

Helene Fjeldstad  
Eline Kvam

# Vurdering av energiomlegging og energieffektiverende tiltak i enebolig

Bacheloroppgave i Fornybar energi

Veileder: Jacob J. Lamb

Mai 2023



Helene Fjeldstad  
Eline Kvam

# Vurdering av energiomlegging og energieffektiviserende tiltak i enebolig

Bacheloroppgave i Fornybar energi  
Veileder: Jacob J. Lamb  
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for energi- og prosesseteknikk



Kunnskap for en bedre verden





Institutt for energi-  
og prosesseteknikk

## Bacheloroppgave

|  |  |
|--|--|
| <b>Oppgavens tittel:</b><br>Vurdering av energiomlegging og energieffektiviserende tiltak i enebolig<br><br><b>Project title (ENG):</b><br>Assessment of change in energy carrier and energy efficiency measures in a single-family dwelling | <b>Gitt dato:</b><br>09.01.2023                        |
|  | <b>Innleveringsdato:</b><br>22.05.2023                 |
|  | <b>Antall sider rapport / sider vedlagt:</b><br>110/16 |
| <b>Gruppedeltakere:</b><br>Helene Fjeldstad<br>helef@stud.ntnu.no<br><br>Eline Kvam<br>elinkvam@stud.ntnu.no   | <b>Prosjektnummer:</b><br>BIFOREN23-07                 |
|  | <b>Veileder:</b><br>Jacob J. Lamb                      |

Fritt tilgjengelig:

Tilgjengelig etter avtale med oppdragsgiver:

Rapporten frigitt etter:

Gruppedeltakere signaturer:

*Helene Fjeldstad*

---

*Eline Kvam*

---

## Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet som et samarbeid mellom Helene Fjeldstad og Eline Kvam, og markerer avslutningen på studiet Bachelor i Fornybar energi ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) i Trondheim våren 2023. Emnet *Bacheloroppgave i Fornybar energi- FENT2900* er et avsluttende emne med 20 studiepoeng. Bacheloroppgaven har til hensikt å gjøre kandidatene skikket til å formulere og løse relevante problemstillinger innenfor fagfeltet fornybar energi, ved å benytte kjent kunnskap fra studieløpet og å tilegne seg ny relevant kunnskap.

Vi ønsker med dette å takke vår interne veileder, førsteamanuensis og studieprogramleder Jacob Joseph Lamb, for veiledning og refleksjon rundt spørsmål tilknyttet oppgaven. Vi ønsker også å takke studievenner og familie for bidrag til kritisk tenkning og refleksjon rundt relevante problemstillinger i tilknytning til oppgaven.

**Trondheim, 19. mai 2023**

*Helene Fjeldstad*

---

Helene Fjeldstad

*Eline Kvam*

---

Eline Kvam

## Sammendrag

Det økende behovet for elektrisk energi i samfunnet, samt overgang til fornybare energikilder, har blant annet satt økt fokus på effektiv energibruk. Norges tilknytning til energisituasjonen i Europa via utenlandskablene, er helt nødvendig for forsyningssikkerheten grunnet den væravhengige og ikke-regulerbare fornybare kraftproduksjonen. I energikommisjonens rapport, *NOU 2023: 3 Mer av alt - raskere*, ble det fremlagt en rekke punkter for å møte fremtidig energietterspørsel og for å nå klimamålene satt for 2030. Blant punktene var energieffektivisering av den norske boligmassen og lokal energiproduksjon. Disse tiltakene er i tråd med den generelle tanken om energiomlegging og energieffektivisering i samfunnet.

Elektrifisering og anvendelse av elbil er blant faktorene som har resultert i økende elektrisk energibehov i husstander. Dette har resultert i økt etterspørsel av fornybar energi fra strømmettet, og denne utfordringen vil trolig bli mer betydelig dersom energietterspørselen ikke reduseres og får en jevnere døgnfordeling. Flere norske boliger er av eldre standard, og har derfor et stort varmetap som fører til et unødvendig høyt energiforbruk. Det kan være utfordrende for boligeiere å vite hvilke energitiltak som er mest aktuelle gitt boligens energisituasjon. Energilønnsomme tiltak avhenger blant annet av alder, lokasjon, tilstand og brukeradferd, som alle kan ha stor påvirkning på byggets totale energibehov.

Oppgavens problemstilling lyder som følger: “I hvilken grad påvirker energiomlegging og ulike energieffektiviserende tiltak energiforbruket i en enebolig, og hva slags påvirkning kan dette ha på distribusjonsnett?” . Med bakgrunn i dette har det blitt undersøkt en rekke energitiltak. Blant disse er isolering, installasjon av varmpumpe og fjernvarme, samt lokal solenergiproduksjon og energilagring. For isolasjon er det tatt utgangspunkt i ulike byggtekniske forskrifter, TEK-krav, slik at bolig bygget etter eldre standarder sammenlignes med nyere standarder.

Funnene i oppgaven viser at alle de vurderte tiltakene, vil bidra til å redusere byggets totale energibehov og i ulik grad bidra til avlastning av distribusjonsnett. For bygg av eldre standard vil installasjon av varmpumpe og isolering være av størst betydning. For bygg av nyere standard, vil effektiviseringstiltak som varmpumpeinstallasjon være mest aktuelt og bidra godt til reduksjon av boligens totale energiforbruk. Egenproduksjon og lagring vil også være av betydning for å redusere boligens energietterspørsel fra nettet. Dette vil være mest aktuelt for allerede energieffektive bygg. Solkraftproduksjonen kan dekke deler av boligens energiforbruk, spesielt på sommeren, og vil oppnå økt utnyttelse i kombinasjon med batteri gitt systemet oppgaven har vurdert. Solkraftproduksjon og lagring kan bidra med avlastning av distribusjonsnett. Økt solkraftproduksjon i et område kan likevel resultere i utfordringer i nettet.

Med bakgrunn i funnene kan det konkluderes med at alle energieffektiviserende tiltak vurdert i oppgaven i ulik grad vil kunne bidra til reduksjon av boligens energiforbruk, og delvis bidra til avlastning av distribusjonsnett. Dette vil være svært energimessig lønnsomt og fordelaktig for boligeiere, samt for å møte fremtidig energietterspørsel.

## Abstract

An increased focus on efficient energy use is, among others, due to the increasing demand for electrical energy in combination with the transition to renewable energy sources. Norway's connection to Europe through subsea interconnectors is essential for security of energy supply due to the weather dependent and non-regulatable renewable energy production. In the report submitted by the Energy Commission, *NOU 2023: 3 Mer av alt - raskere*, the commission highlights necessary aspects in order to meet future energy demand and climate impact goals set for 2030. This includes improvements in energy efficiency in the housing stock and local energy production. These measures correspond with the general objective of energy transition and energy efficiency in society.

The increasing electrical demand in households is partially due to increased electrification and use of electric vehicles. As a consequence, the electrical demand from the power grid has increased. This is a challenge that is likely to become more significant if energy demand is not reduced and more evenly distributed throughout the day. Dwellings that are by older standards have high heat losses leading to unnecessarily high energy consumption. A challenge for homeowners may be to know which energy measures are most suitable given the energy situation of the dwelling. Energy-efficient measures depend on factors such as age, location, condition and user behavior, all of which can have a major impact on the building's total energy demand.

The research question of this thesis reads as follows: "To what extent do change in energy carrier and different energy efficiency measures affect the energy consumption in a single-family dwelling, and what kind of impact can this have on the distribution grid?". In view of this, a number of energy measures have been examined. This includes insulation, heat pumps and district heating, as well as solar energy production and energy storage. Regulation and technical requirements are used as the foundation in order to compare old standards with new, regarding the evaluation of insulation in the single-family dwelling.

The outcome of the thesis illustrates that the measures considered will contribute to reduce the total energy demand of the dwelling, as well as some degree of alleviating the distribution grid. For buildings of older standards, the installation of heat pumps and retrofit of insulation will be most significant. In buildings of newer standards, efficiency measures such as heat pump installation will be more pertinent. Distributed PV systems and energy storage can contribute to the reduction of electric energy demand from the grid. This is more relevant for energy efficient buildings. Solar power can cover part of the energy consumption in the building, especially in summer times. Increased utilization of the solar power may be achieved by integrating a battery, as considered in this thesis. This may also contribute to alleviate the distribution grid. However, increased solar energy production in an area may result in challenges in the grid.

It can thus be concluded that all the energy efficiency measures considered in this thesis will to



some extend contribute to the reduction of residential energy consumption, and partly contribute to the relief of the distribution grid. The future energy demand may be accommodated by carrying out some of the energy efficiency measures presented in this thesis, due to the reduction of energy demand in buildings.

# Begreper, forkortelse og programvarer

## Begreper

|                  |   |
|------------------|---|
| Air mass         | Luftmasse   |
| Entalpi          | Varmemengden i et system eller stoff  |
| Fastledd         | Fast månedlig beløp   |
| Interpolasjon    | Matematisk metode for beregning av manglende verdier i funksjon for allerede kjente verdier |
| Konduktans       | Elektrisk ledningsevne  |
| Momentanbalanse  | Den gjeldende balansen i øyeblikket, akkurat nå   |
| Prosumenter      | Strømkunder som forbruker og produserer energi som kan selges til nettet                    |
| U-verdi          | Varmegjennomgangskoeffisient  |
| Valenselektroner | Elektroner i det ytterste elektronskallet i et atom   |
| Watt peak        | Maks effekt et solcellepanel kan produsere under standard testforhold                       |

## Forkortelser

|             |  |
|-------------|--|
| Ah          | Amperetimer  |
| AMS         | Avanserte måle- og styringssystemer                            |
| C           | Celsius (måleenhet temperatur)                                 |
| COP         | Coefficient of performance (effektfaktor)                      |
| DiBK        | Direktoratet for byggkvalitet                                  |
| DoD         | Depth of Discharge (utladningsdybde)                           |
| eV          | Elektronvolt (måleenhet energimengde)                          |
| FoL         | Forskrift om leveringskvalitet                                 |
| HKFK-gasser | Hydroklorfluorkarbon-gasser                                    |
| Hz          | Hertz (enhet for frekvens)                                     |
| IT-         | Insulated Terra  |
| K           | Kelvin (SI-enhet for temperatur)                               |
| KFK-gasser  | Klorfluorkarbon-gasser   |
| NVE         | Norges energi- og vassdragsdirektorat                          |
| SCOP        | Seasonal coefficient of performance (teoretisk årsvarmefaktor) |
| SoC         | State of Charge (ladetilstand)                                 |
| SoH         | State of Health (batterihelse)                                 |
| SPF         | Seasonal performance factor (faktisk årsvarmefaktor)           |
| TEK         | Byggteknisk forskrift  |
| TN-         | Terra-Neutral  |
| TT-         | Terra-Terra  |
| V           | Volt (elektrisk spenning)                                      |
| W           | Watt (elektrisk effekt)  |
| Wh          | Wattimer   |
| Wp          | Watt peak  |

# Innhold

|  |            |
|--|------------|
| <b>Forord</b>  | <b>ii</b>  |
| <b>Sammendrag</b>  | <b>iii</b> |
| <b>Abstract</b>  | <b>iv</b>  |
| <b>Begrepsliste</b>  | <b>vi</b>  |
| <b>1 Innledning</b>  | <b>1</b>   |
| 1.1 Bakgrunn for oppgaven . . . . .  | 1          |
| 1.2 Problemstilling . . . . .  | 1          |
| 1.3 Avgrensninger . . . . .  | 2          |
| 1.4 Oppgavens struktur . . . . .   | 2          |
| <b>2 Det norske energimarkedet</b>   | <b>3</b>   |
| 2.1 Norges kraftproduksjon og tilknytning til kraftmarkedet i Europa . . . . . | 3          |
| 2.2 Prisområder og strømpriser . . . . .                                       | 4          |
| <b>3 Strømnettet i Norge</b>   | <b>7</b>   |
| 3.1 Fordelingssystemer . . . . .   | 8          |
| <b>4 Faktorer som påvirker strømforbruk</b>                                    | <b>10</b>  |
| 4.1 Brukeradferd og strømpris . . . . .  | 10         |
| 4.2 Samtidighetsfaktor . . . . .   | 12         |
| 4.3 Passivhus, nullutslippshus og plusshus . . . . .                           | 12         |
| 4.4 Enovastøtte . . . . .  | 13         |
| <b>5 Lover og regler</b>   | <b>14</b>  |
| 5.1 Byggtekniske forskrifter . . . . .   | 14         |
| 5.1.1 U-verdi . . . . .  | 14         |
| 5.1.2 Ventilasjon og infiltrasjon . . . . .                                    | 15         |
| 5.2 Solkraftproduksjon og energilagring . . . . .                              | 17         |
| 5.3 Norske standarder . . . . .  | 17         |
| <b>6 Norske husstander</b>   | <b>19</b>  |
| 6.1 Strømforbruk . . . . .   | 19         |
| 6.1.1 Typiske energibesparende tiltak for eldre boligmasse . . . . .           | 21         |
| 6.1.2 Smarte energitiltak for nyere boligmasse . . . . .                       | 22         |
| 6.2 Energimerking . . . . .  | 23         |
| 6.3 FNs bærekraftsmål . . . . .  | 23         |
| <b>7 Varmepumper</b>   | <b>25</b>  |
| 7.1 Varmepumpens prosess . . . . .   | 28         |
| <b>8 Energibehovet til en bolig</b>  | <b>30</b>  |
| 8.1 Varmetransport . . . . .   | 30         |
| 8.2 Konduksjon . . . . .   | 30         |
| 8.3 Konveksjon . . . . .   | 31         |
| 8.4 Stråling . . . . .   | 31         |
| 8.5 Total varmeoverføringskoeffisient . . . . .                                | 32         |
| 8.6 Varmetapet i en bolig . . . . .  | 33         |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>9 Fjernvarme og geotermisk energi</b>                             | <b>38</b> |
| 9.1 Fjernvarme . . . . .   | 38        |
| 9.2 Geotermisk energi . . . . .                                      | 41        |
| <b>10 Solenergi</b>  | <b>44</b> |
| 10.1 Solcelle . . . . .  | 46        |
| 10.2 Solfanger . . . . .   | 49        |
| 10.3 Solenergi til nettet . . . . .                                  | 50        |
| <b>11 Energilagring</b>  | <b>51</b> |
| 11.1 Batteriets oppbygning . . . . .                                 | 51        |
| 11.2 Litium-ion-batteri . . . . .                                    | 53        |
| 11.3 Anvendelse av batteri . . . . .                                 | 54        |
| <b>12 Metode og beregninger</b>                                      | <b>57</b> |
| 12.1 Boligens lokasjon . . . . .                                     | 58        |
| 12.2 Boligens utforming . . . . .                                    | 58        |
| 12.3 Generelt om PVsyst og MATLAB . . . . .                          | 58        |
| 12.4 Energiberegninger . . . . .                                     | 59        |
| 12.4.1 Transmisjonstap . . . . .                                     | 59        |
| 12.4.2 Ventilasjonstap . . . . .                                     | 60        |
| 12.4.3 Energibehov tappevannsoppvarming . . . . .                    | 61        |
| 12.4.4 Varmepumpe . . . . .  | 61        |
| 12.4.5 Totalt energibehov . . . . .                                  | 62        |
| 12.5 Simulering av solcelleanlegg og energilagring . . . . .         | 63        |
| <b>13 Resultater</b>   | <b>65</b> |
| 13.1 Energiberegninger . . . . .                                     | 65        |
| 13.2 Egenproduksjon og lagring . . . . .                             | 67        |
| <b>14 Diskusjon</b>  | <b>72</b> |
| 14.1 Byggets utforming og lokasjon . . . . .                         | 72        |
| 14.2 Transmisjonstap . . . . .                                       | 73        |
| 14.3 Ventilasjonstap . . . . .                                       | 75        |
| 14.4 Energibehov tappevannsoppvarming . . . . .                      | 76        |
| 14.5 Energiforbruk ved oppvarming med og uten varmpumpe . . . . .    | 77        |
| 14.6 Totalt elektrisk energibehov . . . . .                          | 79        |
| 14.7 Fjernvarme . . . . .  | 80        |
| 14.8 Valg av fremgangsmåte ved egenproduksjon og lagring . . . . .   | 81        |
| 14.9 Vurdering av resultater for egenproduksjon og lagring . . . . . | 82        |
| 14.10 Samlet total vurdering av tiltak . . . . .                     | 85        |
| 14.11 Styrker og svakheter ved oppgaven . . . . .                    | 87        |
| <b>15 Tanker rundt videre arbeid</b>                                 | <b>88</b> |
| 15.1 Hvordan skiller oppgaven seg fra forprosjektet . . . . .        | 89        |
| <b>16 Konklusjon</b>   | <b>90</b> |
| <b>Referanser</b>  | <b>92</b> |
| <b>A Vedlegg: MATLAB-kode</b>  | <b>I</b>  |
| <b>B Vedlegg: PVsyst-simulering</b>                                  | <b>VI</b> |

## Figurer

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Figur 2.1a viser prisområdenes geografiske avgrensning i Norge. Figur 2.1b viser kraftflyten innad i Norge, samt ut til Norden og Europa om morgenen den 23.03.23.   | 5  |
| 3.1 | Illustrasjon av nettnivåene i Norge og hvordan kraften normalt sett transporteres fra kraftproduksjonen via nettnivåene for å ende hos sluttbrukeren. Hentet fra [31].   | 8  |
| 4.1 | Figur 4.1a viser lastfordelinger for hver måned i året. Figur 4.1b viser typisk lastfordeling for ukedag og helg. Hentet fra [36].   | 11 |
| 4.2 | Figuren viser den gjennomsnittlige spotprisen for de ulike prisområdene fra 2017 til 2022. Hentet fra [44].  | 12 |
| 5.1 | Illustrasjon av hvordan veggkonstruksjonen og isolering har utviklet seg fra 1900 til 2007, og hvordan u-verdien har sunket i verdi som følge av forbedringene. Hentet fra [68].   | 16 |
| 6.1 | Illustrasjon 6.1a viser antall nybygg ferdigstilt mellom 1950 og 2020. Illustrasjon 6.1b viser antall ferdigstilte bygningstyper mellom 1900 og 2020.  | 19 |
| 6.2 | Figuren gir en oversikt over sektorer og deres strømforbruk. Det er også oppgitt energikildene og mengde forbruk i hver sektor. Hentet fra [82].   | 20 |
| 6.3 | Figuren viser fordelingen av strømforbruket for en gjennomsnittlig enebolig på 120 m <sup>2</sup> i 2019, med et årsforbruk rundt 27 000 kWh. Hentet fra [7].  | 20 |
| 6.4 | Figuren viser fordelingen av strømforbruk for en typisk leilighet i 2019, med 11 000 kWh som årsforbruk. Hentet fra [7].   | 21 |
| 6.5 | Karakterskalaen for energimerking av bolig. Hentet fra [87].   | 23 |
| 6.6 | Fire av FNs bærekraftsmål oppgaven i størst grad berører. Hentet fra [91].   | 24 |
| 7.1 | Illustrasjon 7.1a viser historisk og forventet utvikling av ulike varmepumpeteknologier og deres varmeproduksjon gitt i TWh/år frem mot 2030. Illustrasjon 7.1b viser historisk og forventet varmeproduksjon gitt i TWh/år for ulike sektorer frem mot 2030. Beregningene er basert på statistikk fra NOVAP, NVEs kostnadsrapport og bransjen generelt [92]. | 26 |
| 7.2 | Utvikling i varmeproduksjon fra varmepumper opp mot dens elektrisitetsbruk. Hentet fra [92].   | 28 |
| 7.3 | Oppbyggingen av en varmepumpe. Modifisert fra [93].  | 29 |
| 8.1 | Illustrasjon av hvordan varmetransport for henholdsvis konduksjon, konveksjon og stråling oppstår. Hentet fra [107].   | 30 |
| 8.2 | Illustrasjon av termisk resistans gjennom en sammensatt vegg. Hentet fra [107].  | 33 |
| 9.1 | Fjernvarmesystem. Hentet fra [117].  | 38 |
| 9.2 | Ttur- og returledninger i distribusjonsnett.   | 39 |
| 9.3 | Energikildene i fjernvarmeproduksjonen for 2021, samt utviklingen i mengde produsert fjernvarme siden 2009 til 2021. Hentet fra [122].   | 40 |
| 9.4 | Illustrasjonene illustrerer forskjellene mellom jordvarmesystem, figur 9.4a, og bergvarmesystem, figur 9.4b.   | 42 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 10.1 | Potensialet for solenergi på bygg i de ulike prisområdene i Norge. Hentet fra [138].   | 45 |
| 10.2 | En silisiumsolcelle består av to sjikt med dopet silisium, en n-leder og en p-leder. Elektronstrømmen i den ytre kretsen genererer strøm. Barrieren oppstår som følge av at elektronene fylles opp på p-siden hvor det dannes et isolerende lag. Hentet fra [151]. . . . .   | 47 |
| 10.3 | Figur 10.3a angir vinklene beskrevet i formel 10.2 og 10.4. Figur 10.1 angir vinkelen beskrevet i formel 10.1. . . . .   | 48 |
| 10.4 | Solfangersystem hvor et sirkulerende medium varmes opp av solinnstråling i solfangere, og som sendes til varmtvannsberederen for videre distribusjon. Hentet fra [136]. . . . .  | 49 |
| 11.1 | En galvanisk celle bestående av en anode, en katode og en elektrolytt. Når cellen avgir strøm, foregår det en oksidasjon ved anoden, og en reduksjon ved katoden. På denne måten får anoden en negativ spenning, mens katoden får en positiv spenning. Det er denne spenningsforskjellen som skaper en strøm av elektroner i den ytre kretsen. Hentet fra [173]. . . . . | 52 |
| 11.2 | Figuren viser en sammenligning av energitetthet til ulike batterityper. Her er det tydelig at litium-ion-batteriet har en mye høyere lagringskapasitet per volum og vekt enn de andre batteriene. Hentet fra [182]. . . . .  | 54 |
| 11.3 | Figuren til venstre illustrerer hvordan det totale energiforbruket forblir det samme, men fordeles utover ved lastfordeling. Figuren til høyre illustrerer hvordan det ved peak shaving reduseres effekttopper uten å øke forbruket resten av dagen. Hentet fra [184]. . . . .   | 55 |
| 11.4 | Utvikling i installert batterikapasitet kombinert med installert solcellekapasitet for tre mulige scenarier. Hentet fra [168]. . . . .   | 56 |
| 12.1 | Enkel skisse av eksempelboligen . . . . .  | 59 |
| 13.1 | Fordelingen av totalt energiforbruk, egenproduksjon og lagring for TEK-69 gjennom året. . . . .  | 67 |
| 13.2 | Fordelingen av totalt energiforbruk, egenproduksjon og lagring for TEK-17 gjennom året. . . . .  | 68 |
| 13.3 | Døgnfordeling av energiforbruk, egenproduksjon og lagring på sommeren den 19.juni ved TEK-69 standarden. . . . .   | 69 |
| 13.4 | Døgnfordeling av energiforbruk, egenproduksjon og lagring på sommeren den 19.juni ved TEK-17 standarden. . . . .   | 69 |
| 13.5 | Døgnfordeling og hvordan overproduksjon sendes tilbake til nettet ved fulladet batteri på sommeren den 19.juni for TEK-69. . . . .   | 70 |
| 13.6 | Døgnfordeling og hvordan overproduksjon sendes tilbake til nettet ved fulladet batteri på sommeren den 19.juni for TEK-17. . . . .   | 70 |
| 13.7 | Døgnfordeling som illustrerer energietterspørsel, egenproduksjon og lagring på vinteren den 19.januar for TEK-69. . . . .  | 71 |

|  |    |
|--|----|
| 13.8 Døgnfordeling som illustrerer energietterspørsel, egenproduksjon og lagring på vinteren den 19.januar for TEK-17. . . . . | 71 |
|--|----|

## Tabeller

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Oversikt over nettnivåene i Norge med tilhørende spenning og mengde kabel (hentet fra [25]) . . . . .   | 7  |
| 5.1 Alternativt energikrav (hentet fra [6, 60, 61]) . . . . .   | 15 |
| 5.2 Minstekrav u-verdi gitt i $W/m^2 \cdot K$ og normal isolasjonstykkelse gitt i cm . . . . .  | 15 |
| 5.3 En oversikt over krav og veiledende verdier for frisklufttilførsel, lufttetthet og virkningsgrad varmegjenvinner (hentet fra [76, 61, 67, 60, 6]) . . . . .   | 17 |
| 7.1 Oversikt over potensielle varmekilder for varmepumper i Norge (hentet fra [92]) .   | 25 |
| 7.2 Salgstall for ulike varmepumpeteknologier basert på effektklasser (hentet fra [92])   | 26 |
| 7.3 Anslag på fordeling av varmepumpesalg på ulike sektorer (hentet fra [92]) . . . . .   | 26 |
| 9.1 Data for fjernvarme 2021 (hentet fra [121]) . . . . .   | 40 |
| 12.1 Lufttilførsel, $q_{vent}$ , regnet om til enhet som benyttes i utregning, og infiltrasjonsraten, $n_{inf}$ , omregnet fra $n_{50}$ med formel 12.1 . . . . . | 61 |
| 13.1 Ulike elementer av varmeeffektbehov. Oppgitt i kWh/år . . . . .  | 65 |
| 13.2 Elektrisitetsforbruket til eksempelboligen ved de ulike standardene, uten varmepumpe. Oppgitt i kWh/år . . . . .   | 66 |
| 13.3 Oversikt over energieresultatene for luft-luft-varmepumpe. Oppgitt i kWh/år . . . . .  | 66 |
| 13.4 Oversikt over energieresultatene for væske-vann-varmepumpe. Oppgitt i kWh/år . . . . .   | 66 |
| 13.5 Reduksjonspotensial av totalt varmeeffektbehov ved luft-luft-varmepumpe . . . . .  | 67 |

# 1 Innledning

Innledningen har til hensikt å gi innsikt i bakgrunnen for oppgavens relevans i dagens samfunnssituasjon. Deretter blir problemstillingen og avgrensninger av oppgaven presentert. Til slutt gis en kort oversikt over oppgavens struktur.

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Norges kraftproduksjon er i stor grad væravhengig, da mye av energiproduksjonen kommer fra fornybare energikilder. Vannkraft er den klart største bidragsyteren til norsk kraftproduksjon, med en andel på 88 % av den totalt leverte elektrisiteten. Rundt 9 % dekkes av vindkraft, mens solkraft utgjør omtrent en promille. Denne væravhengige kraftproduksjonen gir et kraftsystem med lavere forsyningssikkerhet. Utenlandskabler til Norden og Europa resulterer imidlertid i et mer fleksibelt kraftsystem, da import og eksport av energi mellom landegrenser øker forsyningssikkerheten [1, 2].

Energietterspørselen har økt betraktelig de siste årene, og er forventet å øke ytterligere i årene som kommer [3, 4]. For å møte denne kraftetterspørselen og for å nå klimamålene om 55 % reduksjon av klimagassutslipp innen 2030 gitt 1990-verdier, er samfunnet helt avhengig av økt fornybar energiproduksjon [4]. Ved økt energietterspørsel i samfunnet, oppstår det utfordringer med transport av energien i nettet grunnet kapasitetsbegrensninger. For distribusjonsnettet, det nettet som er knyttet direkte til kunden, har blant annet endret forbruksmønster, økt bruk av elbilladere og innføring av flere elektriske apparater resultert i nye utfordringer i nettet [5].

En stor andel av den norske boligmassen er av eldre karakter. Dette innebærer en betraktelig dårligere energistandard enn dagens krav satt av byggt teknisk forskrift, TEK-17 [6]. Som følge av dette vil energiforbruket for eldre boliger være vesentlig høyere enn for nye boliger. Slik beskrevet i energikommisjonens rapport *NOU 2023: Mer av alt- raskere*, er energieffektiviseringstiltak (ENØK-tiltak) i boligmassen nødvendig for å redusere strømforbruket [4]. Dette vil kunne bidra til å senke kraftetterspørselen i nettkablene og dermed frigjøre kapasitet. Med bakgrunn i dette, kan det være interessant å undersøke hvordan energiomlegging og ulike ENØK-tiltak for en typisk enebolig vil redusere dens energiforbruk, og hvordan dette kan bidra til å avlaste distribusjonsnettet [7].

## 1.2 Problemstilling

Problemstillingen oppgaven skal forsøke å finne svar på er: “I hvilken grad påvirker energiomlegging og ulike energieffektiviserende tiltak energiforbruket i en enebolig, og hva slags påvirkning kan dette ha på distribusjonsnettet?”. Oppgaven vil ta for seg hvordan ulike krav gitt av byggt tekniske forskrifter, TEK-69, -87, -97, -10 og -17, påvirker energiforbruket i eksempelboligen. Dette vil blant annet illustrere hva isolering og utskiftning av vinduer og dører har å si for å redusere byggets energiforbruk. Oppgaven vil også foreta beregninger på hvordan



installasjon av varmepumpe ved de ulike TEK-standardene vil påvirke strømforbruket, og hva fjernvarmetilkobling vil ha av betydning. Det vil også bli beregnet og diskutert rundt muligheten for solkraftproduksjon og energilagring. Det gjøres oppmerksom på at energiomlegging, det vil si skifte av energibærere, gjennom oppgaven vil bli omtalt som en del av de energieffektiviserende tiltakene [8]. Til slutt vil oppgaven resultere i en konklusjon om graden av tiltakenes påvirkning på boligens energibehov ved de ulike standardene, og hva slags betydning dette kan ha for distribusjonsnettet.

### 1.3 Avgrensninger

Grunnet tids- og omfangsbegrensninger er det valgt å fokusere på de tiltakene som er ansett som mest normale og gjennomførbare for en tilfeldig enebolig. Det er likevel ulike situasjoner som gir visse begrensninger i gjennomførbarhet, blant annet i tilknytning til fjernvarme. Det er likevel valgt å inkludere dette i oppgaven for å illustrere fordelene ved slike systemer. Ved egenproduksjon er det valgt å fokusere på solenergi. Vann- og vindkraftproduksjon i tilknytning til en bolig eller et område er ikke en del av oppgaven da dette ble vurdert til å eventuelt være spesialtilfeller og ikke like gjennomførbart i en tilfeldig situasjon slik som solenergiproduksjon.

### 1.4 Oppgavens struktur

Oppgaven er basert på en grundig litteraturstudie som la grunnlaget for relevant informasjonsinnhenting og grundig redegjøring av teori. Teoridelen legger med dette grunnlaget for beregninger og vurderinger av energigevinsten ved tiltakene for de ulike byggtekniske standardene. Oppgaven er inndelt i følgende deler:

- *Teori, kapittel 2-11*: Denne delen av oppgaven er relativt bred og omfattende med hensikt å gi innsikt i dagens energisituasjon, strømmnettets oppbygging, forhold rundt energiforbruk i husholdninger, samt grunnleggende teori om relevante ENØK-tiltak.
- *Metode og beregninger, kapittel 12*: Gir en oversikt over hvordan det er arbeidet med metode, samt hvordan beregningene er fremskaffet
- *Resultater, kapittel 13*: Inneholder resultatene fra beregninger i MATLAB og PVsystem
- *Diskusjon, kapittel 14*: Inneholder diskusjon rundt resultatene og avgrensningene
- *Videre arbeid, kapittel 15*: Gir en oversikt over mulige områder oppgaven kunne arbeidet videre med
- *Konklusjon, kapittel 16*: Svarer på problemstillingen basert på resultatene og diskusjonen

## 2 Det norske energimarkedet

Det norske energimarkedet er i stor grad basert på fornybar energiproduksjon [9]. Ikke-regulerbare energikilder som vann-, vind- og solenergi bidrar til lavere forsyningssikkerhet sammenlignet med fossile energikilder. Disse er likevel helt essensielle for å muliggjøre den grønne omstillingen. Til tross for at fornybare energikilder kategoriseres som ikke-regulerbare, har likevel vannkraft en grad av regulerbarhet som kan bidra til noe fleksibilitet ved kraftproduksjonen. Norge er påkoblet kraftmarkedet i Europa gjennom overføringskabler. Disse bidrar til økt forsyningssikkerhet grunnet muligheten for import og eksport av energi. Dette er også essensielt for å kunne møte det økende energibehovet [4]. Innad i landet eksisterer det fem prisområder grunnet varierende kraftsituasjon og begrenset overføringskapasitet via sentralnettet [10].

### 2.1 Norges kraftproduksjon og tilknytning til kraftmarkedet i Europa

Norges kraftproduksjon er svært væravhengig, da rundt 98 % av kraftproduksjonen kommer fra vann- og vindenergi [11]. Kraftmarkedet i Norge er underlagt energiloven som ble vedtatt av Stortinget i 1990. Innføringen av denne loven innebar en strukturell endring i organiseringen av Norges kraftforsyning, hvor myndigheter og stortinget ikke lenger skulle styre kraftprisen [4]. Kjøp og salg av elektrisk energi skulle ikke reguleres, men være konkurransedrevet. Selve nettvirksomheten skulle imidlertid være strengt regulert. Energiloven presiserer med dette et viktig skille og prinsipp mellom den delen av kraftproduksjon og salg som eigner seg for konkurranse, opp mot monopolvirksomheten knyttet til den delen som omhandler nettvirksomhet. Samlet sett bidrar kraftmarkedet til effektiv fordeling av energiresursene, samt at prisene ikke presses høyere enn nødvendig [12].

4Det nordiske kraftmarkedet bestående av Norge, Sverige, Finland og Danmark, er integrert i det europeiske kraftmarkedet via overføringskabler. Overføringskablene som knytter det nordiske kraftmarkedet til det europeiske, er kraftforbindelser til Tyskland, Nederland, Baltikum, Russland og Polen. Det er på denne måten Norges kraftutveksling er knyttet opp mot Europas kraftsituasjon og kraftmarked. I 2021 ble det etablert ytterligere to utenlandskabler, en til Tyskland kalt *NordLink*, samt en kabel til Storbritannia kalt *North Sea Link*. Markedskoblingen bidrar blant annet til økt fleksibilitet i kraftnettet og bedre utnyttelse av produksjonsressurser ved at for eksempel overproduksjon av vindkraft kan eksporteres. Markedskoblingen vil også til en viss grad bidra til å senke behovet for fornybare energikilder, da kraftmangel kan dekkes av annen fornybar energiproduksjon ved import. Tidligere har den europeiske markedskoblingen vært frivillig drevet og basert på regionalt initiativ. Det nordiske kraftmarkedet derimot, etablerte i 1993 den felles kraftbørsen Nord Pool, som i dag omfatter rundt 95 % av kraftforbruket i Europa [12, 13].

Utenlandskablene kan resultere i høyere strømpriser i Norge, da prisen på salg av strøm til en viss grad påvirkes av energisituasjonen i Europa. Historisk sett har strømprisene i landet likevel ligget vel under disse prisene, også etter de nyetablerte utenlandskablene til

Tyskland og England. Ifølge Statnett utgjør påvirkningene fra de to nyetablerte strømkablene rundt 10 % av de økte strømprisene siden 2021 [14]. Disse strømkablene er dessuten svært essensielle for forsyningssikkerheten til både Norge og Europa grunnet den ikke-regulerbare kraftproduksjonen. For å oppnå best mulig ressursutnyttelse, er det derfor nødvendig med et fleksibelt kraftmarked som innebærer både import og eksport mellom land i Europa. Eksempelvis vil det i perioder hvor Norge produserer lite vannkraft grunnet lave vannstander i magasinene, og når vindkraftproduksjonen i Danmark er svært høy og derfor kan eksportere billig energi til Norge, være svært gunstig med fleksibiliteten av å importere og eksportere energi mellom landegrensene. Elektrisk energi er utfordrende å lagre, og har i tillegg ikke kommet til det stadiet at det kan lagres i så store kvanta som ville vært nødvendig for at Norge skulle kunne være uavhengige av kraftflyten i Europa. Dette illustrerer hvor essensielle utenlandskablene er for forsyningssikkerheten av energi [15].

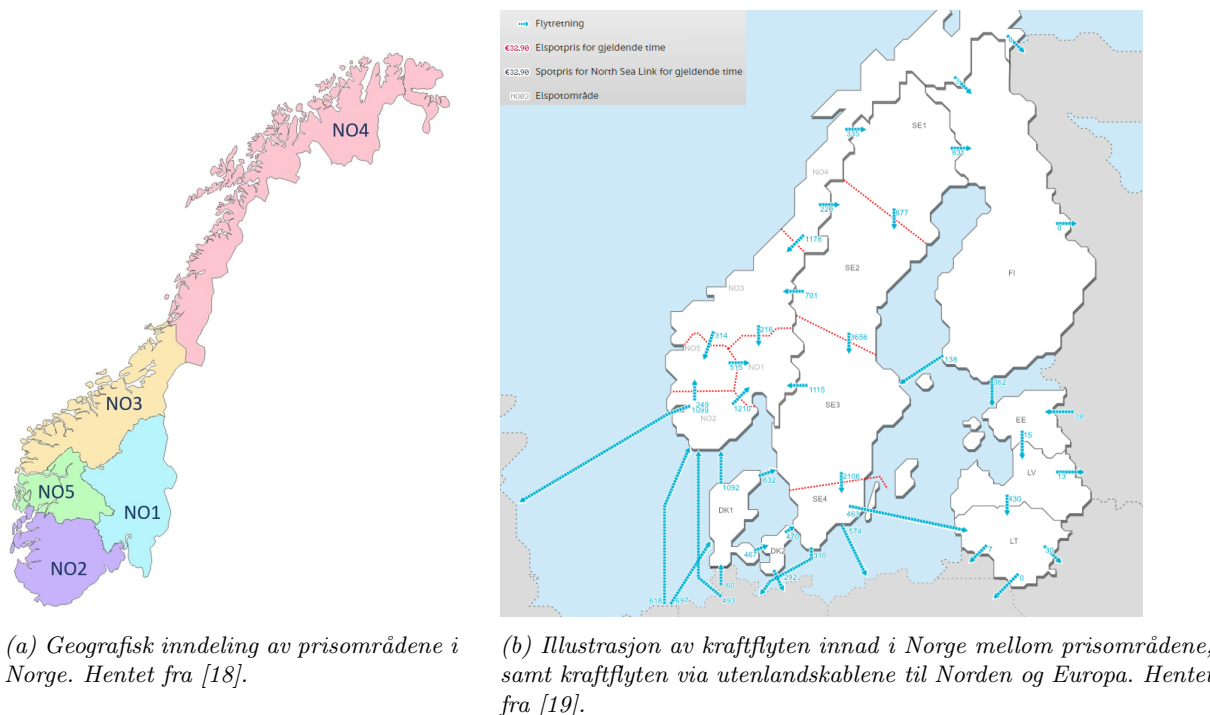
Betydningen av overføringskablene gjør seg gjeldene i enda større grad på vinterstid. Selv med en normal nedbørsmengde, kunne strømprisene i Norge ifølge NVE ligget mellom 2 og 3 ganger høyere enn det de normalt sett gjør dersom koblingen til kraftmarkedet i Europa ikke hadde eksistert. Norge eksporterer et kraftoverskudd til Nederland, Sverige og Danmark på vinterstid under normale år, samtidig som import via disse linjene kan være nødvendig i tørrere år med lite vannkraftproduksjon. Dette eksport-importforholdet gir god forsyningssikkerhet og stabile, lave kraftpriser [11].

Et kraftmarked kan deles opp i sluttbrukermarked og engrosmarked. I sistnevnte marked foretas fritt kjøp og salg av store kraftvolum av aktører som meglere, kraftprodusenter og industri- og kraftleverandører [16]. Dette markedet kan inndeles ytterligere i flere organiserte markeder: *Day-aheadmarked*, *kontinuerlig intradagmarked* og *balansemarked*. I disse markedene fastsettes priser etter at aktørene legger inn bud. For day-aheadmarkedet og det kontinuerlige intradagmarkedet skjer dette på kraftbørser som EPEX SPOT og Nord Pool AS. Dette er de aktørene som har konsesjon til å drifte omsetningen av Norges elektriske energiforbruk via en organisert markedsplass. Det siste markedet av de tre inndelingene i engrosmarkedet, er balansemarkedet som skal sørge for balanse i strømmettet, det vil si at kraftproduksjonen møter etterspørselen [17]. Dette markedet driftes av Statnett som har konsesjon for det overordnede systemansvaret. Statnett benytter balansemarkeder for regulering av forbruk og produksjon for å sikre momentanbalansen. Sluttbrukermarkedet innebærer at sluttbruker selv foretar vurdering og inngår avtale med en kraftleverandør om kjøp av kraft. Dette markedet er fordelt likt mellom industri, husholdninger og mellomstore sluttbrukere [12].

## 2.2 Prisområder og strømpriser

Norge deles inn i fem prisområder. Dette kommer av at kraftsituasjonen er svært varierende i ulike regioner. Prisområdene er også etablert som en konsekvens av at strømmettet ikke har den nødvendige overføringskapasiteten for å kunne utjevne forskjellene i kraftproduksjonen mellom regionene [10]. Inndelingen av prisområdene er som følger, og er illustrert i figur 2.1a.

- Østlandet (NO1)
- Sørlandet (NO2)
- Midt-Norge (NO3)
- Nord-Norge (NO4)
- Vestlandet (NO5)



Figur 2.1: Figur 2.1a viser prisområdenes geografiske avgrensning i Norge. Figur 2.1b viser kraftflyten innad i Norge, samt ut til Norden og Europa om morgenen den 23.03.23.

Grunnet begrensninger i mengde energi som kan transporteres og overføres i nettet, settes ulike priser for de respektive prisområdene. Reguleringen av kraftproduksjon foregår ved hjelp av prisene, i tillegg til at det signaliserer hvor behovet for nytt nett og ny produksjon ligger. Historisk har prisforskjellene i de ulike prisområdene vært lave, og det har derfor vært et begrenset behov for økt kapasitet mellom Midt- og Sør-Norge. Kraftflyten fra nord til sør er avhengig av Sveriges kraftnett, da kraften ofte transporteres via deres kraftnett. Dette nettet og dens kapasitet og kraftflyt er derfor svært integrert i det norske strømmettet, og blir dermed påvirket av priser, kraftoverføring og flaskehals i Norge [10].

Mot slutten av 2021 steg strømprisene betraktelig. Året før var den gjennomsnittlige spotprisen på 11.6 øre/kWh på Nord Pool sin kraftbørs, og var riktig nok den laveste årsprisen som er registrert. En økning på 51.8 kWh/øre resulterte i at snittprisen på strøm i 2021 ble 63.4 øre/kWh. Etter dette har prisøkningen fortsatt. Det finnes flere årsaker til dette, blant annet høye gass- og kraftpriser generelt i Europa. Her benyttes gass i stor grad til oppvarming og kraftproduksjon vinterstid, og med begrenset tilgang på gass i perioder vil prisene stige. I tillegg har kvoteprisen på CO<sub>2</sub>-avgifter økt, noe som resulterer i økte priser på kraft fra fossile

energikilder [20]. Begrenset tilgang på gass i Europa som følge av krigen i Ukraina, har også bidratt til noe økning av strømprisen [21]. Til tross for at Norden produserer mye fornybar energi, er Europa avhengig av fossile energikilder til kraftproduksjon for å møte etterspørselen [20]. Lavere magasinfylling grunnet lite tilsig var også blant årsakene til høyere strømpriser. Utenlandskablene til Europa bidro i tillegg til å forsterke prisøkningen, til tross for at disse normalt sett ville bidratt til å senke prisene om vinteren. Dette kom blant annet av tørke i Europa, lite vindkraftproduksjon, mindre energiproduksjon fra fransk kjernekraft grunnet vedlikeholdsarbeid, samt høye gasspriser [22, 23]. Klimaendringene fører til mer ekstremvær, deriblant tørke, og vil resultere i større svingninger ved den fornybare kraftproduksjonen. Dette øker behovet for kraftutveksling på tvers av landegrenser for å dekke energietterspørselen. Disse elementene setter økt fokus på effektiv energibruk og økt fornybar energiproduksjon, og legger derfor et godt grunnlag for oppgavens fokus.

### 3 Strømnettet i Norge

Strømnettet i Norge deles inn i tre ulike nettnivå avhengig av overføringskapasiteten i kablene. Nettet med høyest kapasitet er transmisjonsnettet. Transmisjonsnettet kan også omtales som sentralnettet. Tabell 3.1 gir en oversikt over nettnivåene og deres spenning, samt total lengde på kabel. Operatøren av dette nettet er Statnett, og det er i hovedsak de som også eier dette nettet. Rundt 6 % av nettet eies imidlertid av regionale nettselskap. Statnett har ansvaret for drift og vedlikehold, men leier ofte inn nettselskap for å drive produksjon, omsetting og annet arbeid med nettet. Det finnes et regelverk satt av EU som disse bedriftene må følge, i tillegg til krav til sertifisering av operatører som arbeider med nettet [24, 25]. Sertifisering av nettselskapet som transmisjonssystemoperatør i henhold til EU sitt regelverk, krever at selskapet har et eiermessig skille mellom den konkurranseutsatte delen av virksomheten, og selve nettet. Transmisjonsnettet er bindeleddet mellom forbruker og produsenter. Utenlandskablene til Europa inngår som en del av dette nettet og er derfor også underlagt EU-regelverket. Kraftkrevende industri er ofte direkte koblet på transmisjonsnettet da deres behov for energi er vesentlig større sammenliknet med husholdninger og andre næringsvirksomheter [26, 25]. EU-regelverket legger betingelser for at handel i energimarkedet skal være velfungerende, og innebærer blant annet at det skal være et skille mellom produksjon og nett [27].

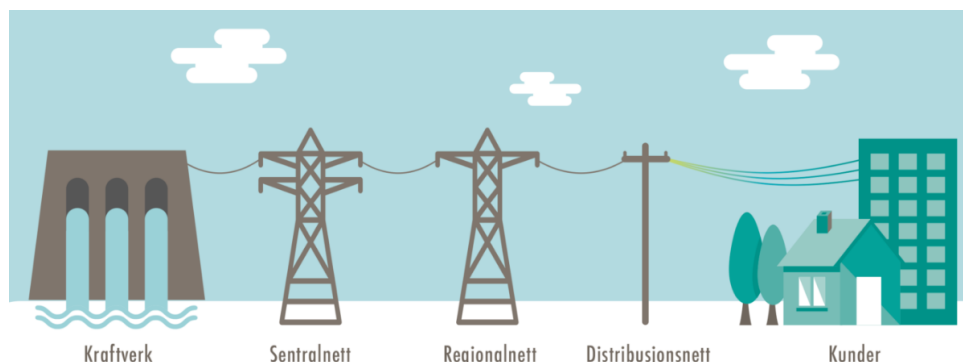
Regionalnettet er nettet som binder transmisjons- og distribusjonsnettet sammen. Distribusjonsnettet er nettet som sørger for distribuering av strøm til sluttbrukeren. Det er dette nettet som mottar lokalprodusert solenergi fra boliger, og kan kategoriseres som et høyspent- eller lavspent distribusjonsnett [26]. Høyspent distribusjonsnett har spenninger på over 1 kV opptil 22 kV, mens lavspent distribusjonsnett ligger normalt sett på 230 V eller 400 V. I EU-regelverket ansees både regional- og distribusjonsnettet som distribusjonsnett [25]. Totalt sett utgjør de tre nettnivåene i Norge rundt 130 000 km med overføringskabler. Produksjonsanlegg som produserer store mengder energi, kobles direkte opp for strømforsyning til transmisjons- eller regionalnettet. Ved mindre produksjonsanlegg er kapasiteten i regional- eller distribusjonsnettet tilstrekkelig, og det kan derfor kobles direkte på disse [25].

Tabell 3.1: Oversikt over nettnivåene i Norge med tilhørende spenning og mengde kabel (hentet fra [25])

| Nettnivå                   | Spenning    | Mengde kabel |
|----------------------------|-------------|--------------|
| Transmisjonsnett           | 300-420 kV  | 11 000 km    |
| Regionalnett               | 33-132 kV   | 19 000 km    |
| Høyspent distribusjonsnett | 1-22 kV     | 100 000 km   |
| Lavspent distribusjonsnett | 230 - 400 V |              |

Distribusjonsnettet er som tidligere nevnt det laveste nettnivået som sørger for at kraftforsyning kommer frem til sluttbruker, slik figur 3.1 illustrerer. Distribusjonsnettet er eid av nettselskaper. Disse får konsesjon til å drive nettet, og sørger for at strømmen kjøpt av kraftleverandører faktisk kommer frem [28]. Distribusjonsnettet mottar strøm fra sentralnettet via regionalnettet gjennom en transformatorer. I disse transformeres spenningen for å tilpasses spenningsnivået

til neste nettnivå [29]. Frem til den lokale nettstasjonen er nettet høyspent. Videre ut til sluttbrukeren transporteres strømmen i lavspentnett. Disse ble før bygget som luftlinjer, men legges nå vanligvis som jordkabler [30].



Figur 3.1: Illustrasjon av nettnivåene i Norge og hvordan kraften normalt sett transporteres fra kraftproduksjonen via nettnivåene for å ende hos sluttbrukeren. Hentet fra [31].

### 3.1 Fordelingssystemer

Den lavspente energioverføringen kan videre deles inn i tre fordelingsystemer avhengig av spenning, også kalt nettsystemer. Det tradisjonelle lavspente distribusjonsnett i Norge er IT-nettet, som står for *Insulated Terra*. Linjespenninger i dette nettet har en nominell verdi på 230 V. IT-nettet er kjennetegnet ved at det på lavspentsiden av transformatoren er et isolert nøytralepunkt mot jord. I visse områder som for eksempel ved sykehus og annet som benytter nødstrømsanlegg, er det kun lov til å benytte seg av dette systemet ettersom at det er mulig å drifte selv med stående jordfeil hos kunder som ikke fikk jordfeilen. Ved for eksempel lynnedslag, vil det oppstå en kortslutning i gjennomslagsvernet. Gjennomslagsvern er det som benyttes for å isolere nøytralepunktet. Ved en slik kortslutning vil IT-nettet oppføre seg som et TT-nett [32, 33].

TT-nettet, *Terra-Terra*, er det nettsystemet som er minst brukt i Norge. Her finnes det ikke noe gjennomslagsvern slik som i IT-nettet. I stedet er transformatorens nøytralepunkt direkte jordet, noe som betyr at en feil i nettet vil gjøre at strømmen har en lettere vei å gå, slik at den ledes til jordingspunktet. Dersom det skulle oppstå en situasjon som resulterer i en overspenning i et IT-nett, ville dette resultere i en konstant jordforbindelse. Da vil IT-nettet skifte karakter og ha den samme funksjonaliteten som TT-nettet, med mindre gjennomslagsvernet ikke skiftes [33] [28].

Den siste typen lavspentnett er TN-nett, og nye nett bygges typisk som dette. Her er linjespenningen på 400 V, mens det mellom nøytralleder til faseleder går en spenning på 230 V, det vil si at fase-jord spenningen er 230 V. I denne nettstasjonen har transformatoren et jordet nullpunkt, og en jordfeil vil derfor kutte spenningstilførselen umiddelbart. TN-nett er forkortelse for *Terra Neutral*, hvor T indikerer jordet nullpunkt i transformatoren, og N indikerer at dette nullpunktet blir medbrakt til brukeren. Dette betegnes PEN-leder, men kalles også nøytralleder.

Forskjellen i linjespenning mellom IT- og TN- nett på henholdsvis 230 V og 400 V, gjør at tapet i linjene kan reduseres med faktor på  $\sqrt{3}$  gitt det samme effektforbruket og tverrsnittet av kablene. Dette innebærer at lasten kan motta tilsvarende mer effekt. I tillegg vil TN-nettet gi større kortslutningsstrømmer enn IT-nettet [34, 32].



## 4 Faktorer som påvirker strømforbruk

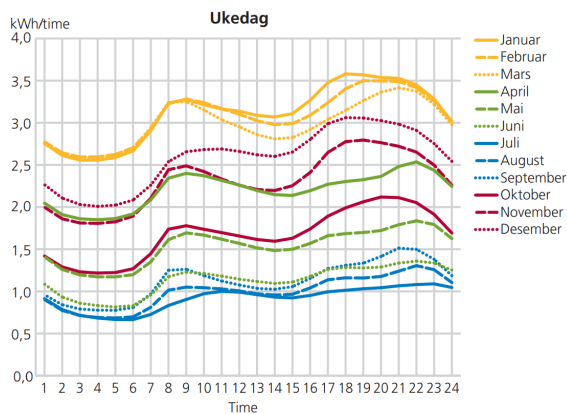
Det finnes en rekke ulike tiltak for å redusere strømforbruket i en bolig. Endring av brukeradferd og bevisstgjøring av når og hvordan strømmen benyttes, er en enkel og effektiv metode for å redusere strømforbruket. Å gjennomføre energieffektiviserende tiltak som oppfyller dagens byggtekniske krav, vil også kunne bidra til å redusere strømforbruket betydelig avhengig av byggets energitilstand. Enkelte slike tiltak kan dessuten utløse økonomisk støtte fra Enova. Å bygge eller oppgradere bolig etter standarder som kan inngå som pluss hus, smarthus eller nullutslippshus, er også svært fremtidsrettet og energibesparende, da disse standardene setter fokus på byggets totale livsløp og miljøpåvirkning.

