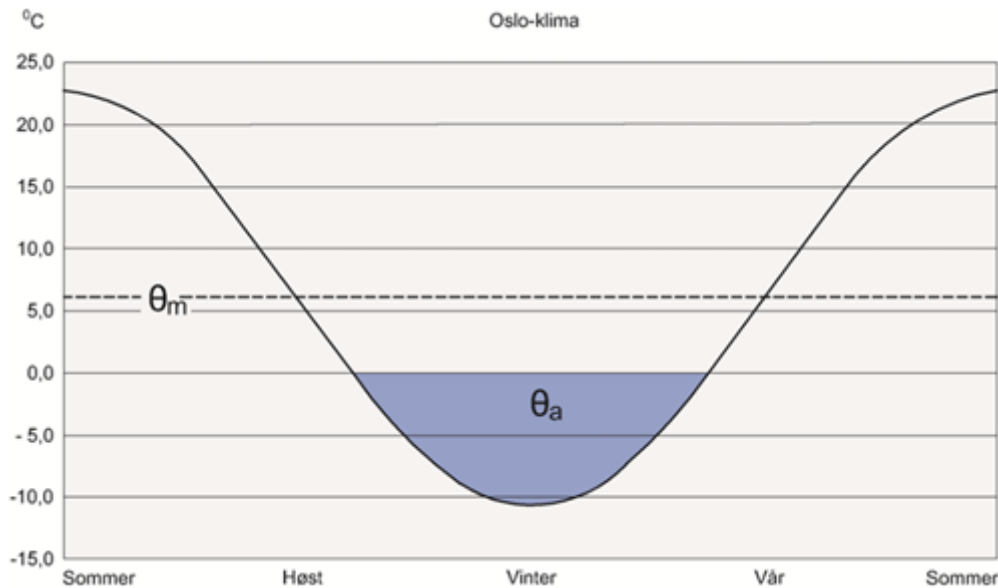


Figur 2.3. Illustrasjon av varmetap fra et oppvarmet rom mot andre nærliggende rom og det fri. Kilde: SINTEF

### 2.3 Effekt og energi

Til tross for at effekt- og energibehov beskriver det samme, er beregningsmetoden for hver av dem ulik. For effektberegninger brukes dimensjonerende temperaturdifferanse, men gjennomsnittlig temperaturforskjell benyttes for energiberegninger. Siden maksimalt effektbehov beregnes for de ugunstige periodene om vinteren ser man alltid bort fra varmetilskudd fra solstråling, utstyr og personer når man er usikker på tilskuddene. Energibehovet kan beregnes manuelt per måned og summeres for hele året, dette er kjent som månedsstasjonær metode. For enkle bygg er dette en tilstrekkelig nøyaktig metode (Thue, 2016). Metoden tar ikke hensyn til termisk lagring (varmekapasitet) og kjølebehov. Ved beregning av energibehov settes innetemperaturen litt høyere enn for beregning av effekt.

Anbefalt innetemperatur ved energiberegning er 21 grader celsius, men ved effektberegning benyttes 20 grader celsius. Dette er en marginal forskjell på 1°C. Utetemperaturen som benyttes til effekt- og energibehov gir en vesentlig forskjell sammenlignet med innetemperaturen. Det er vanlig å benytte årsmiddeltemperatur på energiberegninger og laveste tredøgnmiddeltemperatur for effektberegning. Denne studien benytter laveste frosttemperatur som står i byggeteknisk forskningsblad 451.021 *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring* som vil gi et konservativt anslag (SINTEF Byggforsk, 2018).



Figur 2. 4 Modell over Oslo-klima hvor  $\theta_m$  (stiplet linje) er årsmiddeltemperatur og temperaturvariasjonen,  $\theta_a$ , bestemmes basert på årsmiddeltemperatur og dimensjonerende frostmengde for stedet. Av figuren kan vi lese av temperatur for dimensjonerende frostmengde for Oslo som ligger på litt over -10 °C. Kilde SINTEF

Kommune		Temperatur (°C)				Frostmengde (h°C)					$H_0$ m
		$\theta_{1d}$	$\theta_{3d}$	$\theta_m$	$\theta_a$	$F_N$	$F_{10}$	$F_{20}$	$F_{50}$	$F_{100}$	
03	Oslo	-21,8	-19,8	6,1	16,7	7 000	14 000	17 000	20 000	23 000	1,6
0214	Ås	-23,1	-21,3	6,0	18,1	8 000	16 000	20 000	24 000	27 000	1,7

Figur 2. 5 Klimadata for Oslo kommune i forbindelse med termisk dimensjonering og frostsikring. Forskjellen mellom årsmiddeltemperatur og temperaturvariasjon mellom Oslo og Ås er ca. 1,5 °C. Kilde SINTEF

Det er satt krav til energi for bygg i forskriftene. Man kan benytte seg av flere metoder som energiltak, varmetapsbudsjett, energiramme og minstekrav for å finne ut om energibruken er

akseptabel i forhold til regelverket. Det er krav om å overholde minstekrav, samt en av de tre nevnte metodene. Kravet til energieffektivitet i TEK17 for småhus er 100 kWh/m<sup>2</sup> oppvarmet BRA pr år (Byggteknisk forskrift, 2017). Standard Norge har veiledning om formålsdelt etterprøving av bygningers energibruk SN/TR 30669, som er tenkt inn mot etterprøving av energibruk i næringsbygg. Dette bygger på kravene i TEK17 §14-2 ledd 5 (Standard Norge, 2019).

## 2.4 Klimadata

Klima har en innvirkning på oppvarmingsbehovet. Klimafaktorene som har primær innvirkning på årlig energibehov er lufttemperaturen, direkte og diffus solstråling, vindhastighet og luftas vandampinnhold (Thue, 2016, s. 88). Det er vanlig å redusere klimapåvirkningen til kun utelufttemperaturen, men sol og vind har også en prominent innvirkning på energibruken. Solstråling og vind påvirker oppvarmingsbehov og dermed energibruk (Dokka & Grini, 2013). Resultatet av energiberegningene er avhengig av kvaliteten på klimadata (Standard Norge, 2016), det er dermed viktig med pålitelige klimadata. NS-EN ISO 15927-4 gir metodikk for fastlegging av referanseår med timesverdier for disse klimaparameterne.

### 2.4.1 Solstråling

Solstråling bidrar til energitilførsel og kan benyttes som en klimaparameter. Den stråler gjennom vindu som global stråling som gir dagslys og varme. Global stråling er summen av direkte og diffus stråling fra sola, med bølgelengdeområdet for ultrafiolett lys, synlig lys og infrarødt lys, det vil si 295 til 2800 nm. Intensiteten av strålingsdata kan måles av et pyranometer i timesummer som W/m<sup>2</sup>. Pyranometeret måler strålingen som faller inn på en horisontal flate. Det er vanlig å omgjøre solstråling i W/m<sup>2</sup> til total innstråling pr dag i kWh/m<sup>2</sup> eller MJ/m<sup>2</sup> (Thue, 2016, s.101).

Sommer og vinter gir forskjellig utslag. På vinteren er sola lav og kommer direkte mot måleapparatet, som gir en forsterket effekt. Solinnstråling er vesentlig for energi i et bygg, i og med at den øker varmen på overflater. Strålingen blir også absorbert av bygningens klimaskjerm, men dette tas ikke hensyn til i beregninger.

### 2.4.2 Vind

Vindhastighet eller vindstyrke er lufthastigheten i horisontalretningen (Thue, 2016, s.112). Ved bakken er vindhastighet lik null, men den øker mot en maksimalverdi i en viss høyde. Grensesjiktet kan være 200-300m over jevn, dyrket mark (Thue, 2016, s.112). Vindstyrkens variasjon med høyden er gitt av formel

$$v(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot v_{10}\left[\frac{W}{K}\right] \quad (2.5)$$

Der  $v(z)$  er midlere vindhastighet i høyden  $z$  over bakken,  $v_{10}$  er referansevindhastighet i 10 m over bakke på lo side med flatt åpent terreng,  $z_0$  er terrengets ruhetslengde,  $k_r$  er en terrengruhetsfaktor som avhenger av ruhetslengden  $z_0$ . Det beregnes ikke vindstyrke i denne studien. Formelen er oppgitt for opplysningens del. Det blir benyttet vindhastighetsdata i modellene under kapittel 4 resultater.

### 2.4.3 Temperatur

Maksimalt effektbehov beregnes for et tidspunkt i den kaldeste delen av vinteren. Man benytter vanligvis stedets laveste tredøgnsmiddeltemperatur over en 30-årsperiode  $\theta_{Du}$  etter NS-EN ISO 15927-5:2004, verdiene kan slås opp i byggforskserien 451.021 *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring*. Utetemperaturen omgjøres til døgnmiddeltemperatur ved å midle for maksimum- og minimumstemperaturverdier (Thue, 2016, s.93).

Månedsmiddeltemperaturen  $\theta_{e,j}$ , er gjennomsnittet av en måneds døgnmiddeltemperatur over en trettiårsperiode. Månedsmiddeltemperatur brukes ved beregning av varmetap med hensyn til NS 3031. For kontrollberegning av energibehov i forhold til byggeteknisk forskrift brukes månedsmiddeltemperatur for Oslo (Edvardsen & Ramstad, 2014). I følge NS3031 kan man basere energiberegninger på standard referanseklime eller lokalt klima. Standard referanseklime tar utgangspunkt i klimadata fra Oslo-området. Årsmiddeltemperaturen  $\theta_m$  er gjennomsnittet av årets døgnmiddeltemperaturer over en trettiårsperiode.

Årsmiddeltemperaturer brukes ved beregning av varmetap gjennom bygningsdeler mot grunnen. Ved dimensjonering for frost benyttes årsmiddeltemperaturen  $\theta_m$  og temperaturvariasjonen  $\theta_a$ . For Oslo-klima er årsmiddeltemperaturen  $\theta_m$  lik 6,1 og temperaturvariasjonen  $\theta_a$  er lik 16,7 se figur 2.5 (SINTEF Byggforsk, 2018).

Utetemperatur påvirker energibruk som dekker oppvarmingsbehov. Det er derfor vanlig å korrigere energibruk ut fra temperatur. Temperaturvariasjoner vil bidra til variasjoner i forbruket både i måneds- og årsdata. Den anses som den viktigste variabelen for å forklare oppvarmingsbehovet. I hvor stor grad utetemperaturen påvirker energibruken avhenger av brukeratferd. Kravene til innetemperatur har økt over tid, slik at energibruken ved svært lave temperaturer isolert sett har økt. Med en satt innetemperatur, ekskluderer det brukeratferd.

Temperaturdifferanse mellom ute og inne kan brukes som et enkelt mål for klima i forhold til varmebehovet til en bygning. Ut ifra temperaturdifferanse kan man utarbeide graddagstall som en klimaindeks (Thue, 2016, s.95). Graddagstall,  $G$ , brukes til å beregne bygningers oppvarmingsbehov over året og defineres som et integral (Thue, 2016, s. 96) se formel 2.6. Graddager basert på akkumulerte temperaturdifferanser er definert i NS-EN ISO 15927-6:2007 (Standard Norge, 2007). Graddager går ut på at temperatur lavere enn en bestemt basistemperatur gir et behov for oppvarming. Basistemperaturen er vanligvis satt til 17 grader. Tanken bak basistemperatur er at personer og apparater gir et varmetillegg som bidrar til ønsket innetemperatur. Det antas at det ikke er behov for oppvarming når middeltemperaturen over døgnet er lik eller overstiger 17 grader.

$$G = \int_{t_1}^{t_2} (\theta_b - \theta_e) dt \quad (2.6)$$

Der  $t_1$  er tidspunktet når  $\theta_e$  blir lavere enn  $\theta_b$ ,  $t_2$  er tidspunktet når  $\theta_e$  blir høyere enn  $\theta_b$ ,  $\theta_b$  er basistemperatur,  $\theta_e$  er utetemperatur. Graddagstall kan akkumuleres fra døgnmiddeltemperaturen. Metoden korrigerer ikke for vind- og solvariasjoner, som potensielt kan være av betydning for energibruken (NVE, 2015). I tilfeller der døgnmiddeltemperaturen er høyere enn basistemperaturen, settes graddagstallet til null.

Graddagstall brukes flittig til å klimakorrigere energibruken og benyttes i metoder som graddagsmetoden, energiindeks og energisignatur. Det er graddagskorrigering som er den mest brukte metoden. Den beregner for eksempel hva energibruken ville ha vært under et normalår med normale temperaturer. De andre metodene innebærer mye usikkerhet og er ikke bruk i Norge, men brukes i nabolandene Sverige og Danmark. Til statistikk og analyseformål må energiforbruket klimakorrigeres for å estimere hva energibruken ville vært under normale værforhold. Klimakorrigeringen gjøres på årsdata, men metodikken kan også benyttes på månedsdata eller data der tidsoppløsning er enda høyere. For at klimakorrigeringen skal

gjøres på data med høyere tidsoppløsning må en ha tilgang på slik energidata (Dokka & Grini, 2013; Pöyry Management Consulting AS, 2014). Det foreligger offisiell statistikk på Enova sine nettsider. I Enova's Byggstatistikk, som slippes ut årlig, benyttes det estimerte graddagstall på kommunenivå til å korrigere energiforbruket (Dokka & Grini, 2013; Pöyry Management Consulting AS, 2014).

Graddagstallet (GDT) for et gitt døgn er definert som differansen mellom basistemperaturen og døgnmiddeltemperaturen. GDT benyttes som mål på temperaturens effekt på oppvarmingsbehovet i et bygg. Graddagsmetoden finnes i en tilnærmet lik variant i land som Sverige og Danmark. Pöyry regner metoden som en god teoretisk tilnærming. Summen av graddagstallene for alle årets døgn gir graddagstallet for et år.

## 2.5 Empiriske modeller

Empiriske modeller er forenklinger av virkeligheten. De empiriske modellene tar utgangspunkt i hva som faktisk skjer og knytter målinger med teori. Det er forskjell mellom beregnet og målt energibruk. I denne studien benyttes målte verdier for energibruk, vindhastighet, solstråling, inne- og utetemperatur som datagrunnlaget til modellene. Med empiriske modeller kan man fange opp endringer og inkludere ny innsikt og kunnskap om bygningers virkemåte i empiriskbaserte modeller. Jo tettere modellene er til virkeligheten, desto mer tidskrevende kan det bli å oppnå innsikt i det som foregår i realiteten. Teoretiske modeller kan fort se på deler av helheten og miste oversikten over dynamikken i et komplekst system som et bygg.

Lineær regresjonsanalyse gir et mål for spredning i måledataene. Hensikten med en regresjon er å gi en god beskrivelse av sammenhenger i datasettet. Det er legitimt å slette et fåtall observasjoner som kan være forårsaket av tilfeldigheter. Om man velger å gjøre dette, er det viktig å rapportere hvilke observasjoner det gjelder, hvorfor man gjør det, og hvordan det påvirker modellresultatet.

Med multippel regresjon forventes det at variabler skal samvariere. Samvariasjonen mellom uavhengige variabler kan bli for høy, da er de kolineære. De kolineære variablene oppfører seg så likt i regresjonen at det er vanskelig å skille effekten av den ene fra effekten av den andre. Da vil estimatene bli svært upresise. Kolinearitet er et større problem i tidsserieanalyser (Hermansen, 2019, s.194).



## 2.6 Energi- og Temperaturkurve

Energi- og temperaturkurve (ET-kurve) er en vanlig måte å fremstille energi i bygninger på. ET-kurven er et spredningsdiagram med en lineær regresjonslinje hvor stigningstallet er varmetransportskoeffisienten. ET-kurver kan registreres manuelt eller automatisk. Automatisk metode er vanlig i større bygg med sentralt driftsanlegg. Energi- og temperaturkurven for en bygning viser sammenhengen mellom energibehovet i bygningen og gjennomsnittlig utetemperatur for en aktuell tidsperiode.

Utetemperaturens betydning avsløres av helningen på ET-kurven. Bratte kurver tyder på stor temperaturavhengighet for energibruken, mens slakke kurver indikerer liten temperaturavhengighet. Dårlig isolasjon eller vindtetting gir økt varmetap og økt temperaturavhengighet, dette innebærer brattere kurver i modellen.

Spredningen av målepunktene rundt ET-kurven gir en indikasjon på om energistyringen i bygningen er god eller dårlig. Er det stor spredning i målepunktene, kan man vanligvis anta at automatikken ikke fungerer, eventuelt at den mangler helt. ET-kurven er praktisk når man ønsker å vite om effektbehovet uten å måtte foreta energi- og effektberegninger.

Automatisk registrering av ET-kurve innebærer børverdi og alarmgrense. Normalt så starter man logging og får punktene. Når man har nok punkter med stor nok temperaturvariasjon kan man begynne å tegne en børverdi som da plasseres mest mulig i midten av de etablerte punktene. Store avvik holdes utenom. Det er også mulig å beregne hvor børverdien skal være, men det er mer aktuelt på nye bygninger. Navnet børverdi kan være misvisende, derfor bruker noen EOS leverandører begrepet nåverdi siden det reflekterer nå-forbruket og ikke nødvendigvis hvor forbruket bør være. Noen systemer kan også tegne inn flere kurver som for eksempel var-verdi, dette er ofte før enøktiltak ble utført.

### 3 Metode

Dette kapitlet omhandler fremgangsmåte og metodene som er benyttet i denne studien.

Delkapitlet ser nærmere på databehandling av data fra WEEE og BIOKLIM i Python og R studio. Det blir også sett på datavisualisering i R samt beregningsmetode av energi og effekt i Excel. Til slutt blir det presentert noen kontrollsjekker som ble utført på innsamlet data.

#### 3.1 Behandling av data

Undersøkelsens design er basert på datainnsamling av temperatur og energi fra datamaskinen i A modul. Mapper med månedsdata fra A og B modul er lagret på datamaskinen, disse blir eksportert på minnepenn den 8.februar og 19. februar 2020. Registreringen av data er fra 27.januar 2014 til det tidspunktet jeg eksporterte dataene. I hver månedsmappe er det registrert dato, klokkeslett, luftfuktighet, ventilasjonstrykk, fem forskjellige temperaturer og energi, se figur 3.1. Dataene skal være registrert minutt for minutt, men det fremkommer avvik i noen perioder. Spesielt den første dagen med registreringer, se figur 3.1. Kvaliteten på de første måledataene er ikke optimale og må forkastes. Det antas at resten av målingene for energi og innetemperatur er pålitelige. Innetemperaturen som benyttes er gitt av sensoren innenfor ventilasjonsanlegget, kjent som «temp extract» i rådata. Energien i datasettet er oppgitt i puls og må omgjøres til Wh, en puls tilsvarer 0,625 Wh.

```
DATE/TIME;RH extract;temp extract;flow;temp
romOp;tempCeiling;tempWallN;tempWallS;tempFloor;energy
27.01.14 19:40:00;22,2;24,0;58,5;24,1;23,5;21,8;21,4;20,1;14,0
27.01.14 19:59:50;22,4;24,0;58,0;24,3;23,7;22,0;21,6;20,3;0,0
27.01.14 20:00:50;22,4;24,1;57,9;24,3;23,8;22,0;21,6;20,3;0,0
27.01.14 20:05:50;22,3;24,1;56,7;24,4;23,8;22,1;21,6;20,3;0,0
27.01.14 20:06:50;22,3;24,2;56,5;24,4;23,8;22,1;21,7;20,3;19,0
```

Figur 3.1. De fem første verdien av rådata fra modul A. Kolonnene er separert med semikolon og viser verdier for dato, klokkeslett, luftfuktighet, ventilasjonstrykk, fem forskjellige temperaturer og energi. Legg merke til at data ikke er for hvert minutt på de første verdiene, men stabiliserer seg minuttvis først på de to siste målingene. Energien viser null på de midterste verdiene, dette kan være avvik eller ev. at varmen i rommet er over setpunkt. Måleenhetene er celsius (C) for temperatur og puls for energi.

Klimadata fra BIOKLIM som brukes i studien er utelufttemperaturen, vindhastighet og globalstråling. Data registreres for hvert 10.minutt, men det benyttes timedata. Timedataene er blitt behandlet for avvik som skyldes for eksempel rim. Registrering av klimadata på Sørås feltet kan dateres tilbake til 1983, men det benyttes kun data fra januar 2014 til og med desember 2019. Det er dataene fra WEEE som har vært ledende for valg av tidsperiode.

Solstråling måles i  $\text{W/m}^2$  og vindhastighet måles i  $\text{m/s}$ . Ønsker man å se på total innstråling pr dag bør dette omgjøres til  $\text{kWh/m}^2$  eller  $\text{MJ/m}^2$  (Thue, 2016, s.101).

Datafilene fra WEEE og BIOKLIM leses inn i Python for å slås sammen til en fil, samt redusere størrelsen. Datatane indekseres for dato og klokkeslett og det velges en ny start- og sluttdato, slik at første verdi starter 1.februar 2014. Det lages en formel som leser inn månedsfiler fra WEEE og årsfiler fra BIOKLIM. I den samme formelen kan man velge ønsket tidsoppløsning for middelveidien av målingene. Midling av temperatur er ikke gjort som det står oppført i boka *Bygningsfysikk*, der står det at utetemperatur midles ved å ta gjennomsnittet av døgnets minimum- og maksimumsverdier. I denne studien midles målingene for døgn, uker og år. Ved å midle for år resulterer det i en energisum for de seks forskjellige årene med data fra WEEE, se figur 4.1. Det legges til en ny kolonne med temperturdifferanse for begge modulene. Temperaturdifferansen er mellom innetemperaturen på innsiden av ventilasjonsavtrekket og utetemperaturen fra BIOKLIM. Det legges til en kolonne med varmetransportskoeffisient for hver av modulene. Dette gjøres ved å ta kolonnen med energi dividert på temperturdifferanse. Andre operasjoner som utføres er fjerning av fire kolonner med innetemperaturer i datasettet. En alternativ metode framfor å fjerne kolonner med innetemperatur kunne ha vært å lage en indeks med alle variablene. En indeks vil også løse problemet med at alle kolonnene måler det samme fenomenet, dette er kjent som kolinearitet. Det er også å foretrekke at variablene inngår i en indeks framfor å kontrollere for hverandre (Hermansen, 2019, s.196).

Datasettet fra Python leses inn i R for videre behandling og visualisering. Det lages en tidsserie med dager langs x-aksen og varmetransportskoeffisienten langs y-aksen. Videre lages det lineære modeller med temperatur og energi, se figur 3.2 for prosess. I resultatene er det presentert modeller som viser både lineære og ikke-lineære effekter. I R benyttes biblioteket *ggplot2* som inneholder funksjonene *ggplot()*, *geom\_point()* og *geom\_smooth()*, alle disse funksjonene benyttes i visualiseringen av modellene. Modellene lages med lineær regresjon, ordinary least squares, som viser en lineær sammenheng mellom variablene energi og temperaturdifferanse, se figur 4.5. Den illustrerer den gjennomsnittlige energien for ulike temperaturdifferanser. Det benyttes metoden *lm*, «linear model», for å lage linjen. Modellene viser hvordan energiforbruket øker når temperaturdifferansen øker. Kurven sin funksjon er å beskrive data, med en generell regel om en sammenheng.

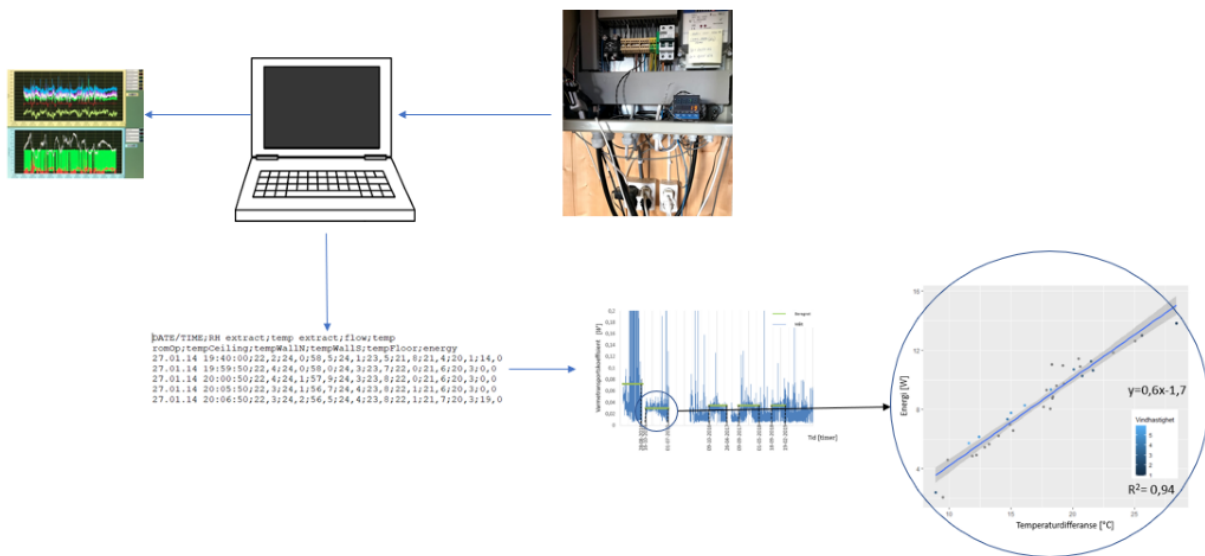
Konfidensintervallet vises rundt kurven. Regresjonsmodellene benytter temperatur som forklarende variabel og energi som respons variabel.

Overveielene fra forskningsspørsmål til metode bar på flere utfordringer. En av utfordringene var hvordan skille ut tidsperiodene med tilnærmet konstant varmetransportskoeffisient. Dette ble i første omgang gjort ved å observere, men det ble i ettertid benyttet en dynamisk gjennomsnittsfunksjon i R, hvor inputdata er antall segmenteringer, maksimum antall segmenteringer og minimum lengde av et segment (Lavielle, 2017). Antall gunstige segmenter ble anslått til 29 for A modul og 33 for B modul. Maksimum antall segmenter ble satt til 100 og minimumslengden ble satt til én. Periodene ble tilnærmet de samme som ble observert. Grunnen til at det i første omgang ble valgt perioder kun ved å observere er spesifikt fordi statistikken ikke skal vektes for tungt i en master om bygningsfysikk, samt at det skal være enkelt å gjennomføre for en som ikke har hatt statistikk. Metoden som blir valgt gjør at problemet blir løsbart, samtidig om det er mulig å gjenta resultatene ved en senere anledning.

Den beregnede varmetransportskoeffisienten utføres i Excel med forenklinger i inngangsdata før regnearbeidet. Inngangsdata er bredde, lengde og høyde til modulene, samt varmekonduktiviteten til tre og isolasjon. Andre verdier er tykkelsen av massivtreelementene og isolasjonslaget. Infiltrasjonsverdien er basert på en tidligere forskningsoppgave, se vedlegg F. For å beregne energibehovet til oppvarming benyttes standard utetemperaturverdi for Oslo-klima dette er i henhold til teknisk forskrift. Innetemperaturen som benyttes er 21 grader celsius og utetemperaturen er  $-10$  grader celsius. Beregningene gjøres separat for hvert bygg.

Det mangler opplysninger om setpunktet til varmeovnen har vært lik for hele måleperioden. En endring i setpunktet vil gi utslag i dataene, ved at flere eller færre punkter er gyldige for regresjonslinjen. Det kan dermed bli vanskelig å anslå hvilke datapunkter som skal være med i beregning av regresjonsmodellen. Avkuttingen av punktene er en tvilsom antagelse, men det må gjøres en tilnærming for å gjøre problemet løsbart. Punktene som stabiliserer seg på null i B modul eller  $0,2$  W/K i A modul må fjernes. Det er en klar svakhet ved denne metoden med tanke på at determinasjonskoeffisienten kan bli overdreven stor. Alternativ metode kan være å benytte en glidende median for å lage en definisjon på knekkpunktet, men dette blir fort like

subjektivt som å observere, se vedlegg C. Observasjoner som åpenbart er feilregistrerte, eller omfatter svært unike hendelser kan slettes eller endres. Dette gjelder A modul i 2018, samt registreringer for A og B modul i 2014. I studien beholdes verdiene, men det foretas en skalering av y-aksen for varmetransportskoeffisient i figur 4.3 og 4.4. Skaleringen gir en maksimumsverdi på varmetransportskoeffisienten lik 1,6 W/K. Opprinnelig data uten skalering er vist i vedlegg D. Denne skaleringen er gjort for å få frem gyldig data ved normalt bruk og unngå forstyrrelser. Ettersom punktene som gir feilmålinger beholdes videre, kan regresjonsmodellene ha en flatere eller brattere helning avhengig av hvor punktene ligger.



Figur 3. 2 Skjematisk skisse av systemet som skal undersøkes, og prosessene som ble gjennomført. Strømmen er markert med tydelig piler på skissen. Rådata registreres på datamaskinen, registreringene visualiseres i Labview som grafer. Videre eksporteres rådata for å visualisere energi og temperatur som en tidsserie og empirisk modell i R studio.

Modellvalidering kan gjøres i form av residualplot. Plotte tilpasset modell med residualer er ofte mest informativt og kan avsløre systematiske avvik fra linjen som ikke nødvendigvis kommer like godt frem i regresjonsmodellene. For at modellene kan sammenliknes kreves det et likt utvalg (Hermansen, 2019, s.147). Forutsetninger for å trekke troverdige konklusjoner fra regresjonsanalyser handler om å sammenligne predikerte og observerte y-verdier og studere residualene, som er differansen mellom predikerte og observerte verdier (Hermansen, 2019, s.167). Tiltak mot kolinearitet er prinsippal komponent-analyse (PCA) som består av en serie med regresjonsanalyser hvor hver av de uavhengige variablene suksessivt inngår som y i

en egen regresjon hvor alle andre variabler brukes som x. Formålet med en PCA-analyse er å avdekke «komponenter» eller dimensjoner i dataene (Hermansen, 2019, s.194). Ved detektering av kolinearitet er det ønskelig at hver av variablene utgjør ene egen komponent. Løsning på kolinearitet er å sentrere variablene, fjerne uteliggere eller unødvendige variabler (Hermansen, 2019, s.196).

Hvis residualene ikke er normalfordelte begrenses muligheten til å gjøre gode predikasjoner. For å få en normalfordeling kan man legge til flere variabler eller omkode avhengig variabel slik at den fremstår normalfordelt ved å benytte  $\log(y)$ ,  $\sqrt{y}$  eller  $1/y$  (Hermansen, 2019, s. 176). Uteliggere detekteres ved å analysere for innflytelsesrike og uvanlige observasjoner. Innflytelsesrike observasjoner oppdages gjennom hatverdier.

Det kan estimeres multippel lineær modell for energi med variablene sol og vind og se om modelltilpasningen blir høyere. Dette blir ikke sett nærmere på i analysen, men vind og data kommer til uttrykk gjennom farge og størrelse i regresjonsmodellene. Sol og vinddata tas ikke med i beregningen av den lineære modellen. Skal en multippel lineær modell lages må kontrollvariablene legges til én etter én. Dette ville resultert i mange flere modeller enn det som er presentert i kapittel 4 resultater. Det er viktig at variabelene legges til én om gangen slik at regresjonskoeffisientene kan tolkes i forhold til hverandre og som kontrollerte isolerte effekter (Hermansen, 2019, s.143). Det er også naturlig å tenke at temperatur, sol og vind påvirker hverandre, dette kan være en lineær eller ikke-lineær sammenheng. Ikke-lineære sammenhenger modelleres som et samspill. Lineære modeller forutsetter at variabler har lik effekt på fenomenet som forklares (Hermansen, 2019, s.15). En variabel kan ha varierende effekt.

### 3.2 Kontrollsjekk av data

Temperaturmålingene bør sikres med en kontrollsjekk. Utetemperaturen som måles av BIOKLIM kan kontrollsjekkes med utetemperaturmålingene til WEEE. Kontrollsjekken av utetemperaturen vil gi avvik ettersom temperaturen utenfor modul B ikke måler kuldegrader. I databehandlingen kan vi fjerne når utelufttemperaturen fra BIOKLIM er negativ og null og fjerne når utetemperaturen til modul B er null. En graf vil da vise sammenhengen mellom vindhastighet og temperaturredifferansen mellom BIOKLIM, 10 m over bakken, og WEEE, 2,7 m over bakken. For å vise sammenheng mellom temperatur og vindhastighet har *log*

og *tanh* blitt brukt. Dette vil overdrive sammenhengen og de ekstreme tilfellene. Kontrollsjekken gir tilnærmet like verdier for temperaturene.

Kontrollsjekk av energimålinger kan gjøres ved å sammenligne manuelle med automatiske energidata. Det er endringen mellom to manuelle målinger og summen av de automatiske energimålingene over samme periode som sammenlignes. Det ble valgt ut målingene 12.10.2016 kl.14:50 og 19.04.2017 kl.17:02, som viste de manuelle verdiene 14978 kWh for 12.10.2016 kl.14:50 og 17258 kWh for 19.04.2017 kl.17:02. Endringen mellom målingene viste tilnærmet lik verdi.

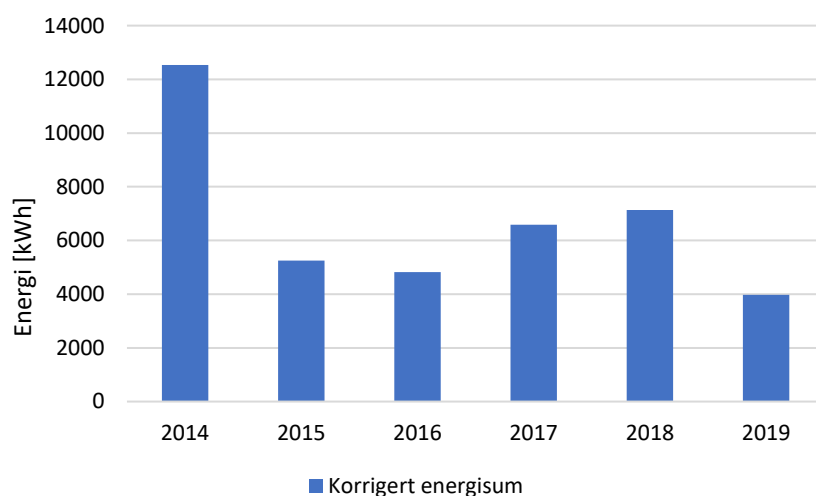
## 4 Resultater

De viktigste funnene som er gjort i denne studien er visualisert i denne seksjonen. Resultatene presenteres i to hoveddeler. Delkapittel 4.1 presenterer varmetransportskoeffisienten.

Delkapittel 4.2 inneholder empiriske modeller av energi. En mer gjennomgående analyse av resultatene presenteres i kapittel 5 med sammenligning av regresjonsanalyse og valg av modell. Resultatene er visualisert i modeller laget i Excel og R studio.

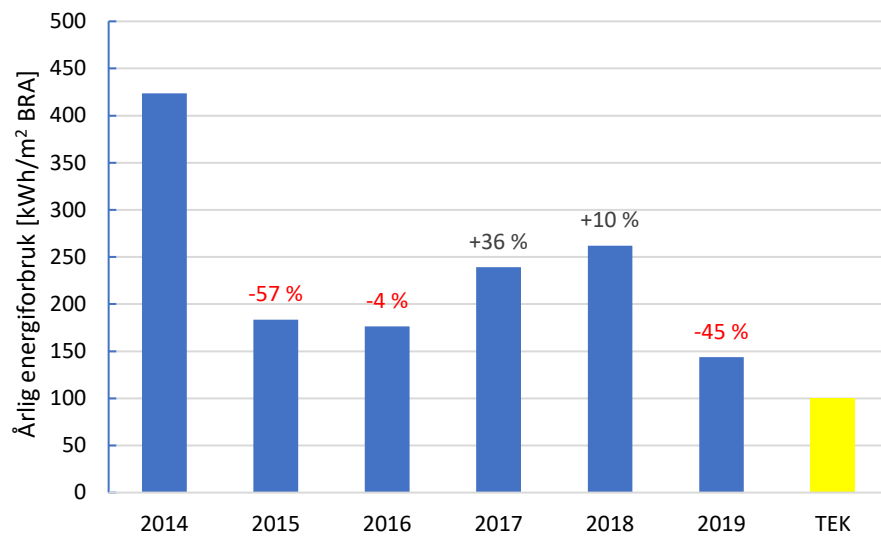
### 4.1 Energi

Modellen i figur 4.1 viser korrigert energisum for perioden 2014 til 2019. Energien i kWh gir et bilde på endringer og enøk tiltak som er blitt iverksatt. Det er disse energiverdiene varmetransportskoeffisienten er basert på. Den drastiske endringen er mellom 2014 og 2015 se figur 4.1. Her blir endringer redusert med mer over 50%. Energien er korrigert for temperatur med Enova sine graddagstall publisert for normalen 1980-2010. Modellen er beregnet for A modul, men samme tiltak ble utført i B modul.



Figur 4. 1 Årssøyler for perioden 2014 til og med 2019 for A modul.



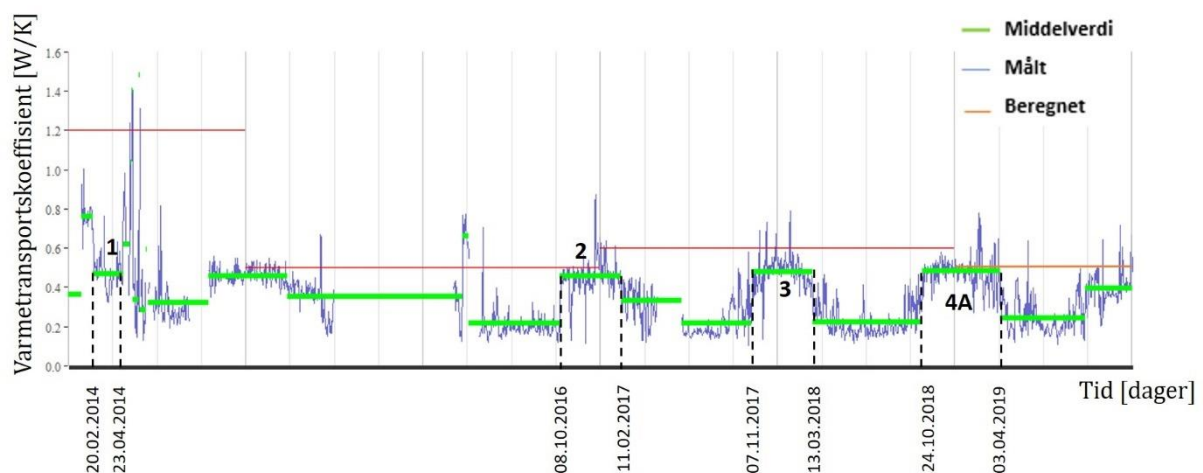


Figur 4. 2 Årlig energiforbruk for 2014 til 2019 for A modul. Sammenligner energibruken med TEK17 kravet.

## 4.2 Varmetransportskoeffisient, H

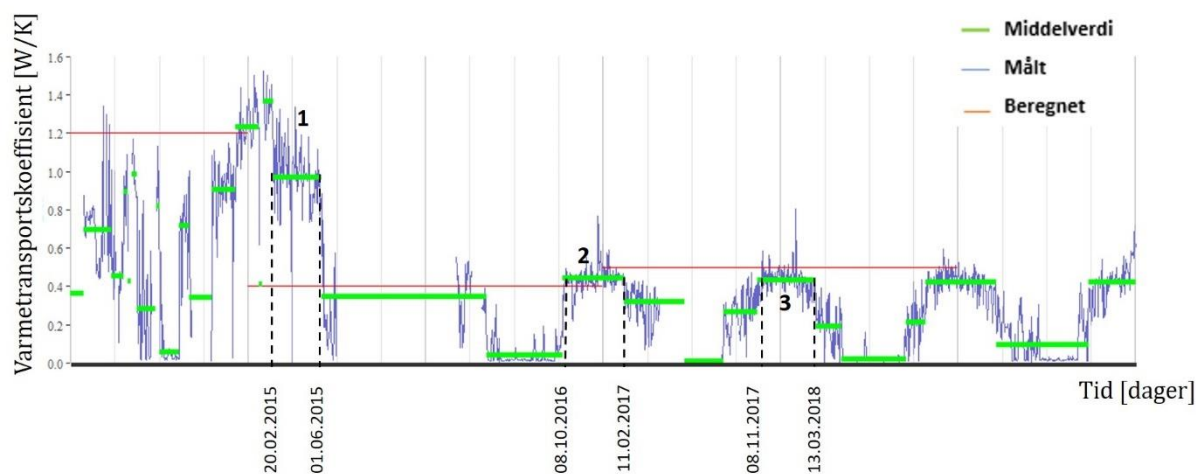
Målt årlig varmetransportskoeffisient er oppgitt som forholdet mellom midlet energi dividert på temperaturdifferansen mellom inne og ute for et gitt tidsintervall. Oversikten over de 3 ulike tilstandene for modul A og B er presentert i fig. 4.1 og tabell 4.2.

Varmetransportskoeffisienten er vist som en blå linje og beregnet med rød linje. Grønn linje representerer middelveien for en periode. Beregningsgrunnlaget for de røde linjene er i vedlegg A. Langs x-aksen er tid oppgitt som dager se figur 4.3 og 4.4. De vertikale linjene i bakgrunnen representerer kvartaler, hvert år består av fire kvartal. Figurene viser hvor godt begningen passer med målte verdier. De målte verdiene (blå linje) som ligger nærmest den rød beregnede linjen er utgangspunktet for videre analyse. Figur 4.3 viser data for A modul og figur 4.4 viser data for B modul. Manglende observasjoner er vist som brudd i kurvene. Figurene er laget i R med en dynamisk formel som finner middelveien for ulike segmenter. Tidspunktet for når hver periode starter er markert med en svart stipla linje.



Figur 4. 3 Målt daglig varmetransportskoeffisient sammenlignet med beregnet varmetransportskoeffisient for A modul.

Denne modellen er laget for modul B. Grafen har mange likheter med modul A som at varmetransportskoeffisienten er tilnærmet like, se tabell 4.1. Modellen i figur 4.4 er laget i R studio, hvor grønn linje representer middelvei for perioden. Dette er en automatisk detektering av middelvei i R. Middelveien ser ikke alltid ut til å følge kurvene.



Figur 4. 4 Målt daglig varmetransportskoeffisient sammenlignet med beregnet varmetransportskoeffisient for A modul. Tilstandene er illustrert med svart stiptet linje og dato.

Avleste datoer fra figur 4.3 og 4.4 er blitt hentet ut og presenteres i tabell 4.1.

Tabell 4.1. Oversikt over start- og sluttdato for de ulike tilstandene basert på modellene av varmetransportskoeffisient, figur 4.3 og 4.4

Referanse	Tilstand	Startdato	Sluttdato	Antall dager	$H_{\text{Målt}} \text{ middelvei}$ [W/K]	$H_{\text{beregnet}}$ [W/K]
A modul Fig. 4.3	1	20.02.2014	23.04.2014	62	0,5	1,2
	2	08.10.2016	11.02.2017	126	0,5	0,5
	3	07.11.2017	13.03.2018	126	0,4	0,6
	4	24.10.2018	03.04.2019	161	0,5	0,5
B modul Fig. 4.4	1	20.02.2015	01.06.2015	101	1,0	1,2
	2	08.10.2016	11.02.2017	126	0,4	0,4
	3	08.11.2017	13.03.2018	120	0,4	0,5

Varmetransportskoeffisienten er vist som timedata i figur 4.6 og 4.7. Akser, farger og etiketter er lik foregående figurer. Denne modellen oppgir tidspunktet på datoen det skjedde en endring. De avleste datoene for tilstandene skal brukes videre i delkapittel 4.2 for å lage

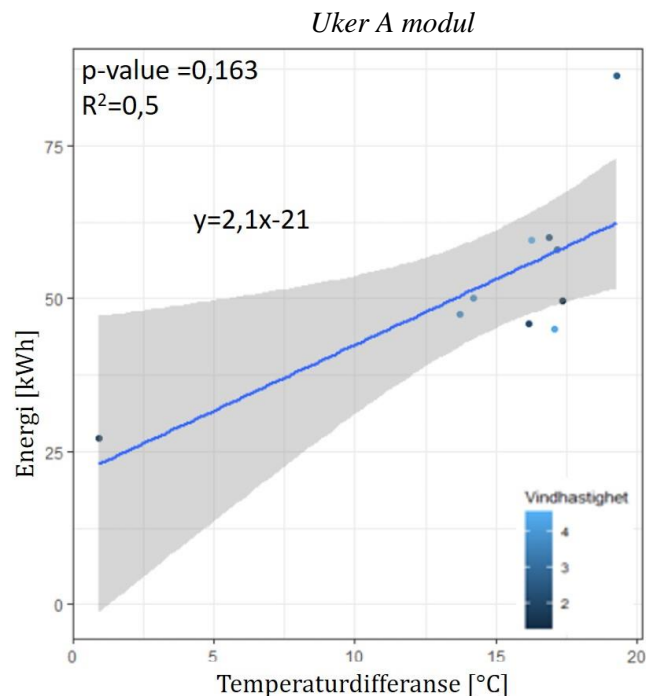
regresjonsmodell av hver tilstand. Timedataene ble i likhet med døgndataene lest inn i R og visualisert.

### 4.3 Modeller

Modellene viser hvordan energiforbruket varierer med temperatur, vindhastighet og global solstråling. Under tilstand 1 og 2 påvirkes ikke energien av global solstråling ettersom det ikke er satt inn vinduer. For hver tilstand presenteres data først som ukedata, deretter som døgndata. Dette gjøres for både A og B modul, som utgjør totalt 12 modeller. Fargen på punktene er gitt av vindhastigheten i m/s. For tilstand 3 benyttes bobleplot for å vise innvirkningen av solstråling på energi. Punktene får større størrelse når solstrålingsmengden er stor.

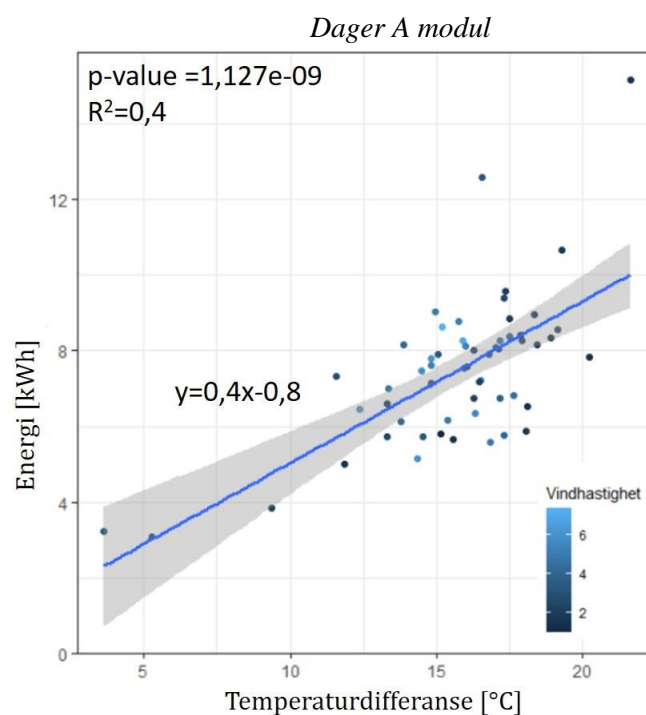
#### 4.3.1 Tilstand 1

Tilstand 1 viser til et bygg som er uisolert. Spredningsdiagram for tilstand 1 med lineær graf basert på energi og temperaturdifferanse er vist i figur 4.5. Denne modellen er vist for ukene i perioden 20. februar 2014 til 23. mars 2014. Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Fargene på punktene indikerer vindhastighetsstyrke målt i m/s.



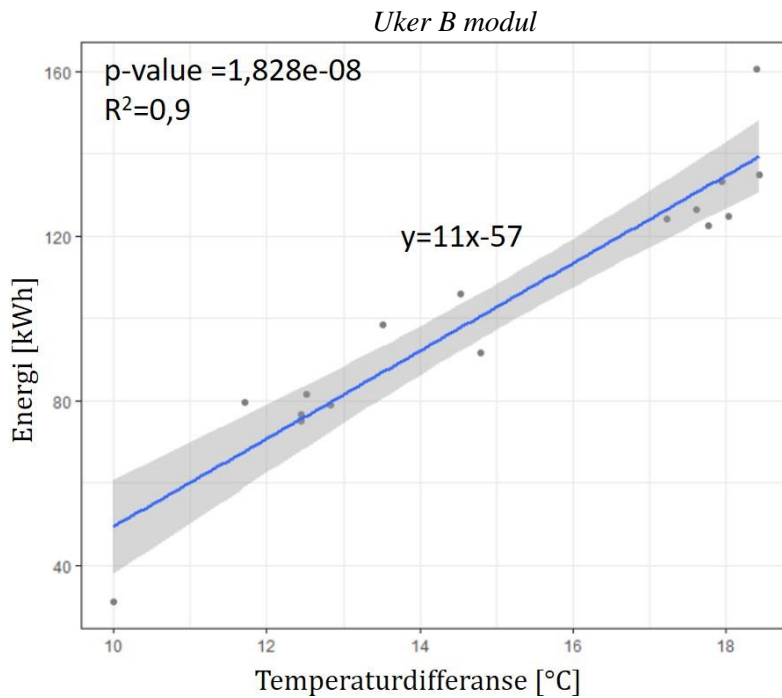
Figur 4. 5 Regresjonsanalyse: Tilstand 1 vist for uker i perioden 20.2.2014 til 23.04.2014 for A modul

Modellen for A modul tilstand 1 har tidsoppløsningen dager se figur 4.6. Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Fargene på punktene indikerer vindhastighetsstyrke.



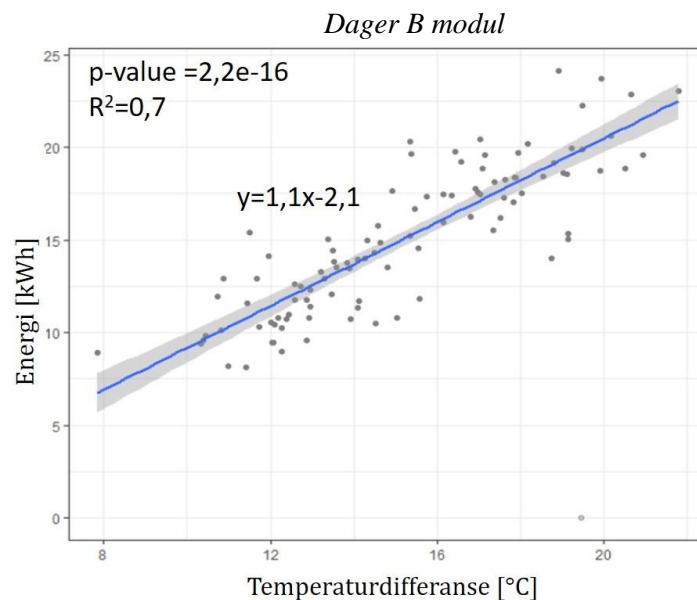
Figur 4. 6 Regresjonsanalyse: Tilstand 1 vist for dager i perioden 20.2.2014 til 23.04.2014 for A modul.

Modellen for B modul tilstand 1 har tidsoppløsningen uker se figur 4.7. Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Det er ikke tatt med vindhastighetsstyrke i modellen ettersom registreringene inneholdt avvik.



Figur 4. 7 Regresjonsanalyse: Tilstand 1 vist for dager i perioden 20.02.2015 til 01.06.2015 for B modul.

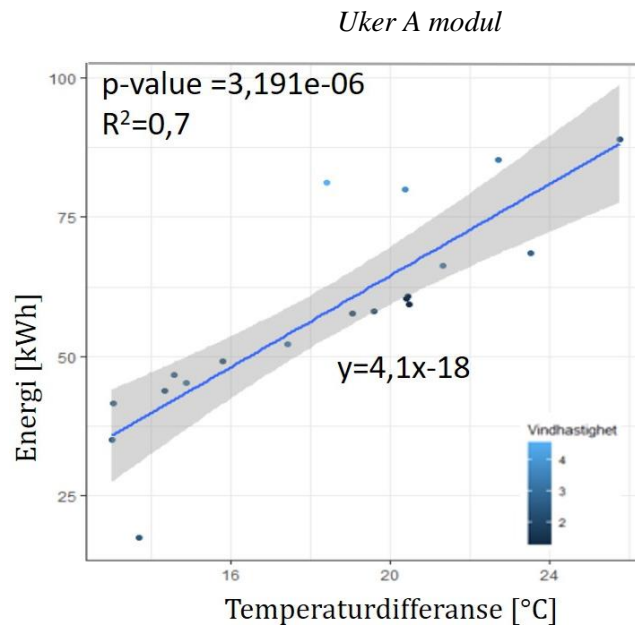
Modellen for B modul tilstand 1 har tidsoppløsningen dager se figur 4.8. Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Det er ikke tatt med vinhastighetsstyrke for modellen ettersom det ikke ble registrert i timedatane til BIOKLIM.



Figur 4. 8 Regresjonsanalyse: Tilstand 1 vist for dager i perioden 20.02.2015 til 01.06.2015 for B modul

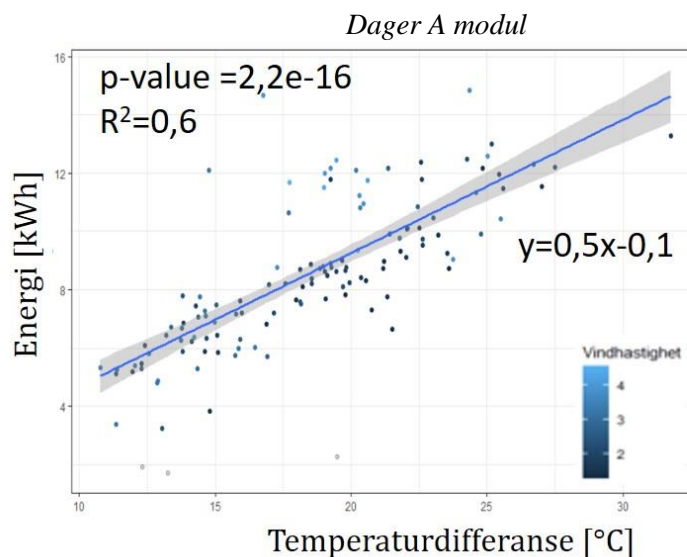
### 4.3.2 Tilstand 2

Tilstand 2 viser til et isolert bygg. Modellen for A modul tilstand 2 har tidsoppløsningen uker se figur 4.9. Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Fargene på punktene indikerer forskjellig vindhastighetsstyrke i m/s.



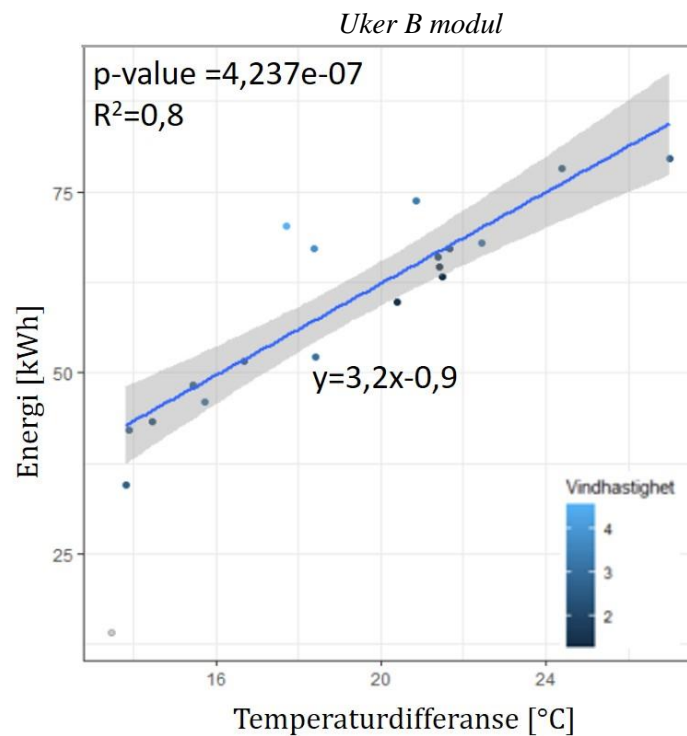
Figur 4. 9 Regresjonsanalyse: Tilstand 2 vist for uker i perioden 08.10.2016 til 11.02.2017 for A modul

Modellen for A modul tilstand 2 har tidsoppløsningen dager se figur 4.10. Regresjonsanalysen regner ikke med punktene under 2 kWh som følge av setpunktverdien til varmeovnen.



Figur 4. 10 Regresjonsanalyse: Tilstand 2 vist for dager i perioden 08.10.2016 til 11.02.2017 for A modul

Modellen for B modul tilstand 2 har tidsoppløsningen uker se figur 4.11. Regresjonsanalysen regner ikke med punktene under 18 kWh som følge av setpunktverdien til varmeovnen.

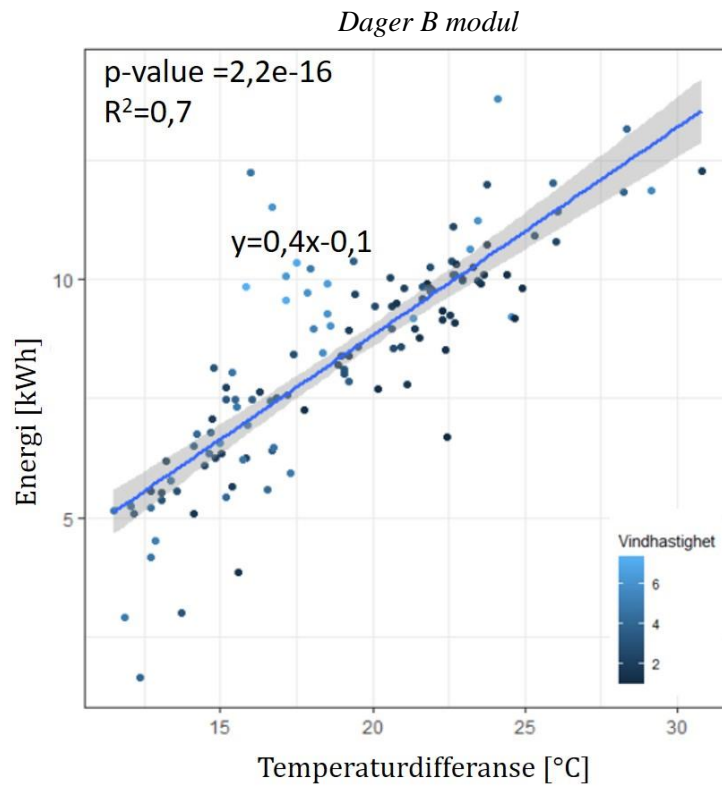


Figur 4. 11 Regresjonsanalyse: Tilstand 2 vist for dager i perioden 08.10.2016 til 11.02.2017 for B modul

Modellen for B modul tilstand 2 har tidsoppløsningen dager se figur 4.12.

Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Fargene på punktene indikerer vindhastighetsstyrke i m/s.

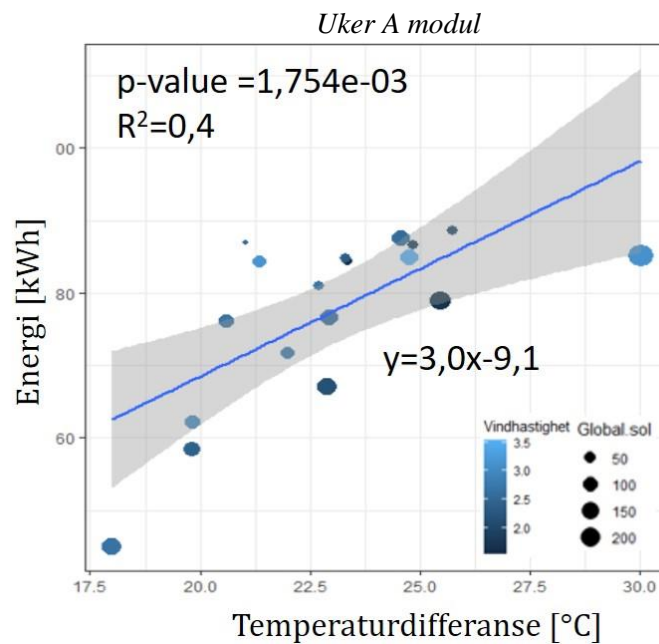




Figur 4. 12 Regresjonsanalyse: Tilstand 2 vist for dager i perioden 08.10.2016 til 11.02.2017 for B modul

### 4.3.3 Tilstand 3

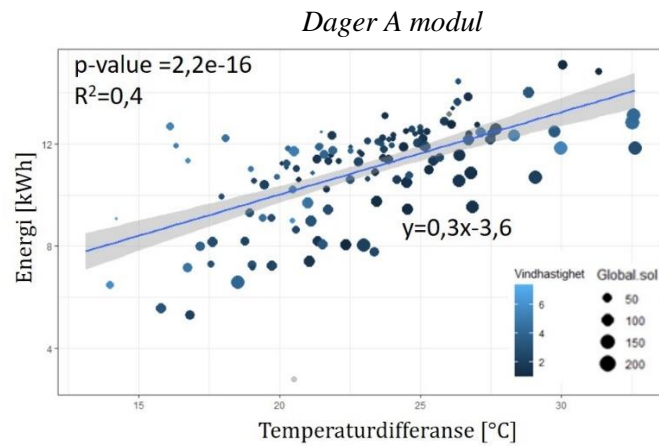
Tilstand 3 svarer til bygg med veggisolasjon og vinduer. Det er gyldig å ha med solstråling som parameter. Modellene er laget med tidsoppløsningen dager og uker i perioden fra 07.11.2017 til 13.03.2018. Modellen for A modul tilstand 3 har tidsoppløsningen uker se figur 4.13. Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Fargene på boblene indikerer vinhastighetsstyrke i m/s og størrelsen indikerer globalstråling i W/m<sup>2</sup>. Modellene er laget i R studio.