### 4.1 Brukeradferd og strømpris

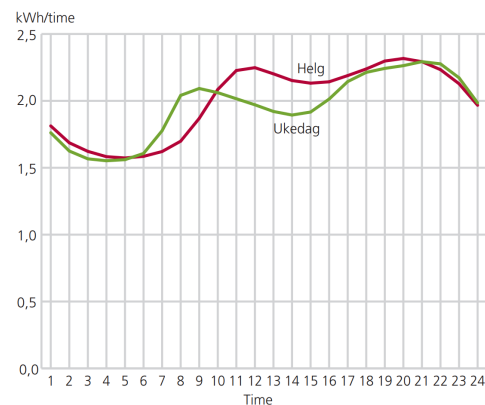
Endret forbruksmønster av strøm har oppstått blant annet som følge av den generelle teknologiske utviklingen i samfunnet. Etter hvert som teknologien har gjennomgått en betydelig utvikling, har blant annet energikildene til romoppvarming endret seg. Tidligere var vedfyring og oljekjel benyttet som primærkilde til romoppvarming. I nyere tid har det blitt mer vanlig å benytte elektrisitet ved panelovner og varmepumpe. Denne overgangen har bidratt til betydelig økning av det elektriske energiforbruket i husstander [35]. Skiftet fra fossilt drevne biler til el-biler har også bidratt til økt effektbehov. Til tross for at teknologiske apparater benyttet i hjemmet stadig blir mer energieffektive og derfor krever mindre energi, vil smart bruk av disse ha positiv innvirkning på strømforbruket da det stadig introduseres flere elektriske apparater til hjemmet.

Normal fordeling av strømforbruk i boliger over et døgn gir effekttopper i strømmettet, hvor lastprofilen typisk illustrerer en morgentopp mellom kl. 07.00-11.00 og en ettermiddagstopp mellom kl. 17.00-22.00 [4, 36]. Fordelingen er avhengig av forbruksmønsteret til husstandsmedlemmene. Effekttoppene i helgene forekommer også ofte senere på dagen sammenlignet med ukedagene, og gir en jevnere døgnfordeling. Figur 4.1a gir en illustrasjon over hvordan lastfordelingen typisk kan se ut på en ukedag for alle månedene i året. Figur 4.1b viser hvordan lastfordelingen på en ukedag skiller seg fra helg. Samlet sett vil nettet i et boligområde kunne oppleve høy belastning dersom alle har omtrent tilsvarende rutine, både om morgen og ettermiddagen. En AMS-måler, en smart strømmåler som alle strømkunder må ha installert, gjør det blant annet mulig for forbrukere å få full oversikt over boligens strømforbruk [37]. Denne bevisstgjøringen av forbruket kan bidra til å påvirke brukeradferden. For å redusere nødvendigheten av å bygge ut nettet, er det behov for å minimere og fordele strømforbruket slik at effekttoppene kan jevnes ut. På denne måten vil reduksjon i strømforbruk, endret brukeradferd og eventuelt egenproduksjon og lagring kunne spille en viktig rolle på effektavlastningen av distribusjonsnettet ved effekttopper [38].

Brukeradferd har i varierende grad innvirkning på strømforbruk, men kan i vesentlig grad bidra til å avlaste nettet ved effekttopper. Etter at strømprisene mot slutten av 2021 økte betraktelig sammenlignet med tidligere, har det skjedd en endring i brukeradferden [39]. Det ble



(a) Illustrasjon av gjennomsnittlig lastfordeling for ukedag og hvordan dette varierer med månedene i året.



(b) Normal lastfordeling ukedag sammenlignet med lastfordeling helg.

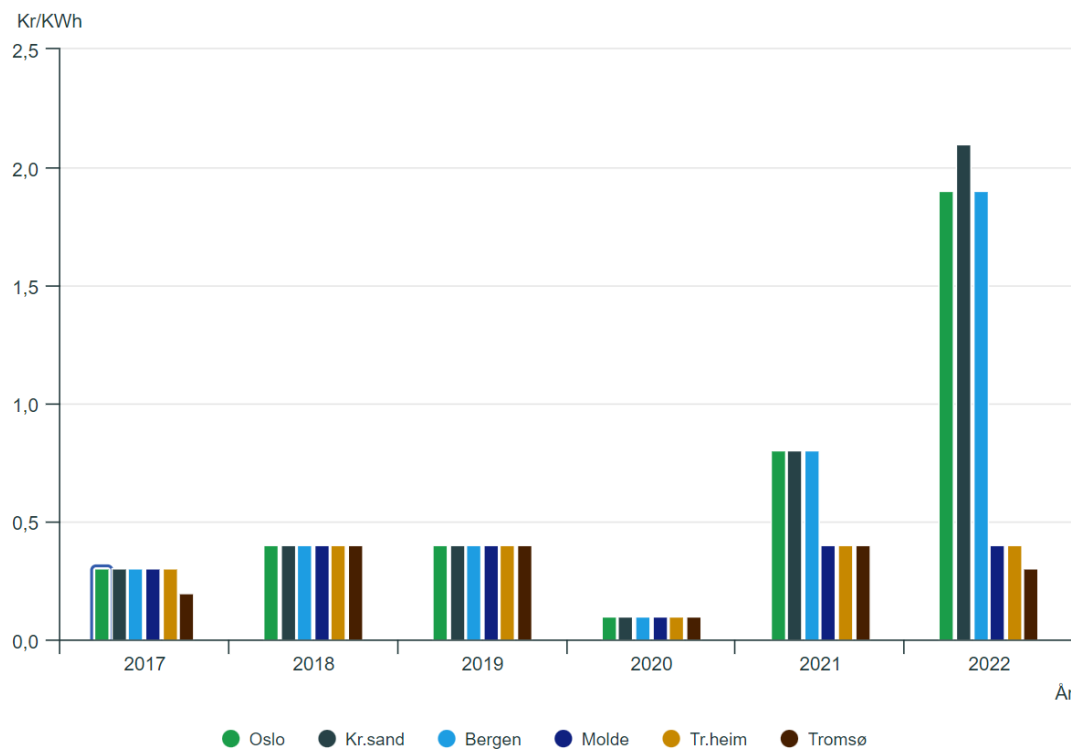
Figur 4.1: Figur 4.1a viser lastfordelinger for hver måned i året. Figur 4.1b viser typisk lastfordeling for ukedag og helg. Hentet fra [36].

i denne perioden innført en strømstøtteordning som skulle bidra til å begrense den økonomiske belastningen av høye strømpriser for husholdningene. Siden denne ble fremlagt av regjeringen og gjeldende fra desember 2021, har det kommet stadige oppdateringer og forbedringer [40]. Slik ordningen er vår 2023, tar staten 90 % av gjennomsnittsnivået av kraftprisen som overskrider 70 øre/kWh i løpet av en måned. Dette gjelder alle måneder bortsett fra april og mai, hvor strømstøtteordningen da har en dekningsgrad på 80 % [41]. Regjeringen har fremlagt ytterligere forslag til forbedringer i strømstøtteordningen som skal gjelde fra rundt 1. september 2023 og ut 2024. Dette forslaget innebærer blant annet at dekningsgraden på 90 % av det som overskrider 70 øre/kWh skal gjelde hele året. I tillegg skal støtteordningen være timesbasert [42].

Det kan stilles spørsmål om hvorvidt slike ordninger vil bidra til å motivere husholdninger til å gjennomføre ENØK-tiltak og øke deres bevissthet rundt strømforbruk. Under en pressekonferanse om strøm den 15.02.23, besvarte olje- og energiminister Terje Aasland nettopp dette. Han beskrev at energisituasjonen generelt vil bidra til å motivere husholdningene til å spare energi og å flytte strømforbruket fra høypristimer til lavpristimer, blant annet grunnet økonomiske interesser. Videre presiserte statsminister Jonas Gahr Støre at de høye strømprisene har, til tross for strømstøtteordningen, resultert i nedgang av energiforbruket i husholdninger gjennom året, noe som indikerer en økt bevisstgjøring rundt strømforbruk. Videre forklarer statsministeren fordelene med strømstøtteordningen fremfor en fastpris-ordning slik flere opposisjonspartier og aktører ønsker. Forbrukerne kan med ordningen fremdeles påvirke strømutfikten da insentivene til sparing ligger i marginen på 10 % over 70 øre/kWh som ikke dekkes av staten, noe som gir signal til forbrukerne om at deres strømforbruk fortsatt er av betydning [39]. For denne ordningen er forbruksmønsteret av mye større betydning enn ved en fastprisordning, noe som vil kunne bidra til å avlaste nettet ved høylastperioder.

I 2022 ble det satt strømprisrekorder i Norge. Disse gjorde seg spesielt betydelige sør i landet. Snittprisen for strøm til husholdningene før strømstøtten, inkludert avgifter og nettleien, var på

235,3 øre/kWh. Strømstøtten utgjorde med dette 91,4 øre/kWh i gjennomsnitt i 2022, og gav dermed en sluttpris for husholdningene på 143,9 øre/kWh i snitt [43]. Denne strømprisen er selv etter strømstøtte vesentlig høyere sammenlignet med tidligere år, noe som har bidratt til økt fokus på energieffektivisering og smart energibruk. Figur 4.2 viser spotprisen for prisområdene i Norge fra 2017 til 2022. Figuren viser den vesentlige økningen i 2022, i tillegg til forskjellen mellom Oslo, Kristiansand og Bergen, mot Trondheim, Tromsø og Molde [44]. Prisforskjellene oppstår blant annet som en konsekvens av kraftflyten mellom prisområdene, slik beskrevet i kapittel 2.2.



Figur 4.2: Figuren viser den gjennomsnittlige spotprisen for de ulike prisområdene fra 2017 til 2022. Hentet fra [44].

## 4.2 Samtidighetsfaktor

Ved dimensjonering av strømmettet eller et fjernvarmenett, benyttes en samtidighetsfaktor. Denne faktoren indikerer hvor sannsynlig det er for at alle bygg eller komponenter i et gitt område opplever maksimal belastning samtidig. Samtidighetsfaktoren hensyntar med dette at alle elektriske apparater i et område ikke benyttes maksimalt samtidig. For boliger som benytter elektrisitet til oppvarming, benyttes ofte en samtidighetsfaktor mellom 0.4 og 0.7 [45].

## 4.3 Passivhus, nullutslippshus og plusshus

Det finnes ulike typer energieffektive bygg som alle bidrar til en mer bærekraftig energibruk. Passivhus, plusshus og nullutslippshus skiller seg fra hverandre ved byggestandard og deres energibruk. For passivhus er kravet at bygget kun skal trenge 25 % av energien som et ti år gammelt boligbygg benytter. Her benyttes blant annet passive tiltak som svært god isolasjon,

balansert ventilasjon med god varmegjenvinning og korrekt orientering av bygget [46]. Kravet til nullutslippsbygg er at klimagassutslippet og energibehovet fra byggets livsløp skal bli null. Dette innebærer at bygget må produsere tilsvarende mengde energi for å kompensere for byggets totale klimagassutslipp [47]. På engelsk kalles nullutslippshus Zero Emission Buildings - ZEB. Det finnes ulike typer kategorier avhengig av hvilken grad av nullutslipp bygget klarer å oppnå [48]. For plusshus er kravet at det i løpet av byggets levetid skal produsere mer energi enn det som benyttes til fremstilling av materialene, byggeprosessen, drift og rivning av bygget. Under planleggingen av bygget er det derfor essensielt å fokusere på hvordan elementer som naturlig oppvarming ved solinnstråling kan bidra til å redusere byggets energibehov [49]. Powerhouse Brattørkaia i Trondheim er et eksempel på plusshus i Norge [50].

#### 4.4 Enovastøtte

Enova er et selskap eid av Klima- og miljødepartementet. Hovedoppgaven til Enova er å bidra med omleggingen av både produksjon og bruken av energi, og ble opprettet i 2001 av Stortinget. I 2016 ble det fremlagt at Enova skulle benyttes som et virkemiddel for å nå målene om et lavutslippssamfunn, og utformingen av fremtidens energisystem. Selskapet arbeider med å satse på teknologiutvikling og innovasjon, for at dette skal kunne nå ut i markedet og bidra som en del av løsningen mot et bærekraftig samfunn. Enova bidrar med dette økonomisk, ved at bedrifter kan søke om nødvendig støtte til å gjennomføre ENØK-investeringer. Støtten blir kun tildelt bedrifter og deres prosjekter der hvor prosjektets fullførelse er avhengig av støtte.

Enova gir også støtte til privatpersoner som ønsker å gjennomføre energi- og klimatiltak i hjemmet sitt. Selskapet gir i tillegg anbefalinger om ENØK-tiltak som ikke gir støtte, da dette i noen tilfeller kan være mer energiøkonomisk gunstig [51, 52]. Enovatilskuddet er den ordningen husholdninger kan søke om støtte fra ved ENØK-tiltak i deres privatbolig. Dette kan eksempelvis være støtte til, er eksempelvis energirådgiving, smartstyring, solcelleinstallasjon, oppgradering av bygningskroppen, vannbåren varme og installasjon av væske-vann-varmepumpe. Mengden støtte varierer avhengig av tiltak. Enova har dessuten en enkel oversikt over hvilke tiltak som kan egne seg best gitt alder på bolig, type bolig og andre faktorer [52]. En rekke tiltak som Enova innvilger støtte til, vil bidra til reduksjon av boligens energietterspørsel og dermed også avlastning av strømmettet.

## 5 Lover og regler

Det eksisterer lover og regler i tilknytning til boligspesifikke tiltak. For energioppgradering av bolig gjelder spesielt de byggt tekniske forskriftene, TEK-kravene [6]. For batteriinstallasjon i hjem kan dette også falle inn under TEK-krav, i tillegg til standarder for lavspenningsinstallasjoner gitt av NEK, *Norsk elektronisk komite* [53]. For solcelleanlegg kan installasjon være søknadspliktig, med unntak [54]. I tillegg til dette finnes en rekke ISO-standarder (International Organization for Standardization), som angir tekniske spesifikasjoner eller retningslinjer innen gitte fagområder [55].

### 5.1 Byggt tekniske forskrifter

Byggt tekniske forskrifter (TEK) er en veiledning om byggt tekniske krav en bolig må oppfylle for at bygget skal kunne anses som lovlig i Norge [6]. Historisk sett kan bygningslovgivning i Norge spores tilbake til 1274, men etter 1814 da det ble økt byggeaktivitet, ble det gitt egne bygningslover for de største byene i Norge. I tiden etter forekom det endringer av ulike slag, men ikke før i 1965 ble en lov som inkluderte spredtbygde strøk gjeldene. I tiden etter dette har lovverket blitt strengere med tanke på byggt tekniske krav, samtidig som reglene også har satt fokus på en større del av byggeprosessen [56].

Direktoratet for byggekvalitet (DiBK) og kommunal- og distriktsdepartementet, er de partene som står til ansvar for byggt teknisk forskrift og dens veiledning. SINTEF er den aktøren som utgir og utvikler *Byggforskserien*. Dette er dokumenter om løsninger og anbefalinger for alle prosesser i tilknytning til bygg. Disse er robuste og kan benyttes i hele landet da de oppfyller TEK-kravene [57]. Byggt tekniske forskrifter gjennomgår stadig oppdateringer som blant annet skal sørge for økt sikkerhet i boligen og bedret energieffektivitet [58].

#### 5.1.1 U-verdi

For denne oppgaven spesielt, er de byggt tekniske forskriftene som omhandler energikrav, deriblant isolasjonsevne i bolig, sentralt. U-verdi er en verdi som angir varmetapet gjennom et materiale, og er den faktoren som bestemmer byggets transmisjonstap. Transmisjonstap er varmetap som oppstår gjennom bygningskroppen. Desto lavere u-verdi, desto mindre varmetap [59]. Tabell 5.2 gir en oversikt over utviklingen av byggforskriftenes krav til u-verdi for henholdsvis tak, gulv, vegg, vinduer og dører for TEK-69, -87, -97, -10 og -17. Isolasjonstykkelse er her også oppgitt for å illustrere endringen i isolasjonstykkelse gjennom perioden. Vær oppmerksom på at TEK-69 og -87 ikke oppgir isolasjonstykkelse.

Det er tolket til at forskriftene også angir et alternativ til hvordan bygg kan oppnå krav til energieffektivitet. Generelt for boliger, dersom de ikke oppfyller de spesifikke energikravene til bygningskroppen separat, kan de likevel oppfylle krav ved å være innenfor energirammene til den aktuelle bygningstypen, i dette tilfelle under kategorien småhus. Kravene til energirammene

er gitt i tabell 5.1. I TEK-87 og -69 var det ikke oppgitt slike alternative krav.

Tabell 5.1: Alternativt energikrav (hentet fra [6, 60, 61])

| TEK-17           | TEK-10           | TEK-97           |
|------------------|------------------|------------------|
| $100 + 1600/m^2$ | $120 + 1600/m^2$ | $125 + 1600/m^2$ |

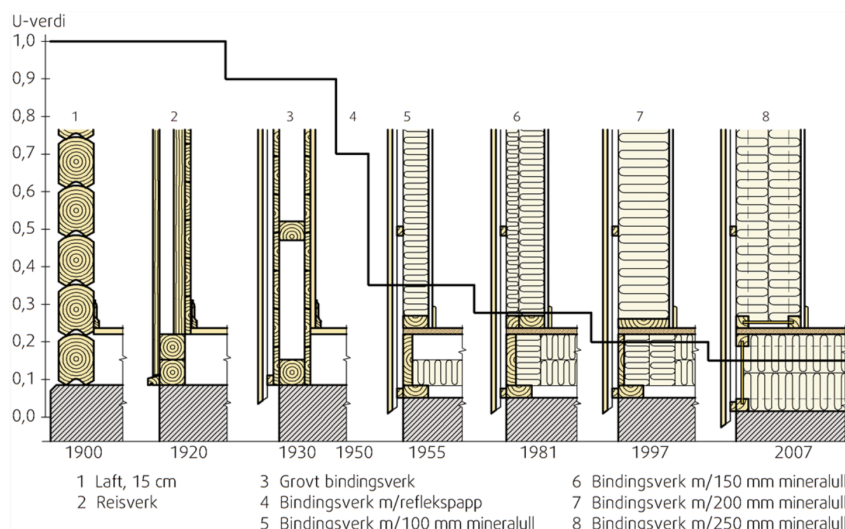
Det samlede kravet til u-verdi for vinduer og dører for de ulike TEK-standardene, er gitt i tabell 5.2. For TEK-69 og -87 var det flere mulige verdier for ulike omstendigheter. For TEK-69 var det oppgitt hva som var kravet til vinduets u-verdi gitt andel vindus- og døreareal av total veggflate, samt hvilket geografisk område bygget befinner seg i. For eksempelboligen som oppgaven tar utgangspunkt i og som blir beskrevet i kapittel 12, var vindusarealet mindre enn 0.3 og boligen befant seg i geografisk sone II [62]. For TEK-87 var ulike u-verdier gitt ved ulikt vindusareal av totalt veggareal. U-verdi presentert for denne standarden er gitt ut fra eksempelboligens vindusandel på under 20 % [63]. U-verdiene til TEK-69 og -87 som er presentert i tabellen er de som vil være gjeldene i energiberegninger senere i oppgaven. Isolasjonstykkelsene gitt i tabellen er ikke krav, men veiledende verdier, og nødvendig tykkelse avhenger av veggens totale u-verdi. Tykkelsene angir hva som er normal isolasjonstykkelse ved standardene. Tabellen illustrerer spesielt godt at kravene til u-verdi i vinduer og dører har gjennomgått en betydelig innstramming. Vinduer og dører kan utgjøre en relativt stor andel av varmetapet til en bolig, til tross for at det utgjør en liten andel av det totale veggarealet. Ved å bytte gamle vinduer til nye energieffektive vinduer, kan varmetapet reduseres med opptil 40 % [64]. Også varmetap gjennom vegger, gulv og tak har vært en stor kilde til høyt strømforbruk i eldre boliger. Figur 5.1 illustrerer hvordan en vegg har utviklet seg med tanke på oppbygging og isolasjon, samt hvordan u-verdien har sunket betraktelig som følge av isoleringen.

Tabell 5.2: Minstekrav u-verdi gitt i  $W/m^2 \cdot K$  og normal isolasjonstykkelse gitt i cm

| Byggeforskrifter        | U-verdi tak | U-verdi gulv | U-verdi yttervegg | U-verdi vinduer og dører |
|-------------------------|-------------|--------------|-------------------|--------------------------|
| TEK-17 [6]              | 0.13        | 0.10         | 0.18              | 0.80                     |
| Isolasjonstykkelse [65] | 30-35       | 25-35        | 25                |                          |
| TEK-10 [60]             | 0.13        | 0.10         | 0.18              | 0.80                     |
| Isolasjonstykkelse [65] | 30-35       | 25-35        | 25                |                          |
| TEK-97 [66]             | 0.15        | 0.15         | 0.22              | 1.6                      |
| Isolasjonstykkelse [67] | 25-30       | 20           | 20                |                          |
| TEK-87 [63]             | 0.20        | 0.30         | 0.25              | 2.1                      |
| TEK-69 [62]             | 0.41        | 0.41         | 0.46              | 3.14                     |

### 5.1.2 Ventilasjon og infiltrasjon

Det finnes tre ulike ventilasjonsformer som kan benyttes i boligbygg. Den første er naturlig ventilasjon, som baserer seg på at varmluft og fukt stiger og har naturlig utløp ved kanaler fra bad og våtrom. Denne ventilasjonsformen er normal i bygg fra før 70-tallet, og eksisterer fortsatt



Figur 5.1: Illustrasjon av hvordan veggkonstruksjonen og isolering har utviklet seg fra 1900 til 2007, og hvordan u-verdien har sunket i verdi som følge av forbedringene. Hentet fra [68].

i flere boliger [69]. Mekanisk avtrekksventilasjon hadde sitt inntog på 70-tallet og betegnes også som sentralavtrekksanlegg. Disse anleggene ble ofte plassert over kjøkkenviften eller på loftet for utblåsing av luften [70]. Balansert ventilasjon er den nyeste typen ventilasjonsanlegg og er mest vanlig å benytte i nye boliger. Fordelen med denne type ventilasjon er at den sørger for et godt inn klima og varmegjenvinning for å spare energi [71]. Innføringen av de to sistnevnte ventilasjonsformene, førte med seg ytterligere energikrav i byggtekniske forskrifter for å øke energieffektiviteten til boliger. Krav til ventilasjon i bolig oppgis i form av krav til mengde frisklufttilførsel og virkningsgrad til varmegjenvinning i ventilasjonsanlegget. Denne virkningsgraden oppgis som den gjennomsnittlige virkningsgraden i løpet av året.

I byggteknisk forskrift oppgis det også krav til lufttetthet i boligen. Dette angir hvor mye luftlekkasje, infiltrasjon, det kan være i bygningen, for eksempel gjennom sprekker eller dårlig isolering i vinduer og dører [72]. Denne infiltrasjonen fører til varmetap. Luftlekkasjetallet er gitt ved en trykkforskjell på 50 Pa med benevnelsen luftvekslinger per time. Dette angir hvor stor andel av byggets volum som må skiftes ut i løpet av en time ved denne trykkforskjellen [73].

En oversikt over krav til frisklufttilførsel, lufttetthet og virkningsgrad til varmegjenvinner for de aktuelle TEK-standardene i oppgaven, er gitt i tabell 5.3. Vær her oppmerksom på at enheten til frisklufttilførsel for TEK-97 skiller seg fra enheten til TEK-10 og -17. For TEK-97 er det angitt i veiledning til andre utgave av forskriften, at kravet for frisklufttilførsel ved ventilasjon er 0.5 luftvekslinger per time [74]. For TEK-69 og -87, var det ingen krav til frisklufttilførsel. Det er likevel presisert i forskriften at bygget skal ha ventilasjon som gir et godt inn klima, begrense sannsynligheten for fuktskader og gi god energiøkonomi i bygget [63, 62]. For TEK-97 ble det tolket til at det var et krav på 60 % virkningsgrad i varmegjenvinneren dersom boligen hadde et slikt system, ellers ingen krav. [67]. Krav om lufttetthet i forskriften til TEK-69 var ikke gitt. Det var imidlertid oppgitt veiledende verdi i ISO-standard *SN-NSPEK 3031:2021*. Det er noe usikkerhet knyttet til lekkasjetallene generelt, samt at det i TEK-87 ikke er oppgitt at

lekkasjetallet er ved trykkforskjell på 50 Pa [75].

Tabell 5.3: En oversikt over krav og veiledende verdier for frisklufttilførsel, lufttetthet og virkningsgrad varmegjenvinner (hentet fra [76, 61, 67, 60, 6])

|                               | TEK-69     | TEK-87     | TEK-97       | TEK-10                | TEK-17               |
|-------------------------------|------------|------------|--------------|-----------------------|----------------------|
| Frisklufttilførsel            | -          | -          | $0.5 h^{-1}$ | $1.2 m^3/h \cdot m^2$ | $1.2m^3/h \cdot m^2$ |
| Lufttetthet                   | $6 h^{-1}$ | $4 h^{-1}$ | $2.5 h^{-1}$ | $2.5 h^{-1}$          | $0.6 h^{-1}$         |
| Virkningsgrad varmegjenvinner | -          | -          | 0/60%        | 70%                   | 80%                  |

## 5.2 Solkraftproduksjon og energilagring

Ved å betrakte lover og regler i tilknytning til installasjon av solcelleanlegg på eksisterende byggverk, finnes det en hovedregel. Denne tilsier at installering av solcelleanlegg etter plan- og bygningsloven er søknadspliktig, da dette er å anse som et inngrep på bygget og dermed en byggteknisk installasjon. Likevel eksisterer det et skille mellom enkle og mer avanserte installasjoner. Dersom installasjonen av solcelleanlegg er enkel og innenfor en branncelle eller bruksenhet, vil installasjonen være unntatt kravet om byggesaksbehandling. Dette unntaket er gyldig dersom det ikke er i strid med andre lover eller forskrifter i tilknytning til eiendommen [54]. For plusskunder, det være seg kunder som forbruker og produserer elektrisitet som sendes tilbake til nettet, prosumenter, vil det ikke påløpe noen ekstra kostnad så lenge innmatingen på nettet ikke overskrider 100 kW på noe tidspunkt. Dersom innmatingen overskrider dette, vil prosumenten ikke lenger være plusskunde, og må betale et fastledd for kraften som mates til nettet. Produksjonen kan likevel dekke eget forbruk, og blir da målt bak måleren. For boliger med solenergiproduksjon, kan hele hovedsikringen benyttes. Dersom innmatingen ikke overskrider størrelsen på hovedsikringen, og nettet må oppgraderes grunnet innmatingen, vil kostnaden for oppgraderingen påløpe nettselskapet [77, 78].

Ved installasjon av et energilagringssystem i hjemmet, som hjemmebatterier, vil dette telle som en byggteknisk installasjon og dermed inngå under definisjonen om tekniske installasjoner i TEK-17. Dette kravet innebærer prosjektering og korrekt installasjon slik at faren for økt spredning av brann og røyk ikke er vesentlig. I tillegg til dette vil batteriinstallasjon i hjem inngå under *NEK 400:2022, Elektriske lavspenningsinstallasjoner*, hvor krav som ventilerte batterirom, installasjon i beskyttede omgivelser og liknende er gjeldende krav [53]. NEK er en organisasjon som har ansvar for elektroteknisk standardisering [79].

## 5.3 Norske standarder

*Standard Norge* er en organisasjon med ansvar for standardisering innenfor de fleste områder. Dokumenter av typen *NS-EN ISO (...)*, gir oversikt over standarder for beregninger, retningslinjer og tekniske spesifikasjoner i tilknytning til et gitt fagområde. ISO står for *International Organization for Standardization*, og har siden 1947 drevet med utvikling av en rekke standarder innen flere sektorer. Norge er delaktig i standardisering på

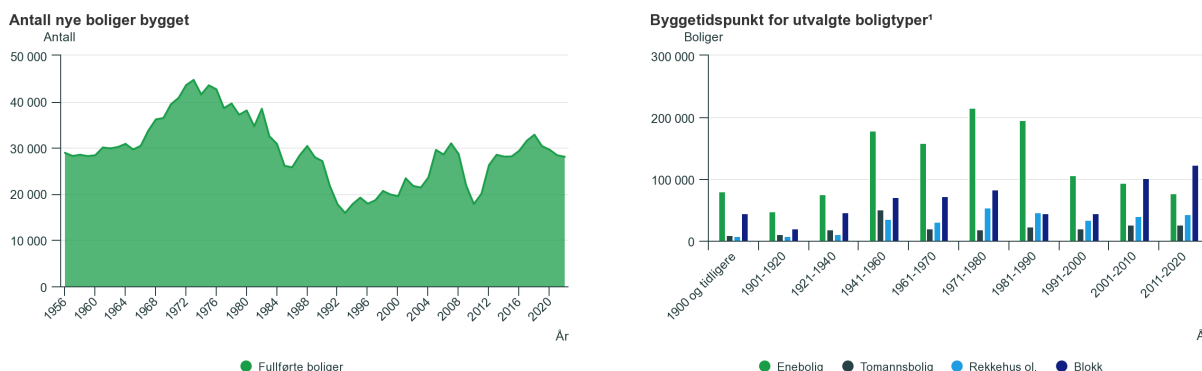


internasjonalt nivå og har ansvaret for en rekke viktige standardiseringsområder. Eksempelvis vil beregningsprosedyrer i tilknytning til energibruk i bygg i denne oppgaven blant annet benytte *NS-EN ISO 52016-1:2017*. Denne inneholder blant annet en oversikt over formel og fremgangsmåte for beregning av ventilasjonstap i bygg med gitte omstendigheter [55, 80].

## 6 Norske husstander

Et flertall av norske boliger ble bygget før 2000-tallet. Fra 1990-tallet har veksten i boligbygg økt noe, men er likevel betraktelig lavere sammenlignet med nivået rundt 70-tallet [81]. Dette innebærer at en større andel av den norske boligmassen er bygg av eldre karakter. Figur 6.1a viser ferdigstilte boliger i perioden mellom 1956-2020. Det er tydelig å se at det mellom 1964 og 1984 ble bygget flere boliger sammenlignet med perioden etter. Som figur 6.1b viser, var bygninger av boligtypen enebolig den som i størst grad ble bygget mellom 1940-1990.

I nyere tid har antall nybygg avtatt betraktelig, spesielt eneboliger. Blokker har tatt over som den boligtypen det bygges mest av. Den største andelen av den norske boligmassen kan med bakgrunn i denne informasjonen sies å være eldre boliger, som ofte kan ha dårligere standard enn de nyeste TEK-17 kravene. Det må likevel presiseres at det er usikkert hvor mange av de eldre byggene som har gjennomført oppgraderinger, da det ikke ble funnet god statistikk på dette. Fordelingen av antall boliger og boligtype som er beskrevet her, legger et grunnlag for å undersøke videre energiforbruk i eneboliger. Grunnet den store andelen av den norske boligmassen som eneboliger utgjør, kan det være mye å hente på å gjennomføre energibesparende tiltak i disse. Det kan også være interessant å undersøke hvordan allerede energieffektive eneboliger kan gjennomføre tiltak for ytterligere energireduksjon i deres bolig, og muligens produsere egen energi. Dette er aktuelt for oppgaven.



(a) Illustrasjon over antall ferdigstilte boliger i perioden 1950-2020. Hentet fra [81].

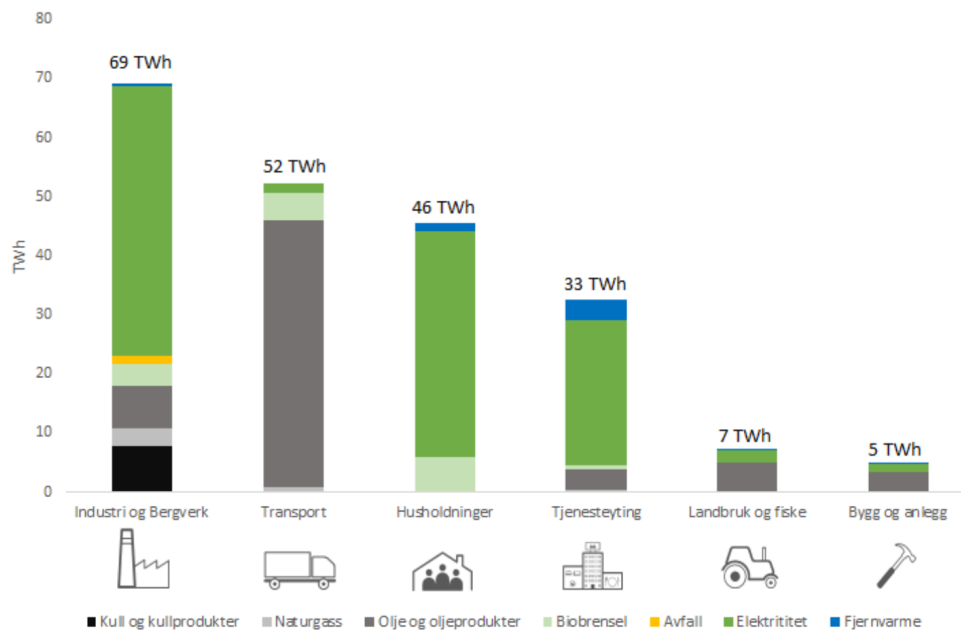
(b) Illustrasjon av bygningstype ferdigstilt i perioden fra 1900-2020. Hentet fra [81].

Figur 6.1: Illustrasjon 6.1a viser antall nybygg ferdigstilt mellom 1950 og 2020. Illustrasjon 6.1b viser antall ferdigstilte bygningstyper mellom 1900 og 2020.

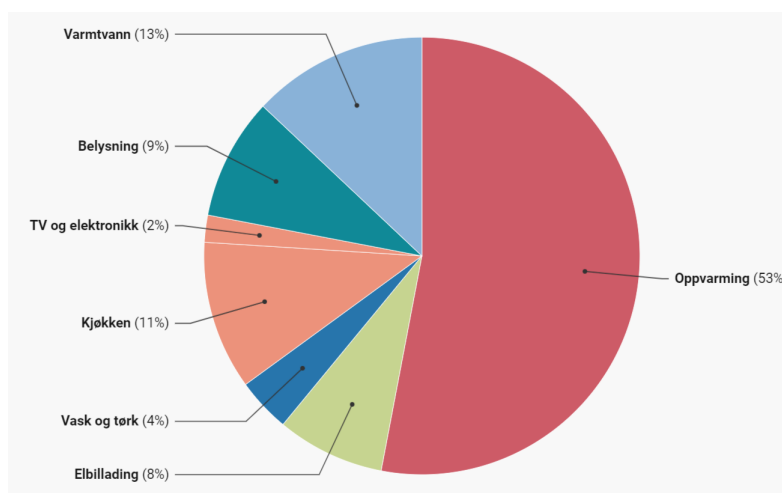
### 6.1 Strømforbruk

Av det norske energiforbruket, stod energibruk i husholdninger i 2017 for omtrent 22 % prosent. Dette utgjorde 47.6 TWh, slik figur 6.2 illustrerer. Figur 6.3 gir en oversikt over hvilke elementer som trekker strøm i enebolig, og omtrent hvor stor andel dette kan utgjøre av det totale forbruket. Dette anslaget er basert på et årsforbruk på 27000 kWh i 2019 for en gjennomsnittlig enebolig med bruksareal på 120 m<sup>2</sup> [7]. Det er naturligvis store variasjoner i det totale strømforbruket og hvordan fordelingen er, blant annet basert på boligens størrelse, alder, geografiske lokasjon

og elektriske apparater. Det kan likevel gis en anslagsvis beskrivelse av typisk fordeling av hva strømmen går til. Oppvarming av bolig er det elementet som trekker mest energi, og krever rundt 53 % av det totale energiforbruket til en enebolig. Oppvarming av varmtvann trekker rundt 13 % av det totale energiforbruket. De resterende 34 % går til annet elektrisk forbruk som belysning, TV og elektronikk, kjøkken, vask og tørk, samt elbillading. Det er verdt å legge merke til at elbillading utgjør rundt 8 % av det totale energiforbruket. Til tross for at dette er en relativ liten andel av det totale forbruket, vil integrering av el-billadere gi en ytterligere påkjenning på nettet.



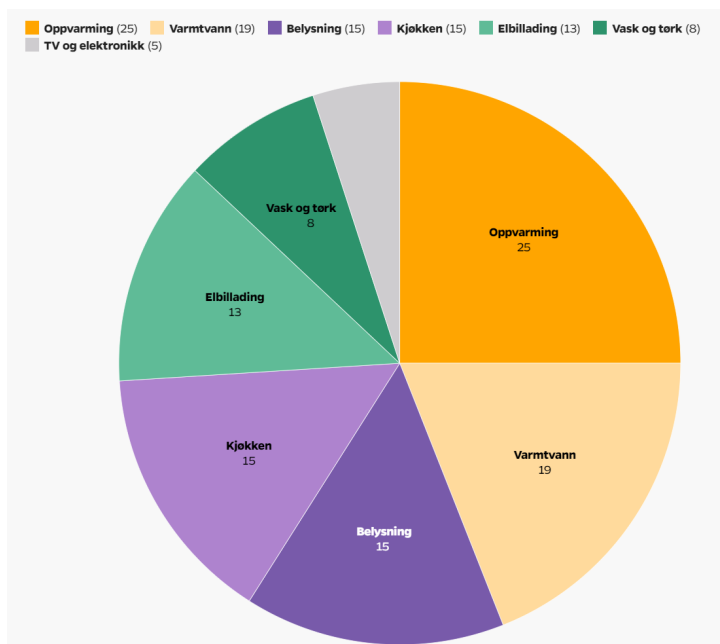
Figur 6.2: Figuren gir en oversikt over sektorer og deres strømforbruk. Det er også oppgitt energikildene og mengde forbruk i hver sektor. Hentet fra [82].



Figur 6.3: Figuren viser fordelingen av strømforbruket for en gjennomsnittlig enebolig på 120 m<sup>2</sup> i 2019, med et årsforbruk rundt 27 000 kWh. Hentet fra [7].

Figur 6.4 gir en oversikt over hvordan energiforbruket til en typisk leilighet kan fordele seg, noe som skiller seg fra energifordelingen i en typisk enebolig. Årsforbruket til en typisk leilighet ligger

rundt 11 000 kWh, som er vesentlig lavere sammenlignet med en enebolig [7]. En gjennomsnittlig leilighet har et bruksareal på rund 60 – 79  $m^2$  [83]. I likhet med en enebolig, utgjør også oppvarmingsbehovet til en typisk leilighet den største andelen av det totale energiforbruket. Andelen er imidlertid betydelig lavere, med kun 25 %. Varmtvann derimot, utgjør en noe større andel med 19 %. Også kjøkken og belysning utgjør en vesentlig stor andel av energiforbruket, med 15 % hver. Elbillading utgjør 13 % av totalt elektrisitetsforbruk for en gjennomsnittlig leilighet [7].



Figur 6.4: Figuren viser fordelingen av strømforbruk for en typisk leilighet i 2019, med 11 000 kWh som årsforbruk. Hentet fra [7].

Forskjellene mellom en enebolig og en leilighet, kan med dette sies å være til stede. Det er viktig å være klar over at en enebolig naturligvis krever mer energi til oppvarming da denne er frittstående og ofte større enn en leilighet. En leilighet vil kreve mindre energi til oppvarming da det blant annet kan overføres mye varme fra nabo-leiligheter. Med bakgrunn i at romoppvarmingen krever mindre energi, vil de andre kategoriene utgjøre en større andel av leilighetens totale energiforbruk.

### 6.1.1 Typiske energibesparende tiltak for eldre boligmasse

Til tross for at alle boliger uavhengig av type og alder kan gjennomføre mange av de samme energibesparende tiltakene, er det ofte anbefalt at enkelte boliger gjennomfører enkelte tiltak fremfor andre for å oppnå størst mulig utbytte.

Boliger bygget etter de eldre byggforskriftene, slik som TEK-97, -87 og -69, er av vesentlig lavere energistandard sammenlignet med TEK-10 og -17. Det er derfor ofte anbefalt for eldre bygg å etterisolere for å etterkomme de oppdaterte energikravene. Tidligere var det også mer vanlig å benytte oppvarmingskilde som oljekjel og vedfyring. Oljekjel ble forbudt i 2020

og oppvarmingskilden måtte da byttes ut [84]. Elektrisitet ble mer normalt å benytte som oppvarmingskilde fra 70-tallet og utover [85]. Ved å benytte varmepumpe fremfor panelovn reduseres energiforbruket til oppvarming, da varmepumper har en vesentlig høyere virkningsgrad enn panelovner. Videre forklaring og teori om varmepumper gis i kapittel 7. Å knytte huset til fjernvarme dersom det er tilgjengelig og økonomisk lønnsomt, kan også være fornuftig for å dekke romoppvarmings- og varmtvannsbehovet. Dette gjelder imidlertid både nye og eldre boliger. Denne oppvarmingskilden kan sørge for at nettet avlastes. Å installere et vannbåret system i huset for å muliggjøre fjernvarme eller geotermisk energi, er kostnadskrevende og derfor mer aktuelt ved etablering av nyere boliger. Disse oppvarmingskildene vil imidlertid bidra til redusert energi fra nettet. Innføring i fjernvarme og geotermisk energi gis i kapittel 9.

### 6.1.2 Smarte energiltak for nyere boligmasse

Den nyere boligmassen, bygget etter nyere TEK-krav som TEK-10 og -17, har lite å hente på etterisolering sammenlignet med den eldre boligmassen. Dette kommer av lite endring i u-verdikravene gitt i tabell 5.2. Installasjon av varmepumpe i disse boligene er imidlertid et energilønnsomt tiltak.

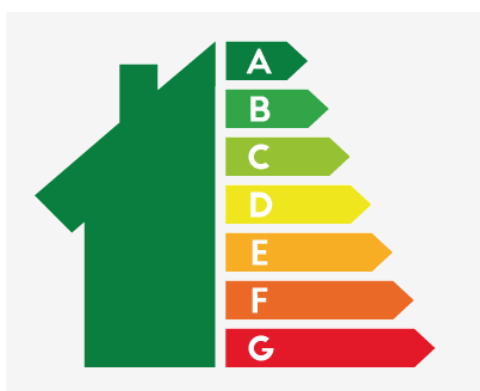
I nyere boliger kan tiltak som smartstyring, smart varmtvannsbereder, egenproduksjon og lagring av energi ha stort potensiale. Smartstyring innebærer eksempelvis å lade elbilen i perioder hvor strømprisen er lav, enkelt kontrollere romoppvarming, samt å ha kontroll og oversikt over hva og hvor mye strøm apparater i huset benytter til enhver tid. Oppgaven vil ikke gå dypere inn i tiltakene som omhandler smartstyring og smart varmtvannsbereder.

Egenproduksjon av strøm ved solenergiproduksjon, er en teknologi som stadig blir mer utbredt. I energikommisjonens rapport *NOU 2023:3- Mer av alt raskere*, ble det framlagt at lokal energiproduksjon er nødvendig for å møte det kommende energibehovet, samt for å styrke fleksibiliteten i kraftsystemet. Solceller kan i stor grad bidra til å dekke noe av energibehovet til en husstand, men har en lavere virkningsgrad sammenlignet med andre fornybare energikilder som vind- og vannenergi. Solceller og solfangere kan derimot produsere energi svært lokalt, da teknologien lett kan installeres på tak, og derfor kan etableres hos forbrukere. Dette innebærer at solcelleinstallasjoner kan benytte allerede okkupert areal, noe som er gunstig for menneskers totale naturinngrep. Kapittel 10.1 gir en utdypende forklaring rundt sol-teknologier.

Det å benytte batterier i hjemmet for å kunne lagre energi ved lavlasttimer, spesielt i kombinasjon med solceller, er også noe som har fått større fokus den siste tiden. Et slikt batteri vil bidra til økt fleksibilitet i nettet, i tillegg til at strøm kan lagres ved egenproduksjon eller lavlasttimer, og benyttes ved høylasttimer. Kapittel 11 går videre inn på batteriets virkemåte og funksjon som energilagringssystem. Der blir det også fremlagt muligheten for å benytte elbilbatteri til energiforsyning i bolig. En rekke energieffektiviserende tiltak innebærer en investeringskostnad. Tiltakene vil med tiden kunne bli innspart, avhengig av deres virkningsgrad i kombinasjon med boligens energitilstand. Enova kan som tidligere nevnt utløse støtte til enkelte ENØK-tiltak.

## 6.2 Energimerking

Energimerking benyttes både for elektriske apparater og bolig. For elektriske apparater vil energimerket indikere produktets energieffektivitet [86]. For en bolig vil energimerket indikere hvilken form for energi boligen benytter, samt hvor mye. Det er viktig å presisere at energimerket ikke vurderer bruken av energi i seg selv, men er heller beregnet fra standard betingelser. Energikarakteren angir byggets energistandard og dens oppvarmingssystem. Skalaen går fra A til G, slik figur 6.5 illustrerer. Fargeskalaen angir oppvarmingskarakteren, hvor grønn er best og rød er dårligst. Dette angir andelen av elektrisk og fossilt energiforbruk i boligen [87]. Ved energioppgradering av eldre bygg vil dette kunne redusere byggets totale elektrisitetsforbruk. Det er likevel verdt å legge merke til at et gammelt hus som energioppgraderer, muligens ikke kan oppnå de beste karakterene av energimerket [88].



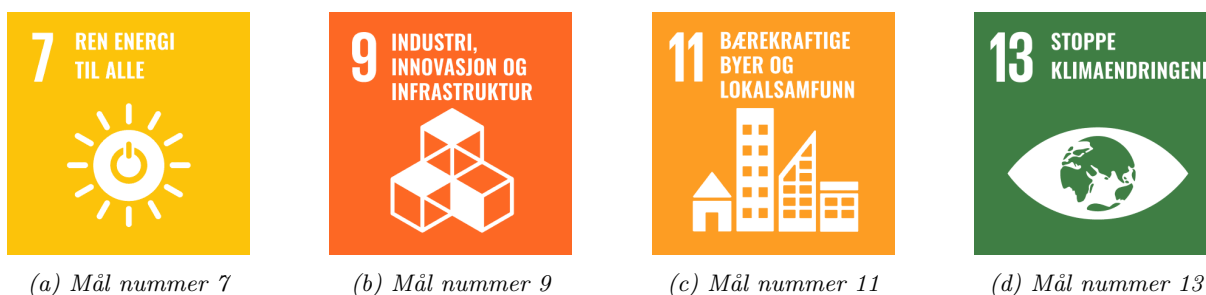
Figur 6.5: Karakterskalaen for energimerking av bolig. Hentet fra [87].

EU-kommisjonen la den 15.12.2021 frem et forslag til krav om energieffektivisering av nye og eksisterende boligbygg, som et tiltak for å nå klimamålene satt ved klimapakken *Klar for 55*. Dette er en klimapakke som skal sikre at EU oppfyller målene om 55 % reduksjon i klimagassutslipp fra 1990 til 2023 [89]. For den eksisterende boligmassen, er det fremlagt forslag om at medlemsstatene innfører minstekrav for energiytelsen i eksisterende bygg. For boligbygg er forslaget å energioppgradere til energimerkene F og E, opp fra det dårligste energimerke G, henholdsvis innen 2030 og 2033. For offentlig eide bygg, må energimerket F og E oppnås innen henholdsvis 2027 og 2030. Dette gjelder også alle yrkesbygg. Videre skal det utarbeides en handlingsplan for hvordan bygg innen 2040 og 2050 skal oppnå ytterligere bedre energimerke. Innen 2050 er målet nullutslippsbygg for den totale bygningsmassen [90]. For å nå dette målet, vil energieffektivisering av boligmassen være svært relevant i årene som kommer. Dette aktualiserer oppgavens problemstilling i stor grad.

## 6.3 FNs bærekraftsmål

FNs bærekraftsmål angir en felles plan for hvordan alle land i verden sammen skal arbeide for å stoppe klimaendringer, utrydde fattigdom og bekjempe ulikhet innen 2030. Totalt sett finnes det 17 mål med 169 delmål, som alle legger grunnlaget for hvordan samfunnet som helhet må arbeide

for å nå målene. For denne oppgaven, vil enkelte mål bli dekket i større grad enn andre. Mål nummer 7, *Ren energi til alle*, er svært aktuell i denne oppgaven. Målet er blant annet å sikre bærekraftig og pålitelig energi til alle, og til overkommelige priser. Redusering av energiforbruk i bolig i kombinasjon med økt fornybar energi fra egenproduksjon, bidrar til oppnåelsen av målet. Mål nummer 9, *Industri, innovasjon og infrastruktur*, berører oppgaven grunnet distribuering av energi. Opprusting av strømmettet vil bidra til at mye lokalprodusert energi kan selges til nettet og dermed bidra til at overskuddet av den bærekraftig produserte energien benyttes. Dette vil kunne danne grunnlag for nytenkning om hvordan økt lokalproduksjon kan bli lønnsomt og gi energimessig effektiv utnyttelse. Mål nummer 11, *Bærekraftige byer og lokalsamfunn*, omhandler blant annet å gjøre byer robuste og bærekraftige. Redusert energiforbruk og økt egenproduksjon resulterer i fremtidsrettede lokalsamfunn med effektiv lokal ressursbruk av energi. Et siste svært relevant mål, er mål nummer 13, *Stoppe klimaendringene*. Redusert energiforbruk vil kunne bidra til lavere klimagassutslipp blant annet dersom energietterspørselen dekkes av fossile energikilder. Egenproduksjon spiller også her en viktig rolle. Det er likevel viktig å være klar over at utvinning av nødvendige materialer til denne produksjonen muligens ikke reduserer klimagassutslipp. Det er derfor viktig å bidra til økt fokus på klimavennlig produksjon av fornybare teknologier [91]. Figur 6.6 viser bærekraftsmålene nevnt over.



Figur 6.6: Fire av FNs bærekraftsmål oppgaven i størst grad berører. Hentet fra [91].

## 7 Varmepumper

De siste årene har det blitt mer normalt å installere varmpumper som del av oppvarmingssystemet i boliger. Disse er mer energieffektive enn tradisjonelle panelovner, og vil av den grunn bidra til å redusere byggets energibehov. Funksjonen til en varmpumpe er å hente energi fra omgivelsene, for å kunne avgi enten varme eller kjøling til boligen. En varmpumpe kan hente energi fra sjø, berg, jord, luft og andre energikilder. En mer utfyllende oversikt over energikilder samt deres temperaturvariasjon og tilgjengelighet, er gitt i tabell 7.1. Til tross for ulike energikilder, er det vanligst at norske husstander installerer luft-luft-varmpumpe, da disse ikke krever ytterligere installasjon eller gravingsarbeid. Investeringskostnadene er derfor relativt lave [92]. Tabell 7.2 gir en oversikt over salgstall for varmpumpeteknologiene luft-luft, luft-vann og væske-vann. Være oppmerksom på at disse tallene er samlede salgstall for husholdning, tjenesteyting og industri. En antatt fordeling over varmpumpesalg ved sektorene er gitt i tabell 7.3. Det er her tydelig at luft-luft-varmpumpe er mest utbredt, og at husholdningssektoren har den største andelen med 93 % av luft-luft-varmpumpesalg. Figur 7.1a illustrerer historisk og forventet utvikling av ulike varmpumpeteknologier fra 1995 til 2030. Det er her tydelig at luft-luft-varmpumpe er den teknologien som er mest utbredt, og som fra prognoser vil fortsette å være størst på markedet. Figur 7.1b illustrerer fordelingen av varmpumpeteknologiene ved sektorene husholdning, yrkesbygg og industri. Dette underbygger fordelingen presentert i tabell 7.3 og 7.2.

Tabell 7.1: Oversikt over potensielle varmekilder for varmpumper i Norge (hentet fra [92])

| Varmekilde       | Temperaturvariasjon [°C] |     | Tilgjengelighet                         |
|------------------|--------------------------|-----|---|
|                  | Fra                      | Til |   |
| Sjøvann          | +2                       | 15  | God/begrenset (langs kysten, i fjorder) |
| Innsjø           | +1                       | 20  | Begrenset                               |
| Ellevann         | 0                        | 20  | Begrenset                               |
| Grunnvann        | +3                       | 8   | Begrenset                               |
| Fjell (berg)     | -2                       | 8   | God                                     |
| Jord             | -5                       | 10  | Begrenset                               |
| Uteluft          | -40                      | 30  | Ubegrenset                              |
| Ventilasjonsluft | +5                       | 25  | God                                     |
| Gråvann          | 20                       | 30  | God                                     |
| Kloakk           | +2                       | 15  | Begrenset                               |
| Prosessvann      | Over 10                  |     | Begrenset                               |

En varmpumpe har behov for elektrisitet på lik linje som en panelovn, men har betydelig lavere elektrisk energibehov [93]. Det er vanlig å benytte COP-faktor for å angi ytelsen til en varmpumpe, hvor COP står for *Coefficient of Performance*. Denne verdien angir som formel 7.1 beskriver, et forhold mellom effekten varmpumpen kan avgi og den effekten som kreves for å generere varmen [94, 92]. Her er  $Q_{ut}$  varmen ut fra varmpumpen og  $W_{syklus}$  er varmpumpens energibehov [94]. COP betegnes også ofte som effektfaktor.

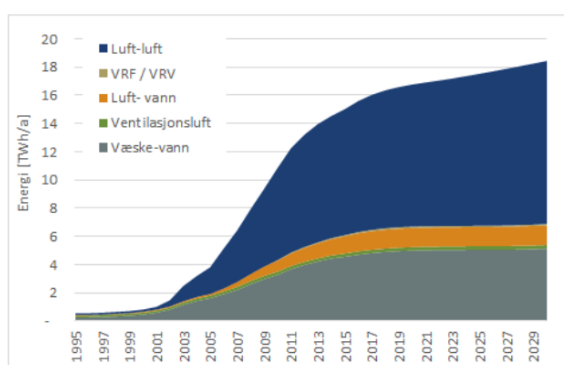


Tabell 7.2: Salgstall for ulike varmepumpeteknologier basert på effektklasser (hentet fra [92])

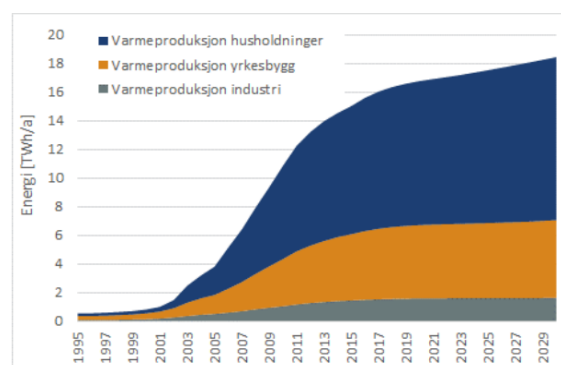
| kW        | Luft-luft | Luft-vann | Væske-vann |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| < 10      | 64 488    | 2 162     | 2 260      |
| 10-20     | 1 002     | 622       | 467        |
| 21-50     | 44        | 77        | 157        |
| 51-100    | 31        | 45        | 88         |
| 101-500   | 27        | 41        | 54         |
| 5001-1000 | -         | 2         | 14         |
| > 1000    | -         | -         | 4          |

Tabell 7.3: Anslag på fordeling av varmepumpesalg på ulike sektorer (hentet fra [92])

| Type varmepumpe | Husholdning | Tjenesteyting | Industri |
|-----------------|-------------|---------------|----------|
| Luft/luft       | 93%         | 7%            | -        |
| Luft/vann       | 83%         | 7%            | -        |
| Væske/vann      | 84%         | 15%           | 1%       |



(a) Oversikt over utviklingen av varmepumper for ulike teknologier. Hentet fra [92].



(b) Forventet utvikling i varmeproduksjon av varmepumper basert på sektor [92].

Figur 7.1: Illustrasjon 7.1a viser historisk og forventet utvikling av ulike varmepumpeteknologier og deres varmeproduksjon gitt i TWh/år frem mot 2030. Illustrasjon 7.1b viser historisk og forventet varmeproduksjon gitt i TWh/år for ulike sektorer frem mot 2030. Beregningene er basert på statistikk fra NOVAP, NVEs kostnadsrapport og bransjen generelt [92].

$$COP = \frac{Q_{ut}}{W_{syklus}} \quad (7.1)$$

I tillegg til COP-faktor, finnes også SCOP-faktor, som står for *Seasonal coefficient of Performance*. Dette kalles også for årsvarmefaktor og er en teoretisk verdi. Denne indikerer hvor stor energibesparelse som kan oppnås i løpet av et år ved å benytte varmepumpe, gitt optimale omstendigheter. Eksempelvis kan en varmepumpe oppnå 83 % besparelse ved en SCOP-faktor på 6 og en 67 % besparelse ved SCOP-faktor på 3. Det er også vanlig å benytte SPF, som står for *Seasonal Performance factor*. Dette er den faktiske årsvarmefaktoren. Denne uttrykker den gjennomsnittlige COP-faktoren til varmepumpen over et år, og kan avvike fra SCOP da SPF uttrykker den reelle årsvarmefaktoren [95, 92].

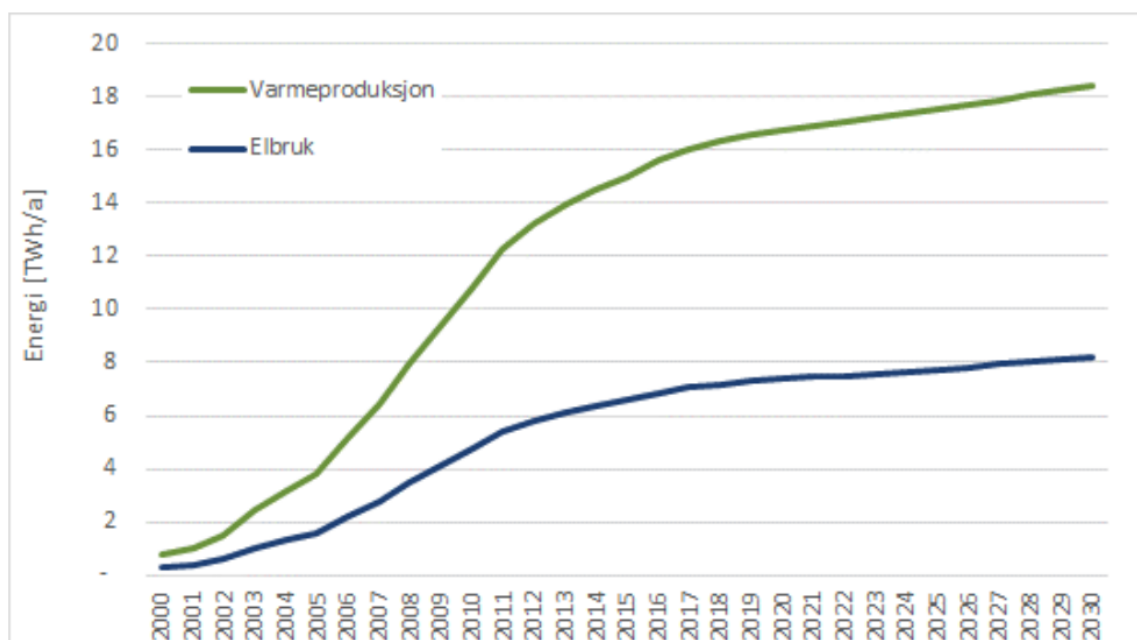
Det finnes flere ulike typer varmepumper, slik nevnt tidligere, avhengig av energikilden

varmepumpen benytter. Luft-luft-varmepumper er som nevnt det mest vanlige i norske husstander, og har normalt en levetid på mellom 12 og 15 år [96]. Disse kan også benyttes som kjøleanlegg ved å reversere prosessen i varmepumpen. Luft-vann- og væske-vann-varmepumper er også utbredt [97]. Disse har en normal levetid på henholdsvis 15 og 20 år. For varmepumper som er vannbaserte, innebærer dette gravearbeid, boring og eventuelt etablering av vannbårent oppvarmingssystem eller radiator i bolig, noe som gir høyere investeringskostnader [98]. Et viktig skille er at det ved luft-vann-varmepumper hentes varme fra luft og overfører dette til boligens vannbårne system. For væske-vann-varmepumpe hentes varme fra en annen varmekilde enn luft, og leverer varmen i et vannbårent oppvarmingssystem i boligen. Disse kan ofte ha bedre virkningsgrad ettersom at vann har høyere varmelagringskapasitet sammenlignet med luft [99]. Enova har presisert at for eldre boliger som før hadde oljefyr med vannbårent oppvarmingssystem burde, dersom det er mulig, nyttiggjøre seg av dette systemet ved skifte av oppvarmingskilde grunnet fyringsforbudet mot olje. En slik anbefaling retter fokus mot væske-vann- og luft-vann-varmepumpe fremfor luft-luft-varmepumpe. Det kan dermed være energimessig og økonomisk gunstig for slike kunder å velge vannbasert varmepumpe fremfor luftbasert [84].

For vannbaserte varmepumper, benyttes eksempelvis jordvarme, grunnvarme eller overflatevann som energikilde. En stor fordel ved å benytte disse energikildene, er at temperaturvariasjonen er mindre over året sammenlignet med luft, noe som også innebærer muligheten for å hente ut mer varme i fyringssesongen grunnet høy middeltemperatur. Vannbaserte varmepumper som eksempelvis henter varme fra berggrunn, overflatevann og grunnvarme, kan også benyttes til passiv kjøling, i likhet med en luft-luft-varmepumpe. Overskuddsvarmen som pumpen genererer, kan benyttes til tappevannsoppvarming. I tillegg kan berg og jordvarme lagre overskuddsvarme i bakken og dermed bidra til å øke varmekildens temperatur, noe som også øker varmepumpens effektivitet. Det er likevel verdt å legge merke til at virkningsgraden kan variere stort, blant annet ved ulike typer bergarter. Å benytte varmepumpe til oppvarming er å anse som effektavlastende for nettkapasiteten. Dette kommer av at dens energieffektivitet bidrar til å senke boligens energiforbruk [92].

I en rapport om *Varmepumper i energisystemet* utgitt av NVE, er det gjennomført beregninger for forventet varmeproduksjon fra varmepumper i 2030. Det er her antatt at varmepumper vil stå for rundt 18-20 TWh varmeproduksjon, og benytte kun 8 TWh elektrisitet [92]. Figur 7.2 gir en oversikt over utviklingen i varmeproduksjonen av en varmepumpe opp mot dens elektrisitetsbruk. Det er tydelig å se at varmepumpeteknologien har oppnådd en vesentlig teknologisk utvikling siden 2000-tallet, og stadig blir mer energieffektiv.

Varmepumper i bygningsmassen vil kunne yte betydelig bidrag til effektavlastning av nettet, da en varmepumpe vil kreve mindre energi for å levere mye varme sammenlignet med tradisjonelle panelovner. Varmepumpens teknologi og arbeidsmedium er i stor grad med på å påvirke effektavlastningen i nettet i perioder med høy belastning. For et område som kun er basert på elektrisitet til oppvarming, vil nettet i kalde vinterperioder oppleve høy effektbelastning. Dersom

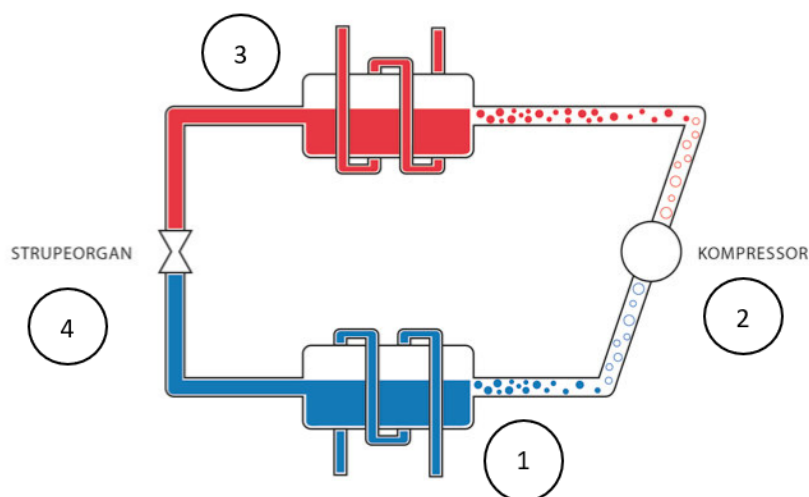


Figur 7.2: Utvikling i varmeproduksjon fra varmepumper opp mot dens elektrisitetsbruk. Hentet fra [92].

boliger i disse tilfeller benytter luft-luft-varmepumper, vil virkningsgraden være betydelig lavere og nettet vil dermed ikke avlastes i like stor grad. Dette kommer av at det ved kalde temperaturer er mindre varme å hente i luften, og en luft-luft-varmepumpe vil derfor ikke være like effektiv som ved varmere temperaturer. Dersom varmepumpen hadde vært av typen væskevann-varmepumpe og benyttet jordvarme, grunnvarme, eller overflatevann, ville varmepumpen oppnådd større virkningsgrad i perioder hvor det er av stor betydning. Dette kommer som tidligere nevnt av den jevnere temperaturen som finnes i disse varmekildene [100]. Det er derfor effektivt og effektavlastende for kraftnettet å benytte væske-til-vann varmepumper i områder som har lange kuldeperioder.

## 7.1 Varmepumpens prosess

I punkt 1 forlater arbeidsmediet fordamperen i helt fordampet form, og blir komprimert i kompressoren i punkt 2. Ved kompresjon øker både trykket og temperaturen. Dette gjøres ved å benytte en kompressor drevet av elektrisitet. Dampen er nå overopphetet, og entalpien i arbeidsmediet er økt. Endring i entalpi angir varmeutveksling med systemet, noe som betyr at entalpien indikerer varmemengden til stoffet [101]. I punkt 3 går den overopphetede dampen gjennom en varmeveksler, hvor varmen avgis til omgivelsene og arbeidsmediet kondenseres. I punkt 4 går arbeidsmediet gjennom en strupeventil, hvor trykket og temperaturen vil reduseres og vil dermed også fordampes. Arbeidsmediet vil være en blanding av væske og gass med lav temperatur. Her føres arbeidsmediet gjennom en varmeveksler hvor det absorberes energi fra omgivelsene, som vil fungere som varmelast, da arbeidsmediet har lavere temperatur enn omgivelsene. Mediet varmes opp igjen og blir overopphetet, før det sendes videre til punkt 2 for gjentagelse av prosessen [92, 102].



Figur 7.3: Oppbyggingen av en varmepumpe. Modifisert fra [93].

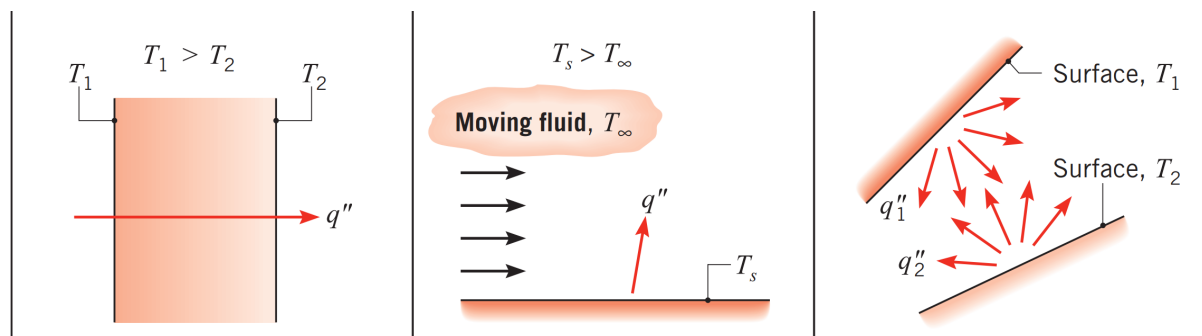
En varmepumpe kan benytte ulike typer arbeidsmedier. KFK-medier (Klorfluorkarbon) har vært et tradisjonelt kuldemedium i kjøleanlegg. Disse er det ikke lenger lov å produsere, kjøpe eller benytte seg av da utslipp av disse bidrar til ozonnedbrytning. HKFK-medier (Hydroklorfluorkarbon) er heller ikke lenger lov å benytte seg av da de på lik linje med KFK-mediene bidrar til ozonnedbrytning [103, 104]. Fokuset på å benytte miljøvennlige arbeidsmedier, har resultert i økt forbruk av ammoniakk, hydrokarboner og karbondioksid som naturlige arbeidsmedier i en varmepumpe. Ved å benytte karbondioksid som arbeidsmedium, er en slik prosess svært godt egnet til oppvarming av tappevann grunnet den store temperaturendringen av varmebæreren. Arbeidsmediet kan operere under høyt trykk, i tillegg til at det ved varmeavgivelsen ikke oppstår noe kondensering. Dette kalles en transkritisk prosess. Ved ammoniakk som arbeidsmedium, er det noen begrensninger grunnet dets giftighet. Likevel kan mediet operere med høy kritisk temperatur, og er derfor godt egnet til bruk i varmepumpe. Faktorer som klima, systemløsning og miljøkonsekvenser er blant elementene som er med på å bestemme det optimale arbeidsmediet for en varmepumpe i et spesifikt område [105].

## 8 Energibehovet til en bolig

Ulike former for varmetransport påvirker hvordan elementer transporterer og avgir varme. Dette inndeles i konduksjon, konveksjon og stråling, og er med på å bestemme total varmeoverføringskoeffisient. Varmetapet i en bolig består av transmisjonstap, ventilasjonstap og infiltrasjonstap.

### 8.1 Varmetransport

Varmetransport kan defineres som transport av varme som oppstår på grunn av en temperaturdifferanse i et stoff [106]. Dersom et stoff eller et medium har ulik temperatur, vil varme overføres dit hvor temperaturen er lavest. Varmetransport kan videre deles inn i tre kategorier: konduksjon, konveksjon og stråling. Konduksjon innebærer varmetransport gjennom et fast stoff, eller væske i stillstand. Retningen på varmeoverføringen avhenger av temperaturene på de respektive sidene av stoffet. Konveksjon oppstår der hvor en væske i bevegelse kommer i kontakt med en overflate. Også her avhenger retningen på varmetransporten av temperaturdifferansen i stoffene. Stråling derimot, har ikke behov for et materiale som et medium for varmetransport, og stråler i alle retninger [107]. En illustrasjon av de ulike formene for varmetransport er gitt i figur 8.1, for henholdsvis konduksjon, konveksjon og stråling.



Figur 8.1: Illustrasjon av hvordan varmetransport for henholdsvis konduksjon, konveksjon og stråling oppstår. Hentet fra [107].

### 8.2 Konduksjon

Formelen for konduksjon er gitt i ligning 8.1. Denne beskriver varmetransport i x-retning, det vil si varmeffluksen, som er raten av varmetransport per arealenheter. Parameteren  $k$  kalles den termiske konduktivitetskonstanten med enhet  $W/m \cdot K$ , og er karakteristisk for materialet varmen transporteres gjennom. Temperaturdifferansen  $\Delta T/L$  er differansen mellom temperaturene på sine respektive sider av materialet, delt på tykkelsen til materialet. Gitt ligningen for varmeffluks, er det viktig å bemerke seg at enheten blir oppgitt per areal. For å kalkulere selve varmeraten, må  $q''_x$  derfor multipliseres med arealet av den bygningsdelen som varmetransporten beregnes gjennom. Dette gir formel 8.2 for beregning av varmeraten ved konduksjon, med enhet  $W$  [107].

$$q_x'' = -k \cdot \frac{dT}{dx}, \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (8.1)$$

$$q_x = q_x'' \cdot A, [W] \quad (8.2)$$

### 8.3 Konveksjon

For konveksjon, er varmetransporten avhengig av konveksjonskoeffisienten  $h$  med enhet  $W/m^2 \cdot K$ , gitt det spesifikke mediet. I tillegg avhenger koeffisienten av om konveksjonen er tvungen eller fri. For tvungen konveksjon er verdien av  $h$  ofte større sammenlignet med fri konveksjon. Formelen for konveksjon er gitt i ligning 8.3, hvor  $T_s$  er temperaturen på overflaten til et solid stoff og  $T_\infty$  er temperaturen til fluidet i bevegelse [107].

$$q'' = h \cdot (T_s - T_\infty), \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (8.3)$$

### 8.4 Stråling

Energi som avgis fra et materiale, kalles stråling. Til forskjell fra konduksjon og konveksjon, vil stråling ikke ha behov for et medium å bevege seg i. Energioverføringen oppstår ved endring i elektronkonfigurasjonen av molekyler eller atomer i det aktuelle mediet. Disse sendes ut i form av elektromagnetiske bølger, også kalt elektromagnetisk stråling. Stråling som oppstår mellom en stor overflate som omgir et lite område, samtidig som overflaten kan antas å være et grått legeme, kan uttrykkes ved ligning 8.4. Et grått legeme er et legeme som ikke evner å absorbere all stråling, og avgir dermed også mindre stråling ved alle bølgelengder [108, 94]. Denne ligningen angir forskjellen mellom strålingen som materialet får grunnet absorpsjon, og den som avgis grunnet stråling. Netto varmeveksling kan uttrykkes ved ligning 8.5, hvor formelen for  $h_r$  er gitt i ligning 8.6.

$$q_{rad}'' = \frac{q}{A} = \varepsilon \cdot E_b \cdot (T_s) - \alpha \cdot G = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (8.4)$$

$$q_{rad} = h_r \cdot A \cdot (T_s - T_{sur}) \quad (8.5)$$

$$h_r \equiv \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s + T_{sur}) \cdot (T_s^2 + T_{sur}^2) \quad (8.6)$$

hvor:

$$\varepsilon = \text{emissivitet, } 0 < \varepsilon < 1$$

$$\sigma = \text{Stefan-Boltzmann konstant, } 5.67 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

$$T_s = \text{Absolutt temperatur av materialet [K]}$$

$$T_{sur} = \text{Temperatur omgivelser [K]}$$

$$h_r = \text{Varmetransportkoeffisient} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$A = \text{Areal gitt i [m}^2\text{]}$$

## 8.5 Total varmeoverføringskoeffisient

En vegg består som oftest av flere lag, hvor varmetransport gjennom disse avhenger av resistansen i de ulike lagene. Figur 8.2 illustrerer en vegg bestående av tre lag, og hvordan temperaturen endres gjennom lagene. Dette illustrerer endimensjonal varmetransport gitt stabile tilstander. Den termiske resistansen gitt av konveksjon oppstår på henholdsvis hver sin ytterside av veggen, og er gitt ved formel 8.7. Gjennom lagene i veggen, som eksempelvis kan bestå av en type isolasjon omfattet av treverk på hver side, vil den termiske resistansen ved konduksjon være gitt av formel 8.8. Ettersom at resistansene ved konveksjon og konduksjon i en vegg kan summeres, vil den totale resistansen til en vegg være gitt ved formel 8.9. Siden varmeoverføringskoeffisienten ( $u$ ) er tilknyttet den termiske resistansen  $R$  i en vegg, kan  $u$ -verdien beregnes ved formel 8.10. Dersom det er ønskelig å finne resistansen til veggen, kan formel 8.10 skrives om til formel 8.11 [107].  $U$ -verdien er slik nevnt tidligere, det som bestemmer varmetapet gjennom bygningskonstruksjonen. I tilknytning til denne oppgaven er  $u$ -verdi av svært stor betydning, da dette er med på å bestemme bygningens varmetap.  $U$ -verdiene benyttet i oppgaven er gitt etter TEK-kravene beskrevet i kapittel 5.1, og vil derfor ikke bli beregnet slik beskrevet her, da dette i stor grad er situasjonsbestemt.

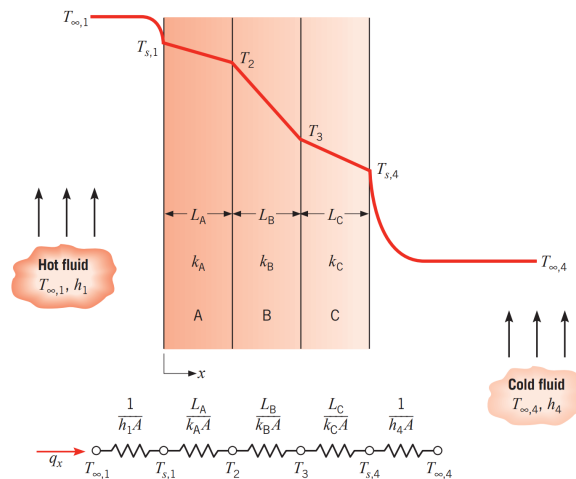
$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{h \cdot A} \quad (8.7)$$

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{k \cdot A} \quad (8.8)$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A} \quad (8.9)$$

$$U = \frac{1}{R_{tot} \cdot A} = \frac{1}{\left[ \frac{1}{h_1} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{1}{h_4} \right]} \quad (8.10)$$

$$R_{tot} = \frac{1}{U \cdot A} \quad (8.11)$$



Figur 8.2: Illustrasjon av termisk resistans gjennom en sammensatt vegg. Hentet fra [107].

## 8.6 Varmetapet i en bolig

Det totale energibehovet til en bolig kan deles inn i flere elementer. Behovet består av energi til romoppvarming, varmtvann, belysning, elbillading og andre elektriske apparater. Faktorer som påvirker bygningens energibehov er lokasjon, størrelse, alder, tilstand og elektriske apparater i boligen, samt brukeratferd til de som bor i boligen. Varmebehovet til en bolig er knyttet til byggets varmetap, som deles inn i transmisjonstap, ventilasjonstap og infiltrasjonstap [7].

Varmetapet forårsaket av transmisjon er gitt i formel 8.12. Dersom vinduer og dører eksisterer på denne bygningsdelen, må  $u$ -verdiene til disse enten beregnes separat, eller ved å finne et gjennomsnitt for veggens totale  $u$ -verdi. Ligningen er også avhengig av arealet til den delen av bygningen som transmisjonstapet beregnes for. Temperaturdifferansen mellom utetemperatur og ønsket innetemperatur er av stor betydning for transmisjonstapet [104, 107].

$$Q_{Transmisjon} = U \cdot A \cdot (t_i - t_u) \quad (8.12)$$



hvor:

$$U = \text{U-verdi for arealet det regnes transmisjonstap for } \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$A = \text{Areal} [m^2]$$

$$t_i = \text{Ønsket innetemperatur } [K]$$

$$t_u = \text{Utetemperatur } [K]$$

Ventilasjonstapet, som er den delen av bygningers varmetap som skjer gjennom ventilasjon, kan regnes ut som vist i formel 8.13. Denne formelen kombinerer ventilasjonstap og infiltrasjonstap [109].

$$Q_{\text{Ventilasjon}} = (H_V + H_{inf}) \cdot (t_i - t_u) \quad (8.13)$$

hvor:

$$Q_{\text{Ventilasjon}} = \text{Varmetap for ventilasjon og infiltrasjon } [Wh]$$

$$H_V = \text{Varmeoverføringskoeffisienten for ventilasjon } \left[ \frac{m^3}{h \cdot m^2} \right]$$

$$H_{inf} = \text{Varmeoverføringskoeffisienten for infiltrasjon } [h^{-1}]$$

$$t_i = \text{Ønsket innetemperatur i bolig } [K]$$

$$t_u = \text{Utetemperatur } [K]$$

Infiltrasjonstapet er, slik forklart i kapittel 5.1, Byggtekniske forskrifter, varmetapet grunnet luftlekkasje i bygningen. Formel 8.14 viser hvordan varmeoverføringstallet ved infiltrasjon avhenger av bygningens volum, infiltrasjonsraten, og varmekapasiteten til luft per volum [109]. Dette er produktet av varmekapasiteten til luft,  $c_a$ , som er  $1006 J/kg \cdot K$ , og lufttettheten,  $\rho_a$ , som er  $1.204 kg/m^3$  ved  $20^\circ C$ . Dette blir  $0.33 W \cdot h/m^3$  og benyttes ofte som en konstant verdi [80].

$$H_{inf} = \rho_a \cdot c_a \cdot n_{inf} \cdot V \quad (8.14)$$

hvor:

$$\rho_a \cdot c_a = \text{Varmekapasiteten til luft per volum} \left[ \frac{W}{h \cdot m^3} \right]$$

$$n_{inf} = \text{Infiltrasjonsraten} [h^{-1}]$$

$$V = \text{Oppvarmet luftvolum i bygningen} [m^3]$$

Infiltrasjonsraten, som vist i formel 8.15, er avhengig av en rekke faktorer [109]. Luftlekkasjetallet ved 50 Pascal trykkforskjell,  $n_{50}$ , er en av disse, og oppgis i byggt teknisk forskrift for å sette krav til hvor lufttette bygninger skal være. En tett bolig hindrer unødvendig varmetap. Standardverdi for terrengskjermingskoeffisientene er 0.07 for  $e$  og 15 for  $f$  [75].

$$n_{inf} = \frac{n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left( \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{V \cdot n_{50}} \right)^2} \quad (8.15)$$

hvor:

$$n_{50} = \text{Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell} [h^{-1}]$$

$$e, f = \text{Terrengskjermingskoeffisienter} [-]$$

$$V = \text{Oppvarmet luftvolum} [m^3]$$

$$\dot{V}_1 = \text{Tilluftsmengde i mekanisk ventilasjonsanlegg} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$\dot{V}_2 = \text{Avtrekksluftmengde i mekanisk ventilasjonsanlegg} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Varmeoverføringskoeffisienten for ventilasjon kan beregnes ved å benytte formel 8.16 [109]. Denne skiller seg fra formel 8.14 for varmeoverføringen ved infiltrasjon ved at det er en kjent volumstrøm av luft, mulighet for varmegjenvinning i ventilasjonsanlegget, samt korreksjonsfaktorer for luftstrømmen i anlegget. Korreksjonsfaktor  $b$  er lik 1 hvis tilførselstemperaturen til ventilasjonsanlegget er lik utetemperaturen, og  $f_{vent}$  er 1 når det ikke er betydelige bøyninger i avtrekksløpet.

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot (1 - \eta_{rec}) \cdot \sum_k b \cdot q_{vent} \cdot f_{vent} \quad (8.16)$$

hvor:

$$\begin{aligned}\rho_a \cdot c_a &= \text{Varmekapasiteten til luft per volum} \left[ \frac{W \cdot h}{m^3} \right] \\ \eta_{rec} &= \text{Virkningsgrad for varmegjenvinner} [-] \\ b &= \text{Temperaturkorrigeringsfaktor for luftstrømmen} [-] \\ q_{vent} &= \text{Luftmengde ventilasjonsanlegg} \left[ \frac{m^3}{h} \right] \\ f_{vent} &= \text{Dynamisk korreksjonsfaktor for luftstrømmen} [-]\end{aligned}$$

For oppvarmingsbehovet til en bolig inngår også oppvarmingsbehovet for varmtvann. Formel 8.17 viser ligningen som kan benyttes for å beregne byggets totale energibehov til varmtvann [110]. Temperaturen til vannet som tilføres boligen,  $T_k$ , ligger rundt  $5^\circ\text{C}$  [111]. Temperaturen vannet i varmtvannsberederen skal varmes opp til,  $T_v$ , må være minst  $70^\circ\text{C}$  for å unngå legionellavekst [112].

$$D = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_v - T_k) \quad (8.17)$$

hvor:

$$\begin{aligned}D &= \text{Energibehov til varmtvann} [Wh] \\ V &= \text{Totalt varmtvannsbehov} [L] \\ \rho &= \text{Tettheten til vann} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \\ C_p &= \text{Varmekapasiteten til vann} \left[ \frac{J}{Kg \cdot K} \right] \\ T_k &= \text{Temperatur kaldt vann tilført bolig} [K] \\ T_v &= \text{Temperatur varmtvann} [K]\end{aligned}$$

Volumet av varmtvann som trengs finnes som vist i formel 8.18 [110]. En person benytter omtrent 80 liter varmtvann hver dag [102].

$$V = N_{dager} \cdot N_{person} \cdot V_{person} \quad (8.18)$$

hvor:

$$N_{dager} = \text{Antall dager [-]}$$

$$N_{person} = \text{Antall personer [-]}$$

$$V_{person} = \text{Varmtvannsbehov per person [L]}$$

Elektriske apparater i en bolig trekker strøm og avgir noe varme til omgivelsene. Alder på apparater har ofte noe å si for hvor energieffektive de er, og har dermed også noe å si for varmeavgivningen. Energimerking, slik beskrevet i kapittel 6.2, sier noe om energieffektiviteten til elektriske apparater. Mennesker avgir også varme, og bidrar dermed til oppvarming av omgivelsene. Denne varmeavgivningen er omtrent 100 W. Dersom varmeavgivningen av elektriske apparater ikke blir medregnet i oppvarmingen av boligen, kan varmetilskuddet beregnes på en annen måte. Ved innetemperatur satt til eksempelvis 21° C, kan det resterende varmebehovet fra 17° C dekkes av internt varmetilskudd. En slik tilnærming er blant annet benyttet i boken *ENØK i bygninger*, en kilde benyttet i denne oppgaven [102].

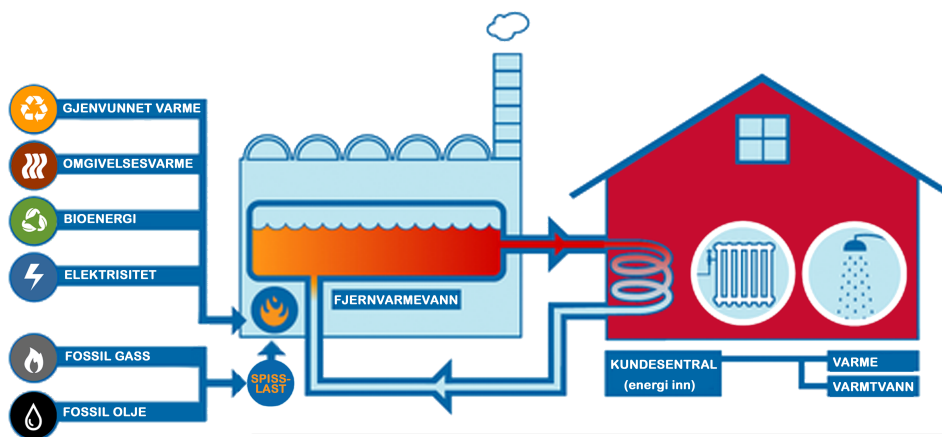
## 9 Fjernvarme og geotermisk energi

Fjernvarme og geotermisk energi er to type energikilder som kan benyttes til rom- og tappevannsoppvarming. Fjernvarme benytter energi eksempelvis fra avfallsforbrenning, og er av den grunn en miljømessig effektiv og gunstig måte å nyttiggjøre seg av energi på da denne ellers ville gått tapt [113]. Geotermisk energi benytter varmen lagret i jordskorpen, og gir dermed en miljøvennlig tilgang på relativt konstant varme gjennom året [114].

### 9.1 Fjernvarme

Fjernvarme er en type oppvarmingskilde som benytter seg av vann til å frakte varme fra en sentral til bolig eller næringsbygg. Dette er en svært effektiv og miljøbesparende måte å avlaste nettet på. Fjernvarme kan også kalles urban energi, og forsyner store områder med varme via rørsystem i bakken [113]. Nærvarme fungerer på tilsvarende måte som fjernvarme, men er av mindre skala [115]. Varmen som produseres på et fjernvarmeanlegg, kan være av forskjellige kilder. Avfallsforbrenning er ofte den største bidragsyteren til varmeproduksjon. Varme kan dessuten hentes ut fra blant annet store datasentre, siden disse produserer svært mye varme. Kloakk er en annen energikilde som inneholder mye varme som kan nyttiggjøres i et fjernvarmeanlegg. Andre kilder kan være biolje, fyringsolje, deponigass og liknende [116]. Poenget med et fjernvarmeanlegg er å nyttiggjøre seg av overskudds- og spillvarme som ikke kan benyttes til andre formål og som derfor ellers ville gått tapt [113].

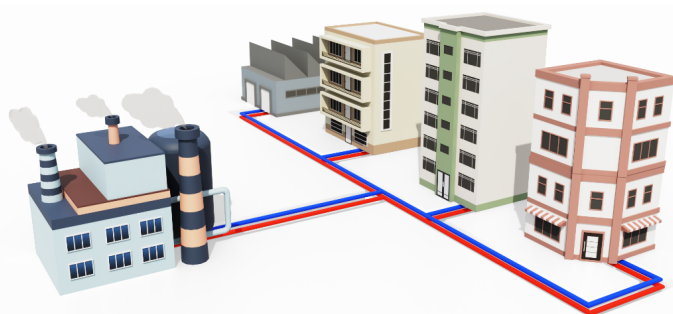
Et fjernvarmesystem består av tre sentrale deler; et produksjonsanlegg, også kalt varmesentral, et distribusjonsnett med overføringsledninger, samt en abonnentsentral og et varmesystem hos kunden. Slik figur 9.1 illustrerer, fraktes diverse energikilder til et produksjonsanlegg for forbrenning. På denne måten varmes vann opp, før det fraktes videre via distribusjonsnett. Vannet holder en relativt høy temperatur, men vil oppleve noe varmetap ut til kunden. Ved abonnentsentralen hos kunden vil vannet overføres til husstandens varmesystem, og kan da benyttes til romoppvarming, som varmt tappevann eller til andre prosesser. Dette krever at boligen har et vannbåret oppvarmingssystem som gulvvarme eller radiator [117].



Figur 9.1: Fjernvarmesystem. Hentet fra [117].

Produksjonsanlegg for fjernvarme, kan deles inn i grunnlast, spisslast, mellomlast og sommerlast. Forskjellen mellom disse ligger i deres kapasitet og type brensel. Førstnevnte benytter energikilder av lavere kvalitet som er mer økonomisk lønnsomme. Disse anleggene er oftest dyre å etablere, har lave driftskostnader, men klarer å produsere tilstrekkelig energi under normale omstendigheter. Spisslast-anlegg derimot, benyttes i de perioder hvor varmebehovet er ekstra stort, eksempelvis i kalde vinterperioder. I disse anleggene benyttes mer høyverdig brensel for å kunne møte energibehovet. Til forskjell fra grunnlast-anlegg, er disse vanligvis dyre å drifte, men billig å etablere. Mellomlast-anlegg benyttes mellom grunn- og spisslast-anlegg. Ved sommerlast benyttes ofte elektrisitet da anlegg med eksempelvis biokjel ville opplevd unødvendig mange start og stopp [118].

Fra produksjonsanlegget vil fjernvarmen distribueres i et isolert og lukket rørsystem under bakken. Rørene er enten av plast eller stål, og vannet sirkulerer i disse trykksatte rørene. Slik figur 9.2a illustrerer, fraktes varmtvann ut til kunden i turledningen (rød), mens det i et separat rør fraktes kaldt vann i returledningen (blå). Et eksempel på hvordan rørledningene kan se ut, er illustrert i figur 9.2b. For å kunne sirkulere vannet benyttes pumper som oftest er lokalisert ved varmesentralen, men ved store anlegg kan det også være nødvendig med pumper lenger ut i nettet. Som tidligere nevnt, vil vannets temperatur hos kunden ha en noe lavere temperatur enn når vannet forlater sentralen. Temperaturer fra fjernvarmesentralen til kunden ligger typisk rundt 80-120° C, mens returtemperaturen ligger mellom 40-62° C [116]. Varmetapet i fjernvarmerørene ligger i gjennomsnitt på 5 % [117].



(a) Illustrasjon av distribusjonsnettet fra sentral til kunde. Hentet fra [119].



(b) Illustrasjon av tur- og returledningene i et fjernvarme distribusjonsnett. Hentet fra [120].

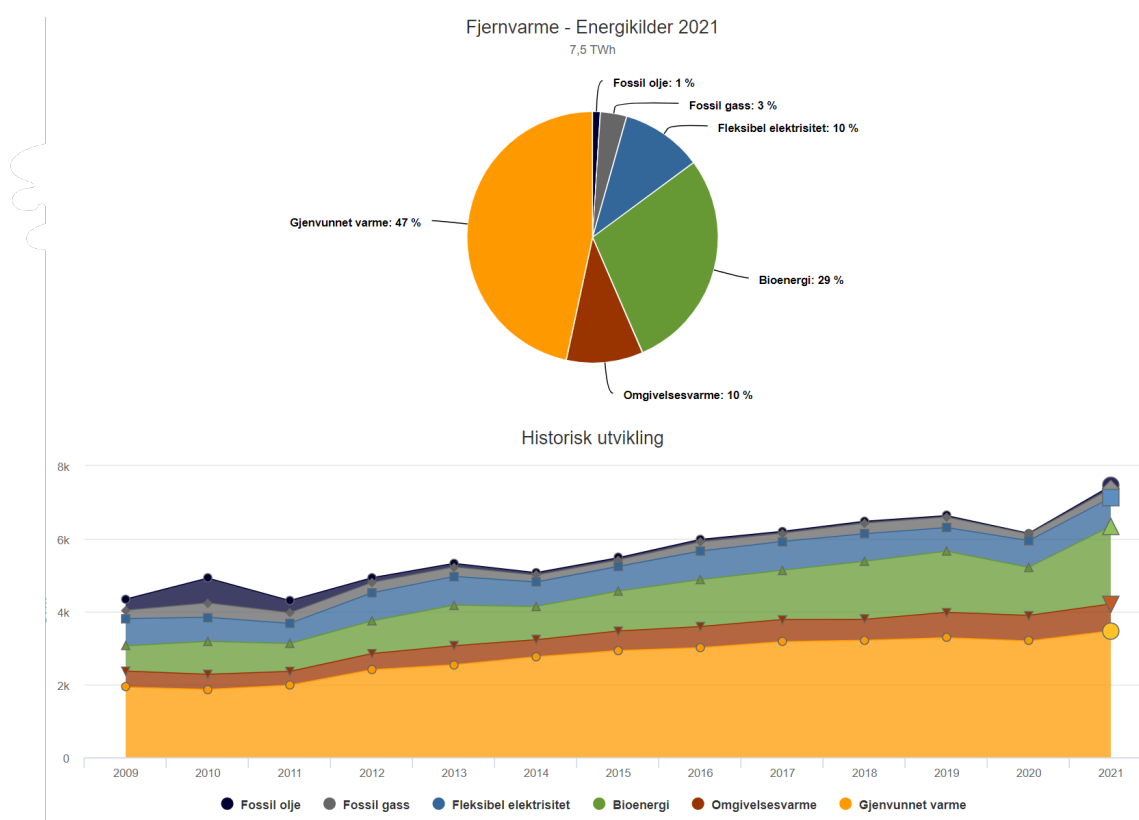
Figur 9.2: Ttur- og returledninger i distribusjonsnett.

Siden 1990 har nyttiggjørelsen av fjernvarme i Norge blitt 8 ganger større sammenlignet med situasjonen i 1990. Likevel dekker fjernvarmen kun rundt to prosent av den totale energibruken i Norge [4]. Det ble i 2021 levert i underkant av 6.7 TWh fjernvarme, en økning på 22.9 % fra foregående år, hvorav fordelingen mellom ulike sektor er gitt i tabell 9.1. Av den leverte fjernvarmen, er tjenesteyting den største mottakeren med en andel på 54.5 % av den totale leverte fjernvarmen i 2021. Husholdninger følger deretter med en andel på 25.7 %, slik tabell 9.1 viser [121]. Fjernvarmen i Norge har en installert effekt på om lag 3600 MW. Dette dekker kun en tiendedel av oppvarmingsbehovet til tappevann og romoppvarming [4]. En illustrasjon av

veksten i fjernvarme fra 2009 til 2021, samt energikildene benyttet til produksjon av fjernvarme i 2021, er gitt i figur 9.3.

Tabell 9.1: Data for fjernvarme 2021 (hentet fra [121])

|  | 2021  | Andel i prosent | Prosentvis endring fra året før |
|--|-------|-----------------|---------------------------------|
| Fjernvarme levert til forbrukere (GWh) | 6 672 | 100,0           | 22,9                            |
| Husholdninger                          | 1716  | 25,7            | 17,0                            |
| Industri m.m                           | 1055  | 15,8            | 32,5                            |
| Bygg og anlegg                         | 131   | 2,0             | 14,9                            |
| Tjenesteyting                          | 3 633 | 54,5            | 23,1                            |
| Annet                                  | 138   | 2,1             | 36,6                            |



Figur 9.3: Energikildene i fjernvarmeproduksjonen for 2021, samt utviklingen i mengde produsert fjernvarme siden 2009 til 2021. Hentet fra [122].

Et fjernvarmesystem kan også ha ulik oppbygning, enten som et stjerneledningssystem eller et ringledningssystem, eller en kombinasjon. Valg av oppbygning avhenger av krav om forsyningssikkerhet og ytelsen til anlegget. Førstnevnte system er et rimelig nett, og etableres ofte for mindre systemer. Forsyningssikkerheten er lav da det kun finnes en matevei i dette systemet. Ringledningssystem derimot, gir vesentlig bedre forsyningssikkerhet da dette systemet har flere mateveier, men er et dyrere alternativ og passer av den grunn bedre for store systemer [123].

Som ved de fleste systemer, finnes det både fordeler og ulemper ved bruk av fjernvarme. Det kan likevel sies at de miljø- og energimessige forholdene trolig er overveiende positive ved sammenligning med de negative konsekvensene. Den største fordelen kan sies å være det å

kunne nyttiggjøre seg av spillvarme, da dette ellers hadde vært tapt energi. Ved å benytte seg av spillvarme til fjernvarme, er dette en effektiv og miljømessig gunstig måte å varme opp bygg, da det er mindre behov for elektrisitet til oppvarming. Fjernvarme er dessuten en rimelig oppvarmingskilde, og er både fleksibel og effektiv, da den kan bidra til effektavlastning av strømnettet [118]. I tillegg bidrar fjernvarme i stor grad til forsyningssikkerheten av energi, og er noe energikommisjonen i sin rapport har trukket frem som “må stå sentralt i utviklingen av bygningsmassen” [4]. I samme rapport påpekte kommisjonen at det må tilrettelegges for andre fleksible oppvarmingsløsninger i de områder der hvor fjernvarme ikke tilbys, for å kunne yte bidrag slik at forholdet mellom effektbalansen og kraftbalansen styrkes.

Ulempene ved fjernvarme er blant annet varmetapet ved distribusjonen. Selv i godt isolerte rør oppstår det et varmetap, til tross for at dette normalt sett kun er 5 % slik beskrevet tidligere. I bygg hvor det ikke er tilrettelagt for fjernvarme, vil det være relativt store kostnader for konvertering til et vannbåret oppvarmingssystem. Utbygging av distribusjonsnettet er også tidkrevende da det må gjennomføres omfattende gravingsarbeid, i tillegg til store byggekostnader [4]. Kunden blir dessuten hovedsakelig låst til leverandøren av fjernvarmen tilknyttet huset. Grunnen til dette er at fjernvarmekunder har tilknytningsplikt til fjernvarmeanlegget. Dette låser kunden til leverandøren, og gjør at kunden kan oppleve ugunstige ekstrakostnader selv om anlegget ikke benyttes [124, 125]. En stor ulempe med fjernvarmeanlegg, er brenning av avfall og den  $\text{CO}_2$  som slippes ut som følge av dette. Det må likevel presiseres at avfallsforbrenningen ikke benyttes primært for å generere varme til fjernvarmeanlegget, men heller at fjernvarmen kan nyttiggjøre seg av varmen fra avfallsforbrenningen [126]. Dersom anlegget legger opp til karbonfangst, slik som Hafslund Oslo Celsio er i gang med å etablere på sitt anlegg på Klemetsrud, kan store deler av  $\text{CO}_2$  utslippet reduseres og resulterer i en enda mer miljøgunstig energiproduksjon [127].

I tillegg til fjernvarme, er områdekjøling noe som er svært aktuelt, spesielt i næringsbygg på sommerhalvåret. Områdekjøling fungerer på tilsvarende måte som fjernvarme, ved at systemet har en kjølesentral og frakter kaldt vann i et rørsystem under bakken. Hafslund Oslo Celsio benytter for eksempel kaldt vann fra Oslofjorden til sin områdekjøling. Ved å ta i bruk områdekjøling, vil behovet for energibrønner eller egen kjøleproduksjon utgå. En kombinasjon av fjernvarme og områdekjøling vil i stor grad bidra til å redusere elektrisitetsbehovet, og dermed bidra stort til avlastning av nettet. I tillegg er en slik løsning svært klimavennlig da den benytter seg av ressurser som ellers ville gått tapt. Den er arealeffektiv da den frigjør arealer som kan benyttes til annen viktig infrastruktur og løsningen er dessuten kostnadseffektiv [128].

## 9.2 Geotermisk energi

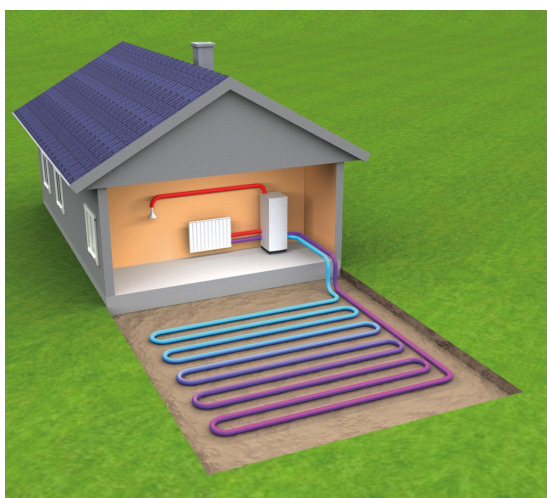
Geotermisk energi er en annen energikilde som kan benyttes til rom- og tappevannsoppvarming. Geotermisk energi er en fellesbetegnelse på energi i form av varme som er lagret i jordskorpen, og kan deles inn i høytemperatur og lavtemperatur geotermisk energi. Til varmeuthenting ved geotermisk energi er det i Norge vanlig å benytte grunne brønner i kombinasjon med varmepumpe



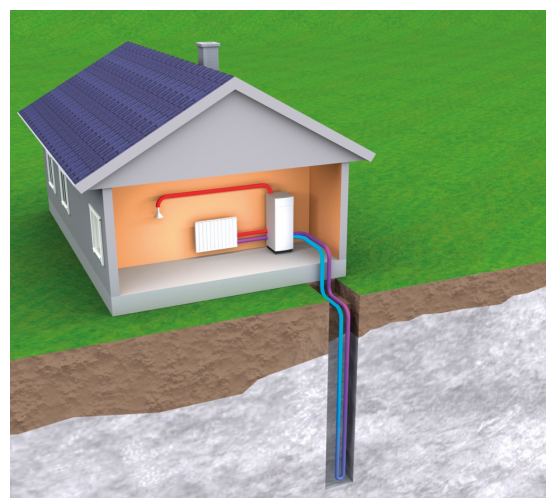
for å heve temperaturen levert til romoppvarming og varmtvann. Geotermisk energi skiller seg ut fra de fleste andre energikilder, da den benytter varme lagret i jorden, enten fra solenergien eller ved vulkansk aktivitet og radioaktiv spalting [114].

Lavtemperatur geotermisk energi henter varme opptil 200 meter ned i bakken [129]. Videre inndeles den lavtemperatur geotermiske energien i jordvarme og bergvarme. Figur 9.4a illustrerer hvordan jordvarme kan hentes ut ved å benytte nedgravde rør kun en til en og en halv meter ned i bakken. Dette krever et relativt stort område for å kunne varme opp væsken tilstrekkelig før den sendes til varmepumpen i boligen og kan avgi varme. Mellom 300 og 600  $m^2$  areal er nødvendig for å kunne bygge et slikt anlegg som er egnet for en enebolig. Dette indikerer at det å benytte jordvarme som oppvarmingskilde er spesielt godt egnet for større boliger hvor en vanlig luft-luft-varmepumpe ikke er tilstrekkelig [130].

Bergvarme benytter energibrønner dypere ned i jordskorpen, ofte mellom 80 og 200 meter dype. Fordelen med bergvarme er blant annet at temperaturen i energibrønnen er stabil året rundt. Figur 9.4b illustrerer hvordan bergvarme hentes ut fra et stykke ned i bakken i loddrette rør, og har i motsetning til jordvarme mindre behov for et stort areal. Bergvarmen må hentes ut fra tilstrekkelig dybde for å kunne avgi nødvendig varme via varmepumpen. Disse er fylt med frostvæske som arbeidsmedium. Dette sirkulerer for å varmes opp av varmen lagret i bakken. Arbeidsmediet fraktes så til varmepumpen og distribueres i boligen [131].



(a) Jordvarmesystem for en bolig. Hentet fra [132].



(b) Bergvarmesystem for en bolig. Hentet fra [133].

Figur 9.4: Illustrasjonene illustrerer forskjellene mellom jordvarmesystem, figur 9.4a, og bergvarmesystem, figur 9.4b.

Temperaturgradienten nedover i bakken ligger mellom 20-40°C per kilometer, noe som indikerer et varmpotensiale nedover i bakken. For en bolig er det naturlig å bore energibrønn med en dybde på et par hundre meter. Temperaturen her vil til forskjell fra temperaturen nærmere overflaten holde en mer konstant temperatur gjennom året. Selv om temperaturen ikke nødvendigvis er veldig høy, vil varmen fra denne dybden i kombinasjon med varmepumpe kunne levere ønsket innnetemperatur, ettersom at varmepumpen kan heve temperaturen [134]. Dette ble

forklart i kapittel 7. På verdensbasis, vil den geotermiske energien kunne dekke verdens årlige energiforbruk 35 milliarder ganger. I Norge vil den geotermiske energien kunne dekke rundt 25 % av strømforbruket gitt 2021-verdier, noe som tilsvarer rundt 35 TWh. Potensialet til geotermisk energi er til stede, men kan være utfordrende å nyttiggjøre seg av [114].

## 10 Solenergi

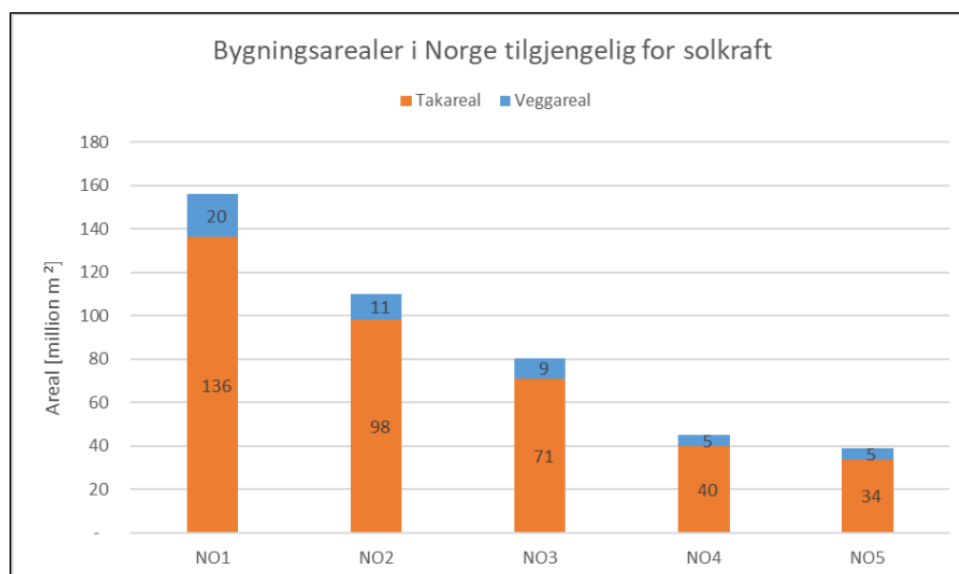
Solen avgir konstant enorme mengder energi, men kun en liten andel av dette treffer jordoverflaten. Av den totale energien på  $3.8 \cdot 10^{20}$  MW som solen avgir, når omtrent  $1.7 \cdot 10^{14}$  kW av dette jorden. Likevel er det antatt at kun 84 minutter med denne solinnstrålingen hadde vært nok til å dekke hele verdens årlige energiforbruk [110]. Utfordringen ligger i å hente ut energien, omforme og benytte den som elektrisitet eller varme. For å kunne nyttiggjøre seg av solenergien, kan solceller eller solfangere benyttes. Solceller omgjør solenergi til elektrisk energi, mens solfangere omgjør solenergi til varme. Disse har begge en rekke fordeler og ulemper, i tillegg til at virkningsgraden deres og kvaliteten på produktet, kan variere stort [135, 136].