Figur 4. 13 Regresjonsanalyse: Tilstand 3 vist for uker i perioden 07.11.2017 til 13.03.2018 for A modul

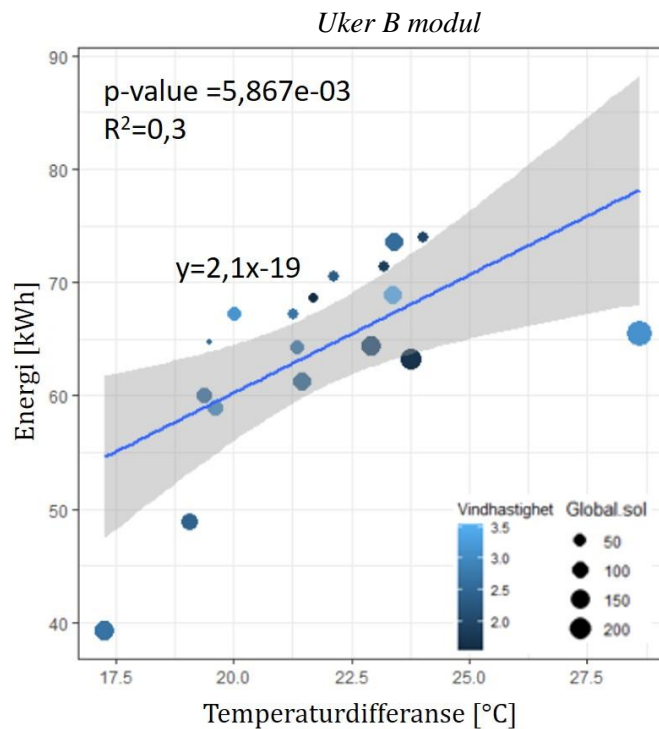
Modellen for A modul tilstand 3 har tidsoppløsningen dager se figur 4.14.

Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Fargene på boblene indikerer vinhastighetsstyrke i m/s og størrelsen indikerer globalstråling i W/m<sup>2</sup>.



Figur 4. 14 Regresjonsanalyse: Tilstand 3 vist for dager i perioden 07.11.2017 til 13.03.2018 for A modul

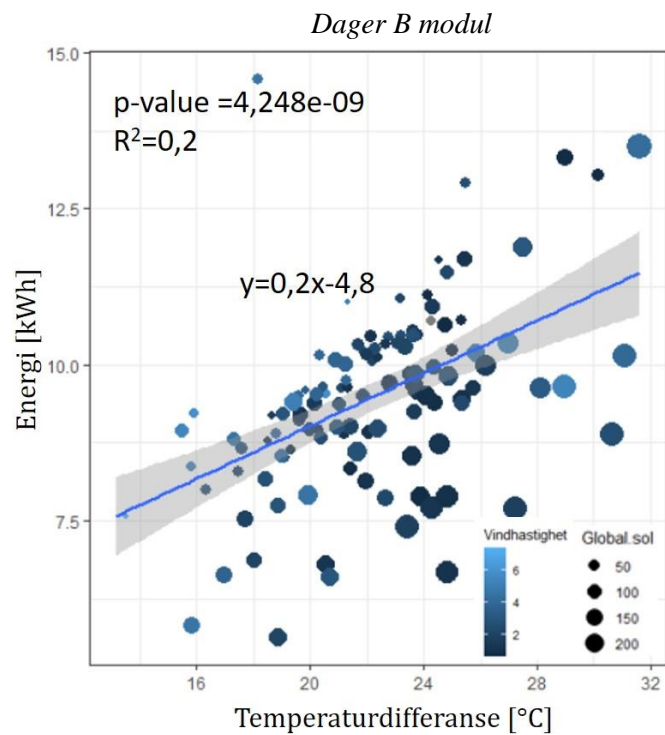
Modellen for B modul tilstand 3 har tidsoppløsningen uker se figur 4.15. Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Fargene på boblene indikerer vinhastighetsstyrke i m/s og størrelsen indikerer globalstråling i  $W/m^2$ .



Figur 4. 15 Regresjonsanalyse: Tilstand 3 vist for uker i perioden 08.11.2017 til 13.03.2018 for B modul

Modellen for B modul tilstand 3 har tidsoppløsningen dager se figur 4.16.

Konfidensintervallet er vist med grå farge rundt regresjonslinjen. Fargene på boblene indikerer vinhastighetsstyrke i m/s og størrelsen indikerer globalstråling i W/m<sup>2</sup>.



Figur 4. 16 Regresjonsanalyse: Tilstand 3 vist for dager i perioden 08.11.2017 til 13.03.2018 for B modul

#### 4.3.4 Tilstand 4A

Energitilstandene i 2019 for modul A kan dateres tilbake til eksakte hendelser. I 2019 ble det gjennomført flere tester i forbindelse med en masteroppgave «Vindpåvirkning i luftinfiltrasjonsberegning» av Nina Johanne Brænden (Brænden & Aurlien, 2019). Tilstand 4 kan dermed detekteres med høy sikkerhet. Av masteroppgaven fremkommer det at det ble gjennomført tetthetsmålinger med åpne hull 5., 7. og 12. februar. I figur 4.1 ser man at varmetransportskoeffisienten øker noen dager før 19. februar. Den betydelige økningen i varmetransportskoeffisienten kan dateres tilbake til forsøkene som ble gjort starten av februar med åpne hull. Videre blir det gjennomført målinger fram til 30.mars. Det er perioden fra 5.februar til 25.mars som spesifikt gir tilstand 4 med tilnærmet konstant varmetransportskoeffisient. Varmetransportskoeffisienten for tilstand 4 ligger litt lavere enn beregnet verdi for tilstand 3 se vedlegg F, tilstand 3 innebærer bygg med isolerte vegger og vinduer på sørfasaden. I 2019 ble ventilasjonen slått av i perioder. Året 2019 viser store endringer med flere varmetransportskoeffisienter som skyldtes testing og mangel ventilasjonsanlegg (Brænden & Aurlien, 2019).

Tabell 4.2. kilde: Vindpåvirkning i luftinfiltrasjonsberegning (Brænden & Aurlien, 2019).

Testforsøk	Type måling	Dato	Sted
1	Tetthetsmåling m. Tormod	15/1-19	TF garasjen fløy 5
2	CO <sub>2</sub> -konsentrasjon i masterrom	18/1-19	TF Fløy 5
3-5	Tetthetsmålinger	5/2, 7/2	Modul A
6-7	Sporgass + trykkdifferanse	13/2, 26/2, 27/2	Modul A
Forsøk			
1-5	Tetthetsmålinger	12/2	Modul A
6-22	Sporgass + trykkdifferanse	5/3-25/3	Modul A

Tabell 4.3. kilde: Vindpåvirkning i luftinfiltrasjonsberegning (Bränden & Aurlien, 2019).

Tetthetsmåling	Tettinger	Begrunnelse
1	Alle hull tett	Finne lekkasjetall før utbedring
2	Alle hull tett	Finne lekkasjetall etter utbedring
3	Hull A åpent	Beregne C-, og n verdiene til hull A
4	Hull B åpent	Beregne C-, og n verdiene til hull B
5	Hull C åpent	Beregne C-, og n verdiene til hull C

## 5 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultater fra kapittel 5 som varmetransportskoeffisienten og empiriske modeller mot forskningsspørsmål. Spørsmålene diskuteres under hvert sitt respektive delkapittel. Viktige momenter oppsummeres som svar på problemstilling under konklusjon i kapittel 6.

### 5.1 Forskningsspørsmål 1

*Hvilke indikasjoner får man av å sammenligne målt varmetransportskoeffisient med beregnet varmetransportskoeffisient?*

I resultatene ble det presentert tre tilstander med målt og beregnet varmetransportskoeffisient for hver modul. Dette utgjør seks forskjellige bygg, samt en fjerde tilstand som gjelder kun for modul A, figurene 4.3 og 4.4 er markert med tall fra en til fire. Det er valgt å se bort ifra tilstand 4 ettersom segmentene for 2019 ikke fanger opp alle varmetransportkoeffisientverdiene. Store endringer på kort tid, vil resultere i liknende regresjonsmodeller som for året 2014. Hver modell representerer et unikt bygg med en regresjonslinje, der likningen, determinasjonskoeffisienten  $R^2$ , og p-value er vist.

Vedlegg A viser de beregnede verdiene for energi og varmetransportskoeffisient for alle byggene. I figurene 4.3 og 4.4 er det visualisert med røde linjer beregnet varmetransportskoeffisienten for hver tilstand, samt middelverdien av den målte gjennomsnittsverdien med grønn linje. De røde linjene har blitt tegnet inn med lengder på én til to år, som skal illustrere at det ble gjennomført tiltak i løpet av perioden. Den grønne linjen som passer best med den beregnede røde linjen gir deldatasettet til regresjonsmodellene som er presentert under delkapittel 4.3 i resultater. Modellene som kommer best ut av resultatene med tanke på determinasjonskoeffisient er tilstand 1 for modul B og tilstand 2 for B og A modul. For tilstand 2 er det fjernet noen punkter på grunn av setpunktverdien, dette kan gi en overdreven determinasjonskoeffisient.

Deldatasettet må bestå av et visst antall datapunkter for at det skal lages en god modell. Det er en tommelfingerregel på 30 datapunkter. Tabell 4.1. viser antall datapunkter under kolonnen «antall dager», tilstand 1 består av færre punkter sammenlignet med de andre periodene. Valget av periodene er gjort bevisst i og med at periodene blir mer sammenlignbare, samtidig

som det blir færre start- og sluttdatoer å forholde seg til. Det var vanskelig å velge ut en periode for den 1.tilstanden, når varmetransportskoeffisienten forandrer så mye som den gjør på så kort tid. Segmentene som ble valgt ut består av mer enn 30 dager, men dividering av antall dager på sju gir færre enn 30 datapunkter for uker. Å velge en periode hvor middelverdien gir en god beskrivelse av målingene, samtidig som det er minimum 30 punkter ble en utfordring.

Figurene til varmetransportskoeffisienten har perioder hvor verdien faller til et lavpunkt. Dette gjentar seg årlig på våren, når varmeovnen hovedsakelig er slått av. Dette lavpunktet er forskjellig for A og B modul. For B modul ligger det laveste energiforbruket tilnærmet lik null se figur 4.4. I A modulen ligger den laveste verdien på ca. 0,2 W/K se figur 4.3, dette varmetapet skyldtes datamaskinen. Det er ikke en entydig avgrensning mellom energi som går med til oppvarming og energi som går med til andre formål. I modul B er ikke dette tilfellet ettersom det er ingen datamaskin eller mekanisk vifte som trekker energi. All energi i modul B regnes som temperaturavhengig. Setpoint i Labview resulterer i en oppsamling av punkter ved det laveste energiforbruket. Grensen for ekskludering av oppsamlede punkter som skyldtes setpoint var antatt på øyemål. Denne ekskluderingen av punkter må gjennomføres for å få en riktig kurve. Det kan benyttes en alternativ metode, med glidende median for å detektere knekkpunktene som nevnt under kapittel 3 metode. Begge metodene er å regne som subjektive, men det er større sannsynlighet for å gjenta resultatene med en glidende median.

For å få varmetransportskoeffisient har energi blitt dividert på temperaturdifferanse. Temperaturdifferansen er gitt ved å få gjennomsnittsverdi av minuttverdiene. Midling av temperatur er ikke gjort som det står i boken *Bygningsfysikk* av Jan Vincent Thue, at man skal ta gjennomsnitt av minimum- og maksimumsverdier (Thue, 2016). Begge metodene er gyldig. Det kunne latt seg gjøre å midle for minimum- og maksimumsverdier med tanke på at temperaturverdiene er tilgjengelig hos BIOKLIM. Formelen som bestemmer midlingen av målt varmetransportskoeffisient med konkret start- og sluttdato, er basert på detektering av forandring i varmetransportskoeffisienten. Størrelsesorden på varmetransportskoeffisienten i resultatene virker troverdig. Tatt i betraktning at dette er et lite bygg som ikke er i bruk skal varmetransportskoeffisienten ligge lavere sammenlignet med en enebolig. En enebolig med to plan, kjeller og loft har en varmetransportskoeffisient på ca. 100 W/K, dette er i samme



størrelsesorden som modulbyggene. Modulbyggene har en varmetransportskoeffisient som varierer fra 20 til 75 W/K.

Det er laget beregningseksempler i Excel. Den markante forskjellen mellom hvert av beregningseksempelene er isolasjonstykkelsen, ventilasjon og infiltrasjon. Eksempelene regner med at det har vært ventilasjon i begge modulene, med unntak av for modul A. De beregnede eksemplene i vedlegg A gir høye verdier på varmetransportskoeffisienten sammenlignet med målt varmetransportskoeffisient. Dette kan skyldes av at beregningene har vært konservative. En måte å senke den beregnede varmetransportskoeffisienten er ved å justere på infiltrasjonstallet. I tabell 4.1 kan man lese av at det er tilstand 2, med isolasjon, som gir tilnærmet lik varmetransportskoeffisient for målt og beregnet. Dette kan skyldes av at bedre isolasjon gjør bygget mindre temperaturavhengig samtidig som det er mindre vindutsatt. Det er ikke laget figur som viser forskjellen mellom målt energibruk med forventet energibruk. Kun for varmetransportskoeffisienten.

## 5.2 Forskningsspørsmål 2

*Indikerer energimodellen endring av klimaskjermen?*

Årlig energisum indikere enøk tiltak som har funnet sted. Årssøylene i fig. 4.1 kan tolkes som at i 2014 var modulen uisolert, i 2015 og 2016 var den isolert. I 2017 og 2018 var det satt inn vinduer og 2019 var ventilasjonen stort sett slått av. Størrelsesorden på årssøylene er troverdige, og sammenlignes med TEK-kravet på 100 kWh/m<sup>2</sup> for et småhus se figur 4.2. Denne figuren er basert på A modul data, men er gyldig for modul B ettersom begge modulene har gjennomgått liknende tiltak. Året 2019 er et unntak med tanke på at ventilasjonen i modul A ble slått av i forbindelse med noen forsøk. Året 2014 viser et stort energiforbruk. Tiltaket som gjennomføres i 2014/2015 har stor betydning for energien. Et uisolert bygg er mer klimautsatt og vil påvirkes av utetemperatur og vind. Solstråling blir sett bort ifra ettersom bygget mangler vinduer. Fra modellen til modul A tilstand 1, som vil si

bygg uten vindu og isolasjon, kan man se at modellen har lav  $R^2$ -verdi som vil si at kurven passer dårlig med målte verdier. Dårlig isolasjon gir økt varmetap og økt temperaturavhengighet, dette innebærer brattere kurver i modellen. Det er tydelig av modellene at den målte varmetransportskoeffisienten for A modul stabiliserer seg rundt vår 2014, da har bygget blitt isolert. Varmetransportskoeffisienten til B modul stabiliserer seg først sommer 2015. Modellen for tilstand 1 modul A se figur 4.5 og 4.6 ga en dårlig beskrivelse av data, dette kan skyldes av at middelveiden bør ha blitt oppdelt i flere segmenter. Det kan være vanskelig å se nøyaktig antall segmenter på grunn av skaleringen av y-akse. Energitilstandene som oppdages og vektlegges i denne studien er isolasjon av vegg, vindu som settes inn.

Energimodellen indikerer flere endringer av byggene. Figur 4.2 viser en reduksjon i energiforbruket på hele 57% fra 2014 til 2015. I kapittel 2 teori kom det frem at det største energibidraget er gitt av transmisjon. Overgangen fra 2014 til 2015 viser at transmisjonstapet til bygningsdelene har blitt redusert, i dette tilfellet ved å isolere veggene. Dette er en forbedring av klimaskjermen. Energiforbruket blir aldri like høyt som det var i 2014, noe som tyder på et energiøkonomisk valg. Soldata er ikke tatt med i de to første modellene, da vindu settes inn først i 2017. Videre kan man se at forventet energibruk for tilstand 3 med isolasjon og vindu passer mindre med målte verdier sammenlignet med tilstand 2. Dette skyldes innvirkningen av sol. Man kan skimte flere knekkpunkter. Dette blir dessverre ikke analysert videre. Energibidraget til sol ved vindusinnsetting i klimaskjermen, er litt vanskeligere å stadfeste, men det er tydelig av energimodellen for tilstand 3 at sola spiller en rolle på energi- og temperaturkurven, da det blir en vesentlig dårligere tilpasning av måledata. Det er en tydelig relasjon mellom temperatur, sol og vind i regresjonsmodellene.

Dager med høy utetemperatur innebærer mye sol og klar himmel, men det kan også være motsatt, dager med klar himmel og direkte sol kan også være spesielt kalde på grunn av avstråling til himmelen, dette er spesielt tilfellet ved lite vind se figur 4.14 og 4.16. Figur 4.14 viser et energiforbruk på både 13 kWh og 6 kWh for data med lav temperaturdifferanse og høy vindhastighet. Regresjonsmodellene med solstråling viser tilnærmet flere trender parallelt med regresjonslinja. Vindusinnsetting under tilstand 3 kan føre til økt varme i rommet, som gjør at varmeovnen slår seg av oftere. Dette resulterer i et økt problem for ventilasjonsvifta

som følge av spenningsfall. Når varmeovnen slår seg av, får vifta mer strøm, slik at den jobber hardere og øker energiforbruket. Dette kan løses med en PID-regulator, som justerer i små gradvise steg framfor å slå av eller på. PID står for *Proporsjonal-Integrering-Derivering* og er en type kontinuerlig regulator. Ventilasjonsanlegget ble slått av i 2019 ved luftlekkasjemålinger. Varmeteknisk utfordring ved bygget er at det forekommer et spenningsfall når varmeovnen skrur seg av slik at vifta i ventilasjonen går fortere og presser ut lufta. Store luftlekkasjer gir utilsiktet ventilasjon og økt ventilasjonstap samtidig som det øker lufthastigheten og gir dermed økt varmetap ved at romtemperaturen heves for å redusere ubehag ved trekk.

### 5.3 Forskningsspørsmål 3

*Er en empirisk modell slagkraftig i fremstillingen av energi?*

Den empiriske modellen ser kun på forholdet mellom temperatur og energi. Dette forholdet gir mest utslag når parameterne sol og vind ikke virker inn i like stor grad, som er tilfellet i tilstand 1 og 3. Klimaskjermen til disse byggene er langt mindre tett enn for tilstand 2. Det er en tydelig relasjon mellom temperatur, sol og vind i regresjonsmodellene. Dette er synlig i regresjonsmodellen for tilstand 3, perioden etter at det ble satt inn vinduer. Det er et ønske om at modellen skal anvendes på alle typer bygg, og da strekker kanskje ikke denne modellen til.

Det er begrensninger i metoden som er anvendt. Den empiriske modellen treffer godt for tilstand 2, men dårlig for tilstand 1 og 3. Konsekvensene av luftlekkasjer øker med bedre varmeisolasjon, dette er synlig for året 2019 med en relativ høy middelvei for året. En typisk energi- og temperaturkurve benytter seg av kun utetemperatur langs x-aksen. Det er med fordel bedre å bruke temperaturredifferanse for da starter aksene på null uten negative verdier samtidig som at benevningen kan både være celsius og kelvin. Det ble gjort funn som metoden sier at den skal gjøre, dette ser vi på figur 4.6 som visere en lineær modell med determinasjonskoeffisient tilnærmet lik én.

Det kunne med fordel ha blitt laget multippel regresjonsmodell i R som tar hensyn til vind og sol. Erfaringsmessig blir determinasjonskoeffisienten større for flere parametere som inkluderes. Multippel regresjon er blitt utprøvd under vedlegget databehandling. Hvor mye sol som slipper inn i boligen og bidrar til å øke energinivået er ikke nødvendigvis konstant med globalstråling, det kommer an på flere variabler som vindu, strålevinkel, refleksjoner og forstyrrelser av mennesker og skjerm.

Ved beregning av middelerdi i R var det mange varmetransportskoeffisientverdier som ikke ble inkludert. Antall segmenter kan økes for å detektere alle bruddene, men det var ikke nødvendig i dette tilfellet. Ideelt sett skal beregnet og målt linje overlappe mest mulig. Da kan vi si med høy sikkerhet at det er konkret det bygget som ligger til grunn. I 2019 blir ikke tidsperioden inndelt i mindre perioder, ettersom det gir færre målinger. Det må velges et høyere antall segmenter for å kunne se nærmere luftlekkasjeendringene som følge av små lekkasjehull.

Når det kommer til uteliggere gir kombinasjonen av innflytelsesrike observasjoner og uvanlige observasjoner en effekt. Mange uteliggere er et tegn på manglende teoretisering og operasjonalisering i forkant av studien (Hermansen, 2019, s.193). Regresjonsmodellen i figur 4.6 til A modul viser punkter med høy vindhastighet over og under regresjonslinjen. Høy vindhastighet kan være årsaken til spredningen av punktene. Årsaker til innflytelsesrike uteliggere kan være tilfeldigheter, feil i data eller en underspesifisert modell. Figur 4.16 viser en forskjell i energiforbruk på ca. 5 kWh for data med høy temperaturdifferanse, mye sol og middels til høy vindhastighet. Dette indikerer stor spredning i dataene som resulterer i en lav determinasjonskoeffisient og et høyt konfidensintervall for valgt periode, sammenlignet med perioder uten påvirkning av sol. Det er noen uteliggere som drar grafen, spesielt for tilstand 1. Her er flere uteliggere som skyldes mangel på tett bygg. Hvis selektering av punkter kan gjøres mer nøyaktig, kan dette ha stor innvirkning på resultatene. Modellene er ikke tilpasset dataene like godt som ønsket. For at modellen skal bli mer tilfredsstillende må dypere statistiske metoder anvendes.

## 6 Konklusjon

Hensikten med studien var å se om en empirisk modell kan detektere energitilstander. Det ble detektert flere energitilstander ved å benytte varmetransportskoeffisienten som utgangspunkt for energi- og temperaturmodeller. Høyere tidsoppløsning gir mer data som viser flere trender. Determinasjonskoeffisient blir lavere for døgndata sammenlignet med ukedata. Beregninger av varmetransportskoeffisienten viste seg å være større enn målt varmetransportskoeffisient. Beregningene kan justeres ved å endre faktoren infiltrasjon. Sammenhengen mellom infiltrasjon og lekkasje er vanskelig. En energi- og temperaturkurve er mindre beskrivende for klimaparametere som sol.

Det er en tydelig relasjon mellom temperatur, sol og vind i regresjonsmodellene. Dager med høy utetemperatur innebærer mye sol og klar himmel, men det kan også være motsatt, dager med klar himmel og direkte sol kan også være spesielt kalde på grunn av avstråling til himmelen, dette er spesielt tilfellet ved lite vind. Regresjonsmodellene med solstråling viser flere tilnærmet parallelle trender. Dette resulterer i en lav determinasjonskoeffisient og et høyt konfidensintervall for valgt periode. Det var utfordrende å gi en god analyse på data med sol. Determinasjonskoeffisienten blir vesentlig større for perioder uten påvirkningen av sol.

Høyere tidsoppløsning kan gjøre det vanskelig å bestemme en konkret bygningstype. Den første tilstanden viser stor variasjon i varmetransportskoeffisienten som kan relateres til et høyt energitap på grunn av mangel på isolasjon. Reduksjon av transmisjonsvarmetapet gir den største reduksjonen i energiforbruk. Determinasjonskoeffisienten for ukemodellene varierer fra 0,3 til 0,9 for de forskjellige byggene. Determinasjonskoeffisienten for døgmodellene varierer fra 0,2 til 0,7. Det kreves mer forskning for å hente ut perioder med energidata som gir en determinasjonskoeffisient tilnærmet lik én. Modellene viste at det er mange forhold som gir statistisk variasjon, som gjør at analyseringen blir vanskelig.

## 7 Videre arbeid

Det kunne med fordel ha blitt laget flere modeller, som følge av mangel på tid ble ikke dette gjort. Et eksempel på det er en modell som samler regresjonslinjene presentert i resultater. En for A modul og en for B modul. Dette ville ha gitt et klart bilde på alle detekteringen som ble gjort. Det burde også ha blitt laget plot med residualer. Plottet kan med fordel ha predikerte verdier langs x-akse og residualer langs y-akse. Dette er en informativ modell som kan avsløre systematiske avvik fra linja, som ikke nødvendigvis kommer like godt fram i spredningsdiagrammene. Det er et eksempel på et residualplot for A modul under vedlegg B: databehandling.

Studien har dekt et smalt og konkret område. Man kan se på muligheten for å sette inn andre varmekilder i modulene for å sammenligne energikildene mot hverandre. Det er hensiktsmessig at WEEE får akkumulert mer data. Dataene kan brukes til å se nærmere på luftfuktighet og ventilasjon i byggene. Det kan også med fordel legges til parametere som sier noe om byggets varmetekniske egenskaper som for eksempel varmegjennomgangskoeffisienten.

Overveielsene fra forskningsspørsmål til metode ga noen statistiske utfordringer. Ved ønske om å gjenta resultatene i studien bør behandlingen av uteliggere tilnærmes kritisk. Det kunne med fordel ha vært mer analyserende databehandling, samt flere metoder for regresjonsanalyse. Et eksempel på det er multipl regressjon. Det kan lages regresjonsmodeller med høyere tidsoppløsning enn det som er gjort i denne studien. Høy tidsoppløsning gir en større nøyaktighet når det kommer til sanntidsdetektering.

Dataene bør graddagskorrigeres. I denne studien var det kun årssøylene med energi som ble korrigeret. Det kunne ha blitt laget en ukenormal basert på 30-årsnormal for måneden, ved å sammenligne samme uke flere år på rad.

## Litteratur

- Brænden, N. J. & Aurlien, T. (2019). *Vindpåvirkning i luftinfiltrasjonsberegning*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2607858> (lest 13.02.2020).
- Byggteknisk forskrift. (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk av 19. juni 2017 nr. 840*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840?q=byggteknisk%20forskrift> (lest 01.08.2020).
- Dokka, T. H. & Grini, C. (2013). *Etterprøving av bygningers energibruk. Metodikk*. SINTEF Fag; 6. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2365084> (lest 15.04.2020).
- Edvardsen, K. I. & Ramstad, T. Ø. (red.). (2014). *Trehus*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- FN-sambandet. (2020). *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (lest 01.08.2020).
- Grimenes, A. A. & Thue-Hansen, V. (2010). *Byggrelaterte lokalklimadata for Ås*: Universitetet for miljø- og biovitenskap (lest 01.08.2020).
- Hermansen, S. S. L. (2019). *Lær deg R*. 1. utg. Oslo: Fagbokforlaget.
- Lavielle, M. (2017). *Detection of change points in a time series*. Tilgjengelig fra: <http://sia.webpopix.org/changePoints.html> (lest 01.08.2020).
- NVE. (2015). *Smarte strømmålere (AMS)*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/stromkunde/smarte-strommalere-ams/> (lest 05.03.2020).
- Pöyry Management Consulting AS. (2014). *Evaluering av modeller for klimajustering av energibruk*. NVE Rapport; 2014:7 Oslo: NVE. Tilgjengelig fra: [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014\\_07.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_07.pdf) (lest 13.04.2020).
- SINTEF Byggforsk. (2018). *451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata\\_for\\_termisk\\_dimensjonering\\_og\\_frost\\_sikring#tab3](https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frost_sikring#tab3) (lest 01.08.2020).
- Standard Norge. (2007). *NS-EN ISO 15927-6:2007 Bygningers hygrotermiske egenskaper - Beregning og presentasjon av klimadata - Del 6: Akkumulerte temperaturredifferanser (graddager)*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=312635> (lest 18.07.2020).
- Standard Norge. (2014). *NS 3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=702386> (lest 14.07.2020).
- Standard Norge. (2016). *SN/TS 3031:2016 Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=859500> (lest 01.08.2020).
- Standard Norge. (2019). *SN/TR 3069:2019 Formålsdelt etterprøving av bygningers energibruk*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1028100> (lest 10.04.2020).
- Standard Norge. (2020). *Beregning av bygningers energibehov og energiforsyning – Norsk Spesifikasjon*. Tilgjengelig fra: [https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/energi-og-klima/2020-nyheter/beregning-av-bygningers-energibehov-og-energiforsyning-norsk-spesifikasjon/?gclid=Cj0KCQjwvb75BRD1ARIsAP6LcqvYRI2oFVHpnqdcsQy9OnPcTf5OvQgIG2P89lhELzlkqz0v4x1iHocaAnLnEALw\\_wcB](https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/energi-og-klima/2020-nyheter/beregning-av-bygningers-energibehov-og-energiforsyning-norsk-spesifikasjon/?gclid=Cj0KCQjwvb75BRD1ARIsAP6LcqvYRI2oFVHpnqdcsQy9OnPcTf5OvQgIG2P89lhELzlkqz0v4x1iHocaAnLnEALw_wcB) (lest 01.08.2020).

- Sæle, H., Ingebrigtsen, K. & Istad, M. (2018). *Fremtidens Avanserte Måle- og Styringsystem (AMS)*. NVE Rapport 34/2019. Tilgjengelig fra: [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019\\_34.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019_34.pdf) (lest 15.02.2020).
- Thue, J. V. (2016). *Bygningsfysikk: grunnlag*: Fagbokforl.
- Wolff, M., Thue-Hansen, V. & Grimenes, A. A. (2020). *Meteorologiske data for Ås 2019*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/realtek/laboratorier/bioklim/meteorologiske-data> (lest 01.05.2020).



# Vedlegg

## VEDLEGG A: Beregnet varmetransportskoeffisient

Modul A Tilstand 1



B= 3,6 m  
L= 7 m  
H= 2,4 m  
 $\lambda_{\text{veg}} = 0,13 \text{ W/(mK)}$   
d= tykkelse

Referanse	A(m <sup>2</sup> )	d <sub>sp</sub>	d <sub>isol</sub>	$\lambda_{\text{isol}}$	R	U <sub>trans</sub> ref s.54 Trehus før tek17	A x U [W/K]	overflate temp
Formel (3), (4)   NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,015	0,2	0,039	5,244	0,10	0,15	2,97 W/m <sup>2</sup> K
Tabell 3 NS-EN ISO 10456, Formel (3), (4)   NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,12	0,25	0,035	8,066	0,17	0,13	21 °C
Tab.3.12.3 Trehus	0					1,300	0,8	-10 °C
Formel (3), (4)   NS-EN ISO 6946:2017	50,88	0,1	0	0,035	0,769	0,13	0,15	16,7 °C
Formel (3), (4)   NS-EN ISO 6946:2017		1,5 /h ved 50Pa	0,15 /h			9,1 m <sup>3</sup> /h	3,0	
Tabell B.6, Formel (26)   NS-3031		0,5 /h	0	varmegl.		30,24 m <sup>3</sup> /h	10,0	
						H-verdi	74,9 W/K	
						H-verdi pr dag	1,24784692	
						Effekt	2321 W ved 8inne	
						Energi	55,704 kWh/dag Bute	

## Modul A Tilstand 2

Figur:



B= 3,6 m  
L= 7 m  
H= 2,4 m  
 $\lambda_{\text{tr}} = 0,13 \text{ W/(mK)}$   
d= tykkelse

Referanse	A [m <sup>2</sup> ]	d <sub>sp</sub>	d <sub>isol</sub>	$\lambda_{\text{isol}}$	R	Rse tabell 7 Rsi tabell 7 i		U <sub>trans</sub> ref s.54 Trehus før tek17	A x U [W/K]	overflate temp
						i NS3031	NS3031			
6946:2017 Formel (3), (4) i NS-EN ISO	25,2	0,015	0,2	0,039	5,24	0,04	0,10	0,186	0,15	4,7
Tabell 3 NS-EN ISO 10456, Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,12	0,25	0,035	8,07	0,04	0,17	0,121	0,13	3,0
Tab.3.12.3 Trehus	0							1,300	0,8	0,0
6946:2017 Formel (3), (4) i NS-EN ISO	25,44	0,1	0,1	0,035	3,63	0,04	0,13	0,263	0,15	6,7
6946:2017 Formel (3), (4) i NS-EN ISO	25,44	0,1	0,15	0,035	5,05	0,04	0,13	0,191	0,15	4,9
Tabell B.6, Formel (26) i NS3031	1,5 /h ved 50Pa	0,15 /h	0	varmegj.				9,1 m <sup>3</sup> /h	3,0	20,2
	0,5 /h							30,24 m <sup>3</sup> /h	10,0	1,28 W/m <sup>2</sup> K
								H-verdi	32,3 W/K	
								H-verdi pr dag	0,53781513	
								Effekt	1000 W ved 6inne	21 °C
								Energi	24,008 kWh/dag 6ute	-10 °C

### Modul A Tilstand 3

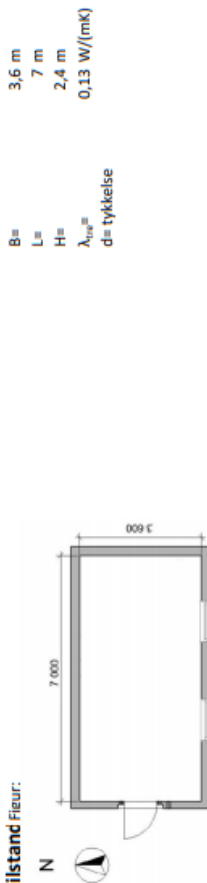
Figur:



B= 3,6 m  
L= 7 m  
H= 2,4 m  
 $\lambda_{\text{tr}} =$   
0,13 W/(mK)  
d= tykkelse

Referanse	A[m <sup>2</sup> ]	d <sub>tr</sub>	d <sub>isol</sub>	$\lambda_{\text{isol}}$	R	R <sub>se</sub> tabell 7 i NS3031	U	U <sub>max,ref</sub> s.54 Trehus før tek17	A x U [W/K]	overflate temp
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,015	0,2	0,039	5,24	0,04	0,10	0,186	0,15	4,7
Tabell 3 NS-EN ISO 10456, Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,120	0,25	0,035	8,07	0,04	0,17	0,121	0,13	3,0
Tab.3.12.3 Trehus vindu	4							1,3	0,8	5,2
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,44	0,100	0,1	0,035	3,626374	0,04	0,13	0,263	0,15	6,7
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,44	0,100	0,15	0,035	5,054945	0,04	0,13	0,191	0,15	4,9
Tabell B.6, Formel (26) i NS3031	1,5 /h ved 50Pa	0,15 /h	0	vårmegi.				9,1 m3/h		3,0
ventilasjon	0,5 /h							30,24 m3/h		10,0
								H-verdi		37,5 W/K
								H-verdi pr dag		0,62448179
								Effekt		1162 W ved 6inne
								H-verdi		27,8769 kWh/dag 6ute
										21 °C
										-10 °C

### Modul B Tilstand Fiezur:



Referanse	$A(m^2)$	$d_{tre}$	$d_{isol}$	$\lambda_{isol}$	R	R <sub>se</sub> tabell 7 i Rsi tabell 7 i NS3031	U	$U_{max,ref}$ s.54 Trehus før tek17	A x U [W/K]	overflate temp
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,015	0,2	0,04	5,244	0,04	0,10	0,186	0,15	4,7
Tabell 3 NS-EN ISO 10456. Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,12	0,25	0,04	8,066	0,04	0,17	0,121	0,13	3,0
Tab.3.12.3 Trehus vindu	0							1,300	0,8	0,0
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	50,88	0,1	0	0,04	0,769	0,04	0,13	1,065	0,15	54,2
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017		1,5 /h ved 50Pa	0,15 /h					22,5 m3/h		7,4
Tabell B.6. Formel (26) i NS3031		0,2 /h	0 varmegi.					12,10 m3/h		4,0
								H-verdi		73,3 W/K
								H-verdi pr dag		1,22190892
								Effekt		2273 W ved Øinne
								Energi		54,546 kWh/dag Øute
										21 °C
										-10 °C

Modul B Tilstand 2 Figur:



B= 3,6 m  
 L= 7 m  
 H= 2,4 m  
 $\lambda_{tre} = 0,13 \text{ W/(mK)}$   
 d= tykkelse

Referanse	A[m <sup>2</sup> ]	d <sub>tre</sub>	d <sub>isol</sub>	$\lambda_{isol}$	R	Rse tabell 7		U	U <sub>maxPas</sub> ref s.54		overflate temp
						i NS3031	Rsi tabell 7 i NS3031		Trehus før tek17	A x U [W/K]	
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017 10456. Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,015	0,2	0,039	5,24	0,04	0,10	0,186	0,15	4,7	
gulv											
Tab.3.12.3 Trehus	25,2	0,12	0,25	0,035	8,07	0,04	0,17	0,121	0,13	3,0	
tak											
vindu	0							1,300	0,8	0,0	
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,44	0,1	0,1	0,035	3,63	0,04	0,13	0,263	0,15	6,7	19,9 °C
vegg sør + vegg m. dør											
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,44	0,1	0,15	0,035	5,05	0,04	0,13	0,191	0,15	4,9	20,2
vegg nord + endevegg											
(26) i NS3031	1,5	/h ved 50Pa	0,15	/h				9,1 m3/h		3,0	
infil n <sub>50</sub>								12,10 m3/h		4,0	
ventilasjon	0,2	/h			0 varmegj.			H-verdi		26,3 W/K	1,04 W/m2K
								H-verdi pr dag		0,43802313	
								Effekt		815 W ved flinne	21 °C
								Energi		19,553 kWh/dag GUTE	-10 °C

### Modul B Tilstand 3

Fleurr:



B= 3,6 m  
L= 7 m  
H= 2,4 m  
 $\lambda_{\text{veg}} = 0,13 \text{ W/(mK)}$   
d= tykkelse

Referanse	A [m <sup>2</sup> ]	d <sub>tre</sub>	d <sub>isol</sub>	$\lambda_{\text{isol}}$	R	Rse tabell 7 i NS3031	U	U <sub>maxPa, ref s.54</sub> Trehus før tek17	A x U [W/K]	overflate temp
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,015	0,2	0,039	5,24	0,04	0,10	0,186	0,15	4,7
Tabell 3 NS-EN ISO 10456.										
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,2	0,120	0,25	0,035	8,07	0,04	0,17	0,121	0,13	3,0
Tab.3.12.3 Trehus	4							1,3	0,8	5,2
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,4	0,100	0,1	0,035	3,626	0,04	0,13	0,263	0,15	6,7
Formel (3), (4) i NS-EN ISO 6946:2017	25,4	0,100	0,15	0,035	5,055	0,04	0,13	0,191	0,15	19,9 °C
Tabell B.6. Formel (26) i NS3031	1,5 /h ved 50Pa	0,15 /h						9,1 m3/h		3,0
	0,2 /h	0 varmegi.						12,10 m3/h		4,0
								H-verdi		31,5 W/K
								H-verdi pr dag		0,524689794
								Effekt		976 W ved Øinne
								Energi		23,422 kWh/dag Øute
										1,25 W/m2K
										21 °C
										-10 °C

Modul A Tilstand 4

Figur:

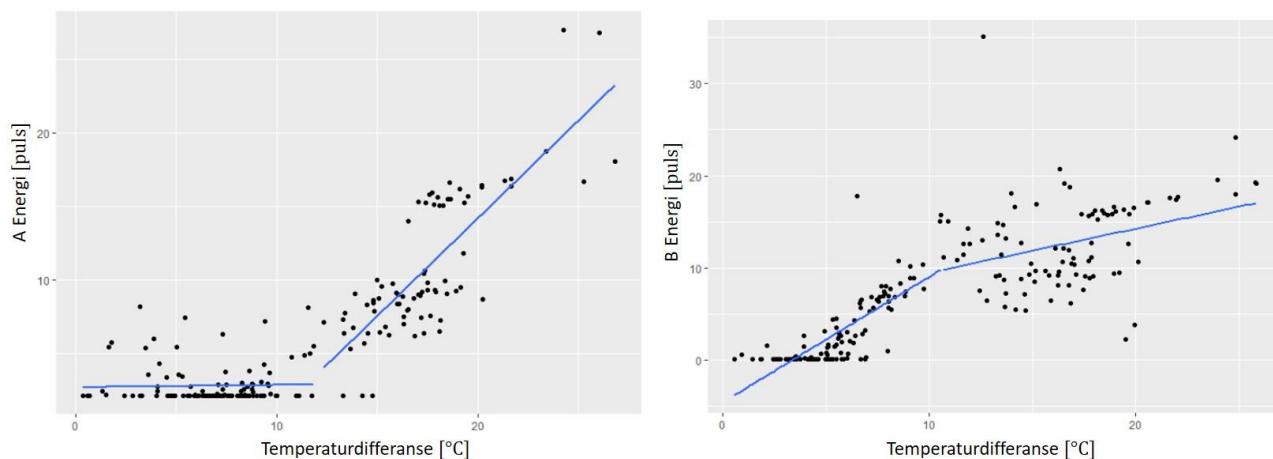


B= 3,6 m  
 L= 7 m  
 H= 2,4 m  
 $\lambda_{air}$ = 0,13 W/(mK)  
 d= tykkelse

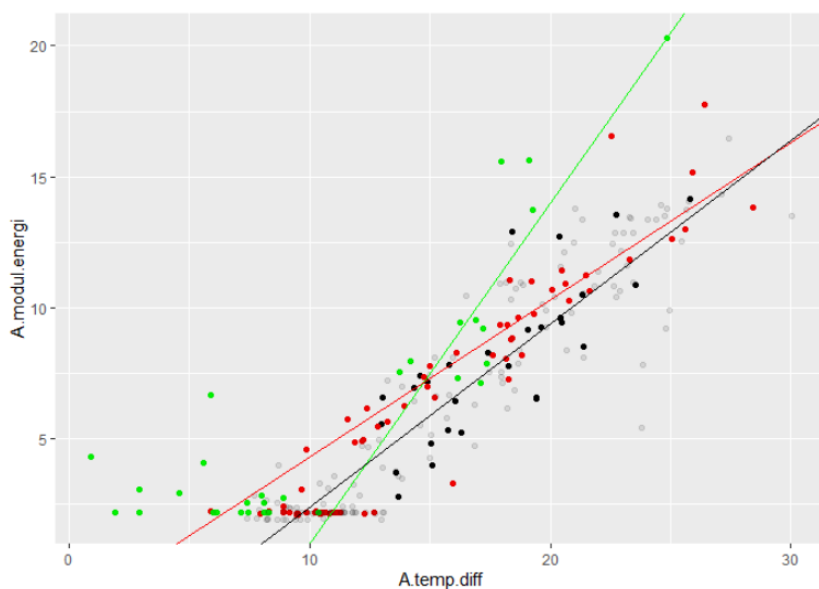
Referanse	A [m <sup>2</sup> ]	d <sub>bu</sub>	d <sub>bu</sub>	d <sub>bu</sub>	$\lambda_{air}$	R	i NS3031	U	U <sub>max,sa</sub> ref. 54	A x U [W/K]	overflate temp
Formel (3), (4)   NS-EN ISO 6946:2017 gulv	25,2	0,015	0,2	0,039	5,24	0,04	0,10	0,186	0,15	4,7	
Tabell 13 NS-EN ISO 10456, Formel (3), (4)   NS-EN ISO 6946:2017 tak	25,2	0,120	0,35	0,035	8,07	0,04	0,17	0,121	0,13	3,0	
Tab.3.12.3 Trehus vindu	25,44	0,100	0,1	0,035	3,625374	0,04	0,13	0,263	0,8	5,2	
Formel (3), (4)   NS-EN ISO 6946:2017 vegg sør + vegg m. dør	25,44	0,100	0,15	0,035	5,054945	0,04	0,13	0,191	0,15	6,7	19,9 °C
Formel (3), (4)   NS-EN ISO 6946:2017 vegg nord + endevegg	1,5	/h ved 50Pa	0,15	/h				9,1	0,15	4,9	20,2
Tabell B.6, Formel (26)   NS3031 infiltrasjon	0	/h	0	varmeig.				0		3,0	
										27,5	1,09 W/m <sup>2</sup> K
										0,45816179	
										852	W ved 6 mne
										20,4523	kWh/K Eute
											21 °C
											-10 °C

## VEDLEGG B: Databehandling

Alternativ metode for å finne hvilke punkter som skal ekskluderes. Det blir regnet median for oppsamlede punkter som resulterer i et knekkpunkt. Det ble prøvd for deler av data fra modul A og deler av data fra modul B. Resultatet fra modul A viser et gunstig knekkpunkt framfor B modul. B modulen gir et annet knekkpunkt enn ønsket.

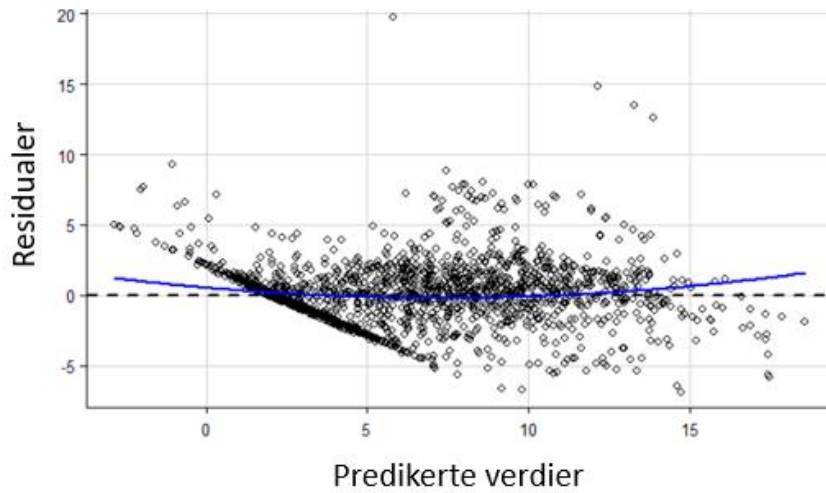


Knekkpunkt for A modul ligger på  $x=12$ , og knekkpunktet for B modul ligger på  $x=11$ .



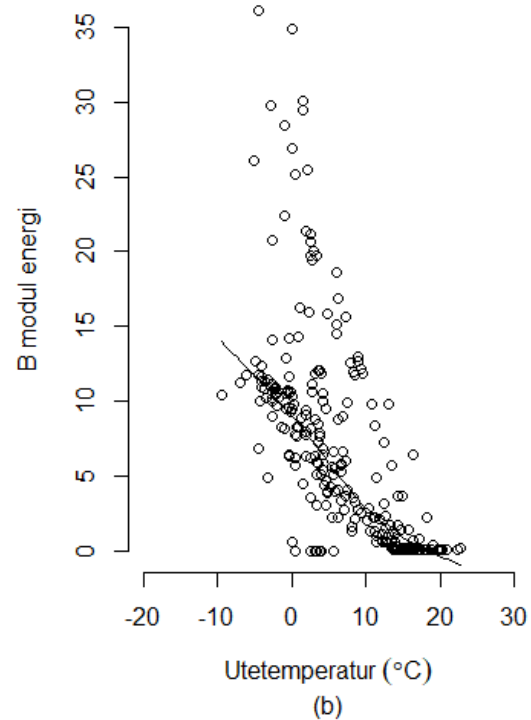
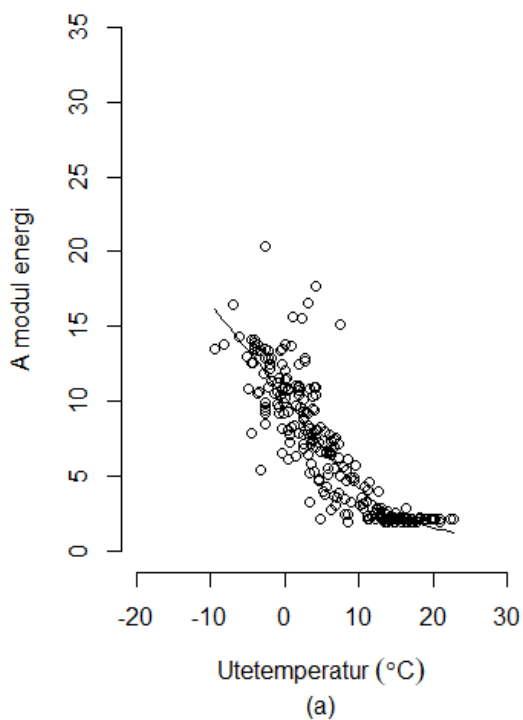
Spredningsdiagram med ukeverdier fra februar 2014 til og med desember 2019. Grønn er tilstand 1, rød er tilstand 2 og sort viser tilstand 3. Modellen viser en total oversikt over alle tilstandene. Det ble valgt uker som tidsoppløsning for bedre leselighet.





Spredningsdiagram som sammenstiller predikerte verdier og residualer. Diagrammet utforsker forutsetningen om homoskedastisitet. Residualene skal være normalfordelte, jevnt fordelt over hele spennet av predikerte verdier av avhengig variabel.

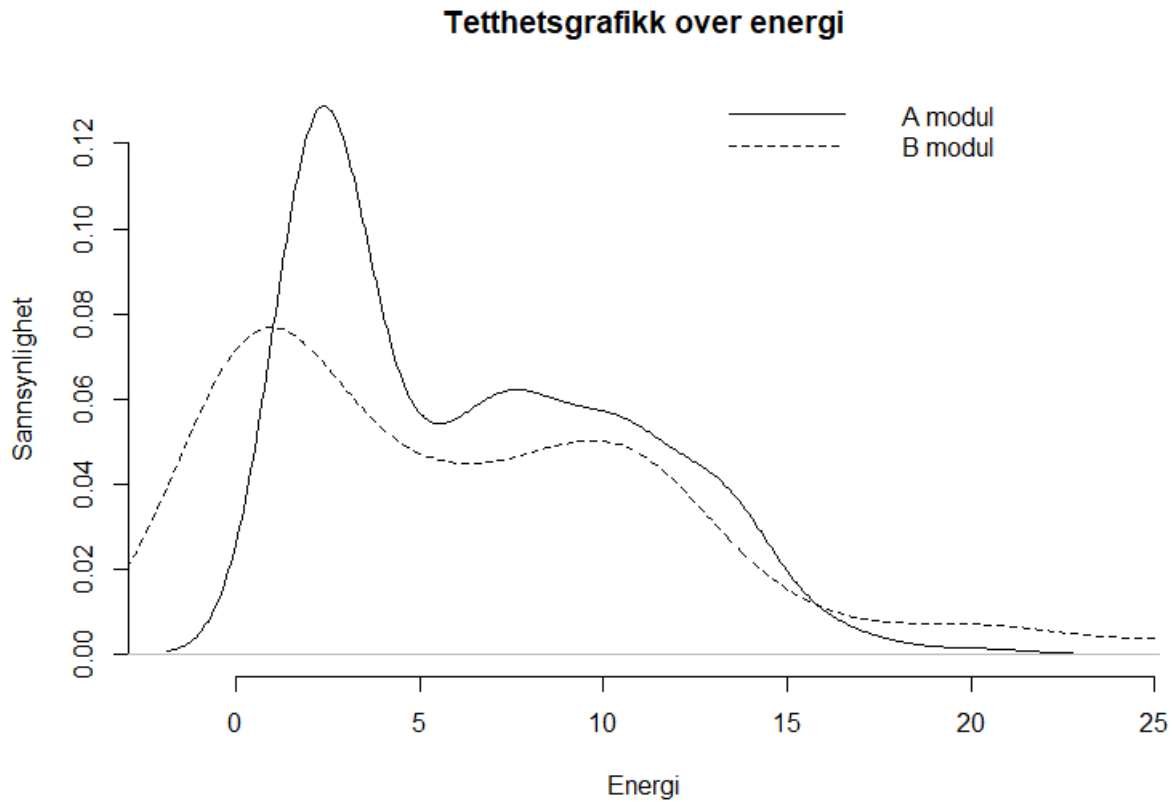
Energien fra modul A og modul B viser en tydelig lineær trend som vist i spredningsdiagrammet med lokalt gjennomsnitt i figur 4.1 og 4.2.



Datafordeling vist som spredningsdiagram for (a) A modul og (b) B modul

En randomisering av datasettet ville ha gitt en lignende trend. Videre benyttes det reelle og det predikerte datasettet for videre analyse i delkapittel 4.5.

Test datasett



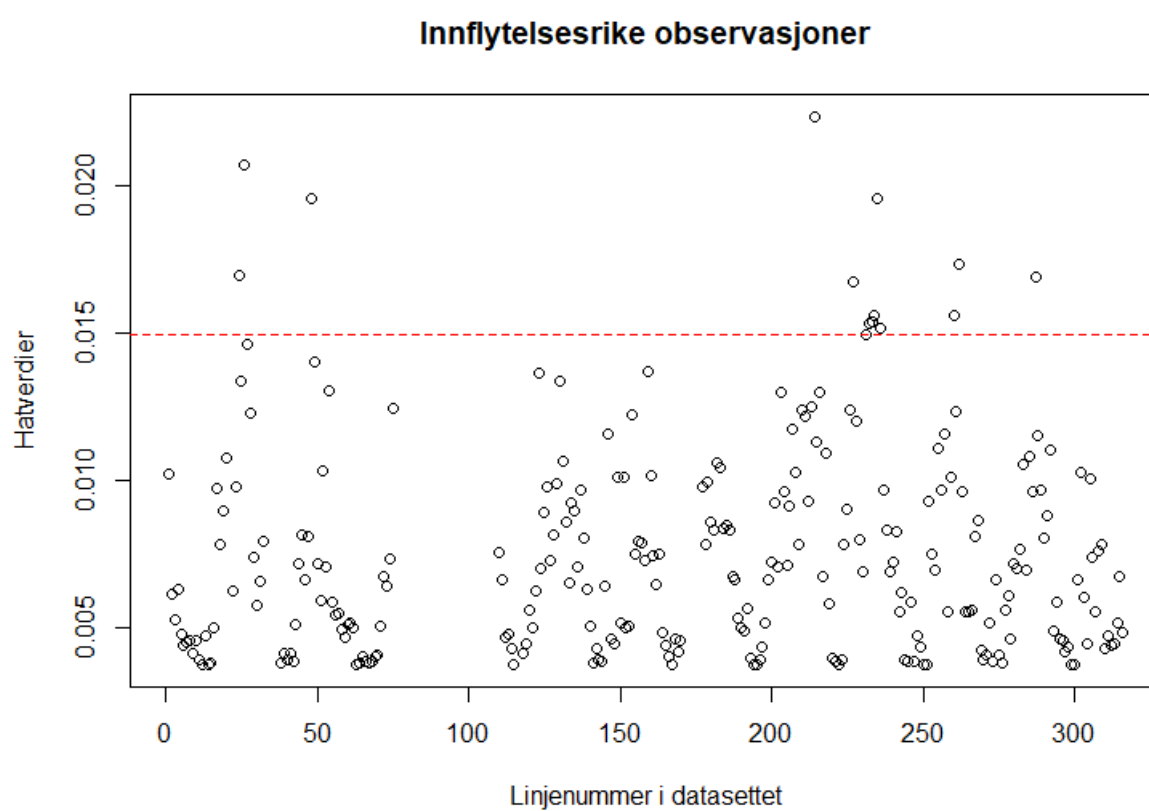
Tetthetsgrafikk

Reelt og test datasett har lignende distribusjoner som vist i tabell 4.1. Variasjonen mellom settene antas å være neglisjerbar.

Beskrivende statistikk over ukens midlede energi og klimadata fra WEEE og Søråsfeltet

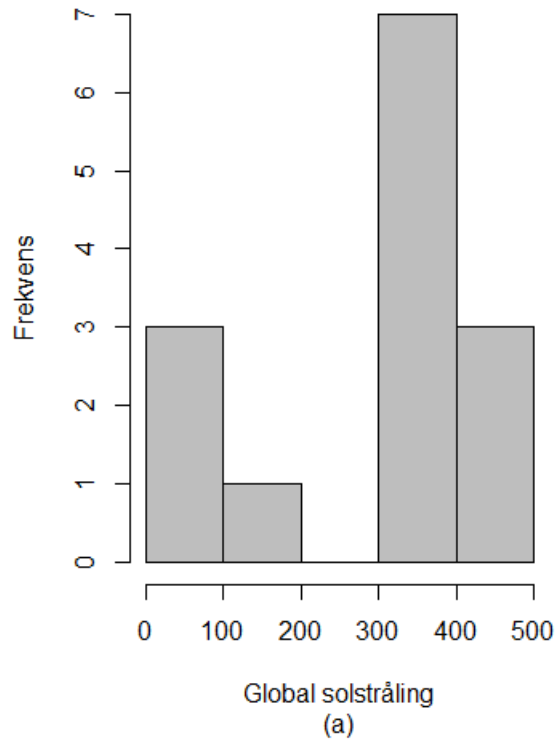
	Min	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max	NA's
Global solstråling	17.9	72.3	195.8	195.6	295.2	454.7	2
Vindhastighet	0.9187	2.1609	2.6029	2.6735	3.0730	5.9092	24
Utetemperatur	-11.024	1.152	6.186	7.019	13.765	22.698	2
A modul energi	1.894	2.179	5.752	6.499	9.886	20.310	46
A modul temperatur	5.364	20.413	21.057	21.976	22.922	33.657	46
B modul energi	0.0000	0.4637	5.4308	6.8079	10.5699	37.8840	46
B modul temperatur	18.29	19.58	20.47	21.24	21.77	30.94	46

Innflytelsesrike observasjoner- hatverdier

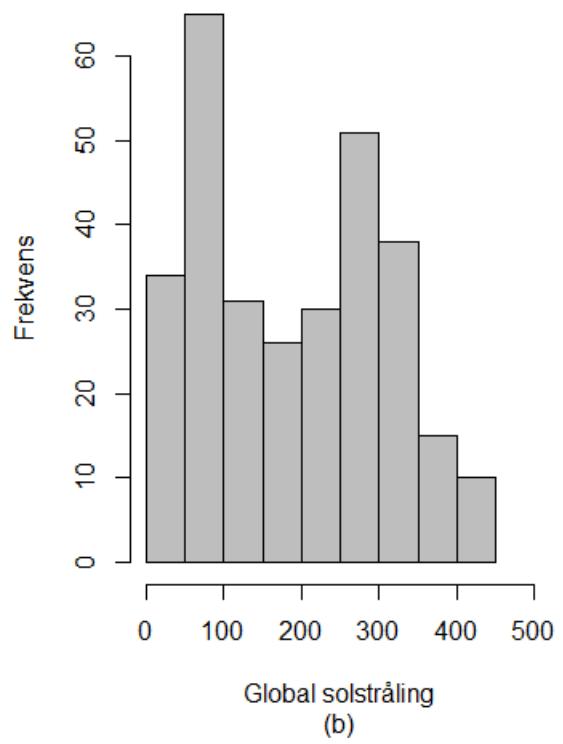


Indeksgrafikk med hatverdier

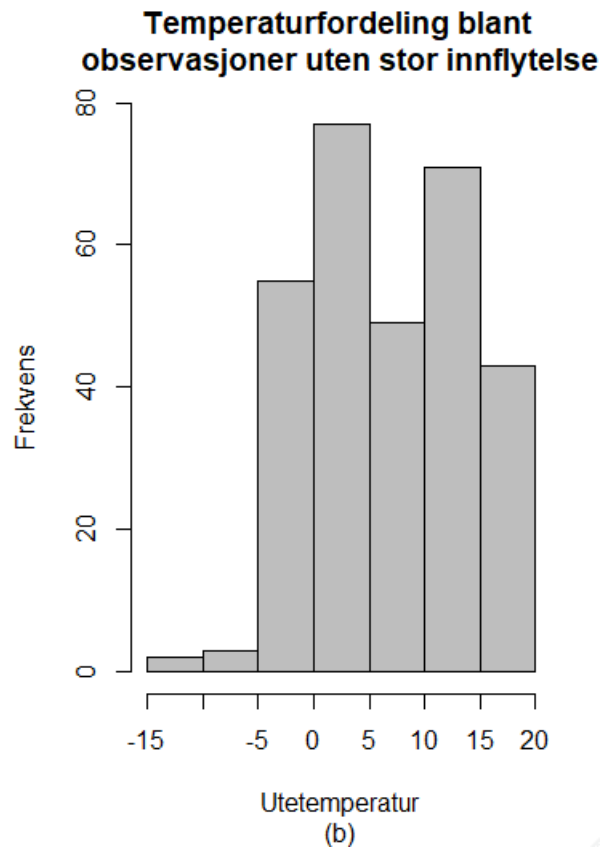
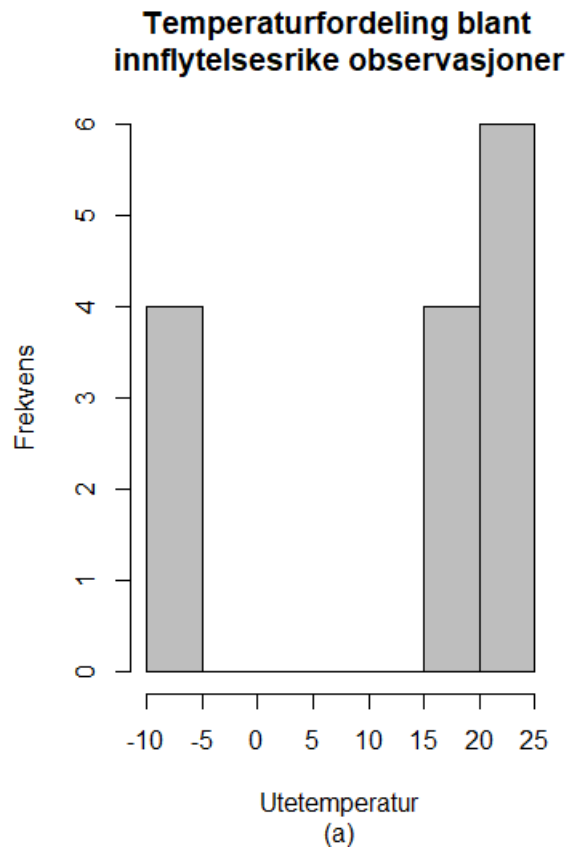
**Strålingsfordeling blant innflytelsesrike observasjoner**



**Strålingsfordeling blant observasjoner uten stor innflytelse**



Strålingsfordeling



Temperaturfordeling

Uvanlige observasjoner

### Ordinary Least Squares (OLS)

Observasjoner med manglende informasjon blir sett bort ifra. Sammendraget av modellen gir informasjon om t- og p-verdier til regresjonskoeffisientene, samt standardavvik.