Slik beskrevet innledningsvis, kommer rundt 88 % av den fysisk leverte elektrisiteten fra vannkraft. Vindkraften utgjør rundt 9 % [1]. Solkraft derimot, utgjør en svært liten andel av den totale leverte elektrisiteten med kun 1 promille av Norges totale kraftproduksjon [2]. Potensialet til solkraftproduksjon er derimot høy, og er forventet å oppnå en ytterligere markedsvekst i årene som kommer. De siste årene har solenergi hatt en vekstrate på 41 % målt i installert kapasitet [137].

Store svingninger i værforhold har i vesentlig grad bidratt til en mer anstrengt kraftsituasjon, og viser til sårbarheten med et vannkraftbasert kraftsystem. I perioder med lite vind og nedbør, vil potensialet for solkraftproduksjon ofte være stort. Grunnet dette vil svingningene i værforhold trolig bli mindre betydelig ved økt integrering av kraftproduksjon fra solenergi. På denne måten vil solkraft kunne bidra positivt i samspill med annen fornybar energiproduksjon i Norge, da kraftproduksjonen kan være mer fleksibel og dra nytte av ulike værforhold [138].

Det kan være usikkerhet knyttet til potensialet for solenergi i Norge. Likevel viser det seg at solinnstrålingen i landet utgjør omtrent 1500 ganger mer energi det er behov for [139]. Dersom det hadde vært mulig å hente ut kun en promille av denne solinnstrålingen, ville alle energibehovene kunne blitt tilfredsstilt [135]. Den årlige solinnstrålingen i Norge er på omtrent 600-1000 kWh/m<sup>2</sup>, gitt en horisontal flate. Denne innstrålingen er høyest på Sør- og Østlandet. Solceller vil også kunne produsere energi vinterstid, selv om solinnstrålingen vil være svakere og timene med sollys færre. Til sammenligning vil solinnstrålingen på Innlandet ligge på omtrent 5000 Wh/m<sup>2</sup> sommerstid, mens den på vinterstid er omtrent 250-300 Wh/m<sup>2</sup>. Kulde vil i midlertid være positivt for energiproduksjonen, da spenningen i panelene øker, og dermed også effekten fra panelene. Når det gjelder snø, vil denne skyggelegge solcellene slik at produksjon hindres [140].

I en studie gjennomført av *Solenergiklyngen*, ble det funnet at det tekniske potensialet for solkraftproduksjon på bygg i Norge tilsvarer 65,6 TWh/år. Ved å sammenligne med utbygd vindkraft og vannkraft med henholdsvis 15,8 TWh/år og 138,3 TWh/år, er det tydelig at det tekniske potensialet for solkraftproduksjon på bygg alene er av vesentlig betydning. Dersom solenergiproduksjon også skulle benyttet det rapporten omtaler som “beslaglagt mark”, altså alle



Figur 10.1: Potensialet for solenergi på bygg i de ulike prisområdene i Norge. Hentet fra [138].

menneskeberørte arealer, vil kraftproduksjonen kunne utgjøre 133,3 TWh/år. Disse anslagene er noe usikre, men gir et omtrentlig omfang av det tekniske potensialet. Likevel er det verdt å merke seg at disse antagelsene ikke hensyntar det økonomisk realiserbare potensialet. Et funn ved denne studien rundt tilgjengelige byggearealer for solkraftproduksjon, er illustrert i figur 10.1. Det er her tydelig å se at de tilgjengelige byggeområdene er størst i de sørlige delene av landet [138].

Ved å betrakte ulike typer bygninger, kan deres lokasjon være av vesentlig betydning for å utnytte solenergien på en effektiv måte. Som oppvarmingskilde kan solinnstråling deles inn i aktiv og passiv solvarme. Den aktive utnyttelsen av solvarmen innebærer å benytte teknologi til å absorbere varmen eller generere elektrisitet ved å benytte solceller eller solfangere. Den passive delen derimot, innebærer å la solenergien føres inn gjennom vinduer, utforme bygg til å absorbere solenergi, og å vende bygget i sørvendt retning slik at solinnstrålingen er størst mulig. For bygningsmassen i Norge kan det antas at mellom 3-4 TWh varmes opp ved passiv oppvarming [141].

Blant de største fordelene med solenergi, er muligheten til å utnytte allerede utbygd areal til energiproduksjon, i form av installasjon av sol-teknologier på tak og kledning på bygg. Vedlikehold av dette er også enkelt. Blant ulempene, kan relativt lav virkningsgrad sies å være av vesentlig betydning. Solcellepanel opererer med en virkningsgrad på rundt 20 %, noe som er betydelig lavere enn eksempelvis virkningsgraden til vannkraftverk som ligger rett over 90 % [142, 143]. I tillegg til lav virkningsgrad er utvinning av den essensielle komponenten silisium svært forurensende og krevende [142].

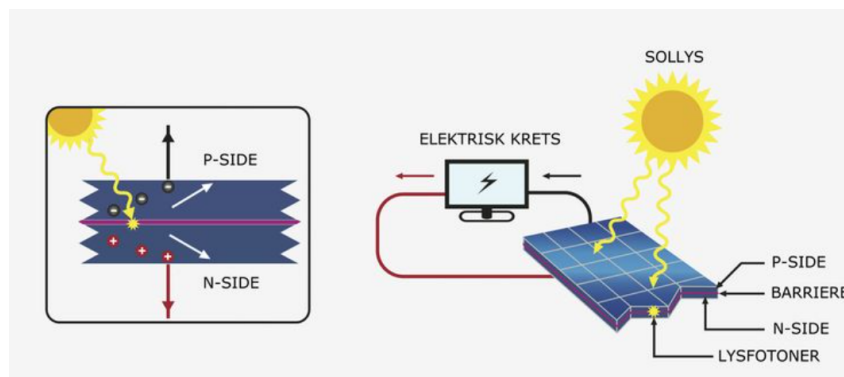
## 10.1 Solcelle

Ved hjelp av fotoelektrisk effekt, omdanner solcellepaneler sollys til elektrisk energi. Disse kan ha en levetid på rundt 30 år [135]. Et solcellepanel inneholder en rekke komponenter, hvorav halvledermaterialene monokrystallinsk og multikrystallinsk silisium er de mest vanlige. Disse utgjør hele 95 % av solgte solcellemoduler [144, 145]. I et monokrystallinsk materiale finnes kun en silisium-krystall, hvor den krystallografiske retningen av atomer er den samme. For multikrystallinske eller polykrystallinske materialer, inneholder disse mange krystaller. Silisiumatomene har dermed mange krystallografiske retninger som danner et krystallmønster på materialets overflate [146].

Halvledere, slik som silisium, er en gruppe stoffer som leder strøm bedre enn isolatorer, men er dårligere enn metalliske ledere [147]. Dette betyr at elektronene kan løsnes fra atomer under visse forhold. Når halvledermaterialet utsettes for solstråling, absorberer det fotonets energi og overfører det til de negativt ladde partiklene i materialet. Da vil fotonets energi brukes til å eksitere elektroner fra valensbåndet, som er det båndet med lavest energinivå, til konduksjonsbåndet, som er det båndet med høyeste energinivå i materialet. Denne ekstra energien som tilføres elektronene slik at de eksiteres til konduksjonsbåndet, gjør det mulig for elektronene å bevege seg slik at det oppstår en elektrisk strøm. Energien som kreves for at fotonet skal eksitere elektronet fra sin faste plass, kalles for båndgap, og bestemmer samtidig mengden energi som kan bli generert [148]. Denne energimengden varierer mellom ulike typer halvledermaterialer ut fra hvor sterke elektronbånd de har. Halvledermaterialer har båndgap mindre enn 3 eV [149, 110].

Silisium er et grunnstoff som tilhører gruppe 14 i periodesystemet, og har dermed fire elektroner i det ytterste skallet. Elektronene er sterkt bundet i materialet, noe som gjør at rent silisium har dårlig ledningsevne (konduktans). En metode for å omforme silisiumet til å bli et halvleder materiale, er ved doping av materialet i form av n-doping eller p-doping. En silisiumsolcelle består av to sjikt med dopet silisium, en n-leder og en p-leder. Solcellen virker da som en pn-diode, som innebærer at strømmen kan bare gå en vei [147]. En dopet halvleder får mye høyere konduktans enn en ikke-dopet halvleder. N-doping skjer ved å tilføre silisium litt av et stoff med 5 valenselektroner, typisk fosfor. Da vil det femte valenselektronet til hvert fosforatom være så løst bundet at det lett flyttes av små elektriske spenninger. P-doping er når det tilsettes stoff med 3 valenselektroner, typisk bor. Da er det fortsatt plass til et elektron i bindingen mellom bor og silisium, og det dannes dermed et positivt hull som et elektron kan bevege seg til [147, 150]. Båndgapet i Si-platen skyldes at det er potensialforskjell mellom n-dopet og p-dopet silisium. Figur 10.2 viser at denne spenningsforskjellen kan brukes til å lede elektronene gjennom den ytre kretsen slik at det dannes en strøm. Elektrisiteten fra solceller kan brukes lokalt eller selges til strømmettet [110].

Dagens solceller har en virkningsgrad på omtrent 20 %, men i fremtiden vil den kunne bli høyere. Med dagens teknologi er den teoretiske grensen på cirka 28 %, mens andre



Figur 10.2: En silisiumsolcelle består av to sjikt med dopet silisium, en *n*-leder og en *p*-leder. Elektronstrømmen i den ytre kretsen genererer strøm. Barrieren oppstår som følge av at elektronene fylles opp på *p*-siden hvor det dannes et isolerende lag. Hentet fra [151].

typer solcelleteknologier, slik som *multijunction* og *heterojunction*, vil ha en høyere teoretisk virkningsgrad. En *multijunction* solcelle har en teoretisk virkningsgrad opp mot 40 %. Begge disse type solcelleteknologiene kombinerer ulike materialegenskaper med forskjellige båndgap. Dette fører til at solcellen vil absorbere en større del av solinnstrålingen, da fotoner med ulik energi vil kunne absorberes. Dette fører til mindre tap av energi, slik at virkningsgraden blir høyere. En annen måte å øke virkningsgraden på, er ved å konsentrere sollyset som treffer solcellen ved hjelp av reflekterende materialer, linser eller speil. Det er forventet at denne teknologien, *concentrating photovoltaics* vil vokse [145, 110].

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (10.1)$$

$$\alpha = 90^\circ - L + \delta \quad (10.2)$$

Helningsvinkelen til solcellepanelene ( $\beta$ ) er en av de viktigste vinklene ved designing av solkraftanlegg [152]. Formelen for helningsvinkelen er vist i likning 10.1, og illustrert i figur 10.3b. For å kunne beregne denne, benyttes solhøydevinkelen ( $\alpha$ ), som er vinkelen mellom horisontal overflate og solinnstrålingen. Denne er  $0^\circ$  ved soloppgang og  $90^\circ$  når solen står midt på himmelen. Solhøydevinkelen regnes ut som vist i formel 10.2 ved hjelp av breddegraden ( $L$ ) og deklinasjonsvinkelen ( $\delta$ ). Deklinasjonsvinkelen er vinkelen mellom jordens akse og en tenkt linje mellom solen og ekvator, og varierer i løpet av et år. Denne vinkelen regnes ut som vist i formel 10.3, hvor  $N$  er hvilken dag i året det regnes ut for [110]. Vinkelen  $\alpha$  er illustrert i figur 10.3a.

$$\delta = 23.45 \sin \frac{360}{365} (284 + N) \quad (10.3)$$

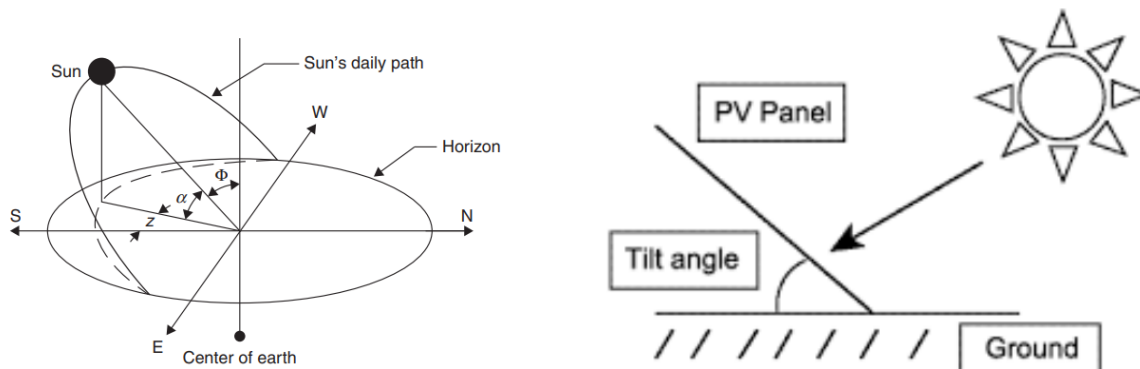
Hvilken vinkel solinnstrålingen har, er av betydning for hvor sterk innstrålingen er. *Air mass* (AM), angir hvor mye atmosfære solstrålene må passere på veien til jordoverflaten. Når solen

står midt på himmelen, er AM lik 1. Ved lengre distanse vil solstrålene tape styrke, da deler av solstrålene på veien gjennom atmosfæren absorberes av luft og partikler. Air mass regnes ut som vist i formel 10.5 ved hjelp av zenitvinkelen ( $\theta$ ) gitt i formel 10.4.  $\theta$  angir dermed vinkelen mellom solinnstrålingen og vertikalen, og er illustrert i figur 10.3a [153, 154].

$$\theta = 90^\circ - \alpha \quad (10.4)$$

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (10.5)$$

Avhengig av hvilken teknologi som benyttes, vil et solcellepanel kunne produsere energi selv ved overskyet vær. Hvor mye energi som produseres er også avhengig av geografisk lokasjon med tanke på antall timer i døgnet solen er oppe, mengden solinnstråling, og hvordan topografien i området er. For å optimalisere energiproduksjonen fra solceller, er vinkelen og orienteringen på panelene viktig. Hva som er optimal vinkling avhenger av lokasjon, og om anlegget skal designes for mest mulig produksjon i løpet av hele året, eller om det skal optimaliseres for å produsere mer på sommerhalvåret eller vinterhalvåret. På skråtak, vil en sørvendt orientering være mest effektiv, men kun midt på dagen. Om det isteden installeres paneler på skråtak mot øst og vest, vil det bli en jevnere produksjon i løpet av dagen. På flate tak er det øst-vest orientering som normalt velges [110]. Siden mengden energi produsert fra solcellepanel varierer ut fra de ovennevnte faktorene, oppgis solcellepaneler sin avgitte effekt i enheten watt peak ( $W_p$ ). Dette er den maksimale effekten solcellepanelet kan produsere under standard testforhold ved solinnstråling på  $1000 \text{ W/m}^2$  og air mass (AM) på 1.5. Dette tilsvarer en solvinkel på  $42^\circ$ . Å oppgi panelets effekt i watt peak gjør det enkelt å sammenligne ulike typer solcellepaneler [155]. Levetiden for en solcelle er på 25-30 år [156].



(a) Figuren viser blant annet solhøydevinkelen  $\alpha$  og zenitvinkelen  $\theta$ . Hentet fra [110].

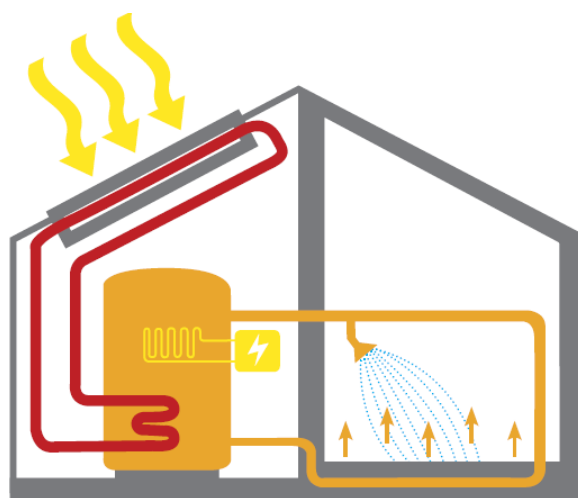
(b) Helningsvinkel til et solcellepanel. Hentet fra [157].

Figur 10.3: Figur 10.3a angir vinklene beskrevet i formel 10.2 og 10.4. Figur 10.1 angir vinkelen beskrevet i formel 10.1.

## 10.2 Solfanger

På lik linje med solceller, benytter en solfanger energien fra solen. Disse har også en levetid på mellom 20-30 år [136]. En solfanger produserer imidlertid ikke elektrisitet, men benytter heller et sirkulerende medium til å absorbere varmen fra solinnstrålingen. Dette arbeidsmediet er oftest vann, eventuelt vann tilsatt frostvæske. I solfangeren opererer et styringssystem som sørger for jevn sirkulasjon av vannet så lenge styrken fra sollyset evner å øke vanntemperaturen [136]. Til tross for at vann som arbeidsmedium er mest vanlig, er det også mulig å benytte luft som arbeidsmedium. Dette er likevel mindre utbredt ettersom at varmekapasiteten per volumenhet er høyere for vann enn for luft. Dersom det skal benyttes luft som arbeidsmedium, er det behov for en annen dimensjonering av kanaler og rør [158].

En solfanger består av absorptor, dekklag og isolasjon. Absorbatores funksjon er å absorbere mest mulig av solinnstrålingen, og er derfor ofte svart. I Norden og andre områder med store temperaturvariasjoner, er dekklag og isolasjon av vesentlig betydning. Solfangere har typisk også et gjennomsiktig lokk av glass. Ved oppvarming av absorbatores vil denne sende ut stråling av lengre bølgelengde, og vil derfor ikke slippe ut strålingen gjennom glasset. Varmen overføres dermed til det sirkulerende mediet. Det finnes tre hovedtyper solfangere; flatplatesolfangere, parabolske solfangere og vakuumsolfangere. Figur 10.4 illustrerer hvordan et solfangersystem fungerer [110].



Figur 10.4: Solfangersystem hvor et sirkulerende medium varmes opp av solinnstråling i solfangeren, og som sendes til varmtvannsberederen for videre distribusjon. Hentet fra [136].

En gjennomsnittlig solfanger leverer typisk mellom 300 og 500 kWh varme per år per kvadratmeter med solfangerareal [136]. Det finnes vakuumsolfangere som kan ha en termisk virkningsgrad mellom 50-80 % [159]. Slike solfangere kan brukes til oppvarming av varmtvann og romoppvarming både individuelt for et og et hus, men kan også brukes kollektivt som fjernvarme [160].



### 10.3 Solenergi til nettet

Ved energiproduksjon fra solceller, må strømmen omformes fra likestrøm til vekselstrøm med riktig spenning, frekvens og faseforskyvning ved hjelp av en vekselretter [161]. Strømmen som ikke går til eget forbruk eller lagring, kan dermed selges til nettet som plusskunde. Da oppstår det en motsatt effektflyt i kraftnettet. Siden nettet i hovedsak er dimensjonert for at strømmen skal gå en vei, fra kraftproduksjon til sluttbruker, er nettet dimensjonert med mindre tverrsnitt på kablene lengre ut i nettet. Det benyttes dessuten en samtidighetsfaktor ved dimensjonering av nettet ut til sluttbrukeren, slik beskrevet i kapittel 4.2, som innebærer at nettet ikke er dimensjonert for at alle kunder påkoblet samme tilførselskabel skal benytte maksimal effekt samtidig. Med bakgrunn i dette kan det oppstå utfordringer med motsatt effektflyt fra lokal solenergiproduksjon grunnet oppbyggingen av nettet, spesielt dersom mange i samme område installerer solceller. Denne problematikken oppstår som følge av at overskuddsenergien som selges til nettet i mange tilfeller kan overskride samtidighetsfaktoren til forbruket, da produksjonen fra solcelleanleggene ofte inntreffer samtidig. Likevel er maks levert effekt fra hver plusskunde avhengig av orientering og helning på solcellene, noe som påvirker når på dagen maks effekt oppnås. Dette vil kunne gi noe lavere maks effekt dersom byggene har ulike vinkling på solcellene, men vil likevel gi høy innmating samtidig. Sannsynligheten er stor for at flere hus i samme nabolag har netto produksjon samtidig [162, 163].

Det er viktig med vern av solcelleanlegg for å sørge for at innmatingen av strøm på nettet ikke skaper farlige situasjoner eller ødelegger nettet. Som regel er det koblet to forskjellige overspenningsvern til solanlegget, et vern som virker raskt på høye overspenninger, samt et mer tregt som virker ved moderate overspenninger [164, 165]. Ved installasjon av solceller plikter både nettselskapet og kunden å følge kravene om spenningskvalitet gitt i *Forskrift om leveringskvalitet* (FoL) [166]. Dette innebærer at spenningen som leveres på nettet skal være innenfor  $\pm 10\%$  av nominell spenning, samt  $\pm 2\%$  av 50 Hz. Usymmetri vil kunne oppstå da store deler av lavspentnettet er IT-nett, og solkraftanleggene med merkestrøm under 20 A kobles på ved hjelp av en enfaseomformer [164]. Dette problemet kan løses ved å bytte hvilken fase anlegget er koblet til når problemet oppdages. Grad av usymmetri skal ikke overstige  $\pm 2\%$ , og raske spenningsendringer skal ikke overgå 0.5 % per sekund. Installasjon av solcelleanlegg vil også falle inn under *NEK 446 Fotovoltaiske solenergisystemer*, som angir standarder rundt dokumentasjon, vedlikehold og testing av solenergisystemer [167].

Slik status på solkraftproduksjon er i Norge i dag, er det få utfordringer med kapasitet i strømmettet knyttet til innmating av overskuddskraft, da det enda er lav tetthet av solkraftanlegg. Dette er problemer som vil øke med økende andel installert solkraftproduksjon, men kan løses i stor grad ved hjelp av aktiv bruk og styring av vern og vekselrettere [138].

## 11 Energilagring

Energilagring går ut på å lagre energi for å kunne nyttiggjøre seg av denne ved et senere tidspunkt. Det finnes mange ulike former for energilagring, og lagring i form av batterier har den siste tiden gjennomgått en stor teknologisk utvikling. Dette har blant annet muliggjort bruk av fornybar energi som energikilde til elektriske biler. Ulike former for energilagring kan anses som nødvendig for å muliggjøre overgangen fra fossile energikilder til 100 % fornybare energikilder. Fossile energikilder er praktisk anvendbare da de enkelt kan transporteres og i utgangspunktet ikke taper energi over tid. Likevel, er det helt nødvendig å fase ut disse kildene for å nå klimamålene innen utslipp. Batteriteknologien kan dermed være et viktig element for å muliggjøre denne overgangen. Dette vil kunne bidra til å øke forsyningssikkerheten og gjør det mulig å nyttiggjøre seg av fornybar energi i større grad. Spesielt gjelder dette i vinterperioder hvor energietterspørselen ofte er høy, samtidig som den fornybare energiproduksjonen kan være begrenset [9]. Ved å innføre lokale høyeffektive energilagringssystemer som etterkommer solproduksjon, samt storskala energilagringssystemer som kan støtte lokale nettselskaper, kan dette bidra til effektiv utnyttelse av energi. På denne måten kan distribuert energilagring slik som hjemmebatterier og nettbatterier bidra til å senke gjennomsnittlig og maksimalt effektbehov, slik at overproduksjon av energi kan lagres. Dette vil bidra til økt fleksibilitet i kraftnettet, og overgangen til mer fornybar energi [168].

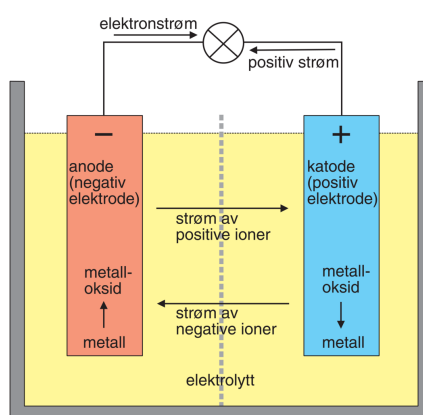
Det eksisterer mange ulike energilagringsteknologier. Distribuerte energilagringssystemer av mindre størrelse, vil primært bestå av litium-ion-batterier og termisk energilagring i form av varmelagringstanker. For storskala energilagringssystemer, vil det være flere andre typer teknologier som kan tenkes å være mer effektive. Dette kan eksempelvis være pumpekraftverk, komprimert luft, hydrogen, flowbatterier og svinghjul. Mange av de nevnte teknologiene er ikke like aktuelle for småskala energilagring i bolighus. For bolighus er litium-ion-batterier en av de mest aktuelle energilagringssystemene, og oppgaven vil derfor fokusere på denne teknologien. Etterspørselen etter batterier har de siste årene økt betraktelig på verdensbasis. Elektrisk drevne biler har gjort sitt inntog, og batteriteknologiens utvikling har gitt stadig bedre rekkevidde [169]. Batterier som energilagring i hus derimot, er enda ikke like utbredt. Dette kan blant annet være grunnet lite kunnskap om muligheten fra forbrukerens side, i tillegg til usikkerhet rundt brannfare og avgassing [170, 171].

### 11.1 Batteriets oppbygning

Lagring av energi i et batteri er en form for kjemisk energilagring. Et batteri kan også omtales som en akkumulator [172]. I batterier omformes kjemisk energi til elektrisk energi. Det finnes en rekke ulike typer batterier med forskjellige egenskaper, men deres funksjon er grunnleggende sett den samme. Et batteri er bygd opp av flere galvaniske celler. Hver av disse cellene består av en positiv elektrode kalt katode, en negativ elektrode kalt anode, en elektrolytt og en separator. Anoden består av et materiale som lett tar opp elektroner, mens katoden inneholder et materiale

som lett oksideres [173].

Når en celle i et batteri avgir elektrisk strøm, foregår dette ved en kjemisk reaksjon i form av frigjøring av elektroner i anoden, en oksidasjon, og opptak av elektroner i katoden, en reduksjon. Denne prosessen kalles for en redoksreaksjon. En saltbro eller separator benyttes for å skille katoden og anoden fra hverandre. Begge disse inneholder en elektrolytt, som har den egenskapen at den ikke leder elektroner. Siden elektronene i batteriet ikke ledes gjennom saltbroen eller separatorene, kan dette utnyttes ved å koble en ledning mellom katoden og anoden. Da vil det ved oksidasjonsprosessen, hvor det blir frigitt elektroner, dannes strøm i ledningen. Batteriet vil da kunne gi fra seg denne energien når det kobles til en ekstern krets [174]. I figur 11.1 er det illustrert hvordan en galvanisk celle er bygd opp [173].



Figur 11.1: En galvanisk celle bestående av en anode, en katode og en elektrolytt. Når cellen avgir strøm, foregår det en oksidasjon ved anoden, og en reduksjon ved katoden. På denne måten får anoden en negativ spenning, mens katoden får en positiv spenning. Det er denne spenningsforskjellen som skaper en strøm av elektroner i den ytre kretsen. Hentet fra [173].

Batterier kan deles inn i to typer: primærbatterier og sekundærbatterier. Førstnevnte er ikke oppladbart og må derfor resirkuleres eller kastes når batteriet er tomt. Et sekundærbatteri derimot, er oppladbart og kan dermed benyttes flere ganger. Dette oppnås ved at prosessen i batteriet reverseres ved å koble til en spenningskilde som øker energipotensialet i batteriet tilbake til dens opprinnelige tilstand [173].

$$C = I \cdot t \quad (11.1)$$

Batteriets kapasitet måles i amperetimer (Ah). Hvordan batteriets kapasitet regnes ut er gitt i formel 11.1. Her er produktet av strømmen (I) i ampere multiplisert med antall timer denne strømmen kan leveres [175]. *State of charge* (SoC) angir hvor fulladet batteriet er, og omtales ofte som batteriprosenten. Her er 0 % tomt batteri, mens 100 % betyr at batteriet er fulladet.

$$DoD = 100\% - SOC \quad (11.2)$$

Ofte benyttes uttrykket *Depth of discharge* (DoD) istedenfor SOC. DoD uttrykker hvor utladet batteriet er, hvor 100 % utladet er et tomt batteri. Dette er vist i formel 11.2 [176]. For opplading av et sekundærbatteri, må batteriet fylles med strøm. Hvor fort et batteri lades opp er angitt av c-raten. En c-rate på 1C tilsvarer en full opplading fra 0 % SOC til 100 % SOC på 1 time, mens C/2 tilsvarer en full opplading på 2 timer. 2C angir full opplading på 30 minutter. Ved høyere ladehastighet, vil ladestrømmen være høyere.

$$P = U \cdot I \quad (11.3)$$

$$U = R \cdot I \quad (11.4)$$

Gitt formel 11.3 for effekt, hvor P er effekt i watt, U er spenning volt, og I er strømmen i ampere, vil en høyere ladestrøm føre til høyere ladeeffekt. Formelen for effekt kombinert med Ohms lov gitt i formel 11.4, gir formel 11.5 for Joules lov. R angir resistansen i ohm. Joules lov uttrykker hvordan varme oppstår når elektroner strømmer gjennom en elektrisk leder. Effekten som omsettes til varme, varmeeffekten, tilsvarer produktet av resistansen i lederen og kvadratet av strømmen gjennom lederen. Dette betyr at ved høyere strøm vil varmetapet bli høyere, noe som fører til høyere temperaturer [177].

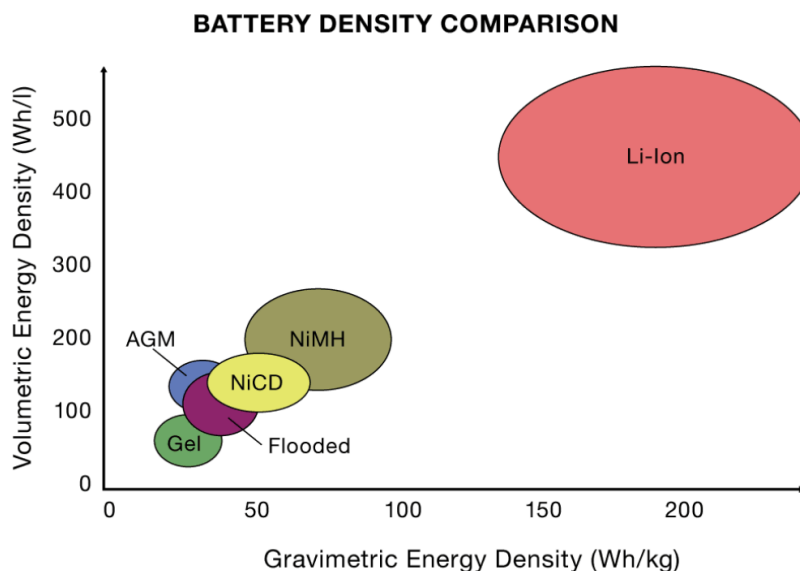
$$P = R \cdot I^2 \quad (11.5)$$

Ved opplading av batterier med høyere effekt, hurtiglading, vil batteriet kunne oppnå høyere temperaturer enn ved lading med lavere effekt. Det er ikke ønskelig at batteriet blir for varmt, da temperaturen helst ikke bør overskride 50° C. Dette kan føre til økt slitasje på batteriet og forkorte levetiden. Gjennom slitasje vil batteriet over tid miste kapasitet. Dette kan uttrykkes ved begrepet *State of health* (SoH), som definerer batteriets tilstand. Nye batterier har en SoH på 100 %. Batteriets levetid er dermed definert som perioden fra SoH på 100 % til SoH på 80 % [178, 171, 179].

## 11.2 Litium-ion-batteri

Batterier har utviklet seg mye de siste årene, og en av de mest anvendte batteritypene i dag er litium-ion-batteriet. Denne type batteri finnes blant annet i elbiler, mobiltelefoner og annen småelektronikk. I et litium-ion-batteri brukes litium som elektrolytt [180]. Hovedårsaken til at litium-ion-batteriet benyttes i så stor grad, er blant annet dets evne til å lagre store mengder energi i et relativt lite batteri sammenlignet med tidligere [181]. Årsaken til dette er litiumets egenskaper. Av alle metaller er litium det letteste, og i kombinasjon med dets høye energitetthet og celledspenning, er litium en ideell komponent i batteriteknologien [173]. Forskjellen i energitetthet mellom ulike batterityper og litium-ion-batteriets særegne posisjon,

kommer tydelig fram i figur 11.2. Det er her illustrert at litium-ion-batteriet ligger langt over andre batterityper av samme vekt og størrelse når det gjelder dens lagringskapasitet. Dette innebærer at den samme mengden energi kan lagres i et litium-ion-batteri som eksempelvis et blybatteri, samtidig som litium-ion-batteriet er vesentlig mindre i størrelse [182].



Figur 11.2: Figuren viser en sammenligning av energitetthet til ulike batterityper. Her er det tydelig at litium-ion-batteriet har en mye høyere lagringskapasitet per volum og vekt enn de andre batteriene. Hentet fra [182].

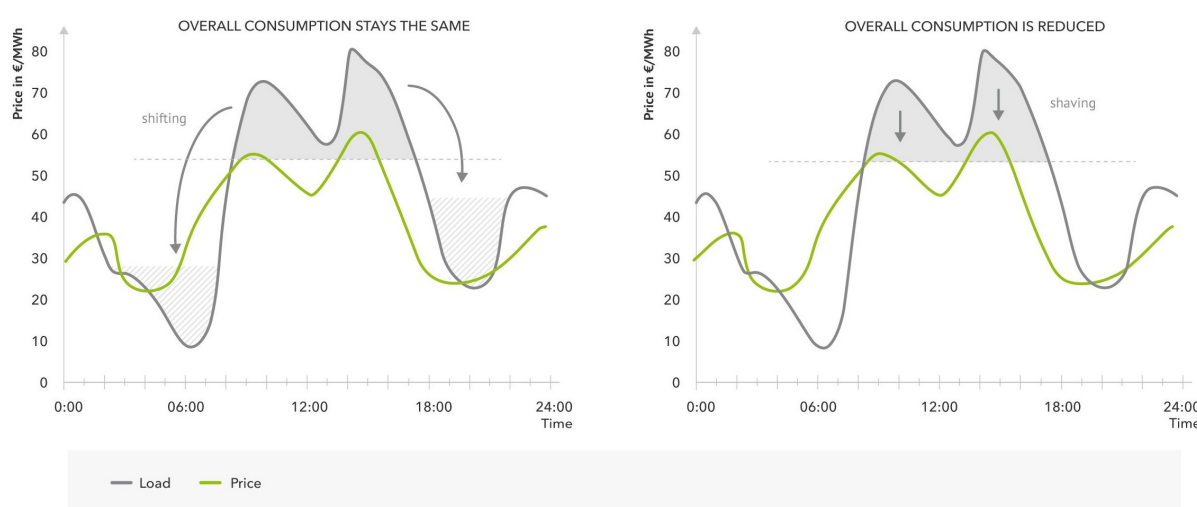
I tillegg til at litium-ion-batteriet er bedre enn flere andre batterityper ved betraktning av deres vekt og størrelse, tåler det også mer enn de fleste andre batterier. Det er mer slitesterkt når det kommer til opp- og utlading, og det tåler flere antall ladinger før kvaliteten reduseres sammenlignet med andre batterityper på markedet. Derfor har litium-ion-batteriet lengre levetid enn for eksempel blybatteriet, noe som gjør litium-ion-batteriet billigere ved vurdering av total kostnaden. Normal levetid på litium-ion-batteri er 1000 til 20 000 ladesykluser avhengig av hva slags oppbygging batteriet har. En ladesyklus defineres som en fullstendig opp- og utlading. Virkningsgraden til et litium-ion-batteri er normalt 90-98% [182, 171].

### 11.3 Anvendelse av batteri

Batterier i kombinasjon med solcelleanlegg har gjort seg stadig mer gjeldende grunnet den økonomiske gevinsten av å lagre egenprodusert strøm. Tidligere ville salg av egenprodusert solenergi gi god avkastning grunnet subsidier. Disse har sunket, og det er derfor mindre økonomisk gunstig å selge strømmen til nettet. Årsaken til dette er at det ved kjøp av strøm fra nettet, påløper spotpris, nettleie og avgifter, mens det ved salg kun selges til spotpris. Av den grunn kan det være mer økonomisk lønnsomt å lagre energien selv, fremfor å selge den til nettet. Dette vil i tillegg være gunstig da det bidrar til effektavlastning av nettet [137].

Batterier kan dessuten benyttes uten å kombineres med solkraftproduksjon, selv om dette er mindre vanlig. Ved å lagre energi i batterier når etterspørselen i nettet er lavt, for så å kunne

benytte denne energien ved effekttopper og høye strømpriser, vil dette resultere i et jevnere effektuttak fra strømmettet. Dette reduserer de høyeste effekttoppene når mange benytter strøm samtidig. Denne metoden kalles peak shaving, eller effektoppkutting på norsk. Det er viktig å være klar over forskjellen mellom peak shaving og lastforskyvning. Lastforskyvning handler til forskjell fra peak shaving om å benytte samme mengde energi, men fordele forbruket jevner i løpet av dagen slik at effekttoppene reduseres samtidig som forbruket resten av dagen blir høyere. Ved peak shaving er målet å redusere effekttoppene ved å forbruke mindre energi i disse periodene [183]. Forskjellen er illustrert i figur 11.3, hvor figuren til venstre illustrerer lastforskyvning og figuren til høyre illustrerer peak shaving. Både egenproduksjon og lagring vil kunne påvirke belastningen i strømmettet.

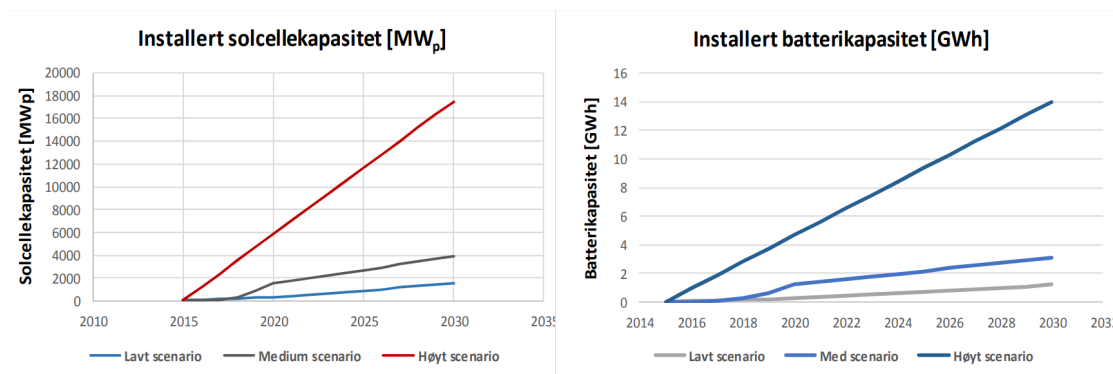


Figur 11.3: Figuren til venstre illustrerer hvordan det totale energiforbruket forblir det samme, men fordeles utover ved lastfordeling. Figuren til høyre illustrerer hvordan det ved peak shaving reduseres effekttopper uten å øke forbruket resten av dagen. Hentet fra [184].

Dersom boligen benytter en elektrisk driven bil, kan dette batteriet fungere som energilagring og forsyne boligen med strøm når det er ønskelig. Denne formen for energilagring kan omtales som V2H, *Vehicle to Home*. Poenget her er at bilbatteriet kan lagre energi enten fra nettet eller fra egenproduksjon, for å forsyne boligen med energi ved et senere tidspunkt. Bilen må imidlertid være tilkoblet et toveis-ladepunkt [185, 186]. Ved vurdering av å benytte bilbatteriet til energiforsyning i bolig må det tas hensyn til at bilen i hovedsak benyttes til kjøring, og at den tilgjengelige kapasiteten til energilagring og forsyning til bolig er noe begrenset [168].

Ved vurdering av batteristørrelse for hjemmebatteri, er batteriets formål av vesentlig betydning. Dersom batterisystemet skal lagre energi over lengre perioder, må kapasiteten være dimensjonert for dette. Vanligvis vil et hjemmebatteri være dimensjonert for å dekke boligens energibehov for en mindre periode, eksempelvis deler av en dag. Alt fra 5 kWh til 30 kWh lagringskapasitet, er relativt normale størrelser for de hjemmebatteriene som nå eksisterer [187, 188, 189]. Markedet er imidlertid forventet å vokse i årene som kommer, og batteri vil trolig bli mer aktuelt i kombinasjon med økt solenergiproduksjon, bedret teknologi og billige løsninger. I kombinasjon

med solcelleanlegg er det vanlig å velge et batteri med dimensjoner tilpasset solcelleanlegget. Normalt kan det antas at batteriet dimensjoneres slik at det for hver installert kWp solkraft, er batteriet dimensjonert med 1 kWh lagringskapasitet [168]. Figur 11.4 gir en illustrasjon av mulig utvikling i installert batterikapasitet i kombinasjon med installert solcellekapasitet mot 2030. Figuren er inndelt i tre mulige scenarier. Lav angir installert solcellekapasitet på 2 GW, medium på 4 GW og høy på 17.4 GW [168].



Figur 11.4: Utvikling i installert batterikapasitet kombinert med installert solcellekapasitet for tre mulige scenarier. Hentet fra [168].

I tillegg til muligheten for batteriinstallasjon i hjemmet, er også nettbatterier i distribusjonsnettet en mulig løsning for å avlaste nettet ved høylastperioder. Dette kan gi økt fleksibilitet i strømmettet, gi bedre utnyttelse og muliggjør også eventuell utsettelse av nettoppgraderinger. Nettbatterier er foreløpig ikke veldig utbredt, men det finnes likevel noen forsknings- og pilotprosjekter. Blant annet har Eidsiva i samarbeid med Tensio plassert ut nettbatterier i Lierne i Trøndelag som et pilotprosjekt. Dette er det første kommersielle nettbatteriet i Norge, og en del av Eidsivas nyutviklede batteritjeneste *Peak Shaper* [190, 191].

## 12 Metode og beregninger

Dette kapitlet omhandler metode og hvordan beregningene er fremskaffet. En grundig litteraturstudie har lagt grunnlaget for relevant teoriinnhenting og redegjøring av teori. Dette gjelder blant annet Energikommisjonens rapport *NOU:2023- Mer av alt raskere*, da denne både er blitt benyttet for relevant teoriinnhenting, samt at den i stor grad aktualiserer oppgavens problemstilling. NVE har også blitt benyttet aktivt som kilde, da det har vært mye relevant teori på deres nettside. Teoridelen har presentert en rekke formler og verdier som videre beregninger i stor grad vil benytte. Alle kilder er referert til underveis i teksten, og finnes i referanselisten. Energiberegningene er utført i programvaren MATLAB. MATLAB er et programmeringsprogram som benyttes for å arbeide med beregninger og simulering av systemer [192]. Det gjennomføres også beregninger i tilknytning til egenproduksjon og lagring i programmet PVsyst. PVsyst er en programvare som kan benyttes til å designe solenergisystemer og energilagring i tilkobling til solkraftsystemet. Dette muliggjør beregninger på reelle situasjoner for å undersøke potensialet til et tenkt system [193].

Forenklinger og antagelser som legger grunnlaget for avgrensninger vil gjennomgående fremlegges. Det er gjennomført beregninger på det totale energibehovet til eksempelboligen med fokus på energibehovet til oppvarming. For å finne varmeeffektbehovet, er varmetapet ut av boligen og energibehovet til oppvarming av varmtvann beregnet. Det er også gjennomført beregninger hvor to typer varmepumpeteknologier er benyttet som oppvarmingskilde, for å undersøke hvordan denne energiomleggingen påvirker det totale elektriske energibehovet til boligen. Energiforbruket er beregnet for byggt tekniske forskrifter gitt i 1969, 1987, 1997, 2010 og 2017. Beregningene tilknyttet egenproduksjon og lagring har tatt utgangspunkt i totalt energiforbruk med luft-luft-varmepumpe som oppvarmingskilde.

Vedlegg A viser MATLAB-koden fra beregninger for TEK-17. Oppsett og fremgangsmåte er tilsvarende for alle standardene, men andre verdier er benyttet. De aktuelle verdiene som brukes henvises til i dette kapitlet. Rapporten som viser resultatene for simuleringen i PVsyst ved TEK-17-forbruk, er gitt i vedlegg B. Det eneste som skiller denne simuleringen fra simuleringene ved de andre standardene, er boligens energiforbruk.

Utgangspunktet for beregningene er en tenkt eksempelbolig. Bakgrunnen for dette valget er blant annet utfordringen med å få tilgang til nødvendig byggt teknisk informasjon fra et eventuelt reelt hus, samtidig som at funnene ved et tenkt scenario i større grad kan generaliseres gitt de aktuelle byggt tekniske kravene. Oppgaven ønsker å fokusere på bygg etter konkrete standarder da målet er å tydelig illustrere hvordan forskjellene i energikrav gitt av de byggt tekniske forskriftene er av betydning for byggets totale energibehov. Dette vil i større grad være mulig ved å benytte eksempelbolig fremfor en reell, da beregningene slavisk kan følge de byggt tekniske kravene.



## 12.1 Boligens lokasjon

Eksempelboligen som oppgaven tar utgangspunkt i, er lokalisert på Hamar. Bakgrunnen for dette valget er at de fleste store byene i Norge er lokalisert i Sør-Norge [194]. Her ligger store byer som Oslo, Bergen, Stavanger, Drammen, Tønsberg og Fredrikstad [195]. Hamar ligger noe lenger nord, men var tenkt å være representativ for en stor del av den norske boligmassen med tanke på klima. Temperaturdataene som legger grunnlaget for beregningene av boligens varmetap er hentet fra *Norsk Klimaservicesenter* sin statistikk, hvor temperaturdata på Hamar-Stavberg (SN-12320) ble valgt som værstasjon. Året 2020 ble valgt, da dette var den nyeste temperaturdataen med fullstendig data for hver time i året [196]. Siden 2020 var et skuddår, ble 29. februar fjernet fra temperaturfilen. Dette valget ble besluttet på grunnlag av at PVsyst ikke godtok et datasett med skuddår, og det ble da tenkt at det var bedre å fjerne en dag fremfor å benytte et ufullstendig datasett fra et annet år.

## 12.2 Boligens utforming

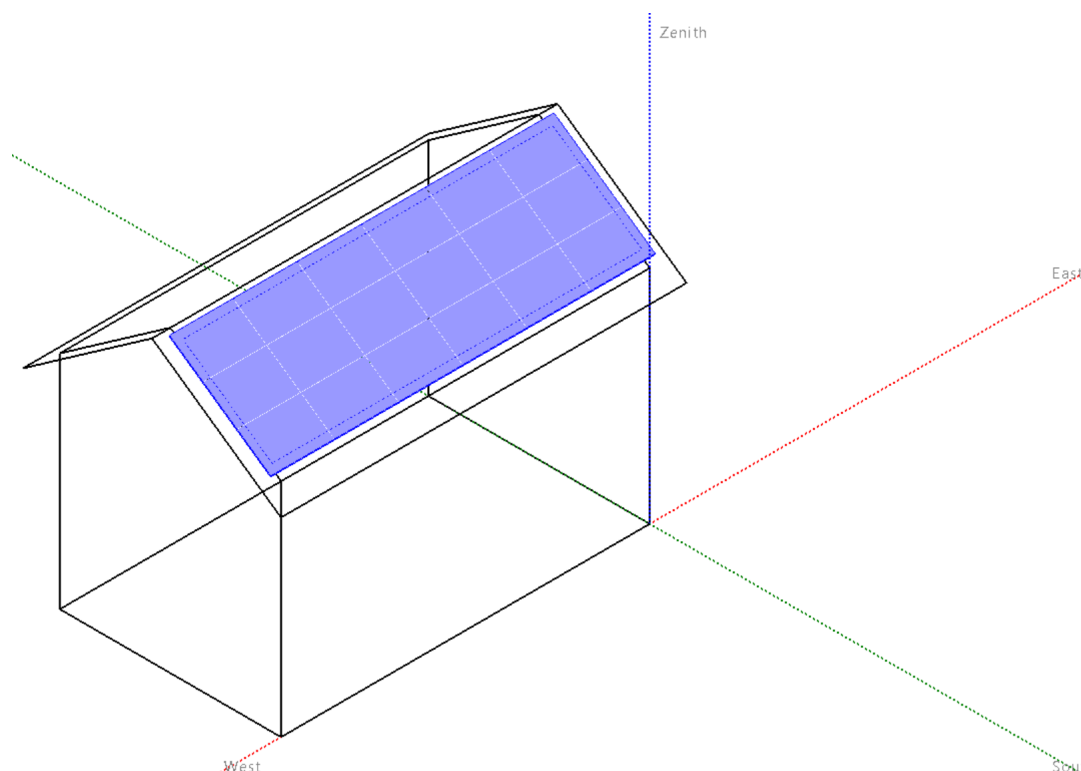
Boligen som benyttes som eksempelbolig for å illustrere hvordan de ulike TEK-kravene og energiltakene påvirker boligens energiforbruk, er av to etasjer med  $60 \text{ m}^2$  i grunnflate, og dermed et bruksareal (BRA) på  $120 \text{ m}^2$ . Hver etasje har en høyde på 2.5 meter. Boligen har sørvendt skråtak med  $35^\circ$  helning, og antas å ligge i et åpent terreng uten noe som skygger for solenergiproduksjon på taket. Det er 2 dører i første etasje, en inngangsdør og en verandadør, begge med areal  $2.10 \text{ m}^2$ . Boligen har totalt 20 vinduer, hver med areal på  $1.2 \text{ m}^2$ .

Byggets mål, samt inne- og utetemperatur, er den samme ved beregninger på de ulike standardene. Det er derfor kun de forskjellige TEK-kravene som bidrar til endringer i energibehovet. Poenget er å tydeliggjøre hva energioppgradering av bolig vil ha å si for byggets totale energibehov. Det finnes feilkilder og usikkerheter knyttet til valgene som er tatt i beregningene, og disse vil bli diskutert i kapittel 14.1, Diskusjon. En skisse av eksempelboligen er vist i figur 12.1.

## 12.3 Generelt om PVsyst og MATLAB

Energiberegningene som gjennomføres i denne oppgaven, utføres i stor grad ved bruk av programvaren MATLAB. Dette gjør det enkelt å oppnå nøyaktighet i beregningene, da det blant annet gjør det mulig å benytte flere temperaturverdier i beregningene. For å øke nøyaktigheten av transmisjons- og ventilasjonstapene, er en temperaturdata for hver time av året blitt benyttet. Ved å benytte verdiene for oppvarmingsbehov i timer per år i videre beregninger, vil sluttresultatet gi økt nøyaktighet og være relativt generaliserbart for en tilfeldig bolig med samme utgangspunkt.

Programvaren PVsyst, blir videre benyttet for beregninger av solenergiproduksjon, samt installasjon av batteri i boligen. Programvaren gjør det mulig å benytte energiberegningene fra MATLAB til videre simulering av egenproduksjon og lagring. PVsyst gjør det mulig å velge



Figur 12.1: Enkel skisse av eksempelboligen

blant en rekke solcellepaneler, batterier og andre systemspesifikke tilpasninger.

## 12.4 Energiberegninger

Energiberegninger for oppvarmingsbehovet i boligen er gjennomført ved å beregne transmisjonstap, ventilasjons- og infiltrasjonstap, samt oppvarming av varmtvann. Deretter er det beregnet energiforbruk ved installasjon av luft-luft- og væske-vann-varmepumpe som oppvarmingskilde.

### 12.4.1 Transmisjonstap

Transmisjonstapet i boligen er funnet ved å benytte formel 8.12. Det er beregnet separate transmisjonstap for vegg, vindu og dør, gulv og tak. Dette er gjort ved å benytte tilhørende areal og u-verdi for hver del, sammen med differansen mellom ønsket innetemperatur og utetemperatur som vist i formelen. Deretter er disse summert til et totalt transmisjonstap for hele boligen. Det er tenkt at begge etasjene skal holde lik temperatur, og det er derfor antatt at det ikke oppstår noe varmetap i innervegger og etasjeskiller, da boligen regnes som et åpent rom.