Lineær modell for ukemidlet data mellom utetemperatur og A modul energi.

#### Modell 1

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ Utetemperatur, data = data, na.action = "na.exclude")
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.2043 -1.1443 -0.1997  1.0518  9.8421
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  10.00880    0.18106   55.28 <2e-16 ***
Utetemperatur -0.50350    0.01783  -28.24 <2e-16 ***
```

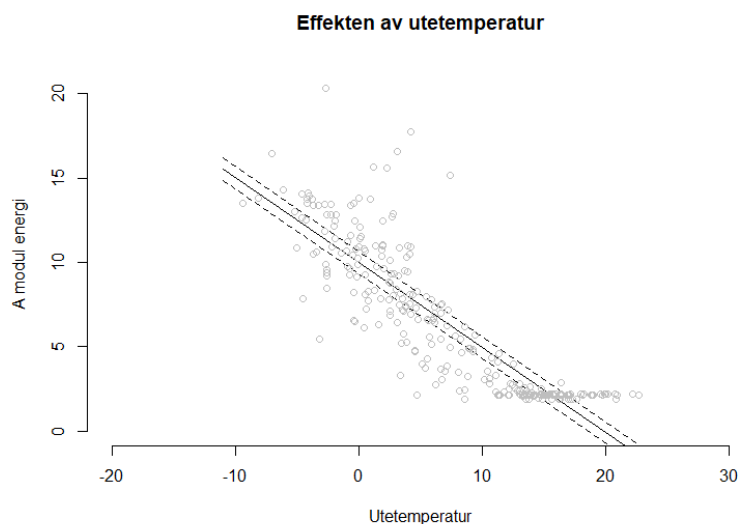
```
---
Signif. codes:
  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 2.149 on 266 degrees of freedom
(48 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7499,    Adjusted R-squared:  0.749
F-statistic: 797.6 on 1 and 266 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

#### Sammendrag av bivariat modell 1

	2.5 %	97.5 %
(Intercept)	9.6523029	10.3653038
Utetemperatur	-0.5386066	-0.4683998

#### Konfidensintervall



Effekten av utetemperatur på energi med predikasjonens konfidensintervall og reelle observasjoner langs x- og y-aksene.

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ Utetemperatur, data = data[!is.na(c(data$Global.sol,
data$Vindhastighet)), ])
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.2043 -1.1443 -0.1997  1.0518  9.8421
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  10.00880   0.18106   55.28 <2e-16 ***
Utetemperatur -0.50350   0.01783  -28.24 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 2.149 on 266 degrees of freedom
(338 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7499,    Adjusted R-squared:  0.749
F-statistic: 797.6 on 1 and 266 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Modell 1.b

## Multipel regresjon

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ Utetemperatur + Vindhastighet,
    data = data)
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.7457 -1.1842 -0.2774  1.1376  9.6203
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   9.0216   0.4948  18.235 <2e-16 ***
Utetemperatur -0.5042   0.0189 -26.679 <2e-16 ***
Vindhastighet  0.3615   0.1749  2.067  0.0398 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 2.216 on 243 degrees of freedom
(70 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7458,    Adjusted R-squared:  0.7437
F-statistic: 356.4 on 2 and 243 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Multipel modell 2

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ Utetemperatur + Vindhastighet +
    Global.sol, data = data)
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.6771 -1.4187 -0.2953  1.3097  9.8525
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  10.526671    0.533511  19.731 < 2e-16 ***
Utetemperatur -0.374567    0.028683 -13.059 < 2e-16 ***
Vindhastighet  0.190963    0.167028  1.143  0.254
Global.sol    -0.010046    0.001746 -5.754 2.62e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 2.083 on 242 degrees of freedom
(70 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7763,    Adjusted R-squared:  0.7736
F-statistic: 280 on 3 and 242 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Multipel modell 3

Multipel modell 2 og 3 må standardiseres.

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ Utetemperatur.st + vindhastighet.st,
    data = data[!is.na(c(data$Global.sol, data$Vindhastighet)),
    ])
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.7457 -1.1842 -0.2774  1.1376  9.6203
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   9.0216    0.4947  18.235 <2e-16 ***
Utetemperatur.st -3.7123    0.1391 -26.679 <2e-16 ***
Vindhastighet.st  0.2917    0.1411  2.067  0.0398 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 2.216 on 243 degrees of freedom
(360 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7458,    Adjusted R-squared:  0.7437
F-statistic: 356.4 on 2 and 243 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Modell 2b. Multipel modell 2 standardisert

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ Utetemperatur.st + Vindhastighet.st +
    Global.sol.st, data = data[!is.na(c(data$Global.sol, data$Vindhastighet))
    ])
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.6771 -1.4187 -0.2953  1.3097  9.8525
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  10.5267    0.5335  19.731 < 2e-16 ***
Utetemperatur.st -2.7581    0.2112 -13.059 < 2e-16 ***
Vindhastighet.st  0.1541    0.1348  1.143  0.254
Global.sol.st    -1.2058    0.2096 -5.754 2.62e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 2.083 on 242 degrees of freedom
(360 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7763,    Adjusted R-squared:  0.7736
F-statistic: 280 on 3 and 242 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Modell 3b: Multipel modell 3 standardisert



Tabell med resultater fra lineær regresjonsanalyse hvor samme variabel sammenlignes i forskjellige modeller

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 1b	Modell 2b	Modell 3b
Utetemperatur	-0.504	-0.504	-0.375	-0.504		
Vindhastighet		0.362	0.191			
Global sol			-0.0100			
Utetemperatur.st					-3.712	-2.758
Vindhastighet.st					0.292	0.154
Global sol.st						-1.206
Konstant	10.009	9.022	10.527	10.009	9.0216	
Observasjoner	266	243	242	266	243	
R <sup>2</sup>	0.750	0.746	0.776	0.750	0.746	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.749	0.744	0.774	0.749	0.744	
Residual std.error	2.149	2.216	2.083	2.149	2.216	
F Statistic	797.6	356.4	280	797.6	356.4	

Sammenlikning av konfidensintervaller



Koeffisientgrafikk av modell 3b illustrerer hvor nøyaktig effektene er antatt å være

### Ikke-lineære sammenhenger (samspill)

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ Utetemperatur * Vindhastighet *
    Global.sol, data = data)
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.6410 -0.8061 -0.1774  0.5435 10.3021
```

Coefficients:

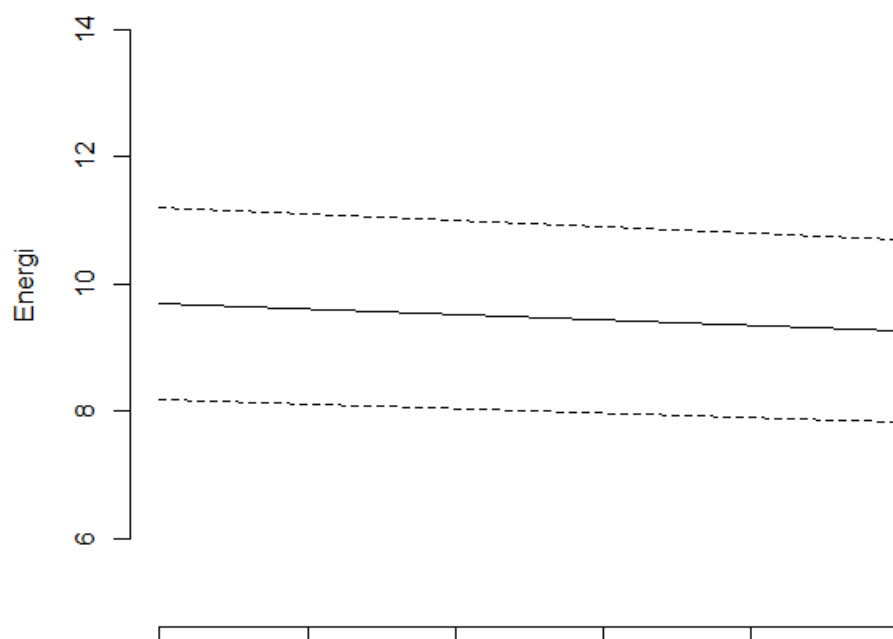
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	9.688e+00	7.685e-01	12.606	< 2e-16	***
Utetemperatur	-4.316e-01	1.252e-01	-3.447	0.000671	***
Vindhastighet	1.096e+00	2.994e-01	3.660	0.000311	***
Global.sol	-2.150e-02	6.180e-03	-3.480	0.000597	***
Utetemperatur:Vindhastighet	-1.197e-01	4.854e-02	-2.466	0.014359	*
Utetemperatur:Global.sol	1.309e-03	5.498e-04	2.381	0.018042	*
Vindhastighet:Global.sol	3.117e-05	2.378e-03	0.013	0.989553	
Utetemperatur:Vindhastighet:Global.sol	1.159e-04	2.202e-04	0.526	0.599073	

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 1.698 on 238 degrees of freedom
(70 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.8539,    Adjusted R-squared:  0.8496
F-statistic: 198.7 on 7 and 238 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

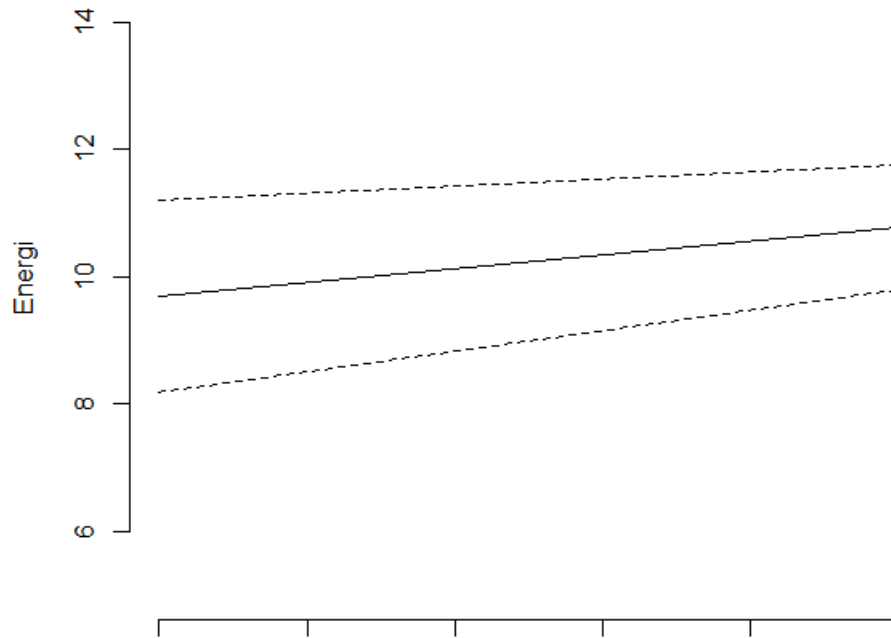
Samspill, ikke-lineære effekter

## Effekten av utetemperatur på energi uten sol og vindstille



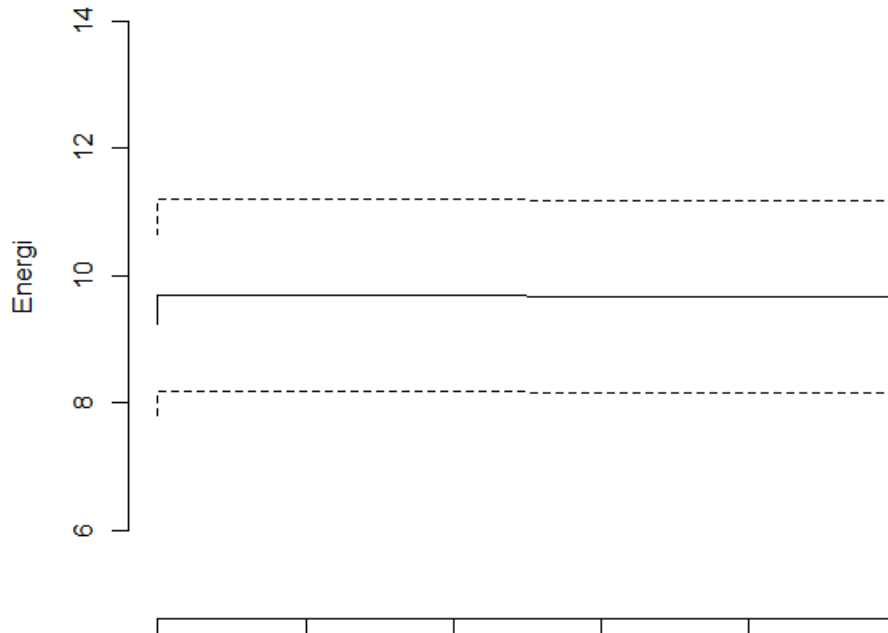
Effekten av utetemperatur natt (ingen solstråling) og vindstille

## Effekten av utetemperatur på energi med vind



Effekten av utetemperatur på energi når det er vind

## Effekten av utetemperatur på energi med sol



Effekten av utetemperatur på energi når det er dag (global stråling)

### Kurvlinære sammenhenger

#### Global solstråling

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ Global.sol + Global.sol2, data = data)

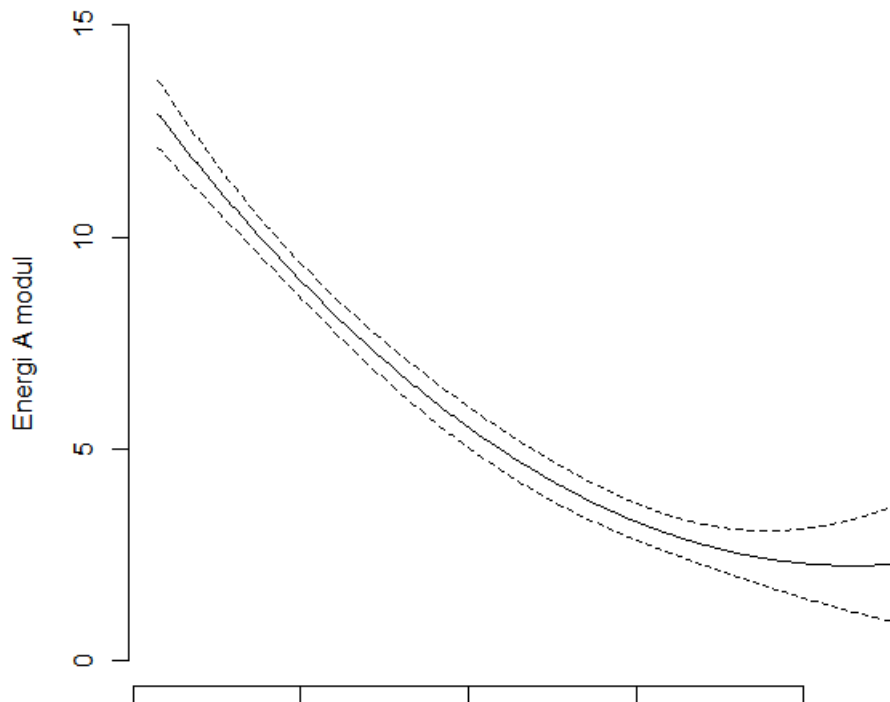
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.8826 -1.4669 -0.2666  1.3952 11.3179

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.368e+01  4.700e-01  29.108 < 2e-16 ***
Global.sol   -5.320e-02  5.463e-03  -9.739 < 2e-16 ***
Global.sol2  6.193e-05  1.278e-05   4.847 2.14e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.577 on 265 degrees of freedom
(48 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.6415,    Adjusted R-squared:  0.6388
F-statistic: 237.1 on 2 and 265 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Kurvilineære sammenheng global sol

## Effekten av global solstråling på energi



Effektgrafikk global solstråling

## Vind

```
Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ vindhastighet + vindhastighet2,
    data = data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-5.493	-3.722	-1.222	3.675	14.531

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	12.0980	2.2902	5.282	2.83e-07 ***
vindhastighet	-3.9784	1.5325	-2.596	0.0100 *
vindhastighet2	0.6242	0.2453	2.545	0.0116 *

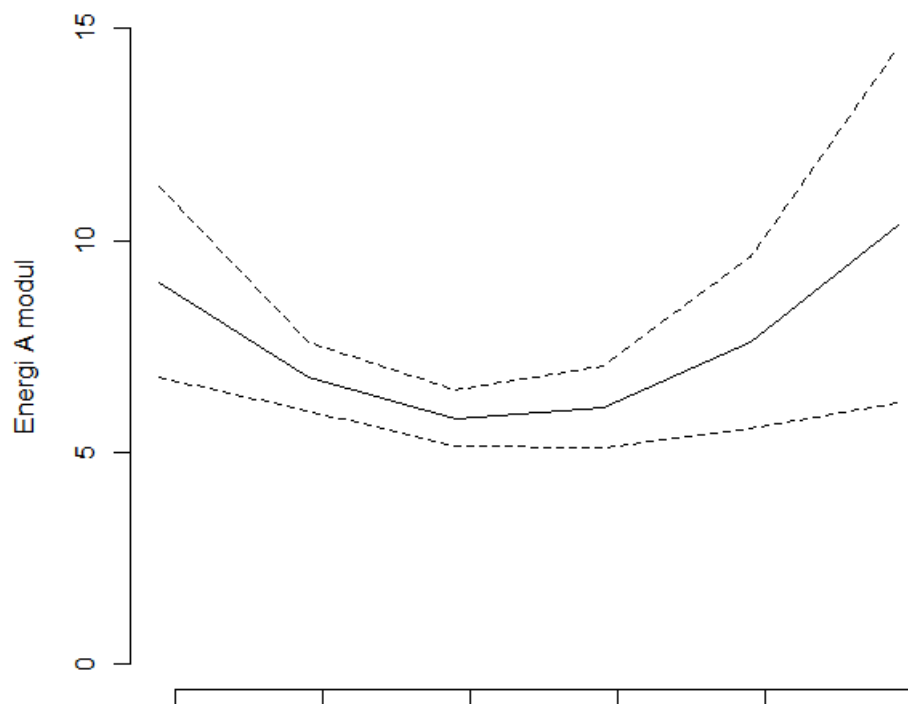
---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4.336 on 243 degrees of freedom  
(70 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.027, Adjusted R-squared: 0.01899  
F-statistic: 3.371 on 2 and 243 DF, p-value: 0.03596

Kurvilinear sammenheng vindhastighet

### Effekten av vindhastighet på energi



Effektgrafikk vind

Logtransformere

```

Call:
lm(formula = A.modul.energi ~ log(Global.sol), data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-8.1027 -1.6869 -0.4139  1.3921 11.7184

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  27.5721    1.0393   26.53  <2e-16 ***
log(Global.sol) -4.1959    0.2042  -20.54  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

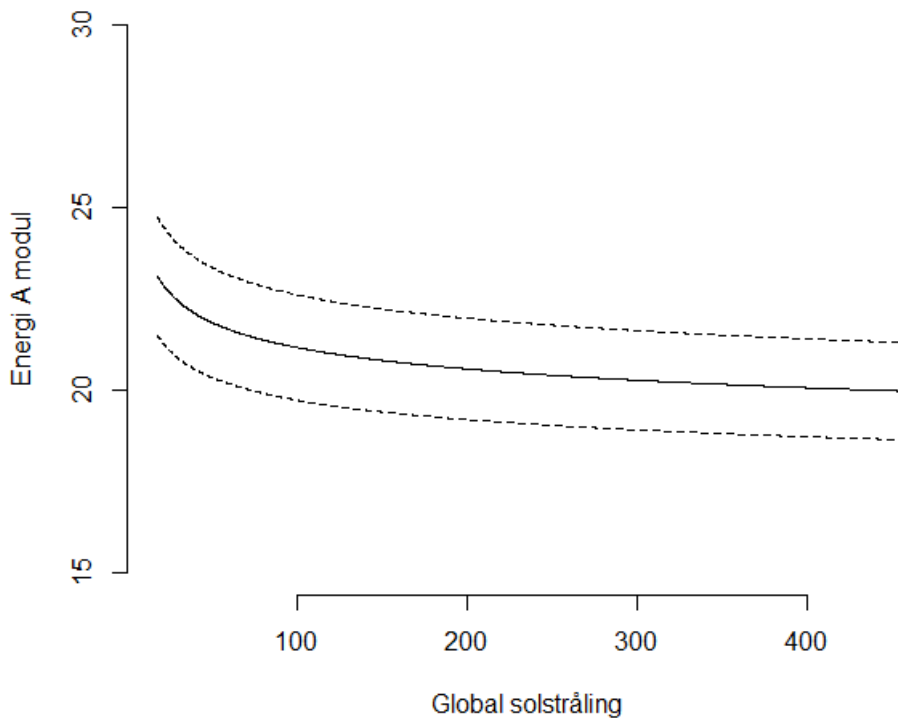
Residual standard error: 2.671 on 266 degrees of freedom
(48 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.6134,    Adjusted R-squared:  0.612
F-statistic: 422.1 on 1 and 266 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Figur 0.1: Modellsammendrag fra logtransformasjon

Regresjonskoeffisienten på -4.1959 tilsvarer 0.04 prosentvis endring i global solstråling.

### Effekten av global solstråling på energi



Effektgrafikk av eksponentiell sammenheng



## Generalisert lineær modell, GLM, ved ikke-lineær sammenheng

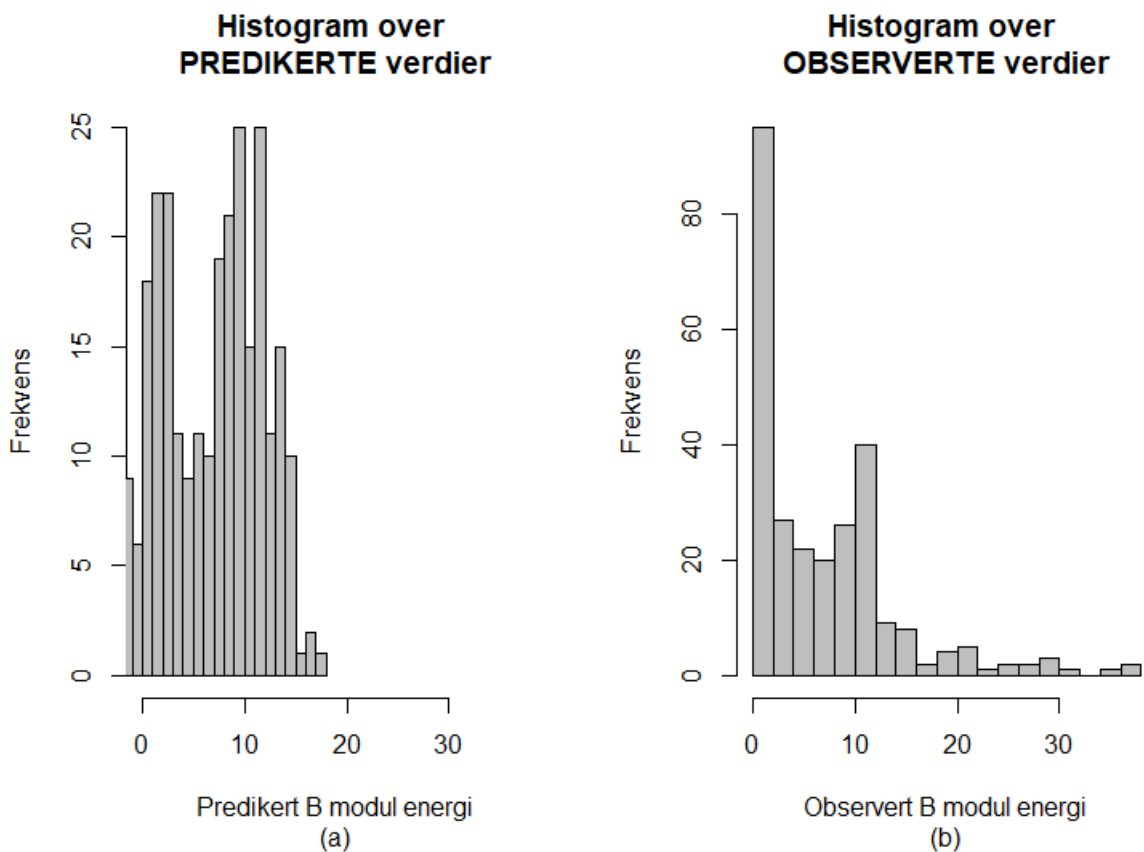
```
Call:
lm(formula = B.modul.energi ~ Utetemperatur, data = data, na.action = "na.exclude")

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-11.180  -2.797  -1.315   1.340  23.451

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  11.46409    0.45677   25.10  <2e-16 ***
Utetemperatur -0.66429    0.04498  -14.77  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

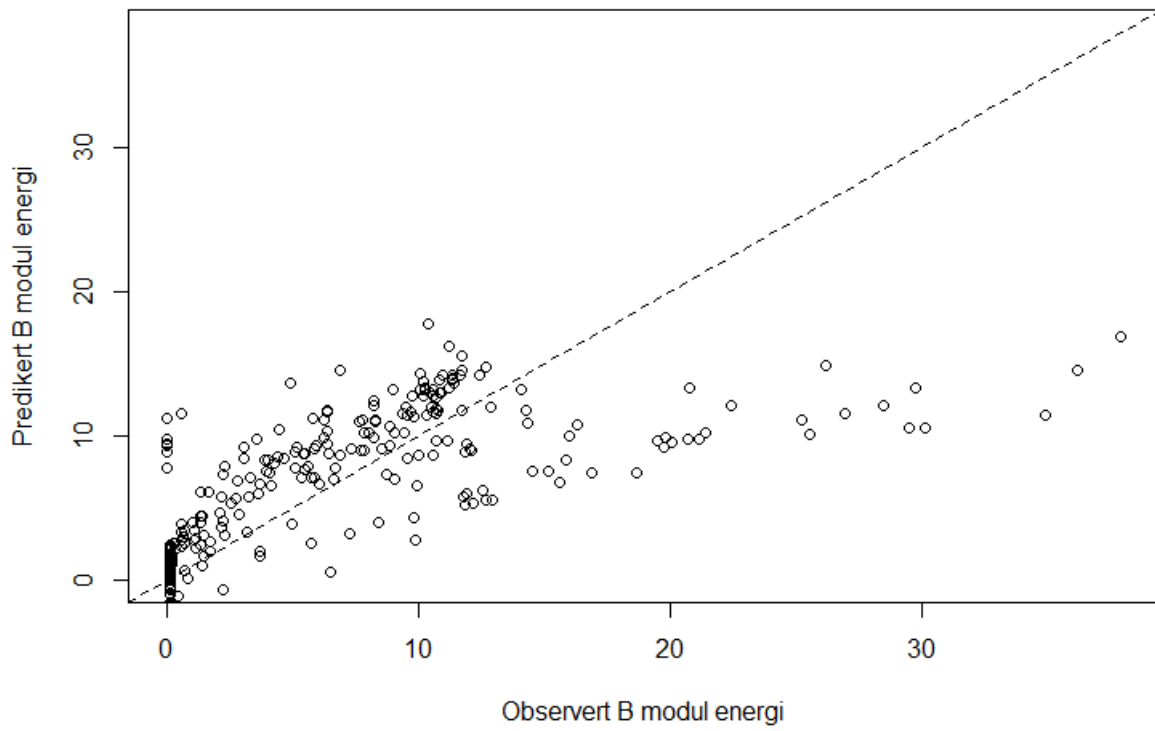
Residual standard error: 5.42 on 266 degrees of freedom
(48 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.4506,    Adjusted R-squared:  0.4485
F-statistic: 218.1 on 1 and 266 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Figur 0.2: Estimering av ET modell for B modul

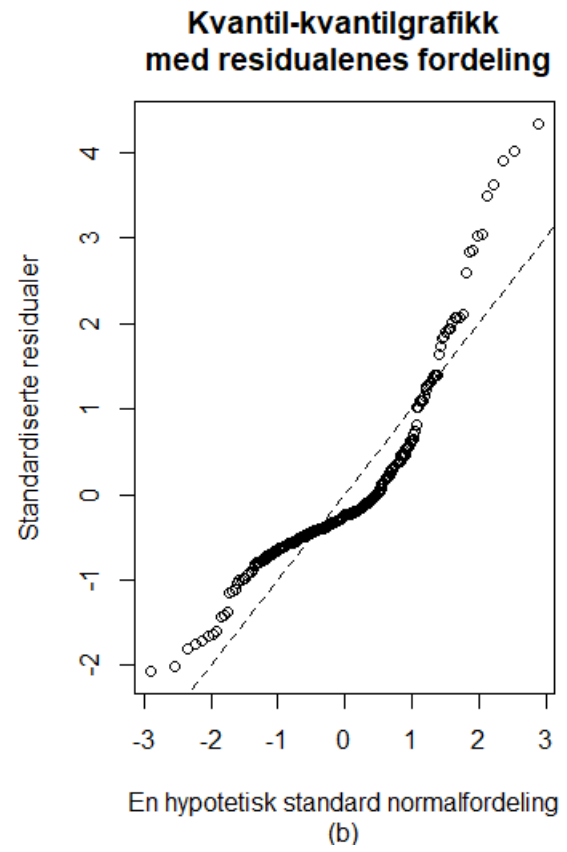
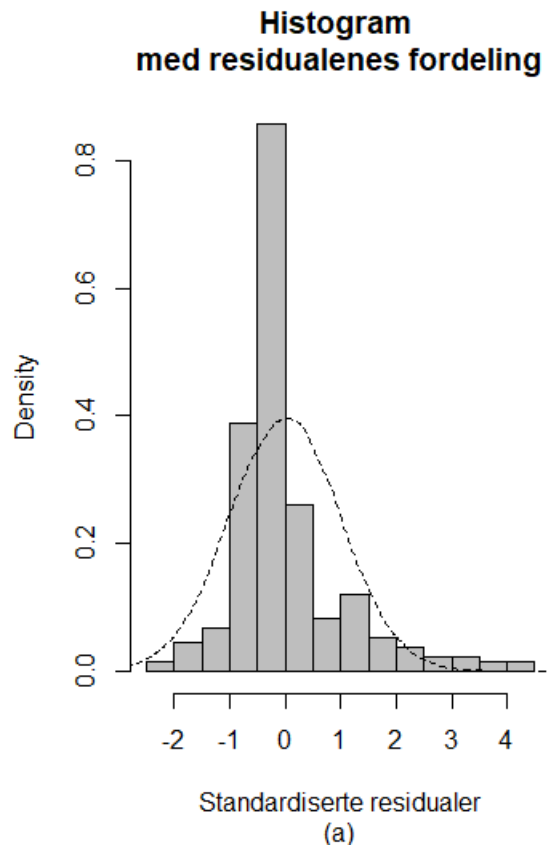


Histogrammer over predikerte og observerte verdier

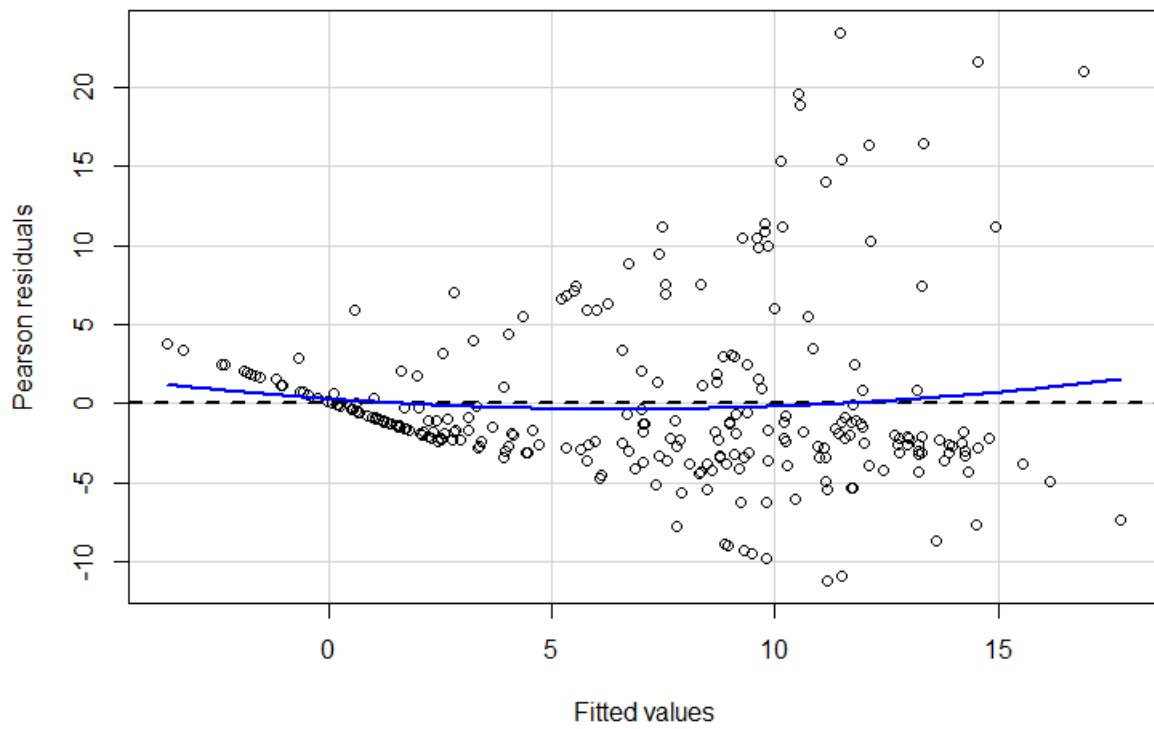
### Korrelasjon mellom predikerte og observerte y-verdier



Spredningsdiagram som viser sammenhengen mellom predikerte og observerte verdier

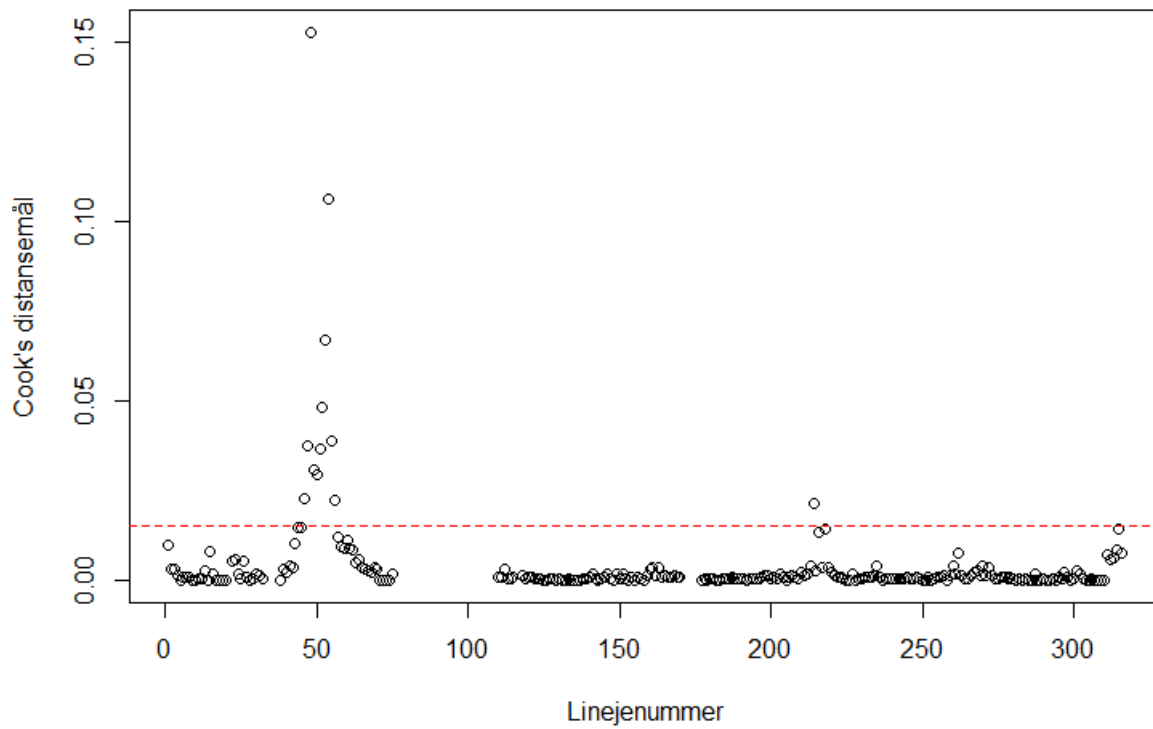


Sammenlikninger av residualer



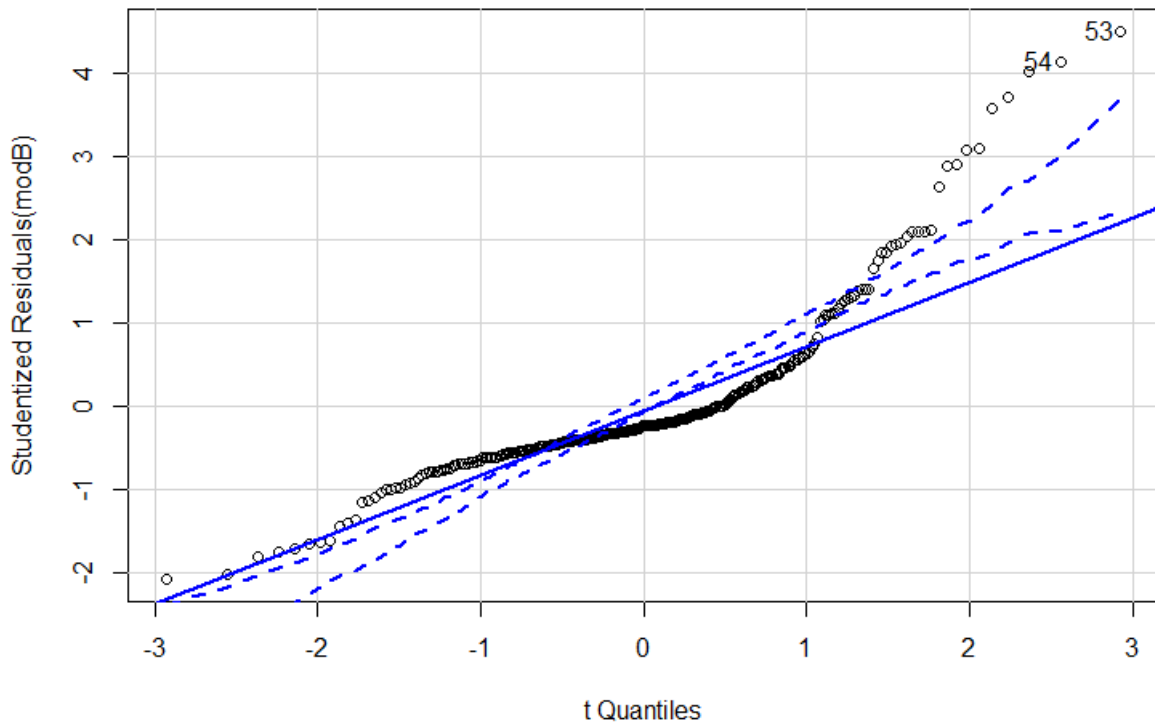
Spredningsdiagram over residualene

### Indeksgrafikk over innflytelsesrike uteliggere



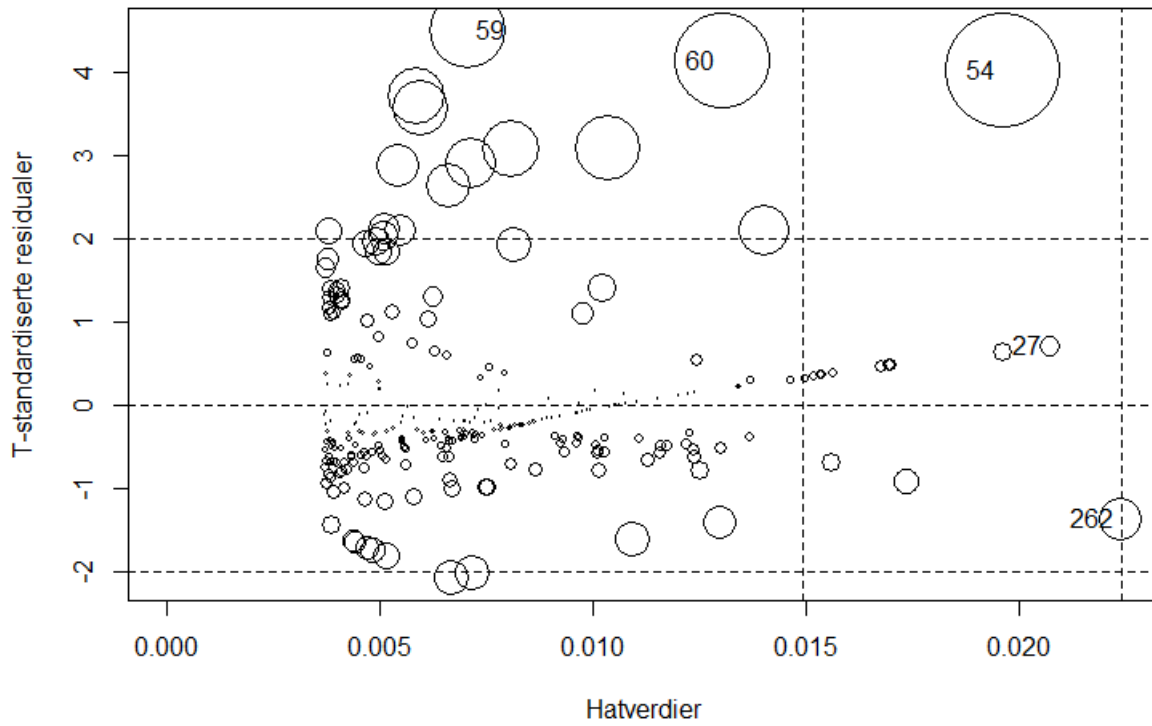
Indeksgrafikk med Cook's D gir inntrykk av hvilke observasjoner som både er innflytelsesrike og utypiske (uteliggere)

### Utypiske observasjoner (uteliggere)



Kvantil-kvantilgrafikk gir informasjon om uteliggere blant t-standardiserte residualer

### Boblegrafikk med innflytelsesrike uteliggere

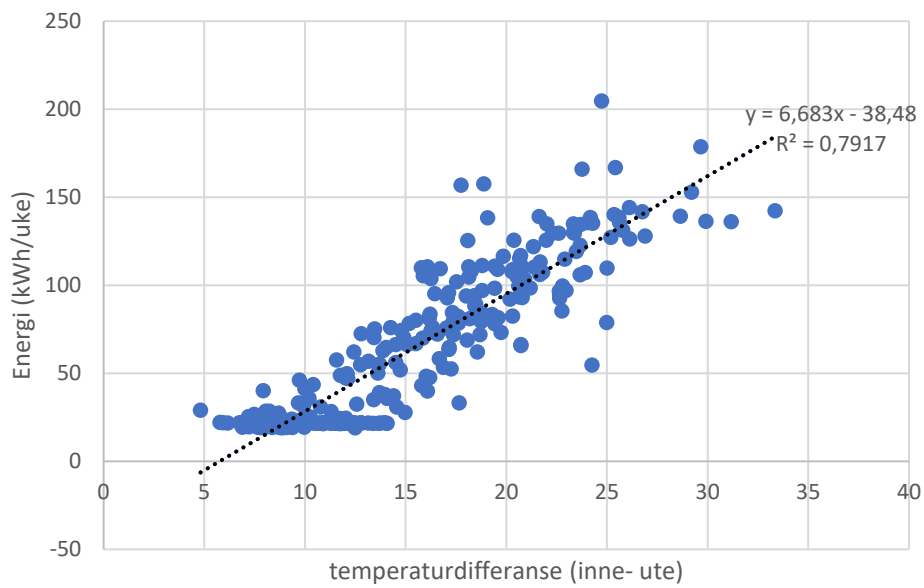


Boblegrafikk gir inntrykk av hvilke observasjoner som er innflytelsesrike og uteliggende

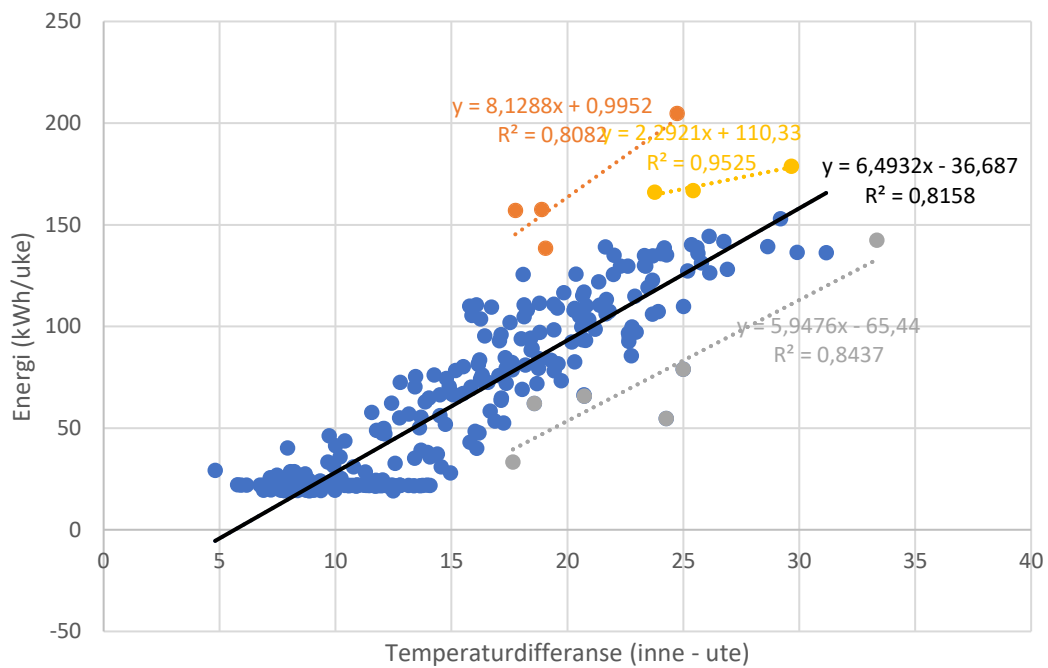
	StudRes	Hat	CookD
27	0.703162	0.020706467	0.005237212
54	4.018975	0.019605021	0.152794295
59	4.495754	0.007061229	0.067026565
60	4.133714	0.013028460	0.106349847
262	-1.374813	0.022363961	0.021546563

Resultater med utfyllende informasjon om samtlige observasjoner

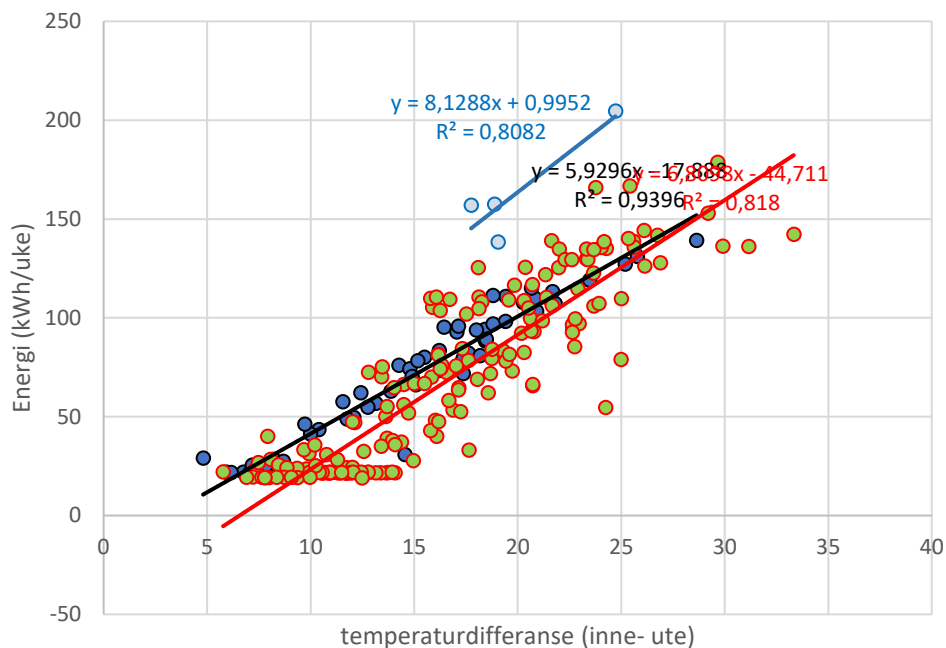
## VEDLEGG C: Energimodeller



Scatterplot med trendlinje i Excel for alle punktene i A modul.

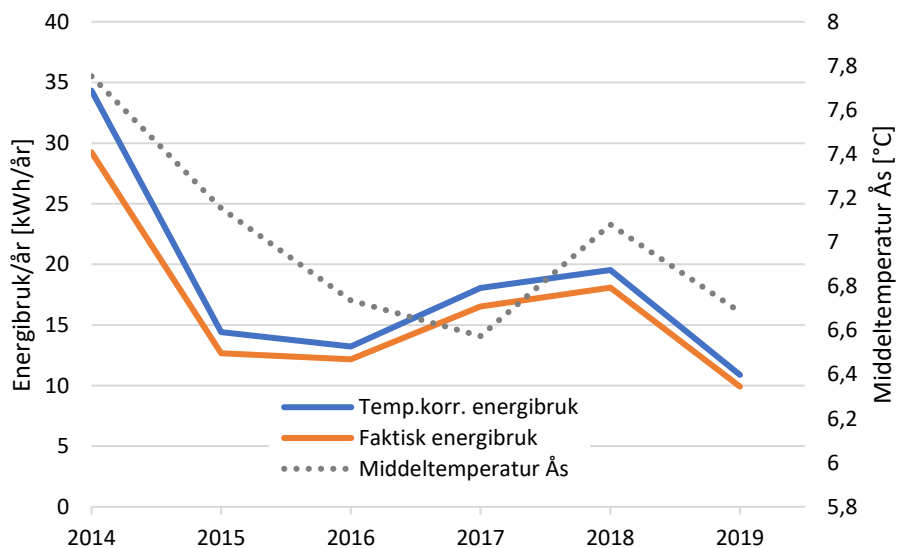


Energitilstander



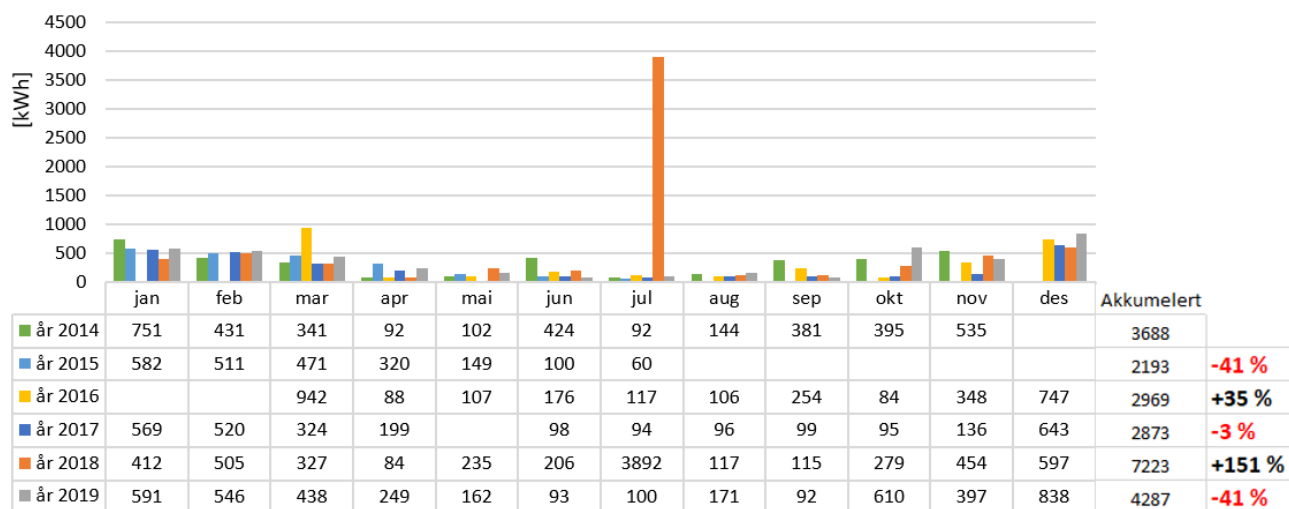
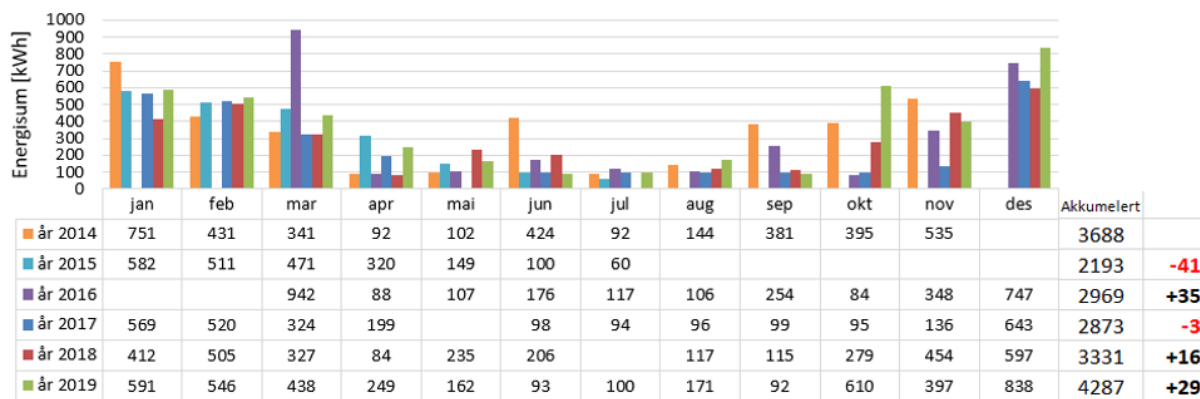
Lineære trendlinjer

Bobleplot fremfor spredningsdiagram for å inkludere flere variabler. Start y på null, bruk temperaturdifferanse. Maks to trendlinjer for leselighetens skyld. Klare etiketter, bruk bare rund form.



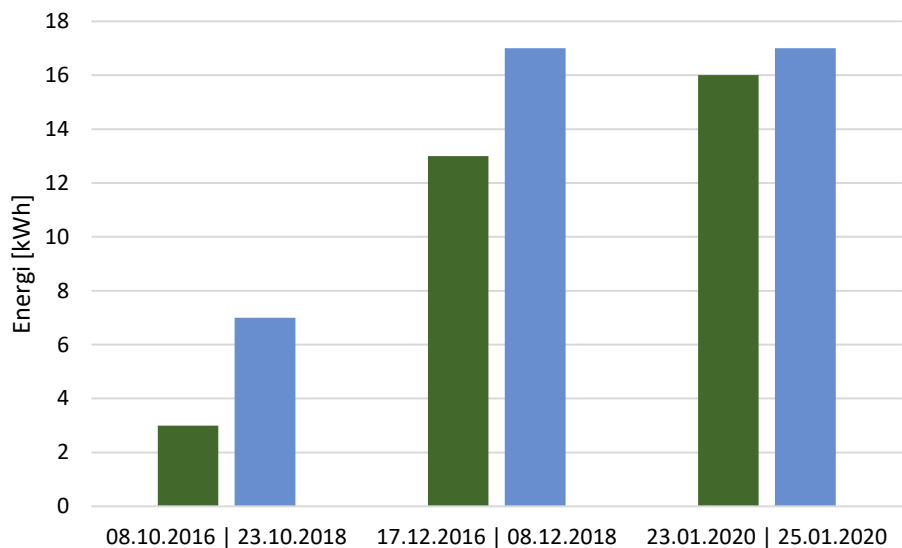
Temperaturkorrigert og faktisk energibruk for bygg. Hvorfor er middeltemperatur litt forskjellig





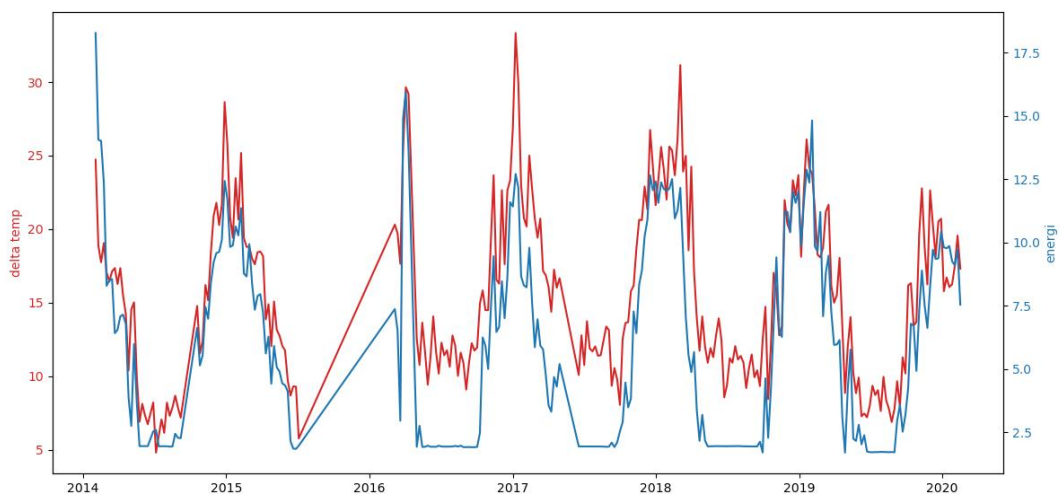
Sammenligning av månedlig forbruk i perioden

Sammenligning v døgn med lik innendørs relativ fuktighet (RH extract), ventilasjon (flow), innetemperatur (temp romOp), utetemperatur, vindhastighet, global stråling, men forskjell i energibruk. Figur 4.13 viser tre tilfeller hvor energibruken er ulik.