U-verdier for de forskjellige delene av boligen er hentet fra de ulike byggtekniske forskriftene. De aktuelle u-verdiene er presentert i tabell 5.2. Til tross for at boligen har skråtak, er det i energiberegningene antatt at det innvendige taket er flatt, med et ubenyttet kaldloft over. Dette for å forenkle beregningene. Ettersom at varmetilførselen generert fra elektriske apparater i boligen ikke ble medregnet som en del av oppvarmingen, ble det antatt at det

ved utetemperaturer over 17° C, ikke var behov for ytterligere oppvarming da apparatene var tiltenkt å dekke det resterende varmebehovet. En slik tilnærming ble beskrevet i kapittel 8. I tillegg til denne temperaturkorrigeringen, ble det heller ikke medregnet noe nedkjølingsbehov ved temperaturer som overskrider innnetemperaturen satt til 21° C. Disse kildene til usikkerhet blir diskutert i kapittel 14.6.

#### 12.4.2 Ventilasjonstap

Ved beregning av det totale varmetapet via ventilasjon og infiltrasjon, er formel 8.13 benyttet. For å finne varmeoverføringskoeffisientene for ventilasjon og infiltrasjon som inngår i denne formelen, er formel 8.14 og 8.16 benyttet. Virkningsgraden for varmegjenvinning er satt lik kravet i de ulike byggforskriftene. Varmekapasiteten til luft per volum,  $\rho_a \cdot c_a$ , er  $0.33 \text{ Wh/m}^3$ , som nevnt i kapittel 8.6. For å finne  $n_{inf}$ , som trengs i formel 8.14, er lekkasjetallet  $n_{50}$ , hentet fra TEK-kravene benyttet i formel 8.15. Denne formelen er forenklet, da det er antatt at tilluftsmengden,  $\dot{V}_1$ , og avtrekksluftmengden,  $\dot{V}_2$ , er like store, slik at ventilasjonen kan anses balansert. Dette fører til at leddet hvor disse variablene inngår kan settes lik 0. Da vil alt under brøkstreken i formelen for  $n_{inf}$  være lik 1, og forenklet ligning blir som vist i formel 12.1.

$$n_{inf} = n_{50} \cdot e \quad (12.1)$$

I TEK-10 og -17 er kravet for frisklufttilførselen fra ventilasjon,  $q_{vent}$ , som oppgitt tidligere i kapittel 5.1,  $1.2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ . Dette tallet multipliseres med boligens areal for å få ventilasjonstallet i riktig enhet,  $\text{m}^3/\text{h}$ . For TEK-97 er kravet som nevnt i samme kapittel,  $0.5 \text{ h}^{-1}$  (luftvekslinger i timen). Dette er fra andre utgave av TEK-97 utgitt i 1999. Dette tallet blir i beregningene multiplisert med volumet av boligen, for å få  $q_{vent}$  i enhet  $\text{m}^3/\text{h}$ .

I TEK-87 og -69 er det ikke fastslått krav til frisklufttilførsel for ventilasjon. Det er her forsøkt å innhente data fra boliger bygget i disse periodene, for å finne tall som kan benyttes i beregningene. Dette gir derfor grunnlag for usikkerhet i beregningene, og er en feilkilde som vil bli diskutert i kapittel 14.3. I en studie utført i Oslo på 344 boliger, er det kommet frem til resultater for det totale luftvekslingstallet for boligene. Her er det målt totalt luftskifte for infiltrasjon og ventilasjon kombinert. I boliger bygget mellom 1966 og 1987, ligger verdiene på omtrent  $0.65 \text{ h}^{-1}$ , mens boliger bygget mellom 1988 og 1993 har verdier på omtrent  $0.75 \text{ h}^{-1}$  [197].

Tabell 12.1 gir en oversikt over hvilke verdier for ventilasjon og infiltrasjon som er benyttet ved de ulike standardene. For å presisere er det for TEK-87 og -69 benyttet et samlet ventilasjonstall basert på studiene beskrevet over, ettersom at studiene oppga samlede verdier for ventilasjon og infiltrasjon.

Tabell 12.1: Lufttilførsel,  $q_{vent}$ , regnet om til enhet som benyttes i utregning, og infiltrasjonsraten,  $n_{inf}$ , omregnet fra  $n_{50}$  med formel 12.1

|            | TEK 17 | TEK 10 | TEK 97 | TEK 87 | TEK 69 | Enhet                        |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------------|
| $q_{vent}$ | 144    | 144    | 150    | 225    | 195    | $\left[\frac{m^3}{h}\right]$ |
| $n_{inf}$  | 0.042  | 0.175  | 0.175  | -      | -      | $[h^{-1}]$                   |

### 12.4.3 Energibehov tappevannsoppvarming

For å beregne energibehovet til varmtvann i boligen, er formel 8.17 benyttet. For å finne varmtvannsbehovet i liter, er det i formel 8.18 antatt at det bor 4 personer i boligen med et forbruk på 80 liter hver per dag. Dette forbruket er beregnet for 365 dager. Varmtvannstemperaturen,  $T_v$ , er satt til 70° C slik anbefalt gitt i kapittel 8.6. Temperaturen til det kalde vannet inn i boligen,  $T_k$  er satt til 5° C. Varmekapasiteten,  $C_p$ , er brukt for gjennomsnittstemperaturen mellom kaldt og varmt vann, som blir 37.5° C og tilsvarer 310,65 K. For å finne varmekapasiteten for denne temperaturen, er det interpolert mellom verdier for 300 K og 325 K fra tabell hvor egenskapene til vann er hentet ut [94]. Varmekapasiteten er dermed 4.18 kJ/kg · K. Tilsvarende beregning ble utført for å finne riktig tetthet for vann, som ble 992.50 kg/m<sup>3</sup> [94]. Det er antatt at varmtvannsforbruket er likt for alle eksemplene, da disse er beregnet i nåtid og med samme brukeratferd.

### 12.4.4 Varmepumpe

Etter at energibehov til oppvarming ble beregnet, ble det sett på hvor mye elektrisk energi som brukes av varmpumpen til å levere nødvendig varmemengde. For å sammenligne strømforbruk med og uten varmpumpe, er det antatt at all oppvarming i utgangspunktet dekkes av en elektrisk panelovn med virkningsgrad tilnærmet 100 %. På denne måten er det mulig å undersøke hvor mye av det elektriske energibehovet som kan reduseres ved å benytte varmpumpe til oppvarming fremfor panelovn. For å beregne strømforbruket en varmpumpe trenger for å generere nødvendig varmemengde, er formel 7.1 benyttet, men snudd slik vist i formel 12.2. Det er dermed beregnet den elektriske effekten varmpumpen trenger. Oppvarmingsbehovet for hver time av året er benyttet, samt effektfaktor for disse timene. Det antas at den samme varmpumpen vil kunne dekke oppvarming i begge etasjene i boligen, da boligen vurderes som et åpent rom uten innervegger og etasjeskiller.

$$\text{Elektrisk effekt} = \frac{\text{Oppvarmingsbehov}}{\text{Effektfaktor}} \quad (12.2)$$

I beregningene ble det først benyttet en luft-luft-varmpumpe, hvor modellen *Toshiba Daiseikai 9s 25* ble valgt [198]. Denne luft-luft-varmpumpen ble valgt da den har energimerke A<sup>+++</sup>, i tillegg til at pumpen var blant de kraftigste varmpumpene til leverandøren. Fra varmpumpens produktblad ble nødvendig informasjon som effektfaktor for ulike temperaturer hentet ut. For å finne effektfaktorene for temperaturene gjennom året, er de kjente COP-verdiene interpolert med

de aktuelle temperaturene. På denne måten genereres en vektor med effektfaktor for hver time av året. Siden en luft-luft-varmepumpe kun dekker romoppvarming, er det kun energibehovet til romoppvarming denne kan erstatte.

Videre ble det sett på effekten av å installere en væske-vann-varmepumpe. Det er da benyttet en *CTC GSi 612* varmepumpe [199]. Nødvendig informasjon ble hentet fra produktbladet. Siden en slik varmepumpe benyttes i forbindelse med geotermisk energi, antas det at temperaturen under bakken vil være relativt konstant i løpet av året, slik beskrevet i kapittel 9.2. Derfor er det for denne varmepumpen beregnet et totalt årlig energibehov, hvor årsvarmefaktoren, *SCOP*, er benyttet. Det er da benyttet årsvarmefaktoren for kaldere klima. Denne var på 5.3. *SCOP*-faktoren ble benyttet da SPF ikke var oppgitt. Usikkerheten rundt dette diskuteres i kapittel 14.5. Samme formel som ved luft-luft-varmepumpe er benyttet, men for væske-vann-varmepumpen ble totalt varmeeffektbehov beregnet, det vil si elektrisitetsforbruket for både romoppvarming og varmtvann.

Det er kontrollert for begge varmepumpene at høyeste etterspørsel av varmeeffekt ikke overskrider varmepumpenes kapasitet.

#### 12.4.5 Totalt energibehov

For å beregne et totalt elektrisk energiforbruk, slik at simuleringen av solkraftproduksjon kombinert med hjemmebatteri ble mest mulig reell, ble det totale elektriske energibehovet beregnet med bakgrunn i oppvarmingsbehovet. Det ble gjort et enkelt anslag for det resterende elektriske energiforbruket som ikke går til rom- og tappevannsoppvarming. Dette ble beregnet med bakgrunn i en typisk fordeling av strømforbruk som nevnt i kapittel 6.1, hvor statistikken viser at 34 % av et totalforbruk på 27 000 kWh i en typisk enebolig på 120 m<sup>2</sup> går til annet elektrisk forbruk. Det er antatt at dette forbruket ikke varierer mellom de byggtekniske standardene, da det i utgangspunktet er varmeeffektbehovet som endres ved kravene. Det er derfor antatt at forbruket til elektriske apparater er konstant, og er blitt beregnet til 34 % av 27 000 kWh. Dette tilsvarer 9180 kWh årlig. Denne verdien er lagt til oppvarmingsbehovet for å finne boligens totale elektrisitetsbehov, og er tilsvarende for alle de byggtekniske forskriftene. Det er det totale elektrisitetsbehovet med luft-luft-varmepumpe som er benyttet i PVsyst. Diskusjon rundt dette valget gis i kapittel 14.6.

Som nevnt i kapittel 4.1, varierer strømforbruket i løpet av et døgn ut fra når det lages mat, varmtvann brukes og når diverse elektriske apparater benyttes. I alle beregningene som hittil er blitt forklart, er den eneste variasjonen i forbruket forårsaket av varierende utetemperatur, og dette berører kun forbruket til romoppvarming. Etersom at både varmtvannsforbruket og forbruket til elektriske apparater er beregnet som et totalforbruk for året, ble timesvektoren for disse kun bestående av gjennomsnittlig timesverdi for forbruket. Dette er ikke representativt i virkeligheten. Dersom en slik tilnærming hadde blitt benyttet, ville resultatene fra solsimuleringen ikke blitt helt representative når forbruket skal benyttes inn mot solproduksjon

og batterilagring, hvor det er av vesentlig betydning hvilke timer forbruket inntreffer.

Det er derfor gjort et forsøk på å innhente data for en gjennomsnittlig lastfordeling for enebolig. Det ble funnet mye informasjon om fordeling av forbruket i form av grafer, men det ble ikke funnet noe talldata som kunne benyttes til beregning. Siden lastfordelingen med effekttopper morgen og kveld anses som nødvendig for å få ut resultater som er overførbare til virkeligheten, ble det benyttet forbruksdata fra egen bolig på Innlandet, omtrent 1 time nord for Hamar. Husholdningen har ikke elbil. Det er fordelingen av husstandens energiforbruk som er av interesse, og er det som er benyttet for å generere eksempelboligens døgnfordeling. Vær oppmerksom på at denne døgnfordelingen ville vært enda mer representativ dersom forbruksdataen hadde vært innhentet fra flere boliger og fremstilt som en gjennomsnittlig lastfordeling. Det antas at boligen dataen er hentet fra har en relativt normal fordeling av energiforbruket i løpet av døgnet, da beboerne har et normalt forbruksmønster.

Totalt 12 døgn er benyttet for å hente ut forbruksdata for denne boligen, hvorav 6 døgn i februar, og 6 døgn i august. Alle dagene representerer ukedager. Det er funnet et gjennomsnittlig forbruk for hver time i døgnet for dagene i februar og august hver for seg. Deretter er det regnet ut en faktorfordeling av forbruket for hver av månedene, ved å benytte gjennomsnittsverdiene og dividere disse på totalt gjennomsnittlig døgnforbruk. Det er da beregnet andeler av totalt døgnforbruk for hver time av døgnet for de to månedene separat. Til slutt ble det beregnet en gjennomsnittlig faktorfordeling med bakgrunn i disse to faktorfordelingene. Resultatet av dette er et anslag for hvor stor andel av det totale døgnforbruket som brukes hver time av døgnet.

Denne utregneede faktorfordelingen for forbruket ble deretter multiplisert med det beregnede elektriske totalforbruket for å generere en representativ døgnfordeling. Det er brukt den samme døgnfordelingen for alle dager i året, noe som ikke er helt reelt. Dette blir diskutert i kapittel 14.8.

## 12.5 Simulering av solcelleanlegg og energilagring

For simuleringen i PVsyst er det først valgt lokasjon, som er den samme som for de tidligere beregningene. Her bruker programmet værdata med solstatistikk for perioden 1991 til 2010. Denne statistikken er månedlig, men gjøres om av PVsyst til det som kalles *syntetisk timesvise data*.

For simuleringen i PVsyst, er det installert solcellepaneler på den sørvendte delen av taket. Dette tilsvarer omtrent  $35 \text{ m}^2$  solcelleareal. Solcellepanelet er lagt rett på taket, slik at de ligger i samme vinkel som taket,  $35^\circ$ . Denne vinkelen er  $10^\circ$  lavere enn hva PVsyst anser som optimalt for høyest mulig årsproduksjon. Solcellepanelet som er valgt til boligen, er av typen REC410AA Pure-R, og er en heterojunction, HIT, solcelle med 410 Wp effekt og 21.2 % virkningsgrad. Panelet er arealeffektivt, og har en høy effekttetthet sammenlignet med andre paneler [200].

Panelene installeres i 2 serier (strenger) med 9 paneler i hver serie, totalt 18 solcellepaneler.

Dette gir et 7.4 kWp solkraftanlegg. Vekselretteren som er valgt til anlegget er en Growatt New Energy modell 7000TL3-X, som er en 7 kW vekselretter [201]. Denne er valgt fordi den er tilgjengelig på det norske markedet, samt at størrelsen samsvarer bra med effekten solkraftanlegget produserer. Den er dimensjonert til å være såvidt lavere enn nominell effekt til solanlegget, med størrelsesforhold på 1.05 mellom solcelleeffekt og vekselrettereffekt. Dette størrelsesforholdet er det PVsyst anser som riktig, da det var denne størrelsen på vekselretter det var mulig å gå videre med i simuleringen. Den ligger også innenfor forholdet 1 til 1.2 som er vanlig å benytte for å optimalisere ytelsen til anlegget [110, 202, 203].

Det beregnede energiforbruket til boligen legges deretter inn i PVsyst med timesoppløsning slik beskrevet tidligere. Dette ble gjort for alle byggestandardene. Energiforbruket med varmepumpe er det som benyttes ettersom at det er sannsynlig å installere varmepumpe før det vurderes å installere solcelleanlegg på taket.

Da forbruket til boligen var lagt inn i programmet, ble batteri valgt. Det er her valgt et batteri av typen *Tesla Powerwall 2* med 10.8 kWh lagringskapasitet ved 80 % utnyttelse (DoD) av batteriet. Virkningsgraden til batteriet er på 90% [188]. Etter samtale med veileder, førsteamanuensis Jacob J. Lamb den 18.april 2023, ble dette vurdert til å være tilstrekkelig størrelse på batteri til den aktuelle solcelleinstallasjonen. Batteristørrelsen samsvarer også med teori om dimensjonering av hjemmebatteri gitt i kapittel 11.3.

Etter alt var valgt og designet som ønsket, kunne simuleringen i PVsyst kjøres, slik at resultatene ble fremstilt.

## 13 Resultater

I dette kapitlet vil resultater fra beregninger beskrevet i kapittel 12, Metode og beregninger, presenteres. Beregninger gjennomført i MATLAB for boligens energibehov presenteres først. Deretter blir resultater i tilknytning til solenergiproduksjon og lagring beregnet i PVsyst presentert. Det er valgt å kun presentere grafer fra beregninger ved TEK-69 og -17. Dette er fordi batteristørrelse og solproduksjonen er tilsvarende for alle TEK-kravene, og det vil kun være forbruket som varierer mellom standardene. TEK-69 og -17 vil dermed illustrere ytterpunktene av standardene.

### 13.1 Energiberegninger

Tabell 13.1 inneholder en oversikt over de ulike delene av totalt varmeeffektbehov i boligen ved de ulike TEK-standardene, og hvor mye hver av disse utgjør. Transmisjonstapet og ventilasjonstapet utgjør til sammen byggets energibehov til romoppvarming. Energiforbruket til varmtvann er satt til samme verdi for alle TEK-standardene slik beskrevet i metoddelen. Til sammen utgjør energiforbruket til romoppvarming og varmtvann byggets totale varmeeffektbehov.

Tabell 13.1: Ulike elementer av varmeeffektbehov. Oppgitt i kWh/år

| Varmeeffektbehov            | TEK-69 | TEK-87 | TEK-97 | TEK-10 | TEK-17 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Transmisjonstap             | 22 168 | 13 741 | 10 258 | 6600   | 6600   |
| Ventilasjonstap             | 7775   | 8972   | 8074   | 3242   | 1651   |
| Energiforbruk romoppvarming | 29 943 | 22 713 | 18 333 | 9842   | 8251   |
| Energiforbruk varmtvann     | 8750   | 8750   | 8750   | 8750   | 8750   |
| Totalt varmeeffektbehov     | 38 693 | 31 462 | 27 082 | 18 591 | 17 000 |

Videre er det valgt å fremlegge reduksjonspotensial for de eldre TEK-standardene opp mot TEK-17. Dette er valgt fremlagt som prosent, for å enklere illustrere forskjellene mellom reduksjonspotensialene. Disse prosentene er beregnet ut fra presenterte resultater.

Reduksjonspotensialet for varmeeffektbehovet for de ulike TEK-kravene opp mot TEK-17, kan være av interesse å sammenligne. For TEK-69 er reduksjonspotensialet opp mot TEK-17, 72.4 %. Ved TEK-87 og TEK-97 er derimot verdiene litt lavere, med henholdsvis 63.7 % og 55.0 %. Verdien til ventilasjonstapet for TEK-87 er høyere enn tilfellet for TEK-69. Dette vil bli diskutert i kapittel 14, og vil til en viss grad være av betydning for reduksjonspotensialet mot TEK-17. Disse reduksjonspotensialene er relativt høye sammenlignet med TEK-10, som har et reduksjonspotensial på 16.2 %.

Det kan også være interessant å undersøke forholdene mellom energiforbruket knyttet til varmtvann opp mot romoppvarming for å illustrere hvordan energiforbruket til varmtvann er av økt betydning for byggets totale varmeeffektbehov i bygg med god energistandard. For TEK-69 og TEK-87 utgjør varmtvannsoppvarming henholdsvis 22.6 % og 27.8 %. For TEK-97 er andelen også relativt lav med 32.3 %. For TEK-10 og -17 hvor varmetapet ved transmisjon er begrenset, utgjør varmtvannsoppvarmingen henholdsvis 47.1 % og 51.5 %.



En oversikt over hvor mye energi en luft-luft-varmepumpe krever og strømmen spart ved de ulike TEK-standardene er gitt i tabell 13.3. Siste kolonne i tabellen angir byggets totale elektrisitetsforbruk ved benyttelse av varmepumpe. Disse verdiene er benyttet ved beregninger på egenproduksjon og lagring. Totalt elektrisitetsbehovet uten varmepumpe gis i tabell 13.2.

Det kan også være interessant å trekke frem varmeeffektbehovet opp mot byggets totale energiforbruk uten installasjon av varmepumpe. Byggets totale elektrisitetsbehov inkluderer varmeeffektbehovet og andre elektriske apparater som er konstant for alle standardene, satt til 9180 kWh. For TEK-17 vil varmeeffektbehovet utgjøre 64.9 % av byggets totale energibehov. Ved TEK-10 og -97 ligger disse andelene på henholdsvis 66.9 % og 74.7 %. TEK-87 og -69 har de største andelene med henholdsvis 77.4 % og 80.8 %

Tabell 13.2: Elektrisitetsforbruket til eksempelboligen ved de ulike standardene, uten varmepumpe. Oppgitt i kWh/år

|                             | TEK-17 | TEK-10 | TEK-97 | TEK-87 | TEK-69 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Totalt elektrisitetsforbruk | 26 180 | 27 771 | 36 262 | 40 642 | 47 873 |

Tabell 13.3: Oversikt over energieresultatene for luft-luft-varmepumpe. Oppgitt i kWh/år

|        | Totalt tilført elektrisitet | Spart elektrisitet | Totalt elektrisitetsforbruk |
|--------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| TEK-17 | 1561                        | 6690               | 19 490                      |
| TEK-10 | 1862                        | 7980               | 19 791                      |
| TEK-97 | 3468                        | 14 865             | 21 398                      |
| TEK-87 | 4297                        | 18 416             | 22 226                      |
| TEK-69 | 5665                        | 24 279             | 23 594                      |

Tabell 13.4 presenterer resultater i tilknytning til væske-vann-varmepumpe. Tabellen inneholder verdier for mengde tilført og spart energi ved rom- og tappevannsoppvarming ved væske-vann varmepumpe som oppvarmingskilde. På tilsvarende måte som i tabell 13.3, angis også totalt elektrisitetsforbruk til boligen ved bruk av væske-vann-varmepumpe i siste kolonne.

Tabell 13.4: Oversikt over energieresultatene for væske-vann-varmepumpe. Oppgitt i kWh/år

|         | Totalt tilført elektrisitet | Spart elektrisitet | Totalt elektrisitetsforbruk |
|---------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| TEK- 17 | 3208                        | 13 793             | 12 388                      |
| TEK- 10 | 3508                        | 15 084             | 12 688                      |
| TEK- 97 | 5110                        | 21 972             | 14 290                      |
| TEK- 87 | 5936                        | 25 526             | 15 116                      |
| TEK- 69 | 7301                        | 31 392             | 16 481                      |

Energireduksjonen ved å benytte væske-vann-varmepumpe er tilsvarende for alle TEK-kravene, og beregnet til 81.1 %. For luft-luft-varmepumpen er reduksjonen tilsvarende væske-vann-varmepumpen. Det er her viktig å være oppmerksom på at væske-vann-varmepumpen dekker en større andel av byggets totale energibehov da denne til forskjell fra luft-luft-varmepumpen også sørger for varmtvannsoppvarming. Dersom reduksjonspotensialet for luft-luft-varmepumpe skulle blitt sammenlignet med væske-vann-varmepumpe, måtte luft-luft-beregningene inkludert energibehovet til varmtvannsoppvarming. Dette gir resultatene presentert i tabell 13.5. Det

er her tydelig at væske-vann-varmepumpe gir høyest energireduksjon totalt, men at luft-luft-varmepumpe også er av betydning for reduksjon av byggets totale varmeeffektbehov.

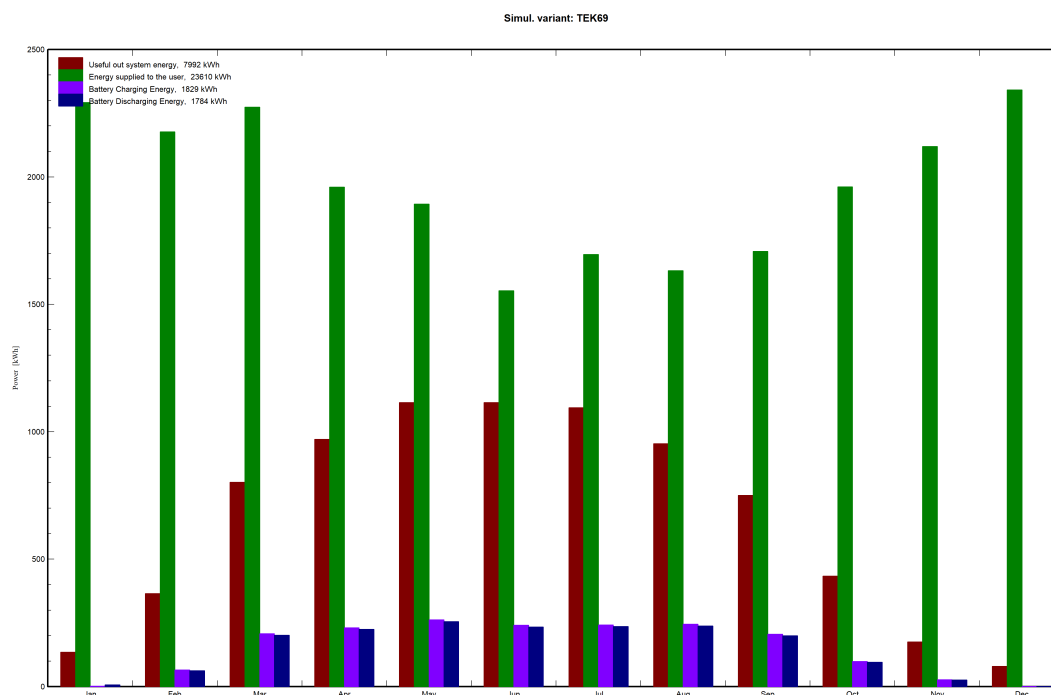
Tabell 13.5: Reduksjonspotensial av totalt varmeeffektbehov ved luft-luft-varmepumpe

|                     | TEK-17 | TEK-10 | TEK-97 | TEK-87 | TEK-69 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Reduksjonspotensial | 39.4 % | 42.9 % | 54.9 % | 58.5 % | 62.7 % |

## 13.2 Egenproduksjon og lagring

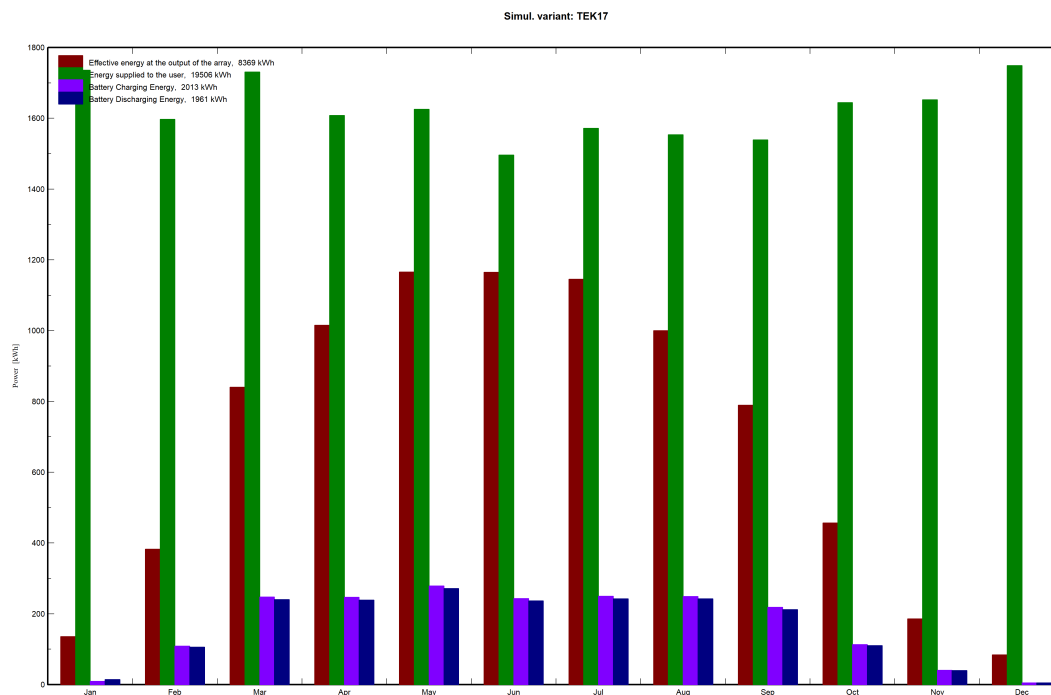
Resultatene fremskaffet i PVsyst blir her presentert. Verdiene for byggets energiforbruk ved standardene er basert på det totale energiforbruket ved installasjon av luft-luft-varmepumpe, gitt i tabell 13.3. Figurene som presenteres er generert på bakgrunn av energisituasjonen for TEK-69 og -17, da disse illustrerer ytterpunktene ved standardene. Grafene fremskaffet i PVsyst er av noe dårlig visuell kvalitet. Det var ikke mulig å forstørre skrift og akseverdier, i tillegg til at det ikke var mulig å endre farge og tykkelse på grafene. Derfor er det etter beste evne forsøkt å gi en tilstrekkelig forklaring av innholdet i grafene.

Batteriet valgt til beregninger vil fullades på halvannen time under perfekte solforhold. Under gjennomsnittlig forbruk vil dette batteriet lades ut på 4.9 timer, mens det ved maks last lades ut på 2.5 timer. Det er ikke tatt hensyn til noen makseffekt for lading eller utlading av batteriet, noe som kunne vært lurt med tanke på slitasje og batteriets levetid.



Figur 13.1: Fordelingen av totalt energiforbruk, egenproduksjon og lagring for TEK-69 gjennom året.

Figur 13.1 og 13.2 illustrerer hvordan energibehov, egenproduksjon og lagring utvikler seg gjennom året for henholdsvis TEK-69 og -17. Y-aksen angir effekt i kWh, og x-aksen angir



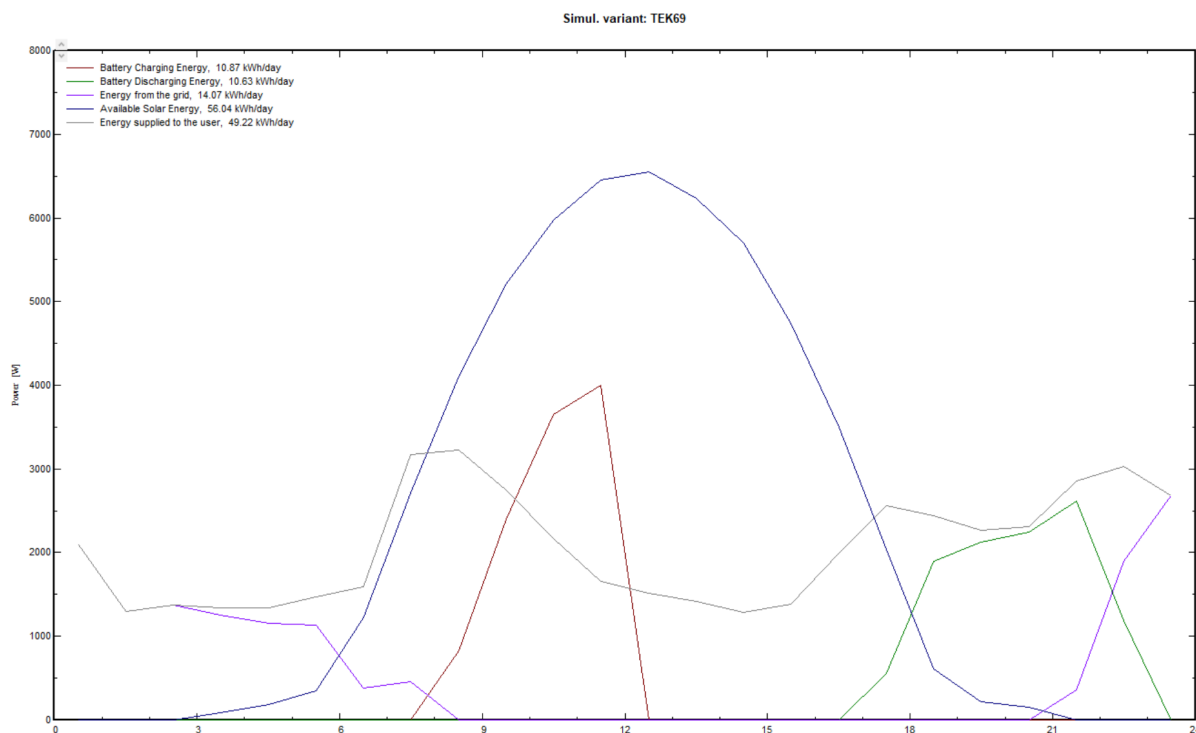
Figur 13.2: Fordelingen av totalt energiforbruk, egenproduksjon og lagring for TEK-17 gjennom året.

månedene. Vær oppmerksom på at skaleringen på y-aksen ved de to grafene er forskjellig, hvorav figur 13.1 har høyere verdier på y-aksen enn figur 13.2. De grønne stolpene indikerer byggets totale energiforbruk for hver måned av året. Tilgjengelig energi fra solkraftproduksjonen er illustrert ved røde stolper. De lilla og blå stolpene angir henholdsvis opp og utlading av batteriet.

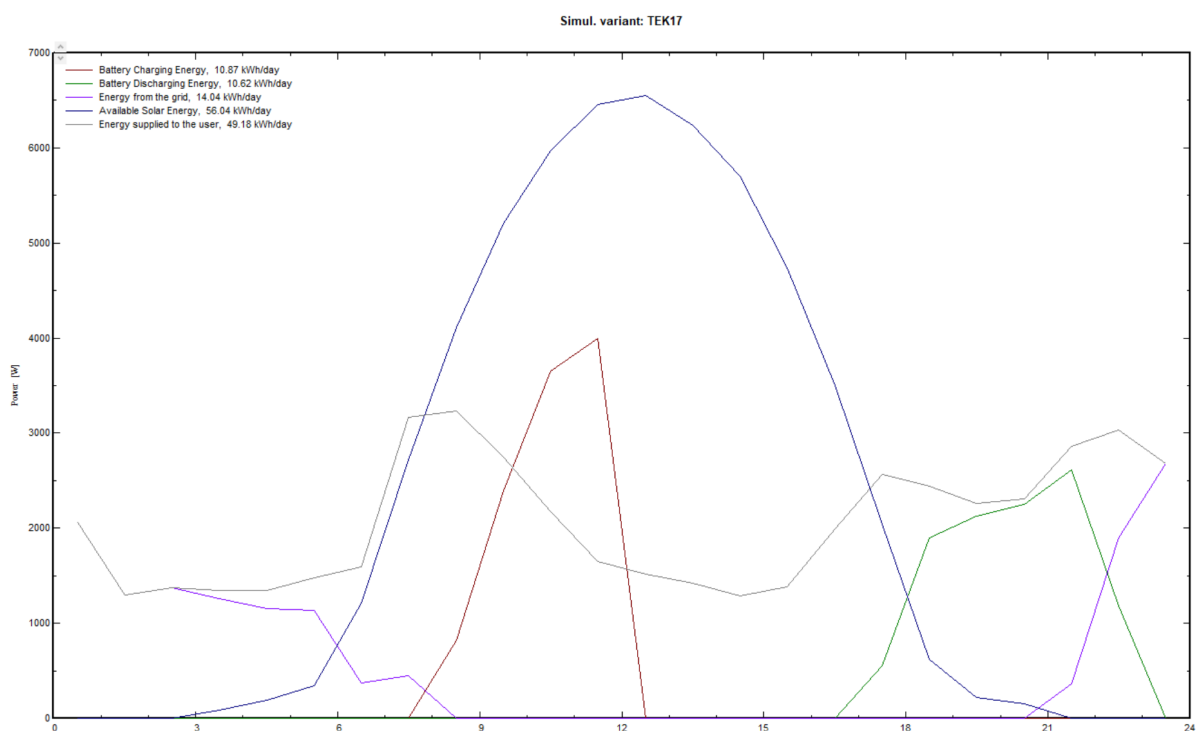
Figurene 13.3 og 13.4 illustrerer hvordan energiforbruket, egenproduksjonen og lagringen varierer i løpet av en sommerdag. Y-aksene angir effekt i Wh, og x-aksen i timer. Denne døgnfordelingen er generert av PVsyst med datagrunnlag fra timesverdier beregnet i MATLAB, samt temperatur- og soldata fra den 19.juni. Dagen var optimal for solproduksjon, illustrert ved den mørkeblå grafen. Solenergiproduksjonen og lagringen vil være av samme størrelsesorden for begge grafene. Den røde grafen illustrerer perioden hvor batteriet lades opp, og den grønne illustrerer utladingen. Her vil utladingen kunne variere mellom TEK-69 og -17 med bakgrunn i deres forskjellige energiforbruk. De grå grafene illustrerer fordelingen i forbruket gjennom dagen. Den lilla grafen angir energien som trekkes fra nettet.

I likhet med de to forrige figurene, viser figur 13.5 og 13.6 energi trukket fra nettet, tilgjengelig solenergiproduksjon og opp og utlading av batteriet. Forskjellen er at disse figurene også illustrerer hvordan overproduksjon av energi sendes ut på nettet etter oppladingen av batteriet, gitt ved den lilla grafen.

Hvordan energisituasjonen for boligen kan se ut en vinterdag, er vist i figur 13.7 og 13.8. Disse viser hvordan fordelingen var den 19. januar, basert på samme informasjon gitt ved figur 13.3 og 13.4. Her angir den grå grafen strømforbruket. Vær oppmerksom på skaleringen av y-aksen,

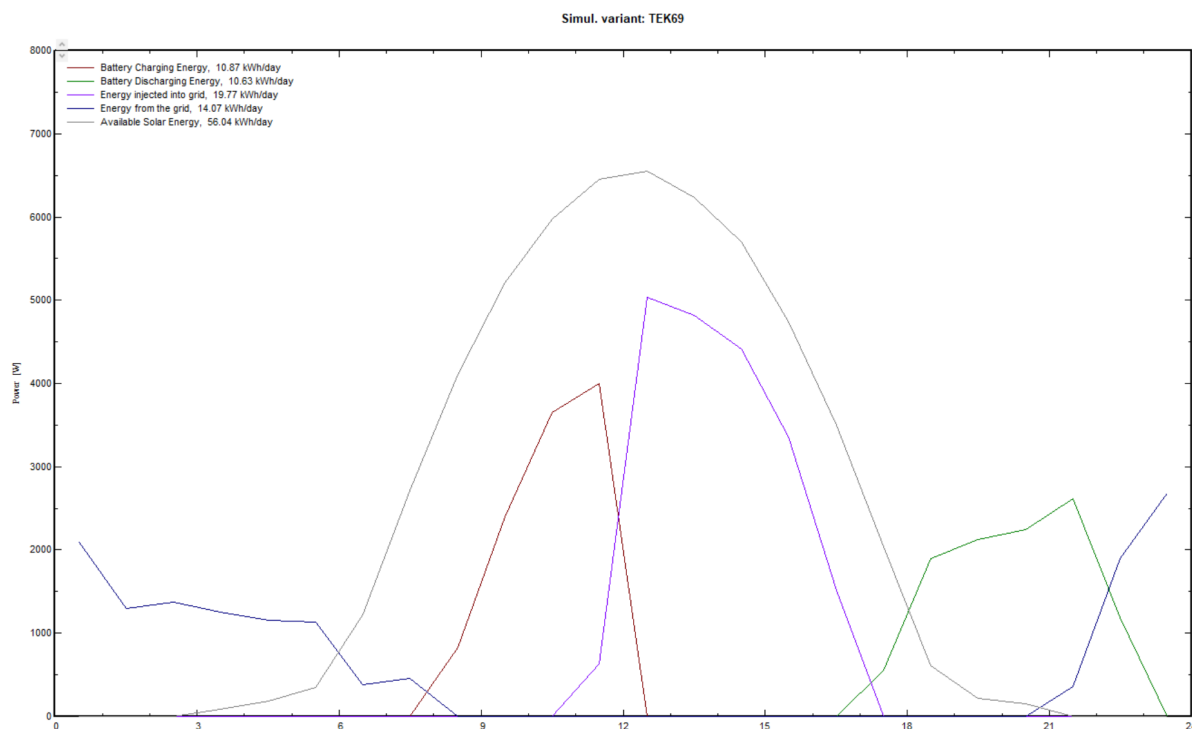


Figur 13.3: Døgnfordeling av energiforbruk, egenproduksjon og lagring på sommeren den 19.juni ved TEK-69 standarden.

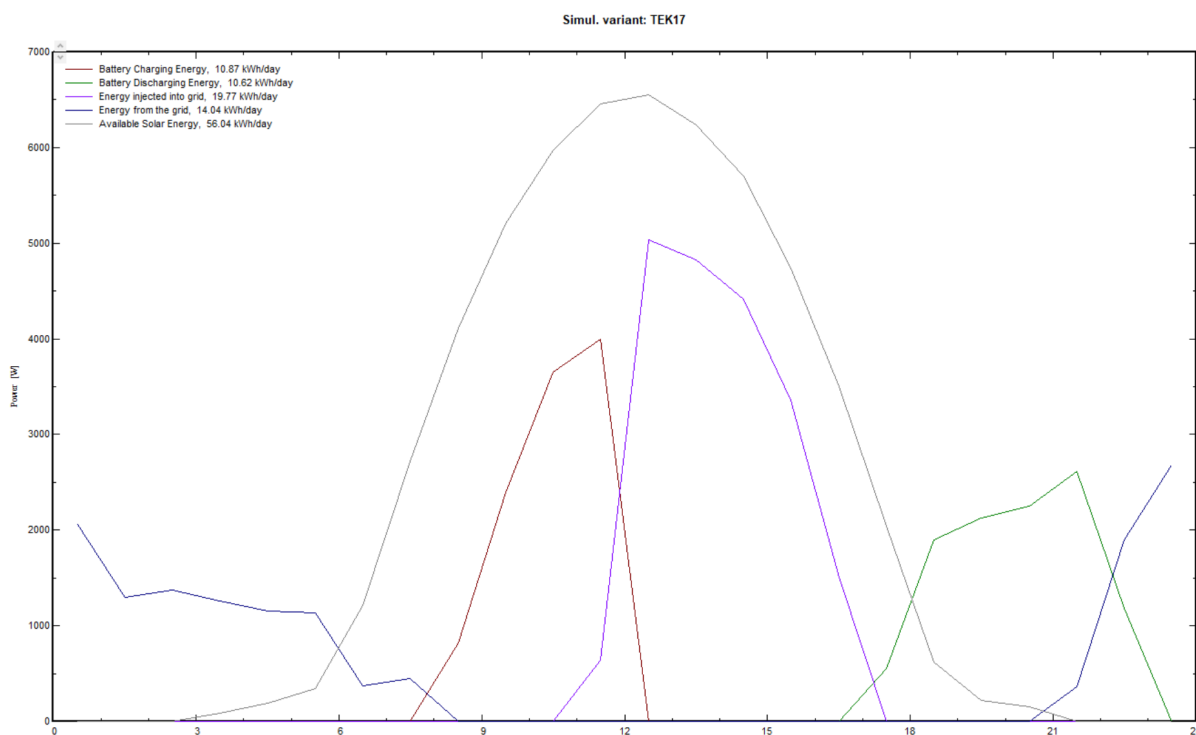


Figur 13.4: Døgnfordeling av energiforbruk, egenproduksjon og lagring på sommeren den 19.juni ved TEK-17 standarden.

hvorav det for TEK-69 er en noe høyere skalering enn for TEK-17. Den lille grafen illustrerer hvordan behovet for strøm fra nettet synker etter hvert som det produseres solenergi midt på dagen. Batteriet blir også noe oppladet i den lille perioden hvor solproduksjonen overskrider

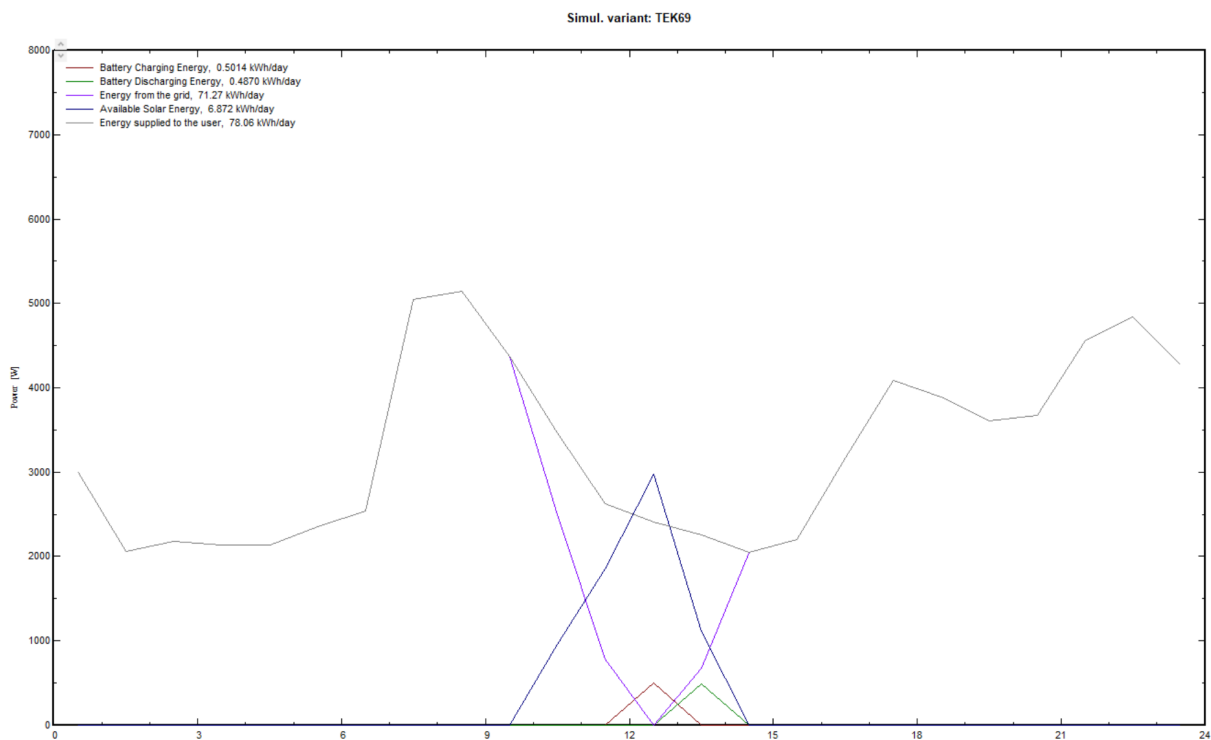


Figur 13.5: Døgnfordeling og hvordan overproduksjon sendes tilbake til nettet ved fulladet batteri på sommeren den 19.juni for TEK-69.

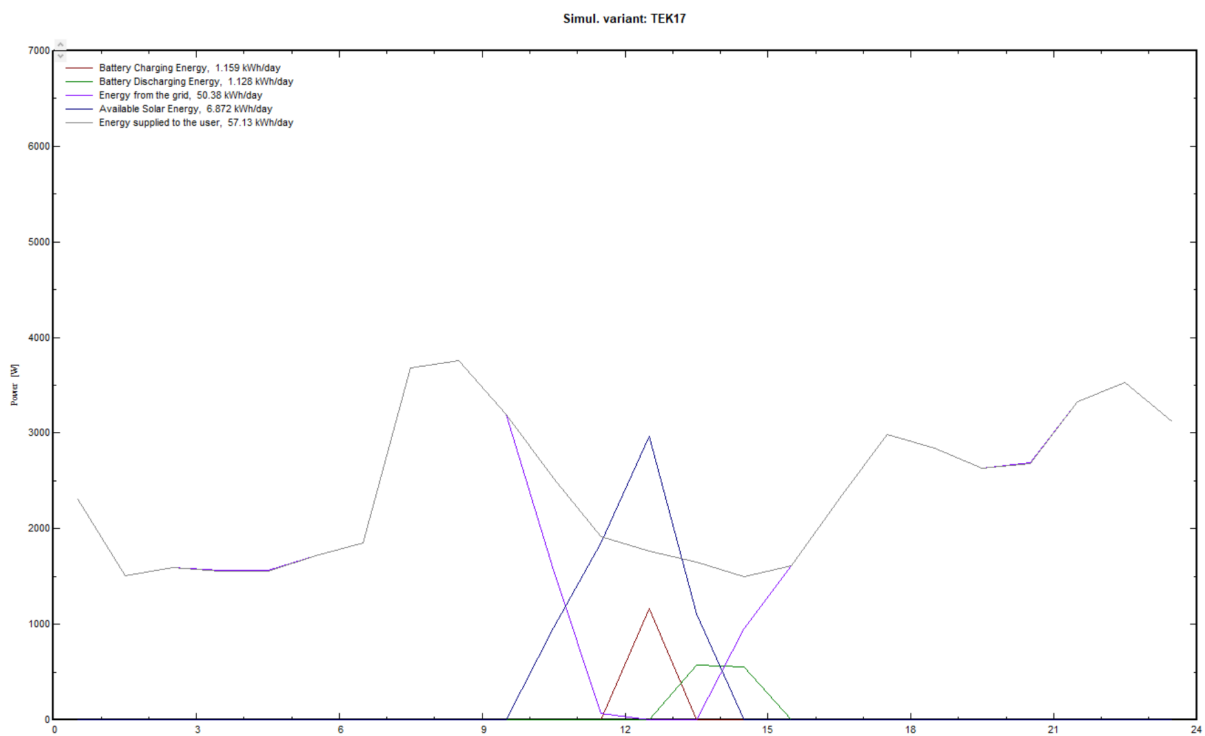


Figur 13.6: Døgnfordeling og hvordan overproduksjon sendes tilbake til nettet ved fulladet batteri på sommeren den 19.juni for TEK-17.

forbruksnivået, gitt ved rød graf. Samtidig begynner utladningen av batteriet for å etterkomme energietterspørselen gitt ved grønn graf, samtidig som nettet må bidra med tilførsel av energi.



Figur 13.7: Døgnfordeling som illustrerer energietterspørsel, egenproduksjon og lagring på vinteren den 19.januar for TEK-69.



Figur 13.8: Døgnfordeling som illustrerer energietterspørsel, egenproduksjon og lagring på vinteren den 19.januar for TEK-17.

## 14 Diskusjon

Dette kapitlet har til hensikt å diskutere resultatene gitt i kapittel 13, og knytte dette opp mot teorien presentert tidligere i oppgaven. Underveis i diskusjonen vil også mulige feilkilder og usikkerhetsmomenter bli diskutert. For å lettere kunne sammenligne resultatene for de respektive TEK-kravene, vil diskusjonen fokusere på separate deler av beregningene, på tilsvarende måte som i kapittel 12, Metode og beregninger. Diskusjonen inneholder også vurderinger av hvordan avgrensingene gitt i metodekapitlet er av betydning for resultatene.

### 14.1 Byggets utforming og lokasjon

Bakgrunnen for valg av eksempelbolig fremfor en reell bolig, ble gitt i kapittel 12. Hovedpoenget er at det ved et reelt tilfelle kunne vært utfordrende å fått tilgang til nødvendig data, samtidig som boliger ofte har gjennomført en form for oppgradering som dermed ville avviket fra TEK-standardene benyttet i denne oppgaven. Det ble derfor valgt å ta utgangspunkt i en tenkt bolig for å følge kravene slavisk. Det kan likevel argumenteres for at en faktisk bolig i utgangspunktet ville gitt mer reelle resultater. Resultatene fra oppgaven ved eksempelboligen vil derimot være mer generaliserbare.

Eksempelboligen benyttet i oppgaven er av to etasjer med  $60 \text{ m}^2$  grunnflate, slik gitt i metode. Byggets størrelse er basert på en gjennomsnittlig enebolig slik beskrevet i kapittel 6. Lokasjonen til eksempelboligen, Hamar, ble antatt å være representativ basert på vurdering av lokasjonen til store byområder i Norge. Ettersom at Norge har store variasjoner i klima, vil valget av lokasjon kunne påvirke resultatene. Disse er derfor til en viss grad områdebestemt da utetemperatur er av vesentlig betydning ved beregning av byggets varmetap. Vær oppmerksom på at det ikke ble vurdert hvorvidt temperaturdataen var fra et typisk kaldt eller varmt år. Antagelsen om ingen varmetap i innervegger og etasjeskillere er kilde til usikkerhet i beregningene. Det ble vurdert til at dette varmetapet var av mindre betydning for oppgaven sin helhet, og er derfor ikke en del av beregningene.

I perioden mellom nye TEK-standarder, har det kommet oppdateringer for å forbedre de gjeldene kravene. I denne oppgaven er det valgt å ta utgangspunkt i de originale standardene, med mindre disse ikke har inneholdt nødvendig informasjonen. Eksempelvis gjelder dette informasjonen om mengden av frisklufttilførsel for TEK-97, som kun var oppgitt i andre utgave slik beskrevet i kapittel 5.1. Den resterende informasjonen er likevel hentet fra original utgave. Valget om å ta utgangspunkt i originale krav er gjort for å enklere kunne separere standardene, og forholde seg til et begrenset antall krav. De små endringene i TEK-kravene som har kommet ved oppdateringer, har ofte kun angått enkelte deler av standardene og er derfor mindre interessante enn de originale. Ved nye standarder var det ofte endringer i alle elementene i energikravet, derfor er disse mer interessante å benytte. Likevel er det viktig å være klar over at det ved reelle tilfeller trolig ble bygget etter oppdateringene av kravene som kom underveis. Med bakgrunn i dette vil det trolig være mange boliger som er bygget etter krav som vil ligge mellom kravene beregningene i

denne oppgaven har benyttet. Dette gjør ikke nødvendigvis resultatene i denne oppgaven mindre aktuelle, da de fortsatt vil illustrere utviklingen av energibehovet for boliger bygget fra 70-tallet og frem til i dag.

## 14.2 Transmisjonstap

Transmisjonstap er sterkt avhengig av inne- og utetemperaturer da dette i stor grad påvirker mengden varmetap gjennom bygningskonstruksjonen. Forsøk på å finne en samlet oversikt på hvor mye elektriske apparater i en bolig trekker av energi og avgir av varme, viste seg å være utfordrende. Varmeavgivingen fra elektriske apparater bidrar til romoppvarming. Slik beskrevet i metodekapittel 12.4.1, ble det valgt å ikke medregne oppvarmingsbehov ved utetemperaturer som overskrider  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det er heller ikke medregnet et nedkjølingsbehov, da dette ble vurdert til å være mindre aktuelt. Temperaturene benyttet i oppgaven overskrider sjeldent  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , og ble derfor vurdert til å ikke være av stor betydning for oppgaven. Valget om å ikke vurdere eventuelt nedkjølingsbehov kan imidlertid diskuteres grunnet økende behov for kjøling på sommeren blant annet som følge av klimaendringer. En annen tilnærming til beregning av varmeavgivingen fra apparater, hadde vært å velge et bestemt utvalg apparater og beregne deres totale varmeavgiving. Dette ble vurdert til å ikke være nødvendig grunnet den alternative metoden.

Transmisjonstapet ved de ulike TEK-kravene er gitt i tabell 13.1. Det er her en tydelig forskjell i mengde tapt varme mellom de respektive TEK-kravene. For det eldste TEK-kravet, TEK-69, er transmisjonstapet på hele 22 168 kWh i løpet av et år. For TEK-17 og -10 derimot, er tapet på kun 6600 kWh, som er vesentlig lavere. Denne forskjellen kommer av de betydelige endringene i kravet til  $u$ -verdi slik beskrevet i kapittel 5.1. Ved å observere forskjellene i disse kravene for bygningskonstruksjonen, samt vinduer og dører gitt i tabell 5.2, er det vesentlige forskjeller i  $u$ -verdikravet, spesielt for vinduer og dører. Slik nevnt i teoridelen, kan utskiftning av vinduer og dører redusere byggets transmisjonstap med 40 %. Ved en  $u$ -verdi i TEK-69 på  $3.14\text{ W/m}^2 \cdot K$  opp mot TEK-17 med  $0.8\text{ W/m}^2 \cdot K$ , kan en stor del av transmisjonstapet derfor forklares ut fra varmetapet ved vinduer og dører i boligen. Det har i tillegg vært en forbedring i  $u$ -verdi for vegger, tak og gulv, som også er blant årsakene til de vesentlige tapsforskjellene. Kravene i TEK-69 ligger mellom  $0.41 - 0.46\text{ W/m}^2 \cdot K$  i  $u$ -verdi for bygningskonstruksjonen, opp mot TEK-17 med  $u$ -verdier mellom  $0.10 - 0.18\text{ W/m}^2 \cdot K$ . Totalt sett vil denne boligen bygget etter TEK-69 standard kunne redusere sitt transmisjonstap med 70.2 % ved å etterisolere og bytte vinduer og dører etter TEK-17-kravene. TEK-87 har også et stort reduksjonspotensial opp mot TEK-17, med 52.0 %. Disse reduksjonspotensialene er av vesentlig betydning for boligens totale energibehov. Det er her viktig å være klar over at det ved et reelt tilfelle muligens er andre elementer som kan være av betydning for varmetapet, samtidig som oppgaven ikke vurderer hvordan etterisolering skiller seg fra isolering i nybygg. Dette innebærer at et reelt reduksjonspotensial muligens kan være noe lavere. Dette er nevnt i kapittel 6, hvor det er oppgitt at etterisolering av et bygg muligens ikke kan oppnå de øverste karakterene av energimerket. Det vil derfor være forskjell på å energioppgradere og å bygge nytt. Dette er noe oppgaven



ikke har tatt hensyn til, men som er viktig å være bevisst på ved vurderingen av resultatene. I tillegg kan det tenkes at eldre boliger, blant annet bygg ved TEK-69 og -87 standardene, ved reelle tilfeller muligens har gjennomført noen form for energioppgradering eller er bygget etter bedre standard enn det som var angitt som krav på det aktuelle tidspunktet. I et slikt tilfelle vil reduksjonspotensialet opp mot TEK-17 være mindre ettersom at bedre standard senker byggets transmisjonstap slik resultatene i tabell 13.1 illustrerer.

TEK-standardene har ulike krav for hvor stor andel vindus- og dørarealet kan utgjøre av byggets oppvarmede bruksareal. For TEK-10 og -17, er dette kravet på 25 %. Boligen som benyttes som eksempelbolig, har et vindu- og dørareal på 19.27 %. For TEK-97 og -87, er kravet en maksimal andel på 20 %. Dette innebærer at TEK-17, -10, -97 og -87 er innenfor kravene. For TEK-69 var kravet til u-verdi gitt av bygningens lokasjon og andel vindus- og dørflate av total veggflate, slik beskrevet i kapittel 5.1. Dette gav en u-verdi for vinduer og dører på  $3.14 \text{ W/m}^2 \cdot K$ . For TEK-87 ble u-verdien  $2.1 \text{ W/m}^2 \cdot K$  grunnet andelen vindusareal. Ettersom at det i forskriften ikke var spesifisert krav til u-verdi for dør, ble det antatt at denne var tilsvarende som for vinduet. Dørarealet ble dessuten også inkludert ved beregning av andelen vindusareal for å finne det aktuelle alternativet boligen falt inn under og hvilke u-verdier som skulle bli benyttet for bygningskonstruksjonen. Dette er kilde til usikkerhet, men ettersom at de andre standardene hadde en slik tilnærming, ble det vurdert til å være tilstrekkelig. Til sammenligning med TEK-69, er u-verdien for TEK-87 betydelig redusert. I kombinasjon med bedre u-verdikrav for den resterende bygningskroppen, blir transmisjonstapet godt redusert gjennom disse kravene. Dette er også tilfelle mellom de andre standardene, da de stadige forbedringene i u-verdi gir redusert varmetap fra foregående standard.

Ved å observere resultatene gitt i tabell 13.1, er det tydelig at varmetapet reduseres betraktelig ved strengere krav til u-verdi både i vinduer og dører, samt i bygningskroppen generelt. Reduksjonen i transmisjonstapet ved de eldre TEK-kravene opp mot TEK-17, indikerer potensialet for store reduksjoner i varmetap gjennom bygningskroppen. Transmisjonstapet er imidlertid kun en del av byggets totale varmetap og energibehov, og må derfor sees i sammenheng med andre elementer i bygget. I disse beregningene er det samlede transmisjonstapet beregnet, det vil si hvordan forbedring av u-verdi for både isolasjon og bytte av vinduer og dører er av betydning. I tilfeller hvor reduksjonspotensialet opp mot gjeldende krav er relativt lave, bør det foretas en helhetlig vurdering av byggets energibehov og undersøke hva slags ENØK-tiltak som vil gi mest energireduksjon, og eventuelt om egenproduksjon er aktuelt.

Det kunne vært interessant å undersøke hvordan eksempelvis kun bytte av vinduer og dører hadde påvirket varmetapet i en av de eldre TEK-standardene, siden denne u-verdien har gjennomgått den største endringen blant alle u-verdikravene. Vær igjen oppmerksom på ved refleksjon rundt resultatene og diskusjonen, at beregningene har tatt utgangspunkt i de absolutte kravene og ikke hva som oftest var reelle tilfeller for byggetiden. Dette innebærer at eldre bygg i realiteten kan ha tilfredsstilt krav om u-verdi i høyere grad enn nødvendig, eller har gjennomgått

enkelte energioppgraderinger. Valget om å følge de absolutte kravene ble tatt for å illustrere hvordan forskjellene i u-verdi er av betydning for byggets varmetap, og for å kunne generalisere oppgaven. Dette innebærer likevel at resultatene ikke nødvendigvis er helt representative for et tilfeldig utvalg eneboliger i byggeperiodene.

### 14.3 Ventilasjonstap

De beregnede ventilasjonstapene er gitt i tabell 13.1. Ventilasjonstapet innehar en rekke elementer som hver er med på å bestemme det totale tapet ved ventilasjon. Formel 8.13 er den ligningen som bestemmer byggets ventilasjonstap, hvor det skilles mellom infiltrasjonsvarmetap og ventilasjonsvarmetap gitt henholdsvis i ligning 8.15 og 8.16. For bygg som har balansert ventilasjon, vil varmegjenvinner sørge for god utnyttelse av varmeenergien i luften. For TEK-17 og -10 som begge har krav til varmegjenvinner, vil dette resultere i et energieffektivt ventilasjonssystem. Kravet til frisklufttilførsel på  $1.2 \text{ m}^3/h \cdot A$  er tilsvarende for begge standardene. Omregnet til enheten som benyttes for luftmengden,  $q_{vent}$ , i formel 8.16, gir dette en ventilasjonsluftmengde på  $144 \text{ m}^3/h$ .

For TEK-17 med et totalt ventilasjons- og infiltrasjonstap på 1651 kWh i løpet av et år, er dette et relativt lavt varmetap. Sammenlignet med et tap på 3242 kWh for TEK-10, kan dette muligens skyldes den vesentlige forskjellen til kravet for lufttetthet ved infiltrasjon. For TEK-17 skal denne ligge under 0.6 luftvekslinger i timen, mens det samme kravet for TEK-10 var på under 2.5 luftvekslinger i timen. Denne forskjellen i krav til tetthet er den faktoren som er av størst betydning for forskjellene i det kombinerte ventilasjons- og infiltrasjonstapet. Skillet mellom virkningsgraden til varmegjenvinneren på 80 % og 70 % for henholdsvis TEK-17 og -10 er også av betydning, men vesentlig mindre enn luftlekkasjetallet. TEK-10 har grunnet dette et reduksjonspotensial ved ventilasjon på 49.1 % opp mot TEK-17, noe som indikerer en betydelig reduksjon.

Ventilasjonstapet for TEK-97 er på 8074 kWh, med et reduksjonspotensiale på 79.6 % opp mot TEK-17. Denne verdien er svært høy sammenlignet med både TEK-10 og -17, og kan skyldes både at det ikke er krav til varmegjenvinner, samtidig som at kravet til frisklufttilførsel for ventilasjon er på 0.5 luftvekslinger per time. Denne luftvekslingen tilsvarer et ventilasjonstall på  $150 \text{ m}^3/h$ , noe som er høyere enn tilfellet ved TEK-10 og -17. Det må her presiseres at det er valgt å ikke regne på et ventilasjonssystem med varmegjenvinner. For TEK-97 ble det tolket til at det ikke var krav til varmegjenvinner dersom boligen ikke hadde dette, men at dersom det fantes en varmegjenvinner i boligen var kravet 60 % varmegjenvinning. Dette ville klart bidratt til vesentlig reduksjon i ventilasjonsvarmetapet.

For TEK-69 og -87 var beregninger rundt byggets ventilasjonstap mer utfordrende. For begge standardene var det mulig å finne tall for lufttetthet ved infiltrasjon, som veiledende verdi i ISO-standard *SN-NSPEK 3031:2021* utgitt av Standard Norge for TEK-69, og som krav i TEK-87. Disse tallene var på mindre eller lik 6 og 4 luftbytter per time for henholdsvis TEK-69 og -87.

Dette bidrar til et høyt varmetap. Det er knyttet usikkerhet til begge disse tallene. Det er også en ekstra usikkerhet knyttet til det oppgitte kravet for TEK-87, da det ikke er oppgitt ved et spesifikt trykk, slik som de senere kravene er. Kravene til infiltrasjon ble imidlertid ikke benyttet i beregningene, grunnet forklaringen gitt i neste avsnitt.

Kravet til ventilasjon for disse standardene, var ikke mulig å finne da de ikke var oppgitt noe sted. Kun tverrsnitt av kanaler og lufteluker, eller volumstrøm for avtrekk i enkelte rom var oppgitt. I forskriftene ble det gitt at ventilasjonen skulle være tilfredsstillende for å skape et godt innemiljø og forhindre fuktdannelse. Ettersom at det i disse forskriftene ikke ble oppgitt noen verdier å ta utgangspunkt i, i tillegg til at dette var nødvendig for å fullføre beregningene, ble det valgt å ta utgangspunkt i en studie for videre beregning av ventilasjonstapet. Dette er en stor kilde til usikkerhet, blant annet da denne var basert på et begrenset antall boliger i et begrenset område. Ved å benytte studien som utgangspunkt for beregningene, er det viktig å være oppmerksom på at verdiene som er benyttet var en samlet verdi for både ventilasjon og infiltrasjon slik beskrevet i kapittel 12.4.2. Det er da viktig å være klar over at dette var reelle tilfeller, og ikke krav, slik som er brukt ved resten av beregningene.

Luftlekkasjetallet for TEK-69 og -87 kan regnes om til infiltrasjonsraten,  $n_{inf}$ , ved hjelp av formel 12.1. Dette blir da henholdsvis  $0.42 h^{-1}$  og  $0.28 h^{-1}$ . Disse tallene er lavere enn de kombinerte ventilasjons- og infiltrasjonstallene gitt i studien, som var på  $0.65 h^{-1}$  og  $0.75 h^{-1}$  luftvekslinger. Verdiene gitt i studien er høyere enn infiltrasjonstallet alene, noe som innebærer at det til en viss grad finnes en form for ventilasjon i tillegg til infiltrasjon i disse eldre byggene. Det gjør at tallene funnet i studien kan tolkes som sannsynlige. Likevel er det knyttet stor usikkerhet til disse tallene, da studien baserer seg på målinger av et lite utvalg boliger. Det er også verdt å legge merke til at for de totale ventilasjonstallene fra denne studien, er verdien hentet ut for TEK-87 beregningene høyere enn for TEK-69. Dette kan komme av flere årsaker, for eksempel på grunn av infiltrasjon eller ventilasjon. Det kan antas at det er ventilasjonluftmengden for TEK-87 som er høyere enn for TEK-69, da det er naturlig å tenke at boligene bygget etter TEK-87 ikke er mindre tette sammenlignet med boliger bygget etter TEK-69, og vil derfor ikke ha lavere infiltrasjonsrate. Det kan heller tenkes at boliger bygget etter TEK-87 har bedre frisklufttilførsel for ventilasjon blant annet via lufteluker i veggen. Ved beregning av det totale ventilasjons- og infiltrasjonstapet vil dermed TEK-87 få et 15 % høyere varmetap enn TEK-69 grunnet størrelsen på disse verdiene.

#### 14.4 Energibehov tappevannsoppvarming

Varmtvannsbehovet er beregnet til å være det samme for alle TEK-kravene, og vil kreve 8750 kWh i løpet av året. Dette er noe usikkert, blant annet i forbindelse med effektiviteten til boenhetenes varmtvannsbereder. Valg av fremgangsmåte for beregning av varmekapasiteten til vannet er også kilde til usikkerhet, da det kun er benyttet den gjennomsnittlige varmekapasiteten for temperaturene mellom  $70^{\circ} C$  og  $5^{\circ} C$ . Det ble vurdert til at denne usikkerheten var av liten betydning for det totale energiforbruket ved tappevannsoppvarming.

Mengde varmtvannsforbruk avhenger av hvor ofte husstandsmedlemmene dusjer, varigheten på dusjen og innstilling av temperatur. Elektrisitetsforbruket til tappevannsoppvarmingen er dermed kun et anslag basert på normalt varmtvannsbehov slik beskrevet i kapittel 8.6. Dette la grunnlaget for valg av samme varmtvannsbehov for alle standardene, med forbehold om at effektiviteten på varmtvannstanken kan variere avhengig om eldre bolig har byttet og oppgradert denne. Det er også viktig å bemerke seg at beregningene tar utgangspunkt i 4 personer i boenheten. Dette er av vesentlig betydning, samtidig som brukeradferden vil gi ytterligere påvirkning på det totale varmtvannsforbruket.

Det totale varmeeffektbehovet som kreves for å dekke rom- og tappevannsoppvarming, skiller seg betydelig fra hverandre for de ulike TEK-kravene grunnet forskjeller i romoppvarmingsbehovet. Det kan derfor være interessant å undersøke forholdet mellom varmtvannsbehovet og det totale oppvarmingsbehovet for standardene, for å tydeliggjøre hvor stor andel varmtvannsoppvarmingen utgjør av byggets totale varmeeffektbehov. For TEK-69 er andelen energi til varmtvann rundt 22.6 %. For TEK-87 er varmtvannsandelen på 27.8 %. Selv med et samlet varmetap på 7230 kWh mindre enn TEK-69, er andelen energi til varmtvannsforbruk for disse standardene forholdsvis like. Denne begrensede nedgangen må imidlertid presiseres at er noe usikker, grunnet den økte verdien i ventilasjonstapet forårsaket av usikkerheten og mangel på gode kilder slik beskrevet tidligere. For TEK-97 er andelen energiforbruk til varmtvann 32.3 %. Denne relativt lave andelen kan delvis forklares med begrenset reduksjon i varmetap i ventilasjonen sammenlignet med TEK-87, til tross for at det likevel var en reduksjon i transmisjonstapet. For TEK-10 og TEK-17 er varmtvannsandelen på henholdsvis 47.1 % og 51.5 %. Disse andelenene er relativt høye og utgjør med dette en stor del av rom- og tappevannsoppvarmingen.

Poenget med denne fremstillingen, til tross for at mengde energi til vannoppvarming er den samme, er å illustrere at andelen romoppvarming er redusert og varmtvannsbehovet dermed er av større betydning for de nyere boligene. Endring i forbruksvaner ved å dusje mindre og kortere kan være av vesentlig betydning for å redusere byggets energiforbruk. Benyttelse av sparedusj kan også bidra til reduksjon av varmtvannsforbruket. Slike tiltak kan være av størst betydning for nyere boliger hvor varmtvannsforbruket utgjør en vesentlig større andel av byggets totale energiforbruk sammenlignet med eldre bygg. For disse kan andre tiltak som å redusere transmisjons- og ventilasjonstapet være av større betydning samlet sett, selv om all energireduksjon teller positivt på boligens energiforbruk. Fjernvarme vil kunne dekke byggets varmeeffektbehov og vil bli diskutert ytterligere senere i kapitlet.

### 14.5 Energiforbruk ved oppvarming med og uten varmepumpe

En oversikt over resultatene fra beregninger i tilknytning til luft-luft-varmepumpe er gitt i tabell 13.3. Mengde romoppvarmingsbehov er årsaken til den betydelige forskjellen i tilført energi varmepumpen benytter for de ulike TEK-standardene. For TEK-17 vil boligen kunne spare 6690 kWh i løpet av et år ved installasjon av luft-luft-varmepumpe. For TEK-69 ligger besparelsen på hele 24 279 kWh i løpet av året. En slik høy besparelse vil være gunstig for boligen

uavhengig om det skal gjennomføres andre energieffektiviserende tiltak. Besparelsen indikerer at det vil være fordelaktig med en varmepumpe for å spare strøm i en slik situasjon da den kan bidra til å redusere byggets energibehov. Ved å betrakte forholdet mellom strømforbruket til varmepumpen og energibehovet til romoppvarming uten varmepumpe, gir dette uttrykk for det redusert energibehovet til romoppvarming ved benyttelse av varmepumpe. Ved betraktning av varmepumpens kapasitet til å dekke oppvarmingsbehovet for boligen, vil varmepumpen selv ved TEK-69 klare å dekke oppvarmingsbehovet, slik beskrevet i metodekapittel 12.4.4. Dette er av vesentlig betydning da det innebærer at boliger med denne standarden i teorien ikke har behov for en sekundær oppvarmingskilde. I tillegg er dette svært positivt for eldre boliger som typisk har basert oppvarming på enten vedfyring eller oljekjel, da luft-luft-varmepumpeinstallasjon alene kan erstatte oppvarmingskildene. Til tross for at dette vil være positivt med tanke på at oppvarmingskilden blir fornybar, vil varmepumpen kunne gi en større belastning på strømmettet da oppvarming i utgangspunktet ikke var dekket av elektrisk energi. Det kan likevel diskuteres hvorvidt det er normalt å ikke benytte elektrisitet ved panelovn i tillegg til fossil oppvarming når dette benyttes som primær oppvarmingskilde.

Romoppvarmingen kan reduseres med 81.1 % ved bruk av varmepumpe for alle standardene, som gir en gjennomsnittlig COP-faktor for luft-luft-varmepumpe på 5.3 for hele året. Ved beregninger i tilknytning til luft-luft-varmepumpe, oppga produktbladet ulike COP-faktorer ved ulike temperaturer. Det vil være en viss usikkerhet knyttet til interpoleringen av effektfaktorene, men det antas at sammenhengen mellom temperatur og COP-faktorene er relativt lineær, slik at dette blir nøyaktig nok for å illustrere omtrentlig gevinst ved installering av varmepumpen.

Slik tabell 13.5 viser, vil boligen ved å benytte en luft-luft-varmepumpe ved TEK-69, redusere elektrisitetsforbruket til oppvarming, inkludert varmtvannsoppvarmingen som varmepumpen ikke dekker, med 62.75 %. For TEK-17 derimot, kan boligen ved installasjon av varmepumpe redusere strømforbruket til oppvarming med 39.35 %. Denne relativt lave verdien sammenlignet med verdien for TEK-69, kommer av at romoppvarmingen i seg selv utgjør en mindre andel av varmeeffektbehovet i boligen grunnet lavere transmisjons-, ventilasjons- og infiltrasjonstap. Varmtvannsoppvarmingen vil dermed være av større betydning i disse standardene. Disse reduksjonspotensialene illustrer godt hvor energieffektiv en varmepumpe kan være, og hvor mye av boligens varmeeffektbehov som kan reduseres.

Dersom boligen hadde vært tilknyttet et geotermisk anlegg og benyttet et vannbårent oppvarmingssystem, kunne dette dekket oppvarming av både rom og tappevann. Ved å installere væske-vann-varmepumpe, vil byggets varmeeffektbehov reduseres med 81.1 % ved alle TEK-standardene. Dette samsvarer med SCOP-faktoren benyttet i væske-vann-varmepumpen, som var 5.3. Dette gir 81.1 % reduksjon, noe som indikerer at beregningene og tallene stemmer overens. I produktbladet til valgt væske-vann-varmepumpe var det ikke oppgitt SPF-faktor. Å benytte SCOP-faktor fremfor en eventuell SPF-faktor kan bidra til økt usikkerhet i resultatene, da en teoretisk årsvarmefaktor er mer usikker enn en faktisk årsvarmefaktor. Riktignok avhenger

SPF av berggrunnen og dybden på energibrønnen. Derfor er den situasjonsbestemt. Sett opp mot luft-luft-varmepumpen, er det tydelig at væske-vann-varmepumpen vil gi størst bidrag til reduksjon av byggets totale varmeeffektbehov for alle TEK-standardene. Det må i den forbindelse presiseres at luft-luft-varmepumpe ikke dekker vannoppvarming, noe væske-vann-varmepumpen gjør. Totalt sett vil derfor elektrisitetsforbruket til boligen kunne reduseres mest ved installasjon av væske-vann-varmepumpe fremfor luft-luft-varmepumpe. Dette kan observeres i tabell 13.3 og 13.4. Bakgrunnen for at væske-vann-varmepumpen er mindre utbredt blant den norske befolkningen, slik nevnt i kapittel 7, kan være grunnet det økonomiske aspektet ved forskjellen i investeringskostnadene. Energimessig vil væske-vann-varmepumpe gi best reduksjon i det totale strømforbruket for alle TEK-kravene, men i realiteten vil også den økonomiske investeringsutgiften og tilbakebetalingstiden av systemet være av stor betydning for valg av investering. Effektiviteten til en væske-vann-varmepumpe vil være noe jevnere gjennom året sammenlignet med luft-luft-varmepumpe, grunnet den mer konstante temperaturen i energikilden. Dette ble forklart i teorikapittel 9.2, Geotermisk energi.

## 14.6 Totalt elektrisk energibehov

Det totale elektrisitetsforbruket i en bolig, avhenger av varmeeffektbehov og energibehov til elektriske apparater. For å finne energibehovet til de elektriske apparatene, ble fordelingen av energiforbruk i en enebolig illustrert i figur 6.3 benyttet, slik beskrevet i metodekapittel 12.4.5. Det var her oppgitt at 66 % av totalforbruket gikk til rom- og tappevannsoppvarming, mens de resterende 34 % gikk til andre elektriske apparater. De elektriske apparatene utgjør med dette 9180 kWh av elektrisitetsforbruket. Denne verdien ble videre benyttet i energiberegningene for oppgavens eksempelbolig, og er derfor konstant for alle TEK-standardene. Dette er en kilde til usikkerhet, spesielt i boliger som benytter nye energieffektive apparater, eller har eldre apparater som trekker mye strøm. Av de 34 % som utgjør forbruket til elektriske apparater, inngår blant annet også elbillading. Etersom at beregningene er basert på nåtid, vil en bolig av eldre karakter kunne ha installert en elbillader. Dette resulterer i at andelen elektrisk forbruk til apparater kan stemme nokså bra også for de eldre standardene. Valget om å ikke benytte 34 % gitt totalforbruket til hver standard, ble dannet på grunnlag av at forbruket til elektriske apparater ikke er avhengig av boligens byggtekniske standard, men heller av brukeratferden til husstandsmedlemmene. Om prosentvis andel av totalforbruket for hver standard hadde blitt benyttet, ville boligen bygget etter TEK-69 hatt en del høyere forbruk til elektriske apparater enn boligen bygget etter TEK-17. Dette hadde ikke vært like sannsynlig med tanke på at det antas at alle tilfellene er i nåtid, samt at brukeratferd og mengde elektriske apparater i husstanden er lik for alle beregningene.

Det ble videre regnet på byggets totale elektrisitetsforbruk for de ulike TEK-standardene ved å legge til den konstante verdien på 9180 kWh for elektriske apparater. For TEK-17 ble det totale energibehovet beregnet til å være 26 180 kWh uten varmepumpe og 19 490 kWh med varmepumpe. For TEK-69 ble det beregnede forbruket 46 973 kWh uten varmepumpe og 23

594 kWh med varmepumpe. I kilden benyttet for å finne forbruket til de elektriske apparatene, ble forbruksdata for en gjennomsnittlig bolig på samme størrelse som eksempelboligen, men med 3 husstandsmedlemmer benyttet. Denne kilden oppga på bakgrunn av denne informasjonen et total årsforbruk basert på tall fra Enova på 27 000 kWh. Det kan tenkes at en gjennomsnittlig bolig er en del eldre enn TEK-17, i tillegg til at årsforbruket kan være et gjennomsnitt av boliger både med og uten varmepumpe som oppvarmingskilde. Gitt at dette forbruket var basert på 3 personer, sammenlignet med 4 personer i eksempelboligen, kan dette indikere at forbruket beregnet for de ulike standardene kan være realistiske. Det er likevel usikkert hvorvidt beregningene ved de eldre standardene er korrekte, med bakgrunn i feilkildene og usikkerhetene beskrevet tidligere. Det kan tenkes at eldre boligbygg har byttet ut deres elektriske apparater, og at det konstante energiforbruket til dette derfor ikke avviker vesentlig fra mulige tilfeller. Det høye forbruket for TEK-69 uten varmepumpe er hovedsakelig basert på forskjellen i transmisjonstapet, men også delvis ventilasjonstapet, gitt konstante verdier for varmtvannsoppvarming og elektriske apparater.

### 14.7 Fjernvarme

Ved tilknytning til et fjernvarmeanlegg, vil denne eksempelboligen kunne fått redusert store deler av elektrisitetsforbruket ved alle standardene. Slik nevnt i teorikapittel 9, Fjernvarme og geotermisk energi, er fjernvarme en svært effektiv måte å nyttiggjøre seg av overskuddsvarme på, i tillegg til at det kan bidra til avlastning av strømmettet. Det må imidlertid være et lokalt fjernvarmeanlegg som boligen kan koble seg på, i tillegg til at kunden må ha et vannbårent oppvarmingssystem. For TEK-17 utgjør rom- og tappevannsoppvarming 64.9 % av boligens totale energiforbruk. For TEK-69 derimot, utgjør rom og tappevannsoppvarming hele 80.8 %. Årsaken til at denne andelen er høyere sammenlignet med TEK-17, kommer av forskjellen i romoppvarmingsbehovet, da de andre elementene er konstante for alle standardene. Dette innebærer at alle TEK-kravene kan redusere mellom 64.9 % og 80.8 % av byggets totale elektrisitetsforbruk ved tilkobling til fjernvarmeanlegg. En slik reduksjon av elektrisitetsforbruk bidrar til avlastning av strømmettet, og vil være av stor betydning dersom nettet i utgangspunktet er dimensjonert for å dekke hele energibehovet til boligene i et område. Dersom strømmettet er dimensjonert i kombinasjon med et fjernvarmenett, men den aktuelle boligen i utgangspunktet ikke er påkoblet, vil påkobling bidra til avlastning av strømmettet tilsvarende byggets totale oppvarmingsbehov. Fjernvarmetilkobling kan være spesielt gunstig for nettavlastning på vinterstid når strømmettet i større grad opplever effekttopper opp mot grensen for hva det er dimensjonert for. Til tross for fordelene ved fjernvarme som avlastning av strømmettet der hvor det i utgangspunktet er dimensjonert for å dekke byggets totale elektrisitetsbehov, finnes det likevel ulemper slik beskrevet i kapittel 9.

## 14.8 Valg av fremgangsmåte ved egenproduksjon og lagring

For å danne et resultatgrunnlag med fordeling av strømforbruket gjennom et døgn, ble det benyttet en døgnfordeling basert på innhenting av forbruksdata for én bolig, slik beskrevet i metode. Dette valget ble dannet på grunnlag av mangel på gode anslag for fordeling av strømforbruk i en enebolig som kunne blitt benyttet som en representativ fordeling. Ettersom en fordeling av strømforbruket gjennom et døgn er av vesentlig betydning i kombinasjon med egenproduksjon og lagring, ble det valgt å benytte denne fordelingen fremfor ingen, da det ble antatt at det eventuelt hadde vært enda mindre representativt. Vær her oppmerksom på at dette er et gjennomsnitt av forbruket fordelt gjennom døgnet for februar og august måned, og som dermed ikke varierer med året. Dette er kilde til usikkerhet, og kan være blant årsakene til høyere effekttopp om morgen sammenlignet med ettermiddagen. Årsaken til dette kan blant annet komme av et ønske om mye oppvarming om morgenen i vinterperioden sammenlignet med ettermiddagen da passiv oppvarming kan ha redusert behovet for elektrisk oppvarming. Totalforbruket er ikke endret i forbindelse med beregninger, kun døgnfordelingen. Det ble med dette mulig å undersøke hvordan egenproduksjon og lagring ville se ut med en relativt realistisk fordeling av forbruket i løpet av en dag.

En relativ stor feilkilde i forbindelse med denne delen av beregningene, er blant annet at det er tatt utgangspunkt i samme fordeling av strømforbruk både i ukedagene, og i helgene. En slik fordeling vil dermed ikke være helt representativ, ettersom at strømforbruket i helger og helligdager ofte har en annen fordeling sammenlignet med ukedager. Dette ble forklart i kapittel 4.1, Brukeradferd og strømpris, og er illustrert i figur 4.1b. Det at det er benyttet timesvise data for både forbruk og solforhold øker nøyaktigheten i simuleringen, og er svært nyttig for å kunne simulere hvordan solceller og batteri kan utfylle etterspørselen og avlaste distribusjonsnett. Det må likevel nevnes at det knyttes usikkerhet til timesvis data for solforhold i PVsyst, da denne er syntetisk fremstilt.

Beregningene for totalt elektrisitetsforbruk benyttet i PVsyst, er med utgangspunkt i installasjon av luft-luft-varmepumpe. Bakgrunnen for dette valget er vurderingen om at det normalt sett gjennomføres installasjon av varmepumpe før installasjon av solceller. Luft-luft-varmepumpe er valgt da dette er det mest vanlige. Usikkerheten knyttet til energiberegningene gjort i MATLAB vil videreføres til simuleringen i PVsyst.

Valget av solcellepanel ble dannet på bakgrunn av at *REC410AA Pure-R* er en av de bedre solcellene på markedet i dag, slik at beregningene er mest mulig realistiske fremover i tid. Dersom en bolig skal gjennomføre en stor investering, som et solcelleanlegg er, kan det være lurt å investere i gode, effektive og fremtidsrettede paneler, da levetiden er relativt lang. Solcelleteknologien er i utvikling og blir stadig bedre. Til tross for den teoretiske grensen på virkningsgraden til solceller på 28% gitt dagens teknologi, slik beskrevet i kapittel 10.1, vil egenproduksjon være positivt for å møte kommende energietterspørsel, slik beskrevet i kapittel 6. Solcellen benyttet i simuleringen har en effekt på 410 Wp. Dette er en av de panelene med



høyest effekt på markedet. Det valgte panelet har også høy effekttetthet, noe som gjør at det produserer høyere effekt på mindre areal enn andre teknologier. Dette gjør at det kan produseres mer på samme takareal sammenlignet med om det benyttes eldre eller dårligere paneler. Det valgte panelet har også teknologi som deler opp solcellepanelet i fire seksjoner, slik at det kan produsere energi selv om deler av panelet er i skyggen. Dette kommer ikke til uttrykk i oppgavens beregninger, da det er antatt at eksempelboligen ikke har skygge på taket. Dette er imidlertid en fordel dersom panelene installeres i områder hvor skygge på panelene kan forekomme.

Virkningsgraden til panelene på 21.2% er blant de bedre på dagens marked, og samsvarer med teorien gitt i kapittel 10.1. I fremtiden, når teknologien for tandem solceller kommer på markedet, vil dette kunne gi en del høyere produksjon, med en teoretisk virkningsgrad opp mot 40 %, slik nevnt i kapittel 10.1. Orientering og vinkling av solcellepaneler har som beskrevet i kapitlet, mye å si for energiproduksjonen. Vinkelen på solcellene ble satt til 35°, slik som takvinkelen. Denne vinkelen er relativt god for produksjon av energi, og er relativt nære det PVsyst oppgir som optimal helningsvinkel på 45°. Energiproduksjonen kunne vært ytterligere optimalisert med justerbar helningsvinkel og orientering på panelene, slik at orienteringen kunne fulgt sola. Dette ble ikke vurdert som et alternativ, da det er mindre vanlig for små solcelleinstallasjoner på hustak, og krever ytterligere installasjon og kostnader. Det ble derfor valgt å ha en konstant sørvendt retning på panelene tilsvarende retningen til taket. PVsyst har ikke tatt hensyn til eventuell snø som kan legge seg på panelene, noe som bidrar til usikkerhet i resultatene på vinterstid.

Ved valg av batteri, er det benyttet *Tesla Powerwall 2*, med 10.8 kWh kapasitet ved 80 % DoD. Dette ble valgt på grunnlag av at batteriet er tilgjengelig på det norske markedet og har en kapasitet som egner seg til å lagre energi i kortere perioder om gangen. Resultatene fra batteriets bidrag, slik vist i kapittel 13.2, vil være av varierende betydning for boligens energiforbruk og avlastning av nettet gjennom året. Dette diskuteres senere ved vurderinger av resultatene fra egenproduksjon og lagring. Det er i simuleringen ikke antatt noen begrensning i effekt ved opplading eller utlading av batteriet. Det kan diskuteres rundt hvorvidt dette burde vært gjort, da høy ladeeffekt, som nevnt i kapittel 11.1, kan føre til temperaturøkning i batteriet. Resultatet av for høy temperatur kan være økt slitasje på batteriet, noe som kan redusere batteriets levetid. Likevel er fordelene med å ikke ha begrensning i ladeeffekten, at all effekt fra solcelleanlegget under optimale forhold kan mates rett inn i batteriet, fremfor at noe av det måtte blitt sendt til nettet. Ved utlading av batteriet vil det kunne være en fordel at det kan bistå med så mye effekt som mulig ved effekttopper, og under bruk av effektkrevende apparater slik at strømmettet avlastes.

## 14.9 Vurdering av resultater for egenproduksjon og lagring

Figur 13.1 og 13.2 viser hvordan energiforbruk, egenproduksjon og lagring av energi utvikler seg gjennom året for henholdsvis TEK-69 og TEK-17. Energiforbruket, representert ved de grønne stolpene, er som tidligere nevnt svært temperaturavhengig og kan observeres ved blant annet forskjellen i elektrisitetsforbruket for februar og mars måned. Her var temperaturene i mars lavere

enn i februar, og elektrisitetsforbruket til oppvarming var dermed høyere. Det er også viktig ved sammenligning av figurene å være oppmerksom på at y-aksene er av ulik størrelsesorden. For TEK-69 gitt i figur 13.1, er forbruket rundt 2300 kWh på det høyeste. For TEK-17 gitt i 13.2, er forbruket maks rundt 1750 kWh. Med bakgrunnen i tap av varme som følge av isoleringsevnen til bygget, er det tydelig å se hvordan variasjonen gjennom året er for de to grafene. For TEK-69 er variasjonen stor og det dannes en tydelig u-form for forbruket gjennom året. Den måneden med lavest energibehov med rundt 1600 kWh, juni måned, skiller seg betydelig fra desember og januar. Forskjellene i energiforbruk mellom sommer og vinter er dermed på rundt 700 kWh for TEK-69. For TEK-17 derimot, er variasjonene vesentlig mindre. Dette kommer, som beskrevet i kapittel 5.1 og 8, av at et godt isolert bygg gir et lavt varmetap og krever mindre energi for å oppnå komfortabel innetemperatur. Juni er måneden med lavest energietterspørsel med rundt 1500 kWh. Opp mot desember og januar måned, er forskjellene på rundt 250 kWh. Dette er vesentlig lavere sammenlignet med TEK-69. En interessant observasjon ved sammenligning av de to figurene, er hvordan energibehovet ved sommermånedene, spesielt juni, er relativt like, mens det ved vinterperioder er vesentlige større forskjeller. Dette illustrerer godt hvordan byggets isolasjonsevne er av vesentlig betydning for byggets energiforbruk, spesielt i kaldere klima med lengre vinterperioder.

De røde stolpene i samme figurer indikerer mengde tilgjengelig solenergi fra produksjonen for hver måned gjennom året. Mengden her er den samme for begge standardene. Disse figurene er gode eksempler på at solenergiproduksjonen er høyest i de periodene hvor behovet er lavest. Det er likevel tydelig at mengde solenergiproduksjon ikke dekker hele forbruket, selv i sommermånedene. Egenproduksjonen som kan dekke boligens energiforbruk avhenger av døgnforbruk og brukeradferd. Dette vil bli diskutert senere. Den lilla og mørkeblå stolpen i figuren angir henholdsvis opp- og utladning av batteriet. Her kan det observeres en liten forskjell mellom stolpene. Denne forskjellen viser tapet i batteriet som følge av dens virkningsgrad på 90%. Solenergiproduksjonen opplever også et tap ved konvertering grunnet flere faktorer som blant annet tap i ledninger og vekselretter. Vedlegg B inneholder oversikt over tapselementene.

Figur 13.3 og 13.4, gir en oversikt over hvordan strømforbruk, egenproduksjon og lagring fordeler seg i løpet av den 19. juni. Denne dagen var det ideelle solforhold og solcellepanelene produserte dermed store mengder elektrisk energi, illustrert ved den mørkeblå grafen. Den grå grafen illustrerer energietterspørselen gjennom dagen, hvorav det mellom kl. 06.00 og 09.00, og mellom kl. 18.00-23.00 er effekttopper. Energietterspørselen er for begge standardene svært like i sommerperioden, slik diskutert rundt figur 13.1 og 13.2. Ved den første effekttoppen vil solenergi kunne dekke deler av strømforbruket, mens resten må dekkes av nettet illustrert ved den lilla grafen. Etter hver som etterspørselen synker samtidig som solenergiproduksjon øker, vil batteriet begynne å lagre energi. Dette er illustrert ved den røde grafen. Her er det tydelig at batteriet rundt kl. 12.00 er ferdig oppladet. Da vil resten av solenergien sendes ut på nettet. Dette er illustrert ved den lilla grafen i figur 13.5 og 13.6 for henholdsvis TEK-69 og -17. Mye av strømmen sendes ut til nettet, samtidig som noe forbrukes av boligen. Dersom det

valgte batteriet hadde hatt større kapasitet, ville en større andel av solproduksjonen kunne blitt lagret og benyttet til eget forbruk ved et senere tidspunkt. Det må likevel poengteres at dette plottet er generert fra en solfylt sommerdag som vil ha optimal energiproduksjon og er dermed mindre representativ for årsgjennomsnittet. Det at batteriet i dette tilfelle ikke kan lagre all produsert energi og derfor kan se ut til å ha for lav dimensjonering, er ikke nødvendigvis tilfelle for større deler av året. Den grønne grafen illustrerer utladningen av batteriet. Dette skjer rundt den siste effekttoppen, hvor solenergiproduksjonen avtar kraftig og etterspørselen igjen øker. Her er det tydelig å se at batteriet kommer til nytte for å dekke store deler av behovet, da energi fra nettet kun er nødvendig for å dekke resterende energietterspørsel ved de siste timene av dagen. Utladningsperioden av batteriet er noe mer langstruktet sammenlignet med oppladningen. Årsaken til dette er blant annet at det ved starten av effekttoppen, rett etter kl. 15.00, kan trekkes noe energi direkte fra solenergiproduksjonen, mens det resterende dekkes av batteriet. I tillegg vil det ved oppladning av batteriet tilføres en større mengde energi enn det forbrukes, da solcellenes effekt ved optimal produksjon, som er på 7 kW, er høyere enn maksimal effekt for forbruket, som ligger i overkant av 4 kW. Derfor er utladningen noe mer langstruktet og kurven er ikke like høy som ved oppladningen av batteriet. Slik er det ikke nødvendigvis på dager med dårligere solforhold, hvor det da vil kunne ta lengre tid å lade opp batteriet.

Figur 13.7 og 13.8 gir en oversikt over energisituasjonen til eneboligen den 19. januar. Ut fra grafen er det mulig å tolke at simuleringen illustrerer en dag i en vinterperiode grunnet grafens utslag og grad av tilstedeværelse for egenproduksjon og lagring ved begge standardene. Den grå grafen som illustrerer energietterspørselen gjennom døgnet, har samme døgnfordeling som ved sommerhalvåret slik forklart tidligere. Mengden energietterspørsel skiller seg derimot ut. Ved sommer-eksempelet lå maks energietterspørsel for TEK-69 og TEK-17 rett rundt 3500 W, mens den for vinterperioden ved TEK-69 ligger litt over 5000 W ved maks etterspørsel. For TEK-17 er energietterspørselen rett i underkant av 4000 W, som er en betydelig mindre variasjon i etterspørsel mellom sommer og vinter for TEK-17 enn TEK-69. Energien som trekkes fra nettet, illustrert ved den lilla grafen, viser at etterspørselen fra nettet rundt kl. 09.00 synker betraktelig da solcellepanelene begynner å produsere energi. Solenergiproduksjonen, gitt i mørkeblå farge, produserer energi i perioden litt etter kl. 09.00 fremt til litt over kl. 14.00. Til sammenligning med sommerproduksjonen som har sin start av produksjon allerede før kl. 06.00 og slutt etter kl. 18.00, illustrerer dette godt hvor begrenset tidsrommet for solenergiproduksjon det er i Norge i vinterperioden. Like etter kl. 12.00 denne dagen, klarte solcellene å produsere noe mer energi enn etterspørselen. Her ble batteriet ladet opp litt, samtidig som det ikke lenge etter ble utladet da solenergiproduksjonen sank. Dette er tilfelle for begge TEK-standardene, men skiller seg noe fra hverandre i mengde. For TEK-17 er overproduksjonen mer betydelig enn ved TEK-69, og batteriet får dermed mer oppladning. Batteriets energitilførsel til boligen er også mer betydelig og langtrukket enn for TEK-69, men utgjør likevel svært liten nytte totalt sett. Resterende energietterspørsel ble trukket fra nettet, og forsynte boligen med strøm resten av dagen. I slike situasjoner vil ingen solenergiproduksjon bli tilført nettet. Disse figurene tydeliggjør hvor lite

nytte et batteri utgjør i kombinasjon med solenergiproduksjon i løpet av vinterperioden. I tillegg var dette en av de dagene i løpet av vinterperioden som var optimal for sin årstid, og ble dermed valgt for å illustrere deres begrensede påvirkning på forbruket selv ved gode vinterdager. Dette underbygger argumentet om at solenergiproduksjon i Norge på vinterstid er svært begrenset.

Batteriets betydning i kombinasjon med solceller i en slik vinterperiode er som illustrert svært begrenset. Det kan likevel argumenteres for at et batteri kan utgjøre en forskjell for nettavlastningen spesielt i vinterperioder dersom den er koblet direkte på nettet og kan lagre energi ved lavlasttimer. Da vil batteriet kunne bli nyttiggjort i større deler av året, både i vinterperioder ved å lagre energi ved lavlasttimer, og ved å lagre en større del av overskuddsenergien i sommerperioder med overproduksjon. Dersom dette hadde vært gjennomført, kunne også en eventuell økning i batteriets kapasitet vært mer aktuelt. Slik presentert i resultatene, vil ikke batteriet selv ved full oppladning kunne dekke energibehovet i løpet av en dag 100 %. Dersom batteriet hadde vært av større dimensjoner, kunne mer energi blitt lagret ved overproduksjon og muliggjort større utnyttelse av egenprodusert energi. Dette gjelder også ved vinterperioder, bortsett fra at energien da heller hadde blitt lagret fra nettet fremfor ved egenproduksjon. Fleksibiliteten ved et batteri vil kunne bidra til nettavlastning i en kortere periode.

Dersom solcellepanelene hadde vært erstattet med solfangere, ville det samme arealet produsert 14 000 kWh gitt at en solfanger gjennomsnittlig produserer 400 kWh per kvadratmeter, slik beskrevet i kapittel 10.2, Solfanger. Denne varmeproduksjonen kunne muligens dekket varmeeffektbehovet for eksempelboligen i kombinasjon med en varmepumpe. Virkningsgraden på solfanger har som beskrevet i kapittel 10.2, en høyere virkningsgrad enn vanlige solceller. Det er noe usikkerhet knyttet til hvor mye varme solfangere kunne produsert på gitt lokasjon, men med bakgrunn i de gjennomsnittlige verdiene kunne den produserte varmen avlastet strømmettet i stor grad.

#### 14.10 Samlet total vurdering av tiltak

Ved vurdering av energibehovet til eksempelboligen ved de ulike TEK-kravene, er det tydelig at varmeeffektbehovet har størst reduksjonspotensial ved de eldste standardene. Dette kommer som følge av høyere transmisjons-, infiltrasjons- og ventilasjonstap. Dersom en bolig med TEK-69-standard kun installerer luft-luft-varmepumpe, vil byggets totale elektrisitetsbehov reduseres med 24 279 kWh. Ved først å etterisolere etter TEK-17 krav, og så installere varmepumpe, vil totalt elektrisitetsforbruk reduseres med henholdsvis 21 693 kWh og 6690 kWh. Ved å benytte væske-vann-varmepumpe fremfor luft-luft-varmepumpe, ville en bolig med TEK-69 standard kunne redusert elektrisitetsbehovet med 7113 kWh mer ved væske-vann-varmepumpe. For bolig som er av TEK-17 krav, vil energibehovet ved installasjon av væske-vann-varmepumpe reduseres med 7102 kWh mer enn ved luft-luft-varmepumpe.

Ved å betrakte bolig ved TEK-97 krav, som er standarden midt mellom den eldste og nyeste

forskriften, vil boligen ved å installere luft-luft-varmepumpe kunne redusere elektrisitetsbehovet med 14 865 kWh. Hvis boligen først etterisolerer og så installerer luft-luft-varmepumpe, kan elektrisitetsbehovet reduseres med henholdsvis 10 082 kWh og 6690 kWh. Dersom varmepumpeinstallasjonen ved TEK-97 hadde vært væske-vann, ville det gitt en reduksjon på 7107 kWh mer sammenlignet med luft-luft-varmepumpe.

Disse besparelsene i energibehov er svært høye, og indikerer at det for TEK-69 bygg vil være mest energimessig lønnsomt å gjennomføre både installasjon av varmepumpe og etterisolering for å redusere energibehovet. Vær her oppmerksom på at etterisoleringen inkluderer oppgradering av ventilasjonstapet i boligen, da beregningene på totalt energiforbruk også inkluderer dette. Dette er dessuten noe som er nødvendig ved en slik energioppgradering, for å opprettholde krav om luftskiftninger i bygg. I tillegg er det viktig å huske, slik nevnt tidligere, at det vil være forskjell på å etterisolere og energioppgradere et bygg, sammenlignet med å bygge nytt. Besparelsene er dessuten noe høyere enn det ville vært for et reelt tilfelle, da avgrensinger som ligger til grunn ikke vil være gjeldende i virkeligheten. Dette innebærer at flere elementer måtte vært inkludert ved beregninger på et reelt hus, og som derfor trolig ville resultert i lavere reduksjonspotensial enn det beregningene tilsier.

Solenergiproduksjon og lagring har ut fra beregningene varierende påvirkning på byggets totale energiforbruk. Ved bedre energistandard i boligen vil produksjonen kunne dekke en større andel av forbruket. Batteriet vil fort lades opp ved optimale solfylte dager, og vil kunne dekke store deler av forbruket ved effekttoppen på kveldstid. Ulempen ved egenproduksjonen er imidlertid at den ofte er høy når etterspørselen er lav, som igjen resulterer i at energi selges til nettet når batteriet er fulladet. På vinterstid er ofte produksjonen lav, i tillegg til at batteriet benyttes svært lite da solenergiproduksjonen ikke er høy nok til at batteriet nyttiggjøres betydelig. Dersom batteriet i tillegg kan kobles direkte til nettet for å lades ved lavlasttimer, kan dette imidlertid resultere i økt nytte av batteriet gjennom året og bidra til mer avlastning av distribusjonsnett. Totalt sett vil solenergiproduksjon på tak kunne være et godt bidrag for å produsere mer lokal fornybar energi, og dermed bidra til å nå klimamålene. Det kan likevel oppstå utfordringer med motsatt effektflyt i nettet dersom mange i samme området installerer solcelleanlegg. Dette er derfor noe som må hensyntas mer i framtiden, eksempelvis ved mer aktiv bruk av vern og vekselrettere.

Slik beskrevet i kapittel 6.1, gikk 22 % av strømforbruket på 47.5 TWh til husholdningssektoren i 2017. Dersom en stor andel av den norske boligmassen gjennomfører en eller flere av enøk-tiltakene vurdert i denne oppgaven, vil totalt energiforbruk i sektoren kunne reduseres betraktelig. Dette vil kunne bidra til å senke det totale energiforbruket i Norge, og vil dermed frigjøre mer energi. Dette vil være svært positivt i fremtiden med den økende kraftetterspørselen, i tillegg til at dette vil kunne bidra til å lette overgangen til fossilfrie energikilder. Det er likevel verdt å presisere at det bidraget husholdningssektoren alene kan redusere, vil grunnet den relativt lave andelen av totalforbruket, kun utgjøre en begrenset reduksjon. Derfor er det

viktig at flere sektorer vurderer og gjennomfører energieffektiviseringstiltak for å senke det totale energiforbruket i Norge, og for å kunne møte fremtidig etterspørsel med kun fornybar kraftproduksjon.

### 14.11 Styrker og svakheter ved oppgaven

Enhver type oppgave innehar en rekke styrker og svakheter som er med på å påvirke oppgavens pålitelighet. En styrke med denne oppgaven er generaliserbarheten av beregningene som gir anslagsvise resultater for potensialet ved energibesparende tiltak. Til tross for feilkildene og usikkerhetene som er beskrevet tidligere, gir resultatene et generelt overblikk over energiforbruket i en bolig. En kilde til usikkerhet ved beregningene gjennomført i denne oppgaven, er avgrensingene. For et reelt tilfelle hadde det vært flere hensyn som måtte vært inkludert i beregningene av byggets totale energibehov. Ved teoriinnhenting og vurdering av kilder, er det forsøkt å kun benytte gode kilder som underbygger den kunnskapen som er tilegnet gjennom studieløpet. Ved mindre akademiske kilder, har informasjonen i disse blitt underbygget av andre kilder for å sikre kvaliteten. Det er med dette utøvd god kildekritikk under litteraturrevisjon. Oppgaven kunne også foretatt beregninger ved installasjon av luft-vann varmepumpe for å undersøke denne teknologiens bidrag til reduksjon av strømforbruket. Dette ble valgt å ikke beregne da luft-luft og væske-vann-varmepumpe ble ansett som mer interessante. Det finnes mange elementer som hadde vært interessante å undersøke mer i dybden, men grunnet oppgavens brede omfang har dette ikke vært mulig. Dette kan være en svakhet med oppgaven, men har imidlertid gitt en bred forståelse av elementer knyttet til energiomlegging og energieffektivisering av boliger.

## 15 Tanker rundt videre arbeid

Ved en eventuell videreføring av oppgaven, finnes det mange aspekter som hadde vært interessante å undersøke for å oppnå en bedre forståelse av hvordan energieffektiviserende tiltak påvirker energisituasjonen og strømmettet i Norge. Et naturlig steg videre hadde vært å undersøke hvordan ENØK-tiltak i andre type boligbygg hadde redusert deres samlede energibehov, og undersøkt hvilken betydning dette ville hatt for nettavlastning. Det hadde også vært interessant å undersøke hvordan effektiviseringstiltak i ulike nærings- og industribygg, opplæringsinstitusjoner og liknende, hadde bidratt til redusert energibruk og endret belastning på distribusjonsnettet.

Videre kunne oppgaven undersøkt hvordan ENØK-tiltak samlet sett for en større andel av boligmassen kunne bidratt til effektavlastning på de tre nettnivåene. Det kunne da blitt gjennomført anslagsvise beregninger for den totale energibesparelsen, og undersøkt hvordan nettet på denne måten kunne blitt avlastet. Det hadde da vært mulig å generere et anslag for mengde besparelsene, gitt at tiltakene i de ulike områdene faktisk hadde en reell gjennomførbarhet. For å øke realismen og nøyaktigheten ved slike beregninger, hadde det blant annet vært behov for data på hvordan de aktuelle boenhetene i et område er bygget, hvordan brukeradferden spiller en rolle i dette område, samt hvordan ulike apparater i boligen trekker strøm. Samlet sett ville dette kunne gi en ytterligere innsikt i hvordan boliger, næringsvirksomhet og industri påvirker strømmettet på et nasjonalt nivå. Dette vil igjen kunne gi innsikt i hvordan strømmettet bør videreutvikles for å dekke fremtidig energietterspørsel og bedre fordeling av energien på et nasjonalt nivå.

Oppgavens problemstilling er i utgangspunktet svært sammensatt og bred, og de ulike temaene er derfor avgrenset. Et annet aspekt av denne problemstillingen kunne også undersøkt de økonomiske aspektene ved effektiviseringstiltakene som er foreslått i oppgaven. De økonomiske aspektene være seg investeringsutgiften ved installasjon eller gjennomføringen av de aktuelle tiltakene, opp mot den økonomiske gevinsten av tiltakene. Relevante spørsmål en slik videreføring kunne forsøkt besvart, kan da være; Hvor stor vil den økonomiske gevinsten være for husholdninger? Hvor lang tid vil det ta for investeringsutgiften å bli tilbakebetalt av besparelsene ved tiltaket, gitt normale tilstander? I hvilke tilfeller vil tiltakene anses som ikke økonomisk gunstige?

En videreføring av oppgaven kunne også undersøkt det miljømessige aspektet av tiltakene, opp mot den energimessige fordelene. Eksempelvis vil fjernvarme være en effektiv energiutnyttelse, ettersom at avfallsforbrenning uansett vil gi utslipp. Det kunne da vært undersøkt hvordan CO<sub>2</sub>-fangst av fjernvarmeproduksjon ville gitt ytterligere miljømessige fordeler. Dette kan da blitt sammenlignet med eksempelvis vannkraft eller vindkraft ved at energikildene som settes opp mot hverandre undersøkes grundig med tanken på livsløpsvurderinger av systemene. Energieffektiviseringstiltak vil resultere i ytterligere ressursbruk, og resulterer derfor i økte klimagassutslipp. Det hadde derfor vært interessant å undersøke hvordan den ressursmessige

og miljømessige ulempen ved effektiviseringstiltak hadde blitt sett opp mot den energimessige fordelten, og finne grensen på den ressurs-, energi-, og miljømessige lønnsomheten er for de ulike alternativene.

Til slutt, hadde det også vært interessant å undersøke hvor sterk påvirkning den politiske og samfunnsmessige situasjonen har på energisituasjonen og relevansen av energieffektivisering. Det er uten tvil at effektiv energibruk har fått og kommer til å få ytterligere fokus i tiden som kommer grunnet begrensinger på energi. Hvordan dette påvirker den politiske utviklingen og hvordan politikken legger til rette for slike tiltak for å nå klimamålene gitt av FN, kunne vært interessant å undersøke. Hva har dette å si på et større samfunnsmessig nivå? En slik problemstilling ville muligens avviket fra ingeniørers fagfelt.

### 15.1 Hvordan skiller oppgaven seg fra forprosjektet

Oppgavens mål har gjennom semesteret endret seg noe fra planlagt oppgave. Forprosjektet beskriver den originale tanken om oppgavens fokus. Planen var å undersøke hvordan reduksjon av energiforbruket i forskjellige boliger og muligens også næringsbygg, ville påvirke avlastning av distribusjonsnett. Her ville lokasjon, bystørrelse, type boliger, mulige næringsbygg og industri vært av større betydning. Hvordan distribusjonsnett kunne avlastes ved energieffektive tiltak, stod i utgangspunktet i større fokus. Det var likevel tenkt å undersøke hvordan ulike ENØK-tiltak i ulike boligtyper ville påvirke nettkapasiteten. Det ble fort nødvendig å omformulere og snevre inn problemstillingen grunnet den originale tankens omfang. Det ble med bakgrunn i dette valgt å kun foreta beregninger på en tenkt enebolig for å vurdere hvor energibesparende ulike ENØK-tiltak kan være for en enkelt bolig. For å danne et bedre grunnlag for vurdering, ble det valgt å undersøke eneboligen ved ulike standarder. Dette gjorde det dessuten lettere å kunne generalisere oppgavens resultater. Oppgavens fokus er derfor i større grad rettet mot vurderingen av hvordan ENØK-tiltak og energiomlegging påvirker boligens totale strømforbruk. Det var likevel et ønske om å se på hvordan de ulike tiltakene påvirket nettet. Det er derfor presentert og diskutert noe rundt hvordan reduksjon i energiforbruket kan bidra til å avlaste distribusjonsnett, og hvordan egenproduksjon og lagring påvirker nettet. Dersom oppgaven hadde hatt et større omfang, kan det tenkes at det i ytterligere grad hadde blitt fokusert på hvordan nettet påvirkes av effektiv energiforbruk, samt mer om konsekvenser av egenproduksjon og lagring av energi.



## 16 Konklusjon

Oppgaven har presentert en rekke forhold som aktualiserer nødvendigheten av energiomlegging i samfunnet og energieffektivisering av den norske boligmassen. Energiforbruket i en typisk enebolig er presentert, samt hvordan forbruket kan påvirkes av enkelte tiltak. De presenterte energikravene i bolig, gitt de byggtekniske forskriftene, viser hvordan energieffektivitet i boliger har utviklet seg med årene. Det har også blitt presentert typiske energieffektiviserende tiltak for nyere og eldre boligmasse, med gitte begrensninger.

Målet med oppgaven var å undersøke “I hvilken grad påvirker energiomlegging og ulike energieffektiviserende tiltak energiforbruket i en enebolig, og hva slags påvirkning kan dette ha på distribusjonsnettet?”.

Resultatene fra beregningene i eksempelboligen viser at bygg etter eldre teknisk standard, har stort energimessig reduksjonspotensial ved installasjon av varmepumpe og isolering. Da vil bygget kunne redusere energiforbruket ved transmisjons-, ventilasjons-, og infiltrasjonstap, samt benytte en energieffektiv oppvarmingskilde. For bygg etter nyere standard, vil tiltak som omhandler isolering være av mindre betydning, mens installasjon av varmepumpe kan gi betydelig reduksjon av byggets energiforbruk. Installasjon av solcelleanlegg og eventuelt også batteri som energilagringssystem i tilknytning til boligen, er tiltak som vil være mer aktuelle dersom boligen allerede er energieffektiv. Solkraftproduksjonen vil kunne dekke store deler av boligens energiforbruk ved optimale solforhold dersom et batteri kan lagre deler av overproduksjonen til senere bruk. Ved vinterperioder vil systemet imidlertid være av betydelig mindre nytte. På bakgrunn av beregningene er det tydelig at produksjonen er høyest når etterspørselen er lav. Ved et reelt tilfelle bør det foretas en helhetlig vurdering av boligens energistandard for å vurdere hvilke tiltak som vil være mest energimessig lønnsomme.

Med bakgrunn i dette, kan svaret på problemstillingen være som følger: De energieffektiviserende tiltakene vurdert i oppgaven, har ulik grad av påvirkning på byggets totale energibehov gitt energikravene i byggteknisk standard. Etterisolering vil for flere av TEK-standardene gi god energireduksjon, men vil ikke være av betydning for de nyeste standardene. Installasjon av varmepumpe vil imidlertid kunne redusere energibehovet i boligen, uavhengig av standard og type varmepumpe. Fjernvarme vil redusere det elektriske energiforbruket, da varmeeffektbehovet kan dekkes av fjernvarme. Med bakgrunn i ENØK-tiltakene som er egnet for den enkelte bolig, kan energieffektiviserende tiltak og energiomlegging til hensiktsmessige energikilder i stor grad påvirke energiforbruket i en bolig.

Disse tiltakene vil alle bidra til å redusere belastningen i distribusjonsnettet. Egenproduksjon og lagring vil være mest aktuelt for bolig av god energistandard, siden produksjonen vil kunne dekke en større andel av boligens energiforbruk. Dessuten bidrar dette til økt fornybar energiproduksjon. Distribusjonsnettet kan avlastes ved et slikt system grunnet fleksibiliteten, men vil samtidig kunne gi utfordringer med motsatt effektflyt og usymmetri dersom mange

i et område installerer solceller og selger overproduksjon til nettet samtidig. Reduksjon av energiforbruk i form av energiomlegging og energieffektiviserende tiltak i bolig vil kunne gi en betydelig reduksjon i energiforbruket, og ha en avlastende virkning på distribusjonsnettet avhengig av boligens standard.

## Referanser

- [1] NVE. *Hvor kommer strømmen fra?* 17. apr. 2023. URL: <https://www.nve.no/energi/energisystem/kr-aftproduksjon/hvor-kommer-stroemmen-fra/> (sjekket 27.03.2023).
- [2] NVE. *Solkraft*. 8. mai 2023. URL: <https://www.nve.no/energi/energisystem/solkraft/> (sjekket 27.03.2023).
- [3] Nicolai Feilberg mfl. *Varmemarkedets utvikling og betydning for fleksibiliteten i energiforsyningen*. 11. okt. 2007. URL: [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/vedlegg/energiloven/sintef\\_varmemarkedets\\_utvikling.pdf?id=2244459](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/vedlegg/energiloven/sintef_varmemarkedets_utvikling.pdf?id=2244459) (sjekket 16.02.2023).
- [4] NOU 2023: 3. *Mer av alt-raskere*. 1. feb. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/>.
- [5] Eivind Reiten, Lars Sørgard og Kristin Bjella. *Et bedre organisert strømnnett*. 5. mai 2014. URL: [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/pdf\\_filer\\_2/rapport\\_et\\_bedre\\_organisert\\_stroemnett.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/pdf_filer_2/rapport_et_bedre_organisert_stroemnett.pdf) (sjekket 10.02.2023).
- [6] Direktoratet for byggkvalitet. *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. 1. jul. 2017. URL: [https://www.regjeringen.no/contentassets/20503ddfe0664fac9e2185c1a6c80716/veiledning-til-byggteknisk-forskrift-tek17\\_01\\_07\\_2017\\_oppdatert\\_15\\_09\\_2017.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/20503ddfe0664fac9e2185c1a6c80716/veiledning-til-byggteknisk-forskrift-tek17_01_07_2017_oppdatert_15_09_2017.pdf) (sjekket 30.03.2023).
- [7] Fornybar Norge. *Vi bruker strøm hele døgnet. Hva skulle vi gjort uten?* Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.fornybarnorge.no/stromguiden/ditt-stromforbruk/> (sjekket 29.03.2023).
- [8] Miljødirektoratet. *Energieffektivisering og -omlegging i eksisterende bygg*. 16. aug. 2019. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/bygg-og-anlegg/energieffektivisering-og-omlegging-eksisterende-bygg/> (sjekket 19.05.2023).
- [9] Energifakta Norge. *Kraftproduksjon*. 13. mai 2022. URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/> (sjekket 02.05.2023).
- [10] Statnett. *Derfor har vi prisområder for strøm i Norge*. 16. mar. 2023. URL: <https://www.statnett.no/om-statnett/bli-bedre-kjent-med-statnett/om-strompriser/fakta-om-prisomrader/> (sjekket 23.03.2023).
- [11] NVE. *Strømprisen ville vært mye høyere uten utenlandsforbindelser*. 28. aug. 2020. URL: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/stromprisen-ville-vaert-mye-hoyere-uten-utenlandsforbindelser/> (sjekket 23.03.2023).
- [12] Energifakta Norge. *Kraftmarkedet*. 13. mai 2022. URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/> (sjekket 23.03.2023).
- [13] Statnett. *Statnett selger seg ned i kraftbørsen*. 18. apr. 2023. URL: <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemeldinger/nyhetsarkiv-2019/statnett-selger-seg-ned-i-kraftborsen/> (sjekket 27.04.2023).
- [14] Statnett. *Nye kabler utgjør kun rundt 10% av de høye strømprisene*. 18. apr. 2023. URL: <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemeldinger/nyhetsarkiv-2022/nye-kabler-star-for-rundt-10-av-de-hoye-stromprisene/> (sjekket 25.04.2023).
- [15] NVE-REM. *Utenlandskabler bidrar til forsyningsikkerhet*. 20. okt. 2022. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/slik-fungerer-kraftsystemet/utenlandskabler-bidrar-til-forsyningsikkerhet/> (sjekket 27.04.2023).
- [16] NVE-REM. *Engrosmarkedet*. 6. des. 2022. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/kraftmarkedet/engrosmarkedet/> (sjekket 25.04.2023).
- [17] NVE-REM. *Hvordan fungerer kraftmarkedet?* 20. okt. 2022. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/slik-fungerer-kraftsystemet/hvordan-fungerer-kraftmarkedet/> (sjekket 08.05.2023).
- [18] Oljedirektoratet. *6 - Kraftsituasjonen og kraftnettet på land*. URL: <https://www.npd.no/fakta/publikasjoner/rapporter/rapportarkiv/kraft-fra-land-til-norsk-sokkel/6---kraftsituasjonen-og-kraftnettet-pa-land/> (sjekket 17.05.2023).

- [19] Statnett. *Tall og data fra kraftsystemet*. 18. apr. 2023. URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/> (sjekket 27.04.2023).
- [20] NVE. *Kraftåret 2021 - historisk høye kraftpriser*. 8. feb. 2022. URL: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/kraftaret-2021-historisk-hoye-kraftpriser/> (sjekket 23.03.2023).
- [21] Trygve Grønning. *Dette påvirker strømprisene i Norge: Gass, krig i Ukraina, lite vann og atomkraftverk i Tyskland*. 14. aug. 2022. URL: <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/dette-pavirker-stromprisene-i-norge-gass-krig-i-ukraina-lite-vann-og-atomkraftverk-i-tyskland-1.16063700> (sjekket 25.04.2023).
- [22] Fornybar Norge. *Alt om strømpriser*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.fornybarnorge.no/strommarked/derfor-er-stromprisen-hoyere-i-ar-enn-i-fjor/> (sjekket 23.03.2023).
- [23] Hallvard Norum. *Derfor er det høye strømpriser nå*. 16. sep. 2021. URL: <https://www.nrk.no/norge/derfor-er-det-hoye-strompriser-na-1.15633622> (sjekket 23.03.2023).
- [24] Energiloven-enl. *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)*. 29. jun. 1990. URL: [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50/KAPITTEL\\_1\\_#%5C%C2%5C%A71-5](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50/KAPITTEL_1_#%5C%C2%5C%A71-5) (sjekket 26.01.2023).
- [25] Energifakta Norge. *Strømnettet*. 10. apr. 2019. URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftnett/> (sjekket 26.01.2023).
- [26] NVE. *Nett*. 6. okt. 2022. URL: <https://www.nve.no/energi/energisystem/nett/> (sjekket 26.01.2023).
- [27] Statnett. *Europeisk regelverk*. 23. mar. 2023. URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/utvikling-av-kraftsystemet/europeisk-regelverk/> (sjekket 28.03.2023).
- [28] NDLA. *Distribusjonsnett - Energi- og styresystemer (EL-ELE vg1) - NDLA*. 5. aug. 2020. URL: <https://ndla.no/nb/subject:1:8c5a9fdd-4fa4-456b-9afe-34e7e776b4e7/topic:fcce2c5d-b188-434e-8a6d-a320df407e50/resource:b0349062-103e-4189-93ea-32e33bbf74b2> (sjekket 26.01.2023).
- [29] Kjell Saugstad. *Transformator*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/transformator> (sjekket 07.05.2023).
- [30] NDLA. *TT-nett - Energi- og styresystemer (EL-ELE vg1) - NDLA*. 17. apr. 2020. URL: <https://ndla.no/nb/subject:1:8c5a9fdd-4fa4-456b-9afe-34e7e776b4e7/topic:fcce2c5d-b188-434e-8a6d-a320df407e50/resource:5b4625b0-7f8e-48b3-8cd2-73cdf79f205d> (sjekket 28.03.2023).
- [31] Norgesnett. *Kraftsystemmodellen*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://norgesnett.no/kraftsystemmodellen-2/> (sjekket 28.03.2023).
- [32] NDLA. *IT-nett - Energi- og styresystemer - NDLA*. 25. okt. 2019. URL: <https://ndla.no/nb/subject:1:8c5a9fdd-4fa4-456b-9afe-34e7e776b4e7/topic:fcce2c5d-b188-434e-8a6d-a320df407e50/resource:1756af6e-4853-43b3-8e1a-720a542b2c38> (sjekket 09.05.2023).
- [33] Knut A. Rosvold. *Nettsystem*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/nettsystem> (sjekket 08.05.2023).
- [34] NDLA. *TN-nett - Energi- og styresystemer (EL-ELE vg1) - NDLA*. 25. okt. 2019. URL: <https://ndla.no/nb/subject:1:8c5a9fdd-4fa4-456b-9afe-34e7e776b4e7/topic:fcce2c5d-b188-434e-8a6d-a320df407e50/resource:9001ff6c-c26e-45ab-98f6-1224ad9a822e> (sjekket 28.03.2023).
- [35] Statistisk sentralbyrå. *Varmepumper reduserer utgiftene til strømavhengige nordmenn*. 21. des. 2022. URL: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/artikler/varmepumper-reduserer-utgiftene-til-stromavhengige-nordmenn> (sjekket 27.04.2023).
- [36] Torgeir Ericson og Bente Halvorsen. *Hvordan varierer timeforbruket av strøm i ulike sektorer?* Jun. 2008. URL: [https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/oa\\_200806/ericson.pdf](https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/oa_200806/ericson.pdf) (sjekket 14.05.2023).
- [37] NVE-REM. *Smarte strømmålere (AMS)*. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/stroem/stroemkunde/smar-te-stroemmaalere-ams/> (sjekket 10.05.2023).
- [38] SINTEF. *For å få nok strøm må vi redusere effekttoppene i bygninger*. 1. mar. 2023. URL: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2023/for-a-fa-nok-strom-ma-vi-reducerer-effekttoppene-i-bygninger/> (sjekket 10.05.2023).
- [39] *Pressekonferanse om straum*. 15. feb. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/nn/aktuelt/pressekonferanse-om-straum/id2963101/> (sjekket 27.04.2023).

- [40] Statsministerens kontor. *Regjeringen med milliardpakke i strømstøtte*. 11. des. 2021. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-med-milliardpakke-i-stromstotte/id2891839/> (sjekket 27.04.2023).
- [41] Regjeringen.no. *Regjeringens strømtiltak*. 16. feb. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/regjeringens-stromtiltak/id2900232/> (sjekket 08.05.2023).
- [42] Regjeringen.no. *Regjeringen gjør endringer i strømstøtteordningen*. 15. feb. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-gjor-endringer-i-stromstotteordningen/id2963350/> (sjekket 27.04.2023).
- [43] SSB. *Rekordhøy strømpris i 2022 – dempet av strømstøtte*. URL: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser/artikler/rekordhoy-strompris-i-2022--dempet-av-stromstotte> (sjekket 26.03.2023).
- [44] Trym K. Thorsnes Silje S. og Økland. *Ekstraordinært år for prisveksten i 2022*. 11. jan. 2023. URL: <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/konsumpriser/statistikk/konsumprisindeksen/artikler/ekstraordinaert-ar-for-prisveksten-i-2022> (sjekket 29.03.2023).
- [45] Karen B. Lindberg, Synne K. Lien og Arnkell J. Petersen. *Samtidighet og sammenlagring, COFACTOR-rapport*. 25. okt. 2022. URL: [https://www.sintef.no/globalassets/sintef-byggforsk/berg-og-geo/rappport-cofactor-2022\\_begrepsforklaring-og-case-studie.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/sintef-byggforsk/berg-og-geo/rappport-cofactor-2022_begrepsforklaring-og-case-studie.pdf) (sjekket 02.05.2023).
- [46] ENOVA hjemme. *Fremtidens bolig, en bolig som gir maksimal komfort med minimal bruk av energi*. Ukjent publiseringsdato. URL: [https://www.enova.no/upload\\_images/42B0BD408ABB4271A1CDEABF9C402A6E.pdf](https://www.enova.no/upload_images/42B0BD408ABB4271A1CDEABF9C402A6E.pdf) (sjekket 25.04.2023).
- [47] Energiverket. *Hva er passivhus, nullhus og plusshus?* 12. feb. 2019. URL: <https://www.energiverket.no/hva-er-passivhus-nullhus-og-plusshus/> (sjekket 28.04.2023).
- [48] The Research Centre on Zero Emission Buildings. *ZEB Definitions*. Ukjent publiseringsdato. URL: <http://www.zeb.no/index.php/en/about-zeb/zeb-definitions> (sjekket 28.04.2023).
- [49] Knut A. Rosvold. *Plusshus*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/plusshus> (sjekket 25.04.2023).
- [50] Powerhose. *Powerhouse Brattørkaia*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.powerhouse.no/prosjekter/brattorkaia/> (sjekket 25.04.2023).
- [51] Enova. *Om organisasjonen — Om Enova — Informasjon*. URL: <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/> (sjekket 19.05.2023).
- [52] Enova. *Smarte energi- og klimatiltak — Enova*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/> (sjekket 28.04.2023).
- [53] Ragni F. Mikalsen mfl. *Energieffektive bygg og brannsikkerhet*. 2019. URL: [https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/andre-rapporter/rise-rapport-2019\\_2-energieffektive-bygg-og-brannsikkerhet.cleaned.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/andre-rapporter/rise-rapport-2019_2-energieffektive-bygg-og-brannsikkerhet.cleaned.pdf) (sjekket 18.04.2023).
- [54] Regjeringen.no. *§ 4-1 Departementet svarer på spørsmål om søknadsplikt ved installering av solenergianlegg*. 30. nov. 2022. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/-4-1-deres-ref-var-ref-226902-2-dato-30.-november-2022-departementet-svarer-pa-sporsmal-om-installer-av-solenergianlegg/id2959512/> (sjekket 21.04.2023).
- [55] Standard Norge. *ISO-standarder — standard.no*. 30. mar. 2022. URL: <https://www.standard.no/standardisering/iso-standarder/> (sjekket 21.04.2023).
- [56] Kommunal- og moderniseringsdepartementet. *Bygningsregelverket fra 1965 – 2017*. 22. mai 2018. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/plan-bygg-og-eiendom/bygningsregelverket-fra-1965--2017/id2590706/> (sjekket 21.04.2023).
- [57] Byggforskserien. *TEK-17 - Byggeregler*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.byggforsk.no/byggeregler> (sjekket 01.05.2023).
- [58] Byggforskserien. *Hva er Byggforskserien - Byggforskserien*. Ukjent publiseringsdato. URL: [https://www.byggforsk.no/side/198/hva\\_er\\_byggforskserien](https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien) (sjekket 21.04.2023).

- [59] Direktoratet for byggkvalitet. *Bytte vinduer? Velg vinduer som gir deg lys og varme*. 23. mai 2018. URL: <https://dibk.no/bygge-eller-endre/puss-opp-energismart/bytte-vinduer-velg-vinduer-som-gir-deg-lys-og-varme> (sjekket 01.05.2023).
- [60] Direktoratet for byggkvalitet. *Byggeteknisk forskrift (TEK 10)*. 20. mai 2016. URL: <https://dibk.no/globalassets/byggeteknisk-forskrift-tek102/byggeteknisk-forskrift-tek10-med-veiledning.pdf> (sjekket 19.04.2023).
- [61] Teknisk forskrift (TEK 97). *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK)*. 19. mai 2015. URL: <https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/1997-01-22-33> (sjekket 01.05.2023).
- [62] *Byggeforskrifter av 1. august 1969 utferdighet i henhold til § 6 i bygningslove av 18. juni 1965*. 1. aug. 1969. URL: [https://www.regjeringen.no/contentassets/9dcd44af30c744ea999f0d122fdc1c3c/byggeforskr\\_010869.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/9dcd44af30c744ea999f0d122fdc1c3c/byggeforskr_010869.pdf) (sjekket 21.04.2023).
- [63] Olav Ø. Berge og Gustav P. Larsen. *Rett og slett, en veiledning til Byggeforskrift 1987*. 20. des. 1990. URL: [https://www.regjeringen.no/contentassets/20503ddfe0664fac9e2185c1a6c80716/veiledning\\_bgf\\_1987\\_201290.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/20503ddfe0664fac9e2185c1a6c80716/veiledning_bgf_1987_201290.pdf) (sjekket 18.04.2023).
- [64] Enova. *Bytt til lavenergivinduer og reduser energiutgiftene*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/lavenergivindu/> (sjekket 28.04.2023).
- [65] Rockwool. *Tykkelser iht forskriftene ved nybygg i TEK 10*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.rockwool.com/no/downloads-og-tools/byggeregler/nybygg/tykkelser-ih-forskriftene/> (sjekket 12.04.2023).
- [66] *Forskrift om krav til byggverk 1997*. URL: [https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/forskrift-om-krav-til-byggverk.pdf](https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/forskrift-om-krav-til-byggverk.pdf) (sjekket 03.05.2023).
- [67] Regjeringen. *Anbefalinger fra Statens bygningstekniske etat 9.11.2006*. 9. nov. 2006. URL: [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kilde/krd/prm/2006/0182/ddd/pdfv/297849-anbefalinger\\_fra\\_abe\\_4.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kilde/krd/prm/2006/0182/ddd/pdfv/297849-anbefalinger_fra_abe_4.pdf) (sjekket 06.03.2023).
- [68] SINTEF. *Er huset ditt klart for en ny vinter?* 1. sep. 2022. URL: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2017/er-huset-ditt-klart-for-en-ny-vinter/> (sjekket 13.04.2023).
- [69] Flexit. *Naturlig ventilasjon*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.flexit.no/ventilasjon/de-tre-ulike-ventilasjonstypene/naturlig-ventilasjon/> (sjekket 28.04.2023).
- [70] Flexit. *Mekanisk avtrekksventilasjon*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.flexit.no/ventilasjon/de-tre-ulike-ventilasjonstypene/mekanisk-avtrekksventilasjon/> (sjekket 28.04.2023).
- [71] Flexit. *Balansert ventilasjon*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.flexit.no/ventilasjon/de-tre-ulike-ventilasjonstypene/balansert-ventilasjon/> (sjekket 28.04.2023).
- [72] Peter Blom og Sivert Uvsløkk. *Bygg tett - og ventiler rett!* ISBN: 978-82-536-1276-8. 2012.
- [73] ENOVA hjemme. *Hjelp til deg som skal gjennomføre tetthetskontroll og termografering av bolig*. Ukjent publiseringsdato. URL: [https://www.enova.no/upload\\_images/1AF585B8248F4BD3A56C68D979DA13F3.pdf](https://www.enova.no/upload_images/1AF585B8248F4BD3A56C68D979DA13F3.pdf) (sjekket 29.04.2023).
- [74] *REN veiledning til teknisk forskrift til plan og bygningsloven 1997*. Apr. 1999. URL: [https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/veiledning-til-forskrift-om-krav-til-byggverk-og-produkter-til-byggverk.-tekniske-forskrifter-til-plan-og-bygningsloven-av-14.-juni-1985-nr-77.-2.-utgave-april-1999.pdf](https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/veiledning-til-forskrift-om-krav-til-byggverk-og-produkter-til-byggverk.-tekniske-forskrifter-til-plan-og-bygningsloven-av-14.-juni-1985-nr-77.-2.-utgave-april-1999.pdf) (sjekket 15.05.2023).
- [75] Standard Norge. *SN-NSPEK 3031:2021-Bygningers energiytelse Beregning av energibehov og energiforsyning*. 3. des. 2021. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Productpresentasjon/?ProductID=1393607>.
- [76] Standard Norge. *Bygningers energiytelse, Beregning av energibehov og energiforsyning, SN-NSPEK 3031:2021*. 9. des. 2021. URL: [https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/bygningsenergi/beregning-av-bygningers-energibehov-og-energiforsyning/?gclid=CjwKCAjwxr2iBhBEiwAdXECw3vJ6CIBfnao7M0JRzv1HBSqN\\_D91wW98z0o3zZeVuKaYQ7pxq98hoCauAQAvD\\_BwE](https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/bygningsenergi/beregning-av-bygningers-energibehov-og-energiforsyning/?gclid=CjwKCAjwxr2iBhBEiwAdXECw3vJ6CIBfnao7M0JRzv1HBSqN_D91wW98z0o3zZeVuKaYQ7pxq98hoCauAQAvD_BwE) (sjekket 26.04.2023).

- [77] NVE. *Solkraft på bygg*. 21. feb. 2023. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/nett/tilknytning-av-forbruk-og-produksjon/solkraft-paa-bygg/> (sjekket 14.05.2023).
- [78] NVE-REM. *Plusskunder*. 18. jan. 2023. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/> (sjekket 21.04.2023).
- [79] Norsk Elektroteknisk Komite (NEK). *Kort om NEK*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.nek.no/om-nek/kort-om-nek/> (sjekket 21.04.2023).
- [80] Standard Norge. *Bygningers energiytelse, Energibehov for varme og kjøling, innetemperatur og følbare og latente varmelaster, Del 1: Beregningsprosedyrer (ISO 52016-1:2017)*. Jul. 2017. URL: <https://www.standandard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=941512>.
- [81] SSB. *Fakta om bolig*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/faktabaside/bolig> (sjekket 23.03.2023).
- [82] Energifakta Norge. *Energibruken i ulike sektorer*. 25. aug. 2021. URL: <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/energibruken-i-ulike-sektorer/> (sjekket 29.04.2023).
- [83] Bjørn Gran og Andreas Benedictow. *Bokostnadsindeks for leiligheter 2021*. 10. okt. 2022. URL: [https://www.huseierne.no/contentassets/6a598e35b1be4edb862907dfeb0d1083/r24-2022-bokostnadsindeks\\_leiligheter.pdf](https://www.huseierne.no/contentassets/6a598e35b1be4edb862907dfeb0d1083/r24-2022-bokostnadsindeks_leiligheter.pdf) (sjekket 03.03.2023).
- [84] Enova. *Fjerne fossil oppvarming — Energiltak*. 1. jan. 2020. URL: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/fjerne-fossil-oppvarming/> (sjekket 15.05.2023).
- [85] CTC. *Energieffektive tiltak i eldre boliger*. 12. jan. 2016. URL: <https://www.ctc.no/blog/nyheter/energieffektive-tiltak-i-eldre-boliger> (sjekket 15.05.2023).
- [86] Forbrukerrådet. *Energimerking*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.forbrukerradet.no/merkeoversikten/miljo/energimerking/> (sjekket 30.04.2023).
- [87] Energimerking. *Energimerking.no - Hva betyr energimerket for meg?* 1. mar. 2011. URL: <https://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/kjopeleie-bolig1/hva-betyr-energimerket-for-meg/> (sjekket 30.04.2023).
- [88] SINTEF. *Mer lønnsomt å etterisolere*. 5. nov. 2010. URL: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2010/mer-lonnsomt-a-ettersisolere/> (sjekket 12.05.2023).
- [89] Regjeringen.no. *EUs klimapakke Klar for 55 (Fit for 55)*. 16. nov. 2021. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/eus-klimapakke-klar-for-55/id2887217/> (sjekket 28.04.2023).
- [90] Regjeringen.no. *Forslag til revidert bygningsenergidirektiv*. 5. des. 2022. URL: <https://www.regjeringen.no/no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2022/des/forslag-til-revidert-bygningsenergidirektiv/id2959442/> (sjekket 22.04.2023).
- [91] FN. *FNs bærekraftsmål*. 4. apr. 2023. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (sjekket 13.05.2023).
- [92] Torgeir Ericson mfl. *Varmepumper i energisystemet*. Jul. 2016. URL: [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016\\_60.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf).
- [93] Varmepumpeinfo. *Slik virker en varmpumpe – Varmepumpeforeningen*. 7. feb. 2023. URL: <https://www.varmpumpeinfo.no/verdt-a-vite-om-varmpumper/slik-virker-en-varmpumpe> (sjekket 18.04.2023).
- [94] Michael J. Moran mfl. *Moran's Principles of Engeneering Thermodynamics*. Global edition. John Wiley & Sons Inc, 9. jul. 2018.
- [95] Varmepumpeinfo. *Hva er årsvarmefaktor?* 7. feb. 2023. URL: <https://www.varmpumpeinfo.no/sporsmaal-og-svar-om-varmpumper/hva-er-arsvarmefaktor-scop> (sjekket 16.05.2023).
- [96] Einar Gulbrandsen. *Alt om luft-til-luft-varmpumper – Varmepumpeforeningen*. 7. feb. 2023. URL: <https://www.varmpumpeinfo.no/varmpumpetyper/luft-til-luft-varmpumpe> (sjekket 21.05.2023).
- [97] Enova. *Alt du trenger å vite om de ulike varmpumpene*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.enova.no/privat/kampanjer/alt-du-trenger-a-vite-om-de-ulike-varmpumpene/> (sjekket 18.04.2023).
- [98] Boligsmart. *Hva koster fjernvarme? Pris i 2023*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.boligsmart.no/pris/fjernvarme> (sjekket 15.05.2023).

- [99] Lars Egil Helseth. *Varmekapasitet*. I: 6. mar. 2023. URL: <https://snl.no/varmekapasitet> (sjekket 29.04.2023).
- [100] Enova. *Váske-til-vann-varmepumpe — Søk om støtte*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/varmepumper/váske-til-vann-varmepumpe-/> (sjekket 18.04.2023).
- [101] Bjørn Pedersen. *Termokjemi*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/termokjemi> (sjekket 08.05.2023).
- [102] NTNU og SINTEF. *ENØK i bygninger, Effektiv energibruk*. 3. utg. Gyldendal Norsk Forlag AS, 2007.
- [103] Forskrift om ozonreduserende stoffer. *Forskrift om ozonreduserende stoffer*. 10. jan. 2003. URL: [https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/2002-12-20-1818/KAPITTEL\\_4#%5C%2%5C%A74-1](https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/2002-12-20-1818/KAPITTEL_4#%5C%2%5C%A74-1) (sjekket 18.04.2023).
- [104] Erling Bøe. *ENØK*. 2. utg. NIK Forlaget, 2005.
- [105] Norsk Varmepumpeforening. *Varmepumpeteknologi*. 13. jul. 2018. URL: <https://www.novap.no/artikler/varmepumpeteknologi> (sjekket 18.04.2023).
- [106] Helmut Ormestad, Bjørn Pedersen og Lars Egil Helseth. *varmeledning*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/varmeledning> (sjekket 31.03.2023).
- [107] Theodore L Bergman mfl. *Fundamentals of Heat and Mass transfer*. 7th. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [108] UIO. *Lys - Institutt for biovitenskap*. 3. nov. 2022. URL: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/l/lys.html> (sjekket 15.05.2023).
- [109] Jacob J Lamb og Bruno G Pollet. *Energy-Smart Buildings*. IOP Publishing, 2020. ISBN: 978-0-7503-3257-6.
- [110] Soteris A. Kalogirou. *Solar Energy Engineering, Processes and Systems*. 2. utg. Elsevier, 2009.
- [111] NDLA. *Varmtvannsbereider - Praktisk yrkesutøvelse (BA-BAT vg1) - NDLA*. 21. feb. 2020. URL: <https://ndla.no/nb/subject:1:0d67724e-d9fa-4365-9839-4cc91c012855/topic:1:eaf487bb-a2ad-4725-8e57-fd709dd4cade/topic:2:152327/resource:3c3b5049-9a24-40ba-a3c2-de9b822634bb> (sjekket 16.05.2023).
- [112] Line Ødegård Angeloff. *Interne vannfordelingsnett som forsyner dusjer og andre aerosoldannende tappepunkter*. 8. apr. 2020. URL: <https://www.fhi.no/nettpub/legionellaveilederen/temakapitler/interne-vannfordelingsnett-som-forsyner-dusjer-og-andre-aerosoldannende-tappepunkter/> (sjekket 03.05.2023).
- [113] Statkraft. *Fjernvarme — Statkraft*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.statkraft.no/var-virksomhet/fjernvarme/> (sjekket 24.02.2023).
- [114] Nils Spjeldnæs og Haakon Fossen. *Geotermisk energi*. I: 22. jan. 2023. URL: [https://snl.no/geotermisk\\_energi](https://snl.no/geotermisk_energi) (sjekket 29.03.2023).
- [115] Knut A. Rosvold. *Nærvarme*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/n%5C%C3%5C%A6rvarme> (sjekket 24.02.2023).
- [116] Hafslund Oslo Celsio. *Fjernvarme og kjøling: Slik fungerer fjernvarme*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://celsio.no/fjernvarme-og-kjoling-slik-fungerer-fjernvarme-/> (sjekket 28.03.2023).
- [117] Norsk Fjernvarme. *Fjernvarme*. Ukjent publiseringsdato. URL: <http://www.fjernvarme.no/fakta/fjernvarme> (sjekket 24.02.2023).
- [118] Linda P. Haugerud mfl. *Fjernvarmens rolle i energisystemet*. 20. des. 2013. URL: [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014\\_12.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_12.pdf) (sjekket 28.02.2023).
- [119] Kompa. *Spesialområde fjernvarme*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.kompa.no/tjenester/vannbehandlingskontroll/fjernvarme> (sjekket 24.02.2023).
- [120] NVE. *NVE vil utrede prising av fjernvarme*. 24. nov. 2021. URL: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/nve-vil-utrede-prising-av-fjernvarme/> (sjekket 24.02.2023).
- [121] SSB. *Fjernvarme og fjernkjøling*. 12. mai 2022. URL: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/fjernvarme-og-fjernkjoling> (sjekket 23.02.2023).
- [122] Norsk Fjernvarme. *Fjernkontrollen.no*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.fjernkontrollen.no/> (sjekket 24.02.2023).



- [123] *Kompetanskompendium for varmeanlegg 2011, Vannbåren varme og energiomlegging. Varmesentraler med fornybare energiressurser*. Nov. 2010. URL: [https://www.enova.no/upload\\_images/15620DD1392D4A9A94C1A77A589C2941.pdf](https://www.enova.no/upload_images/15620DD1392D4A9A94C1A77A589C2941.pdf) (sjekket 28.02.2023).
- [124] *Er det behov for endringer i regulering en av fjernvarme?* 13. mai 2013. URL: [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/pdf\\_filer\\_2/rapport\\_fra\\_thema.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/pdf_filer_2/rapport_fra_thema.pdf) (sjekket 08.05.2023).
- [125] *Anvendelser av regelverket for offentlige anskaffelser ved kjøp av fjernvarme*. 18. sep. 2009. URL: [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fad/vedlegg/konkurransopolitikk/anskaffelser/for\\_tolkningsuttalelse\\_fjernvarme.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fad/vedlegg/konkurransopolitikk/anskaffelser/for_tolkningsuttalelse_fjernvarme.pdf) (sjekket 05.05.2023).
- [126] Svein O. Slinde. *Myteknusing: "Å brenne avfall for å produsere fjernvarme er ikke klimavennlig"*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.statkraft.no/nyheter/nyheter-og-pressemeldinger/2019/myteknusing-a-brenne-avfall-for-a-produsere-fjernvarme-er-ikke-klimavennlig/> (sjekket 26.01.2023).
- [127] Hafslund Oslo Celsio. *Karbonfangst (CCS)*. URL: <https://celsio.no/karbonfangst-ccs/> (sjekket 15.05.2023).
- [128] Hafslund Oslo Celsio. *Fjernvarme og kjøling: Områdekjøling*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://celsio.no/fjernvarme-og-kjoling-omradekjoling/> (sjekket 17.02.2023).
- [129] SINTEF. *Energiløsningen*. 27. sep. 2010. URL: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2010/energilosningen/> (sjekket 30.04.2023).
- [130] Varmepumpeportalen. *Jordvarme: Slik får du jordvarme enklest mulig*. URL: <https://varmepumpeportalen.no/jordvarme> (sjekket 28.03.2023).
- [131] Varmepumpeportalen. *Bergvarme eller jordvarme: Hva bør du velge?* 31. mar. 2023. URL: <https://varmepumpeportalen.no/bergvarme-eller-jordvarme> (sjekket 30.04.2023).
- [132] Axel Sjøstedt. *Jordvarme varmepumper*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.aparoenergi.no/varmepumper/jordvarme/> (sjekket 28.03.2023).
- [133] Axel Sjøstedt. *Bergvarme varmepumper*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.aparoenergi.no/varmepumper/bergvarme/> (sjekket 28.03.2023).
- [134] Varmepumpeinfo. *Jordvarme og jordvarmepumpe – Varmepumpeforeningen*. 7. feb. 2023. URL: <https://www.varmepumpeinfo.no/energikilder-for-varmepumper/jordvarme> (sjekket 11.05.2023).
- [135] Norsk Solenergiforening. *Solceller*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.solenergi.no/solstrm> (sjekket 04.11.2020).
- [136] Norsk solenergiforening. *Solfangere*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.solenergi.no/solvarme> (sjekket 04.11.2020).
- [137] Bjørn Thorud. "Hva er det med distribuert solenergi?" I: (13. des. 2016). URL: <https://www.idunn.no/doi/10.18261/issn.1504-2871-2016-03-09> (sjekket 28.03.2023).
- [138] Oda Andrea Hjelme, Bjørn mfl. *Markedsrapport-Norsk solkraft 2022*. 2022. URL: <https://www.multiconsult.no/assets/220815-markedsrapport-solenergiklyngen-final-.pdf> (sjekket 25.03.2023).
- [139] Norsk solenergiforening. *Hvorfor solenergi?* URL: <https://www.solenergi.no/hvorfor-solenergi> (sjekket 15.05.2023).
- [140] Christina Benjaminsen Gemini.no. *Hvor godt virker egentlig solceller om vinteren?* 1. mar. 2018. URL: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2018/hvor-godt-virker-egentlig-solceller-i-nordisk-klima/> (sjekket 18.05.2023).
- [141] Knut Hofstad. *Solenergi*. I: 24. jan. 2023. URL: <https://snl.no/solenergi> (sjekket 19.04.2023).
- [142] Ung energi. *Hva er solenergi — UngEnergi*. 23. feb. 2023. URL: <https://ungenergi.no/energikilder/solenergi/hva-er-solenergi/> (sjekket 19.04.2023).
- [143] Mette E. Henriksen mfl. *Turbinopprustinger kan øke produksjonen i norske vannkraftverk med fire terawattimer*. 2020. URL: [https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2020/faktaark2020\\_03.pdf](https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2020/faktaark2020_03.pdf) (sjekket 28.02.2023).
- [144] Energy.gov. *Solar Photovoltaic Cell Basics*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.energy.gov/ee/re/solar/solar-photovoltaic-cell-basics> (sjekket 28.03.2023).

- [145] Lars Mæhlum og Knut A. Rosvold. *Solceller*. I: 24. jan. 2023. URL: <https://snl.no/solceller> (sjekket 30.03.2023).
- [146] Energy.gov. *PV Cells 101: A Primer on the Solar Photovoltaic Cell*. 3. des. 2019. URL: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell> (sjekket 06.05.2023).
- [147] Paul Bjørn Andersen. *Halvledere*. I: 22. jan. 2023. URL: <https://snl.no/halvledere> (sjekket 28.03.2023).
- [148] PVEducation. *Band Gap — PVEducation*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/pn-junctions/band-gap> (sjekket 04.05.2023).
- [149] MIT News — Massachusetts Institute of Technology. *Explained: Bandgap*. 23. jul. 2010. URL: <https://news.mit.edu/2010/explained-bandgap-0723> (sjekket 07.05.2023).
- [150] Massachusetts Institute of Technology. *Doping — PVEducation*. 23. jun. 2010. URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/pn-junctions/doping> (sjekket 07.05.2023).
- [151] Ingunn Mjønerud. *Alt om solceller og solenergi (Strøm.no)*. 19. nov. 2019. URL: <https://xn--strm-ira.no/solceller-og-solenergi> (sjekket 16.05.2023).
- [152] Amit Kumar Yadav og S.S. Chandel. "Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review". I: (jul. 2013). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032113001299> (sjekket 29.03.2023).
- [153] PVEducation. *Elevation Angle — PVEducation*. URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/elevation-angle> (sjekket 16.05.2023).
- [154] PVEducation. *Air Mass — PVEducation*. URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/air-mass> (sjekket 16.05.2023).
- [155] Knut A. Rosvold. *Watt peak*. I: 11. feb. 2023. URL: [https://snl.no/watt\\_peak](https://snl.no/watt_peak) (sjekket 14.05.2023).
- [156] Otovo-bloggen. *Levetiden for solceller er opp til 30 år og med høy effekt*. 31. jul. 2022. URL: <https://www.otovo.no/blog/solcellepanel-solceller/solceller-levetid/> (sjekket 18.05.2023).
- [157] Radhika S.K. Suman. "Effect of Tilt angle and Azimuth angle on Solar Output and Optimum Tilt and Azimuth angle for Chandigarh, India". I: (30. jun. 2015). URL: [http://ijareeie.com/upload/2015/june/28\\_EFFECT\\_NEW-1.pdf](http://ijareeie.com/upload/2015/june/28_EFFECT_NEW-1.pdf) (sjekket 16.05.2023).
- [158] Knut A. Rosvold. *Solfanger*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/solfanger> (sjekket 07.05.2023).
- [159] Ung energi. *Solfanger — UngEnergi*. 1. jun. 2022. URL: <https://ungenergi.no/energikilder/solenergi/solfanger/> (sjekket 09.05.2023).
- [160] Dr Fatih Birol og Upendra Tripathy. *Solar Energy - Mapping the road ahead*. Okt. 2019. URL: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/7de8652c-47b0-474e-8642-cbf20245b1f6/Solar\\_Energy\\_Mapping\\_the\\_road\\_ahead.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/7de8652c-47b0-474e-8642-cbf20245b1f6/Solar_Energy_Mapping_the_road_ahead.pdf) (sjekket 27.03.2023).
- [161] Otovo-bloggen. *Solcelleanlegg - hvordan fungerer det?* 29. nov. 2022. URL: <https://otovo.no/slik-funker-solcelleanlegg/> (sjekket 30.04.2023).
- [162] NVE-RME. *Prosumenter innvirkning på lavspente distribusjonsnett*. Jan. 2021. URL: [https://publikasjoner.nve.no/rme\\_eksternrapport/2020/rme\\_eksternrapport2020\\_09.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rme_eksternrapport/2020/rme_eksternrapport2020_09.pdf) (sjekket 04.05.2023).
- [163] Yasmin Sheikh-Mohames og Ketil Sagen. *Hvordan få solkraft fra Norges hustak inn i kraftsystemet?* 1. des. 2022. URL: <https://www.fornybarnorge.no/contentassets/deef6aa0023541259be447c872060da5/rapport---hvordan-fa-solkraft-fra-norges-hustak-inn-i-kraftsystemet.pdf> (sjekket 04.05.2023).
- [164] Kristian Bjørndal Vigsø Tveiten. *Solceller i lavspenningsnettet*. Aug. 2019. URL: <https://www.nve.no/media/15051/sommerprosjekt-2019.pdf> (sjekket 29.04.2023).
- [165] Knut A. Rosvold. *Overbelastningsvern*. I: 5. jun. 2020. URL: <https://snl.no/overbelastningsvern> (sjekket 30.04.2023).
- [166] Leveringskvalitetsforskriften. *Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet*. 1. jul. 2020. URL: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557#KAPITTEL\\_4](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557#KAPITTEL_4) (sjekket 30.04.2023).
- [167] Standard Norge. *NEK 446 Fotovoltaiske solenergisystemer — standard.no*. 8. mar. 2023. URL: <https://www.standard.no/fagomrader/elektrofag/elektro/nek-446/> (sjekket 30.04.2023).
- [168] Lisa Henden mfl. *Batterier i bygg kan få betydning for det norske kraftsystemet*. Aug. 2017. URL: [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017\\_66.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_66.pdf) (sjekket 20.04.2023).

- [169] *Norges batteristrategi*. Jun. 2020. URL: [https://www.regjeringen.no/contentassets/a894b5594dbf4eccbec0d65f491e4809/batteristrategien\\_web2.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/a894b5594dbf4eccbec0d65f491e4809/batteristrategien_web2.pdf) (sjekket 31.03.2023).
- [170] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. *Ny rapport: Farlige gasser fra batteribranner i hjemmet*. 9. jun. 2021. URL: <https://www.dsb.no/nyhetsarkiv/2021/ny-rapport-farlige-gasser-fra-batteri-branner-i-hjemmet/> (sjekket 30.04.2023).
- [171] Odne Stokke Burheim. *Engineering Energy Storage*. Academic press INC, 14. jul. 2017.
- [172] Knut A. Rosvold og Knut Hofstad. *Energilagring*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/energilagring> (sjekket 09.05.2023).
- [173] Ivar Gunvaldsen, Steinar Mathiesen og Knut A. Rosvold. *Batteri*. I: 28. mar. 2023. URL: <https://snl.no/batteri> (sjekket 03.04.2023).
- [174] Ola Nilsen. *Hvordan fungerer et batteri? - Kjemisk institutt*. 26. nov. 2010. URL: <https://www.mn.uio.no/kjemi/forskning/tema/batterier/artikler/batteriprinsipp.html> (sjekket 18.10.2020).
- [175] Ramtin R. mfl. Abdi Hamid. Nezhad. *Battery Capacity - an overview — ScienceDirect Topics*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/battery-capacity> (sjekket 15.05.2023).
- [176] DU Sauer mfl W Waag. *Depth of Discharge - an overview — ScienceDirect Topics*. 2009. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/depth-of-discharge> (sjekket 11.05.2023).
- [177] *Joules lov*. I: *Store norske leksikon*. 22. jan. 2023. URL: [https://snl.no/Joules\\_lov](https://snl.no/Joules_lov) (sjekket 15.05.2023).
- [178] Johannes Weniger, Tjarko Tjaden og Volker Quaschnig. "Sizing of Residential PV Battery Systems". I: (1. jan. 2014). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214001763> (sjekket 12.05.2023).
- [179] NREL. *Battery Lifespan*. URL: <https://www.nrel.gov/transportation/battery-lifespan.html> (sjekket 18.05.2023).
- [180] Ghassan Zubi mfl. "The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives". I: (1. jun. 2018). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118300728> (sjekket 09.05.2023).
- [181] *Li-Ion Batteries: Managing Risk to Secure Reward*. URL: <http://www.nasa.gov/offices/nesc/articles/li-ion-batteries>.
- [182] Joe O'Connor. *Battery Showdown: Lead-Acid vs. Lithium-Ion*. 30. mai 2019. URL: <https://medium.com/solar-microgrid/battery-showdown-lead-acid-vs-lithium-ion-1d37a1998287> (sjekket 03.04.2023).
- [183] next. *Peak Shaving — What it is and how it works*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/what-is-peak-shaving> (sjekket 10.05.2023).
- [184] next. *Peak Shaving — What it is & how it works*. URL: <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/what-is-peak-shaving> (sjekket 16.05.2023).
- [185] Danny Thai. *Which Electric Cars Have Bidirectional Charging (V2L, V2G, V2H)?* 20. nov. 2022. URL: <https://zecar.com/resources/which-electric-cars-have-bidirectional-charging> (sjekket 09.05.2023).
- [186] NAF. *Kia EV9 kan dele strømmen med strømmettet — NAF*. 29. mar. 2023. URL: <https://nye.naf.no/elbil/bruke-elbil/elbiler-med-toveislading> (sjekket 09.05.2023).
- [187] Eaton. *xStorage Home*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.eaton.com/no/no-no/catalog/energy-storage/xstorage-home.html> (sjekket 12.05.2023).
- [188] Tesla. *Powerwall*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.tesla.com/powerwall> (sjekket 12.05.2023).
- [189] Eco-stor. *ECO STOR — Products*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.eco-stor.com/products> (sjekket 20.04.2023).
- [190] Eidsiva. *Trøndelag med Norges første kommersielle nettbatteri*. 23. jan. 2023. URL: <https://www.eidsiva.no/artikler/trondelag-med-norges-forste-kommersielle-nettbatteri/> (sjekket 15.05.2023).
- [191] Peakshaper. *Peak Shaper - Knytter deg raskere til strømmettet*. URL: <https://www.peakshaper.no/> (sjekket 15.05.2023).
- [192] MathWorks. *What Is MATLAB?* URL: <https://se.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html> (sjekket 15.05.2023).
- [193] PVsyst. *PVsyst – Logiciel Photovoltaïque*. URL: <https://www.pvsyst.com/> (sjekket 15.05.2023).

- [194] Svein Askheim. *Sør-Norge*. I: 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/S%5C%C3%5C%B8r-Norge> (sjekket 13.05.2023).
- [195] Geir Thorsnæs. *De største byene i Norge*. I: 25. jan. 2023. URL: [http://snl.no/de\\_st%5C%C3%5C%B8rste\\_byene\\_i\\_Norge](http://snl.no/de_st%5C%C3%5C%B8rste_byene_i_Norge) (sjekket 10.02.2023).
- [196] Norsk Klimaservicesenter. *Observasjoner og værstatistikk - Seklima*. URL: <https://seklima.met.no/observations/> (sjekket 11.05.2023).
- [197] Leif Øie mfl. "The Ventilation Rate of 344 Oslo Residences". I: (1998). URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0668.1998.t01-1-00006.x> (sjekket 10.05.2023).
- [198] TOSHIBA varmpumper. *Luft-luft-varmpumpe — Toshiba Daiseikai 9 S 25 — Toshiba varmpumper*. Ikke oppgitt publiseringsdato. URL: <https://www.toshibavarpumper.no/varmpumper-luft-luft/toshiba-daiseikai-9-s-25/> (sjekket 10.05.2023).
- [199] CTC. *CTC GSi 600*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.ctc.no/produkter/vaeske-vann-varmpumper/ctc-gsi-600> (sjekket 10.05.2023).
- [200] REC Group. *REC Alpha Pure & Pure-R*. 15. mai 2019. URL: <https://www.recgroup.com/en/alpha> (sjekket 12.05.2023).
- [201] Solcellespesialisten. *Growatt-MOD-7kW 400V Dual MPPT - Solcellespesialisten AS*. Ukjent publiseringsdato. URL: <https://www.nettbutikk.solcellespesialisten.no/3-fas-400v/g-mod-7000t13-x/growatt-mod-7kw-400v-dual-mppt> (sjekket 12.05.2023).
- [202] Jayanta D. *et al.* Mondol. "Optimal sizing of array and inverter for grid-connected photovoltaic systems". I: (1. des. 2006). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X06000600> (sjekket 13.05.2023).
- [203] Otovo-bloggen. *Inverter solceller - vekselretter til solcelleanlegg*. 4. mar. 2023. URL: <https://www.otovo.no/blog/solcellepanel-solceller/vekselretter-slik-fungerer-det/> (sjekket 13.05.2023).

## A Vedlegg: MATLAB-kode

### Transmisjon og ventilasjon

#### Mål bygg

```
close all; clear all; clc;
lengde = 10; % lengde vegg, meter
bredde = 6; % bredde vegg, meter
hoyde = 2.50; % høyde vegg, innvendig høyde, meter (per etasje)
antall_etg = 2;
areal_ytterdor = 1.0*2.10; %bredde*høyde, minimum krav 0.9, meter
antall_dorer = 2;
areal_vindu = 0.98*1.18; %bredde *høyde, [m^2]
antall_vindu_per_etg = 10;
vinudsareal = areal_vindu * antall_vindu_per_etg*antall_etg ;

tot_areal_dor_og_vindu = areal_ytterdor*antall_dorer + areal_vindu*antall_vindu_per_etg*antall_etg;
veggareal_1_etg = (((lengde*hoyde)*2)+((bredde*hoyde)*2)) - tot_areal_dor_og_vindu;
veggareal_2_etg = veggareal_1_etg;
gulv_areal = lengde*bredde; , tak_areal = gulv_areal;
```

#### U-verdier, W/(m<sup>2</sup>\*K)

```
U_verdi_vegg = 0.18;
U_verdi_vindu_og_dor = 0.8;
U_verdi_tak = 0.13;
U_verdi_gulv = 0.10;
% valgt å ikke fokusere på annen U-verdi for arealet av stendere
```

#### Temperaturer

```
t_i = 21; % grader C
t_utetemp = 'utetemperatur.csv' ; % Hvilken fil

temp = f_importer_temp(t_utetemp) ;
```

Warning: Column headers from the file were modified to make them valid MATLAB identifiers before creating variable names for the table. The original column property.  
Set 'VariableNamingRule' to 'preserve' to use the original column headers as table variable names.

```
for ii = 1:numel(temp)
    if temp(ii) >= 17
        temp(ii) = t_i; %Utetemperatur i grader celsius korrigert slik at temperaturer over 17 grader ikke trenger
                        % oppvarming(pga varmetilskudd), og settes derfor lik t_i
    end
end
korrigert_temperatur = temp ;
t_u = korrigert_temperatur ;
```

#### Beregning av transmisjonstap

```
% veggareal, vindu og dør verdier, tak gulv 1.etg
U = [U_verdi_vegg, U_verdi_vindu_og_dor, U_verdi_tak, U_verdi_gulv]; % u-verdi for de ulike delene av boligen i [W/m^2*K]
A = [(veggareal_2_etg+veggareal_1_etg), tot_areal_dor_og_vindu, gulv_areal, gulv_areal]; % m^2, takarealet er gitt et flatt innvendig tak
A_tot = lengde*bredde*antall_etg %bruksareal
```

A\_tot = 120

```
Q_transmisjon = (U.*A.*(t_i-t_u));%[W] %For hver time og hver del med ulik u-verdi
Q_trans_sum_perdel = sum(Q_transmisjon);
Q_transmisjon_snudd = (Q_transmisjon)';
Q_transmisjon_per_time = (sum(Q_transmisjon_snudd))'; %[W]%Transmisjonstap per time for hele boligen
T_tra = sum(Q_transmisjon); %[Wh] ; ser at vegger, vindu og dør står for det største varmetapet
Transmisjonstap = sum(T_tra) %[Wh/år] Totalt transmisjonstap i løpet av året
```

Transmisjonstap = 6.6002e+06

#### Beregning av ventilasjonstap

```
eta = 0.8 ;%varmegjenvinning ventilasjon
V = (lengde*bredde*hoyde)*antall_etg; %innvendig volum av huset
n_50 = 0.6; %infiltrasjon ved 50 Pa. luftbytter per time [h^-1] ved 50 Pa.
e = 0.07; %factor for terrain sheltering
n_inf = n_50*e ;%infiltrasjonstall [h^-1]
H_inf = 0.33*n_inf*V ;% rho_a*C_a: heat capacity of air per volume = 0.33[Wh*(m^-3)*K^-1]
q_vent =1.2*A_tot ;%airflow rate [m^3 h^-1]
H_v = 0.33*(1-eta)*q_vent;
Q_vent_pertime = (H_v + H_inf)*(t_i-t_u); %[W] %ventilasjonstap for hver time
Ventilasjonstap = sum(Q_vent_pertime) % [Wh] totalt årlig ventilasjonstap
```

Ventilasjonstap = 1.6508e+06

## Energibehov romoppvarming

```
%For å sammenligne andel elektrisitet til panelovn kontra varmepumpe:
Q_ut_romoppvarming = Q_transmisjon_per_time + Q_vent_pertime ; %Elektrisk oppvarming panelovn per time/ oppvarmingsbehov,
                                                                % antar 100% virkningsgrad ved bruk av panelovn
Energibehov_romoppvarming = sum(Q_ut_romoppvarming)
```

```
Energibehov_romoppvarming = 8.2509e+06
```

## Oppvarming varmtvann, varmeeffektbehov for tappevann

```
C_p = 4.180278; % kJ/kg*K
rho_vann = 992.4956;
t_varmtvann = 70; % grader celsius, temperatur for å unngå legionellavekst
t_kaldtvann = 5; % grader celcius
N_days = 365; %antall dager i året
N_persons = 4; %antall personer som bor i boligen
V_person = 80; %liter varmtvann per person
V_vann = N_days*N_persons*V_person; %Totalt varmtvannsbehov i liter
Energibehov_vv = V_vann * rho_vann * C_p *(t_varmtvann-t_kaldtvann)*(1/3600) %[Wh] årlig energibehov varmtvann
```

```
Energibehov_vv = 8.7496e+06
```

```
energibehov_vv_perdag = Energibehov_vv/365
```

```
energibehov_vv_perdag = 2.3971e+04
```

```
Varmtvannsbehov_per_time = Energibehov_vv/8760;
Varmtvannsbehov_time_snitt = (repelem(Varmtvannsbehov_per_time,8760)); %[W]
```

## Beregning av bygningens totale varmeeffektbehov for oppvarming og varmtvann

```
Oppvarmingsbehov_rom_og_vann = Energibehov_vv + Energibehov_romoppvarming %[Wh]
```

```
Oppvarmingsbehov_rom_og_vann = 1.7000e+07
```

## Varmepumpe

```
COP_oppgittvektor = [2.09, 3.3, 5.10, 6.55, 7.8]; %COP-faktor oppgitt i varmepumpens datablad
COP_temp_vektor = [-15,-7,2,7,12]; %Temperatur ved de oppgitte COP-faktorene
```

```
%Interpolerer mellom de oppgitte verdiene for cop ved gitt temp for alle temperaturer i løpet av året.
COP = interp1(COP_temp_vektor,COP_oppgittvektor, t_u, 'linear', 'extrap') ;
W_el = Q_ut_romoppvarming./COP ; %Hvor W_el er elektrisk energi tilført varmepumpa
Tot_el_varmepumpe = sum(W_el) %Totalt elektrisk energi tilført varmepumpa i løpet av et år
```

```
Tot_el_varmepumpe = 1.5609e+06
```

```
max_effekt = max(W_el) ; %sjekker at max effekt ut fra varmepumpa er under maks på 4,4 kw ved kaldere klima
Stromspart_varmepumpe = Energibehov_romoppvarming - Tot_el_varmepumpe %total elektrisk energi spart ved varmepumpebruk kontra panelovn
```

```
Stromspart_varmepumpe = 6.6900e+06
```

```
%Vann-vann varmepumpe til romoppvarming
COP_vv = 5.3;%Maks COP 6.32. %Scop kaldt klima: 5.3
COP_VV_vektor = (repelem(COP_vv,8760));
W_el_vv = Q_ut_romoppvarming./COP_VV_vektor ;%Elforbruk ved romoppvarming med vann-vann varmepumpe
Tot_el_vv = sum(W_el_vv) %Årlig forbruk ved romoppvarming med vann-vann varmepumpe
```

```
Tot_el_vv = 1.5568e+06
```

```
Stromspart_vp_vv = Energibehov_romoppvarming - Tot_el_vv %total elektrisk energi spart ved varmepumpebruk vann-vann kontra panelovn
```

```
Stromspart_vp_vv = 6.6941e+06
```

```
max_effekt_vv = max(W_el_vv);
```

```
%Vann-vann varmepumpe til vannoppvarming
W_el_vv_vann = Energibehov_vv/COP_vv
```

```
W_el_vv_vann = 1.6509e+06
```

```
Stromspart_vp_vann = Energibehov_vv - W_el_vv_vann
```

```
Stromspart_vp_vann = 7.0987e+06
```

```
%Totalt elektrisitet spart ved vann-vann varmepumpe til rom og
vannoppvarming:
Stromspart_vv_rom_og_vann = Stromspart_vp_vv + Stromspart_vp_vann
```

```
Stromspart_vv_rom_og_vann = 1.3793e+07
```

```
Oppvarmingsforbruk_vv_rom_og_vann = Tot_el_vv + W_el_vv_vann
```

```
Oppvarmingsforbruk_vv_rom_og_vann = 3.2076e+06
```

## Totalt elektrisk forbruk

```
Forbruk_el_apparater = 0.34*27000*10^3 ;%Forbruk apparater utgjør 34% av 27000kwh i gjennomsnittlig norsk bolig(fornybarnorge)  
Forbruk_el_apparater_8760 = (repelem((Forbruk_el_apparater/8760),8760))' ;%vektor for hver time i året  
Tot_forbruk_el_u_vp = Oppvarmingsbehov_rom_og_vann + Forbruk_el_apparater %vp = varmpumpe
```

```
Tot_forbruk_el_u_vp = 2.6180e+07
```

```
Tot_forbruk_el_med_vp = (Tot_el_varmpumpe+Energibehov_vv) + Forbruk_el_apparater
```

```
Tot_forbruk_el_med_vp = 1.9490e+07
```

```
Tot_forbruk_el_med_vann_vv = Oppvarmingsforbruk_vv_rom_og_vann + Forbruk_el_apparater%vv = vann vann varmpumpe
```

```
Tot_forbruk_el_med_vann_vv = 1.2388e+07
```

```
Forbruk_el_per_time_vp = (W_el + Varmtvannsbehov_time_snitt)+Forbruk_el_apparater_8760;  
Forbruk_el_per_time_u_vp = Q_ut_romoppvarming + Varmtvannsbehov_time_snitt + Forbruk_el_apparater_8760;  
Forbruk_el_perdag_vp = Forbruk_el_per_time_vp*24;
```

```
Dognfordeling_feb = [2.16, 2.04, 2.39, 2.09, 2.96, 2.57, 4.36, 4.28, 4.23, 4.79, 4.39, 2.78, 2.46, 2.23, 2.24, 2.60, 3.96, 4.51, 2.87, 3.4  
2.44, 2.70, 2.71, 2.15, 2.65, 2.63, 4.48, 4.24, 2.23, 2.78, 2.53, 2.45, 2.37, 2.05, 2.42, 3.78, 2.72, 3.09, 2.86, 3.54  
2.21, 2.31, 2.33, 2.21, 2.91, 2.51, 4.78, 5.00, 4.79, 4.76, 3.76, 2.45, 2.14, 1.69, 2.13, 3.27, 3.40, 3.99, 3.20, 3.94  
1.92, 2.80, 2.04, 2.24, 1.93, 2.27, 3.51, 4.49, 3.87, 4.00, 2.53, 3.12, 3.63, 2.30, 3.06, 2.92, 2.30, 2.22, 2.44, 3.33  
2.46, 2.55, 2.21, 2.56, 2.31, 3.04, 4.66, 4.10, 4.55, 4.42, 2.93, 2.51, 2.13, 2.34, 3.05, 2.20, 3.97, 3.05, 5.51, 4.87  
2.26, 3.12, 2.67, 2.62, 3.10, 3.21, 5.15, 5.52, 4.91, 5.08, 5.52, 3.65, 3.23, 3.12, 3.28, 3.27, 3.86, 4.41, 5.86, 4.58
```

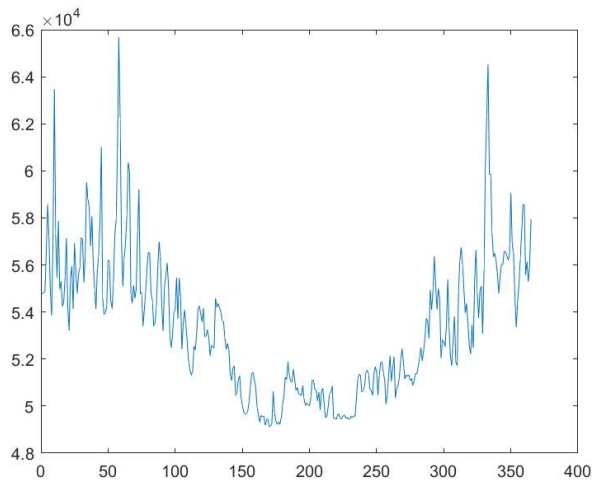
```
snitt_feb = mean(Dognfordeling_feb); %gjsnitt dognfordeling av forbruk ut fra utvalgte dager i februar 2023 i bolig på innlandet  
faktorfordeling_feb = snitt_feb / sum(snitt_feb) ;%finner andel av dognforbruk som brukes hver time av døgnet  
%plot(faktorfordeling_feb)
```

```
% 01, 02, 03 04, 05, 06, 07, 08 , 09  
Dognfordeling_aug = [0.77, 0.88, 0.85, 0.94, 0.85, 0.97, 2.41, 2.41, 2.65, 1.49, 0.75, 0.62, 0.60, 0.66, 0.59, 0.66, 1.93, 1.70, 1.58, 0.6  
0.51, 0.65, 0.74, 0.68, 0.82, 0.96, 2.30, 1.27, 0.72, 0.75, 0.80, 0.87, 0.81, 0.72, 0.77, 1.62, 1.91, 1.76, 1.45, 1.5  
0.79, 0.80, 0.87, 0.84, 0.84, 1.02, 2.29, 3.29, 2.52, 1.77, 0.67, 0.68, 0.67, 0.61, 0.69, 1.67, 2.94, 1.56, 1.38, 1.4  
0.94, 0.71, 0.71, 0.66, 0.81, 0.82, 2.21, 2.30, 2.08, 0.84, 0.56, 1.43, 1.04, 1.05, 0.74, 1.88, 1.96, 2.68, 1.17, 1.9  
1.07, 0.81, 0.85, 1.01, 1.03, 1.18, 2.42, 2.46, 1.90, 0.90, 0.75, 0.76, 0.79, 0.76, 0.67, 1.71, 1.81, 1.50, 1.50, 1.8  
0.71, 0.70, 0.76, 0.85, 0.89, 1.06, 2.53, 2.66, 1.90, 0.95, 0.73, 0.74, 0.83, 0.81, 0.90, 0.90, 1.57, 1.52, 1.61, 1.3
```

```
snitt_aug = mean(Dognfordeling_aug); %gjsnitt dognfordeling av forbruk ut fra utvalgte dager i aug 2022 i bolig på innlandet  
faktorfordeling_aug = snitt_aug / sum(snitt_aug); %finner andel av dognforbruk som brukes hver time av døgnet  
%august = plot(faktorfordeling_aug)  
faktorfordeling_begge = [faktorfordeling_feb; faktorfordeling_aug];  
faktorfordeling_dogn = (mean(faktorfordeling_begge))' ;%finner gjennomsnittlig dognfordeling av forbruk i feb og aug  
faktorfordeling = repmat(faktorfordeling_dogn,365,1);  
%faktorfordelingplot=plot(faktorfordeling);
```

```
forbruk_tek17 = Forbruk_el_per_time_vp; %forbruk per time hele året med varmpumpe som oppvarmingskilde  
totalforbruk_17 = sum(forbruk_tek17);%årsforbruk  
forbruk_17_dogn = totalforbruk_17 / 365 ;%dognforbruk gjennomsnitt
```

```
%Gjør om timesmatrisa til dognmatrise hvor 24 og 24 timer slås sammen til  
%en dognverdi slik at matrisa gir en verdi for hver dag i året  
matrise_24x365 = reshape(forbruk_tek17,24,365)';  
tek17_365 = sum(matrise_24x365,2);  
plot(tek17_365);
```



```
tek17_365_24= tek17_365 .* (faktorfordeling_dogn)';%multipliserer med faktorer for dognfordeling får 24 verdier, en for hver time, for hv
Dognfordeling_tek17 = reshape((tek17_365_24)',8760,1) %Legger sammen slik at alle verdiene kommer etter hverandre
```

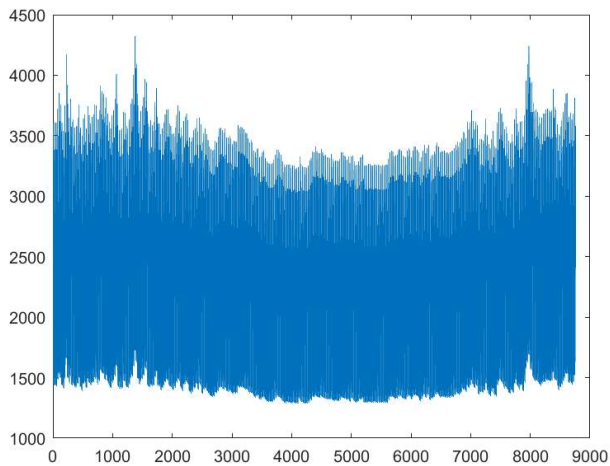
```
Dognfordeling_tek17 = 8760x1
```

```
103 x
1.4425
1.5277
1.4927
1.4932
1.6438
1.7728
3.5283
3.6001
3.0583
2.4204
```

```
sum_fordelt_forbruk = sum(Dognfordeling_tek17) %Sjekker at summen blir den samme som uten fordeling
```

```
sum_fordelt_forbruk = 1.9490e+07
```

```
plot_tek17_vp_fordelt = plot(Dognfordeling_tek17);
```



```
writematrix(Dognfordeling_tek17)
type('Dognfordeling_tek17.txt')
```

```
1442.48420714145
1527.71106872879
1492.74503804702
```



```
1493.18635972897
1643.80516094175
1772.81870777694
3528.31773969219
3600.11676426247
3058.32895240986
2420.44205355654
1839.55984088789
1687.35026921201
1579.5612326631
1433.36213139205
1530.00153006000
```

```
%Load text file as a table
TEK17 = readtable('Dognfordeling_tek17.txt');
% Save table as a CSV file
writetable(TEK17, 'TEK17.csv');
```

## B Vedlegg: PVsyst-simulering



Version 7.3.4

# PVsyst - Simulation report

## Grid-Connected System

Project: Bachelor

Variant: TEK17

Tables on a building

System power: 7.38 kWp

Prestrud, Hamar - Norway

**PVsyst V7.3.4**

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

**Project summary****Geographical Site**

**Prestrud, Hamar**  
Norway

**Situation**

Latitude 60.81 °N  
Longitude 11.04 °E  
Altitude 153 m  
Time zone UTC+1

**Project settings**

Albedo 0.20

**Meteo data**

Prestrud, Hamar  
Meteonorm 8.1 (1991-2010), Sat=100% - Synthetic

**System summary****Grid-Connected System****PV Field Orientation**

Fixed plane  
Tilt/Azimuth 35 / 0 °

**Tables on a building****Near Shadings**

According to strings  
Electrical effect 100 %

**User's needs**

Ext. defined as file  
TEK17.csv

**System information****PV Array**

Nb. of modules 18 units  
Pnom total 7.38 kWp

**Inverters**

Nb. of units 1 unit  
Pnom total 7.00 kWac  
Pnom ratio 1.054

**Battery pack**

Storage strategy: Self-consumption  
Nb. of units 1 unit  
Voltage 50 V  
Capacity 268 Ah

**Results summary**

|                 |                   |                     |                   |                   |         |
|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------|
| Produced Energy | 7965.65 kWh/year  | Specific production | 1079 kWh/kWp/year | Perf. Ratio PR    | 88.41 % |
| Used Energy     | 19505.81 kWh/year |                     |                   | Solar Fraction SF | 34.76 % |

**Table of contents**

|   |    |
|---|----|
| Project and results summary                                 | 2  |
| General parameters, PV Array Characteristics, System losses | 3  |
| Horizon definition  | 5  |
| Near shading definition - Iso-shadings diagram              | 6  |
| Main results  | 7  |
| Loss diagram  | 8  |
| Predef. graphs  | 9  |
| Single-line diagram   | 10 |
| CO <sub>2</sub> Emission Balance                            | 11 |

**PVsyst V7.3.4**

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

**General parameters****Grid-Connected System****PV Field Orientation****Orientation**

Fixed plane  
Tilt/Azimuth 35 / 0 °

**Horizon**

Average Height 1.1 °

**Storage**

Kind Self-consumption

**Charging strategy**

When excess solar power is available

**Tables on a building****Sheds configuration****Near Shadings**

According to strings  
Electrical effect 100 %

**Models used**

Transposition Perez  
Diffuse Perez, Meteornorm  
Circumsolar separate

**User's needs**

Ext. defined as file  
TEK17.csv

| Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May  | June | July | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Year  |     |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
| 1736 | 1597 | 1731 | 1609 | 1626 | 1497 | 1572 | 1554 | 1539 | 1645 | 1653 | 1749 | 19506 | kWh |

**PV Array Characteristics****PV module**

Manufacturer Generic  
Model REC410AA Pure-R  
(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power 410 Wp  
Number of PV modules 18 units  
Nominal (STC) 7.38 kWp  
Modules 2 Strings x 9 In series

**At operating cond. (50°C)**

Pmpp 6.94 kWp  
U mpp 413 V  
I mpp 17 A

**Total PV power**

Nominal (STC) 7 kWp  
Total 18 modules  
Module area 34.8 m<sup>2</sup>  
Cell area 29.2 m<sup>2</sup>

**Battery Storage****Battery**

Manufacturer Generic  
Model Powerwall2

**Battery pack**

Nb. of units 1 Unit  
Discharging min. SOC 20.0 %  
Stored energy 10.9 kWh

**Inverter**

Manufacturer Generic  
Model MOD 7000TL3-X  
(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power 7.00 kWac  
Number of inverters 2 \* MPPT 50% 1 unit  
Total power 7.0 kWac  
Operating voltage 140-1000 V  
Pnom ratio (DC:AC) 1.05  
No power sharing between MPPTs

**Total inverter power**

Total power 7 kWac  
Number of inverters 1 unit  
Pnom ratio 1.05

**Battery Pack Characteristics**

Voltage 50 V  
Nominal Capacity 268 Ah (C10)  
Temperature Fixed 20 °C



**PVsyst V7.3.4**

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

**PV Array Characteristics**

**Battery Storage**

**Battery input charger**

Model Generic  
Max. charg. power 6.5 kWdc  
Max./Euro effic. 97.0/95.0 %

**Battery to Grid inverter**

Model Generic  
Max. disch. power 4.4 kWac  
Max./Euro effic. 97.0/95.0 %

**Array losses**

**Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance  
Uc (const) 20.0 W/m²K  
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

**DC wiring losses**

Global array res. 391 mΩ  
Loss Fraction 1.5 % at STC

**Module Quality Loss**

Loss Fraction -0.6 %

**Module mismatch losses**

Loss Fraction 2.0 % at MPP

**Strings Mismatch loss**

Loss Fraction 0.1 %

**IAM loss factor**

Incidence effect (IAM): User defined profile

| 0°    | 30°   | 45°   | 60°   | 70°   | 75°   | 80°   | 85°   | 90°   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.974 | 0.907 | 0.832 | 0.688 | 0.445 | 0.000 |



**PVsyst V7.3.4**

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

**Horizon definition**

Horizon from PVGIS website API, Lat=60°48'28', Long=11°2'38', Alt=153m

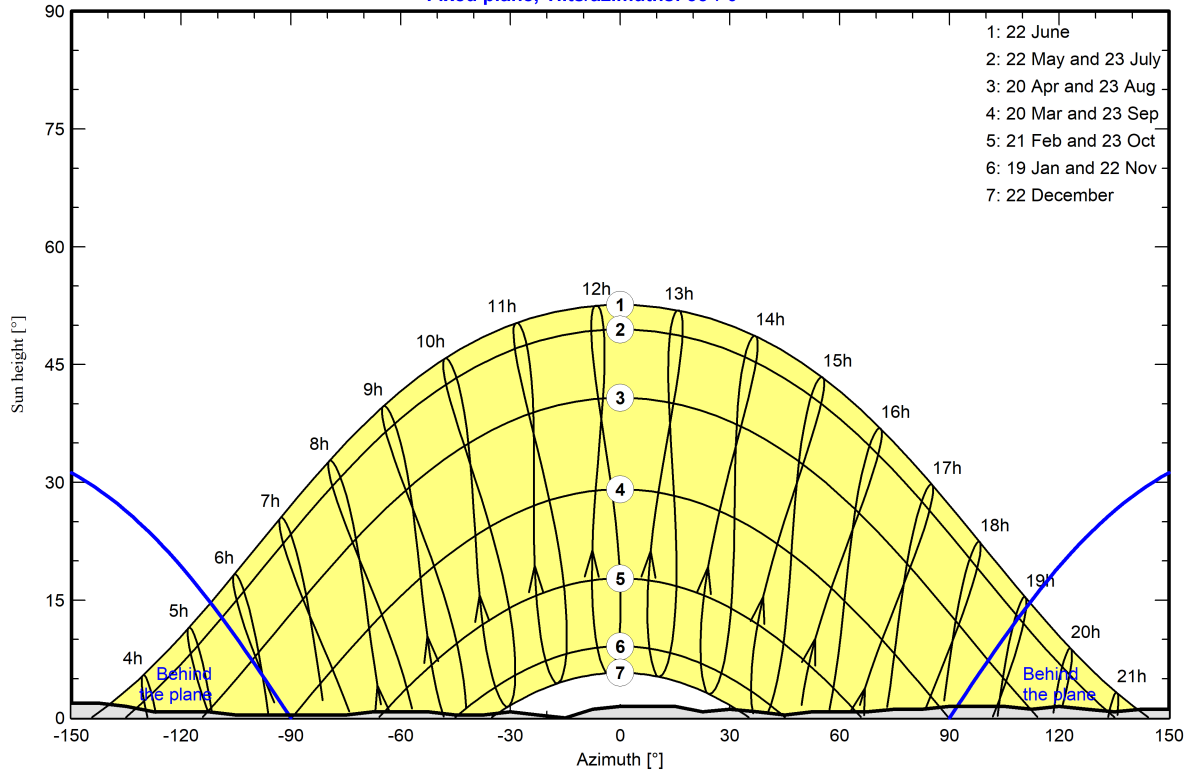
|                |       |                 |       |
|----------------|-------|-----------------|-------|
| Average Height | 1.1 ° | Albedo Factor   | 0.96  |
| Diffuse Factor | 1.00  | Albedo Fraction | 100 % |

**Horizon profile**

|             |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Azimuth [°] | -180 | -173 | -143 | -135 | -128 | -113 | -105 | -75 | -68 | -53 | -45 | -38 | -30 |
| Height [°]  | 2.3  | 1.9  | 1.9  | 1.5  | 0.8  | 0.8  | 0.4  | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 0.4 | 0.4 | 0.8 |
| Azimuth [°] | -23  | -15  | -8   | 0    | 15   | 23   | 30   | 38  | 45  | 53  | 68  | 75  | 83  |
| Height [°]  | 0.4  | 0.0  | 1.1  | 1.5  | 1.5  | 0.8  | 1.1  | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 1.1 | 1.1 |
| Azimuth [°] | 90   | 105  | 113  | 120  | 128  | 135  | 143  | 150 | 158 | 165 | 173 | 180 |     |
| Height [°]  | 1.5  | 1.5  | 1.1  | 1.5  | 1.1  | 0.8  | 1.1  | 1.1 | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 2.3 |     |

**Sun Paths (Height / Azimuth diagram)**

Fixed plane, Tilts/azimuths: 35°/ 0°



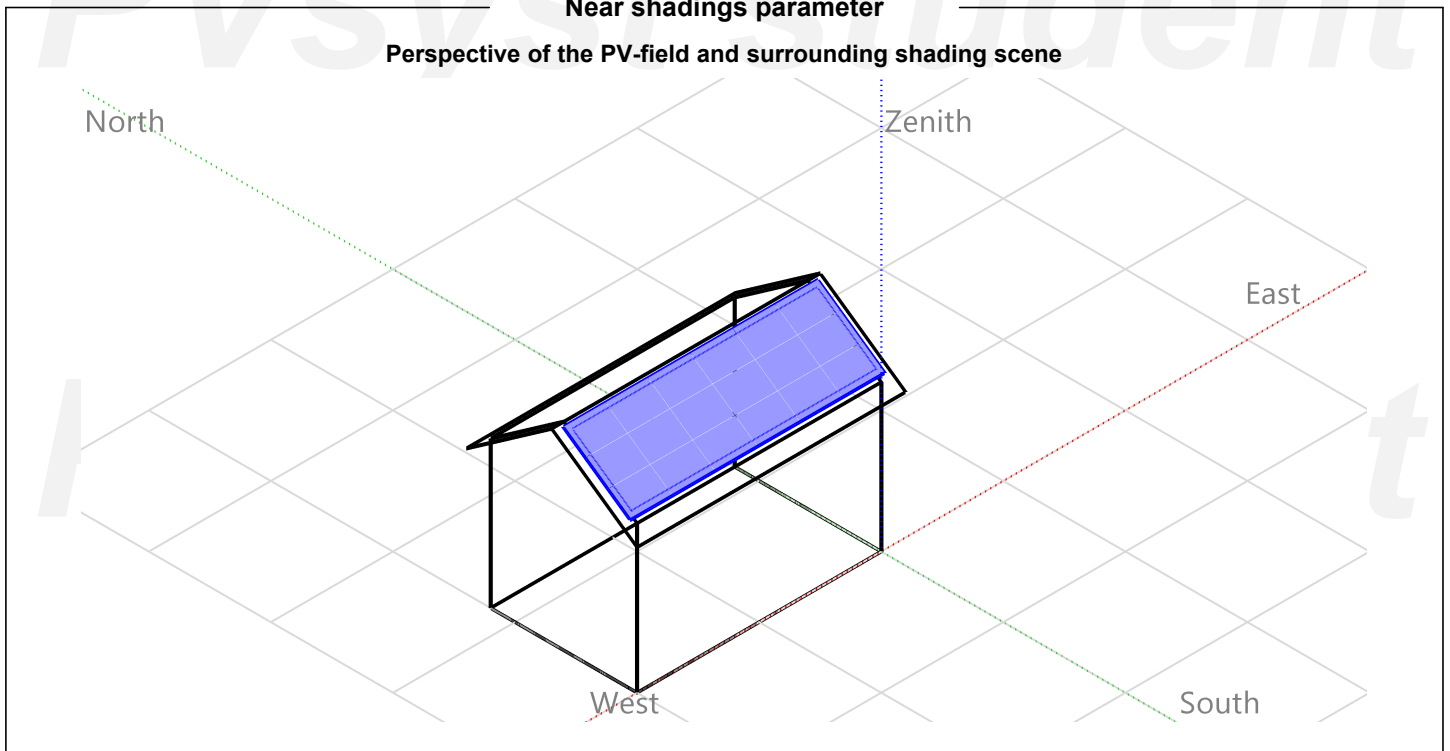


**PVsyst V7.3.4**

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

**Near shadings parameter**

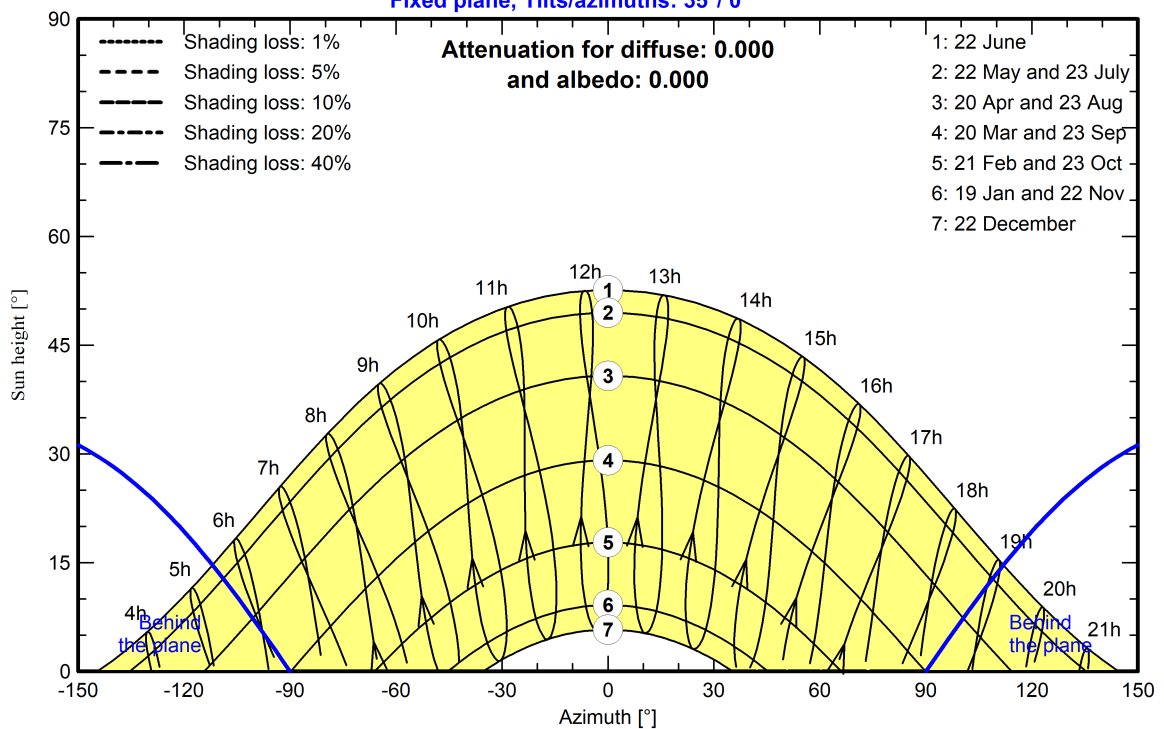
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



**Iso-shadings diagram**

**Orientation #1**

Fixed plane, Tilts/azimuths: 35°/ 0°





**PVsyst V7.3.4**

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

**Main results**

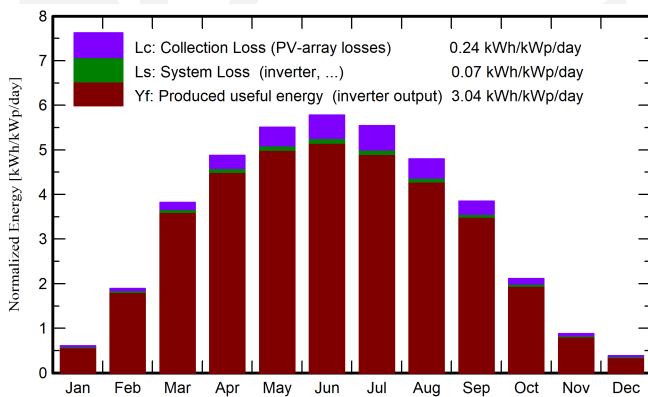
**System Production**

|                 |                   |                     |                   |
|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Produced Energy | 7965.65 kWh/year  | Specific production | 1079 kWh/kWp/year |
| Used Energy     | 19505.81 kWh/year | Perf. Ratio PR      | 88.41 %           |
|                 |                   | Solar Fraction SF   | 34.76 %           |

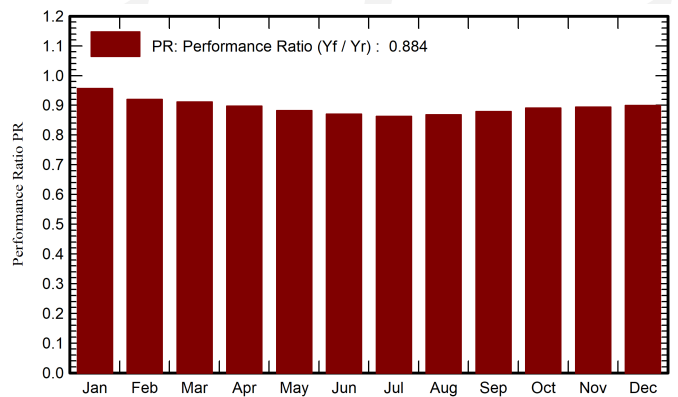
**Battery aging (State of Wear)**

|                  |           |
|------------------|-----------|
| Cycles SOW       | 80.9 %    |
| Static SOW       | 90.0 %    |
| Battery lifetime | 5.2 years |

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



**Balances and main results**

|           | GlobHor            | DiffHor            | T_Amb | GlobInc            | GlobEff            | EArray | E_User | E_Solar | E_Grid | EFrGrid |
|-----------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|--------|---------|--------|---------|
|           | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | °C    | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh    | kWh    | kWh     | kWh    | kWh     |
| January   | 7.9                | 6.02               | -4.81 | 18.9               | 18.6               | 136    | 1736   | 133.5   | 0.0    | 1602    |
| February  | 25.3               | 14.07              | -4.37 | 52.9               | 52.3               | 383    | 1597   | 357.0   | 2.3    | 1240    |
| March     | 71.9               | 30.18              | -0.58 | 118.5              | 116.6              | 840    | 1731   | 708.5   | 88.8   | 1022    |
| April     | 113.6              | 49.67              | 4.73  | 146.3              | 143.5              | 1016   | 1609   | 802.4   | 166.3  | 806     |
| May       | 157.5              | 76.81              | 10.48 | 170.9              | 167.1              | 1166   | 1626   | 934.3   | 178.6  | 691     |
| June      | 168.2              | 69.80              | 14.22 | 173.4              | 169.7              | 1165   | 1497   | 860.6   | 253.6  | 636     |
| July      | 163.3              | 74.57              | 17.20 | 171.9              | 168.2              | 1146   | 1572   | 872.9   | 221.0  | 699     |
| August    | 125.2              | 62.10              | 15.26 | 148.8              | 145.7              | 1001   | 1554   | 790.6   | 162.5  | 763     |
| September | 80.2               | 40.74              | 10.85 | 115.5              | 113.2              | 790    | 1539   | 666.6   | 82.4   | 873     |
| October   | 37.0               | 20.39              | 5.15  | 65.6               | 64.5               | 457    | 1645   | 402.4   | 29.3   | 1242    |
| November  | 11.0               | 7.36               | 0.49  | 26.3               | 25.7               | 186    | 1653   | 173.4   | 0.0    | 1479    |
| December  | 4.5                | 3.52               | -3.50 | 11.9               | 11.6               | 84     | 1749   | 78.7    | 0.0    | 1671    |
| Year      | 965.7              | 455.22             | 5.48  | 1220.8             | 1196.6             | 8369   | 19506  | 6780.9  | 1184.7 | 12725   |

**Legends**

|         |  |         |   |
|---------|--|---------|---|
| GlobHor | Global horizontal irradiation                | EArray  | Effective energy at the output of the array |
| DiffHor | Horizontal diffuse irradiation               | E_User  | Energy supplied to the user                 |
| T_Amb   | Ambient Temperature                          | E_Solar | Energy from the sun                         |
| GlobInc | Global incident in coll. plane               | E_Grid  | Energy injected into grid                   |
| GlobEff | Effective Global, corr. for IAM and shadings | EFrGrid | Energy from the grid                        |

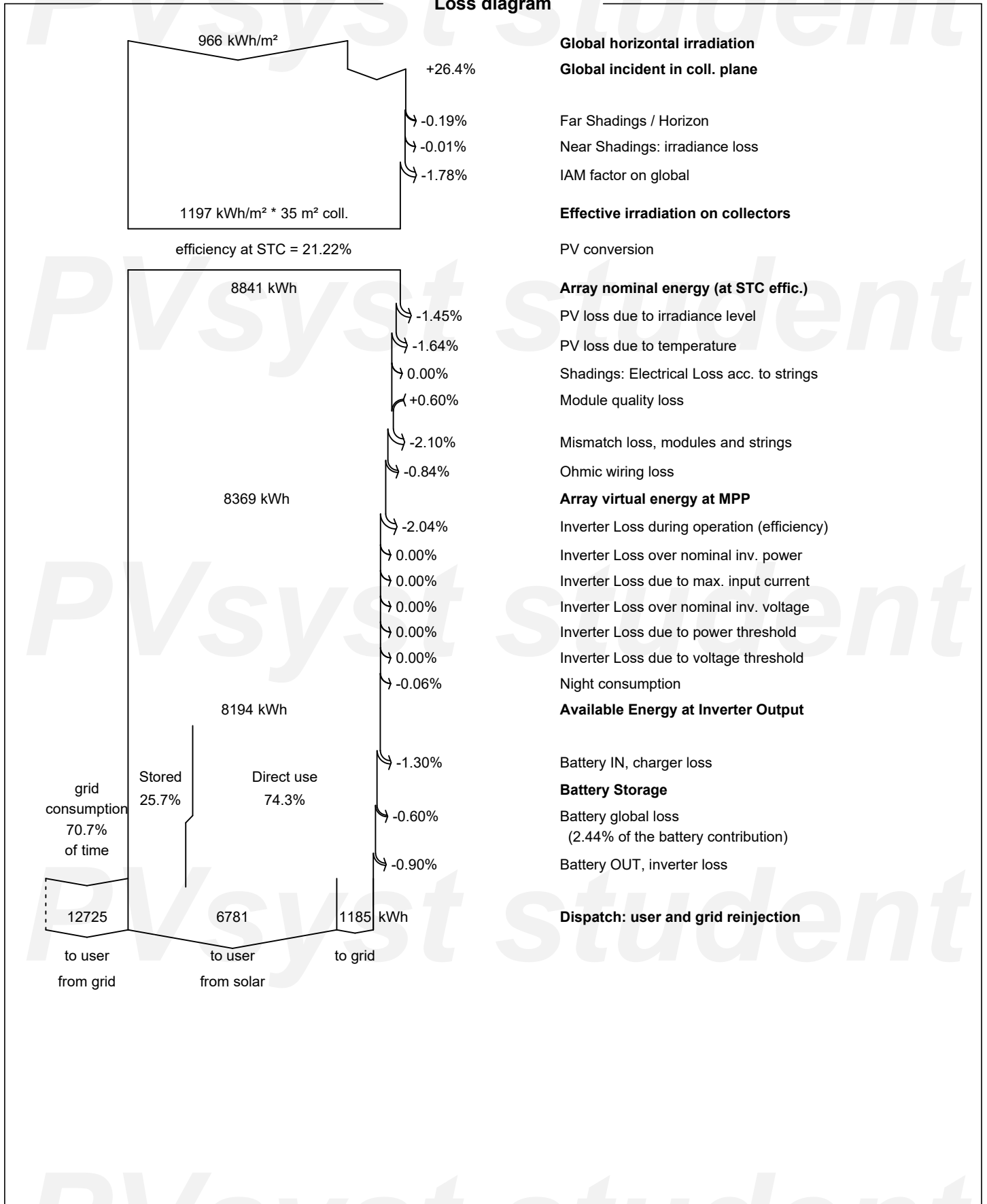




PVsyst V7.3.4

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

Loss diagram



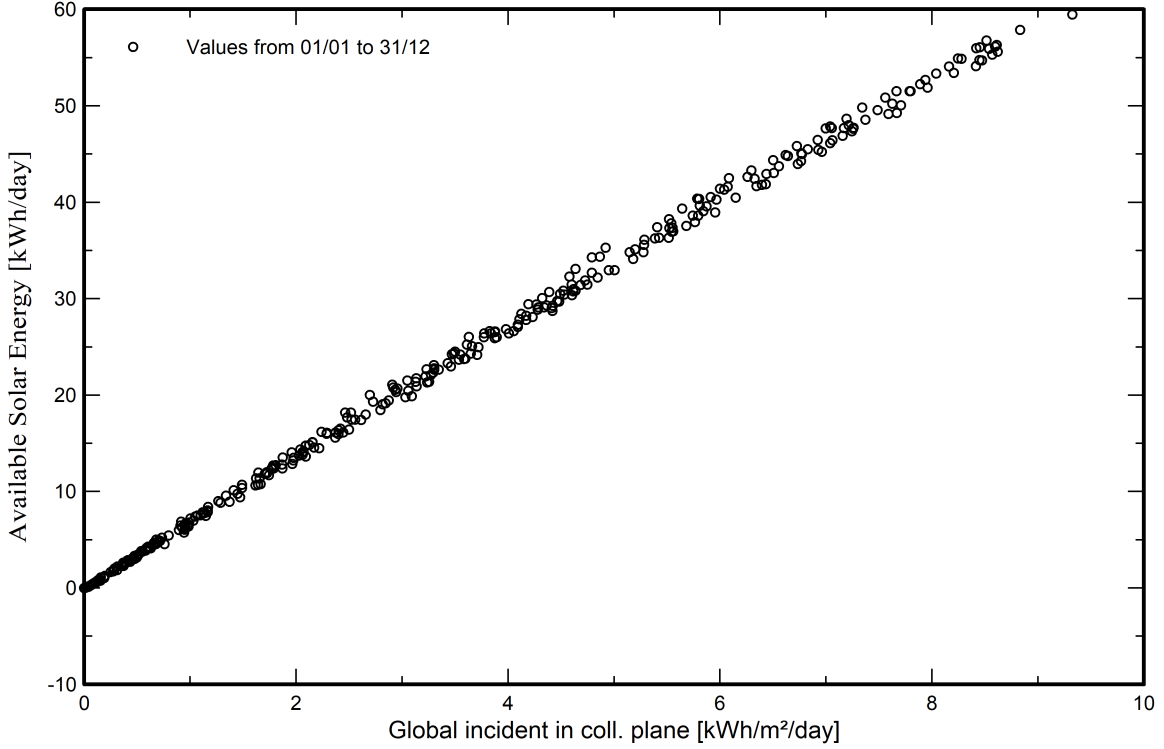


**PVsyst V7.3.4**

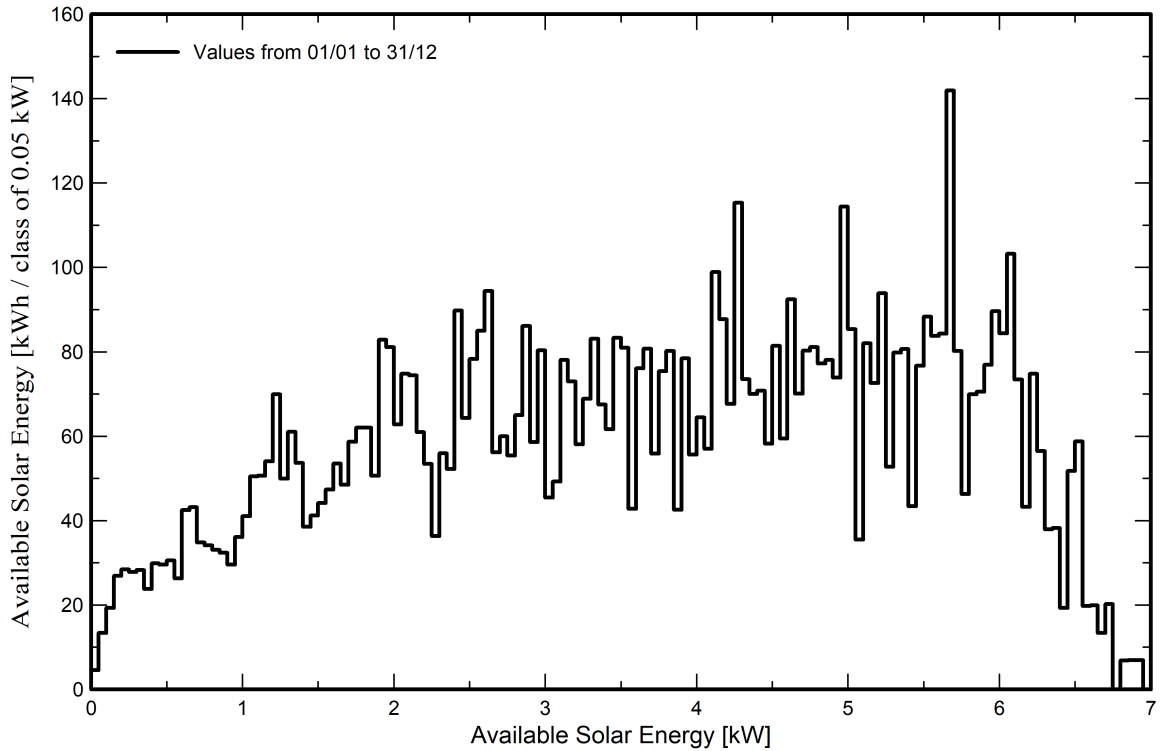
VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

**Predef. graphs**

**Daily Input/Output diagram**



**System Output Power Distribution**

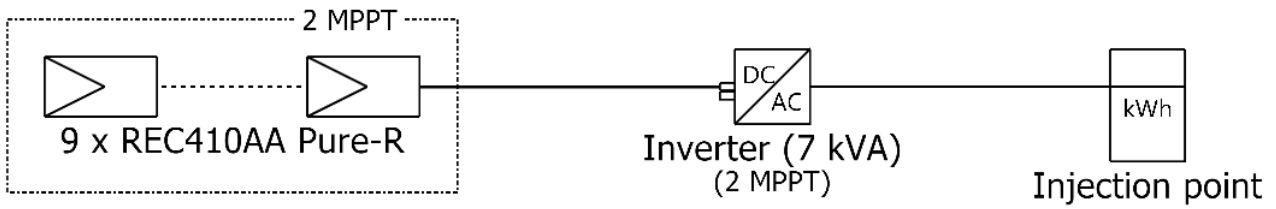




# Single-line diagram

**PVsyst V7.3.4**

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4



|           |                     |
|-----------|---------------------|
| PV module | REC410AA Pure-R     |
| Inverter  | MOD 7000TL3-X       |
| String    | 9 x REC410AA Pure-R |

Bachelor

VC3 : TEK17

18/05/23



**PVsyst V7.3.4**

VC3, Simulation date:  
13/05/23 10:07  
with v7.3.4

**CO<sub>2</sub> Emission Balance**

Total: -10.5 tCO<sub>2</sub>

**Generated emissions**

Total: 12.66 tCO<sub>2</sub>

Source: Detailed calculation from table below

**Replaced Emissions**

Total: 2.5 tCO<sub>2</sub>

System production: 8193.50 kWh/yr

Grid Lifecycle Emissions: 10 gCO<sub>2</sub>/kWh

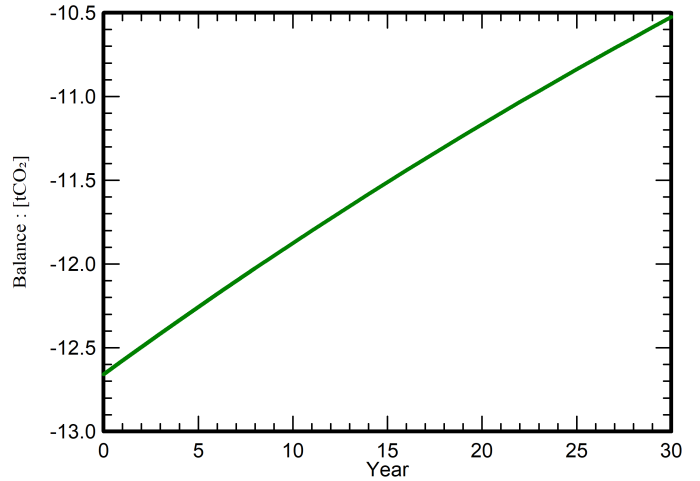
Source: IEA List

Country: Norway

Lifetime: 30 years

Annual degradation: 1.0 %

**Saved CO<sub>2</sub> Emission vs. Time**



**System Lifecycle Emissions Details**

| Item      | LCE                         | Quantity | Subtotal<br>[kgCO <sub>2</sub> ] |
|-----------|-----------------------------|----------|----------------------------------|
| Modules   | 1713 kgCO <sub>2</sub> /kWp | 7.38 kWp | 12640                            |
| Supports  | 0.07 kgCO <sub>2</sub> /kg  | 180 kg   | 12.0                             |
| Inverters | 6.61 kgCO <sub>2</sub> /    | 1.00     | 6.61                             |