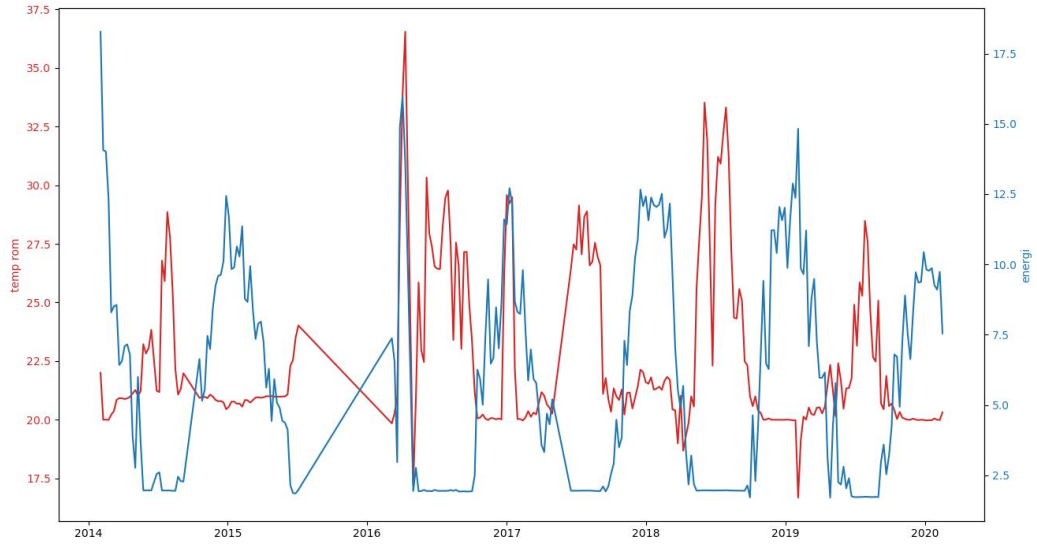
Støy når alt er likt

### Temperaturparameter

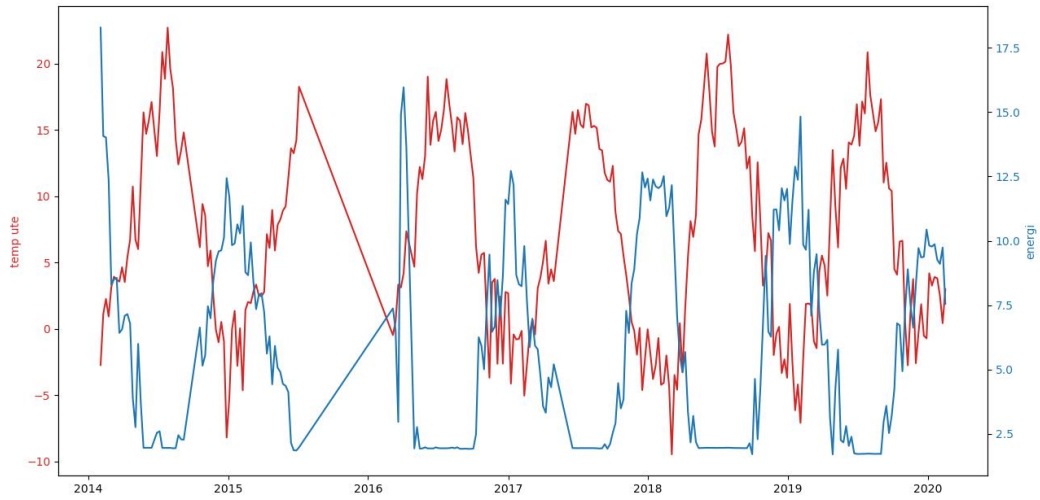


Sammenhengene mellom energi og ute-/inntemperaturdifferanse i modul A over tid (uker)

### Temperatur og energiparameter

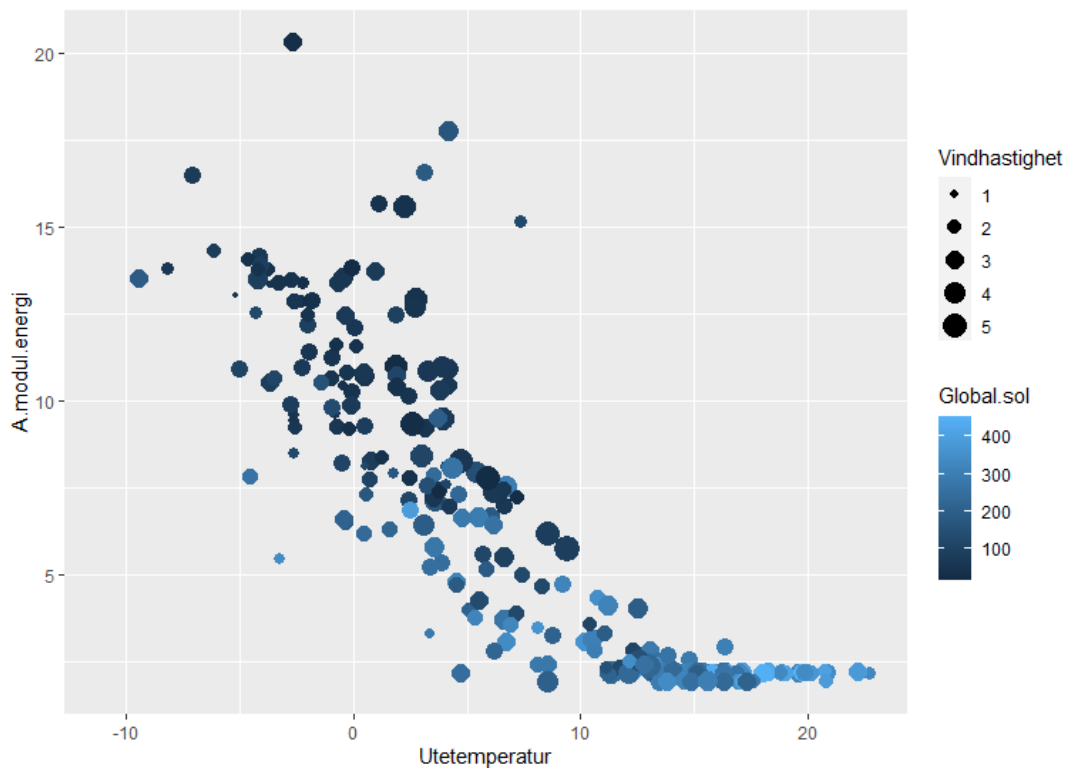


Sammenhengen mellom innnetemperatur (temp Op) og energi i modul A over tid (uker)

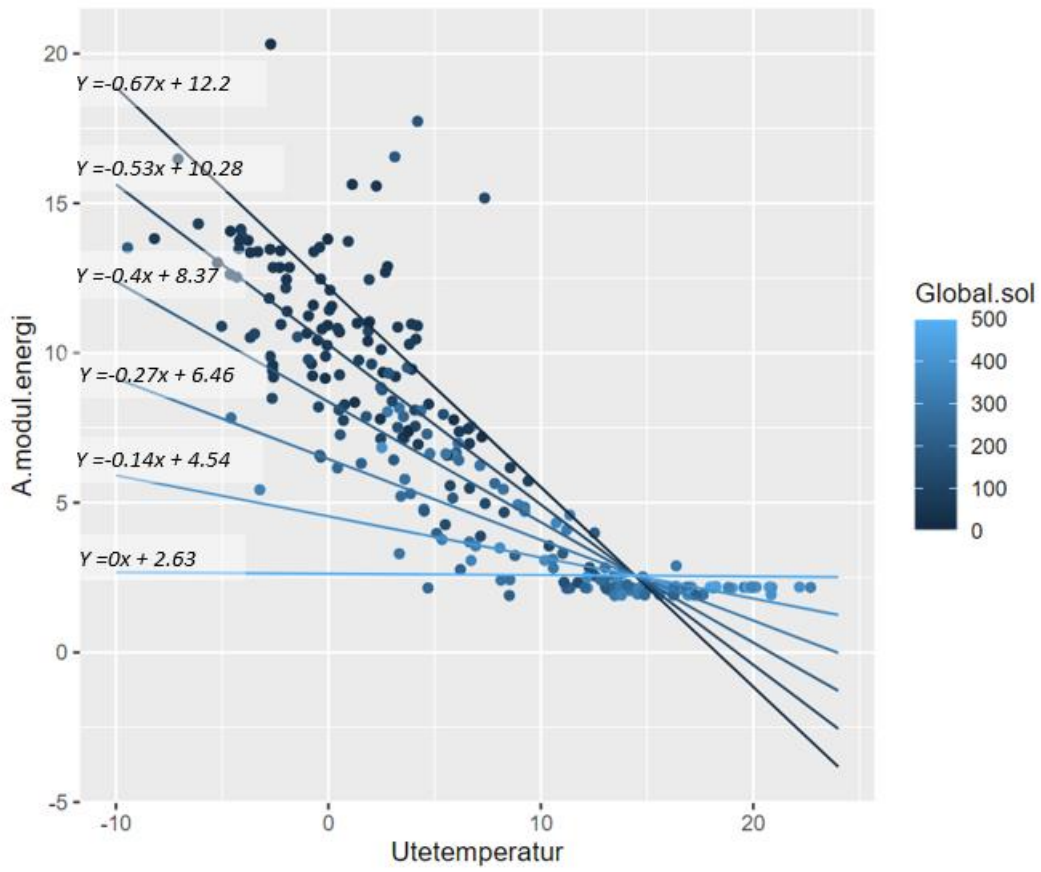


Sammenhengen mellom utetemperatur (LT) og energi I modul A over tid (uker)

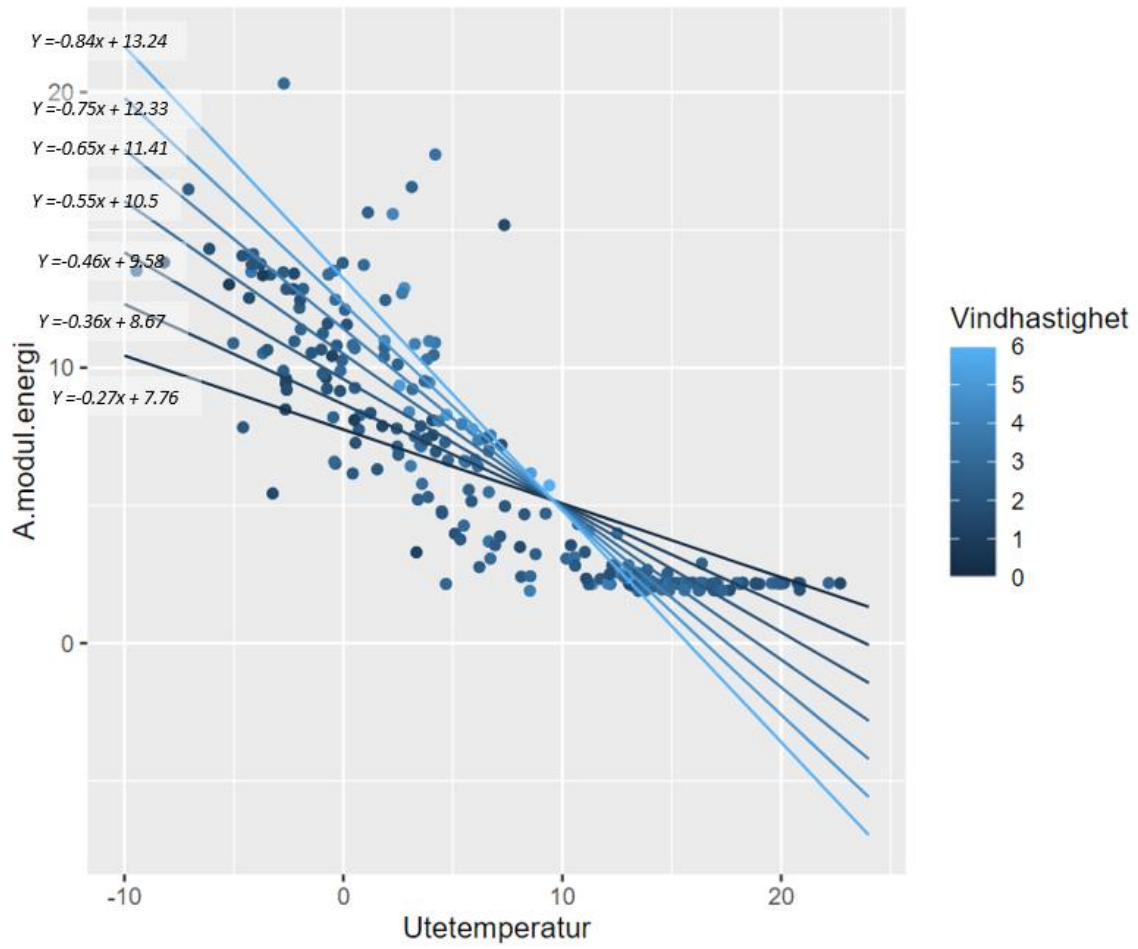
Klimaindeksene som er omtalt under teori er benyttet som del av denne studien. I seksjon 4.2 brukes resultatene fra klimaindeksene til presentere varmetransportskoeffisient.



Bobleplot

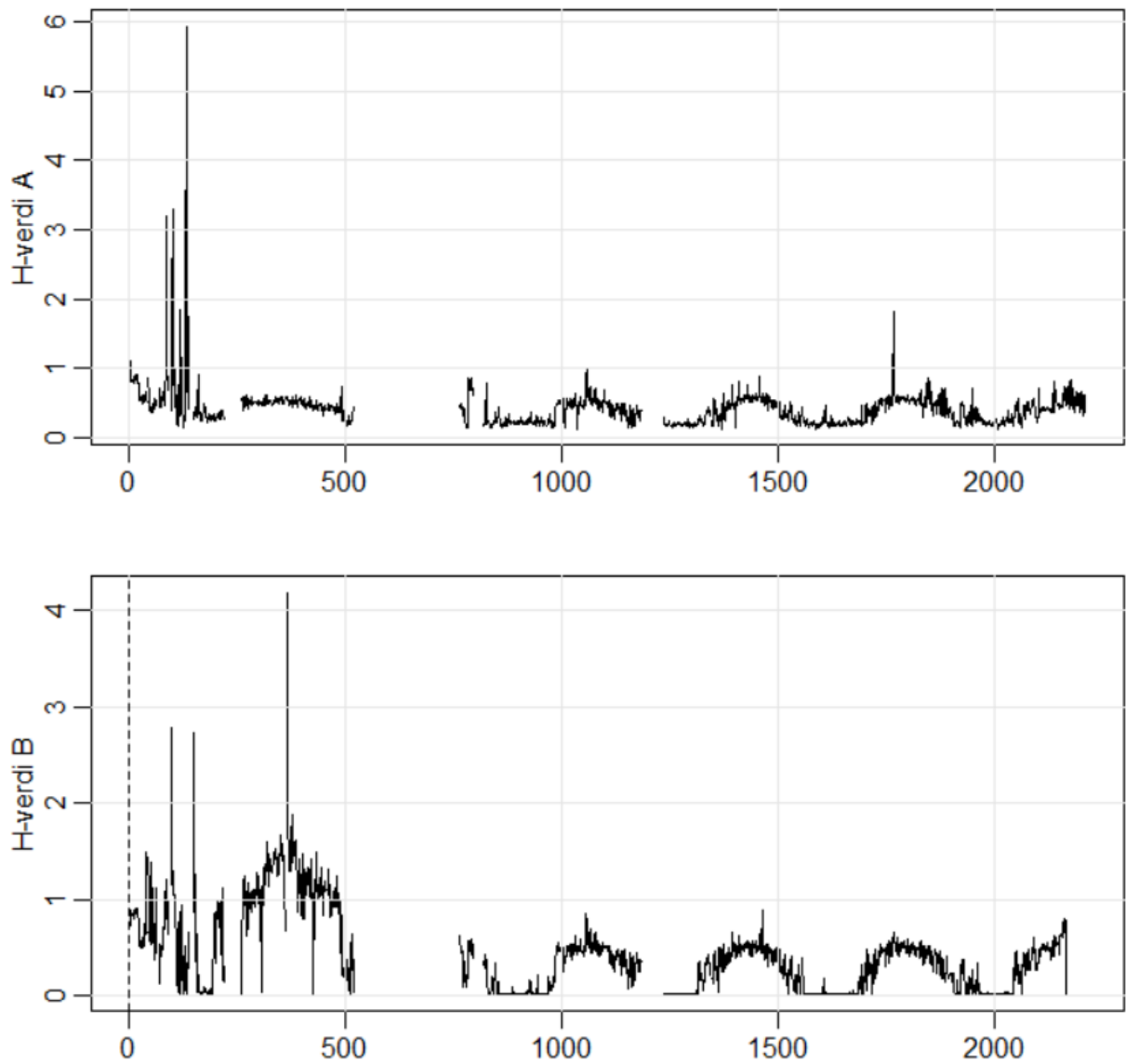


Spredningsdiagram med sol som parameter



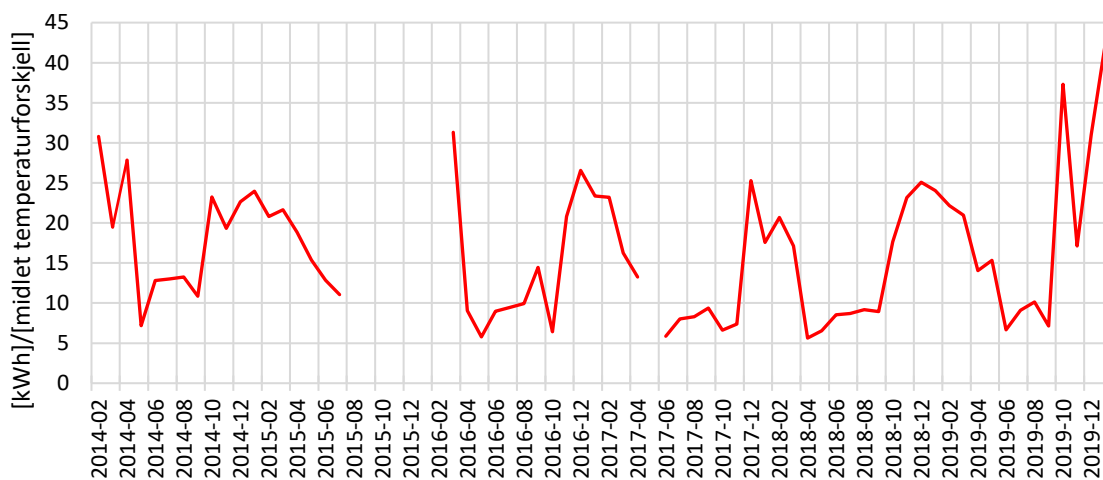
Spredningsdiagram med vind som parameter

## VEDLEGG D: Varmetransportskoeffisient



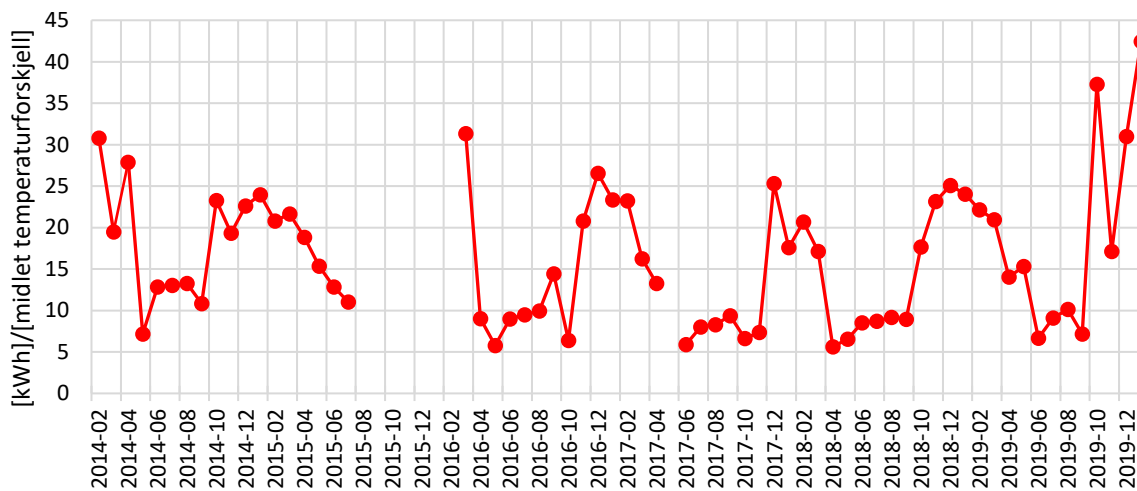
Figurene viser varmetransportskoeffisient for A modul (øverst) og B modul (nederst),

Modellen under viser målt og korrigert varmetransportskoeffisient for temperatur «extract».



Månedsoversikten fra 2014 til og med 2019 for A modul

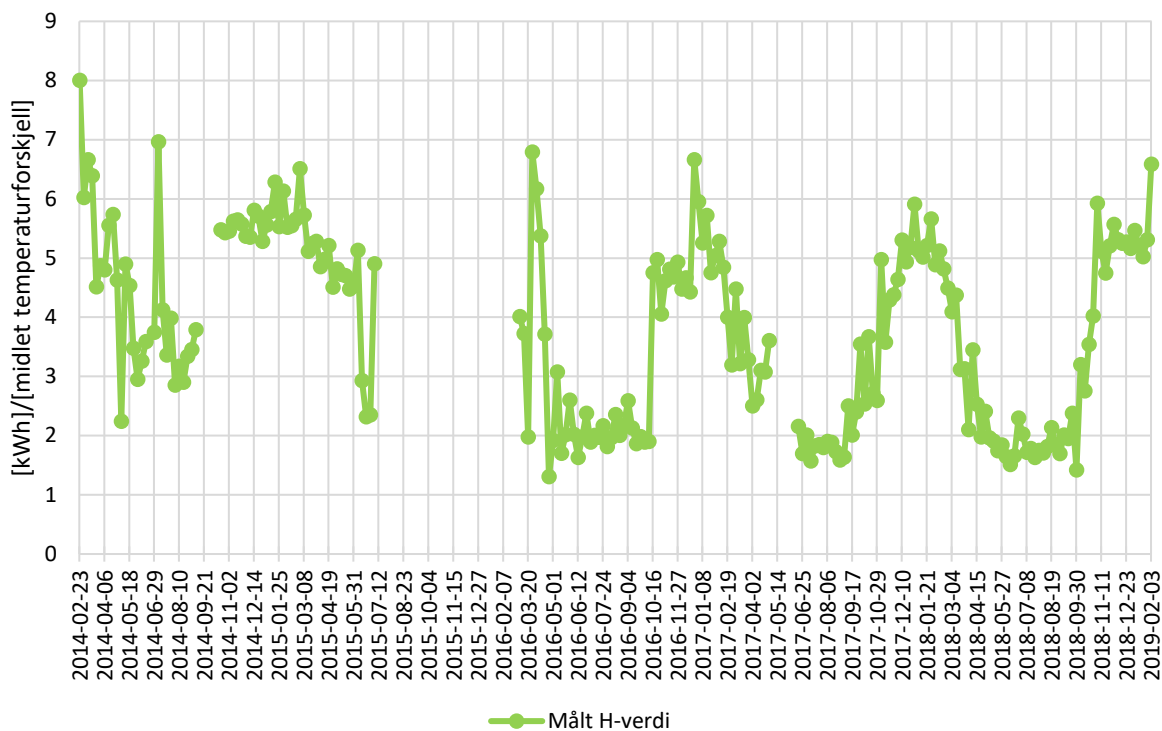
Utvikling av månedlig varmetransportskoeffisient fra 2014 til og med 2019 oppgitt som H-verdi. Modellen viser målt H-verdi for temperatur «extract» og «operativ», se fig. 4.5.



Månedsoversikten fra 2014 til og med 2019

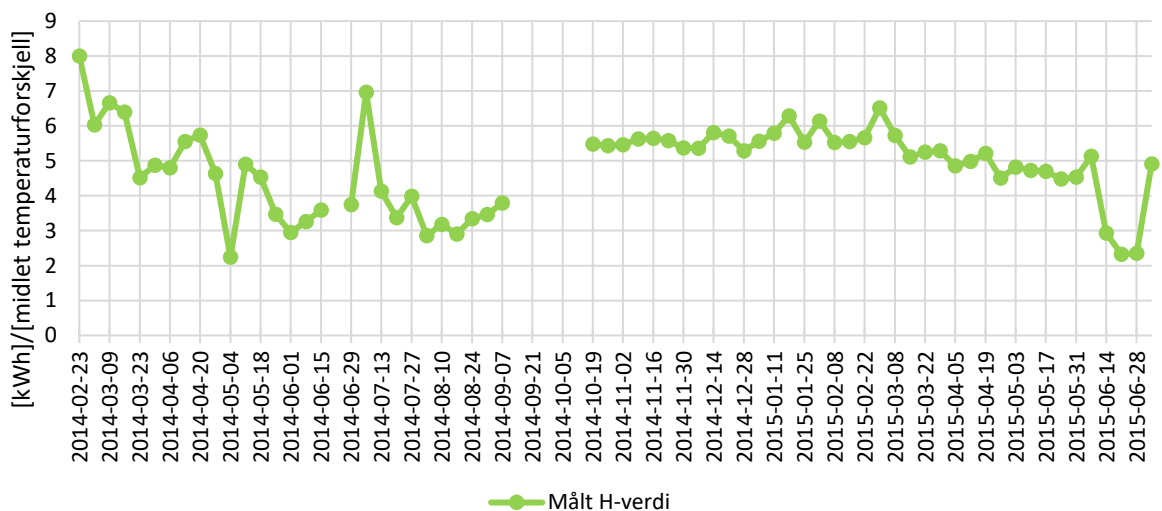
Ukentlig varmetransportskoeffisient fra 2014 til 2019 oppgitt som målt H-verdi. Modellen bruker temperaturforskjell mellom utetemperatur LT og innnetemperaturen temp romOp, se figur 4.6.





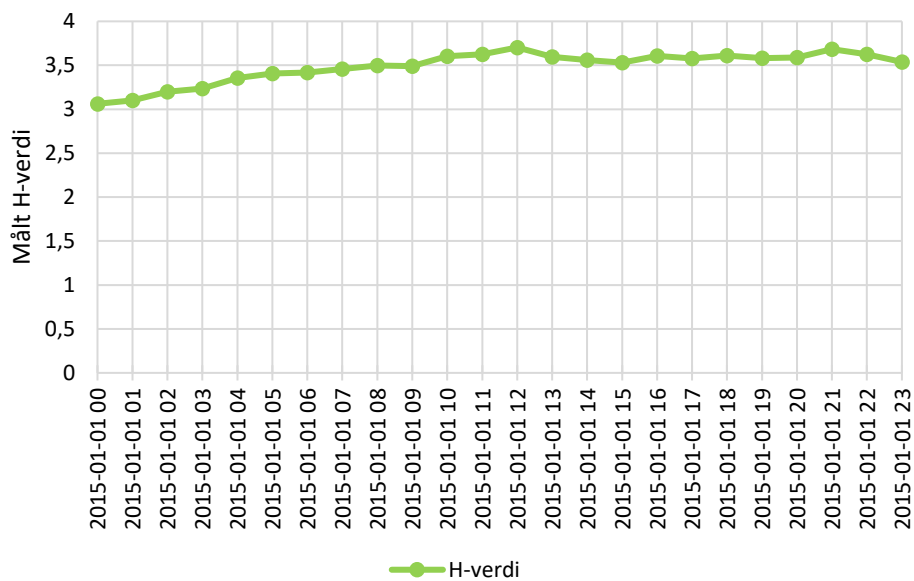
Ukeoversikten fra 2014 til 2019

Ukentlig varmetransportskoeffisient fra 2014 til 2015 oppgitt som målt H-verdi. Modellen buker temperaturforskjell mellom utetemperatur LT og innetemperaturen temp romOp, se figur 4.7.



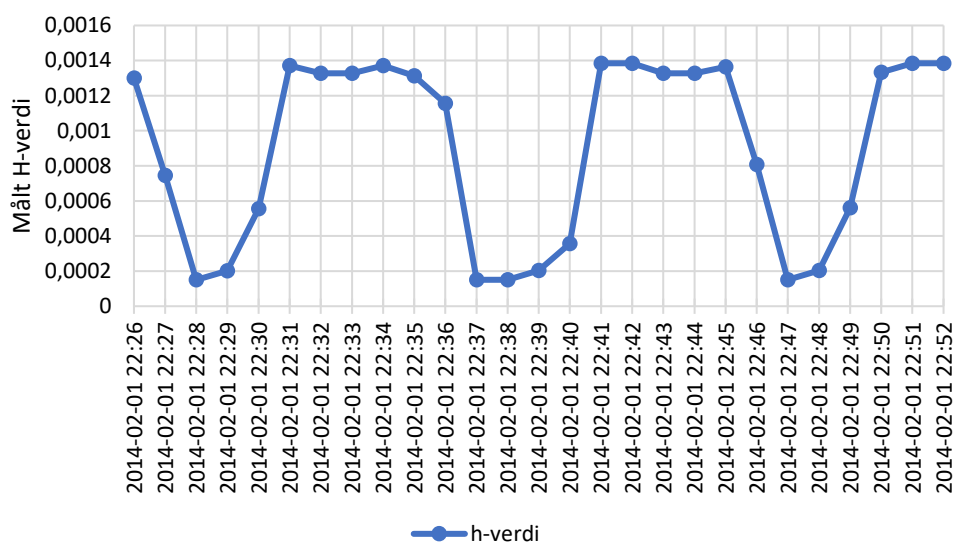
Ukeoversikten fra 2014 til 2015

Varmetransportskoeffisient oppgitt i timeverdier for 01.01.2015. Modellen bruker temperaturforskjell mellom utetemperatur LT og innetemperaturen temp romOp, se figur 4.8.



Timeoversikt for 01.01.2015

Varmetransportskoeffisient oppgitt i minuttverdier for 01.02.2014 22:26 – 22:52. H-verdi tar utgangspunkt i temperaturforskjellen mellom utetemperatur temp intak og innetemperaturen temp romOp, se figur 4.9.

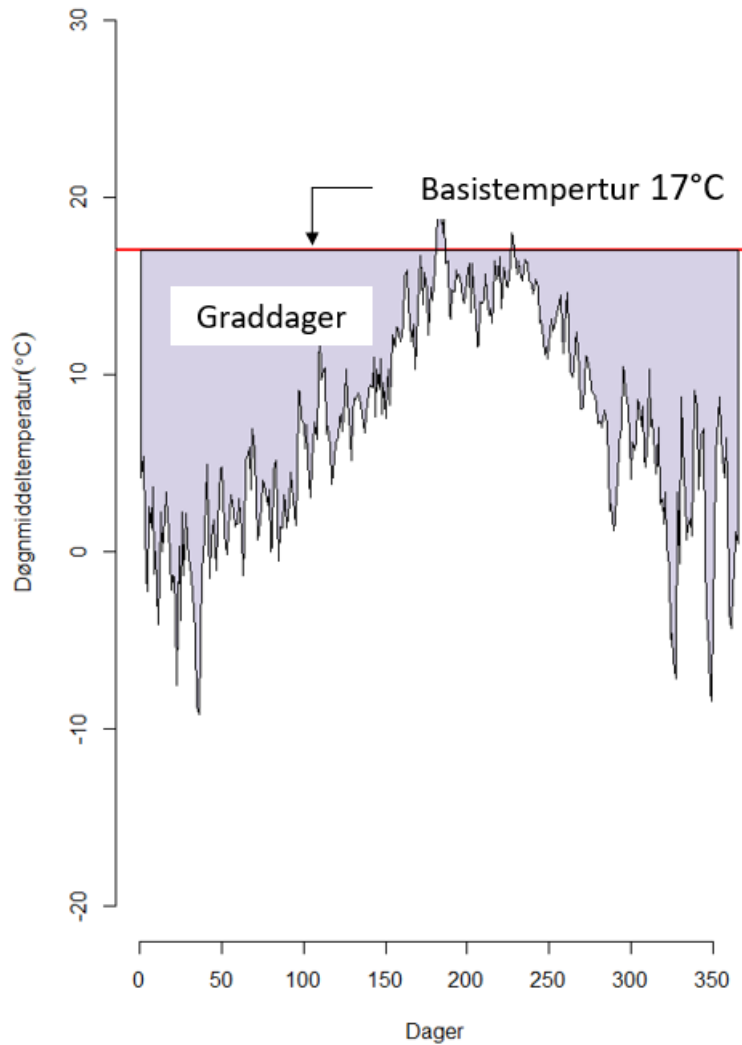


Minuttverdier for 01.02.2014

## VEDLEGG E: Klimakorrigerer

### Graddager

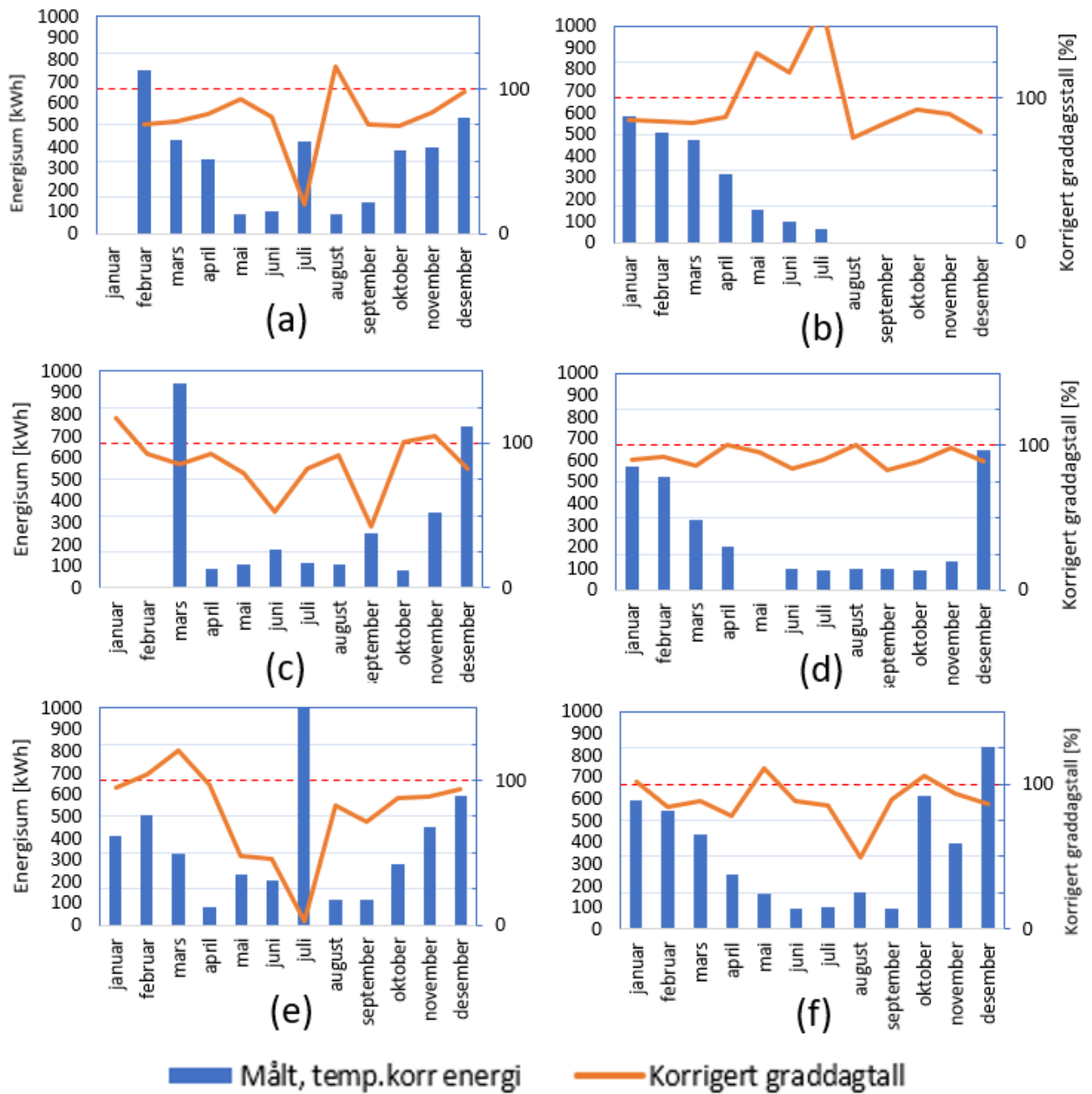
Graddager for modul A, her er det benyttet timeverdier.



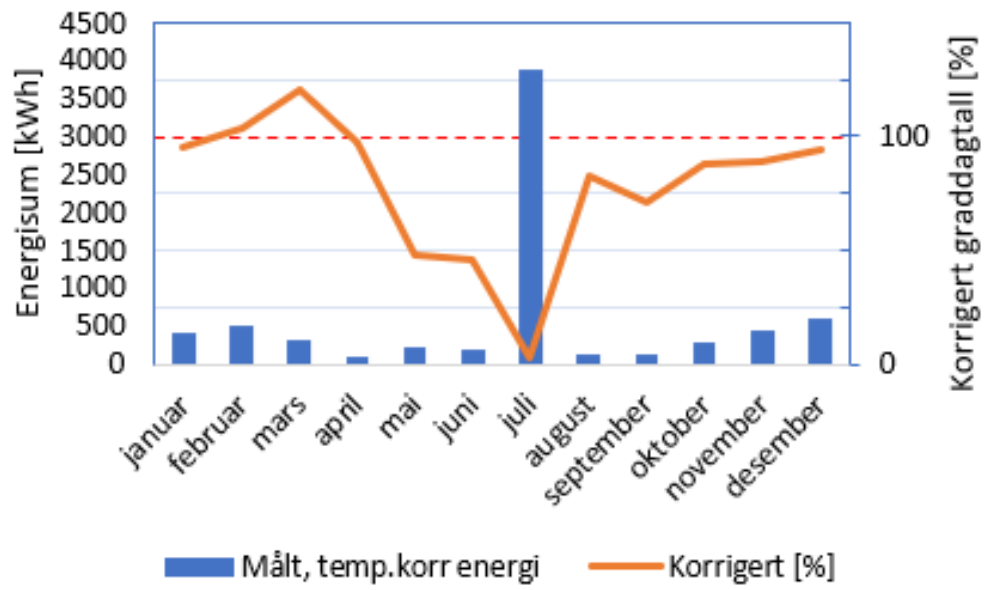
Figur 8.1. Graddager for året 2015

Fyringsperiodelengde for 2014, 2015, 2016, 2017 Droppes fra Teori om det ikke tas med i resultater.  
Dager

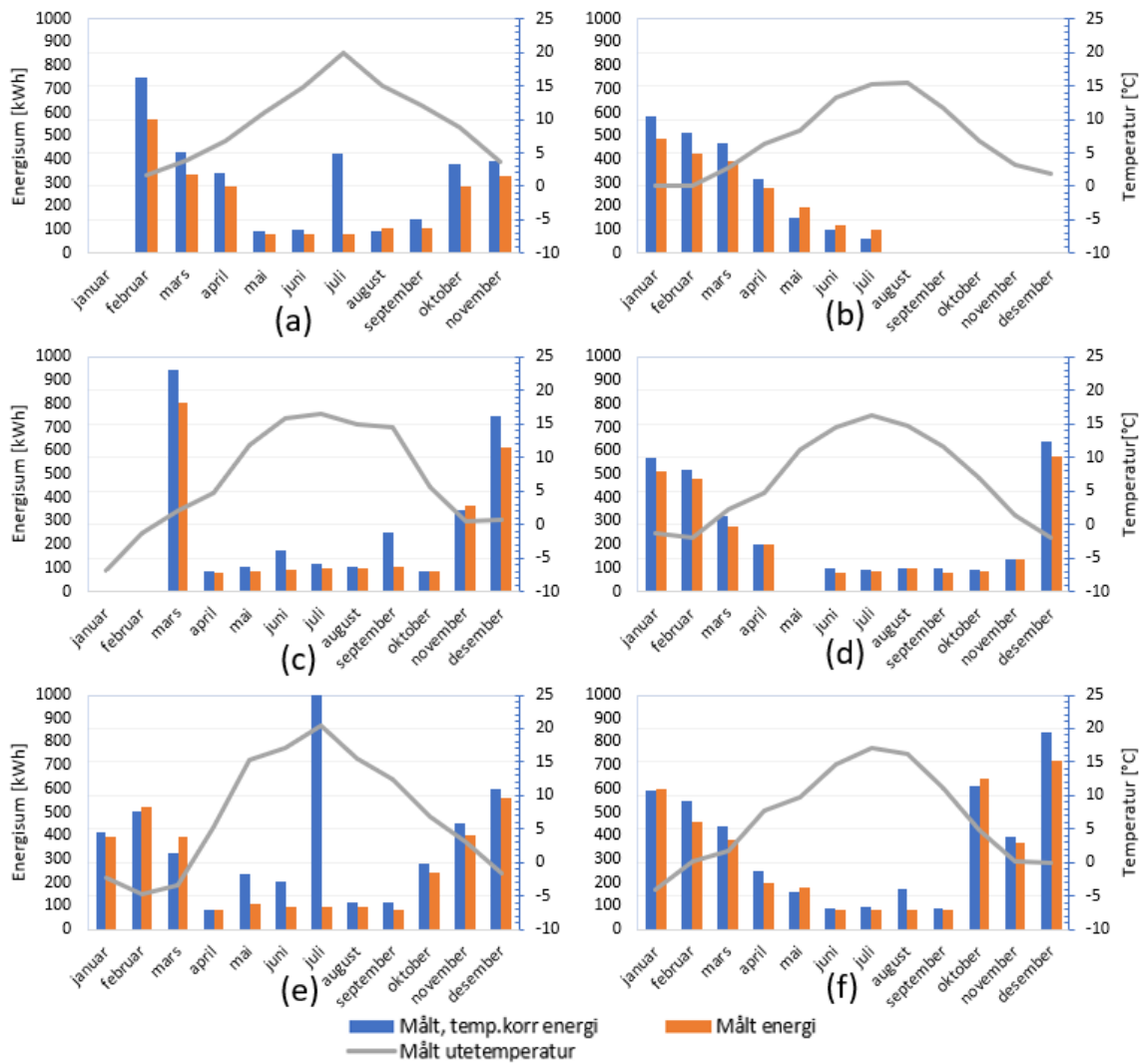
Graddagskorrigering for hver måned vist for 2014 til 2019.



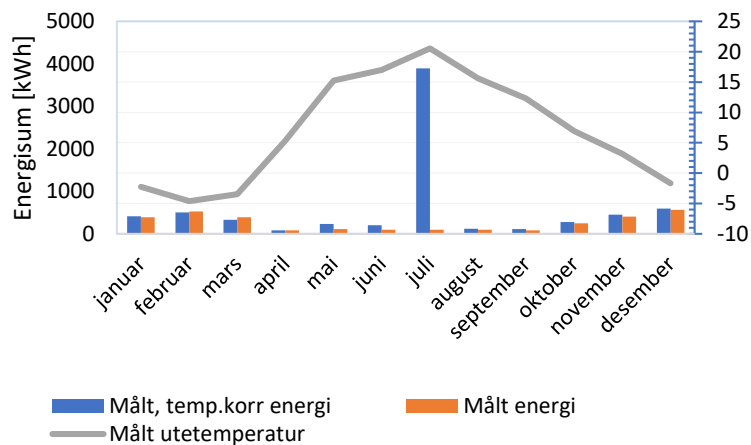
Korrigering av graddagstall månedlig for (a) 2014 (b) 2015 (c) 2016 (d) 2017 (e) 2018 (f) 2019.



Året 2018 med skalering av aksen som viser energi



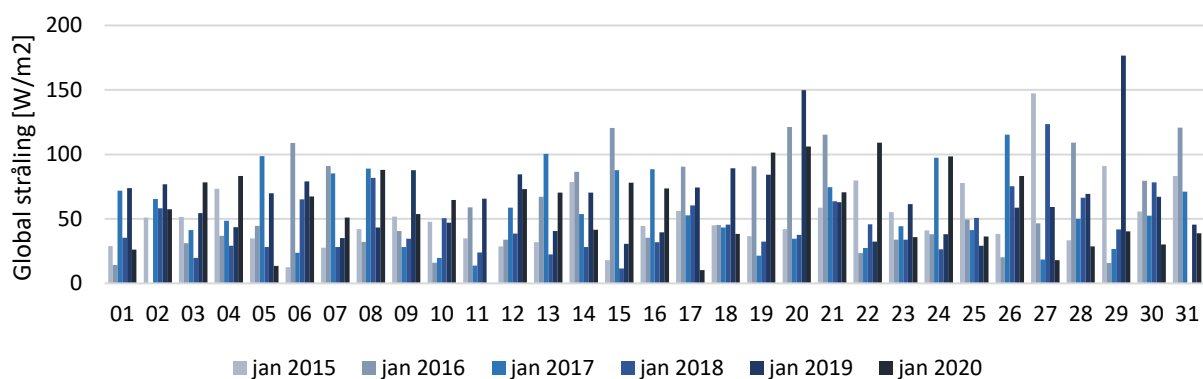
Månedlig fremstilling av målt og temperaturkorrigert energi, samt utetemperatur for (a)2014, (b) 2015, (c) 2016, (d) 2017, (e) 2018 og (f) 2019.



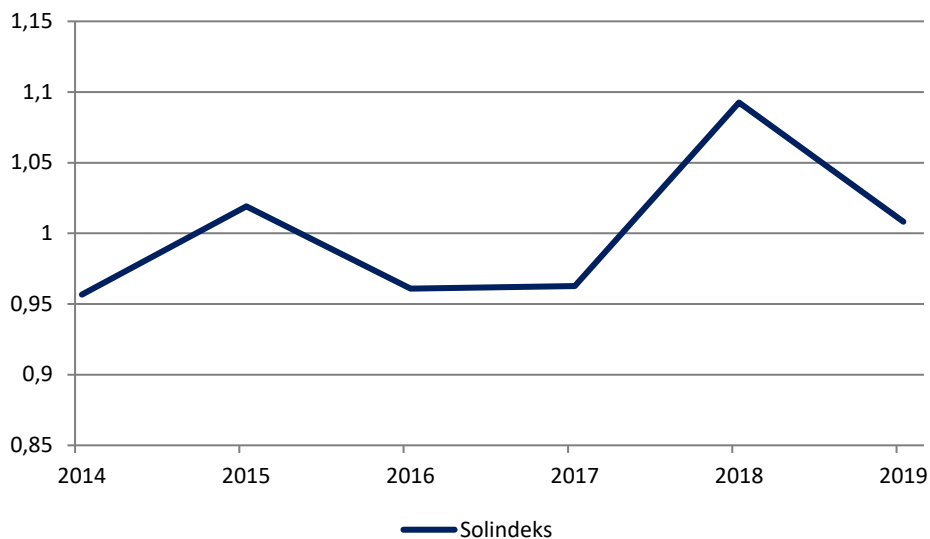
Grafisk framstilling av energi og temperatur i 2018

### Solstråling

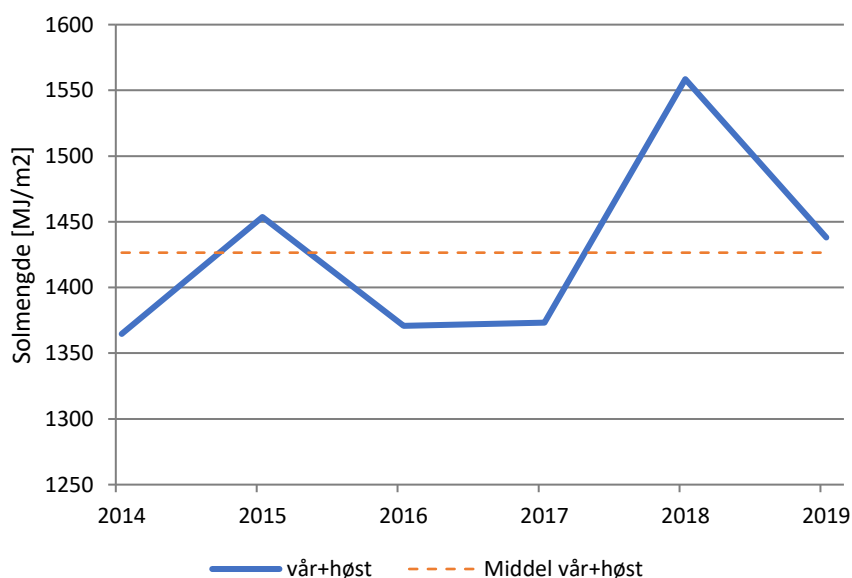
Solstråling (W/m<sup>2</sup>) omregnes total innstråling pr dag i kWh/m<sup>2</sup> eller MJ/m<sup>2</sup>.



Global solstråling pr dag i januar. Sammenligner januar for perioden.



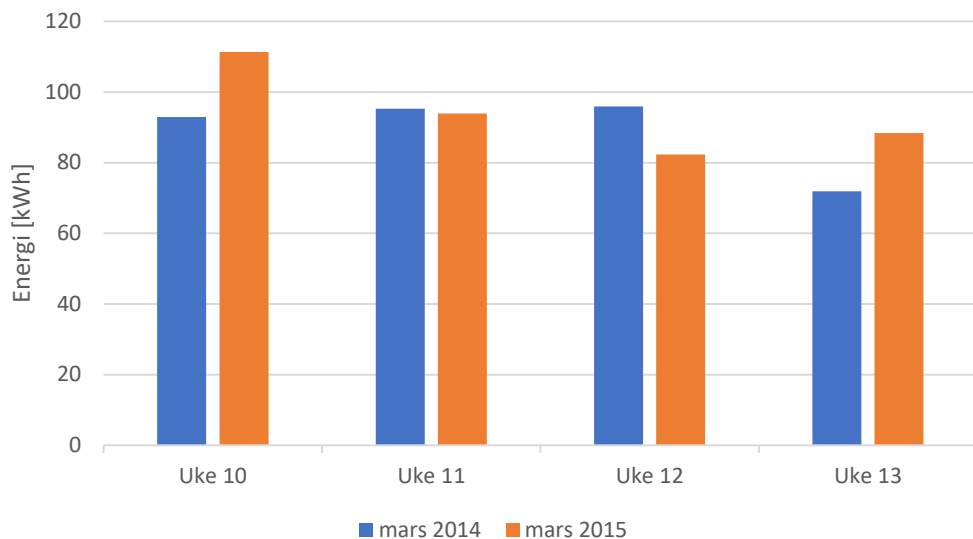
Solindeks (faktiske soltimer/ periodemiddel) fra 2014 til 2019.



Totalt antall soltimer for vår og høst i perioden.

Ukentlig målt sammenlikning av mars i 2014 og 2015 for å se på energibruk før og etter vindu ble satt inn.



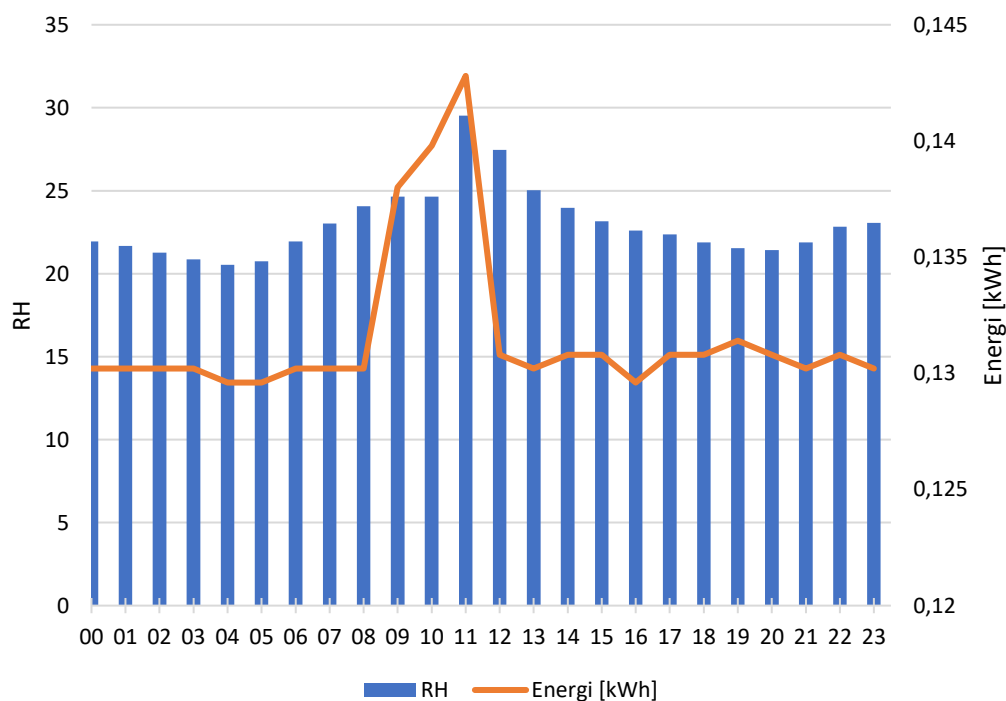


Sammenligning av mars 2014 og mars 2015

### Luftfuktighet

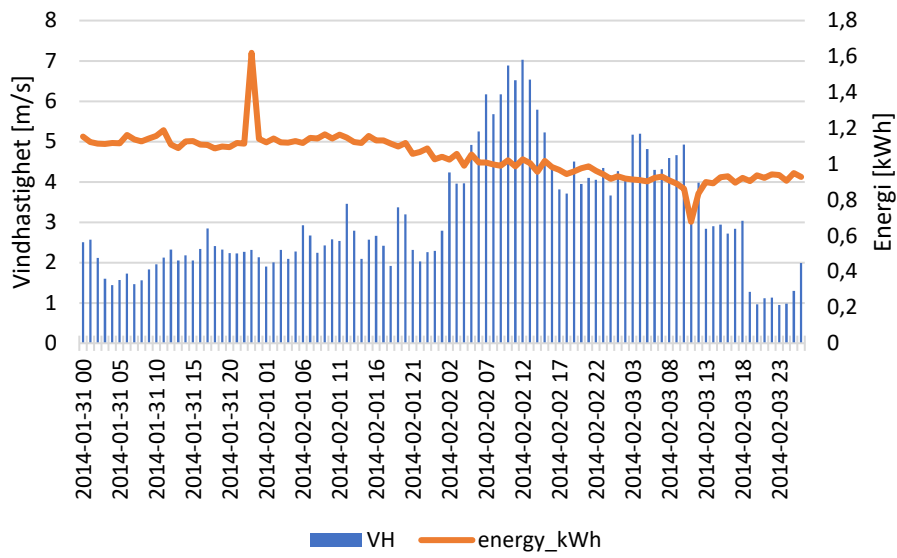
Dagnummer i året fig 3.1.22 - månedsnummer i året fig 3.1.23

Timeoversikt over relativ luftfuktighet den 25.05.2018, se figur 4.10. Eksempel på når fuktigheten endrer seg drastisk over en kort periode. Døgnvariasjoner

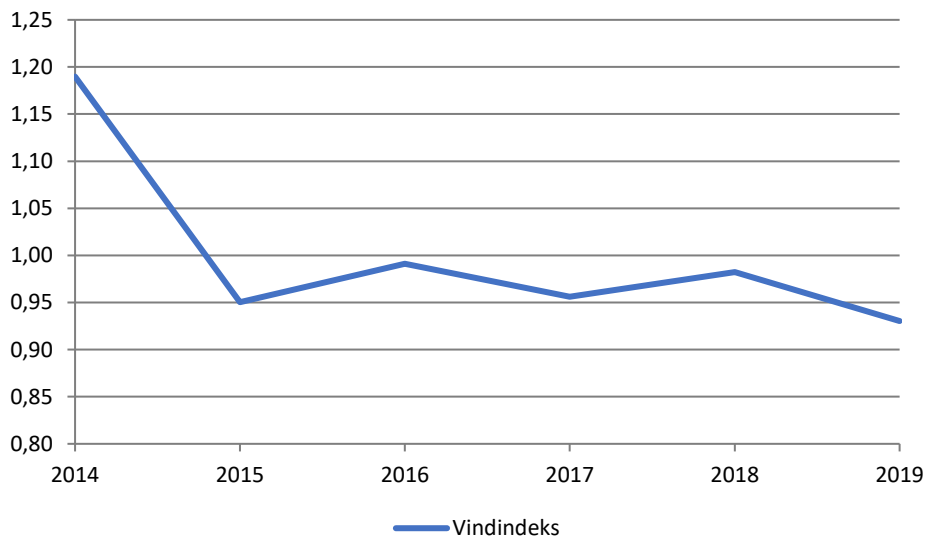


Luftfuktigheten den 25/05/2018

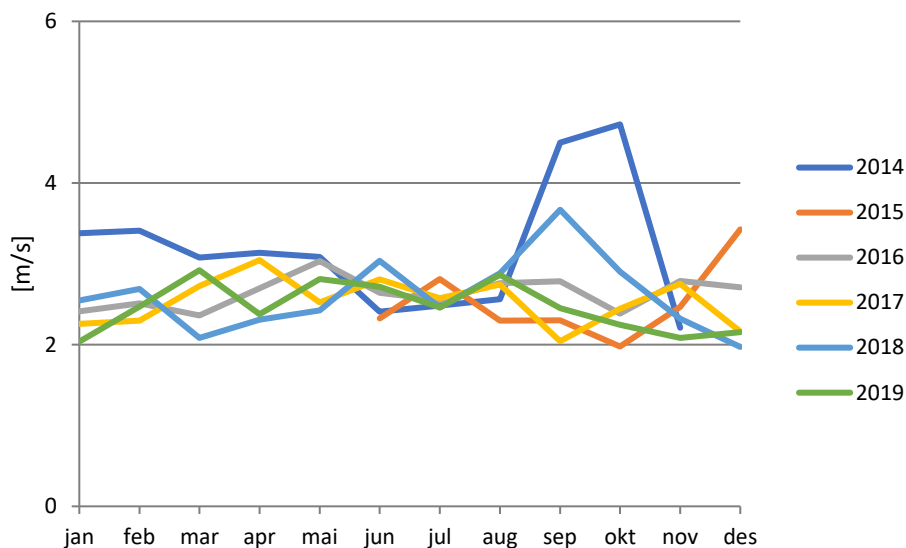
## Vind



Vinddata for hver time.

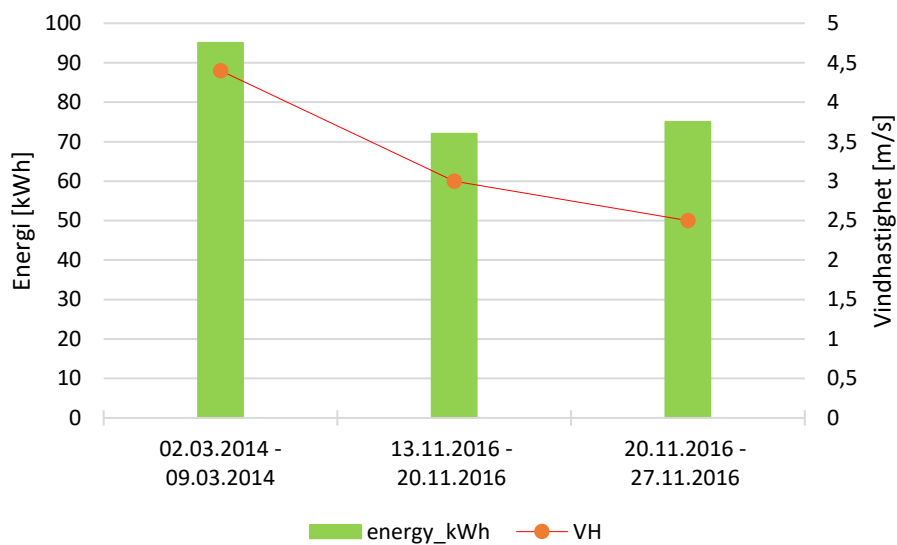


Vindindeks (årsmiddel/ periodemiddel) for perioden 2014 til 2019.



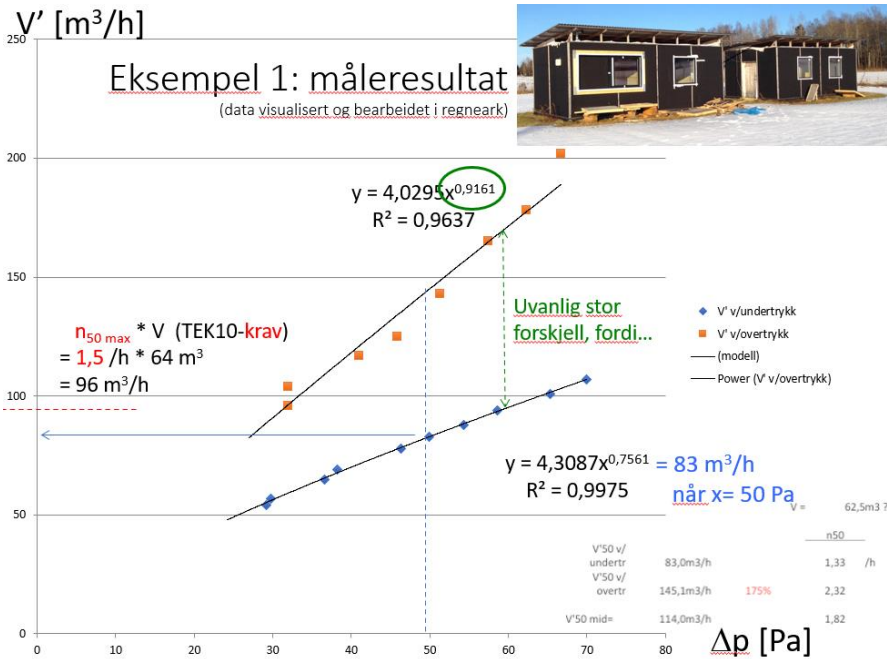
Månedsmiddelhastighet i m/ for perioden 2014 til 2019.

Figur 4.12 skal simulere like perioder med og uten vind. Uker med lik innendørs relativ fuktighet (RH extract), ventilasjon (flow), innetemperatur (temp romOp) og utetemperatur (LT), men forskjell i vindhastighet.



Luftlekkasjer, uker

# VEDLEGG F: Luftinfiltrasjon



Luftskifte for infiltrasjon beregnes som:

$$n_{\text{inf}} = \frac{n_{50} e}{1 + \frac{f}{e} \left( \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{V n_{50}} \right)^2} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (27)$$

*dvs  $n_{\text{inf}} = n_{50} * 0,07$  hvis  $e$  er  $0,07 \dots$*

der

$e, f$  er terrengskjermingskoeffisienter. Standardiserte verdier er gitt i tabell A.5, og veiledende verdier er gitt i tabell B.6;

$n_{50}$  er lekkasjetall ved 50 Pa [ $\text{h}^{-1}$ ]. Veiledende verdier er gitt i tabell B.3;

$V$  er oppvarmet luftvolum, i  $\text{m}^3$ , beregnet etter 4.2;

$\dot{V}_1$  er tilluftsmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i  $\text{m}^3/h$ ;

$\dot{V}_2$  er avtrekksluftsmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i  $\text{m}^3/h$ .

Ved stor ubalanse har luftlekkasjer mindre betydning

$e$  er variabel parameter

**Tabell A.5 – Standardverdier for terrengskjermingskoeffisientene  $e$  og  $f$**

Beskrivelse	Koeffisient, $e$	Koeffisient, $f$
Alle bygningskategorier og skjermingsklasser	0,07	15

**Tabell B.6 – Veiledende verdier for terrengskjermingskoeffisientene  $e$  og  $f$**

Skjermingsklasse	Beskrivelse	Koeffisient $e$	
		Mer enn én utsatt fasade	En utsatt fasade
Ingen skjerming	Bygninger i åpent landskap, høyblokker i bysentre	0,10	0,03
Moderat skjerming	Bygninger på landet eller i forsteder med trær eller andre bygninger rundt	0,07	0,02
Høy skjerming	Bygninger av middels høyde i bysentre, eller i skogområder	0,04	0,01
		Koeffisient $f$	
Alle		15	20

*er greit ved estimering*



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway