



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning

## **Modellering av dimensjonerende el- spesifikk last for leiligheter i Fjellhamar Bruk**

Modelling dimensioning el-specific load for  
apartments in Fjellhamar Bruk

**Nora Devik Lian**

Fornybar Energi



## Tabelliste

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabell 1. Målsetninger for utredningen ved områdeutvikling i Fjellhamar, hentet fra (Fjellhamar Bruk AS 2018). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4  |
| Tabell 2. Verdier for koeffisienter i Velander's metode, hentet fra (Neimane 2001). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 7  |
| Tabell 3. Generaliserte relative last-indikatorer for de timene med høyest last innen de ulike kategoriene i modellen. Hentet fra (Pedersen 2008). Alle timene som underlag for modellen er presentert i vedlegg B. ....                                                                                                                                                                                        | 15 |
| Tabell 4. Fleksibilitetskarakteristikk og eksempel nominell effekt for typiske husholdningsapparat. Hentet fra (Enøkguiden u.å) og (Elkjøp 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                                          | 18 |
| Tabell 5. Spesifikk last indikator ved forventet last i kategoriene vinter, vår/høst og sommer. Kun de timene med høyest last er presentert. Lasten er i aggregert tilstand per time. Hentet fra vedlegg C. ....                                                                                                                                                                                                | 35 |
| Tabell 6. Høyest aggregerte last per time i $W/m^2$ , med tilhørende standardavvik i kategorien vinter. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 36 |
| Tabell 7. Årlig elektrisitetsforbruk fra modellerte last som en konsekvens størrelser på leilighetene. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 36 |
| Tabell 8. Maks individuelle last for en leilighet med størrelse på $90 m^2$ . Verdiene er beregnet med bakgrunn i spesifikk last-indikator og en underliggende samtidighetsfaktor på 0,387. ....                                                                                                                                                                                                                | 36 |
| Tabell 9. Dimensjonerende last ved aggregering av 36 leiligheter. Basert på modellerte forbruksdata med tilhørende samtidighetsfaktor ved aggregering. ....                                                                                                                                                                                                                                                     | 37 |
| Tabell 10. Dimensjonerende last fra modellerte data med samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007) for 36 enheter. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 38 |
| Tabell 11. Maks last per år ved aggregert last fra 36 leiligheter gjennom en periode på 4 år. Hentet fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                                                      | 41 |
| Tabell 12. Dato, time og temperatur for timen med maks last i de fire årene. Klimadata hentet fra (eKlima 2018) og reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                        | 47 |
| Tabell 13. Korrelasjonskoeffisient for sammenheng mellom temperatur i time 19, alle døgn i vintersesongen. Basert på klimadata hentet fra (eKlima 2018) og reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                | 47 |
| Tabell 14. Samtidighetsfaktor beregnet på bakgrunn av reelle målinger fra de 36 leilighetene. Beregnet fra fire år med reelle målinger fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                    | 50 |
| Tabell 15. Variasjon i maks individuell last per enhet hentet fra alle fire årene med målinger. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                                                      | 51 |
| Tabell 16. Sammenheng mellom maks last i aggregert tilstand per enhet, samtidighetsfaktor og individuell maks last per enhet. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                        | 52 |
| Tabell 17. Årlig gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk for leilighetene i de reelle måledata. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 52 |
| Tabell 18. Evaluering av modell med hensyn til dimensjonerende last fra modellert last for 36 med opprinnelig samtidighetsfaktor symbolisert med $s_m$ og samtidighetsfaktor tallfestet av Kersting (2007) symbolisert med $s_{36}$ . Data fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) og modellert last fra (Pedersen 2008) ....                                                                                           | 56 |
| Tabell 19. Gjennomsnittlig forbruk per år per enhet. Som inndata i modell på $70 m^2$ og 2700 kWh hentet fra (Bergesen et al. 2012; Langseth et al. 2011; Statistisk Sentralbyrå u.å) og bruk av modell med leilighetsstørrelse på $90 m^2$ . Reelle målinger fra årene 2014 til 2017 fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Verdiene fra reelle målinger er gjennomsnittet av målingene fra de 36 leilighetene. .... | 57 |
| Tabell 20. Resultat evaluering av dimensjonerende last fra modell (Pedersen 2008) og individuelle maks last fra reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                           | 58 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabell 21. Modellert last med en forenklet fremgangsmåte av modell (Pedersen 2008) med reelle måledata gjennom fire år fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Hentet fra vedlegg G.                                                                                                                                                                     | 62 |
| Tabell 22. Dimensjonerende last fra modellert last med inndata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og maks last fra reelle målinger. Her er den aggregerte lasten for hele området og per enhet. Med bakgrunn i aggregering for 36 enheter. ....                                                                                                      | 63 |
| Tabell 23. Individuell maks last per enhet beregnet fra den dimensjonerende last på 1,31 kWh/h per enhet og samtidighetsfaktor fra de ulike årene med målinger. ....                                                                                                                                                                              | 64 |
| Tabell 24. Resultat dimensjonerende last for 1500 leiligheter ved bruk av forenklet fremgangsmetode modellert last med inndata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og samtidighetsfaktor fra Kersting (2007) for aggregering av 70 forbrukere. Inndata er for aggregeringen er presentert i vedlegg H. ....                                           | 64 |
| Tabell 25. Tilgjengelig fleksibilitet i timen med maks last for et område med 1500 leiligheter basert på scenario 1 og 2. Basert på dimensjonerende last fra tilpasset modellert last og inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) og samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007) og formålsfordelt lastkurve for helg fra ElDeK (Sæle et al. 2010)..... | 71 |
| Tabell 26. Redusert dimensjonerende last for 1500 boenheter ved utnyttelse av fleksibilitet i Fjellhamar Bruk. ....                                                                                                                                                                                                                               | 72 |
| Tabell 27. Årlig gjennomsnittlig el-spesifikt forbruk fra modell fra (Pedersen 2008) med en størrelse på 90m <sup>2</sup> , gjennomsnittlig årlig forbruk fra reelle forbruksdata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og årlig gjennomsnittlig forbruk for en familie i leilighet fra (Zimmermann 2009). ....                                         | 74 |
| Tabell 28. Sammenligning av spesifikk last-indikator i modellerte last fra (Pedersen 2008) og modellert last med datagrunnlag fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).....                                                                                                                                                                                | 76 |
| Tabell 29. Tidspunkt for maks last i opprinnelig modell Pedersen (2008) og modell basert på målinger fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) .....                                                                                                                                                                                                        | 76 |
| Tabell 30. Resultater ved dimensjonering av elektrisk infrastruktur for 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk i forhold til målscenario og referansescenario presentert innledningsvis. Resultater uten fleksibilitet, med fleksibilitet i scenario 1 og scenario 2. ....                                                                            | 80 |

## Figurliste

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 1. Oversikt over energisystemet i Fjellhamar. Figuren viser en forenkling av systemet og hvilke energibærere som brukes til ulike energitjenestene, samt en oversikt over de lastene som tillater lastovervåkning og –styring. Kun el-spesifikk last i blå farge er i fokus i denne oppgaven. El-bil er ikke inkludert i den el-spesifikke lasten. ....                                                                    | 3  |
| Figur 2. Maksimum aggregert forbruk per boenhet med økende antall boenheter aggregert. Hentet fra (Richardson et al. 2010).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 6  |
| Figur 3. Utvikling av samtidighetsfaktor ved aggregering av 70 forbrukere. Hentet fra (Kersting 2007) og tallfestet i vedlegg A.....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 6  |
| Figur 4. Generaliserte relative lastkurver for boenheter, hverdag for alle sesonger, inkludert standardavvik. Hentet fra (Pedersen 2008) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 14 |
| Figur 5. Generaliserte relative lastkurver for boenheter, helg for alle sesonger, inkludert standardavvik. Hentet fra (Pedersen 2008).....                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 14 |
| Figur 6. Fremgangsmetode for å dimensjonere last ved bruk av modell, hentet og tilpasset til denne oppgaven fra (Pedersen 2008).....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 15 |
| Figur 7. Empirisk effektprofil for en syklus med minuttsoopløsning for oppvaskmaskin. Hentet fra (VirginiaTech Advanced Research Institute 2013).....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19 |
| Figur 8. Empirisk effektprofil for en syklus med minuttsoopløsning, vaskemaskin og tørketrommel. Hentet fra (VirginiaTech Advanced Research Institute 2013).....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 19 |
| Figur 9. Simulert effektprofil gjennom et døgn med timesoopløsning for en fryser. Hentet fra (Rangøy 2013). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 20 |
| Figur 10. Simulert lastkurve. Stabilt last per time for ulike husholdningsapparater i en tilfeldig husholdning på en tilfeldig dag. Data for oppvaskmaskin er empiriske, hentet fra (VirginiaTech Advanced Research Institute 2013) og øvrig materiale er simulert, og hentet fra (Rangøy 2013).....                                                                                                                             | 21 |
| Figur 11. Aggregert formålsfordelt lastkurve per husholdning, stabilt. Et gjennomsnittlig hverdag for en norsk husholdning. Kun de mest brukte husholdningsapparaterne er presentert i figuren. Data fra ElDeK (Sæle et al. 2010).....                                                                                                                                                                                           | 22 |
| Figur 12. Aggregert formålsfordelt lastkurve per husholdning, stabilt. Et gjennomsnittlig dag i helgen for en norsk husholdning. Kun de mest brukte husholdningsapparaterne er presentert i figuren. Data fra ElDeK (Sæle et al. 2010).....                                                                                                                                                                                      | 22 |
| Figur 13. Oversikt over den overordnede fremgangsmetode i oppgaven. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 25 |
| Figur 14. Figur som illustrerer justert metode for bruk av modell ved estimering av maks last fra modell (Pedersen 2008).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 27 |
| Figur 15. Lastkurver for dagen med maks last fra modell. I aggregert tilstand ved aggregering av last fra 36 leiligheter, per enhet. Opprinnelig samtidighetsfaktor. Basert på en størrelse på 90m <sup>2</sup> fra modellert last. ....                                                                                                                                                                                         | 39 |
| Figur 16. Potensialet for forbrukerfleksibilitet i timen med maks last ved modellerte forbruksdata. Gulstiplet linje illustrerer en potensiell reduksjon på 1% ved innkobling av last i etterfølgende time. Grønstiplet linje illustrerer ved rullerende innkobling av last, ved å redusere time 20 og 21, og deretter koble inn lastene i time 22 og 23. Underlaget for figuren og beregningene er presentert i vedlegg D. .... | 40 |
| Figur 17. Seks timene med maks aggregert last per time i 2014. Reelle måledata i fra 36 leiligheter fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 42 |
| Figur 18. Last per time, per individuelle boenhet, de to timene med høyest forbruk i 2014. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 43 |
| Figur 19. Seks timene med maks aggregert last i 2015. Reelle måledata for 36 enheter. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 43 |
| Figur 20. Seks timene med høyest aggregert timesforbruk i 2016. Reelle måledata i aggregert tilstand for 36 boenheter hentet fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                                                                                                                                                               | 44 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 21. Seks timene med maks aggregert last per time i 2017. Reelle måledata fra 36 boenheter hentet fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).....                                                                                                                                                                                 | 44 |
| Figur 22. Temperatur med timesoppløsning i uke 51 og 52, i årene 2014 til 2017. Hentet fra (eKlima 2018). ....                                                                                                                                                                                                              | 46 |
| Figur 23. Sammenhengen mellom last og temperatur i time 19, alle dager i vintersesongen i fire år med målinger. Klimadata hentet fra (eKlima 2018) og reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).....                                                                                                                  | 48 |
| Figur 24. Utvikling av samtidighetsfaktor basert på antall enheter. Beregnet på bakgrunn av reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Beregningene for samtidighetsfaktor og tilhørende datagrunnlag er presentert i vedlegg E. ....                                                                                 | 49 |
| Figur 25. Individuelle maks last-timer for de 36 leilighetene gjennom måleperiode på 4 år. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).....                                                                                                                                                                                        | 51 |
| Figur 26. Lastkurver for dagen med maks last i de fire årene med reelle målinger. Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, og viser last per enhet. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                 | 53 |
| Figur 27. Lastkurver for dagene med de seks timene med maks last i 2014. 28. Desember har to av de seks høyeste timene med last som forekommer i figuren. Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, og viser last per enhet. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).....          | 54 |
| Figur 28. Lastkurver for dagene med de seks timene med maks last i 2017. Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, og viser last per enhet. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).....                                                                                           | 55 |
| Figur 29. Evaluering av samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007; Pedersen 2008; Ringeriks-Kraft Nett 2018). Geometrisk trendlinje basert på samtidighetsfaktorene fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). ....                                                                                                                       | 60 |
| Figur 30. Sammenligning av modellerte lastkurver og lastkurver fra reelle målinger på dager med maks last gjennom de fire årene fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, per enhet. ....                                                      | 61 |
| Figur 31. Endring i dimensjonerende last ved aggregering av 1500 leiligheter med prosentvis endring i samtidighetsfaktoren brukt. Med utgangspunkt i endring av samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007) for 70 enheter. ....                                                                                                 | 65 |
| Figur 32. Lastkurver for dagen med modellert maks last og lastkurvene fra de dagene med maks last i 2014 fra reelle målinger (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, og viser last per enhet. ....                                               | 66 |
| Figur 33. Lastkurve fra tilpasset modell ved aggregering av last fra 1500 leiligheter, per enhet. Gulstiplet linje illustrerer ved rullerende innkobling av last, ved å redusere lasten i 18 til time 20 og deretter koble inn lastene i time 21 og 22. Grønstiplet linje illustrerer innkobling i etterfølgende time. .... | 67 |
| Figur 34. Lastkurve fra tilpasset modell ved aggregering av last fra 1500 leiligheter. Lastkurve for fryser og oppvaskmaskin fra formålsfordelt lastkurve fra ElDeK (Sæle et al. 2010). Figuren viser total aggregert last for hele området. ....                                                                           | 68 |
| Figur 35. Aggregert lastkurve for 1500 oppvaskmaskiner. Lastkurvene illustrerer to scenario der andelen som går til oppvaskmaskin øker/minker med 50% i timene omkring toppplasttiden, klokken 19, og endres påfølgende fire timene etter, fra 22 og utover. Datagrunnlag fra (Sæle et al. 2010). ....                      | 69 |
| Figur 36. Aggregert lastkurve for 1200 fryser. Lastkurvene illustrere scenario 1 der 20% av fryserne som aksepterer overstyring slås av, og likeledes for scenario 2 der 40% slås av. Formålsfordelte lastkurve ElDeK fra (Sæle et al. 2010). ....                                                                          | 70 |

Figur 37. Lastkurve med potensialet for reduserende dimensjonerende last ved scenario 1 og 2. Lastkurve fra tilpasset modellert last med inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). Lasten er i aggregert tilstand for ved aggregering av last fra 1500 leiligheter. .... 72

## **Formelliste**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Formel 1.1. Samtidighetsfaktor.....                               | 5  |
| Formel 1.2. Velanders formel .....                                | 7  |
| Formel 1.3. Maks last fra statistisk metode USELOAD.....          | 9  |
| Formel 2.1. Maks last fra statistisk metode Pedersen (2008) ..... | 16 |
| Formel 3.1. Justert forventningsverdi .....                       | 28 |
| Formel 3.2. Justert standardavvik .....                           | 28 |
| Formel 3.3. Justert maks last.....                                | 28 |

## Forord

Denne masteroppgaven er avsluttende oppgave ved masterstudiet Fornybar Energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet i Ås. Ferdigstilling av denne oppgaven har vært en lærerik og utfordrende reise som ikke kunne blitt gjort uten hjelp og veiledning.

Oppgaven er basert på en av flere problemstillinger fra konseptutredningen: *Reduksjon i nettinfrastruktur for ny områdeutvikling på Fjellhamar*. En konseptutredning i regi av prosjektgruppe bestående av representanter fra Fjellhamar Bruk AS, eSmart Systems AS og ECT AS.

Først vil jeg takke hovedveileder Torjus F. Bolkesjø og biveileder Stig Ødegaard Ottesen for veiledning og konstruktive tilbakemeldinger. Jeg vil takke eSmart Systems for engasjementet sommeren 2017 og for inkludering i prosjektet Fjellhamar Bruk anledning min masteroppgave. Videre vil jeg takke representantene i prosjektgruppen fra konseptutredningen for Fjellhamar Bruk for inkludering ved deres workshops. Dette var en spennende og lærerik erfaring, der gode spørsmål og innspill førte arbeidet i riktig retning. Videre rettes en stor takk til Karen Byskov Lindberg ved SINTEF Byggforsk for uvurderlig fagekspertise når det virkelig trengtes.

Til sist vil jeg takke min kjære familie hjemme på Otterøya og mine gode venner for oppmuntring og støtte. En spesielt stor takk rettes til Silje Drengsrud for selskap i siste del av en litt *for* langtekkelig skriveperiode.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet  
Ås, 17. Desember 2018

---

Nora Devik Lian

## Sammendrag

Data fra AMS-målere i norske husholdninger viser at dimensjonerende last i leiligheter blir betydelig overdimensjonert i planleggingsfasen. Dette gjelder spesielt for leiligheter der elektrisitet er energibærer for el-spesifikke laster. Sentrale årsaker er en samtidighetsfaktor som tallfestes for høyt og en planleggingsprosess med sikkerhetsmarginer i flere ledd.

Denne oppgaven har som hensikt å finne dimensjonerende last og tilhørende lastkurver for det el-spesifikke behovet for én leilighet, i et område bestående av 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk. Dette gjøres ved bruk av en statistisk modell. For å tilse at dimensjonerende last fra modellen er tilstrekkelig, gjøres en evaluering mot reelle måledata fra AMS-målerne. Deretter undersøkes det hvordan samtidighetsfaktoren påvirker dimensjonerende last for én leilighet i et område bestående av 1500 leiligheter. Til sist skal potensialet for forbrukerfleksibilitet undersøkes, med hensikt å redusere forbruket i timene som er avgjørende for dimensjonerende last. Overordnede problemstilling for oppgaven er: *Er dimensjonerende last på 1 kW per leilighet tilstrekkelig i et område med 1500 leiligheter ved Fjellhamar Bruk der elektrisitet kun brukes til el-spesifikke tjenester?*

Resultatene ved evalueringen av den statistiske modellen tilsier at metoden ikke er tilstrekkelig for bruk ved dimensjonering. Dimensjonerende last fra modellen tilsa en dimensjonering på 0,95 kW for én leilighet, der reelle målinger tilsa en maks last per time på 1,15 kW per leilighet. Tidspunktet i modellen var time 20, og i time 19 i reelle måledata. Videre vil samtidighetsfaktoren i modellen føre til en overestimering av dimensjonerende last. Dette viser at modellen ikke er tilstrekkelig, da både størrelse, tidspunkt og samtidighetsfaktoren ikke gjenspeiler reelle forhold.

For å finne dimensjonerende last genereres nye parametere. Reelle AMS-data ble inndata i den statistiske modellen. Dette ga en tilstrekkelig dimensjonerende last med tilhørende lastkurve. Samtidighetsfaktor ble korrigert til å gjenspeile dimensjonerende last for 1500 enheter. Noe som resulterte i en dimensjonerende last for én leilighet, i et område med 1500 leiligheter, på 1,05 kWh/h. Fleksibilitetspotensialet i Fjellhamar ble kartlagt i to ulike scenario. I dårligste scenario kan dimensjonerende last reduseres til 1,02 kWh/h per leilighet. I beste scenarioet kan dimensjonerende last reduseres til 1,00 kWh/h per leilighet.

## Abstract

Measurements from the smart meters in Norwegian households shows that the dimensions of the electrical infrastructure are being highly overestimated in the design process. This is especially the case for households where electricity is the carrier for el-specific loads. Reasons for this overestimating is a coincidence factor that is set too high and a planning process where margins for safety are added by different stakeholders throughout the design process.

The purpose of this thesis is to find the dimensioning load and associated load curves for the el-specific consumption for one apartment, in an area consisting of 1500 apartments. A statistical model is evaluated by using actual measurements from the smart meters. The coincidence factor is investigated to see how it affects the dimensioning load for one apartment, in an area consisting of 1500 apartments. The potential of demand-response is investigated to reduce the dimensioning load, by moving the consumption in dimensioning hours. This leads to the research question for this thesis: *Is a dimensioning load of 1 kW sufficient for one apartment in an area consisting of 1500 apartments in Fjellhamar Bruk where electricity is used for el-specific services?*

The evaluation of the model indicates that the statistical model is not sufficient for dimensioning. The model gives a dimensioning load of 0,95 kW for one apartment while measured values show a peak-load of 1,15 kW from one apartment. Hour 20 was the hour of dimensioning load from the model, and hour 19 in the measured load. Furthermore, the coincidence factor in the model is too high and will lead to an overestimation of the dimensioning load. This result show that the model is insufficient when the model is underestimating the size and time of peak-load, and it doesn't reflect the coincidence factor when the numbers of households are larger than 38.

To find the dimensioning load, new parameters are generated from the model. The measured values were used as input data in the statistical model. This provided a sufficient sizing and a correct timing of the dimensioning load. The coincidence factor was corrected to reflect a dimensioning load of 1500 apartments. The results of the gives a dimensioning load of 1,05 for one apartment in an area consisting of 1500 apartments. The potential of utilizing demand-response to reduce the dimensioning load was investigated in two different scenarios, best-case- and worst-case scenario. The worst-case scenario gives a dimensioning load of 1,02 kW

for one apartment. The best-case scenario gives a dimensioning load of 1,00 kW for one apartment.

## Definisjoner

*El-spesifikk last.* El-spesifikt last er elektrisitet som energibærer til apparat som bare kan drives av elektrisitet. Dette er elektriske apparater som stekeovn, kaffetrakter og belysning. Temperaturuavhengig last.

*Varme-spesifikk last.* Varme-spesifikk last er laster som leverer varmetjenester i form av rom- og vannoppvarming. Kan ha flere energibærere. Temperaturavhengig last.

*Formålsfordelte lastkuver.* Sier noe om hvordan husholdningenes elektrisitetsbruk fordeler seg på ulike formål innad i husholdningene.

*Samtidighetsfaktor.* Forholdet mellom den aggregerte maksimum last for et antall forbrukere i et område og summen av hver forbrukers individuelle maksimum last. Samtidighetsfaktoren er alltid mindre eller lik en.

*Dimensjonerende last.* Maksimale lasten som setter dimensjonene på elektrisk infrastruktur i energisystemet. Den maksimale lasten som kan gå gjennom en kraftledning i løpet av en time. I denne oppgaven er dimensjonerende last størrelsen på tilknytningspunktet til overliggende infrastruktur for et område med leiligheter.

*Node.* Annet ord for tilknytningspunktet for overliggende elektrisk infrastruktur. Eksempelvis transformator.

*Generaliserte relative last-indikator.* Indikatorer for last per time fra statistisk modell som utgangspunkt for generering av spesifikke last-indikatorer for ulike bygningskategorier i aggregert tilstand. Uten benevning.

*Spesifikk last-indikator.* Indikatorer funnet ved hjelp av generaliserte relative last-indikatorer og spesifikt last-behov for bygningskategorien i aggregert tilstand. Resultater i spesifikke lastindikatorer i form av en forventningsverdi og tilhørende standardavvik, med benevning  $[W/m^2]$ .

# ***Innholdsfortegnelse***

|                                                                                                                         |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Tabelliste</b>                                                                                                       | <b>I</b>    |
| <b>Figurliste</b>                                                                                                       | <b>III</b>  |
| <b>Forord</b>                                                                                                           | <b>VII</b>  |
| <b>Sammendrag</b>                                                                                                       | <b>VIII</b> |
| <b>Abstract</b>                                                                                                         | <b>IX</b>   |
| <b>Definisjoner</b>                                                                                                     | <b>XI</b>   |
| <b><i>Innholdsfortegnelse</i></b>                                                                                       | <b>XII</b>  |
| <b>1. Innledning</b>                                                                                                    | <b>1</b>    |
| 1.1 Bakgrunn                                                                                                            | 2           |
| 1.2 Litteraturstudie                                                                                                    | 5           |
| 1.2.1 Samtidighetsfaktor                                                                                                | 5           |
| 1.2.2 Metodikk for estimering av last for husholdninger i energisystemer som skiller mellom el- og varme-spesifikk last | 7           |
| 1.3 Mål og problemstilling                                                                                              | 11          |
| <b>2. Teoretisk bakgrunn</b>                                                                                            | <b>13</b>   |
| 2.1 Modell for generering av lastkurver og estimering av maks last for husholdninger                                    | 13          |
| 2.2 Forbrukerfleksibilitet                                                                                              | 17          |
| <b>3. Metode</b>                                                                                                        | <b>25</b>   |
| 3.1 Modellert last                                                                                                      | 26          |
| 3.2 Reelle måledata                                                                                                     | 29          |
| 3.3 Evaluering av metode for modellering av last                                                                        | 31          |
| 3.4 Kartlegging av forbrukerfleksibilitet                                                                               | 32          |
| <b>4. Data</b>                                                                                                          | <b>33</b>   |
| <b>5. Resultat</b>                                                                                                      | <b>35</b>   |
| 5.1 Modellert last                                                                                                      | 35          |
| 5.1.1 Time med maks last                                                                                                | 35          |
| 5.1.2 Dimensjonerende last                                                                                              | 37          |
| 5.1.3 Lastkurver                                                                                                        | 39          |
| 5.2 Reelle forbruksdata fra AMS-målinger                                                                                | 41          |
| 5.2.1 Maks last fra reelle målinger                                                                                     | 41          |
| 5.2.2 Samtidighetsfaktor                                                                                                | 49          |
| 5.2.3 Last per individuelle enhet                                                                                       | 51          |
| 5.2.4 Lastkurver                                                                                                        | 53          |
| 5.3 Evaluering av modellerte last                                                                                       | 56          |
| 5.3.1 Dimensjonerende last                                                                                              | 56          |
| 5.3.2 Samtidighetsfaktor                                                                                                | 58          |
| 5.3.3 Lastkurver                                                                                                        | 61          |
| 5.4 Tilpasning av modell fra Pedersen (2008)                                                                            | 62          |
| 5.4.2 Lastkurve for dag med dimensjonerende last                                                                        | 66          |
| 5.5 Fleksibilitetspotensialet                                                                                           | 68          |
| <b>6. Diskusjon</b>                                                                                                     | <b>73</b>   |
| 6.1 Evaluering av modellert last                                                                                        | 73          |
| 6.2 Tilpasning av modell                                                                                                | 75          |
| 6.3 Fleksibilitetspotensialet                                                                                           | 78          |
| <b>7. Konklusjon</b>                                                                                                    | <b>79</b>   |
| <b>8. Videre arbeid</b>                                                                                                 | <b>81</b>   |

|                                                                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>9. Referanser</b>                                                                                                                        | <b>83</b> |
| <b>Vedlegg</b>                                                                                                                              | <b>1</b>  |
| <i>Vedlegg A. Samtidighetsfaktor</i>                                                                                                        | <i>1</i>  |
| <i>Vedlegg B. Bakgrunn for modell fra (Pedersen 2008)</i>                                                                                   | <i>4</i>  |
| <i>Vedlegg C. Fremgangsmetode for bruk av modellen til Pedersen (2008).</i>                                                                 | <i>8</i>  |
| <i>Vedlegg D. Bruk av modellert last fra Pedersen (2008).</i>                                                                               | <i>14</i> |
| <i>Vedlegg E. Grunnlag utregning av samtidighetsfaktor fra Ringeriks-Kraft Nett (2018)</i>                                                  | <i>20</i> |
| <i>Vedlegg F. R-kvadrert ved evaluering av samtidighetsfaktor</i>                                                                           | <i>25</i> |
| <i>Vedlegg G. Generering av nye spesifikke last-indikatorer fra modell fra (Pedersen 2008) med inndata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).</i> | <i>26</i> |
| <i>Vedlegg H. Dimensjonerende last ved bruk av nye spesifikke last-indikatorer fra modell og inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018).</i>   | <i>29</i> |
| <i>Vedlegg I. Beregninger for fleksibilitetspotensialet for Fjellhamar Bruk.</i>                                                            | <i>31</i> |

## 1. Innledning

Digitalisering av kraftsystemet legger til rette for et fleksibelt energisystem med større andeler uregulerbare energikilder og bedre utnyttelse av elektrisk infrastruktur. Som en del av digitaliseringen av kraftsystemet skal alle norske husholdninger installere AMS-målere innen utgangen av 2019 (NVE 2015). Innfasing av AMS-målerne gir mange fordeler. Målerne gir en bedre oversikt over forbruk, som er hensiktsmessig både for systemansvarlig og sluttbruker selv. For systemansvarlig er dette verdifullt både ved drift og planlegging av ny infrastruktur. For sluttbrukeren gir AMS-målerne muligheten til å få et mer bevisst forhold til eget strømforbruk og innta en mer aktiv rolle i kraftsystemet. Dette legger opp markedsløsninger der forbrukerfleksibilitet kan utnyttes for optimalisering av kraftsystemet.

Ringerikskraft-Nett var et av de første nettselskapene i Norge som installerte AMS-målere i norske husholdninger. Deres første AMS-målere ble installert i utgangen av 2013 (Nilsen 2015). Måledata fra deres AMS-målerne viste forbrukstopper som var mye lavere enn forventet. Dette gjaldt spesielt nye boliger der elektrisitet kun dekker det el-spesifikke behovet. Dette resulterte i en dimensjonerende last som var opptil 10 ganger større enn faktisk behov (Fjellhamar Bruk AS 2018).

Funnene fra Ringerikskraft underbygger verdien av AMS-målerne og hvordan nøyaktig tallfesting er sentralt for å unngå overdimensjonering og sløsing av verdifulle ressurser. Samtidig er forbruk en utfordrende og kompleks oppgave, som inkluderer mange stokastiske variable med tilhørende usikkerheter.

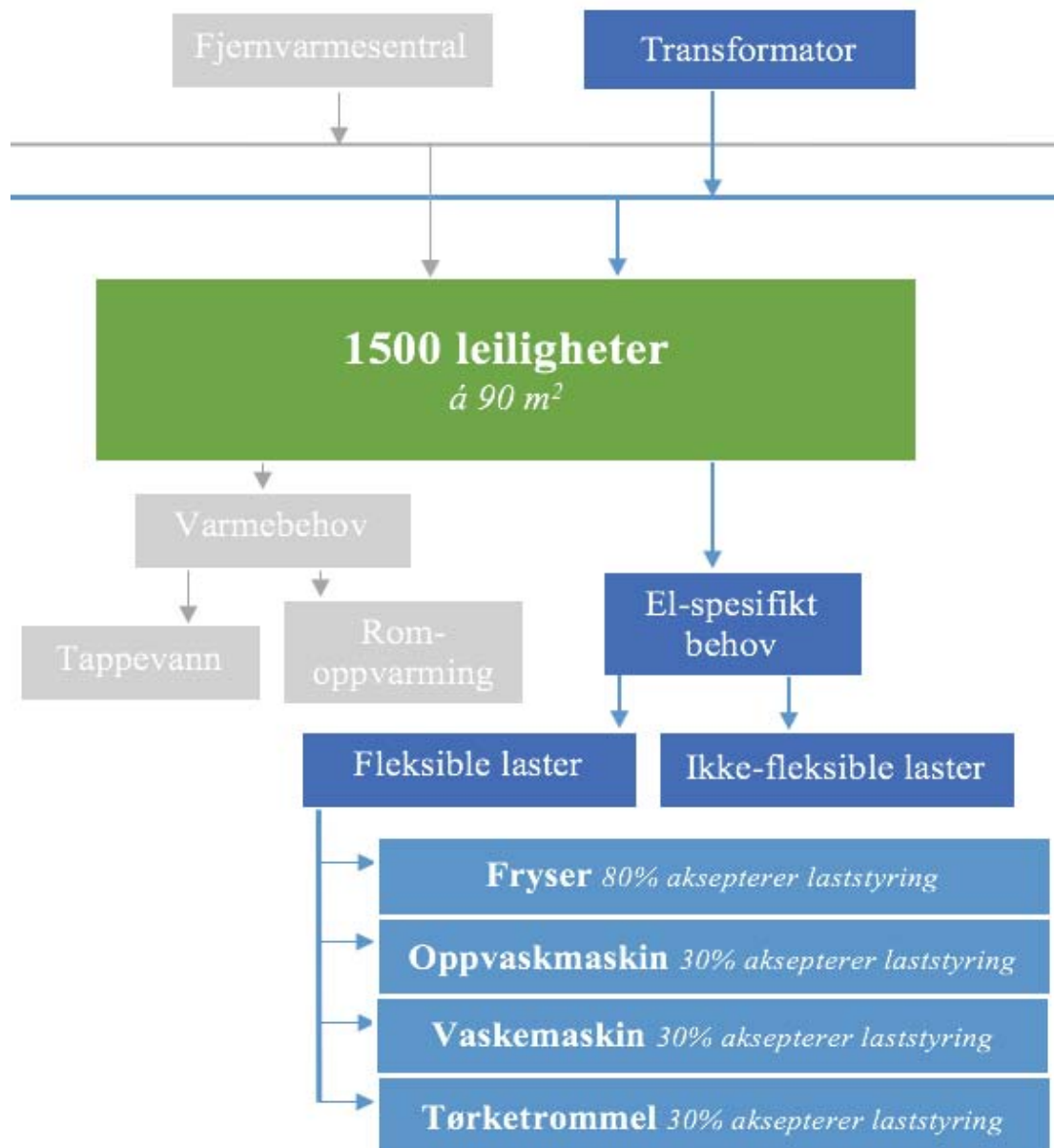
Denne oppgaven har som formål å finne en nøyaktig tallfesting av dimensjonerende last for et område bestående av 1500 leiligheter. For å predikere den dimensjonerende lasten for området brukes en modell for estimering av last. Videre skal AMS-data fra Ringerikskraft brukes for testing og revurdering av eksisterende modell. For å optimalisere dimensjoneringen ytterlig, skal potensialet for nye markedsløsninger i form av forbrukerfleksibilitet undersøkes.

## 1.1 Bakgrunn

Fjellhamar er et gammelt industriområde i Lørenskog kommune som skal transformeres til en moderne bydel. Transformeringsprosjektet er et omfattende prosjekt med blant annet 1500 nye boenheter, en skole med 1700 elever, en flerbrukshall og næring. Med én utbygger – Fjellhamar Bruk Eiendom AS, og et stort område som skal transformeres, bys det på en mulighet for å dimensjonere et moderne, bærekraftig og rasjonelt energisystem. Ved planlegging av et rasjonelt energisystem i Fjellhamar er det ønskelig å dimensjonere den elektriske infrastrukturen inn til området til et minimumsnivå. Minimumsnivået skal være innenfor forsvarlige betingelser og det skal ikke gå på bekostning av forsyningssikkerheten eller brukeropplevelsen til beboerne i området.

I forbindelse med utredningen av mulighetene som ligger i områdeutviklingen i Fjellhamar skisseres et målscenario for energisystemet. I målscenarioet er det to ulike energibærere; elektrisitet til el-spesifikke tjenester og fjernvarme dekker varme-spesifikk last. Fjernvarme dekker alt av oppvarmingsbehov, dette inkluderer rom- og vannoppvarming. Elektrisiteten dekker el-spesifikk last, fra belysning til husholdningsapparater til kaffetrakter og hårføner. El-bil er ikke inkludert i den el-spesifikke lasten. Dermed kan energibærerne i Fjellhamar deles opp i temperaturuavhengig- og temperaturavhengig last, der de el-spesifikke tjenester er temperaturuavhengig og varme-spesifikk last er temperaturavhengig. I denne oppgaven er kun dimensjonering av elektrisk infrastruktur i fokus, dermed er den temperaturuavhengig el-spesifikke lasten av betydning. Med utgangspunkt i den el-spesifikke last skal potensialet for forbrukerfleksibilitet undersøkes. Hensikten med forbrukerfleksibilitet er å redusere forbrukstoppene som er avgjørende for dimensjonerende last.

Figur 1 illustrerer en forenkling av energisystemet i Fjellhamar med et felles tilknytningspunkt til overliggende infrastruktur. Figuren illustrerer de to ulike energibærerne, der kun el-spesifikk last er av betydning i denne oppgaven. Figuren illustrerer også hvilke, og hvor stor andel av lastene som kan styres for å redusere forbrukstoppene.



Figur 1. Oversikt over energisystemet i Fjellhamar. Figuren viser en forenkling av systemet og hvilke energibærere som brukes til ulike energitjenestene, samt en oversikt over de lastene som tillater lastovervåkning og –styring. Kun el-spesifikk last i blå farge er i fokus i denne oppgaven. El-bil er ikke inkludert i den el-spesifikke lasten.

Den bakenforliggende motivasjonen for utredningen av dette prosjektet er funn som er gjort ved implementering av AMS-målere i norske husholdninger. Leiligheter prosjekteres ofte med en dimensjonerende last på 6-7 kWh/h per leilighet, mens målinger gjort av Ringerikskrafts-Nett viser at en maks last på 1-1,5 kWh/h per leilighet. Årsaken til denne overdimensjoneringen er flere. Sentralt er samtidighetsfaktoren. Samtidighetsfaktoren har en mye lavere enn verdi enn først antatt. Medvirkende årsaker er også mer effektive husholdningsapparater, samt rådgivere og utbyggere som legger på sikkerhetsmarginer i flere ledd i planleggingen, for å være på den sikre siden (Fjellhamar Bruk AS 2018).

Målet med utredningen er å se hvorvidt infrastrukturen for leiligheter i Fjellhamar Bruk kan prosjekteres med et gjennomsnittlig last på 1 kWh/h per boenhet. En gjennomsnittlig last på 1 kWh/h per boenhet dimensjoneres ut fra en antagelse der alle 1500 leiligheter har et felles tilknytningspunkt til overliggende infrastruktur. Referansescenarioet til prosjektet har en dimensjonering på 3,4 kWh/h per boenhet, en faktor som kunne vært betydelig høyere, jamført foregående avsnitt. Målsetninger med tilhørende referansescenario er presentert i tabell 1.

*Tabell 1. Målsetninger for utredningen ved områdeutvikling i Fjellhamar, hentet fra (Fjellhamar Bruk AS 2018).*

|                                               | Målscenario | Referansescenario |
|-----------------------------------------------|-------------|-------------------|
| Dimensjonerende last per bolig [kWh/h]        | 1           | 3,4               |
| Dimensjonerende last for hele området [kWh/h] | 1 500       | 5 040             |

## 1.2 Litteraturstudie

I litteraturstudie er relevant litteratur undersøkt for å sette oppgaven inn i riktig kontekst. I del 1.2.1 trekkes samtidighetsfaktoren frem som en sentral faktor ved estimering av dimensjonerende last. Del 1.2.2 fokuserer på ulike metoder estimering av last i energisystemer der det skilles mellom el- og varme-spesifikk last. Ved metodikk for estimering av last er det gjort mye forskning, både internasjonalt og i Norge. I denne oppgaven er det valgt å fokusere på metoder for estimering av last i Norge. Årsaken er viktigheten av å gjenspeile norske forhold, samtidig som det avgrenser litteraturgjennomgangen.

### 1.2.1 Samtidighetsfaktor

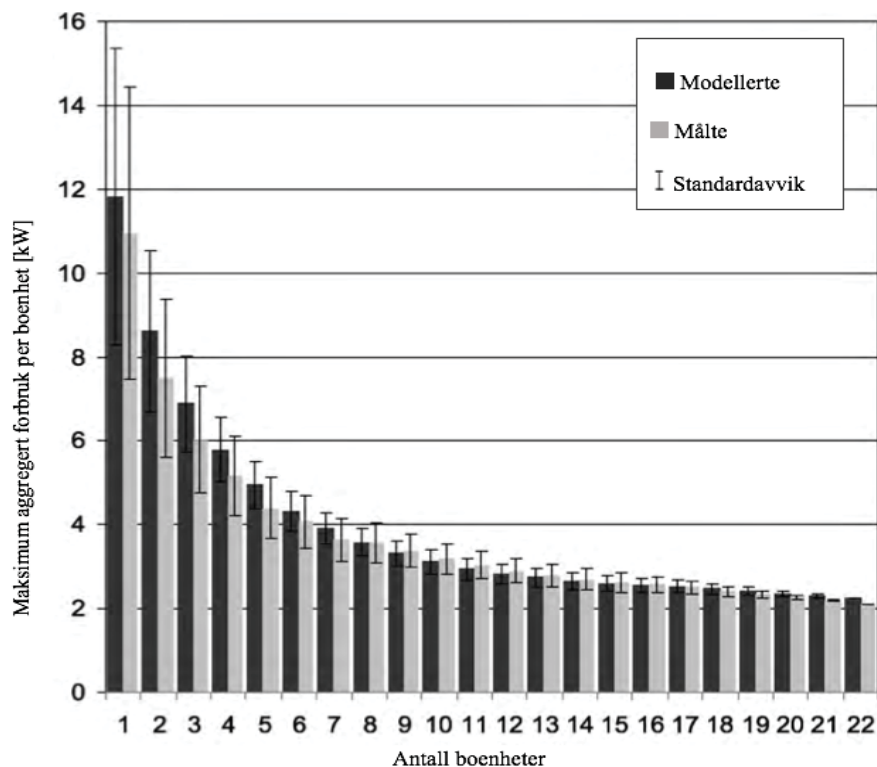
Samtidighetsfaktoren uttrykker *sammenfallingsgraden* av maks last ved aggregering av last fra forbrukere i et område, underlagt en node (Wangensteen 2012) (Richardson et al. 2010).

Samtidighetsfaktoren uttrykkes ved formel 1.5. Bakgrunn for utledningen er presentert i vedlegg A.

$$s_n = \frac{P_{\Sigma maks}}{\sum_{i=1}^n P_{i, maks}} \quad (1.1)$$

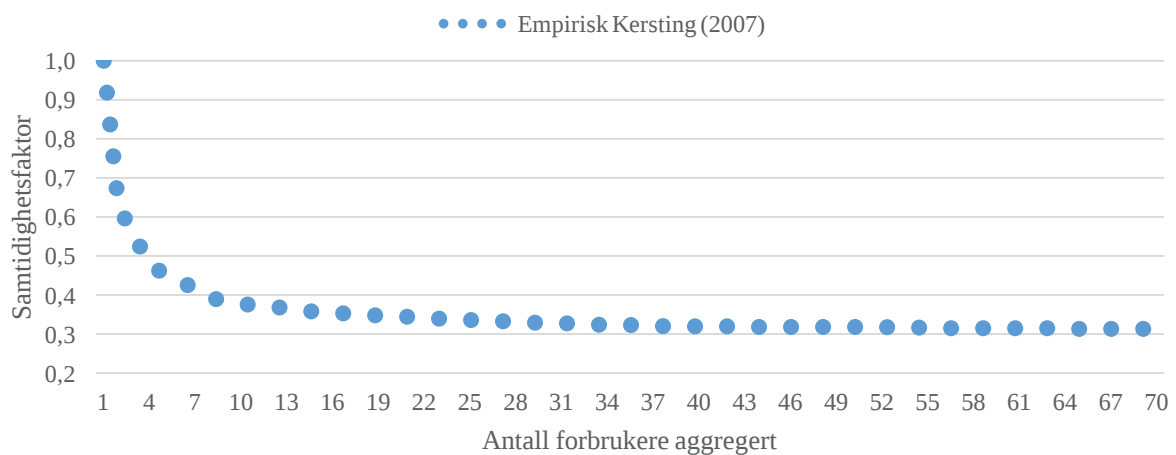
I (Richardson et al. 2010) beskrives det hvordan samtidighetsfaktoren påvirker dimensjonerende last, ved aggregering av last fra et stort antall forbrukere.

Samtidighetsfaktoren minker da antall forbrukere aggregeres øker og dersom antallet enheter som aggregeres er tilstrekkelig, vil samtidighetsfaktoren nå en konstant verdi. Figur 2 illustrerer hvordan dimensjonerende last minker som en konsekvens av samtidighetsfaktoren. Figuren illustrerer også hvordan usikkerheten minker ved tallfesting for et større antall enheter aggregert.



Figur 2. Maksimum aggregert forbruk per boenhet med økende antall boenheter aggregert. Hentet fra (Richardson et al. 2010).

I Kersting (2007) underbygges teorien for samtidighetsfaktor og den blir videre tallfestet basert på antall forbrukere som aggregeres. Tallfestingen fra Kersting (2007) er et eksempel på utvikling av samtidighetsfaktoren, basert på en empirisk studie gjort på et stort antall forbrukere. Kersting (2007) spesifiserer ikke hvilke forbrukere eller hvilke energitjenester som er inkludert i lasten som aggregeres. I den empiriske undersøkelsen når samtidighetsfaktoren en konstant verdi der antallet forbrukere som aggregeres er 70. Den konstante verdien for samtidighetsfaktoren ved 70 forbrukere er 0,3125. I figur 3 illustreres det hvordan den samtidighetsfaktoren minker med økende antall forbrukere som aggregeres.



Figur 3. Utvikling av samtidighetsfaktor ved aggregering av 70 forbrukere. Hentet fra (Kersting 2007) og tallfestet i vedlegg A.

### 1.2.2 Metodikk for estimering av last for husholdninger i energisystemer som skiller mellom el- og varme-spesifikk last

Dette kapitlet fokuserer på metoder for estimering av last der det el-spesifikke behovet kun dekker el-spesifikke tjenester.

#### *Velander's metode*

Velander's metode er en velbrukt metode for estimering av dimensjonerende last i Skandinavia (Neimane 2001). Metoden ble utviklet av S.Velander i 1947 (Velander 1947). Metoden benytter seg av årlig energibruk for estimering av dimensjonerende last for et område med ulike forbrukere. Velander's metode egner seg godt for kunder der antallet er stort og forbruksmønstret er homogent. Formel 1.6 viser Velanders formel for estimering av den aggregerte maks last:

$$P_{maks,n} = k_1 \cdot E \cdot n + k_2 \cdot \sqrt{E_n} \quad (1.2)$$

der  $k_1$  og  $k_2$  er empiriske koeffisienter

$E$  er verdien for årlig elektrisitetsforbruk kWh/år

$n$  er antall husholdninger

$P_{maks}$  er maks last kW for  $n$  husholdninger

Den empiriske koeffisientene varierer ut fra hvilken kategori bygningen befinner seg i, samt hvilken energitjeneste elektrisitet gir. I tabell 2 vises eksempler på de empiriske koeffisientene som brukes for estimering av maks last med tilhørende informasjon.

Tabell 2. Verdier for koeffisienter i Velander's metode, hentet fra (Neimane 2001).

| Kategori                        | $k_1$ [h <sup>-1</sup> ] | $k_2$ [h <sup>-1</sup> ] |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Bolig uten elektrisk oppvarming | 0.00033                  | 0.050                    |
| Hytte med elektrisk oppvarming  | 0.00030                  | 0.025                    |
| Bolig med elektrisk oppvarming  | 0.00028                  | 0.025                    |

En metode som ofte brukes for estimering av last er statistiske metoder (Kipping 2016; Lindberg 2017; Livik et al. 1999; Munkhammar et al. 2014; Pedersen 2008). Metoden baserer seg på historiske forbruksdata og kan ha to ulike tilnærminger. Første tilnærming er en top-down modell der forbruket modelleres som et stort energisluk uten oppløsning. Ved en slik

tilnærming brukes forbruksdata på et aggregert nivå. Denne tilnærmingen for modellering av last egner seg godt for evaluering av økonomiske faktorer som pris-elasticiteter eller framskrivninger av elektrisitetsforbruk (Nesbakken 1999). Den andre tilnærmingen er en bottom-up modell. Metodikken baseres på målinger fra enkelt-enheter, videre skales forbruket opp og kan brukes for å estimere energiforbruk for større områder (Munkhammar et al. 2014; Pedersen 2008). Ved en bottom-up tilnærming er historiske forbruksdata for hver enkelt enhet inndata i modellen. Variablene av størst betydning i slike modeller er sosioøkonomiske- og klimatiske faktorer (Pedersen 2008).

Fra doktorgradsavhandlingen til Kipping (2016) ble en statistisk bottom-up modell brukt for estimering av last i Norske husholdninger. Modellen produserer forbrukskurver på individuell og aggregert form. Hovedhensikten er å gjenskape timesverdier for last for en typisk ukedag og helg gjennom et år, for hver måned. Inndata for modellen er elektrisitetsforbruket med timesoppløsning, spørreundersøkelser og klimadata. Metodikken baseres på regresjonsmodeller for å gjenskape timesforbruk. Videre brukes modellen til å dele inn i el- og varme-spesifikk last. I spørreundersøkelsen for modellen ble det kartlagt hvilke energibærere som brukes til oppvarming for å se hvordan dette påvirker elektrisitetsforbruket. Dette ble grunnlaget for å kunne segmentere modellen i to; en del der forbruket går til oppvarmingstjenester og en del der forbruket går til el-spesifikke tjenester. I modellen er hensikten å ekskludere oppvarming av tappevann fra det el-spesifikke forbruket. Dette viste seg å være vanskelig for husholdninger med fjernvarme da enkelte husholdninger brukte elektrisitet for oppvarming av tappevann. Dermed ble oppvarming av varmtvann inkludert i den el-spesifikke lasten (Kipping 2016; Kipping 2018).

*USELOAD* er programvare for last-modellering. Programvaren er utviklet av SINTEF Energiforskning i samarbeid med Electricité de France, Sycon, VTT Energy, Electricity Association og DEFU. Metoden for programvaren baserer seg også på statistiske metoder, med klimatiske variabler og segmentering av ulike kundegrupper. Programvaren har flere funksjonsområder innenfor estimering av last, blant annet muligheten til å skille varme og el-spesifikk last. Programvaren har også funksjonaliteten til å estimere den aggregerte maks last for et område med en sammensetning av ulike kategorier. Dette gjøres ved formel 1.3:

$$\Phi_{Maks\ Last} = \mu_{Maks\ Last} + k \cdot \sigma_{Maks\ Last} [W] \quad (1.3)$$

$\Phi_{Maksimum\ Last}$  er maks last per time gjennom året

$\mu_{Maksimum\ Last}$  er forventet last i timen med maks last

$k$  er faktor fra sannsynlighetsfordelingen i den statistiske metoden

$\sigma_{Maksimum\ Last}$  standardavviket i timen med maks last

I metodikken for USELOAD blir samtidighetsfaktoren tatt i betraktning på grunnlag av inndata i programvaren, og forbruket estimeres på bakgrunn av sammensetningen av de ulike kategoriene som er underlagt noden (Livik et al. 1993; Livik et al. 1999).

Doktorgradsavhandlingen til Pedersen (2008) bruker også statistiske metoder for estimering av last. Metoden bruker en bottom-up tilnærming og genererer aggregerte lastkurver. Bygningskategoriene i avhandlingen er husholdning, kontor, skole, næring og idrett- og kultur. Metoden deler lastkurvene i to deler; varme- og el-spesifikk last. Der varme er representert i et temperatuurvhengig last, og el-spesifikk last i temperatuurvhengig forbruk. Det temperaturavhengige inkluderer romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmtvann. Og det temperaturavhengige representerer det el-spesifikke forbruket og inkluderer lys, pumper, vifter og elektriske apparater. Den el-spesifikke lasten modelleres på bakgrunn av målinger gjort i boliger der elektrisitet kun dekker de el-spesifikke tjenester. Målingene er fra 38 boenheter gjort i en periode på 10 måneder, i tidsrommet November 2005 til August 2006. Basert på ut-parameterne for last som genereres i modellen, kan maks last i et energisystem estimeres ved bruk av samme metode presentert i forbindelse med USELOAD (formel 1.3).

Ved estimering av maks last fra metoden til Pedersen (2008), inkluderes samtidighetsfaktoren kun som en variabel ved aggregering av ulike bygningstyper i energisystemet. Ved aggregering av flere enheter i en bestemt bygningkategori er samtidighetsfaktoren en konstant verdi, uavhengig av antall enheter som aggregeres. Ved bruk av metoden til Pedersen (2008) vil de modellerte forbruksdata representere en samtidighetsfaktor fra 38 enheter basert på målinger gjort i en periode på 10 måneder.

Ved gjennomgang av relevant litteratur der Velanders formel er brukt, drøftes fordeler og ulemper. Fra Neimane (2001) sier funnene at Velanders formel og statistisk bottom-up modell gir nesten samme resultat, når det er mange kunder innenfor samme kategori. I Karlsen et al.

(2014) bruker de blant annet Velanders metode for å se hvor godt metodikken gjenspeiler maksimum i målte last AMS-data. Resultatene fra undersøkelsen viste at metoden ga store avvik på kundenivå, men dersom sammenligningsgrunnlaget ble gjort på selve transformatoren som forbrukerne var underlagt, ble resultatet i større grad samsvarende. Videre omtaler de Velanders metode som vanskelig for å gjenspeile samtidighetsfaktoren blant forbrukerne. Disse funnene fra tidligere litteratur taler mot bruk av denne metodikken, da det i denne oppgaven er ønskelig å se hvordan lasten gjenspeiles på kundenivå og hvordan samtidighetsfaktoren påvirker aggregering av last.

Av de statistiske bottom-up metodene som er gjennomgått viser litteraturstudiet at metoden presentert i Pedersen (2008) er best egnet i denne oppgaven. Det viktigste er at modellen skiller mellom varme- og el-spesifikk last; der varmtvannstanken inkluderes i varme-spesifikk last. Dette viser seg å være problematisk i modellen til Kipping (2016) da modellen for det el-spesifikke behovet delvis inkluderer varmtvannsbehovet. Metodikken USELOAD er relevant, men med mangel på programvaren blir metoden utelukket. Litteraturgjennomgangen viser at metoden fra Pedersen (2008) er best egnet for generering av lastkurver for et el-spesifikk behov og har en tilhørende metodikk for estimering av maks last ved aggregering av flere enheter. Metoden tar samtidighetsfaktoren i betraktning, men dette er kun når metoden brukes for estimering av last ved sammensetning av ulike bygningskategorier. Innenfor en bestemt kategori er samtidighetsfaktoren inkorporert i lastkurvene. Dermed er en samtidighetsfaktor basert på målinger for 38 boenheter.

### 1.3 Mål og problemstilling

Med bakgrunn i litteraturstudiet i foregående delkapittel og bakgrunn for oppgaven presentert i kapittel 1.1 defineres følgende mål og problemstilling for oppgaven.

Målet med oppgaven er å bruke den statistiske modellen til Pedersen (2008) for å finne dimensjonerende last for det el-spesifikke forbruket for leiligheter i Fjellhamar Bruk.

Da datagrunnlaget for modellen til Pedersen (2008) baseres på målinger fra et begrenset tidsrom på 10 måneder og 38 boenheter, er det ønskelig å evaluere metoden. Evalueringen gjøres ved bruk av reelle AMS-målinger fra 36 leiligheter i et tidsrom på 4 år.

I metoden til Pedersen (2008) er samtidighetsfaktoren basert på 38 boenheter, og varierer ikke ut fra antall enheter som aggregeres. Teorien for samtidighetsfaktor tilsier at samtidighetsfaktoren minker ved aggregering av et større antall enheter. Da antallet boenheter som aggregeres går mot uendelig, vil samtidighetsfaktoren nå en konstant verdi. Kersting (2007) tallfester samtidighetsfaktoren som en konstant ved aggregering av 70 enheter. På bakgrunn av samtidighetsfaktoren tallfestet av Kersting (2007) antas samtidighetsfaktoren i Pedersen (2008) å være for høy ved aggregering av 1500 boenheter. Dermed er det et mål å gjøre en evaluering av samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) mot samtidighetsfaktoren i metoden til Pedersen (2008) og samtidighetsfaktoren i de reelle målingene fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). Hensikten er å se hvorvidt samtidighetsfaktoren til Kersting (2007) kan brukes som et mål på sammenfallingsgraden for maks last ved aggregering av 1500 enheter. Dermed inkluderes som en variabel i den statistiske modellen for husholdninger fra Pedersen (2008).

Med en dimensjonerende last for 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk, vil potensialet for forbrukerfleksibilitet undersøkes. Målet med utnyttelse av forbrukerfleksibilitet er å flytte lasten i timene som er avgjørende for dimensjonerende last. Ved å flytte lasten i timene som er avgjørende for dimensjonerende last i Fjellhamar Bruk, kan dimensjonerende last reduseres ytterlig. Dette leder til den overordnede problemstillingen for oppgaven: *Er dimensjonerende last på 1 kW per leilighet tilstrekkelig i et område med 1500 leiligheter ved Fjellhamar bruk der elektrisitet kun brukes til el-spesifikke tjenester?*

For å kunne svare på overordnede problemstilling, må følgende forskningsspørsmål besvares:

1. Er den statistiske metoden fra Pedersen (2008) tilstrekkelig for bruk ved dimensjonering av elektrisk infrastruktur der elektrisitet brukes til el-spesifikke tjenester?
2. Er samtidighetsfaktoren tallfestet av Kersting (2007) pålitelig og kan implementeres som en variabel i modellen fra Pedersen (2008) for å finne dimensjonerende last for 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk?
3. Hva karakteriserer maks last i reelle målinger, der elektrisitet brukes til el-spesifikke tjenester?
4. Hvor mye kan den dimensjonerende last for 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk reduseres ved utnyttelse av forbrukerfleksibilitet?

## 2. Teoretisk bakgrunn

Første del av teoretisk bakgrunn vil beskrive oppbygging av modellen fra Pedersen (2008) og tilhørende metode for estimering av maks last. I andre del er teoretisk grunnlag for fleksibilitetsanalysen presentert.

### 2.1 Modell for generering av lastkurver og estimering av maks last for husholdninger

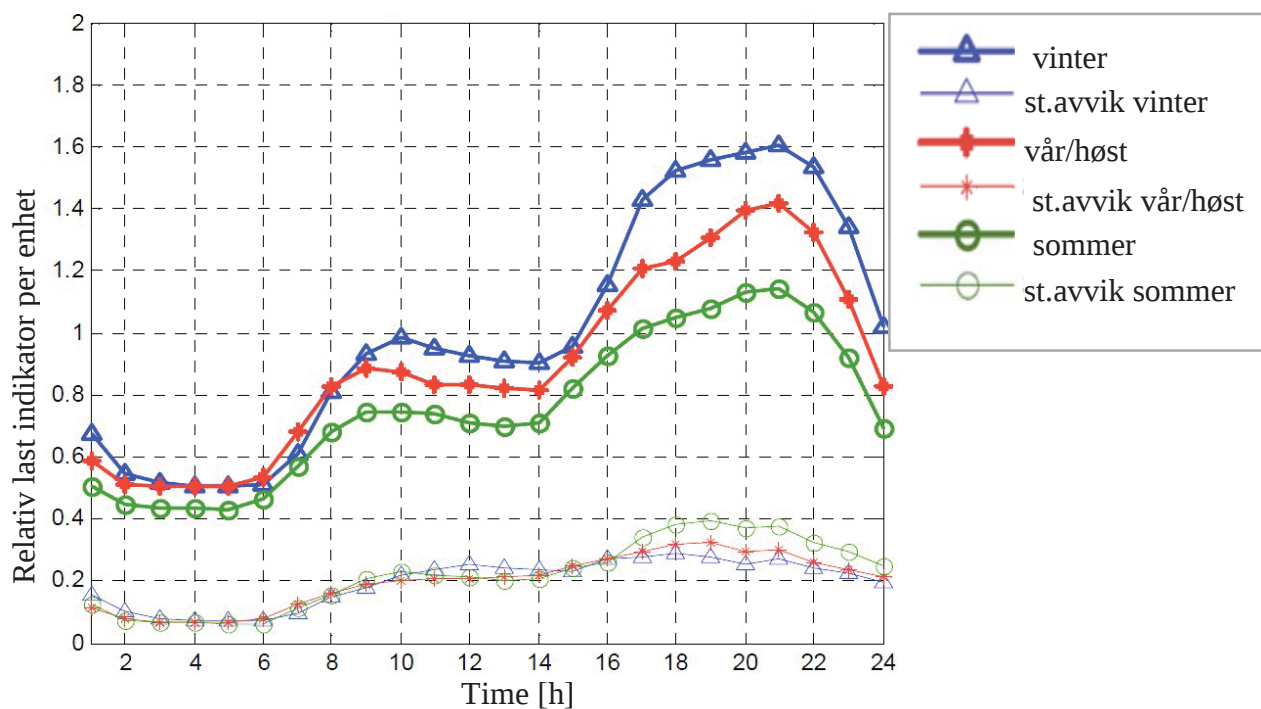
#### *Modell for generering av lastkurver*

Modellen for estimering av last fra Pedersen (2008) er, som nevnt i litteraturstudiet, basert på statistisk modell. To separate modeller modellerer el-spesifikk last og varme-last.

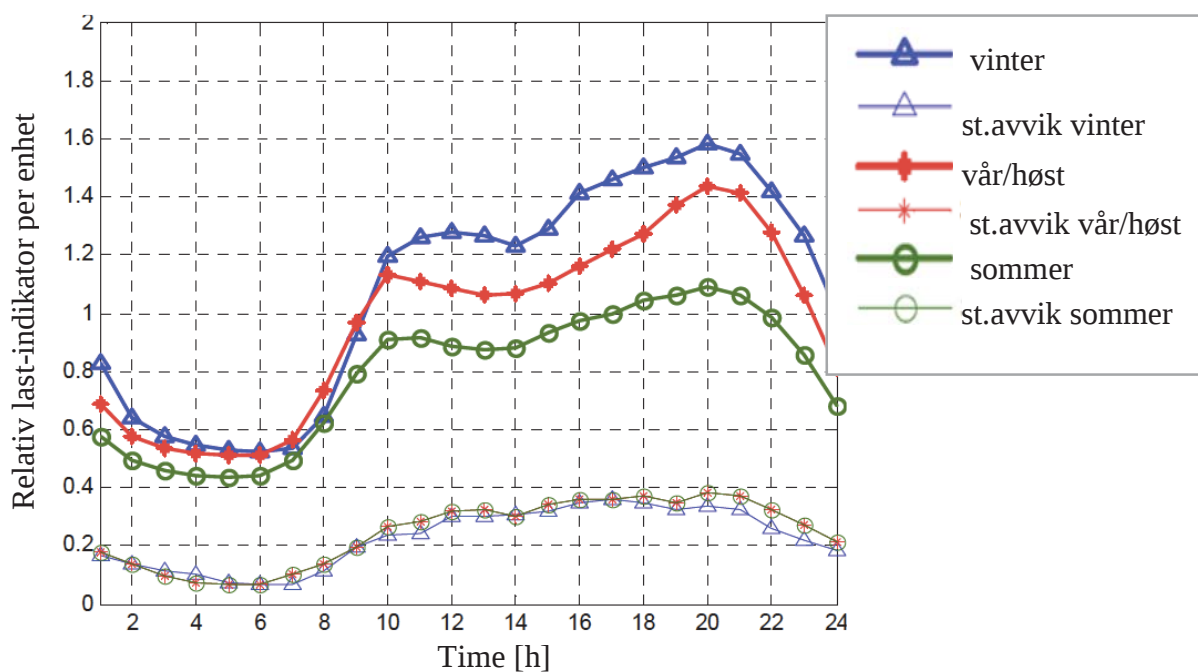
Henholdsvis temperaturavhengig- og temperaturuavhengig forbruk. Med fjernvarme som dekker rom- og vannoppvarming i Fjellhamar Bruk, brukes kun det temperaturuavhengige forbruket for estimering av det el-spesifikke forbruket til de 1500 leilighetene.

Modellen for el-spesifikk last er basert på analyser gjort av reelle forbruksdata. Forbruksdata analyseres i *MatLab*. Analysene har som hensikt å finne hvilke sannsynlighetsfordelinger som er best tilpasset de reelle forbruksdataene.

Basert på sannsynlighetsfordelingene og en tredelt fremgangsmetode genereres en generaliserte relative last-indikatorer, i form av to vektorer; forventningsverdi og standardavvik. Den tredelte fremgangsmetoden er forklart i vedlegg B. Forventningsverdien er *forventet last* i en time og standardavviket indikerer i hvor stor grad lasten kan *avvike* fra forventningsverdien. Vektorene kategoriseres på bakgrunn av sesong, dag og time. Sesongene er vinter, sommer og vår/høst. Vintersesongen er desember, januar og februar. Sommer er juni, juli og august. Vår og høst er samme kategori og består av de resterende månedene. Sesongene kategoriseres i helg og hverdag. Helg er lørdag og søndag, og hverdag er de resterende dagene. Hver dag innad i de ulike kategoriene generes det vektorer for 24 timer. Resultatet er relative last-indikatorer presentert i figur 4 og 5 i form av lastkurver. De generaliserte relative last-indikatorene for timene med høyest forbruk, for alle sesongene og ukedagene er presentert i tabell 3.



Figur 4. Generaliserte relative lastkurver for boenheter, hverdag for alle sesonger, inkludert standardavvik. Hentet fra (Pedersen 2008).



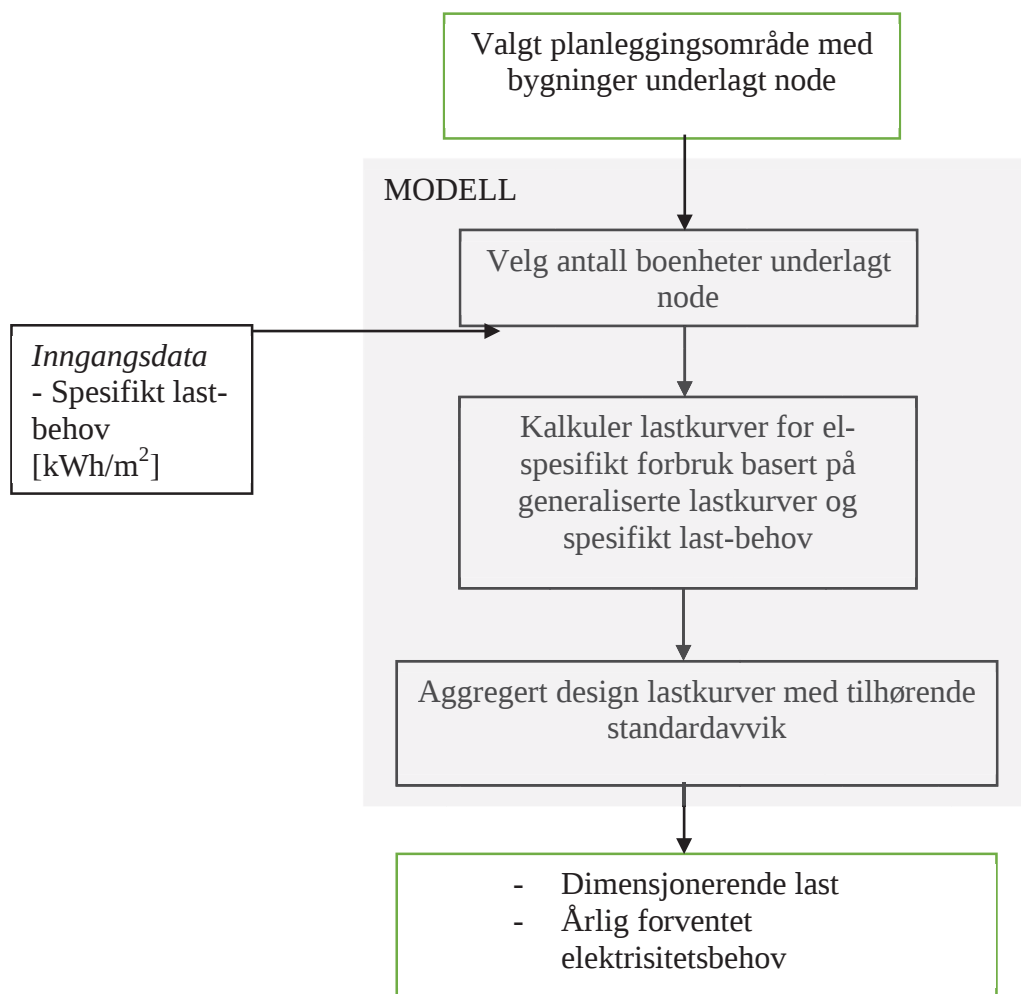
Figur 5. Generaliserte relative lastkurver for boenheter, helg for alle sesonger, inkludert standardavvik. Hentet fra (Pedersen 2008).

Tabell 3. Generaliserte relative last-indikatorer for de timene med høyest last innen de ulike kategoriene i modellen. Hentet fra (Pedersen 2008). Alle timene som underlag for modellen er presentert i vedlegg B.

| Sesong   | Hverdag |          |      | Helg  |          |      |
|----------|---------|----------|------|-------|----------|------|
|          | $\mu$   | $\sigma$ | Time | $\mu$ | $\sigma$ | Time |
| Vinter   | 1,607   | 0,273    | 21   | 1,581 | 0,334    | 20   |
| Vår/høst | 1,417   | 0,299    | 21   | 1,435 | 0,382    | 20   |
| Sommer   | 1,142   | 0,376    | 21   | 1,089 | 0,382    | 20   |

### Metode for estimering av maks

Pedersen (2008) beskriver metode for estimering av maks last for energisystemet. Der absolutt maks last fra modellen vil beskrives som *dimensjonerende last* i denne oppgaven. Dimensjonerende last finnes med utgangspunkt i fremgangsmetoden er presentert i figur 6.



Figur 6. Fremgangsmetode for å dimensjonere last ved bruk av modell, hentet og tilpasset til denne oppgaven fra (Pedersen 2008).

Første steg i metoden er å velge antall bygninger som skal aggregeres for et område underlagt noden i figur 6. Generaliserte relative last-verdier brukes for å gjenskape elektrisitetsforbruket til boenhetene i området. Basert på de generaliserte relative last-verdiene og det spesifikke last-behovet for bygningskategorien finnes en *spesifikk last-indikator*. Den spesifikke last-indikatoren har enheten  $W/m^2$ . Indikatoren finnes med utgangspunkt i fremgangsmåte fra vedlegg B. Med den spesifikke last-indikatoren kan dimensjonerende last finnes ved hjelp av formel 2.1.

$$\Phi_{Maks\ Last} = \mu_{Maks\ Last} + t_{\alpha} \cdot \sigma_{Maks\ Last} [W] \quad (2.1)$$

der

$\Phi_{Maksimum\ Last}$  er estimert maks last gjennom året

$\mu_{Maksimum\ Last}$  er timen med som gir maks last

$t_{\alpha}$  faktor gitt ut fra sannsynlighetsfordelingen med  $n-1$  frihetsgrader

$\sigma_{Maksimum\ Last}$  standardavviket i timen som gir maks last

Bakgrunnen for formel 2.1 er i følge Pedersen (2008) basert på det viktigste fordelingsintervallet for estimering av maks last fra (Løvås 2004): ”det er  $100(1-\alpha)\%$  sikkerhet for at  $x$  verdien vil være mindre enn  $\mu + (Z_{\alpha} \cdot \sigma)$ ”. Ved bruk av  $t_{\alpha}$ -kvantilet for  $n-1$  frihetsgrader, med en 95% sikkerhet estimeres maks last ved formel 2.1.

Den dimensjonerende last er i aggregert tilstand med samtidighetsfaktoren inkorporert i lastkurvene. Den empiriske samtidighetsfaktoren er 0,387 basert på timesmålinger fra 38 boenheter.

## 2.2 Forbrukerfleksibilitet

Begrepet forbrukerfleksibilitet har flere definisjoner. Fra et overordnet perspektiv er det en samlebetegnelse på en tjeneste som brukes for å effektivisere og optimalisere kraftsystemet. Innenfor begrepet er det store variasjoner av styringsstrategier og ordninger. Alvehag et al. (2017) definerer forbrukerfleksibilitet som *”...en frivillig endring i etterspørselen for elektrisitet fra nettet i en kort- eller langsiktig periode, forårsaket av et insentiv”*. I denne definisjonen sees det ut fra forbrukers perspektiv. CEER (2014) definerer forbrukerfleksibilitet ut fra et systembehov: *”..systemets evne til å endre forbruksmønsteret fra det normale, som en respons til markedssignaler”*. I denne oppgaven er det ønskelig å holde fast på definisjonen til CEER, da fleksibilitet brukes med hensikt å tjene systemet ved å redusere dimensjonering av elektrisk infrastruktur.

Fleksibilitet utnyttes ved flytting av laster i timene som er avgjørende for dimensjonerende last. Forbrukerrespons er en nødvendighet for å nyttiggjøre seg av forbrukerfleksibilitet. Dermed er en aktiv forbruker som svarer på insentivene i form av prissignaler avgjørende. Slike prissignaler kan være en form for tariffer fra netteier, timesvariabel pris fra spotmarkedet, regulerkraftmarkedet eller markedet for system- og balansetjenester (Roos 2012).

Fleksibilitet kan utnyttes på to måter; *implisitt* og *eksplisitt*. Ved *implisitt fleksibilitet* sendes et prissignal som et insentiv til forbruker. Dette krever et prissignal som er godt nok til at forbruker responderer og flytter sitt forbruk i tid. Ved *eksplisitt fleksibilitet* vil forbruket styres av en aktiv eller automatisk last-kontroll. Dette gjøres ut fra et helhetlige systembehov, der en overordnet enhet har oversikt over hvilke laster som er tilgjengelige og flyttbare til enhver tid. En forutsetning for dette er forbrukere som stiller sine flyttbare laster til disposisjon. Denne typen forbrukerfleksibilitet er å foretrekke for å kunne bruke fleksibilitet med hensikt på nettverkstjenester og en overordnet enhet kan eksempelvis være netteier (Alvehag et al. 2017).

For å benytte seg av forbrukerfleksibilitet kartlegges laster ut i fra deres fleksibilitetsegenskaper. Kartlegging av fleksibilitetsegenskaper gjøres ved å dele lastene inn etter lastens potensiale til å fremskynde eller utsette lasten i tid. Denne handlingen gjøres uten at det går utover forbrukers krav til komfort. De tre kategoriene for fleksibilitetsegenskaper er: *fleksibel last*, *flyttbar last* og *ikke-fleksibel last*. *Fleksibel last* er laster med et iboende energilager, i form av et elektrisk eller termisk lager. Eksempler på dette kan være en fryser,

varmtvannstank eller batteri (Roos 2012). Lastens energilagringsevne er avgjørende for tiden lasten kan utsettes. *Flyttbar last* er laster som kan utsettes i tid. Når lasten først settes i gang må den løpe til syklusen er ferdigstilt. Typisk flyttbare laster er tørketromler, vaske- og oppvaskmaskin. *Ikke-fleksible laster* er laster som ikke kan fremskyndes eller utsettes i tid. De er direkte relatert til forbrukers aktivitetsmønster, slik som lys, bruk av ovn, tv-titting eller hårføning (Taneja et al. 2013). Tabell 4 viser en oversikt over husholdningsapparater, deres fleksibilitetskarakteristikk og effektforbruk.

Tabell 4. *Fleksibilitetskarakteristikk og eksempel nominell effekt for typiske husholdningsapparat. Hentet fra (Enøkguiden u.å) og (Elkjøp 2018).*

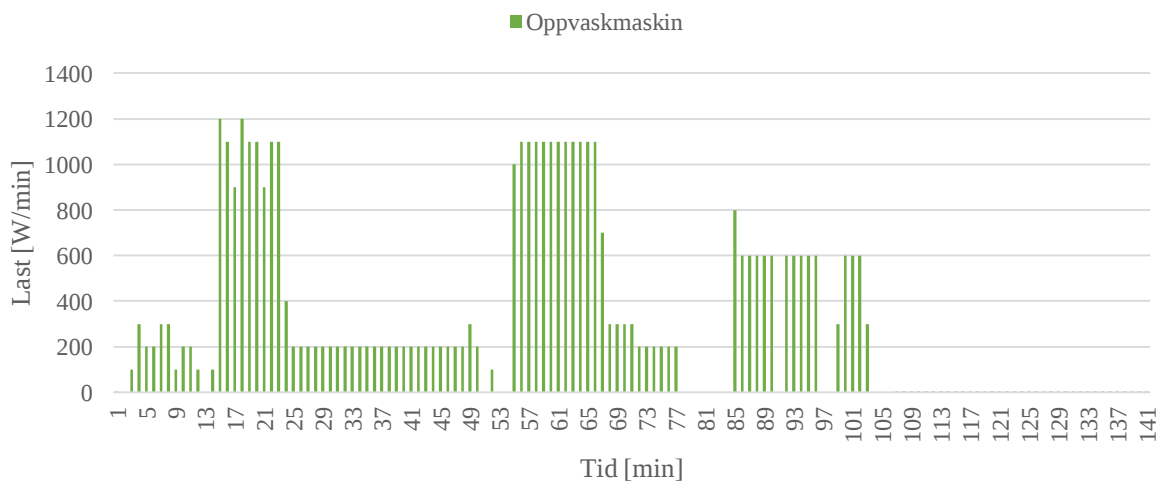
| Husholdningsapparat         | Karakteristikk | Effektforbruk [W] |
|-----------------------------|----------------|-------------------|
| <i>Kjøkken</i>              |                |                   |
| Kjøleskap                   | Fleksibel      | 150               |
| Fryser                      | Fleksibel      | 175               |
| Oppvaskmaskin               | Flyttbar       | 1200              |
| Vannkoker                   | Ikke fleksibel | 2400              |
| Stekeovn med induksjonstopp | Ikke fleksibel | 9300              |
| <i>Stue</i>                 |                |                   |
| TV                          | Ikke fleksibel | 170               |
| <i>Vaskerom og bad</i>      |                |                   |
| Vaskemaskin                 | Flyttbar       | 2750              |
| Tørketrommel                | Flyttbar       | 2750              |
| Hårføner                    | Ikke fleksibel | 450               |
| <i>Hele boligen</i>         |                |                   |
| Støvsuger                   | Ikke fleksibel | 650-800           |
| Datamaskin, bærbar          | Ikke fleksibel | 120               |

Ved kartlegging av fleksibilitetspotensialet er data med god oppløsning for elektrisitetsforbruket av betydning. Effektprofilen til de ulike husholdningsapparatene sentrale, samt hvor stor andel av forbruket i en husholdning som går til de ulike energitjenestene.

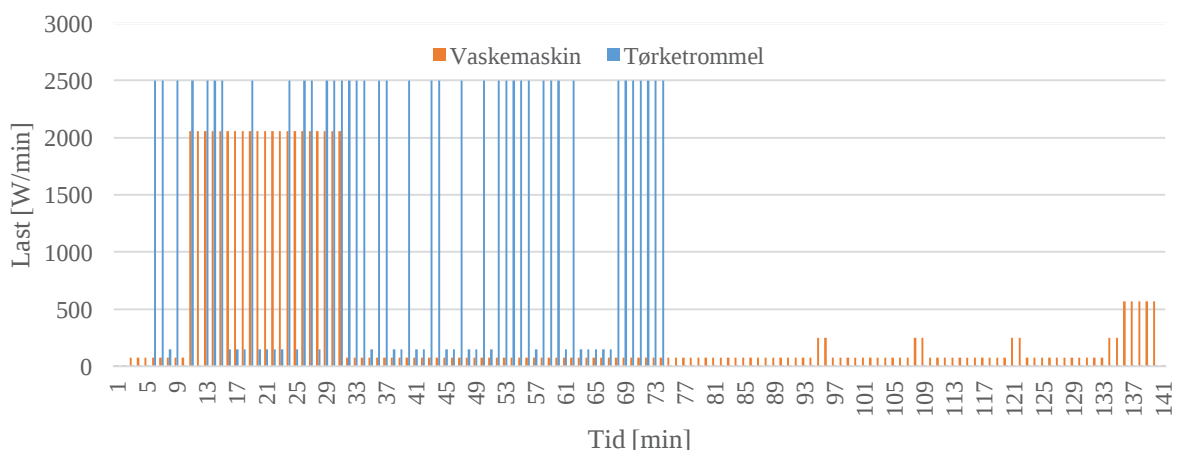
### Effektprofil husholdningsapparater

For å redusere dimensjonerende last ved bruk av forbrukerfleksibilitet er det sentralt å kartlegge *hvordan* effektprofilen til husholdningsapparater ser ut og til *hvilke* tidspunkt apparatene brukes.

Effektprofilen viser hvordan effektuttaket utvikles når apparatet er i bruk. I denne oppgaven med fryser, oppvaskmaskin, vaskemaskin og tørketrommel som kilder til fleksibilitet er det kun effektprofilen for disse apparatene som illustreres. Eksempel på effektprofilen til flyttbare apparater som oppvaskmaskin, vaskemaskin og tørketrommel illustreres i figur 7 og 8, med minuttsopløsning.

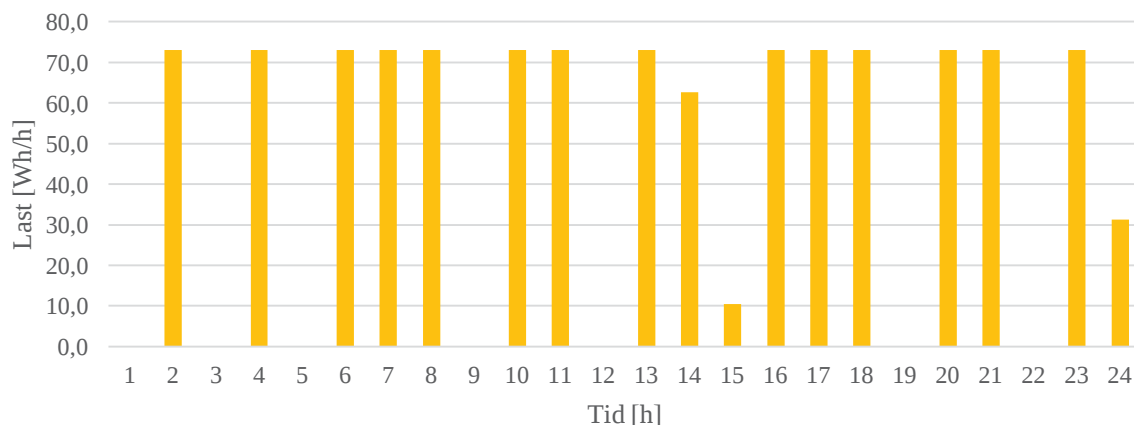


Figur 7. Empirisk effektprofil for en syklus med minuttsopløsning for oppvaskmaskin. Hentet fra (VirginiaTech Avanced Research Institute 2013).



Figur 8. Empirisk effektprofil for en syklus med minuttsopløsning, vaskemaskin og tørketrommel. Hentet fra (VirginiaTech Avanced Research Institute 2013).

I figur 9 illustreres effektprofil for fryser. Fryser karakteriseres som fleksibel last med et iboende energilager. Effektprofilen for fryser vises med en timesoppløsning der et helt døgn er presentert. Fra profilen illustreres det hvordan fryseren kan fungere som en kilde til fleksibilitet da den går i perioder på opptil en time uten å bruk av elektrisitet. Dette er på grunn av det iboende termiske lageret i fryseren.



Figur 9. Simulert effektprofil gjennom et døgn med timesoppløsning for en fryser. Hentet fra (Rangøy 2013).

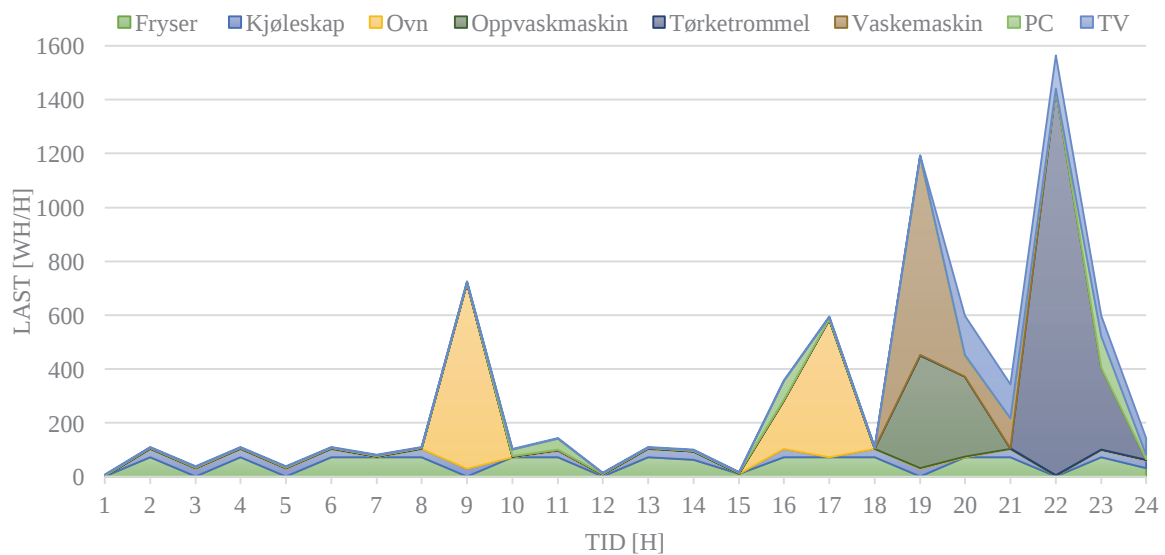
### Formålsfordelte lastkurver

Formålsfordelte lastkurver har som hensikt å kartlegge til *hvilke* tidspunkt apparatene brukes. Pedersen (2008) trekker fram det el-spesifikke forbruket som bruker-avhengige laster, der kulturen i form av menneskers vaner, holdning og bevissthet spiller inn på elektrisitetsbruken. Det trekkes også frem at belyningsbehovet som en del av det el-spesifikke forbruket, har en sammenheng med dagslys. Videre kan antas at ved mindre dagslys vil folk tilbringe mer tid i inne, og den el-spesifikke last vil øke som en konsekvens av dette.

ElDeK er et prosjekt gjort i regi av SINTEF med hensikt å kartlegge formålet for elektrisitetsbruken til en gjennomsnittlig norsk husholdning. Metoden baseres på målinger gjort på apparat- og husholdningsnivå og programvaren USELOAD. Med målingene og programvaren ble resultatet ble formålsfordelte lastkurver for en gjennomsnittlig norsk husholdningsprofil på et aggregert nivå (Sæle et al. 2010). I denne oppgaven brukes resultatene fra ElDeK for å kartlegge hvilke husholdningsapparater som brukes i timen med dimensjonerende last.

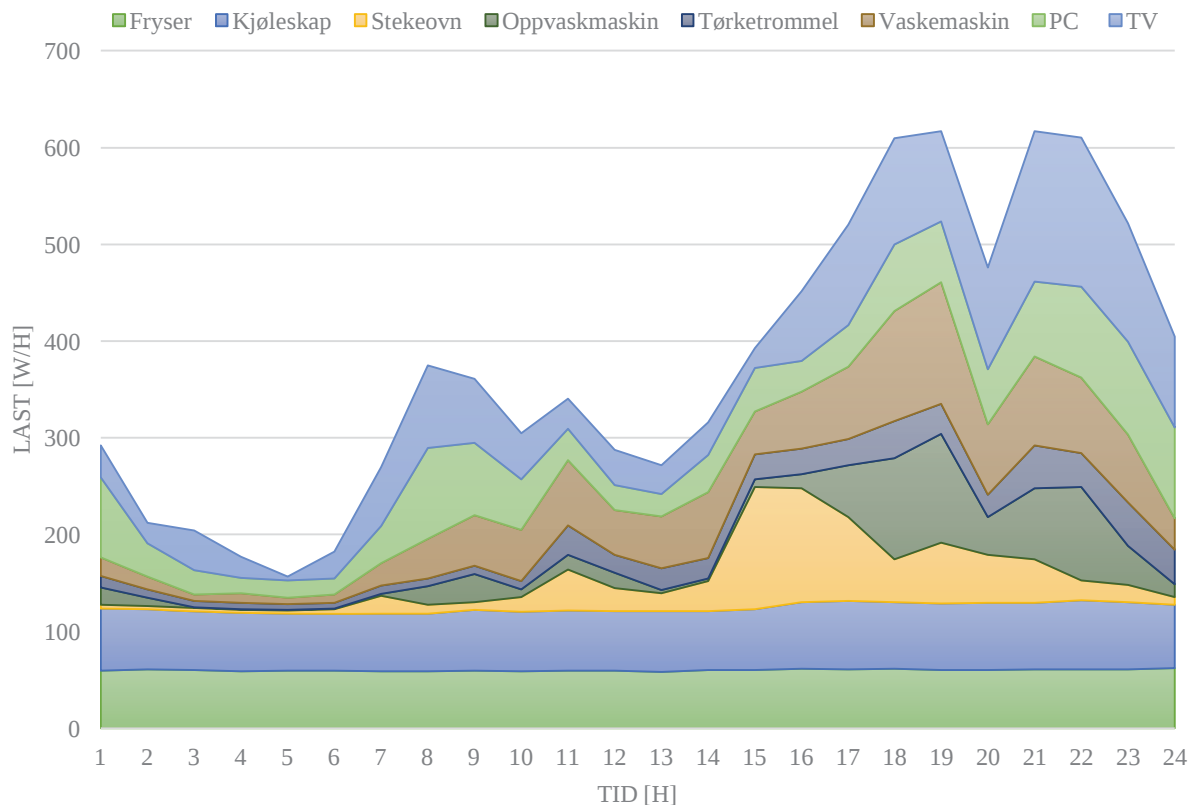
For en husholdning er forbruket i stor grad stokastisk og varierer på bakgrunn faktorer nevnt ovenfor. Figur 10 viser lastkurve for en individuell husholdning der forbruket til

husholdningene er simulert. Apparatene som ansees å være fast inventar i en norsk husholdning er representert i lastkurven. Belysning er ikke inkludert i lastkurven.

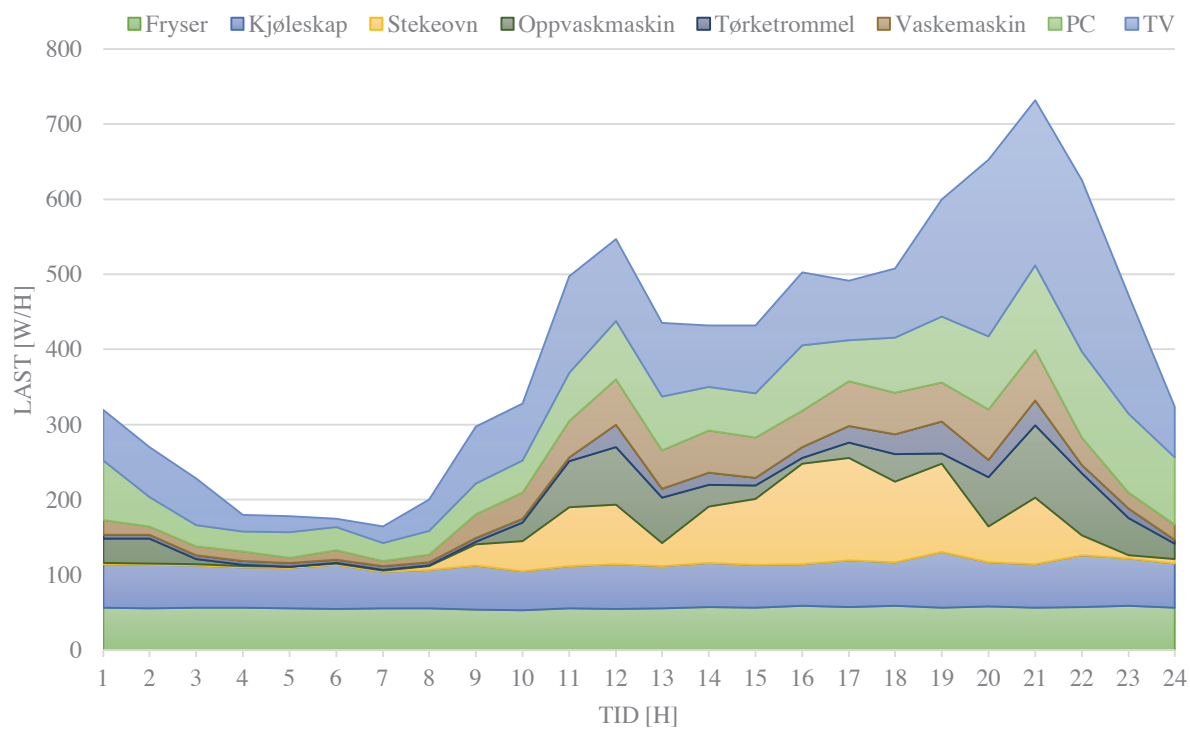


Figur 10. Simulert lastkurve. Stablet last per time for ulike husholdningsapparater i en tilfeldig husholdning på en tilfeldig dag. Data for oppvaskmaskin er empiriske, hentet fra (VirginiaTech Advanced Research Institute 2013) og øvrig materiale er simulert, og hentet fra (Rangøy 2013).

Det stabile forbruket i figur 10 viser største andelen av det el-spesifikke forbruket forekommer på ettermiddagen. Her er oppvaskmaskin, vaskemaskin og tørketrommel de apparatene som blir dominerende for forbruket. For finne hvordan det stokastiske forbruket er representert for et område bestående av et stort antall leiligheter, brukes lastkurvene per enhet fra ElDeK. Lastkurvene fra ElDeK representerer aggregert last. Apparatene som ansees å være fast inventar i en norsk husholdning er representert, bortsett fra belysning. Figur 11 og 12 lastkurvene for det formålsfordelte forbruket fra ElDeK for gjennomsnittlig hverdag og helg.



Figur 11. Aggregert formålsfordelt lastkurve per husholdning, stablet. Et gjennomsnittlig hverdag for en norsk husholdning. Kun de mest brukte husholdningsapparatene er presentert i figuren. Data fra ElDeK (Sæle et al. 2010)



Figur 12. Aggregert formålsfordelt lastkurve per husholdning, stablet. Et gjennomsnittlig dag i helgen for en norsk husholdning. Kun de mest brukte husholdningsapparatene er presentert i figuren. Data fra ElDeK (Sæle et al. 2010)

Figur 11 og 12 viser et forbruket som varierer noe fra ukedag og helg. Bruken av de el-spesifikke lastene er høyest i time 19, der 53% av forbruket består av laster som kan karakteriseres som fleksible. I helgen er forbruket høyest i time 21, der de fleksible lastene utgjør totalt 35% av total last i topplasttiden.



### 3. Metode

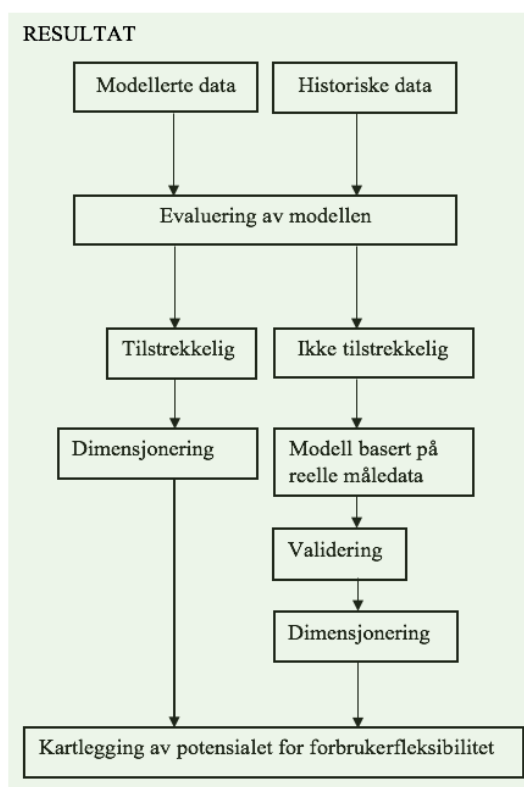
Fremgangsmetoden for å besvare oppgavens mål og problemstillingen presentert i Kapittel 1.3, deles opp i fire deler. Første del beskriver fremgangsmåten brukt for å generere tall fra modellen og estimering av dimensjonerende last for 36 boenheter.

Andre del i fremgangsmetoden analyserer reelle måledata fra leiligheter 36 leiligheter.

Som et resultat modellerte og reelle forbruksdata har tredje del av fremgangsmetoden hensikt å evaluere modellen. Dimensjonerende last med tilhørende lastkurve for 36 leiligheter ved bruk av modellen evalueres mot reelle målinger fra 36 leiligheter fra Ringerikskraft. Ved evaluering er hensikten å se hvorvidt dimensjonerende last er tilstrekkelig ved sammenligning av de reelle måledata. Samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) inngår som en del av evalueringen av modellen.

Siste del av metoden har som hensikt å anslå potensialet for forbrukerfleksibilitet. Da forbrukerfleksibilitet har som hensikt å redusere den dimensjonerende last, brukes dimensjonerende last med tilhørende lastkurver. En scenarioanalyse benyttes for å kartlegge fleksibilitetspotensialet. I figur 13 er overordnet fremgangsmetode i oppgaven presentert. I figuren illustrere hvordan tredje og siste del av oppgaven avhenger av evaluering av modellen.

I følgende kapitler beskrives de fire delene av metoden i detalj.



Figur 13. Oversikt over den overordnede fremgangsmetode i oppgaven.

### 3.1 Modellert last

Første del av metoden har som hensikt å modellere last til leiligheter i Fjellhamar Bruk ved hjelp av den statistiske modellen til Pedersen (2008). Den modellerte lasten brukes videre for estimering av dimensjonerende last med tilhørende lastkurver. Videre evalueres dette mot reelle måledata med hensikt å svare på forskningsspørsmål 1.: *Er den statistiske metoden fra Pedersen (2008) tilstrekkelig for bruk ved dimensjonering av elektrisk infrastruktur der elektrisitet brukes til el-spesifikke tjenester?*

Med et mål å kartlegge utviklingen av samtidighetsfaktoren, og implementere den i modellen er forskningsspørsmål 2 sentralt i metoden for de modellerte forbruksdata.

Forskningsspørsmål 2.: *Er samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) pålitelig og kan implementeres som en variabel i modellen fra Pedersen (2008) for å finne dimensjonerende last for 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk?*

Første steg i fremgangsmetoden ved bruk av modellen til Pedersen (2008) er å genereres spesifikke last-indikatorer. Ved bruk av de generaliserte relative last-indikatorene for husholdninger oppgitt fra Pedersen (2008), kan spesifikke last-indikatorer for hver enkelt time genereres. For å finne spesifikk last-indikator er elektrisitetsforbruket og størrelsen på bygget sentral. Prosjektbeskrivelsen fra Fjellhamar Bruk opplyser at det kun er leiligheter som skal bygges. Gjennomsnittlig størrelse per leilighet i Norge med tilhørende gjennomsnittlige el-spesifikt elektrisitetsforbruk brukes som inndata i modellen til Pedersen (2008)..

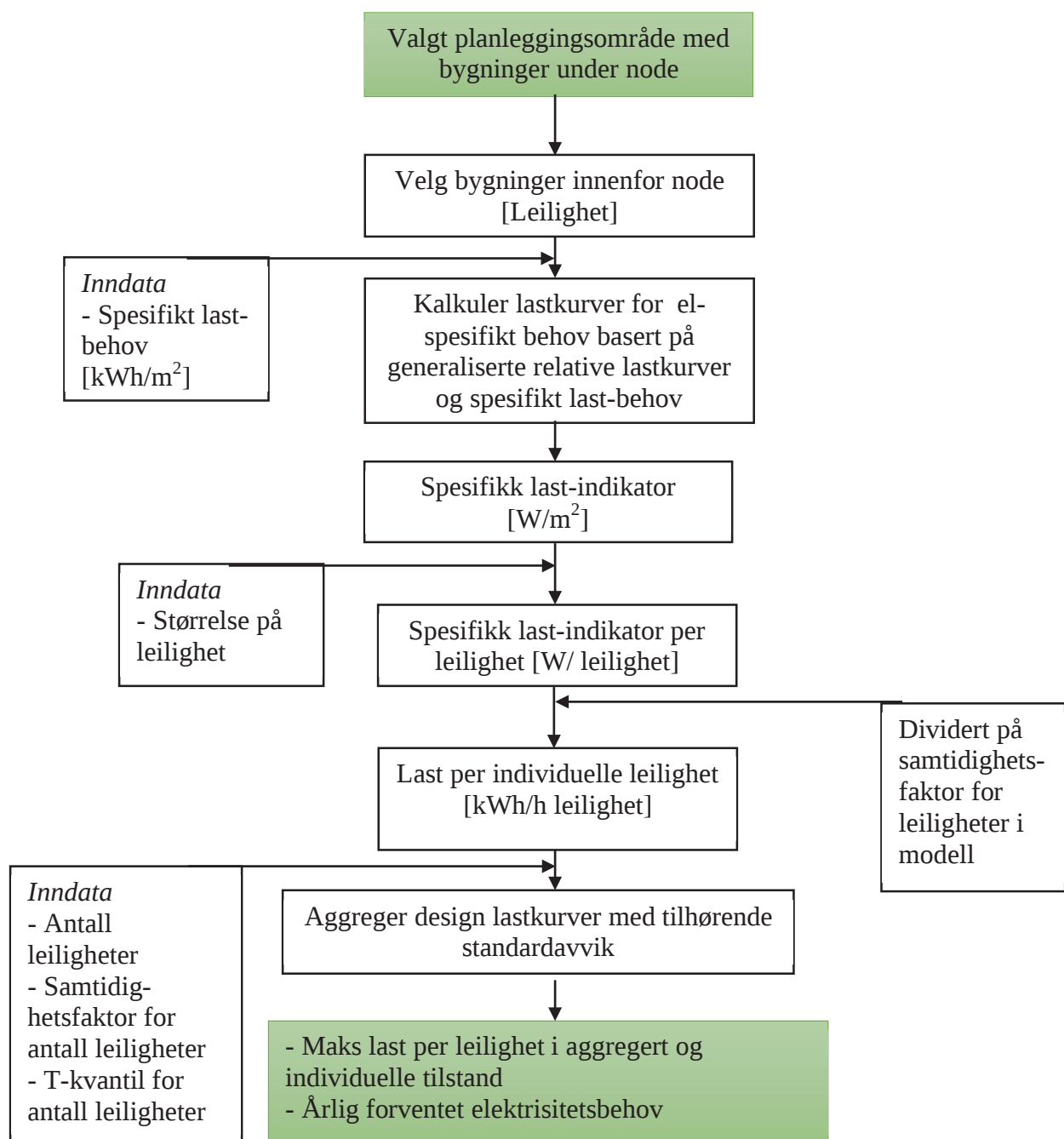
Gjennomsnittlig størrelse på en leilighet i Norge ligger på  $70 \text{ m}^2$  (Statistisk Sentralbyrå u.å.). Elektrisitetsforbruket til en leilighet der elektrisitet kun dekker el-spesifikke tjenester til settes til 2700 kWh basert på tall fra Bergesen et al. (2012) og Langseth et al. (2011). Modellen gir en last indikator med benevnning  $[\text{W}/\text{m}^2]$ . Med en gjennomsnittlig størrelse per leilighet på  $90 \text{ m}^2$  fra prosjektbeskrivelse brukes denne for å generere en last- indikator med benevnning  $[\text{W}/\text{leilighet}]$ . Fremgangsmåten for generering av de spesifikke last-indikatorene er beskrevet i detalj i vedlegg C.

Som beskrevet tidligere genererer modellen last i aggregert tilstand med samtidighetsfaktoren inkorporert i lastkurvene. Da modellen fra Pedersen (2008) er basert på målinger for 38 enheter vil dimensjonerende last gjenspeile en samtidighetsfaktor for 38 enheter. Av denne grunn er det ønskelig å justere modellen ved å finne leilighetens last i ikke-aggregert tilstand, altså *last per individuelle enhet*. Hensikten med dette er for å videre kunne inkludere

samtidighetsfaktoren som en variabel på bakgrunn av antall enheter som skal aggregeres. I følgende kapittel beskrives fremgangsmåten for bruk av modell, samt hvordan metoden for estimering av dimensjonerende last justeres for å inkludere en ekstern samtidighetsfaktoren.

#### *Justering av metode fra Pedersen (2008)*

Med en modell som genererer aggregerte forbruksdata er det ønskelig å gjenskape den individuelle lasten. I figur 14 illustreres fremgangsmåten med tilhørende justering fra den opprinnelige metode fra Pedersen (2008).



Figur 14. Figur som illustrerer justert metode for bruk av modell ved estimering av maks last fra modell (Pedersen 2008).

Den individuelle lasten for en leilighet finnes ved formel for samtidighetsfaktor, fra kapittel 1.1 (formel 1.1). Formelen gir sammenhengen mellom samtidighetsfaktor, aggregerte last og den individuelle last. Ved bruk av individuelle maks last i sammenheng med samtidighetsfaktor, henvises det til den gjennomsnittlige individuelle maks last.

$$S = \frac{P_{\Sigma maks}}{\sum_{i=1}^n P_{i, maks}} \quad (1.1)$$

Der  $s$  er samtidighetsfaktoren som beskriver forholdet mellom maks aggregert last og maks individuell last.

$P_{\Sigma maks}$  er maks aggregert last per time målt på et tidspunkt ved node

$P_{n, maks}$  er maks individuell last målt hos den enkelte forbruker uavhengig av tid

Med hensikt å justere fremgangsmetoden for bruk av modell for å finne dimensjonerende last er opprinnelig formel for å finne dimensjonerende last gjengitt fra kapittel 2.1 (formel 2.1).

$$\Phi_{Maks Last} = \mu_{Maks Last} + t_{\alpha} \cdot \sigma_{Maks Last} [W] \quad (2.1)$$

Med forventningsverdien og standardavviket i aggregert form og  $t_{\alpha}$ -kvantilet som eneste variabel som endres på bakgrunn av antall enheter som aggregeres, endres formel 3.3 ved bruk av formel 3.4 og 3.5. Bakgrunnen er formelen for samtidighetsfaktor (formel 1.1).

$$\mu = s_n \cdot \mu' \quad (3.1)$$

$$\sigma = s_n \cdot \sigma' \quad (3.2)$$

der  $\mu'$  er forventet individuelle maks last

$\sigma'$  er standardavviket for den individuelle maks last

$s_n$  er samtidighetsfaktoren som beskriver forholdet mellom maks aggregert last og maks individuell last

$n$  er antall enheter som aggregeres

På bakgrunn av formel 3.1 og 3.2 endres formel 2.1 til 3.3.

$$\Phi_{Maks Last} = \mu'_{Maks Last} \cdot s_n + t_{\alpha} \cdot \sigma'_{Maks Last} \cdot s_n [W] \quad (3.3)$$

I formel 3.3 er det den individuelle maks last og samtidighetsfaktoren inkludert som en variabel for å estimere dimensjonerende last.

Formel 3.4 brukes for å finne den individuelle last finnes, basert på dimensjonerende last fra modell.

$$\Phi'_{Maks\ indidividuell\ last} = \frac{\Phi_{Maks\ Last}}{s_n} \quad (3.4)$$

Der  $\Phi'$  uttrykker maks individuelle last fra metoden for estimering av dimensjonerende last. Basert på den aggregerte maks last,  $\Phi$ , og samtidighetsfaktoren,  $s_n$ .

Med bakgrunn i formel 3.6 er metodikken fra Pedersen (2008) justert. Med disse endringene vil samtidighetsfaktoren og  $t_\alpha$ -kvantilet være variable som endres på bakgrunn av antall enheter som skal aggregeres. Dette regnes å gi en mer nøyaktig tallfesting av dimensjonerende last, sammenlignet med opprinnelig fremgangsmåte. I opprinnelig fremgangsmåte kun  $t_\alpha$ -kvantilet faktoren som endres på bakgrunn av antall enheter som aggregeres.

### 3.2 Reelle måledata

Bruk av de reelle måledata har som hensikt å svare på forskningsspørsmål 3: *Hva karakteriserer maks last i reelle målinger, der elektrisitet brukes til el-spesifikke tjenester?*

Excel brukt som verktøy, der filterfunksjon og pivottabell benyttet. Datagrunnlaget er i første rekke anonymisert. Deretter er det gjort tilpasninger. Tilpasninger der alle datoer blir tillagt en dag, for å kunne sortere de på bakgrunn av hverdager og helgedager. Videre er timer der sommer- og vintersolverv blitt tilpasset for å kunne sammenlignes med resten av datasettet. Med 2016 som skuddåret er den 29. Februar 2016 utelukket fra datasettet.

Metoden for å undersøke de reelle data fra 36 leiligheter deles opp i 5 deler. Hensikten med metoden er å se hva som karakteriserer maks last i de fire årene med målinger.

I første del undersøkes den aggregerte lasten ved å finne maks last for området med de 36 leilighetene. Dette gjøres for alle fire årene med målinger. I andre del undersøkes de 6 timene med maks last per år. Hensikt er å kartlegge hvorvidt størrelsen på maks last varierer og hvilke datoer og tid på året som er typisk for maks last.

Videre gjøres det en analyse av sammenhengen mellom temperatur og den aggregerte lasten. Dette gjøres ved å se på temperatur-utviklingen i de periodene med høyt forbruk. For å tallfestes samvariasjonen mellom temperatur og last brukes *korrelasjonsanalyse* i Excel. Korrelasjonsanalysen gjøres på bakgrunn av last og temperatur i en enkeltime, alle dager gjennom hele vintersesongen.

Samtidighetsfaktoren er i fokus i tredje del av undersøkelsen. Samtidighetsfaktoren finnes for alle årene med målinger, basert på teorien fra kapittel 1.3.1.

Det individuelle maks last for leilighetene er sentral i fjerde del. Her vil variasjonen i den individuelle maks lasten illustreres og se hvorvidt en størrelsen på maks individuell last gjennom kan tallfestes gjennom fire år med målinger. Deretter brukes samtidighetsfaktoren i kombinasjon med det individuelle lasten per time for å illustrere hvordan disse faktorene utgjør den aggregerte maks last. Dette har med hensikt å illustrere viktigheten av en tilstrekkelig samtidighetsfaktor, i kombinasjon med en tilstrekkelig individuell maks last for å finne en tilstrekkelig dimensjonerende last.

I siste del av undersøkes lastkurvene for de dagene med maks last per time.

### 3.3 Evaluering av metode for modellering av last

Ved evaluering av den statistiske modellen fra (Pedersen 2008) gjøres en sammenligning av sentrale faktorer som fremkommer av modellert- og reell last. Dette med hensikt å svare på forskningsspørsmål 1: *Er den statiske modellen utviklet av Pedersen (2008) tilstrekkelig for bruk for dimensjonering av elektrisk infrastruktur der elektrisitet brukes til el-spesifikke tjenester?* Forskningsspørsmål 2. er også sentral i evalueringen: *Er samtidighetsfaktoren tallfestet av Kersting (2007) pålitelig og kan implementeres som en variabel i modellen Pedersen (2008) for å finne dimensjonerende last for 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk?*

For å svare på forskningsspørsmål 1. evalueres maks last fra reelle målinger mot dimensjonerende last i modellen. Dimensjonerende last sammenlignes på et aggregert nivå for hele området og for den enkelte enhet. Den individuelle maks last er også viktig i evalueringen, da den viser den gjennomsnittlige individuell maks last for leilighetene og er grunnlaget for aggregering ved bruk av samtidighetsfaktoren.

Besvaring av forskningsspørsmål 2. gjøres ved å evaluere samtidighetsfaktoren tallfestet av Kersting (2007) mot samtidighetsfaktorene fra årene reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og samtidighetsfaktoren fra modellen til Pedersen (2008). Samtidighetsfaktoren fra reelle måledata baseres på målinger fra 36 boenheter, modellen baseres på 38 boenheter og samtidighetsfaktor fra Kersting (2007) baseres på målinger fra 70 forbrukere. Trendlinjefunksjonen i Excel brukes som en indikator for de reelle samtidighetsfaktorene der antall enheter aggregeres overstiger 36. Trendlinjen som gir høyest  $R^2$ - verdi benyttes.

### 3.4 Kartlegging av forbrukerfleksibilitet

Metoden for å kartlegge potensialet for forbrukerfleksibilitet har som hensikt å svare på forskningsspørsmål 4.: *Hvor mye kan det dimensjonerende last for 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk reduseres ved utnyttelse av forbrukerfleksibilitet?*

For å kartlegge potensialet er tidspunktet for maks last sentral. Tidspunkt i form av dag i løpet av året, og time på dagen. I modellerte forbruksdata generaliseres maks last ut fra de innehavende kategoriene, helg, ukedag, sommer, vinter og høst/vår. For å anslå et mer nøyaktig tidspunkt for dato maks last forekommer, brukes tidspunktet for maks last som fremkommer fra resultatene av de reelle målingene fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). Videre regnes modellert last å være indikator for lastutviklingen gjennom dagen med maks last.

Formålsfordelte lastkurver, presentert i kapittel 2.2, tilsier hvilke laster som brukes i timen med maks last. Med utgangspunkt i de formålsfordelte lastkurvene gjøres manuelle vurderinger for anslå lasten som kan flyttes i timene som er avgjørende for dimensjonerende last. Anslaget gjøres med to ulike scenario, et beste og et verste scenario. Basert på de formålsfordelte lasten og scenarioene gjøres en manuell vurdering med underliggende antagelser. Antagelsene gjøres med bakgrunn i karakterisering av lastene som er kilder til fleksibilitet fra kapittel 2.2.

## 4. Data

I følgende kapittel kommer en presentasjon av datagrunnlag hentet fra eksterne kilder for å evaluere metoden for modellering av dimensjonerende last for Fjellhamar Bruk.

### *Historiske data fra Ringerikskraft*

For å evaluere modellen for el-spesifikk last fra Pedersen (2008) brukes reelle AMS-data fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). Målingene er fra 36 leiligheter der elektrisitet er energibærer for el-spesifikke tjenester og fjernvarme dekker rom- og vannoppvarming. Målingene er gjort gjennom 4 år, fra 2014 til 2017. Leilighetene ble oppført i 2011 og 2012. Størrelsen på leilighetene er ukjent.

### *Historiske klimadata*

Historiske klimadata er hentet fra eKlima (2018) for å kartlegge sammenhengen mellom elektrisk last og temperatur i de reelle måledata. Hverven er målestasjonen og ligger i Hønefoss. Dette antas å være representative klimadata for målingene fra Ringerikskraft. Datagrunnlaget har timesoppløsning og er hentet fra samme måleperiode som de reelle målingene, fra 2014 til 201



## 5. Resultat

Kapittel 5 tar presenterer resultatene fra modellerte last og reell last. I første delkapittel gjøres en analyse av modellert last tilhørende dimensjonerende last for 36 enheter. Deretter, i andre delkapittel gjøres en analyse av maks last fra 36 leiligheter, basert på reelle målinger fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). Tredje delkapittel gjøres en evaluering av modellerte forbruksdata og samtidighetsfaktoren, ved bruk av funnene fra første og andre kapittel. Basert på evaluering gjøres en tilpasning av modellen, for å kunne bruke den for dimensjonering i Fjellhamar Bruk. Siste i kapittel i resultatet har som hensikt å kartlegge fleksibilitetspotensialet, ut fra dimensjonerende last med tilhørende lastkurve.

### 5.1 Modellert last

Dette kapitlet presenterer resultatet av modellert last. Først presenteres timene med maks last fra de generaliserte relative last-indikatorene fra (Pedersen 2008). Deretter hvordan resulterer i maks last per leilighet, i aggregert- og individuell tilstand og en dimensjonerende last for et område med 36 leiligheter. I siste del presenteres lastutviklingen den dagen der timen med dimensjonerende last forekommer.

#### 5.1.1 Time med maks last

I modellen forekommer maks last på vinteren. Tidspunktet er time 21 på hverdager og time 20 i helgene. Hverdager har høyest forventet last per time og skilles fra helgen med  $0,14 \text{ W/m}^2$ . Maks last varierer med sesong, og vinter skiller seg fra vår/høst med omtrentlig  $1,5 \text{ W/m}^2$ . Sommer har lavest forventet maks last og skilles fra kategorien vår/høst med  $1 \text{ W/m}^2$ . Tabell 5 viser de spesifikke last indikator generert fra modellen til Pedersen (2008). Her er kun de største spesifikke last-indikatorene for forventet last i de ulike kategoriene presentert.

Indikatorene for alle timene gjennom året er presentert i vedlegg C.

*Tabell 5. Spesifikk last indikator ved forventet last i kategoriene vinter, vår/høst og sommer. Kun de timene med høyest last er presentert. Lasten er i aggregert tilstand per time. Hentet fra vedlegg C.*

|          | Hverdag                      |          | Helg                         |          |
|----------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|
|          | $\mu \text{ [W/m}^2\text{]}$ | Time [h] | $\mu \text{ [W/m}^2\text{]}$ | Time [h] |
| Vinter   | 7,95                         | 21       | 7,82                         | 20       |
| Vår/høst | 7,01                         | 21       | 7,10                         | 20       |
| Sommer   | 5,65                         | 21       | 5,39                         | 20       |

I tillegg til forventet last, generes et standardavvik for forventet last. Standardavviket gir et mål på variasjoner for forventningsverdien, og er viktig ved estimering av maks last. Standardavviket for helg viser størst variasjon i forbruket. Tabell 6 viser forventningsverdi og standardavviket for kategorien vinter. Hentet fra vedlegg C.

Tabell 6. Høyest aggregerte last per time i  $\text{W/m}^2$ , med tilhørende standardavvik i kategorien vinter.

| Sesong | Hverdag                     |                                | Helg                        |                                |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|        | $\mu$<br>[ $\text{W/m}^2$ ] | $\sigma$<br>[ $\text{W/m}^2$ ] | $\mu$<br>[ $\text{W/m}^2$ ] | $\sigma$<br>[ $\text{W/m}^2$ ] |
| Vinter | 7,95                        | 1,33                           | 7,82                        | 1,63                           |

Med de spesifikke last-indikatorene i tabell 6 med finnes forventet last og standardavviket for én leilighet med størrelse på  $90\text{m}^2$ . Med en størrelse på  $90\text{m}^2$  resulterer dette i et årlig forbruk av elektrisitet som er større enn det som opprinnelig er lagt inn i modellen. Det årlige forbruket for en leilighet på  $90\text{m}^2$  er presentert i tabell 7.

Tabell 7. Årlig elektrisitetsforbruk fra modellerte last som en konsekvens størrelser på leilighetene.

| Størrelse på leilighet | $70\text{m}^2$ | $90\text{m}^2$ |
|------------------------|----------------|----------------|
| [kWh/år]               | 2 700          | 3 547          |

Da modellen modellerer last i aggregert tilstand, finnes lasten per individuelle leilighet. Ved bruk av samtidighetsfaktoren gjenskapes forbruket for en individuell leilighet. Indikatorene for last i form av forventet last og standardavvik øker med 158% fra aggregert- til individuell last. Resultatet er presentert i tabell 8. Bakgrunnen for beregningene er presentert i vedlegg C.

Tabell 8. Maks individuelle last for en leilighet med størrelse på  $90\text{m}^2$ . Verdiene er beregnet med bakgrunn i spesifikk last-indikator og en underliggende samtidighetsfaktor på 0,387.

| Hverdag                  |                             | Helg                     |                             |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| $\mu'$<br>[kW/leilighet] | $\sigma'$<br>[kW/leilighet] | $\mu'$<br>[kW/leilighet] | $\sigma'$<br>[kW/leilighet] |
| 1,86                     | 0,31                        | 1,81                     | 0,38                        |

### 5.1.2 Dimensjonerende last

Estimering av dimensjonerende last er gjort med utgangspunkt i den individuelle last. For evaluering av modell og samtidighetsfaktor, vil dimensjonerende last estimeres med to ulike samtidighetsfaktorer. Den opprinnelige samtidighetsfaktoren fra modellen til Pedersen (2008) og samtidighetsfaktoren tallfestet av Kersting (2007).

#### *Dimensjonerende last for 36 boenheter med samtidighetsfaktor fra modellen til Pedersen (2008)*

Estimering av dimensjonerende last gjøres ved bruk av de to timene med maks last fra kategorien vinter, både helg og hverdag. Årsaken er størrelsen på standardavviket for helg som kan resultere i en høyere dimensjonerende last, sammenlignet med hverdag. Ved dimensjonering av 36 enheter er opprinnelig samtidighetsfaktor fra modellen benyttet. Dette representerer opprinnelig bruk av modellen til Pedersen (2008) da samtidighetsfaktoren ikke endres fra opprinnelig. Grunnlag for beregningene av dimensjonerende last er presentert i vedlegg D.

Med modellerte forbruksdata blir timen med maks last i helgen avgjørende for dimensjonerende last. Dimensjonerende last ved aggregering av 36 leiligheter er presentert i tabell 9. Resultatet viser en dimensjonerende last under 1 kW/leilighet i aggregert tilstand. Ved bruk av metodikken for estimering av dimensjonerende last tilsier dette individuell høyeste last er 2,45 kW/leilighet.

*Tabell 9. Dimensjonerende last ved aggregering av 36 leiligheter. Basert på modellerte forbruksdata med tilhørende samtidighetsfaktor ved aggregering.*

|         | Dimensjonerende last<br>for hele området, $\Phi$<br>[kW]<br>36 enheter aggregert | Dimensjonerende<br>last per leilighet, $\Phi$<br>[kW/leilighet] | Maks individuelle last per<br>leilighet, $\Phi'$<br>[kW/leilighet] |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Hverdag | 33,02                                                                            | 0,92                                                            | 2,38                                                               |
| Helg    | 34,23                                                                            | 0,95                                                            | 2,45                                                               |

### *Dimensjonerende last med samtidighetsfaktor fra Kersting (2007)*

Kersting (2007) tallfester samtidighetsfaktoren for 36 forbrukere til 0,322. Resultatet av modellerte forbruksdata kombinert med samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) er presentert i tabell 10. Her er kun helg presentert da det er timen med høyeste dimensjonerte last funnet i foregående avsnitt. Grunnlaget for beregningene er presentert i vedlegg D.

Ved å bruke samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) blir dimensjonerende last vesentlig mindre. Samtidighetsfaktoren er redusert med 16,7 % sammenlignet med samtidighetsfaktoren fra Pedersen (2008). Dimensjonerende last hele området er redusert med 16,4% sammenlignet med dimensjoneringen med opprinnelig samtidighetsfaktor fra Pedersen (2008).

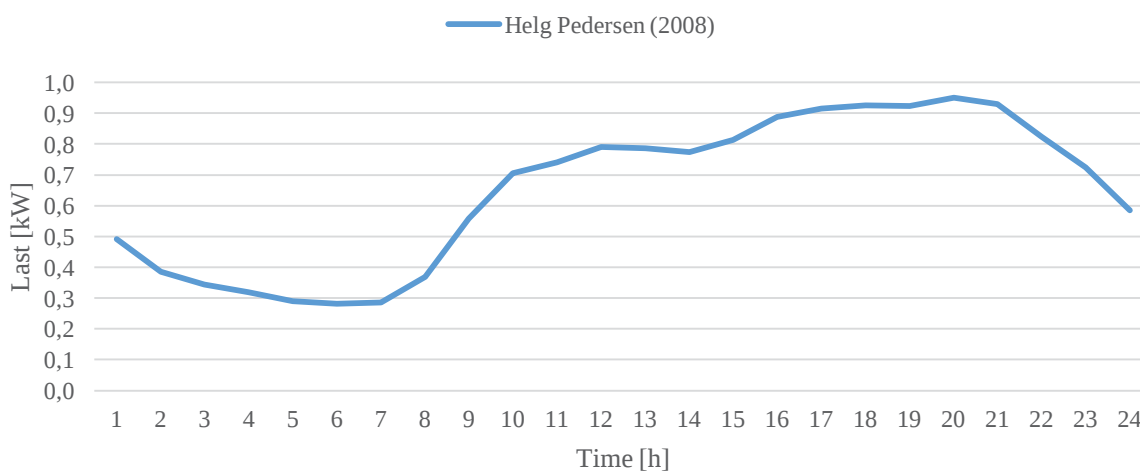
*Tabell 10. Dimensjonerende last fra modellerte data med samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007) for 36 enheter.*

| Dimensjonerende last for hele området, $\Phi$ [kW]<br>36 enheter aggregert | Dimensjonerende last per leilighet, $\Phi$ [kW/leilighet] | Maks individuelle last per leilighet, $\Phi'$ [kW/leilighet] |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 28,53                                                                      | 0,79                                                      | 2,46                                                         |

### 5.1.3 Lastkurver

Ved utnyttelse av forbrukerfleksibilitet er tidspunktet for høyeste forbrukstime og timene omkring av sentral. Av denne hensikten blir lastkurvene fra de modellerte forbruksdata presentert.

For å illustrere utvikling av forbruk presenteres lastkurvene for dagen med dimensjonerende last. Figur 14 illustrerer lastutviklingen dagen med maks last, og timen som er avgjørende for dimensjonerende last. Lastkurven er i aggregert tilstand basert på 36 enheter med opprinnelig samtidighetsfaktor presentert i figur 15.

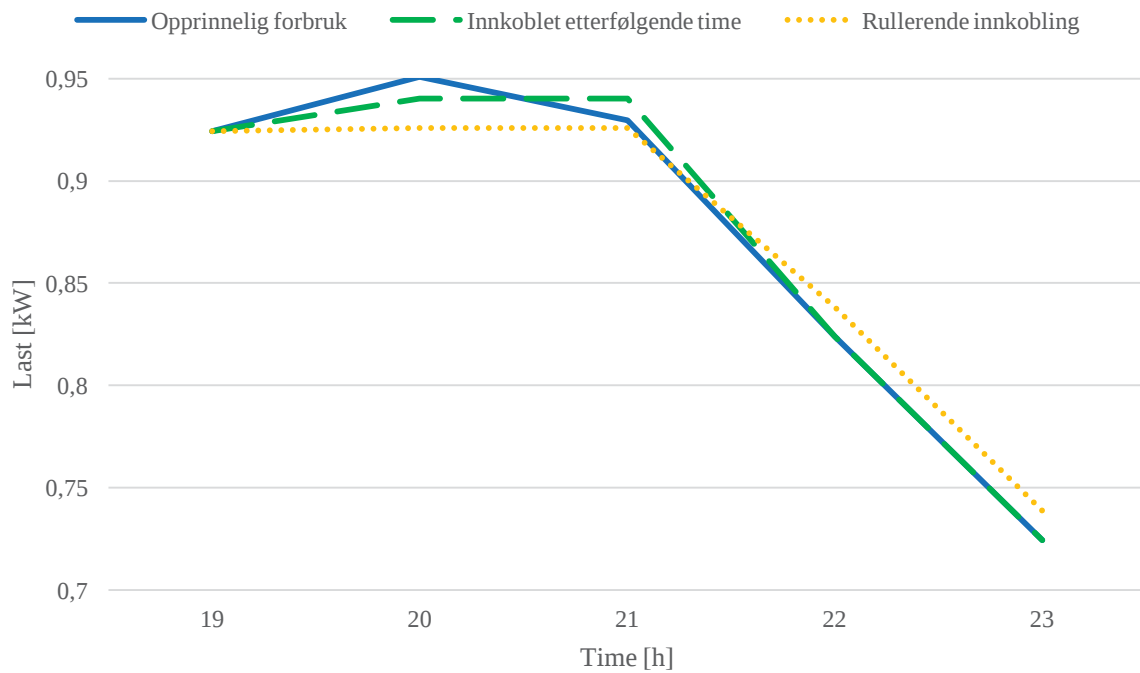


Figur 15. Lastkurver for dagen med maks last fra modell. I aggregert tilstand ved aggregering av last fra 36 leiligheter, per enhet. Opprinnelig samtidighetsfaktor. Basert på en størrelse på 90m<sup>2</sup> fra modellert last.

Figur 15 viser et forbruk med liten variasjon fra time 16 og utover til time 21.

Dimensjonerende last er i time 20, og skiller seg fra timene omkring med 2 %, både i forkant og etterkant.

Lastkurven for dagen med maks last viser et lite fleksibilitetspotensiale da hensikten er å redusere lasten i timen som er avgjørende for dimensjonerende last. 1% av lasten i time 20 kan flyttes til etterfølgende time uten å unngå en ny forbrukstopp i time 21. Dersom lasten kan utsettes mer enn en time er potensialet større. Figur 16 illustrerer potensialet for forbrukerfleksibilitet der lasten kobles inn i etterfølgende time og potensialet med en rullerende innkobling. Ved rullerende innkobling reduseres lasten med 2,6% i time 20. For å oppnå dette reduseres forbruket i både time 19 og 20, deretter kobles det inn i time 22 og 23.



Figur 16. Potensialet for forbrukerfleksibilitet i timen med maks last ved modellerte forbruksdata. Gulstiplet linje illustrerer en potensiell reduksjon på 1% ved innkobling av last i etterfølgende time. Grønstiplet linje illustrerer ved rullerende innkobling av last, ved å redusere time 20 og 21, og deretter koble inn lastene i time 22 og 23. Underlaget for figuren og beregningene er presentert i vedlegg D.

## 5.2 Reelle forbruksdata fra AMS-målinger

Dette kapitlet har som hensikt presentere resultatene fra de reelle forbruksdata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). I første delkapittel er hovedfokuset maks last per time i aggregert tilstand. Videre presenteres samtidighetsfaktoren for de fire årene med målinger. Last per individuelle leilighet er sentral i andre delkapittel. Her viser den individuelle lasten fra målingene, samt hvordan den fremkommer i kombinasjon med samtidighetsfaktoren og den aggregerte lasten. Siste del tar for seg lastkurver for de dagene maks last forekommer.

### 5.2.1 Maks last fra reelle målinger

Med fire år med reelle målinger, er det valgt å se på resultatene av målingene per år. I første omgang sees det på den enkelte time med absolutt maks last i det gjeldende året. Deretter de seks timene med maks last innad i året.

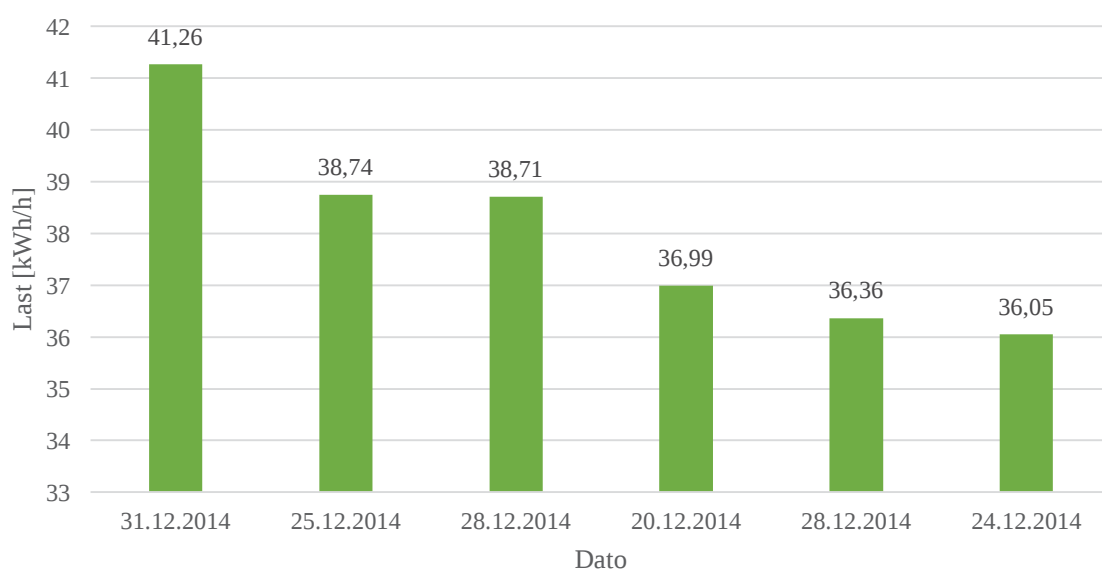
Resultatene fra målingene gjort gjennom fire år, viser at størrelsen på timen med maks last varierer i stor grad mellom årene med målinger. I tabell 11 er timene med maks last presentert for de representative årene. Resultatene viser last som var klart høyest i 2014. I 2014 er timen med maks last 24% større enn maks last i 2016, og 15% større enn maks last i 2017. Videre viser resultatene at det kun er i året 2014 last per time, per enhet, overskrider 1 kWh/h.

Tabell 11. Maks last per år ved aggregert last fra 36 leiligheter gjennom en periode på 4 år. Hentet fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

|                                              | 2014  | 2015 | 2016  | 2017  |
|----------------------------------------------|-------|------|-------|-------|
| Aggregert last alle<br>36 enheter<br>[kWh/h] | 41,26 | 32,7 | 31,31 | 34,96 |
| Aggregert last per<br>enhet [kWh/h]          | 1,15  | 0,90 | 0,87  | 0,97  |

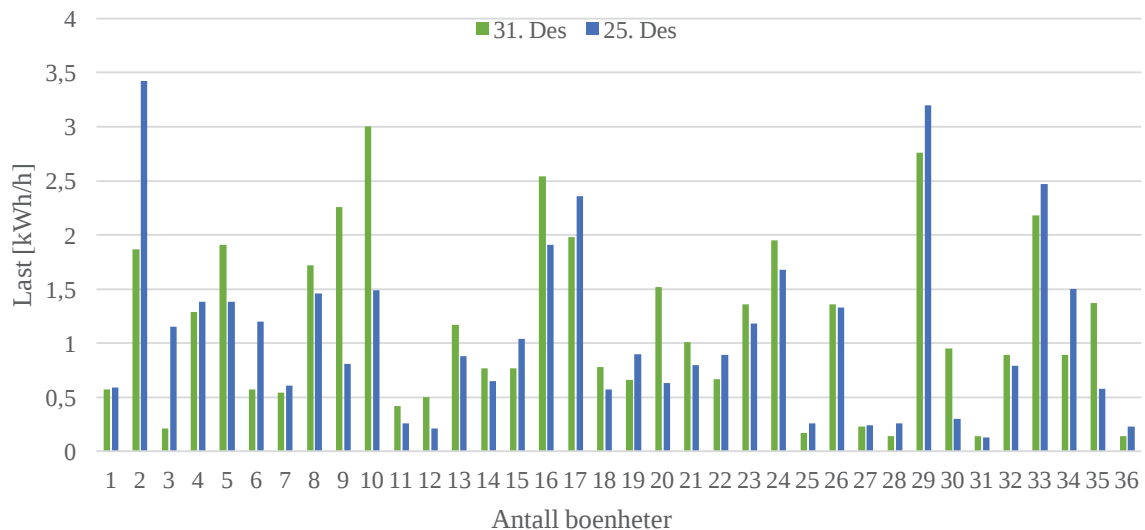
Med en stor differanse på timene for maks last fra tabell 11 sees det nærmere på variasjonen innad i de enkelte årene med målinger. Dette er for å se hvordan størrelsen på maks last varierer i det representative året, og hvorvidt maks last er en trend. Videre er tidspunkt i form av dato sentralt. I de årene med absolutt maks last, 2014 og 2017, sees det nærmere på de individuelle bidragene, for å se hvilke bidrag som utgjør det høye forbruket og avdekke eventuelle målefeil.

Timene med høyest last i 2014 overgår alle timer med maks last de etterkommende årene, 2015, 2016 og 2017. I figur 17 er de seks høyeste forbrukstimen fra 2014 presentert. Den laveste forbrukstimen fra figur 17 er 3% større enn timen med maks last fra 2017. Videre viser målingene at maks last i 2014 skiller seg med 2,5 kWh/h fra den andre høyeste timen i 2014. Dette tilsvarer en økning på 6% fra nest maks last til maks last. Videre ligger variasjonen mellom de andre de andre topplast-timene på 0,8% til 4,4%. Datoen for timene i figur 17 viser at timene utelukkende kommer i høytiden jul og nyttår. Nyttårsaften er høyeste forbruksdag og 2.juledag er like etter.



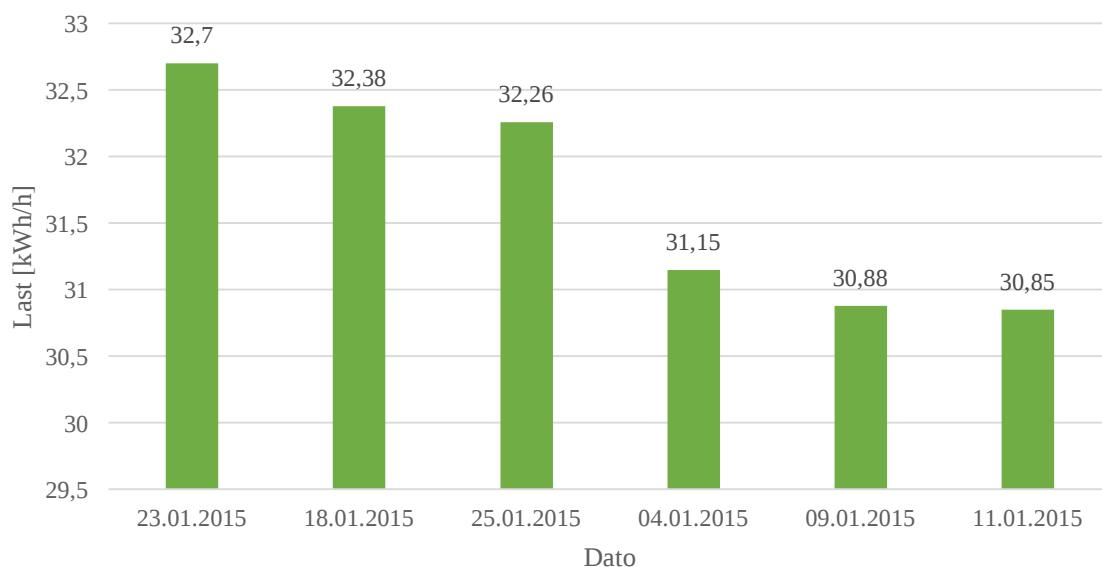
Figur 17. Seks timene med maks aggregert last per time i 2014. Reelle måledata i fra 36 leiligheter fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) .

Med forbrukstimen fra figur 17, som skiller seg fra de øvrige årene med målinger er det for året 2014 valgt å på de individuelle bidragene fra de 36 leilighetene. Figur 18 viser bidraget fra de 36 leiligheten i de to timene med maks last per time i 2014. Resultatene fra figur 18 viser store variasjoner i maks last per time mellom leilighetene. Den 31. Desember er største uttak for en leilighet 3 kWh/h, og minste omkring 0,10 kWh/h. Av de 36 leilighetene er det hele 18 som har en last under 1 kWh/h, og kun 5 leiligheter der last er over 2 kWh/h. Samme tendensen forekommer den 25. Desember, 20 leiligheter ligger under 1 kWh/h og tre over 2 kWh/h. Ved å se på de individuelle bidragene i timene med høyest forbruk, er bidragene fra flertallet av leilighetene under 1 kWh/h.



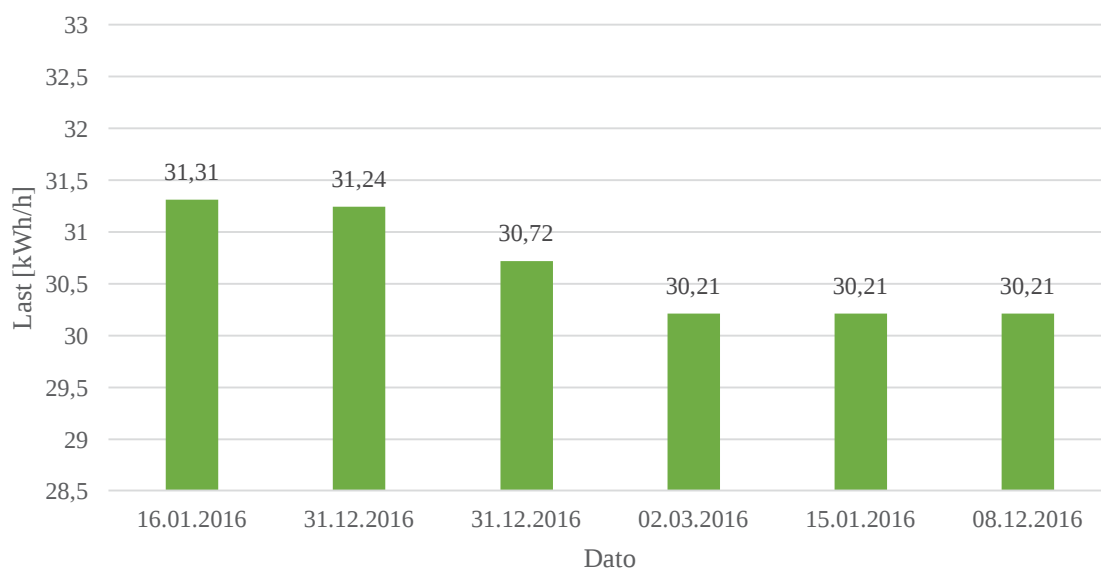
Figur 18. Last per time, per individuelle boenhet, de to timene med høyest forbruk i 2014. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

I 2015 er aggregerte maks last fra de 36 leilighetene redusert med 20% fra maks last i 2014. Figur 19 viser de seks timene med maks last gjennom året. Søylene i figur 19 viser mindre variasjoner sammenlignet med det foregående året. Variasjonen mellom de seks høyeste forbrukstimenene ligger mellom 0% til 3,4%. For året 2015 er de seks høyeste forbrukstimenene i januar.



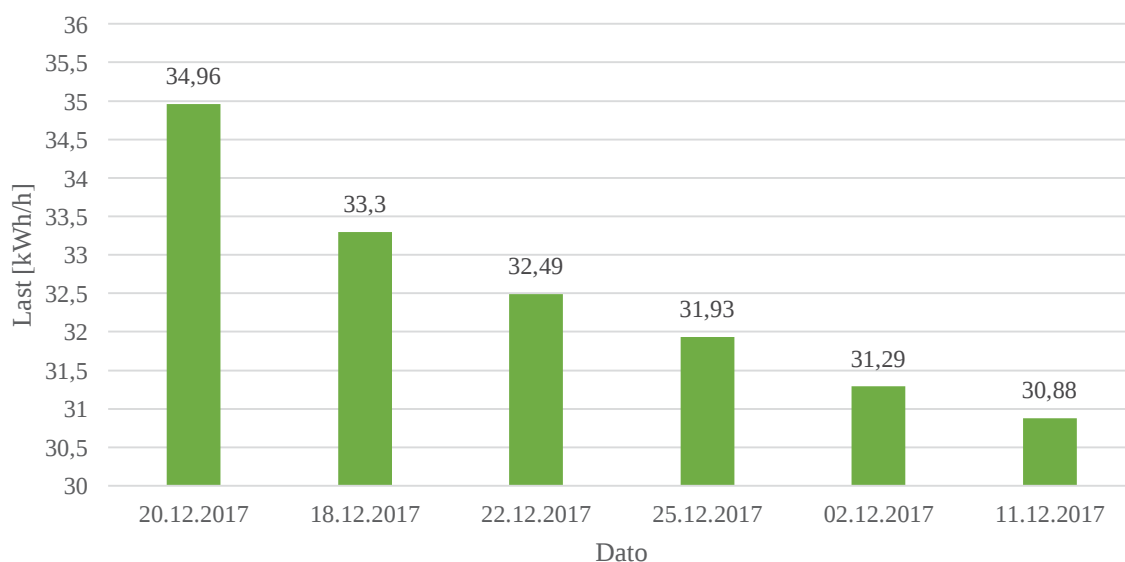
Figur 19. Seks timene med maks aggregert last i 2015. Reelle måledata for 36 enheter. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

2016 er året med laveste maks last per time. De seks timene med maks last i 2016 er presentert i figur 20. Figuren viser lite variasjon mellom timene. Største variasjon på 1,5%, og minste på 0%. Figur 20 viser et forbruk der to av de seks timene med maks last er på nyttårsaften, og de resterende i på vilkårlige datoer i vinterhalvåret.



Figur 20. Seks timene med høyest aggregert timesforbruk i 2016. Reelle måledata i aggregert tilstand for 36 boenheter hentet fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

2017 er året med maks last per time, etter året 2014. Figur 21 viser de seks timene med høyest last. Maks i 2017 minker med 15% fra høyeste i året 2014. Søylene for de seks timene i 2017 viser en jevn kurve den største variasjon mellom timene er 4,6%, og minste variasjon på 1,4%. I 2017 forekommer tre av høylasttimene rundt juletiden, der to av de forekommer før selve juleuka, og en er i selve juleuken. De resterende timene er spredt utover måneden desember.



Figur 21. Seks timene med maks aggregert last per time i 2017. Reelle måledata fra 36 boenheter hentet fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

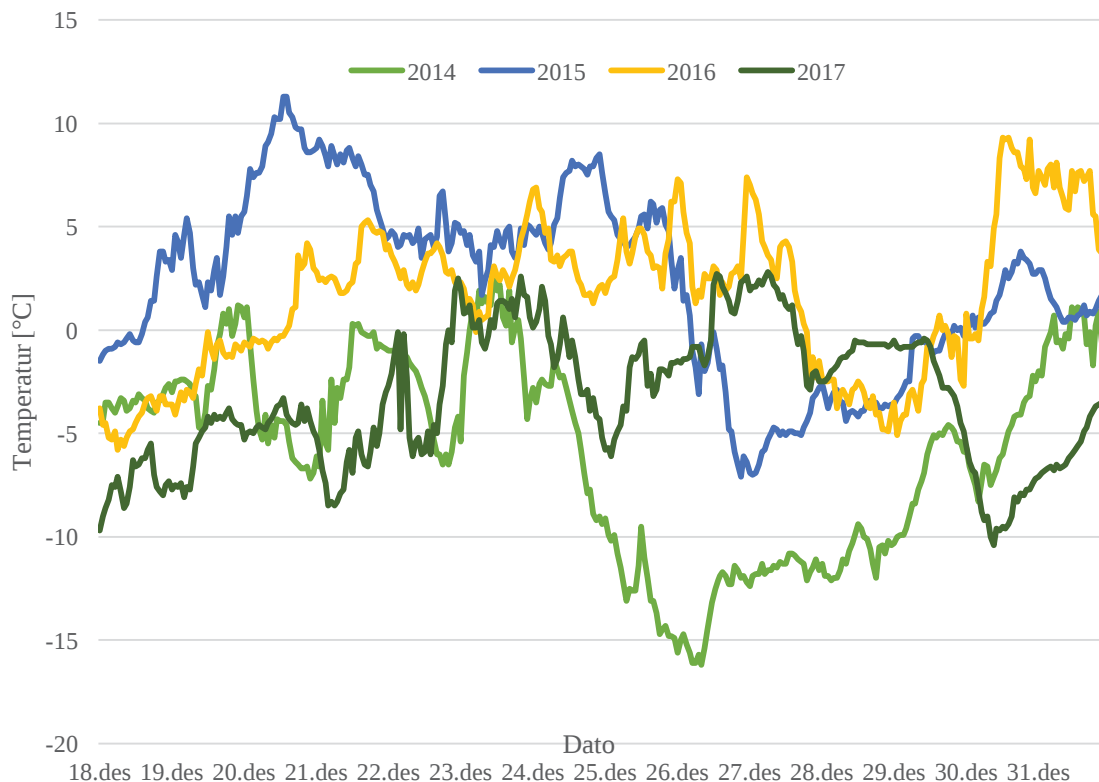
Fra de fire årene med målinger skiller året 2014 seg klart ut som året der timesforbruket er absolutt høyest. Dette er gjeldende for alle de seks timene med maks last i året. Videre viser også året 2014 å ha størst variasjon mellom de seks timene. Spesielt stor er variasjonen mellom absolutt maks, og nest høyeste. Dette er den største variasjonen mellom de seks timene med maks last i 2014, og den største variasjonen sammenlignet med de andre årene. Videre viser resultatene av individuelle bidragene for makslasten i 2014 et forbruk som ikke er forårsaket av målefeil, da ingen bidrag gir mistenkelig verdier i form av avvik fra normen.

Tidspunkt for de høyeste forbrukstimene er variabel. Den klareste trenden er at timene med høyest forbruk forekommer rundt jul- og nyttårstider. Dette viser seg å være tilfellet i tre av de fire årene med målinger. Klarest er tendensen i 2014 der alle timer er i jul- og nyttårstiden. I 2016 er to av seks høylasstimer på nyttårsaften og i 2017 er tre av seks like i starten av jul- og nyttårstiden.

### *Temperaturavhengig forbruk*

Med 2014 som et år der maks last avviker i stor grad fra de andre årene med målinger kartlegges sammenhengen mellom temperatur og forbruk. Dette gjøres til tross for at elektrisitetsforbruket fra de reelle målingene kun skal dekke el-spesifikke tjenester og dermed være et temperaturuavhengig last (Ringeriks-Kraft Nett 2018). I følge Pedersen (2008) og Kipping (2016) er det tendenser til at elektrisitet brukes til oppvarming dager der det er ekstra kaldt, til tross for at varmelasten skal dekkes av andre energibærere.

Med uke 51 og 52 som tidspunktet for maks last i både 2014 og 2017, presenteres temperaturen for denne perioden for de fire årene med målinger i figur 22. 2014 og 2017 er årene med lavest temperatur i perioden presentert i figur 22. 2015 og 2016 er årene med høyest temperatur og årene med lavest timesforbruk. Dette bygger under påstandene til Pedersen (2008) og Kipping (2016); elektrisitet brukes til oppvarming, til tross for at en annen energibærer skal dekke dette forbruket.



Figur 22. Temperatur med timesoppløsning i uke 51 og 52, i årene 2014 til 2017. Hentet fra (eKlima 2018).

Ved å se nærmere på temperaturen den 31. Desember, som er dagen der absolutt maks last i 2014, viser det en temperatur som ikke er forklarende for det høye timesforbruket.

Temperaturen ser ut til å være bidragsyttere til den høye lasten i fem av timene for maks last fra 2014, presentert i figur 16. Dette er ikke tilfellet for den timen med absolutt maks i 2014. Denne timen skiller seg også i stor grad fra de fem andre timene, da den er 6% større enn den foregående time. Temperaturen for maks last i 2014 er skiller seg ikke i stor fra temperaturen samme tidspunkt i 2015. Ved å se utelukkende på temperaturen skulle dette tilsi en høyere last den 31. Desember 2017.

I tabell 12 er temperaturen i timene med maks last fra de fire årene tallfestet mot forbruket. I kombinasjon med resultatet fra figur 22 indikerer dette en sammenheng som tilsier følgende: med høy temperatur i juletiden forekommer de høyeste forbrukstimene *utenfor* høytiden. Lav temperatur i høytiden fører til høyeste forbrukstimer i jul- og nyttårstider. Dette resonnementet stemmer for de fleste forbrukstimene, bortsett fra timen der lasten er på sitt absolutt høyest i 2014.

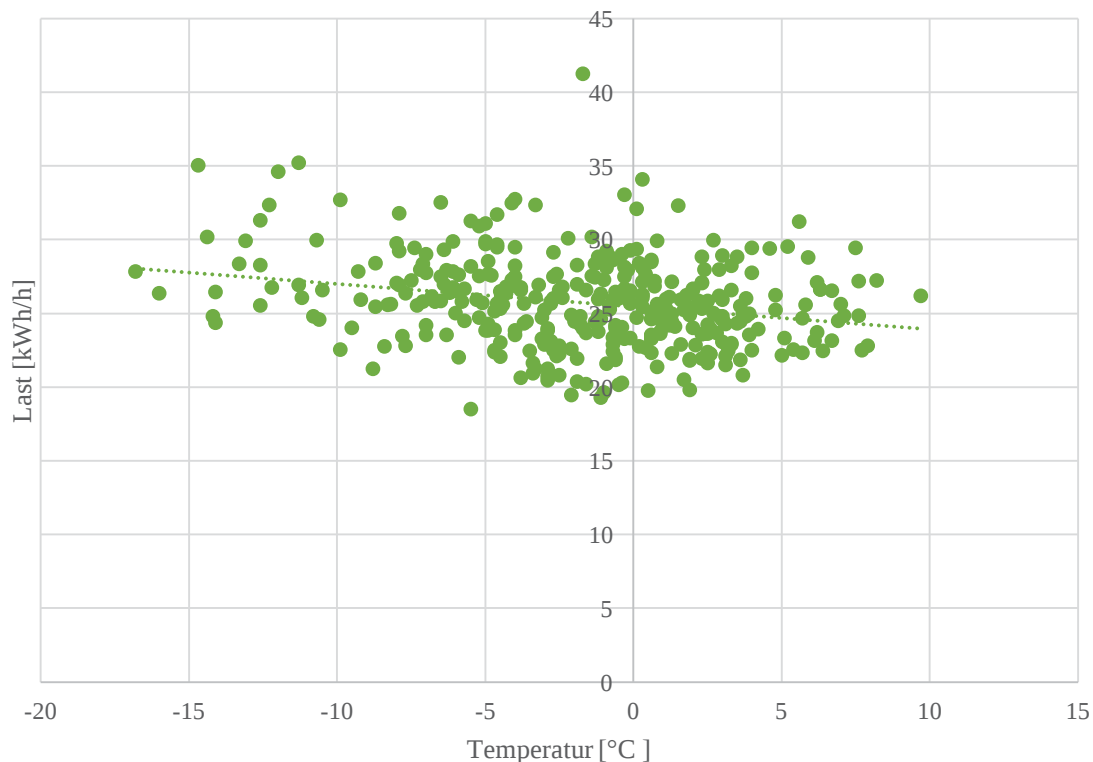
Tabell 12. Dato, time og temperatur for timen med maks last i de fire årene. Klimadata hentet fra (eKlima 2018) og reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

| Dato       | Time [h] | Temperatur [°C] | Maks last aggregert 36 enheter [kWh/h] |
|------------|----------|-----------------|----------------------------------------|
| 31.12.2014 | 19       | -1,7            | 41,26                                  |
| 23.01.2015 | 19       | -9,9            | 32,7                                   |
| 16.01.2016 | 19       | -12,6           | 31,31                                  |
| 20.12.2017 | 18       | -4,6            | 34,96                                  |

Fra resultatene ovenfor er det en kombinasjon av lav temperatur og høytid som blir avgjørende for høyt timesforbruk. For å tallfeste sammenhengen mellom forbruk mot temperatur gjøres det en korrelasjonsanalyse. Resultatene fra korrelasjonsanalysen er presentert i tabell 13. Forbruket analysert som en konsekvens av temperatur, time 19 i vintersesongen, i alle fire årene med målinger. Resultatene underbygger et forbruk som varierer noe med temperatur. I figur 23 er forbruk som et resultat av temperatur illustrert grafisk, med en tilhørende trendlinje. Den grafiske fremstillingen indikerer en svak samvariasjon, noe som blir bekreftet med den negative korrelasjonskoeffisienten presentert i tabell 13. Den negative korrelasjonen tilsier at der det er høyt forbruk er det en sammenheng med lave temperaturer.

Tabell 13. Korrelasjonskoeffisient for sammenheng mellom temperatur i time 19, alle døgn i vintersesongen. Basert på klimadata hentet fra (eKlima 2018) og reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

| Korrelasjonskoeffisient | Temperatur [°C] |
|-------------------------|-----------------|
| Last [kWh/h]            | -0,25           |



Figur 23. Sammenhengen mellom last og temperatur i time 19, alle dager i vintersesongen i fire år med målinger. Klimadata hentet fra (eKlima 2018) og reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

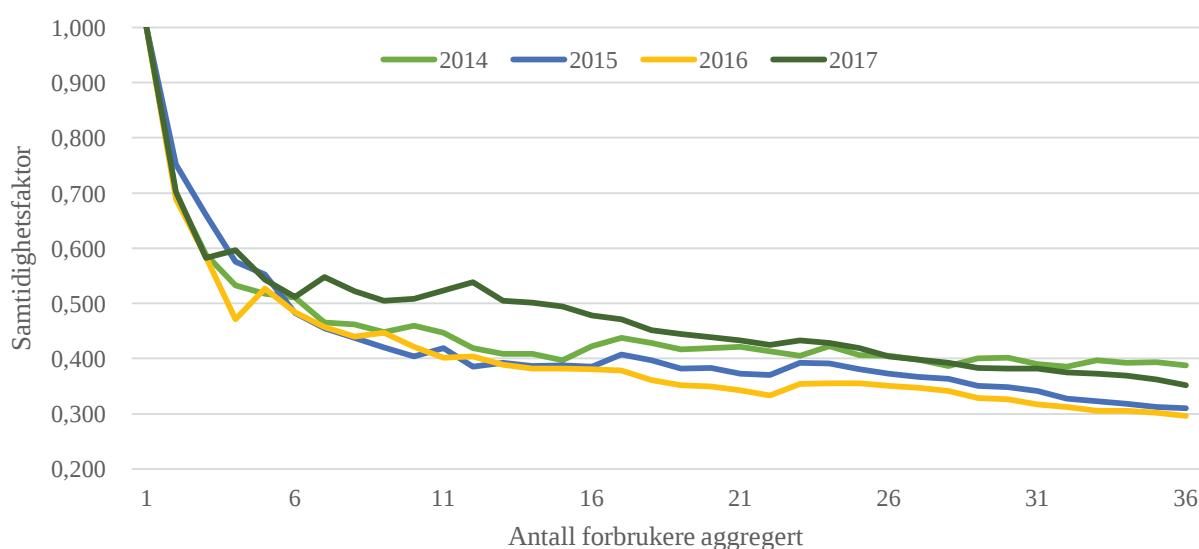
På bakgrunn av analysen kommer det frem at lasten påvirkes av utetemperaturen, til tross for at en sekundær energibærer skal dekke varmebehovet. Dermed utelukkes det ikke at noe av elektrisiteten går til oppvarming i de årene med reelle målinger fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). Timen for maks last den 31. Desember 2014 har en temperatur som ikke skulle tilsi en last av denne størrelsen, sammenlignet med de andre årene. Dette tilsier at temperatur ikke er avgjørende faktor for maks last i 2014. Da lasten er av slik størrelse regne, og en temperatur på  $-1,7^{\circ}\text{C}$ , regnes temperaturen å være en svært liten bidragsyter for denne lasten på 1,15 kWh/h per enhet. Med denne lasten som avgjørende for dimensjonerende last, brukes datasettet til evaluering av modellerte forbruksdata, til tross for tendensen til temperaturavhengighet.

### 5.2.2 Samtidighetsfaktor

Samtidighetsfaktoren er sentral for den aggregerte maks last i de ulike årene med målinger. Fremgangsmåten for å finne samtidighetsfaktor for de representative årene er basert på teoridelen for samtidighetsfaktor i kapittel 2.2.

Figur 24 viser hvordan samtidighetsfaktoren utvikles på bakgrunn av antall boenheter i de reelle målingene. Faktoren starter ved verdien 1 ved der antall enheter er 1 og ved 36 enheter ender i en verdi tallfestet mellom 0,3 og 0,4. Dette er gjeldende for alle fire årene. Videre viser figur 24 en variasjon i utvikling i de fire årene. Forskjellen på samtidighetsfaktoren er størst ved 12 enheter, der høyeste samtidighetsfaktoren er 40% større sammenlignet med den laveste. Der antall enheter aggregert er større enn 12 minker variasjonen ved tallfesting av samtidighetsfaktoren. Ved 36 enheter er den største samtidighetsfaktor 30% større enn den minste. Beregningene er presentert i vedlegg E.

Utviklingen av samtidighetsfaktoren i figur 24 samsvarer med teorien for samtidighetsfaktoren, som tilsier en mindre usikkerhet ved aggregering av et større antall boenheter. Videre tilsier teorien at samtidighetsfaktoren stabiliseres og blir konstant etter aggregering av et visst antall enheter. Samtidighetsfaktoren i figur 24 viser variasjon i tallfesting av samtidighetsfaktoren og en kurve som ikke enda har flatet ut og stabilisert seg ved en bestemt verdi. Dette viser at et antall på 36 er for lite for å finne den konstante verdien for samtidighetsfaktoren.



Figur 24. Utvikling av samtidighetsfaktor basert på antall enheter. Beregnet på bakgrunn av reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Beregningene for samtidighetsfaktor og tilhørende datagrunnlag er presentert i vedlegg E.

Samtidighetsfaktoren for de 36 enhetene er tallfestet i tabell 14. Tabellen viser grunnlaget for beregning av faktoren: det høyeste aggregerte timesforbruket og summen av de individuelle høyeste forbrukstimer uavhengig av tidspunkt, for de 36 boenhetene. Beregningene viser størst samtidighetsfaktoren i 2014 og minst samtidighetsfaktor i 2016.

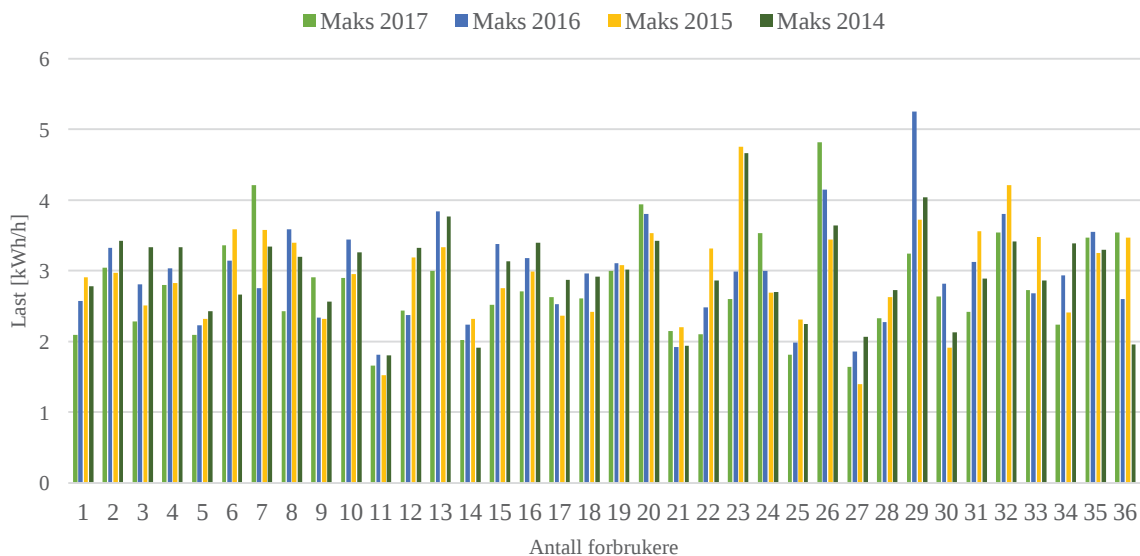
Samtidighetsfaktoren har klar sammenheng med det aggregerte maks last de ulike årene, og blir avgjørende for den aggregerte maks last. Da største forskjellen mellom høyeste og laveste aggregerte last er 24%, er forskjellen mellom den høyeste og laveste individuelle summerte forbrukstimer kun 7%. Dermed er det i større grad tidspunktet for høyeste forbrukstimer som skiller de fire årene fra hverandre, og ikke nødvendigvis størrelsen på forbruket hos de 36 kundene. Dette underbygger viktigheten av å legge en tilstrekkelig samtidighetsfaktor til grunne ved aggregering av flere boenheter.

Tabell 14. Samtidighetsfaktor beregnet på bakgrunn av reelle målinger fra de 36 leilighetene. Beregnet fra fire år med reelle målinger fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

|                                                 | 2014  | 2015   | 2016   | 2017  |
|-------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|
| Samtidighetsfaktor,<br>$s_{36}$                 | 0,387 | 0,310  | 0,296  | 0,352 |
| Aggregert<br>høylasttime<br>[kWh/h]             | 41,26 | 32,7   | 31,31  | 34,96 |
| Individuelle<br>høylasttimer<br>summert [kWh/h] | 106,7 | 105,61 | 105,84 | 99,44 |

### 5.2.3 Last per individuelle enhet

En tilstrekkelig samtidighetsfaktor i kombinasjon med den individuelle høyeste forbrukstime er grunnlaget for å estimere dimensjonerende last. I figur 25 er de individuelle høylasttimene fra de 36 leilighetene gjennom fire år representert. Figuren illustrere hvordan timene med maks last varierer fra år til år for de enkelte leilighetene og hvordan den varierer mellom leilighetene.



Figur 25. Individuelle maks last-timer for de 36 leilighetene gjennom måleperiode på 4 år. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

Maks individuelle last per time i figur 25 skiller seg ut. Det er leilighet 29 og forekommer i 2016. Denne timen har en last som er 3,25 ganger større enn laveste verdien av maks last fra leilighet 27. I tabell 15 er minimum, maksimum og gjennomsnittet fra figur 25 presentert i tallform.

Tabell 15. Variasjon i maks individuell last per enhet hentet fra alle fire årene med målinger. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

| Maks individuell last<br>[kWh/h] | Minste maks individuell<br>last [kWh/h] | Gjennomsnittlig individuell<br>maks last<br>[kWh/h] |
|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 5,25                             | 1,4                                     | 2,9                                                 |

Med utgangspunkt i lasten presentert i figur 25 er gjennomsnittsverdien for maks individuell last, alle fire år, 2,9 kWh/h. I tabell 16 er den gjennomsnittlige individuelle høylasttimene

regnet ut med bakgrunn i samtidighetsfaktoren funnet i foregående kapittel. Dette viser at til tross for variasjoner for de enkelte leilighetene, og mellom leilighetene, er gjennomsnittsverdien for den individuelle maks last stabil. Gjennomsnittsverdien er stabil gjennom alle fire årene, der året med største individuelle last er 0,2 kWh/h større en året med minste individuelle last. Dette tilsvarer minking på 6,7%.

Tabell 16. Sammenheng mellom maks last i aggregert tilstand per enhet, samtidighetsfaktor og individuell maks last per enhet. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

|                                  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Aggregert last per enhet [kWh/h] | 1,15  | 0,91  | 0,87  | 0,97  |
| Samtidighetsfaktor, $s_n$        | 0,387 | 0,310 | 0,296 | 0,352 |
| Individuell maksimum last[kWh/h] | 2,96  | 2,93  | 2,94  | 2,76  |

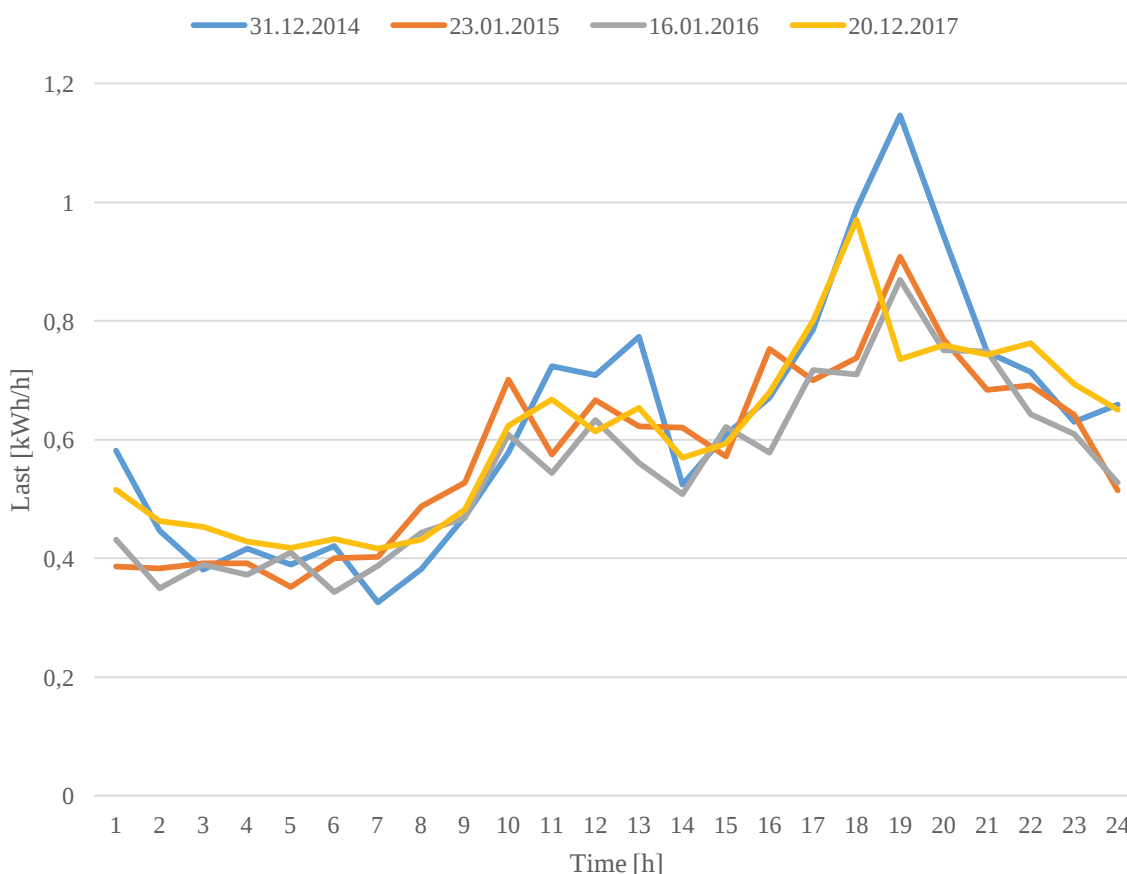
Det årlige gjennomsnittlige elektrisitetsforbruket for en leilighet er presentert i tabell 17. På lik linje med gjennomsnittlig maks individuelt forbruk, viser dette også liten variasjon i det totale forbruket i de fire årene med målinger. Differansen fra året med høyest forbruk til året med lavest er på 195 kWh, dette tilsvarer en variasjon på 5%.

Tabell 17. Årlig gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk for leilighetene i de reelle måledata. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

| År       | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| [kWh/år] | 3 686 | 3 867 | 3 699 | 3 672 |

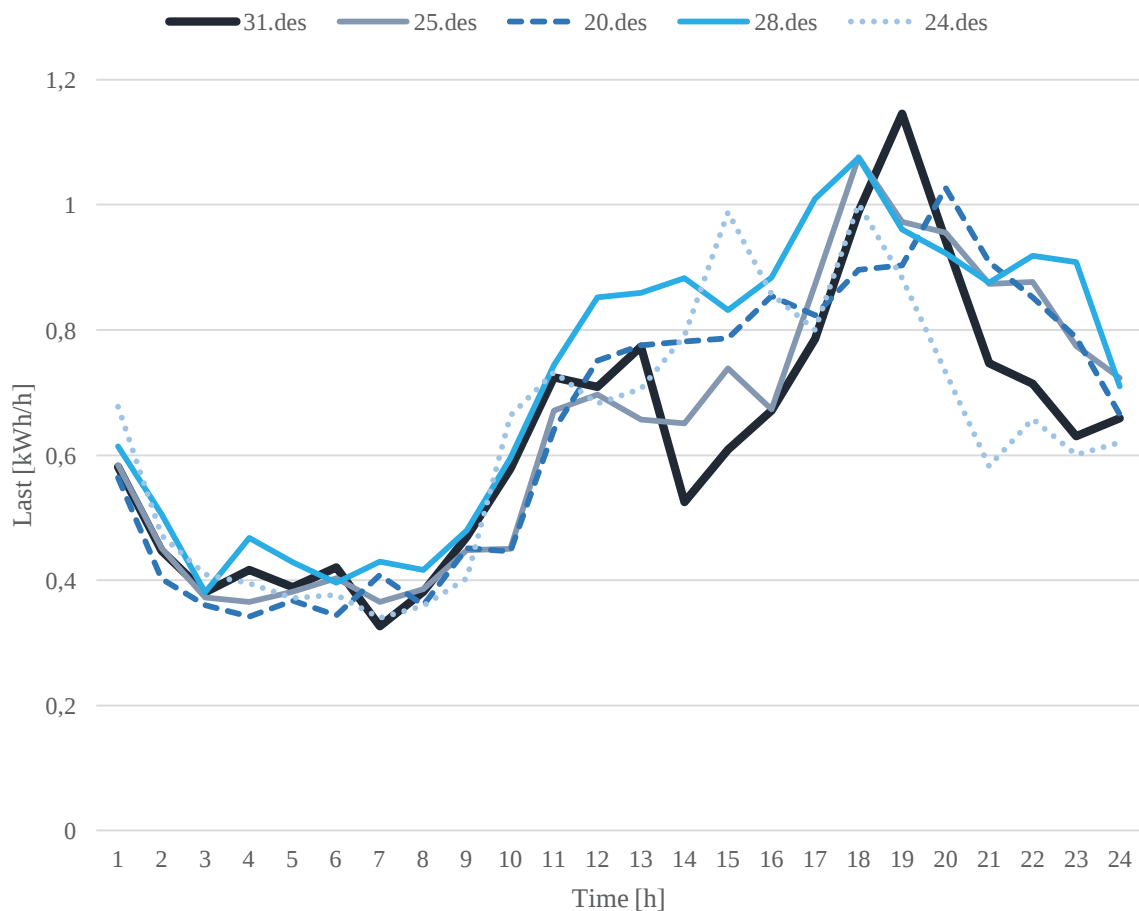
#### 5.2.4 Lastkurver

Ved analyse av tidspunktet for maks last viser resultatene at de i forekommer på kveldstid i vinterhalvåret. Figur 26 illustrerer lastkurve for aggregerte maks last per enhet. Lastkurven viser time 19 som tidspunkt for maks last i de fire årene med målinger, bortsett fra året 2017. I 2017 forekommer maks last i time 18. En fellesnevner for dagene presentert i figur 26 er nedgangen fra timen med maks last til etterfølgende time. Høylasttimen i 2014 er timen med størst differanse til etterfølgende time. Lasten minker 17% fra time 19 til time 20. Basert på lastkurven kan 8,5% av lasten i høylasstimen flyttes til etterfølgende time uten at ny forbrukstopp oppstår. Dette ville redusert den høyeste maks last på 1,15 kWh/h til 1,05 kWh/h.



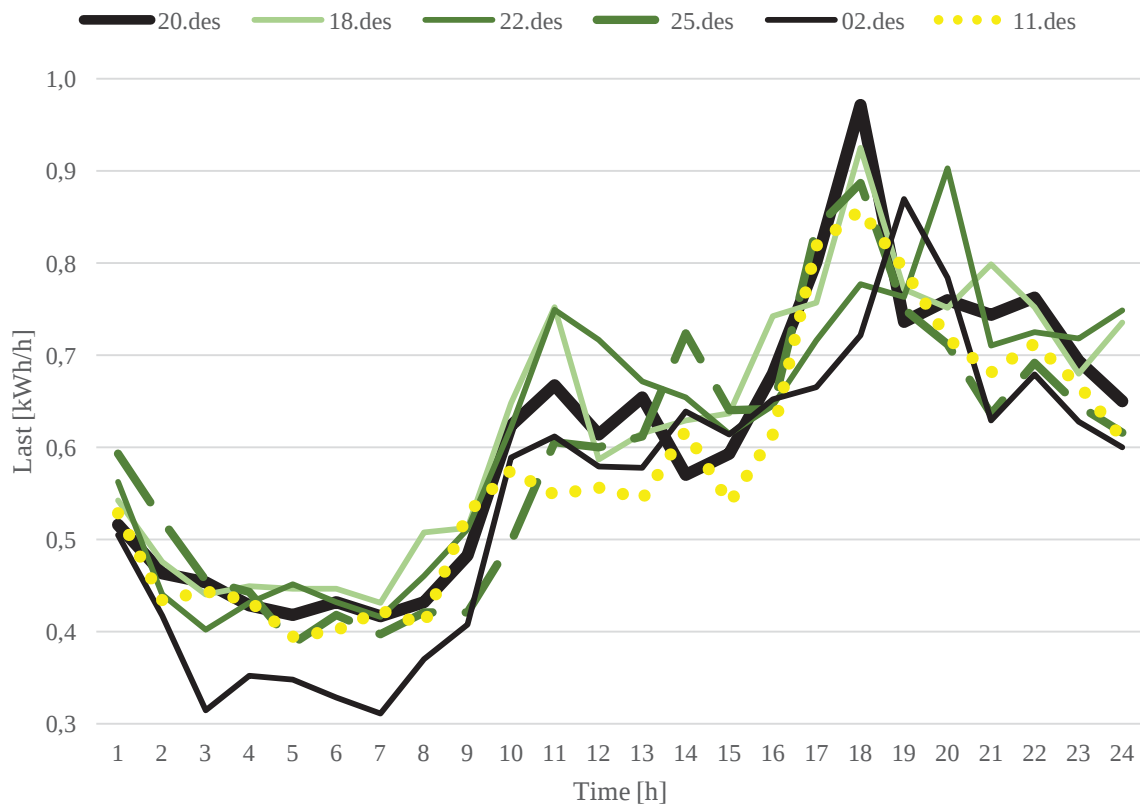
Figur 26. Lastkurver for dagen med maks last i de fire årene med reelle målinger. Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, og viser last per enhet. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

For å se hvorvidt tidspunktet for maks last er time 19 er gjentakende for de øvrige timene med høyt forbruk, illustrerer figur 27 og 28 lastkurvene for de seks timene med maks aggregert last i 2014 og 2017. I figur 27 er lastutviklingen for dagene i 2014 presentert. I tre av seks tilfeller faller en høylasttime i time 17, tre i time 18 og de resterende i time 19 og 20.



Figur 27. Lastkurver for dagene med de seks timene med maks last i 2014. 28.Desember har to av de seks høyeste timene med last som forekommer i figuren. Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, og viser last per enhet. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

Figur 28 viser lastkurve for de seks dagene med maks last i 2017. Lastkurvene viser samme tendensen som i 2014. Tidspunktet for høylasstimene er fra time 18 til time 20. Tre av seks forekommer i time 18, de resterende i time 19 og 20. Dette viser et mer variert bilde for tidspunkt for høylasstimene sammenlignet med resultatene funnet i figur 26.



Figur 28. Lastkurver for dagene med de seks timene med maks last i 2017. Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, og viser last per enhet. Data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

### 5.3 Evaluering av modellerte last

Ved evaluering den statistiske modellen fra Pedersen (2008) sammenlignes i første omgang dimensjonerende last fra modell mot timene med maks aggregert last fra de reelle måledata. Videre evalueres modellen på bakgrunn den individuelle maks last. Deretter evalueres samtidighetsfaktoren fra modellen til Pedersen (2008), de beregnede fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007). Lastkurvene i form av tidspunkt for maks last og lastutvikling for dagen med maks last er siste steg i evalueringen av modellen.

#### 5.3.1 Dimensjonerende last

Dimensjonerende last i de modellert last med opprinnelig metode uten justert samtidighetsfaktor gjenspeiler høyeste aggregert last per time i to av de fire årene med reelle målinger. Timene med maks last fra årene 2014 og 2017 er henholdsvis 7 kWh/h og 0,7 kWh/h større enn dimensjonerende last for hele området, fra modell.

Der dimensjonerende last finnes ved modellert last og justert fremgangsmetode med samtidighetsfaktor tallfestet av Kersting (2007) er maks last fra i alle de fire årene med reelle målinger større. Dimensjonerende last for hele området, underestimeres med 13,7 kWh/h sammenlignet med maks last i 2014. Og tilsvarende 3,79 kWh/h fra maks last med lavest verdi, fra 2016. I tabell 18 er dimensjonerende last fra modell presentert mot maks last i de reelle målingene.

Tabell 18. Evaluering av modell med hensyn til dimensjonerende last fra modellert last for 36 med opprinnelig samtidighetsfaktor symbolisert med  $s_m$  og samtidighetsfaktor tallfestet av Kersting (2007) symbolisert med  $s_{36}$ . Data fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) og modellert last fra (Pedersen 2008)

| Maks last per år fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) |       |       |       | Dimensjonerende last fra modell |          |
|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------|----------|
| [kWh/h]                                          |       |       |       | Pedersen (2008), $\Phi$         |          |
|                                                  |       |       |       | [kW]                            |          |
| 2014                                             | 2015  | 2016  | 2017  | Ukedag, vinter                  |          |
| 31.12                                            | 23.12 | 16.01 | 20.12 |                                 |          |
|                                                  |       |       |       | $s_m$                           | $s_{36}$ |
| 41,26                                            | 32,7  | 31,31 | 34,96 | 34,23                           | 27,52    |

Det årlige modellerte og reelle elektrisitetsforbruket er presentert i tabell 19. Med en leilighetsstørrelse på 90 m<sup>2</sup> som grunnlag for bruk av modell, viser resultatet et årlig forbruk som er like i underkant av det målte årlige forbruket. Modellert forbruk med en størrelse på 90m<sup>2</sup> avviker med 125 kWh fra året med lavest forbruk, og 320 kWh året med høyest forbruk. Dette er henholdsvis en økning på 3,5% til 9% fra modellerte årlig forbruk til reelt årlig forbruk.

*Tabell 19. Gjennomsnittlig forbruk per år per enhet. Som inndata i modell på 70 m<sup>2</sup> og 2700 kWh hentet fra (Bergesen et al. 2012; Langseth et al. 2011; Statistisk Sentralbyrå u.å) og bruk av modell med leilighetsstørrelse på 90 m<sup>2</sup>. Reelle målinger fra årene 2014 til 2017 fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Verdiene fra reelle målinger er gjennomsnittet av målingene fra de 36 leilighetene.*

|          | Modell –<br>70 m <sup>2</sup> | Modell –<br>90 m <sup>2</sup> | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| [kWh/år] | 2 700                         | 3 547                         | 3 686 | 3 867 | 3 699 | 3 672 |

### 5.3.2 Samtidighetsfaktor

Dimensjonerende last med opprinnelig samtidighetsfaktor fra Pedersen (2008) og dimensjonerende last med samtidighetsfaktor fra Kersting (2007) gjenspeilte ikke absolutt maks last fra 2014 i noen av tilfellene. I tabell 20 er samtidighetsfaktor, aggregert- og individuelle last per enhet fra reell- og modellert last presentert. Tabellen viser en samtidighetsfaktor tallfestet av Pedersen (2008) som er på størrelse med høyeste samtidighetsfaktor fra de reelle målingene. Samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) er på størrelse med 2 av 4 samtidighetsfaktorer fra de reelle målingene. I tilfellet med samtidighetsfaktor fra Pedersen (2008) er størrelsen på den individuelle maks last årsaken til underestimering av den aggregerte maks lasten. I tilfellet der det dimensjoneres med samtidighetsfaktor fra Kersting (2007) er det en kombinasjon av lav samtidighetsfaktor og en individuell maks last som er årsak til at ingen av maks last fra reelle målinger gjenspeiles.

Tabell 20. Resultat evaluering av dimensjonerende last fra modell (Pedersen 2008) og individuelle maks last fra reelle måledata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

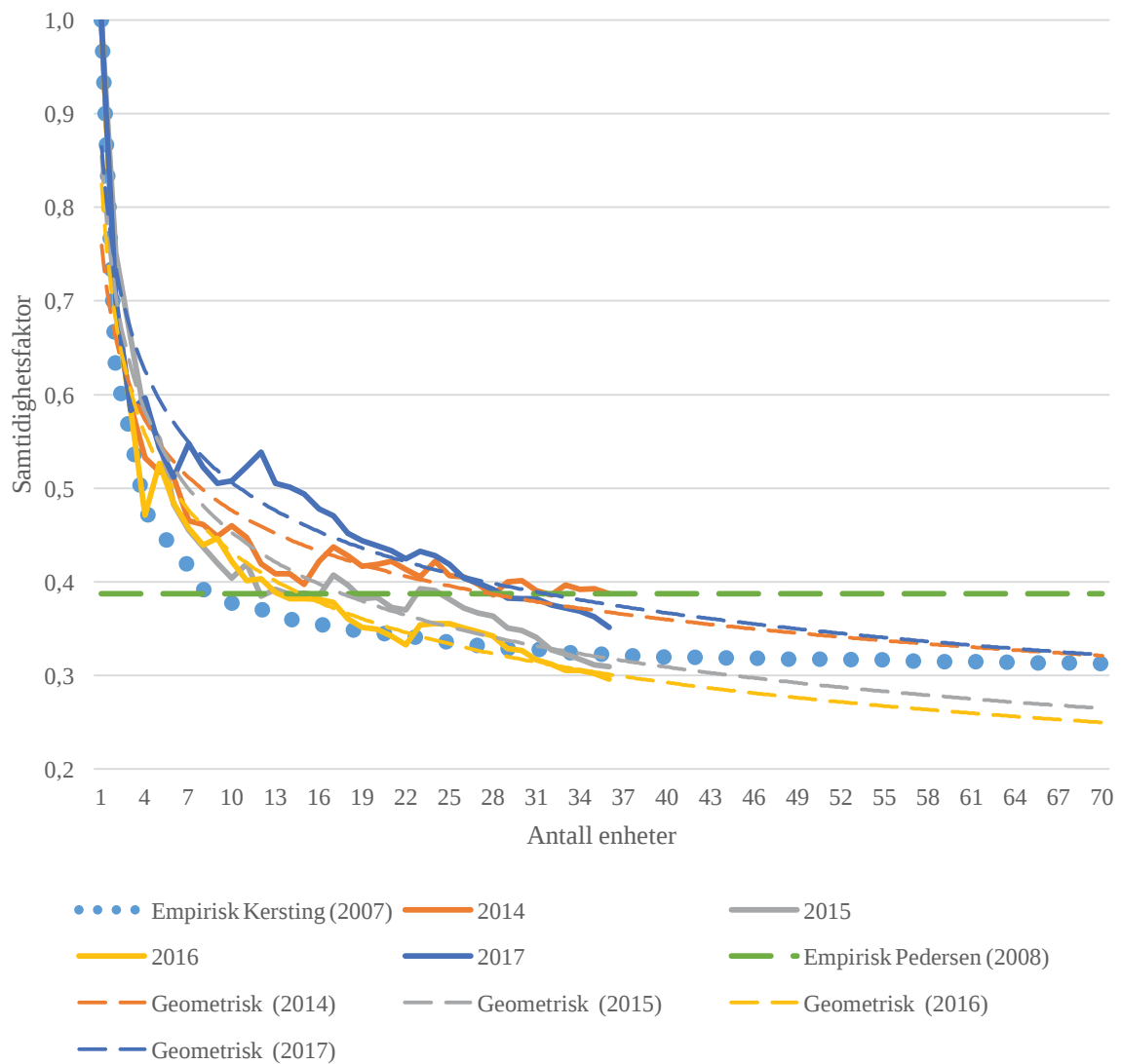
|                                       | Maks last fra reelle måledata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) |       |       |       | Dimensjonerende last fra modell, $\Phi$ |          |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------------------|----------|
|                                       | 2014                                                          | 2015  | 2016  | 2017  | Ukedag, vintermåned                     |          |
|                                       |                                                               |       |       |       | $s_m$                                   | $s_{36}$ |
| Samtidighetsfaktor, $s_n$             | 0,387                                                         | 0,310 | 0,296 | 0,352 | 0,387                                   | 0,323    |
| Individuell maks last [kWh/h]         | 2,96                                                          | 2,93  | 2,94  | 2,76  | 2,45                                    | 2,45     |
| Aggregert maks last per enhet [kWh/h] | 1,15                                                          | 0,91  | 0,87  | 0,97  | 0,95                                    | 0,79     |

Samtidighetsfaktoren tallfestet av Kersting (2007) resulterer i underdimensjonering i kombinasjon med modellert last fra tabell 20. Til tross for dette viser resultatene fra foregående tabell, en samtidighetsfaktoren som er på størrelse med to av de fire samtidighetsfaktorene fra de reelle måledata.

I figur 29 illustreres utviklingen av samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007), reelle måledata og samtidighetsfaktoren i modellen fra Pedersen (2008). Ved sammenligning av samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) og samtidighetsfaktoren beregnet fra reelle måledata viser tendensen en lik utvikling. Begge samtidighetsfaktorer ender i en verdi mellom 0,3 og 0,4 ved 36 enheter. Videre fortsetter faktoren fra Kersting (2007) og ender i konstant verdi der 70 boenheter aggregeres.

Med en samtidighetsfaktoren fra reelle målinger som ender der 36 leiligheter aggregeres, og ikke er stabilisert ved en konstant verdi er det ønskelig å bruke en indikator for å anslå utvikling der antallet er større enn 36. Trendlinje benyttes som indikator for videre utvikling. Geometrisk trendlinje ga høyest verdi for R-kvadrert, og verdien for R-kvadrert er tallfestet i vedlegg F.

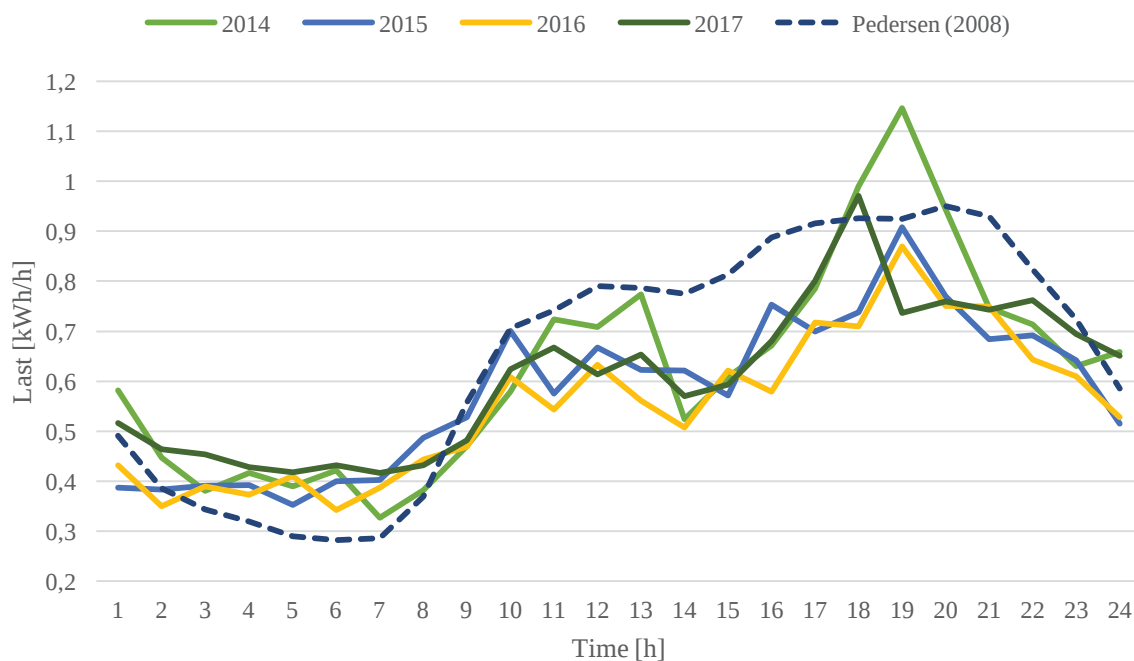
Med trendlinje som indikator for utvikling av samtidighetsfaktorene fra de reelle data, går trendlinjen for de to høyeste samtidighetsfaktorene, fra 2014 og 2016, mot en verdi lik den tallfestet av Kersting (2007) ved aggregering av 70 enheter. De to laveste samtidighetsfaktorene fra 2015 og 2016 indikerer en tallfesting under 0,3 for samtidighetsfaktor ved 70 enheter. Med lik utvikling og en sammenfallende verdi mot to av de fire høyeste samtidighetsfaktorene fra reelle måledata ansees samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) som troverdig og anvendbar ved aggregering av boenheter der antallet er større enn 36, og elektrisitet dekker det el-spesifikke behovet. Figur 29 illustrerer også hvordan samtidighetsfaktoren fra Pedersen (2008) ligger er en konstant verdi, uavhengig av antall enheter som aggregeres.



Figur 29. Evaluering av samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007; Pedersen 2008; Ringeriks-Kraft Nett 2018). Geometrisk trendlinje basert på samtidighetsfaktorene fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

### 5.3.3 Lastkurver

Tidspunktet for maks last i de modellerte lastkurver avviker fra tidspunktet i reelle måledata. Figur 30 illustrerer lastutviklingen for dagen med dimensjonerende last fra modellert- og reell last. De reelle lastkurvene er for dagene med maks last per time i de fire årene. Fra figur 30 fremkommer time 19 som tidspunktet for timene med maks last. Fra analysen gjort av et større antall høylasttimer i kapittel 5.2.4 kunne tidspunktet for maks last variere mellom time 17 til time 20. Der tidspunktet for maks i de modellert last var time 21. Dermed gjenspeiler ikke modellert maks last tidspunktet for maks last i de reelle måledata.



Figur 30. Sammenligning av modellerte lastkurver og lastkurver fra reelle målinger på dager med maks last gjennom de fire årene fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, per enhet.

## 5.4 Tilpasning av modell fra Pedersen (2008)

Evalueringen av modellert last viser at modell er upresis for estimering av dimensjonerende last med tilhørende lastkurve. Dermed må tilpasninger gjøres av modell for å bruke den videre. Tilpasningen gjøres ved å legge de fire årene med reelle måledata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) til grunne.

Datagrunnlaget fra Ringerikskraft brukes med fremgangsmetoden for modellen presentert i vedlegg B. Fremgangsmetoden er noe forenklet, da denne oppgaven kun har som hensikt å kun finne dimensjonerende last med tilhørende lastkurve. Pedersen (2008) brukte *MatLab* for å finne sannsynlighetsfordelinger tilpasset datagrunnlaget, og fra disse finne relativ last-indikator, i form av forventningsverdi og standardavvik. Ved bruk av reelle måledata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) finnes spesifikk last-indikator direkte representert ved å finne gjennomsnitt med tilhørende standardavvik.

På lik linje med fremgangsmetoden presentert i kapittel 2.1 og vedlegg B, kategoriseres de reelle måledata ut fra sesong, dag-type og timesverdier. En spesifikk last-indikator med et tilhørende standardavvik finnes for hver time, for hver enkeltstående leilighet med måledata fra fire år. Dette gjøres for 36 leiligheter. Med bakgrunn i timesindikatorer finnes én indikator for alle kategoriene, som representerer én leilighet i et område med 36 leiligheter. Resultatene av funnene presenteres i tabell 21. Tabell 21 viser timene med potensielt maks last i de ulike kategoriene i modellen. Verdiene for alle timene og sesongene er presentert i vedlegg F. Spesifikk last-indikator fra den tilpassede modell har benevnning kWh/h leilighet. Timen med høyest last forekommer på vinteren. Absolutt maks last inntreffer i kategorien helg, i time 19. Last-indikatorene for alle timer i alle kategorier er i vedlegg G.

Tabell 21. Modellert last med en forenklet fremgangsmåte av modell (Pedersen 2008) med reelle måledata gjennom fire år fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Hentet fra vedlegg G.

| Sesong   | Hverdag                       |                                  |             | Helg                          |                                  |             |
|----------|-------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------|
|          | $\mu$<br>[kWh/h<br>leilighet] | $\sigma$<br>[kWh/h<br>leilighet] | Time<br>[h] | $\mu$<br>[kWh/h<br>leilighet] | $\sigma$<br>[kWh/h<br>leilighet] | Time<br>[h] |
| Vinter   | 0,67                          | 0,37                             | 19          | 0,68                          | 0,37                             | 19          |
| Vår/høst | 0,54                          | 0,35                             | 19          | 0,54                          | 0,33                             | 20          |
| Sommer   | 0,42                          | 0,29                             | 18          | 0,42                          | 0,27                             | 20          |

### 5.4.1 Dimensjonerende last

Dimensjonerende last for 36 boenheter ved bruk av spesifikke last-indikatorene fra de reelle målingene er presentert i tabell 22. Dimensjonerende last gjenspeiler dagen med maks last i de reelle målingene. Den dimensjonerende lasten legger på en ytterlig sikkerhetsmargin sammenlignet med time for maks last fra reelle målinger.

Sikkerhetsmarginen for hele området er på 5,9 kWh/h. Bakgrunnen for dimensjoneringen er presentert i Vedlegg H.

Tabell 22. Dimensjonerende last fra modellert last med inndata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og maks last fra reelle målinger. Her er den aggregerte lasten for hele området og per enhet. Med bakgrunn i aggregering for 36 enheter. ,

|                                                                       | Total [kWh/h] | Per enhet [kWh/h] |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|
| Tilpasset Pedersen (2008) med inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) | 47,16         | 1,31              |
| Pedersen (2008)                                                       | 34,23         | 0,95              |
| Fra reelle målinger                                                   | 41,26         | 1,15              |

Resultatet fra tabell 22 indikerer at modellert last med bakgrunn i måledata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) er tilstrekkelig. For å finne dimensjonerende last der antall boenheter som aggregeres er større enn 36, må lasten for den individuelle leilighet først finnes. Dette gjøres ved hjelp av samtidighetsfaktoren. Da modellen er basert på fire år med reelle målinger fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) er det ingen entydig samtidighetsfaktor i datagrunnlaget.

Med en entydig samtidighetsfaktor i modellert last fra Pedersen (2008), er det fire samtidighetsfaktorer som fremkommer av målingene fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). For å finne riktig samtidighetsfaktor som skal gi individuell spesifikk last-indikator, sammenlignes de individuelle last-indikatorene fra dimensjonerende last. Med dimensjonerende last for 36 enheter (fra tabell 22) og de beregnede samtidighetsfaktorene vil sammenligningen gir en god indikator på hvilken samtidighetsfaktor som kan brukes for å gjenskape den individuell spesifikk last-indikator.

Resultatet i tabell 23 viser individuell maks last på bakgrunn av dimensjonerende last og samtidighetsfaktor. Resultatet gir en variasjon på 29% fra største til minste individuelle høylasttime. Med en individuelle maksimum last på 2,97 kWh/h fra de reelle målingene,

regnes den individuelle lasten med på 3,4 kWh/h å være tilstrekkelig. Dette indikerer at en samtidighetsfaktor på 0,387 kan brukes for å gjenspeile en individuell spesifikk last-indikator.

Tabell 23. Individuell maks last per enhet beregnet fra den dimensjonerende last på 1,31 kWh/h per enhet og samtidighetsfaktor fra de ulike årene med målinger.

| Samtidighetsfaktor                   | 0,387 | 0,310 | 0,296 | 0,352 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Individuelle last per enhet, $\Phi'$ | 3,4   | 4,2   | 4,4   | 3,7   |

Ved bruk av samtidighetsfaktoren for 36 enheter på 0,387 finnes individuell spesifikk last-indikator som grunnlag for å finne dimensjonerende last der antallet leiligheter som skal aggregeres er større enn 36. Spesifikk individuell last-indikator er presentert i vedlegg H.

Resultatene for dimensjonerende last i et området med 1500 leiligheter er presentert i tabell 24. Ved aggregering av 1500 enheter er den dimensjonerte last per enhet redusert med 20% sammenlignet med dimensjonerende last for 36 enheter. Den individuelle maks last per enhet er redusert med 1,1%. Årsaken til dette er størrelsen på t-kvantilet som minker fra 1,69 til 1,64 i overgangen fra 36 til 1500 enheter. Bakgrunnen for beregningen er presentert i vedlegg H.

Tabell 24. Resultat dimensjonerende last for 1500 leiligheter ved bruk av forenklet fremgangsmetode modellert last med inndata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og samtidighetsfaktor fra Kersting (2007) for aggregering av 70 forbrukere. Inndata er for aggregeringen er presentert i vedlegg H.

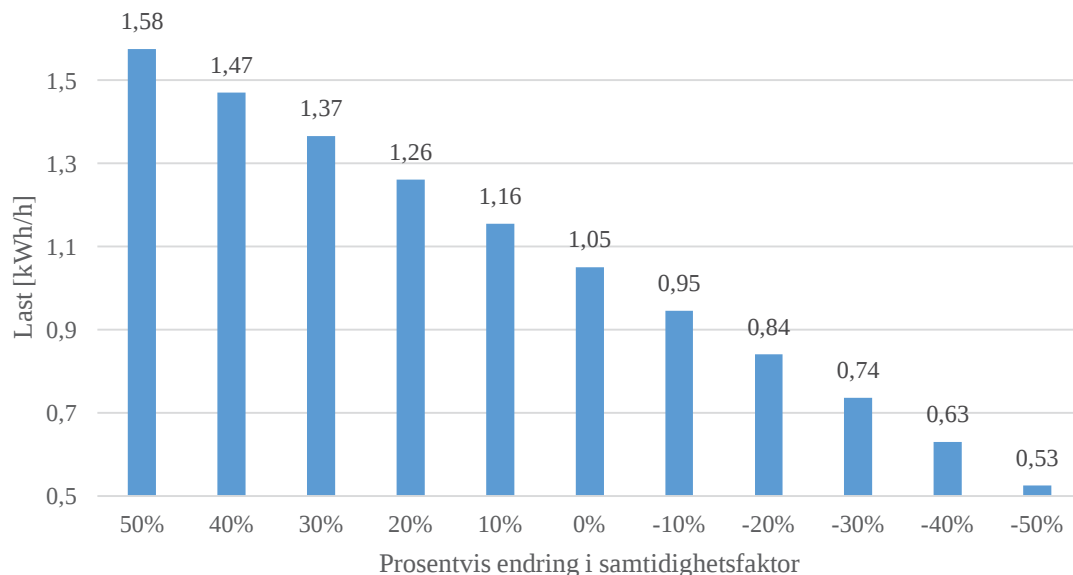
| Maks last for 1500 enheter aggregert, $\Phi$ [kWh/h] | Per enhet, $\Phi$ [kWh/h leilighet] | Per individuelle enhet, $\Phi'$ [kWh/h leilighet] |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1569,18                                              | 1,05                                | 3,36                                              |

Tallfestingen av samtidighetsfaktoren ved aggregering av 70 enheter har stor innvirkning på den dimensjonerende last funnet i tabell 24. Figur 31 illustrerer hvordan den dimensjonerende last per enhet påvirkes av en prosentvis endring i samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007).

Den dimensjonerende last fra tilpasset modell overstiger maks last i reelle målinger. Dette både ved sammenligning maks last i aggregert- og individuell tilstand. Den dimensjonerende

maks last har en individuell maks last tallfestet til 3,4 kWh/h per leilighet. I reelle målinger tallfestes den til 2,97 kWh/h. Dette gir en sikkerhetsmargin dersom den individuelle last indikatoren skulle overstige den målte maks last. Dette gir også en sikkerhetsmargin ved tallfesting av samtidighetsfaktoren og dimensjonerende last.

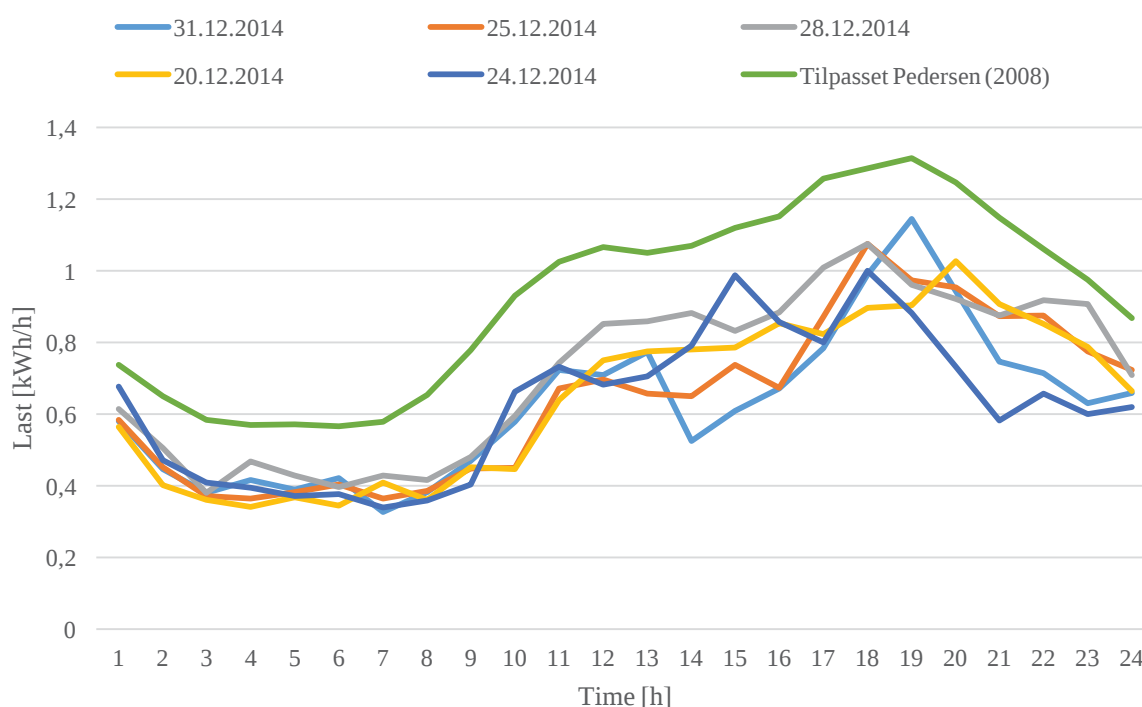
Ved dimensjonerende last på 1,05 kWh/h per enhet, kan samtidighetsfaktoren være underestimert med 10% uten at den individuelle maks last blir høyere enn 2,97 kWh/h per leilighet. Mao er det en sikkerhetsmargin på 10% ved bruk av samtidighetsfaktoren i kombinasjon med den forhøyede individuelle last indikatoren som ligger til grunne i modellen, sammenlignet med den reelle individuelle lasten.



Figur 31. Endring i dimensjonerende last ved aggregering av 1500 leiligheter med prosentvis endring i samtidighetsfaktoren brukt. Med utgangspunkt i endring av samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007) for 70 enheter.

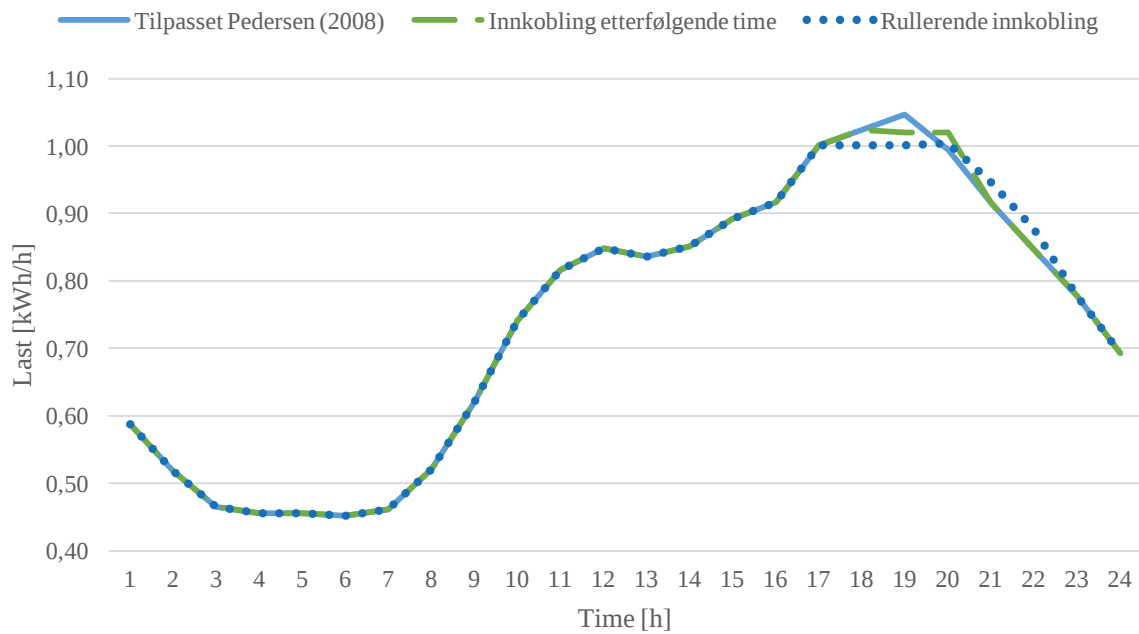
#### 5.4.2 Lastkurve for dag med dimensjonerende last

Ved tilpasning av modell fra Pedersen (2008) ved bruk av reelle måledata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) er nye lastkurver generert. Dimensjonerende last fra modell forekommer ved helg, i vintersesongen. Figur 32 illustrere lastkurven. I figur 32 er også lastkurve for de seks timene med maks last fra 2014 representert. Figuren illustrer hvordan modellerte lastkurver gjenspeiler den reelle last, med en ytterlig sikkerhetsmargin. Dimensjonerende last i modellerte last forekommer i time 19. Her presentert ved aggregering av 36 enheter.



Figur 32. Lastkurver for dagen med modellert maks last og lastkurvene fra de dagene med maks last i 2014 fra reelle målinger (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Lastkurvene er i aggregert tilstand basert på aggregering av last fra 36 leiligheter, og viser last per enhet.

Ved aggregering av 1500 leiligheter er lastkurven med potensiale for lastflytting for en boenhet presentert i figur 33. Dimensjonerende last kan reduseres med 0,03 kWh/h per boenhet ved at lasten flyttes til etterfølgende time, en reduksjon på 3% . Ved rullerende innkobling kan lasten eksempelvis reduseres med 0,05 kWh/h. Dette tilsvarer en reduksjon på henholdsvis 2,3% og 4,5%.

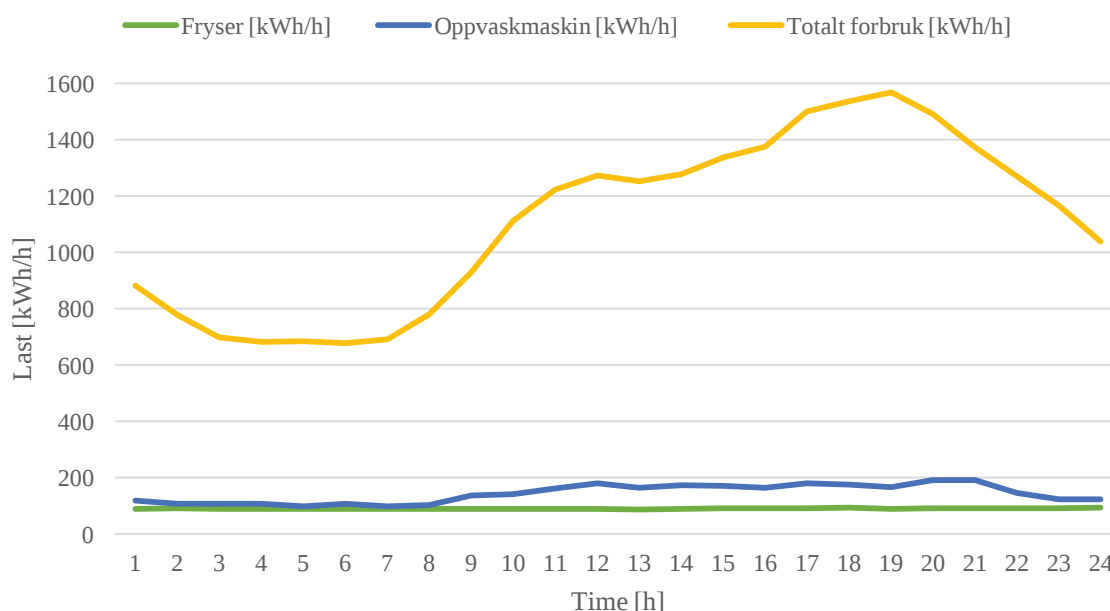


Figur 33. Lastkurve fra tilpasset modell ved aggregering av last fra 1500 leiligheter, per enhet. Gulstiplet linje illustrerer ved rullerende innkobling av last, ved å redusere lasten i 18 til time 20 og deretter koble inn lastene i time 21 og 22. Grønstiplet linje illustrerer innkobling i etterfølgende time.

## 5.5 Fleksibilitetspotensialet

Dimensjonerende last fra den tilpassede modellen til Pedersen (2008) med inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) forekommer i time 19. Analysen av de reelle måledata fra kapittel 5.2 viser timene med maks last forekommer i måneder som desember og januar. Der flertallet av de absolutt maks last forekommer i jul- og nyttårstider. Fleksibilitetspotensialet kartlegges ut fra en antagelse der den dimensjonerende last med tilhørende lastkurve representerer lastutviklingen som forekommer rundt høytiden jul og nyttår.

Kilder til fleksibilitet i Fjellhamar bruk er fryser, oppvaskmaskin, vaskemaskin og tørketrommel. 80% av leilighetene i Fjellhamar Bruk tillater styring av fryser og 30% aksepterer styring av oppvaskmaskin, vaskemaskin og tørketrommel. Med dager der maks last forekommer i høytiden jul og nyttår er bruksmønstret til vaskemaskin og tørketrommel antatt å være svært lavt og ElDeKs formålsfordelte lastkurver er ikke representative for bruk av apparatene. Det antas en last som er så lavt fleksibilitetspotensiale fra vaskemaskin og tørketrommel at de utelukkes fra fleksibilitetsanalysen. Fryser og oppvaskmaskin er dermed kilder til fleksibilitet i Fjellhamar Bruk. Figur 34 illustrerer forbruket av elektrisitet for alle 1500 leiligheter og andelen av det totale forbruket som går til fryser og oppvaskmaskin.



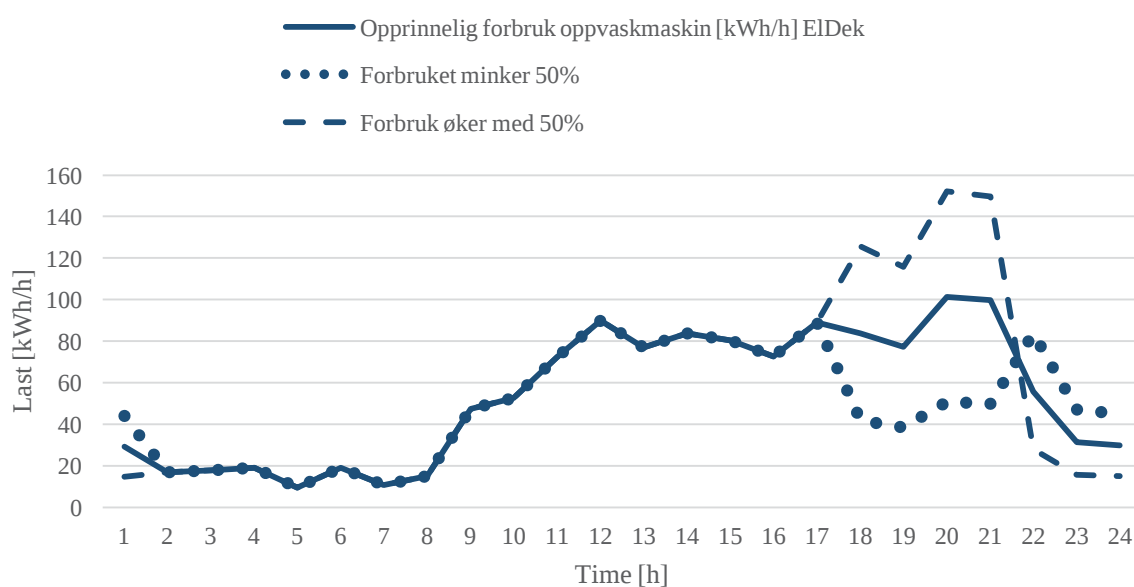
Figur 34. Lastkurve fra tilpasset modell ved aggregering av last fra 1500 leiligheter. Lastkurve for fryser og oppvaskmaskin fra formålsfordelt lastkurve fra ElDeK (Sæle et al. 2010). Figuren viser total aggregert last for hele området.

Fleksibilitetspotensialet kartlegges ut fra to scenario; dårligste- og beste scenario.

Scenario 1 representerer dårligste fleksibilitetspotensial, og scenario 2 det beste fleksibilitetspotensialet.

#### *Fleksibilitetspotensialet for oppvaskmaskin*

Da lasten som skal reduseres forekommer i jul- og nyttårstider antas det at bruken av oppvaskmaskin avviker fra de formålsfordelte lastkurven. Årsaken er at ElDeK representerer et gjennomsnitt for hele året, kun fordelt på helg og hverdag. Lastkurvene justeres basert på de to scenarioene presentert innledningsvis. I scenario 1 minker andelen som går til oppvaskmaskinen fra time 17 til time 22 med 50% sammenlignet med den opprinnelige formålsfordelte lastkurven for helg. I scenario 2 skjer det en økning med 50% i samme tidsrom. I påfølgende fire timer skjer en endring som er motsatt rettet, i både scenario 1 og 2. Figur 35 illustrerer hvordan lasten fra oppvaskmaskiner øker og minker som en konsekvens av scenario 1 og 2.



Figur 35. Aggregert lastkurve for 1500 oppvaskmaskiner. Lastkurvene illustrerer to scenario der andelen som går til oppvaskmaskin øker/minker med 50% i timene omkring topplasttiden, klokken 19, og endres påfølgende fire timene etter, fra 22 og utover. Datagrunnlag fra (Sæle et al. 2010).

I opprinnelige lastkurve gikk 4,9% av den totale lasten, i timen med maks last, til oppvaskmaskin. Scenario 1 resulterer i en andel på 7,4% og i scenarioet 2 er andelen på 2,5%. Med 30 % av boenhetene som aksepterer overstyring av oppvaskmaskin, er tilgjengelig flyttbar last 0,7% av i scenario 1, og 2,2% i scenario 2. Dette er beregnet ut fra en antagelse som tilsier at alle oppvaskmaskiner som er tilgjengelig for fleksibilitet er slått av i timen med

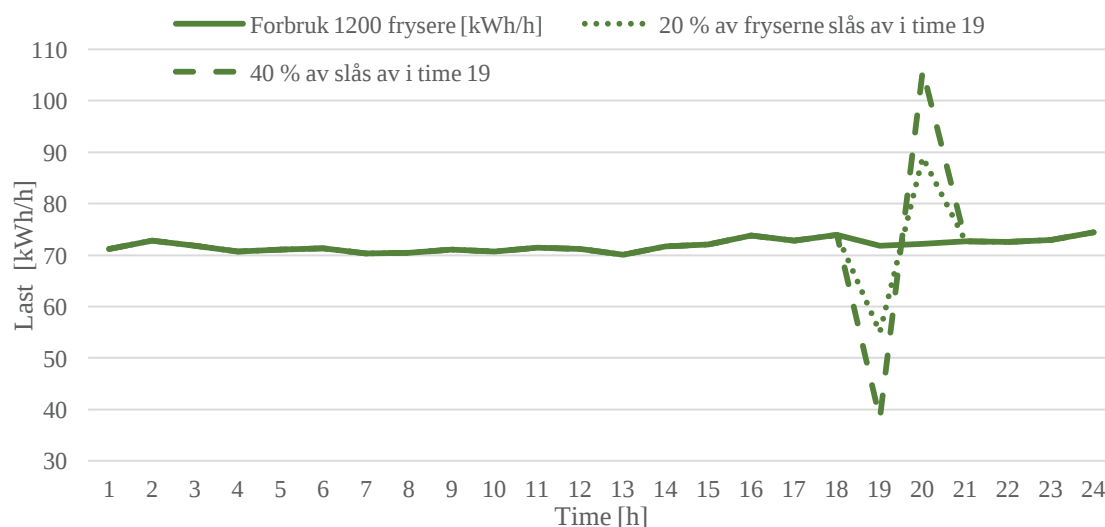
maks last. I og med at oppvaskmaskiner går i sykluser, må utsettelse av disse lastene planlegges i forkant, slik at lasten ikke er representert i timen med maks last. Beregningene er presentert i vedlegg H.

### *Fleksibilitetspotensiale for fryser*

Andelen elektrisitet som går til bruk av fryser antas å stemme med lastkurven til ElDeK, på bakgrunn av at fryser er en last som går kontinuerlig gjennom året. Med utgangspunkt i den simulerte lastkurven for fryser, presentert i kapittel 2.2, har fryseren termisk kapasitet til å være av i opptil en time.

Hvorvidt fryserne representer i de formålsfordelte lastkurvene har tilstrekkelig kapasitet til å slås av i toppplasttiden er usikkert. Dermed skisseres scenarioene ut fra denne usikkerheten. I scenario1 har 20% av fryserne tilstrekkelig kapasitet til å være avslått i høylasttiden, og tilsvarende 40% scenario 2.

Med 80% som aksepterer overstyring av fryser i Fjellhamar, kan lasten fra 1200 fryser overstyres. Med en antagelse der en fryser bruker 70 Wh/h resulterer dette at en andel på 1,1% av den totale last kan reduseres i scenario 1. Tilsvarende 2,1% i scenario 2. I figur 36 illustreres hvordan lasten blir redusert i time 19 og hvordan lasten umiddelbart slås inn igjen i time 20. Beregningene er presentert i vedlegg H.



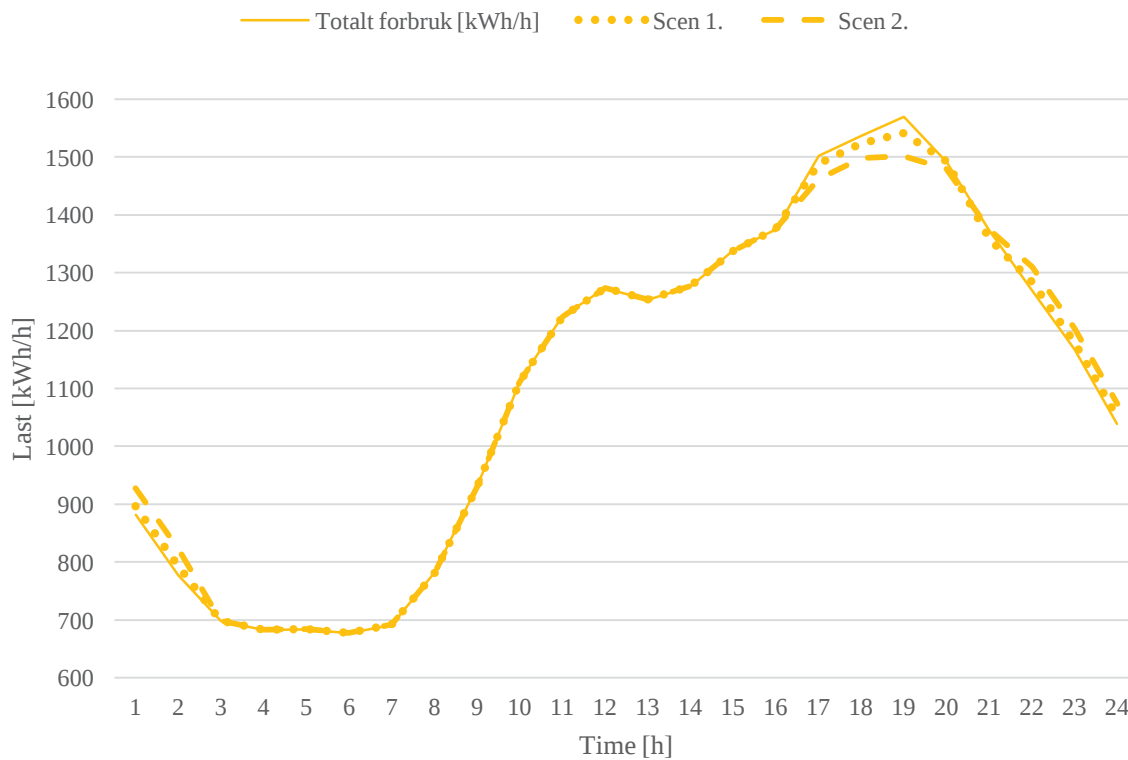
Figur 36. Aggregert lastkurve for 1200 fryser. Lastkurvene illustrere scenario 1 der 20% av fryserne som aksepterer overstyring slås av, og likeledes for scenario 2 der 40% slås av. Formålsfordelte lastkurve ElDeK fra (Sæle et al. 2010).

Det totale potensialet for reduisering av maks lasrer henholdsvis 1,8% i scenario 1 er og 4,3% i scenario 2. Resultatene er oppsummert i tabell 25.

*Tabell 25. Tilgjengelig fleksibilitet i timen med maks last for et område med 1500 leiligheter basert på scenario 1 og 2. Basert på dimensjonerende last fra tilpasset modellert last og inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) og samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007) og formålsfordelt lastkurve for helg fra ElDeK (Sæle et al. 2010)*

|            |         | Oppvaskmaskin | Fryser | Total |
|------------|---------|---------------|--------|-------|
| Scenario 1 | [%]     | 0,7           | 1,1    | 1,8   |
|            | [kWh/h] | 11,58         | 16,8   | 28,38 |
| Scenario 2 | [%]     | 2,2           | 2,1    | 4,3   |
|            | [kWh/h] | 34,74         | 33,6   | 68,34 |

Fra analysen av modellerte lastkurvene i kapittel 5.1 tilsa resultatet et fleksibilitetspotensiale på 2,5% med last som kobles inn i etterfølgende time, uten at ny topplasttime forekommer. Tilsvarende 4,3% med rullerende innkobling av lastene. Med resultatet presentert i tabell 25 kan scenario 1 realiseres ved innkobling av alle lastene i etterfølgende time uten at lasten blir høyere enn dimensjonerende last. I scenario 2 må en rullerende innkobling av oppvaskmaskin utføres for unngå forbruk høyere enn dimensjonerende last. Resultatet ved utnyttelse av fleksibilitet for å redusere dimensjonerende last er illustrert i figur 37 og tallfestet i tabell 26.



Figur 37. Lastkurve med potensialet for reduserende dimensjonerende last ved scenario 1 og 2. Lastkurve fra tilpasset modellert last med inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). Lasten er i aggregert tilstand for ved aggregering av last fra 1500 leiligheter.

Tabell 26. Redusert dimensjonerende last for 1500 boenheter ved utnyttelse av fleksibilitet i Fjellhamar Bruk.

|                                             | Scenario 1 | Scenario 2 |
|---------------------------------------------|------------|------------|
| Dimensjonerende last per bolig<br>[kWh/h]   | 1,02       | 1,00       |
| Dimensjonerende last for området<br>[kWh/h] | 1540,80    | 1500,84    |

## 6. Diskusjon

Diskusjonen er delt inn i tråd med resultatkapitlet. Der delkapittel 6.1 har som hensikt å diskutere resultatet fremkommet av delkapittel 5.1 til 5.3, som er grunnlaget for evaluering og selve evalueringen av modellen. Delkapittel 6.2 diskuterer resultatet fremkommet av kapittel 5.4 Tilpasning av modell. Og siste delkapittel i diskusjonen har som hensikt å diskutere resultatet av fleksibilitetspotensialet.

### 6.1 Evaluering av modellert last

Evalueringen av modell resulterte i at modellen fra Pedersen (2008) med tilhørende datagrunnlag ikke var tilstrekkelig for å finne dimensjonerende last og tilhørende lastkurve. Dette kapitlet har som hensikt å sette lys på de viktigste faktorene ved evaluering av modellen og bruk for å estimere dimensjonerende last med tilhørende lastkurver.

Dimensjonerende last for 36 enheter fra modell ga et resultat som gjenspeilte maks last i to av de fire årene med reelle målinger. De to årene som oversteg dimensjonerende last var årene der høylasttimene kom i jul- og nyttårstider. I samme periode, for de to årene, var temperaturen på sitt laveste (figur 22). Resultatene antyder en temperatur som påvirker det høye forbruket. Dette er et forbruk modellen ikke tar høyde for. Til tross for dette, har timen med maks last fra de reelle målinger, 31. Desember 2014, en temperatur som ikke skulle tilsi et last av den størrelsen som fremkommer av resultatet.

Der absolutt maks last forekommer i reelle måledata, den 31. Desember, antas et forbruket som kan overstige den dimensjonerende last fra modell (Pedersen 2008) uten å være påvirket av temperatur. Dersom absolutte høyeste forbrukstimer skulle være mer temperaturavhengig enn det som antas i denne oppgaven, kan det argumenteres for en ytterlig sikkerhetsmargin i resultatene for dimensjonerende last. Denne sikkerhetsmarginen forekommer *kun* hvis varmetjenesten er tilstrekkelig dimensjonert og dekker boenhetenes krav til komfort, til tross for lav ute-temperatur.

Ved sammenligning av totalt årlig elektrisitetsforbruk fra en enkelt leilighet ved modellert- og reelt forbruk var det små avvik fra det reelle til det modellerte forbruk. Det modellerte hadde et avvik på 3,5% det året med lavest årlige forbruk og 9% det året med høyest forbruk. Resultater som samsvarer med dette er funnet i (Zimmermann 2009). Zimmermann (2009)

gjorde et stort prosjekt der ulike faktorer for elektrisitetsforbruk for boliger i Sverige ble kartlagt. Elektrisitetsforbruk klassifiseres ut fra type boenheter, alder og antall mennesker i boenheten samt hvilke energibærere brukes for oppvarming. I en leilighet der elektrisitet går til el-spesifikke tjenester med en familie i aldersgruppen 26-64 år, er det gjennomsnittlige årlige forbruk på 3710 kWh/år. Dette er kategorien med høyest el-spesifikke forbruk for en leilighet fra rapporten. Det årlige forbruket fra de ulike kildene er gjengitt i tabell 27. Ved sammenligning av det årlige forbruket fra de to ulike kildene gjengitt i tabell 27, tilsier dette at en valgt størrelse på 90 m<sup>2</sup> for modellert last ikke er årsak til at modellen underestimerer dimensjonerende last.

Tabell 27. Årlig gjennomsnittlig el-spesifikt forbruk fra modell fra (Pedersen 2008) med en størrelse på 90m<sup>2</sup>, gjennomsnittlig årlig forbruk fra reelle forbruksdata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og årlig gjennomsnittlig forbruk for en familie i leilighet fra (Zimmermann 2009).

|          | Modellert<br>forbruk –<br>90 m <sup>2</sup> | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | Zimmermann<br>(2009) |
|----------|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| [kWh/år] | 3 547                                       | 3 686 | 3 867 | 3 699 | 3 672 | 3 710                |

For å generere de spesifikke last-indikatorene for modellert last, ble det brukt en gjennomsnittsleilighet i Norge, med størrelse 70 m<sup>2</sup> og el-spesifikt forbruk på 2700 kWh/år. Dette er et årlig forbruk som avviker i stor grad fra tallene gjengitt i tabell 27. Denne verdien avviker med fra 48% fra høyeste målerverdi i reelle måledata, og 36% fra året med lavest. I Zimmermann (2009) er kategorien med lavest årlig forbruk nede i 1682 kWh/år, som representerer en leilighet med et el-spesifikt forbruk der det bor en enslig person i alderen 64 år eller eldre. Dette viser til en stor variasjon i det el-spesifikke forbruket. Ved sammenligning av resultatene fra Zimmermann (2009) er det el-spesifikke forbruket i denne oppgaven overensstemmende med forbruket for leiligheter med høyest el-spesifikt forbruk. Årsaken til det store avviket fra det gjennomsnittlige årlige forbruket for en norsk leilighet kan være flere. En medvirkende årsak, kan være det temperaturavhengige forbruket. En annen årsak kan være at datamaterialet fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) ikke er statistisk representativt, da 36 leiligheter er et relativt lavt antall og man ikke vet noe menneskene som bor i disse leilighetene.

Evalueringen av modellert lastkurve viste et avvik i tidspunkt for høylasttimene sammenlignet med timene med maks last i de reelle målingene. Maks last fra (Pedersen 2008) forekom i time 20, der time 21 var maks last fra de formålsfordelte lastkurvene fra ElDeK (Sæle et al. 2010). I reelle data var de timene med maks last per time representert tidsrommet 18 til 20, noe som resulterte i en modellert maks i time 19. Resultatene fra Pedersen (2008) er basert på målinger gjennom en periode på 10 måneder og de formålsfordelte lastkurver er ikke representert med residuallasten og belysning. Dermed ansees de reelle målingene fra en periode på 4 år som mer troverdig for å anslå tidspunkt for maks last.

## 6.2 Tilpasning av modell

Ved tilpasning av modellen fra Pedersen (2008) brukes dataunderlaget fra de reelle målingene fra Ringeriks-Kraft Nett (2018). Med dette som utgangspunkt modelleres lasten og derav estimeres den dimensjonerende last med tilhørende lastkurver. Utfallet blir en dimensjonerende last som overskrider den høyeste målte timen fra de reelle målingene med 13,9% ved aggregering av last for 36 leiligheter. Alle fire årene med reelle måledata ble brukt i modellen på bakgrunn av de store variasjonene i datasettet. Med bakgrunn i den store variasjonen på 24% fra høyeste til laveste måling av maks last i de fire årene, ble hele datasettet brukt som underlag. Bruk av året 2014 ville ført til betydelig overestimering, og bruk av året med lavest målte maks ville ført til underdimensjonering. Å legge de fire årene med målinger til grunne regnes å være resultatet som gir den beste statistiske representativiteten, i dette tilfellet.

Ved sammenligning av resultatene fra den tilpassede modellen med datagrunnlaget fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) er størrelsen på standardavviket til forventningsverdien stor. I modellert last fra Pedersen (2008) kunne forventningsverdien variere med 20% i timen med høyest last, uttrykt i standardavviket. I den tilpassede modellen kan forventningsverdien variere med 54%. Dette er blir utslagsgivende for oppnåelse av dimensjonerende last ved bruk av modell i kombinasjon med reelle målinger fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Resultatet er gjengitt i tabell 28. Tabellen viser en forventningsverdi fra verdi som minker fra opprinnelig modell, og et standardavvik som øker.

Tabell 28. Sammenligning av spesifikk last-indikator i modellerte last fra (Pedersen 2008) og tilpasset modellert last med datagrunnlag fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

| Vinter                                                                           | Ukedag     |          | Helg       |          |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|------------|----------|
|                                                                                  | Maks $\mu$ | $\sigma$ | Maks $\mu$ | $\sigma$ |
| Modell Pedersen (2008)<br>[kW/leilighet]                                         | 0,72       | 0,12     | 0,70       | 0,14     |
| Modell basert på<br>Ringeriks-Kraft Nett<br>(2018) målinger<br>[kWh/h leilighet] | 0,67       | 0,37     | 0,68       | 0,37     |

Tidspunktet for maks last i de ulike kategoriene er mer entydig i den opprinnelige modellen til Pedersen (2008). Her varierer tidspunkt for maks last kun på bakgrunn av hverdag og helg. I tilpasset modell med inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) varierer tidspunktene for maks last i større grad. I tabell 29 er tidspunktene for maks last i de ulike kategoriene fra de to modellene gjengitt.

Tabell 29. Tidspunkt for maks last i opprinnelig modell Pedersen (2008) og tilpasset modell basert på målinger fra Ringeriks-Kraft Nett (2018).

|          | Modell Pedersen (2008) |      | Modell basert på Ringeriks-Kraft Nett (2018) målinger |      |
|----------|------------------------|------|-------------------------------------------------------|------|
|          | Hverdag                | Helg | Hverdag                                               | Helg |
| Vinter   | 21                     | 20   | 19                                                    | 19   |
| Vår/høst | 21                     | 20   | 19                                                    | 20   |
| Sommer   | 21                     | 20   | 18                                                    | 20   |

Den store forskjellen på standardavviket og variasjonen i tidspunktet for maks last skiller modellen med inndata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) og modellen til Pedersen (2008). Årsaken til avviket mellom modellene antas å være et datasett med større variasjon fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) da det har fire år med målinger fra 36 leiligheter som grunnlag. Sammenlignet opprinnelig modell til Pedersen (2008) som hadde målinger i en periode på 10 måneder fra 38 leiligheter som grunnlag.

Ved evaluering av modellen gjøres også en evaluering for samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) for å se hvorvidt den er pålitelig og kan implementeres i modellen.

Samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) viser seg å være for liten for å tallfeste dimensjonerende last ved aggregering av 36 enheter. Derimot ansees den å være en god indikator for aggregering der antallet er større enn 70.

I (Richardson et al. 2010) sammenlignes modellerte og målte data og finner en samtidighetsfaktor som går mot en konstant verdi ved aggregering av 20 enheter. En motsigelse til dette er funnet gjort i (Barteczko-Hibbert 2015) der samtidighetsfaktoren fortsatt er variabel ved aggregering av 100 boenheter. Basert på samtidighetsfaktoren ved reelle målinger fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) er det store variasjoner ved aggregering av 20 boenheter. Målingene indikerer en mer entydig verdi der antallet økes ytterlig, men tilsier ikke en stabilisering.

Bruk av trendlinje for å predikere utviklingen av de reelle måledata i tråd med samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007), tilsier to stabiliserende samtidighetsfaktorer ved 70 enheter. Bruk av trendlinje har en svakhet ved å forutsi utviklingen, da den følger utviklingen der antallet er mindre enn 36 enheter. Trendlinjen er ikke i stand til å forutsi når utviklingen avtar og samtidighetsfaktoren når en konstant verdi.

Med samtidighetsfaktor som en viktig faktor for å finne dimensjonerende last, er det funnet få indikatorer for tallfesting og utfyllende teori i litteraturen. Både på bakgrunn av antallet enheter som aggregeres og hvilke energibærere som benyttes. I (Wangensteen 2012) tallfestes samtidighetsfaktoren ut fra nivå i transmisjons- og distribusjonsnettet og hvorvidt lastene underlagt er uniforme. Dersom lastene er uniforme, og man er på laveste nivå, tallfestes samtidighetsfaktoren til 1.0 til 0.7. Sammenlignet med samtidighetsfaktoren fra de reelle målingene hos (Ringeriks-Kraft Nett 2018) vil bruk av disse samtidighetsfaktorene føre til kraftig overdimensjonering.

Den individuelle gjennomsnittlige maks last er sentral i kombinasjon med samtidighetsfaktoren for å finne en dimensjonerende last for 1500 leiligheter. Den individuelle maks last med utgangspunkt i en dimensjonerende last på 1,05 for 1500 leiligheter og samtidighetsfaktor på 0,3125, har en størrelse på 3,4 kWh/h. Denne overstiger den høyeste målte maks last på 2,97 kWh/h fra reelle målingene. I (Zimmermann 2009) måles

maks last per individuelle leilighet og er tallfestet til 3,14 kWh/h. Dette er innen kategorien leilighet med kun el-spesifikk last. Dette viser at den individuelle maks last er tilstrekkelig av størrelse og i tillegg har en ytterlig sikkerhetsmargin.

### 6.3 Fleksibilitetspotensialet

Ved kartlegging av fleksibilitetspotensialet er det kun tatt utgangspunkt i en dag med dimensjonerende last, som er en dag i jul- og nyttårshøytiden. Fra modell kan denne potensielle last forekomme i helgen. Fra de reelle målingene er kun de dagene som overstiger 1 kWh/h per enhet i aggregert tilstand, representative året 2014 i høytiden jul. Dette er årsaken fleksibilitet gjøres kun for en enkelt dag. Basert på den antagelsen kan det generaliseres og si at utnyttelse av fleksibilitet, for å redusere dimensjonerende last, kun er nødvendig i høytider. Basert på dette kan fremgangsmåten for kartlegging av fleksibilitet gjelde generelt høytider – og anvendes på alle dager der lasten potensielt kan overgå 1 kWh/h i aggregert tilstand.

## 7. Konklusjon

Evalueringen av modellert last ved bruk av den statistiske metoden fra Pedersen (2008) viste seg å ikke være tilstrekkelig for å finne dimensjonerende last i Fjellhamar Bruk. Bruk av datagrunnlaget fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) i kombinasjon med en forenkling av den statistiske fremgangsmetoden til Pedersen (2008) ga resultater som tilsa at metoden var tilstrekkelig for å finne dimensjonerende last for leiligheter der elektrisitet brukes til el-spesifikke tjenester.

Med en konstant samtidighetsfaktor i modellen til Pedersen (2008) basert på målinger av 38 enheter, ble samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) evaluert. Resultatene av evalueringen tilsa en utvikling lik samtidighetsfaktoren tallfestet av Kersting (2007) var sannsynlig. Ved aggregering av 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk ble samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) brukt.

De reelle måledata er verdifulle for evaluering av modellen for å finne dimensjonerende last i form av maks last med tilhørende lastkurver. Resultatene fra de reelle måledata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) karakteriseres av et mer temperaturavhengig last en først antatt, noe som gir et uklart bilde på når maks last for et rent el-spesifikt forbruk forekommer. Basert på resultatene forekommer maks last mest sannsynlig i høytiden jul og nyttår, noe som ble avgjørende i kartlegging av fleksibiliteten. Videre viser resultatene fra de reelle måledata en maks last som er større og varierer i større grad sammenlignet med resultatet som fremkommer av de modellerte forbruksdata fra (Pedersen 2008). Maks last forekommer også på et tidligere tidspunkt sammenlignet med opprinnelige modell. Dermed blir det reelle datagrunnlaget fra Ringeriks-Kraft Nett (2018) et viktig bidrag for å modellere lasten til 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk.

Fleksibilitetspotensialet i Fjellhamar Bruk er funnet å være 1,8% av dimensjonerende last i scenario 1 og henholdsvis 4,3% i scenario 2. Resultatet fremkommer av å utnytte fleksibiliteten som ligger i fryser og oppvaskmaskin.

Resultatene fra denne oppgaven viser til en dimensjonerende last for leiligheter der elektrisitet dekker kun de el-spesifikke tjenester blir kraftig overdimensjonert med dagens fremgangsmåte. En målsetting på 1 kWh/h er ikke urealistisk, så lenge energibæreren for

varmetjenesten er tilstrekkelig dimensjonert og dekker boenhetenes varmebehov uavhengig av store temperatursvingninger. Resultatet viser til en dimensjonerende last på 1,05 kWh/h er forsvarlig for en leilighet i et område med 1500 leiligheter. Ved å utnytte fleksibilitetspotensialet kan dimensjonerende last reduseres til 1 kW per boenhet i scenario 1, og 1,02 kW per boenhet i scenario 2. Tabell 30 oppsummerer resultatene sammenlignet med mål- og referansescenario for prosjektering av elektrisk infrastruktur for leiligheter i Fjellhamar Bruk.

*Tabell 30. Resultater ved dimensjonering av elektrisk infrastruktur for 1500 leiligheter i Fjellhamar Bruk i forhold til målsenario og referansescenario presentert innledningsvis. Resultater uten fleksibilitet, med fleksibilitet i scenario 1 og scenario 2.*

|                                              | Mål-<br>scenario | Referanse-<br>scenario | Scenario uten<br>fleksibilitet | Scenario 1<br>fleksibilitet | Scenario 2<br>fleksibilitet |
|----------------------------------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Dimensjonerende<br>last per bolig<br>[kWh/h] | 1                | 3,4                    | 1,05                           | 1,02                        | 1,00                        |
| Dimensjonerende<br>last området<br>[kWh/h]   | 1 500            | 5 040                  | 1569,18                        | 1540,80                     | 1500,84                     |

## 8. Videre arbeid

I dette kapitlet foreslås videre arbeid med hensikt å ytterlig forbedre resultatene funnet i denne oppgaven.

Dimensjonerende last finnes ved å sammenligne reelle måledata mot modellert last, der hovedhensikten er å finne dimensjonerende last i et energisystem der elektrisitet brukes til el-spesifikke tjenester. Fra analysen av de reelle måledata fremkommer det en last som til en viss grad påvirkes av temperatur. I videre arbeid foreslås det å bruke målinger der forbruket ikke er påvirket av temperatur, for å se hvorvidt dimensjonerende last kan reduseres ytterlig. Fleksibilitetsanalysen gjøres på bakgrunn av timene med maks last forekommer i jul- og nyttårshøytiden. Målinger med et temperaturuavhengige forbruk vil indikere hvorvidt denne antagelsen stemmer.

Redusering av dimensjonerende last ved utnyttelse av forbrukerfleksibilitet fordrer en last som må avvike fra det opprinnelige mønstret. Denne oppgaven forutsetter et forbruksmønster som endres i jul- og nyttårshøytider. Siden dette er en spesiell tid for nordmenn flest, bør det gjøres nærmere undersøkelser av hvorvidt laststyring i høytiden aksepteres. Spesielt med tanke på oppvaskmaskinen.

Som det fremkommer av oppgaven, er samtidighetsfaktoren viktig ved aggregering av boenheter og det er lite tallfesting av samtidighetsfaktoren funnet i litteraturen. Til videre arbeid anbefales det å tallfeste utvikling av samtidighetsfaktoren der et stort antall boenheter aggregeres, både på bakgrunn av antall enheter som aggregeres og hvorvidt den varierer med energibærere som brukes.



## 9. Referanser

- Alvehag, K., Öhling, L. W., Östman, K., Broström, E., Strömbäck, E., Klasman, B., Lahti, M. & Morén, G. (2017). Measures to increase demand side flexibility in the Swedish electricity system [www.ei.se](http://www.ei.se): Energimarknadsinspektionen.
- Barteczko-Hibbert, C. (2015). After Diversity Maximum Demand (ADMD) Report. Customer-Led Network Recolution: Durham University.
- Bergesen, B., Groth, L. H., Langseth, B., Magnussen, I. H., Spilde, D. & Toutain, J. E. W. (2012). Energibruksrapporten 2012 - Energibruk i husholdninger: Norges Vassdrag- og Energidirektorat.
- CEER. (2014). CEER Advice on Ensuring Market and Regulatory Arrangements help deliver Demand Side Flexibility: Council of European Energy Regulators
- eKlima, M. I. (2018). I: *Meteorologisk Institutt* (lest 1.08.2018).
- Elkjøp. (2018). *Elkjøp Hjem og husholdning*. Elkjøp Husholdningsutstyr. [https://www.elkjop.no/catalog/no\\_hjem\\_husholdning/hjem-og-husholdning](https://www.elkjop.no/catalog/no_hjem_husholdning/hjem-og-husholdning): (lest 10.04).
- Enøkguiden. (u.å). *Energiforbruk Elektrisk Utstyr*. [https://www.enok.no/enokguiden/09\\_1.html](https://www.enok.no/enokguiden/09_1.html) (lest 10.04).
- Fjellhamar Bruk AS, E. A. o. e. S. A. (2018). *Konseptutredning av nettinfrastrukturdimensjonering på Fjellhamar*. Upublisert manuskript.
- Karlsen, D., Tønne, E. & Foosnæs, J. A. (2014). Optimal Anvendelse av AMS-data ved nettpanlegging. . NEF Teknisk Møte 2014: NTE Nett AS/NTNU.
- Kersting, W. H. (2007). *Distribution System Modeling and Analysis* Second Edition utg. CRC Press
- Kipping, A. (2016). *Modeling hourly energy consumption in Norwegian buildings*. Philosophiae Doctor Thesis Faculty of Enviromental Science and Technology: Norwegian University of Life Sciences Department of Ecology and Natural Resource Management.
- Kipping, A. (2018). *Telefonsamtale angående lastprofiler*
- Langseth, B., Everett, E. N. & Ingeberg, K. (2011). Hovedundersøkelse for elektrisitetsbruk i husholdningene - utarbeidet for NVE. I: rådgiving, X. a. o. (red.).
- Lindberg, K. B. (2017). *Impact of Zero Energy Buildings on the Power System* Trondheim Norwegian University of Science and Technology, Department of Electric Power Engineering
- Livik, K., Feilberg, N. & Foosnæs, J. A. (1993). Estimation of annual coincident peak demand and load curves based on statistical analysis and typical load data: Norwegian Electric Power Research Institute
- Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk.
- Livik, K., Feilberg, N., Morch, A. Z. & Larsson, L. (1999). «USELOAD» A multipurpose software tool for simulation of end-use loads. Model description and examples of use. : SINTEF Energy Research (Norway), SYCON (Sweden).
- Løvås, G. G. (2004). *Statistikk for universiteter og høyskoler*, b. 2: Universitetsforlaget.
- Munkhammar, J., Ryden, J. & Widén, J. (2014). Characterizing probability density distributions for household electricity load profiles from high-resolution electricity use data *Applied Energy*, 135: 382-390.
- Neimane, V. (2001). *On development planning of electricity distribution networks* Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan Department of Electrical Engineering Electric Power Systems.
- Nesbakken, R. (1999). Price sensitivity of residential energy consumption in Norway. *Energy Economics*, 21 (6): 493-515.

- Nilsen, J. (2015, 21. Desember 2015). Var først ute med smarte strømmålere - nå håver de inn på innstallatør-oppdrag *Teknisk Ukeblad*
- NVE. (2015). *Smarte Strømmålere*. <https://www.nve.no/stromkunde/smarte-strommalere-ams/>: Norges Vassdrag- og Energidirektorat (lest 11.10.2018).
- Pedersen, L. (2008). *Load Modelling of Buildings in Mixed Energy Distribution Systems*. Doctoral Thesis. NTNU: Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and process Engineering.
- Rangøy, E. (2013). *Validation of user profiles for building energy simulations*: Institutt for energi-og prosessteknikk.
- Richardson, I., Thomason, M., Infield, D. & Clifford, C. (2010). Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model *Energy and Buildings* 42: 1878-1887.
- Ringeriks-Kraft Nett. (2018). *AMS-data for moderne boliger*. Ringeriks-Kraft Nett (red.): Ringeriks-Kraft Nett,.
- Roos, A. (2012). *Potensiale for forbrukerfleksibilitet i bygninger. Casestudie av Høgskolen i Østfold*. . Mastergrad: Universet for miljø- og biovitenskap, Institutt for Naturforvaltning.
- Statistisk Sentralbyrå. (u.å). Statistisk Sentralbyrå. Upublisert manuskript.
- Sæle, H., Rosenberg, E. & Feilberg, N. (2010). State-of-the-art Projects for estimating the electricity end-use demand. SINTEF: SINTEF Energy Research 86 s.
- Taneja, J., Lutz, K. & Culler, D. (2013). *The impact of flexible loads in increasingly renewable grids*. Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2013 IEEE International Conference on: IEEE. 265-270 s.
- Velander, S. (1947). *Energidistributionens ekonomiska lagar*. Stockholm
- VirginiaTech Advanced Research Institute. (2013). Research Data I: *VirginiaTech Advanced Research Institute* VirginiaTech Advanced Research Institute online database (Research Data, Appliance Data ). Tilgjengelig fra: <http://www.ari.vt.edu/research-data/> (lest 28.04.2018).
- Wangensteen, I. (2012). *Power system economics: the nordic electricity market*. 2nd Edition utg.
- Zimmermann, J. P. (2009). End-use metering campaign in 400 households in sweden assessment of the potential electricity savings. I: Enertech (red.). Swedish Energy Agency. 5-2743 s.

## Vedlegg

### Vedlegg A. Samtidighetsfaktor

#### *Utledning samtidighetsfaktor*

I Wangensteen (2012) utledes samtidighetsfaktoren matematisk. Den aggregerte høylasttiden består av individuelle stokastiske laster ved et gitt tidspunkt. De individuelle bidragene er en funksjon av tid i den resulterende makslasten, vist i formel A.1.

$$P_{\Sigma maks} = P_{\Sigma}(t) = P(t)_1 + P(t)_2 + P(t)_3 \quad (\text{A. 1})$$

*der  $P_{\Sigma maks}$  er aggregert maks last et tidspunkt ved node*

*$P_{\Sigma}(t)$  er aggregert høylasttime ved tidspunkt  $t$*

*$P_n(t)$  er individuelt forbruk ved tidspunkt  $t$*

*$n$  indikerer forbruker 1,2..., $n$ .*

Den individuelle lasten i tidspunktet er dermed en andel av den aggregerte høylasttiden.

Denne andelen uttrykkes ved samtidighetsfaktoren. Samtidighetsfaktor blir dermed et forholdstall mellom aggregert høylasttiden og den individuelle høylasttiden, og betegnes med  $s$ . Dette uttrykkes ved formel A.2 til A.4.

$$s_1 = \frac{P(t)_1}{P_{1,maks}} \quad (\text{A. 2})$$

$$s_2 = \frac{P(t)_2}{P_{2,maks}} \quad (\text{A. 3})$$

$$s_3 = \frac{P(t)_3}{P_{3,maks}} \quad (\text{A. 4})$$

*Der  $s_n$  er samtidighetsfaktoren som beskriver forholdet mellom maks aggregerte høylasttiden og individuelle høylasttiden.*

*der  $P_{n,maks}$  er individuelle høylasttiden målt hos den enkelte forbruker uavhengig av tid*

Samtidighetsfaktoren uttrykkes ved formel A.5.

$$s_n = \frac{P_{\Sigma maks}}{\sum_{i=1}^n P_{i, maks}} \quad (\text{A. 5})$$

*Samtidigheitsfaktoren fra (Kersting 2007)*

Kersting (2007) har tallfestet diversitetsfaktoren presentert i tabell A.1.

*Tabell A.1. Diversitetsfaktor hentet fra (Kersting 2007).*

| Antall<br>forbrukere | Diversitets-<br>faktor | Antall<br>forbrukere | Diversitets-<br>faktor | Antall<br>forbrukere | Diversitets-<br>faktor |
|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| 1                    | 1                      | 25                   | 2,98                   | 49                   | 3,15                   |
| 2                    | 1,6                    | 26                   | 3                      | 50                   | 3,15                   |
| 3                    | 1,8                    | 27                   | 3,01                   | 51                   | 3,15                   |
| 4                    | 2,1                    | 28                   | 3,02                   | 52                   | 3,15                   |
| 5                    | 2,2                    | 29                   | 3,04                   | 53                   | 3,16                   |
| 6                    | 2,3                    | 30                   | 3,05                   | 54                   | 3,16                   |
| 7                    | 2,4                    | 31                   | 3,05                   | 55                   | 3,16                   |
| 8                    | 2,55                   | 32                   | 3,06                   | 56                   | 3,17                   |
| 9                    | 2,6                    | 33                   | 3,08                   | 57                   | 3,17                   |
| 10                   | 2,65                   | 34                   | 3,09                   | 58                   | 3,17                   |
| 11                   | 2,67                   | 35                   | 3,1                    | 59                   | 3,18                   |
| 12                   | 2,7                    | 36                   | 3,1                    | 60                   | 3,18                   |
| 13                   | 2,74                   | 37                   | 3,11                   | 61                   | 3,18                   |
| 14                   | 2,78                   | 38                   | 3,12                   | 62                   | 3,18                   |
| 15                   | 2,8                    | 39                   | 3,12                   | 63                   | 3,18                   |
| 16                   | 2,82                   | 40                   | 3,13                   | 64                   | 3,19                   |
| 17                   | 2,84                   | 41                   | 3,13                   | 65                   | 3,19                   |
| 18                   | 2,86                   | 42                   | 3,13                   | 66                   | 3,19                   |
| 19                   | 2,88                   | 43                   | 3,14                   | 67                   | 3,19                   |
| 20                   | 2,9                    | 44                   | 3,14                   | 68                   | 3,19                   |
| 21                   | 2,9                    | 45                   | 3,14                   | 69                   | 3,2                    |
| 22                   | 2,92                   | 46                   | 3,14                   | 70                   | 3,2                    |
| 23                   | 2,94                   | 47                   | 3,15                   |                      |                        |
| 24                   | 2,96                   | 48                   | 3,15                   |                      |                        |

Diversitetsfaktor er den inverse av samtidighetsfaktor (Pedersen 2008). Dette resulterer i samtidighetsfaktor presentert i tabell A.2.

Tabell A.2. Samtidighetsfaktor som den inverse av diversitetsfaktoren tallfestet av Kersting (2007).

| Antall forbrukere | Samtidighets-faktor | Antall forbrukere | Samtidighets-faktor | Antall forbrukere | Samtidighets-faktor |
|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| 1                 | 1,0000              | 25                | 0,3356              | 49                | 0,3175              |
| 2                 | 0,6250              | 26                | 0,3333              | 50                | 0,3175              |
| 3                 | 0,5556              | 27                | 0,3322              | 51                | 0,3175              |
| 4                 | 0,4762              | 28                | 0,3311              | 52                | 0,3175              |
| 5                 | 0,4545              | 29                | 0,3289              | 53                | 0,3165              |
| 6                 | 0,4348              | 30                | 0,3279              | 54                | 0,3165              |
| 7                 | 0,4167              | 31                | 0,3279              | 55                | 0,3165              |
| 8                 | 0,3922              | 32                | 0,3268              | 56                | 0,3155              |
| 9                 | 0,3846              | 33                | 0,3247              | 57                | 0,3155              |
| 10                | 0,3774              | 34                | 0,3236              | 58                | 0,3155              |
| 11                | 0,3745              | 35                | 0,3226              | 59                | 0,3145              |
| 12                | 0,3704              | 36                | 0,3226              | 60                | 0,3145              |
| 13                | 0,3650              | 37                | 0,3215              | 61                | 0,3145              |
| 14                | 0,3597              | 38                | 0,3205              | 62                | 0,3145              |
| 15                | 0,3571              | 39                | 0,3205              | 63                | 0,3145              |
| 16                | 0,3546              | 40                | 0,3195              | 64                | 0,3135              |
| 17                | 0,3521              | 41                | 0,3195              | 65                | 0,3135              |
| 18                | 0,3497              | 42                | 0,3195              | 66                | 0,3135              |
| 19                | 0,3472              | 43                | 0,3185              | 67                | 0,3135              |
| 20                | 0,3448              | 44                | 0,3185              | 68                | 0,3135              |
| 21                | 0,3448              | 45                | 0,3185              | 69                | 0,3125              |
| 22                | 0,3425              | 46                | 0,3185              | 70                | 0,3125              |
| 23                | 0,3401              | 47                | 0,3175              |                   |                     |
| 24                | 0,3378              | 48                | 0,3175              |                   |                     |

## Vedlegg B. Bakgrunn for modell fra (Pedersen 2008)

Fremgangsmetoden for å finne vektorene i form av forventningsverdi og standardavvik gjøres ved en tredelt prosedyre. Ved første prosedyre genereres relative last-indikatorer, i form av forventningsverdi og standardavvik, for hver time for de enkelte boenhetene ut fra kategoriseringen. De relative last-indikatorene kalkuleres på bakgrunn av de reelle målingene med times-oppløsning, ved hjelp av likning B.1. Den relative lasten er uttrykt som  $\Phi_{R,j}$ , og kan finnes ved å dividere den målte lasten for en gitt time,  $\Phi_{M,j}$ , på baselasten funnet fra likning 2.2. Dette resulterer i en relativ last-indikator for hver time. Den relative lasten er i vektorform og uten benevning.

$$\Phi_{R,j} = \frac{\Phi_{M,j}}{\Phi_B} \quad (\text{B. 1})$$

$\Phi_{R,j}$  er den relative lasten for time  $j$

$\Phi_{M,j}$  er maksimum last for time  $j$  i kWh/h

$j$  er 1,2,...,24 hvor 1 = kl. 24 til kl. 01, 2 = kl.01 til kl.02,...,24 = kl.23 til kl.24

$$\Phi_B = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} \Phi_{M,j} = \frac{\text{Daglig forbruk (kWh)}}{24 \text{ h}} \quad (\text{B. 2})$$

Den spesifikke last-indikator per kvadratmeter er blitt kalkulert på bakgrunn av formel B.3.

$$\bar{\Phi}_{\text{spesifikk}} = \frac{\Phi_{M,j}}{A} \quad [W/m^2] \quad (\text{B. 3})$$

$\Phi_{M,j}$  er maksimum last i Wh/h

$A$  er størrelsen på hver bygning, i  $m^2$

I andre del av prosedyren generaliseres de relative last-verdiene for de ulike kategoriene i modellen. For å finne en relativ verdi for de ulike kategoriene ble normalfordeling og t-fordeling anvendt. Dette gir en forventningsverdi med tilhørende standardavvik for hver

enkelt time gjennom døgnet, for alle kategoriene. Fordelingen brukes på bakgrunn av sentralgrenseteoremet beskrevet i formel B.4. Forventningsverdi med tilhørende standardavvik er uttrykt i formel B.5 til B.7.

Fra Løvås (2004):

*”Der  $X_1, X_2, \dots, X_n$  er uavhengig variabler fra samme sannsynlighetsfordeling, med en forventningsverdi,  $\mu$ , og standardavvik,  $\sigma$ , sier sentralgrenseteoremet”:*

$$\bar{X} = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + \dots + X_n) \quad (\text{B. 4})$$

*er tilnærmet  $Normal(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$ .*

Forventningsverdien til normalfordelingen for timene i samme kategori kan uttrykkes med formel B.5:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{n} (\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n) \quad (\text{B. 5})$$

Variansen til normalfordelingen er uttrykt med formel B.6. Standardavviket er funnet ved roten av variansen, som vist i formel B.7.

$$\bar{\sigma}_Y^2 = \frac{1}{n} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2) \quad (\text{B. 6})$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{\sigma}^2} \quad (\text{B. 7})$$

Tredje og siste del av prosedyren har som hensikt å finne en relativ last-verdi representativ for alle boenheter. Dette gjøres ved en bottom-up tilnærming, der verdiene fra andre del av prosedyren brukes for å anslå forbruket til et helt område. Metoden baserer seg på en summering av fordelinger. En antagelse som ligger til grunn er at lastkurvene er uavhengige og normalfordelte variabler på lik linje som andre del av prosedyren. Dermed er  $X_1, X_2, \dots, X_n$  med en varians på  $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$ . Av denne grunn er summen av variablene:

$$Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (\text{B. 8})$$

*der summen av variablene har en normalfordeling med  $Normal(n\mu, \sqrt{n}\sigma)$ .*

Variansen for Y finnes ved formel B.9, og deretter samme fremgangsmåte for standardavvik som beskrevet i formel B.7. Variansen for Y uttrykkes ved summen av variansen for X:

$$\sigma_Y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2 \quad (\text{B. 9})$$

Tabell B.1. Generaliserte relative last-indikatorer for timene innen de ulike kategoriene i modellen. Kategori hverdag.

| Time | Hverdag |          |        |                    |                      |                    |
|------|---------|----------|--------|--------------------|----------------------|--------------------|
|      | Vinter  | Vår/høst | Sommer | Vinter<br>st.avvik | Vår/høst<br>st.avvik | Sommer<br>st.avvik |
| 1    | 0,674   | 0,586    | 0,507  | 0,156              | 0,113                | 0,123              |
| 2    | 0,548   | 0,513    | 0,447  | 0,101              | 0,076                | 0,073              |
| 3    | 0,516   | 0,505    | 0,438  | 0,08               | 0,069                | 0,069              |
| 4    | 0,509   | 0,505    | 0,435  | 0,07               | 0,066                | 0,065              |
| 5    | 0,505   | 0,505    | 0,431  | 0,072              | 0,066                | 0,064              |
| 6    | 0,51    | 0,537    | 0,463  | 0,074              | 0,079                | 0,064              |
| 7    | 0,613   | 0,681    | 0,57   | 0,094              | 0,125                | 0,114              |
| 8    | 0,81    | 0,827    | 0,682  | 0,147              | 0,163                | 0,158              |
| 9    | 0,93    | 0,888    | 0,743  | 0,177              | 0,189                | 0,208              |
| 10   | 0,988   | 0,872    | 0,748  | 0,217              | 0,203                | 0,23               |
| 11   | 0,952   | 0,836    | 0,737  | 0,237              | 0,207                | 0,219              |
| 12   | 0,928   | 0,832    | 0,71   | 0,252              | 0,208                | 0,216              |
| 13   | 0,909   | 0,82     | 0,702  | 0,244              | 0,215                | 0,204              |
| 14   | 0,904   | 0,815    | 0,709  | 0,237              | 0,217                | 0,208              |
| 15   | 0,956   | 0,921    | 0,82   | 0,23               | 0,248                | 0,245              |
| 16   | 1,155   | 1,075    | 0,926  | 0,27               | 0,275                | 0,258              |
| 17   | 1,427   | 1,206    | 1,014  | 0,278              | 0,296                | 0,345              |
| 18   | 1,521   | 1,233    | 1,052  | 0,287              | 0,318                | 0,381              |
| 19   | 1,556   | 1,308    | 1,08   | 0,28               | 0,324                | 0,392              |
| 20   | 1,582   | 1,396    | 1,13   | 0,257              | 0,293                | 0,372              |
| 21   | 1,607   | 1,417    | 1,142  | 0,273              | 0,299                | 0,376              |
| 22   | 1,536   | 1,323    | 1,066  | 0,244              | 0,26                 | 0,323              |
| 23   | 1,344   | 1,109    | 0,923  | 0,228              | 0,238                | 0,294              |
| 24   | 1,021   | 0,825    | 0,696  | 0,194              | 0,212                | 0,25               |

Tabell B.2. Generaliserte relative last-indikatorer for timene innen de ulike kategoriene i modellen. Kategori helg.

| Helg |        |          |        |                    |                      |                    |
|------|--------|----------|--------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Time | Vinter | Vår/høst | Sommer | Vinter<br>st.avvik | Vår/høst<br>st.avvik | Sommer<br>st.avvik |
| 1    | 0,826  | 0,689    | 0,574  | 0,166              | 0,178                | 0,178              |
| 2    | 0,643  | 0,577    | 0,497  | 0,135              | 0,138                | 0,138              |
| 3    | 0,578  | 0,534    | 0,46   | 0,116              | 0,097                | 0,097              |
| 4    | 0,547  | 0,515    | 0,442  | 0,103              | 0,074                | 0,074              |
| 5    | 0,53   | 0,512    | 0,437  | 0,073              | 0,068                | 0,068              |
| 6    | 0,525  | 0,51     | 0,443  | 0,065              | 0,066                | 0,066              |
| 7    | 0,533  | 0,563    | 0,497  | 0,066              | 0,103                | 0,103              |
| 8    | 0,644  | 0,732    | 0,623  | 0,112              | 0,14                 | 0,14               |
| 9    | 0,927  | 0,967    | 0,79   | 0,195              | 0,195                | 0,195              |
| 10   | 1,195  | 1,131    | 0,909  | 0,235              | 0,269                | 0,269              |
| 11   | 1,258  | 1,108    | 0,913  | 0,245              | 0,284                | 0,284              |
| 12   | 1,276  | 1,084    | 0,887  | 0,301              | 0,316                | 0,316              |
| 13   | 1,265  | 1,059    | 0,871  | 0,302              | 0,322                | 0,322              |
| 14   | 1,231  | 1,069    | 0,88   | 0,306              | 0,303                | 0,303              |
| 15   | 1,292  | 1,103    | 0,931  | 0,322              | 0,341                | 0,341              |
| 16   | 1,412  | 1,162    | 0,971  | 0,35               | 0,362                | 0,362              |
| 17   | 1,46   | 1,217    | 0,995  | 0,359              | 0,363                | 0,363              |
| 18   | 1,5    | 1,273    | 1,047  | 0,349              | 0,37                 | 0,37               |
| 19   | 1,533  | 1,368    | 1,063  | 0,327              | 0,35                 | 0,35               |
| 20   | 1,581  | 1,435    | 1,089  | 0,334              | 0,382                | 0,382              |
| 21   | 1,545  | 1,41     | 1,06   | 0,327              | 0,374                | 0,374              |
| 22   | 1,419  | 1,275    | 0,983  | 0,26               | 0,325                | 0,325              |
| 23   | 1,265  | 1,059    | 0,855  | 0,218              | 0,269                | 0,269              |
| 24   | 1,004  | 0,813    | 0,683  | 0,187              | 0,213                | 0,213              |

Vedlegg C. Fremgangsmetode for bruk av modellen til Pedersen (2008).

Fra opprinnelig metode finnes baselasten på bakgrunn av gjennomsnittlig el-spesifikk last for vintersesong, ukedag. I denne oppgaven finnes baselasten på bakgrunn av en justering av formel B.2 fra vedlegg B. Endringen er presentert i formel C.1.

$$\Phi_B = \frac{1}{8760} \sum_{j=1}^{8760} \Phi_{M,j} = \frac{\text{Årlig forbruk (kWh)}}{8760 h} \quad (\text{C. 1})$$

Året som legges til å finne et årlig forbruk er 2015. Tabell C.1 viser antall av de ulike dagene innenfor de ulike kategoriene i modellen.

Tabell C.1 Antall dager innad i de ulike kategoriene som grunnlag for beregning av de spesifikke last-indikatorene.

| 2015     |      |         |        |      |         |
|----------|------|---------|--------|------|---------|
| Vinter   | Helg | Hverdag | Sommer | Helg | Hverdag |
| Januar   | 8    | 23      | Juni   | 9    | 21      |
| Februar  | 8    | 20      | Juli   | 9    | 22      |
| Desember | 10   | 21      | August | 8    | 23      |
| Totalt   | 26   | 64      | Totalt | 26   | 66      |

| Høst/vår  | Helg | Hverdag |
|-----------|------|---------|
| Mars      | 9    | 22      |
| April     | 9    | 21      |
| Mai       | 8    | 23      |
| September | 10   | 20      |
| Oktober   | 8    | 23      |
| November  | 8    | 22      |
| Totalt    | 52   | 131     |

Basert på resultatene fra tabell C.1 og de relative last-indikatorene fra (Pedersen 2008) summeres de relative last-indikatorene. Presentert i tabell C.2.

Eksempelvis:

$$\text{Time 1 vinter, hverdag: } 64 \times 0,826 = 43,14$$

Dette gjøres for alle timer i de ulike kategoriene som utgjør en total på 7928,129. Dette resulterer i en summert forventningsverdi som er grunnlaget for å finne forventet last-indikator.

Tabell C.2 Summering av forventningsverdien for hele året.

|           | Hverdag |          |        | Helg   |          |          |
|-----------|---------|----------|--------|--------|----------|----------|
| Time      | Vinter  | Vår/høst | Sommer | Vinter | Vår/høst | Sommer   |
| 1         | 43,14   | 76,77    | 33,46  | 21,48  | 35,83    | 14,92    |
| 2         | 35,07   | 67,20    | 29,50  | 16,72  | 30,00    | 12,92    |
| 3         | 33,02   | 66,16    | 28,91  | 15,03  | 27,77    | 11,96    |
| 4         | 32,58   | 66,16    | 28,71  | 14,22  | 26,78    | 11,49    |
| 5         | 32,32   | 66,16    | 28,45  | 13,78  | 26,62    | 11,36    |
| 6         | 32,64   | 70,35    | 30,56  | 13,65  | 26,52    | 11,52    |
| 7         | 39,23   | 89,21    | 37,62  | 13,86  | 29,28    | 12,92    |
| 8         | 51,84   | 108,34   | 45,01  | 16,74  | 38,06    | 16,20    |
| 9         | 59,52   | 116,33   | 49,04  | 24,10  | 50,28    | 20,54    |
| 10        | 63,23   | 114,23   | 49,37  | 31,07  | 58,81    | 23,63    |
| 11        | 60,93   | 109,52   | 48,64  | 32,71  | 57,62    | 23,74    |
| 12        | 59,39   | 108,99   | 46,86  | 33,18  | 56,37    | 23,06    |
| 13        | 58,18   | 107,42   | 46,33  | 32,89  | 55,07    | 22,65    |
| 14        | 57,86   | 106,77   | 46,79  | 32,01  | 55,59    | 22,88    |
| 15        | 61,18   | 120,65   | 54,12  | 33,59  | 57,36    | 24,21    |
| 16        | 73,92   | 140,83   | 61,12  | 36,71  | 60,42    | 25,25    |
| 17        | 91,33   | 157,99   | 66,92  | 37,96  | 63,28    | 25,87    |
| 18        | 97,34   | 161,52   | 69,43  | 39,00  | 66,20    | 27,22    |
| 19        | 99,58   | 171,35   | 71,28  | 39,86  | 71,14    | 27,64    |
| 20        | 101,25  | 182,88   | 74,58  | 41,11  | 74,62    | 28,31    |
| 21        | 102,85  | 185,63   | 75,37  | 40,17  | 73,32    | 27,56    |
| 22        | 98,30   | 173,31   | 70,36  | 36,89  | 66,30    | 25,56    |
| 23        | 86,02   | 145,28   | 60,92  | 32,89  | 55,07    | 22,23    |
| 24        | 65,34   | 108,08   | 45,94  | 26,10  | 42,28    | 17,76    |
| Sum $\mu$ |         |          |        |        |          | 7928,129 |

For å bruke forventet last indikator brukes summen av forventningsverdien det gjeldende året i kombinasjon med spesifikk last indikator, vist i tabell C.3.

Tabell C.3. Inndata for generering av spesifikk last indikator. Gjennomsnittlig størrelse fra (Statistisk Sentralbyrå u.å)

| Årlig forbruk [kWh/år leilighet] | Størrelse [m <sup>2</sup> /leilighet] | Spesifikk årlig last [Wh/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| 2700                             | 70                                    | 38 571                                    |

Med bakgrunn i de relative last indikatorene fra tabell B.1 og B.2, og sum forventningsverdien fra tabell C.2 og spesifikk årlig last fra C.3 genereres spesifikke last

indikatorer. De genereres med benevnning  $W/m^2$  og er for leiligheter der kun el-spesifikt behov skal finnes. Forventningsverdien ble utregnet i alle sesonger, og standardavviket kun for vinter da dette er sesongen med høyes forventet last. I tabell C.4 er forventningsverdien for alle sesonger representert. I tabell C.5 og C.6 er forventningsverdi og standardavvik for kategorien vinter representert.

Eksempel for utregning av de spesifikke last indikatorene med basis i formel B.1-B.3 i vedlegg B.

Time 1, vinter, hverdag:

Forventet spesifikk last-indikator:

$$\frac{\text{Relativ last indikator, } \mu(t)}{\text{sum relativ last-indikator, } \mu} \times \text{spesifikk årlig last} =$$

$$\frac{0,674}{7928,129 [h/\text{år}]} \times 38\,571 \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] =$$

$$3,28 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Standardavvik:

$$\frac{\text{Standardavvik, } \sigma(t)}{\text{sum relativ last-indikator, } \mu} \times \text{spesifikk årlig last} =$$

$$\frac{0,156}{7928,129 [h/\text{år}]} \times 38\,571 \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] =$$

$$0,758 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

\*Kommentar: funnet feil i utregningen av forventningsverdi og standardavvik: Stemmer med standardavviket, men ikke forventningsverdien. En forskjell på  $0,05 W/m^2$ . Årsaken er at utregning av standardavvik og forventningsverdi er gjort i to adskilte prosesser ved to ulike tidspunkt. Dette ansees ikke å være utslagsgivende for resultatet, dermed er det ikke korrigert for denne feilen.

Tabell C.4 Spesifikk last-indikator for alle sesonger, hverdag og helg. Her er kun forventningsverdi representert i tabellen.

| Time | Vinter                                             |                                                 | Vår/høst                                           |                                                 | Sommer                                             |                                                 |
|------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|      | Hverdag, forventet last, $\mu$ [W/m <sup>2</sup> ] | Helg, forventet last, $\mu$ [W/m <sup>2</sup> ] | Hverdag, forventet last, $\mu$ [W/m <sup>2</sup> ] | Helg, forventet last, $\mu$ [W/m <sup>2</sup> ] | Hverdag, forventet last, $\mu$ [W/m <sup>2</sup> ] | Helg, forventet last, $\mu$ [W/m <sup>2</sup> ] |
| 1    | 3,33                                               | 4,08                                            | 2,90                                               | 3,41                                            | 2,51                                               | 2,84                                            |
| 2    | 2,71                                               | 3,18                                            | 2,54                                               | 2,85                                            | 2,21                                               | 2,46                                            |
| 3    | 2,55                                               | 2,86                                            | 2,50                                               | 2,64                                            | 2,17                                               | 2,27                                            |
| 4    | 2,52                                               | 2,71                                            | 2,50                                               | 2,55                                            | 2,15                                               | 2,19                                            |
| 5    | 2,50                                               | 2,62                                            | 2,50                                               | 2,53                                            | 2,13                                               | 2,16                                            |
| 6    | 2,52                                               | 2,60                                            | 2,66                                               | 2,52                                            | 2,29                                               | 2,19                                            |
| 7    | 3,03                                               | 2,64                                            | 3,37                                               | 2,78                                            | 2,82                                               | 2,46                                            |
| 8    | 4,01                                               | 3,18                                            | 4,09                                               | 3,62                                            | 3,37                                               | 3,08                                            |
| 9    | 4,60                                               | 4,58                                            | 4,39                                               | 4,78                                            | 3,67                                               | 3,91                                            |
| 10   | 4,89                                               | 5,91                                            | 4,31                                               | 5,59                                            | 3,70                                               | 4,50                                            |
| 11   | 4,71                                               | 6,22                                            | 4,13                                               | 5,48                                            | 3,64                                               | 4,52                                            |
| 12   | 4,59                                               | 6,31                                            | 4,11                                               | 5,36                                            | 3,51                                               | 4,39                                            |
| 13   | 4,50                                               | 6,26                                            | 4,06                                               | 5,24                                            | 3,47                                               | 4,31                                            |
| 14   | 4,47                                               | 6,09                                            | 4,03                                               | 5,29                                            | 3,51                                               | 4,35                                            |
| 15   | 4,73                                               | 6,39                                            | 4,55                                               | 5,45                                            | 4,06                                               | 4,60                                            |
| 16   | 5,71                                               | 6,98                                            | 5,32                                               | 5,75                                            | 4,58                                               | 4,80                                            |
| 17   | 7,06                                               | 7,22                                            | 5,96                                               | 6,02                                            | 5,01                                               | 4,92                                            |
| 18   | 7,52                                               | 7,42                                            | 6,10                                               | 6,30                                            | 5,20                                               | 5,18                                            |
| 19   | 7,69                                               | 7,58                                            | 6,47                                               | 6,77                                            | 5,34                                               | 5,26                                            |
| 20   | 7,82                                               | 7,82                                            | 6,90                                               | 7,10                                            | 5,59                                               | 5,39                                            |
| 21   | 7,95                                               | 7,64                                            | 7,01                                               | 6,97                                            | 5,65                                               | 5,24                                            |
| 22   | 7,60                                               | 7,02                                            | 6,54                                               | 6,31                                            | 5,27                                               | 4,86                                            |
| 23   | 6,65                                               | 6,26                                            | 5,48                                               | 5,24                                            | 4,56                                               | 4,23                                            |
| 24   | 5,05                                               | 4,97                                            | 4,08                                               | 4,02                                            | 3,44                                               | 3,38                                            |

Tabell C.5 Spesifikk last-indikator for vinter, hverdag. Forventningsverdi og standardavvik er representert i tabellen. Den individuelle lasten er regnet med utgangspunkt i samtidighetsfaktoren fra modellen på 0,387.

| Vinter, hverdag |                                              |                                               |                                                           |                                                             |                                                            |                                                              |
|-----------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Time            |                                              |                                               |                                                           |                                                             | Per individuelle leilighet                                 |                                                              |
|                 | Forventet last, $\mu$<br>[W/m <sup>2</sup> ] | Standardavvik $\sigma$<br>[W/m <sup>2</sup> ] | Forventet last, $\mu$<br>[kW/leilighet 90m <sup>2</sup> ] | Standardavvik, $\sigma$<br>[kW/leilighet 90m <sup>2</sup> ] | Forventet last, $\mu'$<br>[kW/leilighet 90m <sup>2</sup> ] | Standardavvik, $\sigma'$<br>[kW/leilighet 90m <sup>2</sup> ] |
| 1               | 3,33                                         | 0,76                                          | 0,30                                                      | 0,07                                                        | 0,78                                                       | 0,18                                                         |
| 2               | 2,71                                         | 0,49                                          | 0,24                                                      | 0,04                                                        | 0,63                                                       | 0,11                                                         |
| 3               | 2,55                                         | 0,39                                          | 0,23                                                      | 0,04                                                        | 0,59                                                       | 0,09                                                         |
| 4               | 2,52                                         | 0,34                                          | 0,23                                                      | 0,03                                                        | 0,59                                                       | 0,08                                                         |
| 5               | 2,50                                         | 0,35                                          | 0,22                                                      | 0,03                                                        | 0,58                                                       | 0,08                                                         |
| 6               | 2,52                                         | 0,36                                          | 0,23                                                      | 0,03                                                        | 0,59                                                       | 0,08                                                         |
| 7               | 3,03                                         | 0,46                                          | 0,27                                                      | 0,04                                                        | 0,70                                                       | 0,11                                                         |
| 8               | 4,01                                         | 0,72                                          | 0,36                                                      | 0,06                                                        | 0,93                                                       | 0,17                                                         |
| 9               | 4,60                                         | 0,86                                          | 0,41                                                      | 0,08                                                        | 1,07                                                       | 0,20                                                         |
| 10              | 4,89                                         | 1,06                                          | 0,44                                                      | 0,10                                                        | 1,14                                                       | 0,25                                                         |
| 11              | 4,71                                         | 1,15                                          | 0,42                                                      | 0,10                                                        | 1,09                                                       | 0,27                                                         |
| 12              | 4,59                                         | 1,23                                          | 0,41                                                      | 0,11                                                        | 1,07                                                       | 0,29                                                         |
| 13              | 4,50                                         | 1,19                                          | 0,40                                                      | 0,11                                                        | 1,05                                                       | 0,28                                                         |
| 14              | 4,47                                         | 1,15                                          | 0,40                                                      | 0,10                                                        | 1,04                                                       | 0,27                                                         |
| 15              | 4,73                                         | 1,12                                          | 0,43                                                      | 0,10                                                        | 1,10                                                       | 0,26                                                         |
| 16              | 5,71                                         | 1,31                                          | 0,51                                                      | 0,12                                                        | 1,33                                                       | 0,31                                                         |
| 17              | 7,06                                         | 1,35                                          | 0,64                                                      | 0,12                                                        | 1,64                                                       | 0,31                                                         |
| 18              | 7,52                                         | 1,40                                          | 0,68                                                      | 0,13                                                        | 1,75                                                       | 0,32                                                         |
| 19              | 7,69                                         | 1,36                                          | 0,69                                                      | 0,12                                                        | 1,79                                                       | 0,32                                                         |
| 20              | 7,82                                         | 1,25                                          | 0,70                                                      | 0,11                                                        | 1,82                                                       | 0,29                                                         |
| 21              | 7,95                                         | 1,33                                          | 0,72                                                      | 0,12                                                        | 1,85                                                       | 0,31                                                         |
| 22              | 7,60                                         | 1,19                                          | 0,68                                                      | 0,11                                                        | 1,77                                                       | 0,28                                                         |
| 23              | 6,65                                         | 1,11                                          | 0,60                                                      | 0,10                                                        | 1,55                                                       | 0,26                                                         |
| 24              | 5,05                                         | 0,94                                          | 0,45                                                      | 0,08                                                        | 1,17                                                       | 0,22                                                         |

Tabell C.6 Spesifikk last-indikator for vinter, helg. Forventningsverdi og spesifikk last-indikator er representert i tabellen. Den individuelle lasten er regnet med utgangspunkt i samtidighetsfaktoren fra modellen på 0,387.

| Vinter, helg |                                              |                                                 |                                                              |                                                                |                                                               |                                                                  |
|--------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Time         | Forventet last, $\mu$<br>[W/m <sup>2</sup> ] | Standard avvik, $\sigma$<br>[W/m <sup>2</sup> ] | Forventet last, $\mu$<br>[kW/leilighet<br>90m <sup>2</sup> ] | Standardavvik, $\sigma$<br>[kW/leilighet<br>90m <sup>2</sup> ] | Per individuelle leilighet                                    |                                                                  |
|              |                                              |                                                 |                                                              |                                                                | Forventet last, $\mu'$<br>[kW/leilighet<br>90m <sup>2</sup> ] | Standard avvik, $\sigma'$<br>[kW/leilighet<br>90m <sup>2</sup> ] |
| 1            | 4,08                                         | 0,81                                            | 0,37                                                         | 0,07                                                           | 0,95                                                          | 0,19                                                             |
| 2            | 3,18                                         | 0,66                                            | 0,29                                                         | 0,06                                                           | 0,74                                                          | 0,15                                                             |
| 3            | 2,86                                         | 0,56                                            | 0,26                                                         | 0,05                                                           | 0,66                                                          | 0,13                                                             |
| 4            | 2,71                                         | 0,50                                            | 0,24                                                         | 0,05                                                           | 0,63                                                          | 0,12                                                             |
| 5            | 2,62                                         | 0,36                                            | 0,24                                                         | 0,03                                                           | 0,61                                                          | 0,08                                                             |
| 6            | 2,60                                         | 0,32                                            | 0,23                                                         | 0,03                                                           | 0,60                                                          | 0,07                                                             |
| 7            | 2,64                                         | 0,32                                            | 0,24                                                         | 0,03                                                           | 0,61                                                          | 0,07                                                             |
| 8            | 3,18                                         | 0,54                                            | 0,29                                                         | 0,05                                                           | 0,74                                                          | 0,13                                                             |
| 9            | 4,58                                         | 0,95                                            | 0,41                                                         | 0,09                                                           | 1,07                                                          | 0,22                                                             |
| 10           | 5,91                                         | 1,14                                            | 0,53                                                         | 0,10                                                           | 1,37                                                          | 0,27                                                             |
| 11           | 6,22                                         | 1,19                                            | 0,56                                                         | 0,11                                                           | 1,45                                                          | 0,28                                                             |
| 12           | 6,31                                         | 1,46                                            | 0,57                                                         | 0,13                                                           | 1,47                                                          | 0,34                                                             |
| 13           | 6,26                                         | 1,47                                            | 0,56                                                         | 0,13                                                           | 1,45                                                          | 0,34                                                             |
| 14           | 6,09                                         | 1,49                                            | 0,55                                                         | 0,13                                                           | 1,42                                                          | 0,35                                                             |
| 15           | 6,39                                         | 1,57                                            | 0,58                                                         | 0,14                                                           | 1,49                                                          | 0,36                                                             |
| 16           | 6,98                                         | 1,70                                            | 0,63                                                         | 0,15                                                           | 1,62                                                          | 0,40                                                             |
| 17           | 7,22                                         | 1,75                                            | 0,65                                                         | 0,16                                                           | 1,68                                                          | 0,41                                                             |
| 18           | 7,42                                         | 1,70                                            | 0,67                                                         | 0,15                                                           | 1,73                                                          | 0,39                                                             |
| 19           | 7,58                                         | 1,59                                            | 0,68                                                         | 0,14                                                           | 1,76                                                          | 0,37                                                             |
| 20           | 7,82                                         | 1,63                                            | 0,70                                                         | 0,15                                                           | 1,82                                                          | 0,38                                                             |
| 21           | 7,64                                         | 1,59                                            | 0,69                                                         | 0,14                                                           | 1,78                                                          | 0,37                                                             |
| 22           | 7,02                                         | 1,26                                            | 0,63                                                         | 0,11                                                           | 1,63                                                          | 0,29                                                             |
| 23           | 6,26                                         | 1,06                                            | 0,56                                                         | 0,10                                                           | 1,45                                                          | 0,25                                                             |
| 24           | 4,97                                         | 0,91                                            | 0,45                                                         | 0,08                                                           | 1,15                                                          | 0,21                                                             |

## Vedlegg D. Bruk av modellert last fra Pedersen (2008).

Tabell D.1 viser resultatet av forventet maks last for en leilighet med størrelse 90m<sup>2</sup>, med utgangspunkt i de spesifikke last indikatorene generert av modellen til Pedersen (2008).

Tabell D.1. Modellert timesforbruk per leilighet med tilhørende standardavvik. Leiligheten har en størrelse på 90 m<sup>2</sup>.

| Ukedag                   |                            | Helg                    |                            |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| $\mu$<br>[kW/ leilighet] | $\sigma$<br>[kW/leilighet] | $\mu$<br>[kW/leilighet] | $\sigma$<br>[kW/leilighet] |
| 0,72                     | 0,12                       | 0,70                    | 0,14                       |

Da forbruksdata er i aggregert form brukes samtidighetsfaktoren for å gjenskape forbruket per individuelle enhet. Samtidighetsfaktoren i de modellerte data er presentert i tabell D.2.

Tabell D.2. Samtidighetsfaktor i datagrunnlaget for modell fra Pedersen (2008).

| Samtidighetsfaktor | Antall boenheter |
|--------------------|------------------|
| 0,387              | 38               |

Da samtidighetsfaktoren brukes for å gjenskape individuelle lasten, resulterer dette i individuell spesifikk last-indikator presentert i tabell D.3.

Tabell D.3. Høyeste individuelle last for en leilighet med størrelse på 90 m<sup>2</sup>. Verdiene er beregnet med bakgrunn i verdiene generert av modell fra Pedersen (2008) og en underliggende samtidighetsfaktor på 0,387.

| Hverdag                   |                              | Helg                      |                              |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| $\mu'$<br>[kW/ leilighet] | $\sigma'$<br>[kW/ leilighet] | $\mu'$<br>[kW/ leilighet] | $\sigma'$<br>[kW/ leilighet] |
| 1,86                      | 0,31                         | 1,81                      | 0,38                         |

*Dimensjonerende last med samtidighetsfaktor fra Pedersen (2008).*

Inndata for å finne dimensjonerende last for 36 leiligheter med samtidighetsfaktor fra Pedersen (2008) er presentert i tabell D.4.

*Tabell D.4 Inndata for estimering av dimensjonerende last er presentert i tabell D.1. Dette er for 36 enheter med utgangspunkt i individuell last og samtidighetsfaktoren fra modellen.*

| Sesong  | Vinter                   |                              |             |                               |            |
|---------|--------------------------|------------------------------|-------------|-------------------------------|------------|
|         | $\mu'$<br>[kW/leilighet] | $\sigma'$<br>[kW/ leilighet] | Time<br>[h] | Samtidighetsfaktor ,<br>$s_n$ | $t_\alpha$ |
| Hverdag | 1,86                     | 0,31                         | 21          | 0,387                         | 1,69       |
| Helg    | 1,81                     | 0,38                         | 20          | 0,387                         | 1,69       |

Resultatet er presentert i tabell D.5.her for alle timer i døgnet, der maks last timen forekommer time 21 hverdag og 20 helg. Timesverdiene er grunnlaget for lastkurvene fra modellen.

Tabell D.5 Maks last for 36 leiligheter med en størrelse på 90m<sup>2</sup> og samtidighetsfaktor fra Pedersen (2008). Maks last i de ulike kategoriene er innrammet og er i fet rød skrift. Viser maks last både for hverdag og helg, der helg blir dimensjonerende last da den er av høyeste verdi.

| Time | Hverdag                    |                                               |                           | Helg                    |                                            |                            |
|------|----------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
|      | En enhet, $\Phi$ ,<br>[kW] | Per<br>individuelle<br>enhet, $\Phi'$<br>[kW] | 36 enheter $\Phi$<br>[kW] | En enhet $\Phi$<br>[kW] | Per<br>individuelle<br>enhet, $\Phi'$ [kW] | 36 enheter,<br>$\Phi$ [kW] |
| 1    | 0,42                       | 1,07                                          | 14,96                     | 0,49                    | 1,27                                       | 17,66                      |
| 2    | 0,32                       | 0,82                                          | 11,47                     | 0,39                    | 1,00                                       | 13,90                      |
| 3    | 0,29                       | 0,75                                          | 10,40                     | 0,34                    | 0,89                                       | 12,35                      |
| 4    | 0,28                       | 0,72                                          | 10,02                     | 0,32                    | 0,83                                       | 11,51                      |
| 5    | 0,28                       | 0,72                                          | 10,01                     | 0,29                    | 0,75                                       | 10,44                      |
| 6    | 0,28                       | 0,73                                          | 10,14                     | 0,28                    | 0,73                                       | 10,14                      |
| 7    | 0,34                       | 0,88                                          | 12,33                     | 0,29                    | 0,74                                       | 10,30                      |
| 8    | 0,47                       | 1,21                                          | 16,89                     | 0,37                    | 0,95                                       | 13,30                      |
| 9    | 0,54                       | 1,41                                          | 19,62                     | 0,56                    | 1,44                                       | 20,05                      |
| 10   | 0,60                       | 1,55                                          | 21,61                     | 0,71                    | 1,82                                       | 25,41                      |
| 11   | 0,60                       | 1,55                                          | 21,57                     | 0,74                    | 1,92                                       | 26,68                      |
| 12   | 0,60                       | 1,55                                          | 21,58                     | 0,79                    | 2,04                                       | 28,46                      |
| 13   | 0,59                       | 1,51                                          | 21,07                     | 0,79                    | 2,03                                       | 28,31                      |
| 14   | 0,58                       | 1,49                                          | 20,80                     | 0,77                    | 2,00                                       | 27,88                      |
| 15   | 0,60                       | 1,54                                          | 21,45                     | 0,81                    | 2,10                                       | 29,28                      |
| 16   | 0,71                       | 1,84                                          | 25,70                     | 0,89                    | 2,29                                       | 31,95                      |
| 17   | 0,84                       | 2,17                                          | 30,27                     | 0,92                    | 2,37                                       | 32,96                      |
| 18   | 0,89                       | 2,30                                          | 32,02                     | 0,93                    | 2,39                                       | 33,33                      |
| 19   | 0,90                       | 2,32                                          | 32,39                     | 0,92                    | 2,39                                       | 33,27                      |
| 20   | 0,89                       | 2,31                                          | 32,19                     | <b>0,95</b>             | <b>2,46</b>                                | <b>34,23</b>               |
| 21   | <b>0,92</b>                | <b>2,37</b>                                   | <b>33,02</b>              | 0,93                    | 2,40                                       | 33,47                      |
| 22   | 0,86                       | 2,23                                          | 31,11                     | 0,82                    | 2,13                                       | 29,66                      |
| 23   | 0,77                       | 1,98                                          | 27,61                     | 0,72                    | 1,87                                       | 26,08                      |
| 24   | 0,60                       | 1,55                                          | 21,53                     | 0,59                    | 1,51                                       | 21,07                      |

*Dimensjonerende last med samtidighetsfaktor fra Kersting (2007).*

Inndata for å finne dimensjonerende last for 36 leiligheter med samtidighetsfaktor fra er presentert i tabell D.6.

*Tabell D.6 Inndata for estimering av dimensjonerende last. Dette er for 36 enheter med utgangspunkt i individuell last og samtidighetsfaktoren fra modellen.*

| $\mu'$ [kW/<br>leilighet] | $\sigma'$<br>[kW/ leilighet] | Time<br>[h] | $s_{36}$ | $t_{\alpha}$ |
|---------------------------|------------------------------|-------------|----------|--------------|
| 1,81                      | 0,38                         | 20          | 0,322    | 1,69         |

Resultatet er presentert i tabell D.7. her for alle timer i døgnet, der maks last timen forekommer time 21 hverdag og 20 helg. Timesverdiene er grunnlaget for lastkurvene fra modellen.

Tabell D.7 Maks last for 36 leiligheter med en størrelse på 90m<sup>2</sup> og samtidighetsfaktor fra Kersting (2007). Dimensjonerende last er innrammet og er i fet rød skrift. Viser maks last både for hverdag og helg, der helg blir dimensjonerende last da den er av høyeste verdi.

| Time | Hverdag               |                                      |                         | Helg                  |                                      |                         |
|------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|      | En enhet, $\Phi$ [kW] | Per individuelle enhet, $\Phi'$ [kW] | 36 enheter, $\Phi$ [kW] | En enhet, $\Phi$ [kW] | Per individuelle enhet, $\Phi'$ [kW] | 36 enheter, $\Phi$ [kW] |
| 1    | 0,35                  | 1,07                                 | 12,47                   | 0,41                  | 1,27                                 | 14,72                   |
| 2    | 0,27                  | 0,82                                 | 9,56                    | 0,32                  | 1,00                                 | 11,59                   |
| 3    | 0,24                  | 0,75                                 | 8,67                    | 0,29                  | 0,89                                 | 10,30                   |
| 4    | 0,23                  | 0,72                                 | 8,35                    | 0,27                  | 0,83                                 | 9,59                    |
| 5    | 0,23                  | 0,72                                 | 8,34                    | 0,24                  | 0,75                                 | 8,70                    |
| 6    | 0,23                  | 0,73                                 | 8,45                    | 0,23                  | 0,73                                 | 8,46                    |
| 7    | 0,29                  | 0,88                                 | 10,27                   | 0,24                  | 0,74                                 | 8,58                    |
| 8    | 0,39                  | 1,21                                 | 14,08                   | 0,31                  | 0,95                                 | 11,09                   |
| 9    | 0,45                  | 1,41                                 | 16,35                   | 0,46                  | 1,44                                 | 16,71                   |
| 10   | 0,50                  | 1,55                                 | 18,01                   | 0,59                  | 1,82                                 | 21,18                   |
| 11   | 0,50                  | 1,55                                 | 17,98                   | 0,62                  | 1,92                                 | 22,24                   |
| 12   | 0,50                  | 1,55                                 | 17,99                   | 0,66                  | 2,04                                 | 23,73                   |
| 13   | 0,49                  | 1,51                                 | 17,56                   | 0,66                  | 2,03                                 | 23,60                   |
| 14   | 0,48                  | 1,49                                 | 17,34                   | 0,65                  | 2,00                                 | 23,24                   |
| 15   | 0,50                  | 1,54                                 | 17,88                   | 0,68                  | 2,10                                 | 24,41                   |
| 16   | 0,60                  | 1,84                                 | 21,42                   | 0,74                  | 2,29                                 | 26,63                   |
| 17   | 0,70                  | 2,17                                 | 25,23                   | 0,76                  | 2,37                                 | 27,47                   |
| 18   | 0,74                  | 2,30                                 | 26,69                   | 0,77                  | 2,39                                 | 27,78                   |
| 19   | 0,75                  | 2,32                                 | 27,00                   | 0,77                  | 2,39                                 | 27,74                   |
| 20   | 0,75                  | 2,31                                 | 26,84                   | <b>0,79</b>           | <b>2,46</b>                          | <b>28,53</b>            |
| 21   | 0,76                  | 2,37                                 | 27,52                   | 0,77                  | 2,40                                 | 27,90                   |
| 22   | 0,72                  | 2,23                                 | 25,93                   | 0,69                  | 2,13                                 | 24,73                   |
| 23   | 0,64                  | 1,98                                 | 23,01                   | 0,60                  | 1,87                                 | 21,74                   |
| 24   | 0,50                  | 1,55                                 | 17,94                   | 0,49                  | 1,51                                 | 17,56                   |

## Last-flyttingspotensialet for å redusere dimensjonerende last

I tabell D.8 er datagrunnlaget for last-flyttingspotensialet presentert.

*Tabell D.8. Underlag for last-flyttingspotensialet for dagen med dimensjonerende last fra modellen. Der last kan flyttes til etterfølgende time reduseres lasten med 1% og med rullerende innkobling reduseres lasten med 2,6%.*

| Helg                                                                                                                                                |                  |                                     |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Last-flytting for en leilighet i aggregert tilstand i et område med 36 leiligheter med samtidighetsfaktor fra Pedersen (2008) [kWh/h per leilighet] |                  |                                     |                                |
| Time                                                                                                                                                | Opprinnelig last | Last flyttes til etterfølgende time | Last med rullerende innkobling |
| 1                                                                                                                                                   | 0,49             | 0,49                                | 0,49                           |
| 2                                                                                                                                                   | 0,39             | 0,39                                | 0,39                           |
| 3                                                                                                                                                   | 0,34             | 0,34                                | 0,34                           |
| 4                                                                                                                                                   | 0,32             | 0,32                                | 0,32                           |
| 5                                                                                                                                                   | 0,29             | 0,29                                | 0,29                           |
| 6                                                                                                                                                   | 0,28             | 0,28                                | 0,28                           |
| 7                                                                                                                                                   | 0,29             | 0,29                                | 0,29                           |
| 8                                                                                                                                                   | 0,37             | 0,37                                | 0,37                           |
| 9                                                                                                                                                   | 0,56             | 0,56                                | 0,56                           |
| 10                                                                                                                                                  | 0,71             | 0,71                                | 0,71                           |
| 11                                                                                                                                                  | 0,74             | 0,74                                | 0,74                           |
| 12                                                                                                                                                  | 0,79             | 0,79                                | 0,79                           |
| 13                                                                                                                                                  | 0,79             | 0,79                                | 0,79                           |
| 14                                                                                                                                                  | 0,77             | 0,77                                | 0,77                           |
| 15                                                                                                                                                  | 0,81             | 0,81                                | 0,81                           |
| 16                                                                                                                                                  | 0,89             | 0,89                                | 0,89                           |
| 17                                                                                                                                                  | 0,92             | 0,92                                | 0,92                           |
| 18                                                                                                                                                  | 0,93             | 0,93                                | 0,93                           |
| 19                                                                                                                                                  | 0,92             | 0,92                                | 0,92                           |
| 20                                                                                                                                                  | <b>0,95</b>      | <b>0,94</b>                         | <b>0,93</b>                    |
| 21                                                                                                                                                  | 0,93             | <b>0,94</b>                         | <b>0,93</b>                    |
| 22                                                                                                                                                  | 0,82             | 0,82                                | <b>0,84</b>                    |
| 23                                                                                                                                                  | 0,72             | 0,72                                | <b>0,74</b>                    |
| 24                                                                                                                                                  | 0,59             | 0,59                                | 0,59                           |

## Vedlegg E. Grunnlag utregning av samtidighetsfaktor fra Ringeriks-Kraft Nett (2018)

### Beregning av samtidighetsfaktor

#### Eksempel utregning:

Tabell E.1 Der rute én er maks aggregerte for leilighet 1, og rute to er maks aggregerte for leilighet 1 og 2, rute tre er maks aggregerte for leilighet 1,2 og 3. Tallene i tabellen er basert på utregning av samtidighetsfaktoren fra 2015.

| Leilighet | Maks last per individuelle leilighet per time [kWh/h] | Maks aggregerte last per time [kWh] | Beregning av samtidighetsfaktor<br>$s_n = \frac{P_{\Sigma maks}}{\sum_{i=1}^n P_{i, maks}}$ | Samtidighetsfaktor |
|-----------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1         | 2,91                                                  | 2,91                                | $\frac{2,91}{2,91}$                                                                         | 1                  |
| 2         | 2,97                                                  | 4,42                                | $\frac{4,42}{2,91 + 2,97}$                                                                  | 0,7517             |
| 3         | 2,51                                                  | 5,54                                | $\frac{5,54}{2,91 + 2,97 + 2,51}$                                                           | 0,6603             |
| 4         | 2,83                                                  | 6,46                                | $\frac{6,46}{2,91 + 2,97 + 2,51 + 2,83}$                                                    | 0,5758             |
| 5         | 2,32                                                  | 7,48                                | $\frac{7,48}{2,91 + .. + 2,32}$                                                             | 0,5524             |
| ...       | ...                                                   | ...                                 | ...                                                                                         | ...                |
| 36        | 3,47                                                  | 32,7                                | $\frac{32,7}{2,91 + .. + 3,47}$                                                             | 0,3096             |

Tabell E.2. Resultat av utregning av samtidighetsfaktor baser på datagrunnlaget fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Der rute én i maks aggregerte last per time er maks aggregerte for leilighet 1, og rute to er maks aggregerte for leilighet 1 og 2, rute tre er maks aggregerte for leilighet 1,2 og 3.Samtidighetsfaktor for 2015.

| <b>2014</b> |                                         |                                     |                    |
|-------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Leiligheter | Maks individuelle last per time [kWh/h] | Maks aggregerte last per time [kWh] | Samtidighetsfaktor |
| 1           | 2,78                                    | 2,78                                | 1,000              |
| 2           | 3,42                                    | 4,32                                | 0,697              |
| 3           | 3,33                                    | 5,61                                | 0,589              |
| 4           | 3,33                                    | 6,85                                | 0,533              |
| 5           | 2,43                                    | 7,92                                | 0,518              |
| 6           | 2,66                                    | 9,17                                | 0,511              |
| 7           | 3,34                                    | 9,9                                 | 0,465              |
| 8           | 3,2                                     | 11,3                                | 0,461              |
| 9           | 2,56                                    | 12,13                               | 0,448              |
| 10          | 3,26                                    | 13,94                               | 0,460              |
| 11          | 1,8                                     | 14,36                               | 0,447              |
| 12          | 3,32                                    | 14,86                               | 0,419              |
| 13          | 3,77                                    | 16,03                               | 0,409              |
| 14          | 1,91                                    | 16,8                                | 0,409              |
| 15          | 3,13                                    | 17,57                               | 0,397              |
| 16          | 3,4                                     | 20,11                               | 0,422              |
| 17          | 2,87                                    | 22,09                               | 0,437              |
| 18          | 2,92                                    | 22,87                               | 0,428              |
| 19          | 3,02                                    | 23,53                               | 0,417              |
| 20          | 3,42                                    | 25,05                               | 0,418              |
| 21          | 1,94                                    | 26,06                               | 0,422              |
| 22          | 2,86                                    | 26,73                               | 0,413              |
| 23          | 4,66                                    | 28,09                               | 0,405              |
| 24          | 2,7                                     | 30,4                                | 0,422              |
| 25          | 2,25                                    | 30,21                               | 0,407              |
| 26          | 3,64                                    | 31,57                               | 0,405              |
| 27          | 2,07                                    | 31,8                                | 0,398              |
| 28          | 2,73                                    | 31,94                               | 0,386              |
| 29          | 4,04                                    | 34,7                                | 0,400              |
| 30          | 2,13                                    | 35,65                               | 0,401              |
| 31          | 2,8                                     | 35,79                               | 0,390              |
| 32          | 3,41                                    | 36,68                               | 0,386              |
| 33          | 2,86                                    | 38,86                               | 0,397              |
| 34          | 3,39                                    | 39,75                               | 0,392              |
| 35          | 3,3                                     | 41,12                               | 0,393              |
| 36          | 1,96                                    | 41,26                               | 0,387              |

Tabell E.3. Resultat av utregning av samtidighetsfaktor baser på datagrunnlaget fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Der rute én i maks aggregerte last per time er maks aggregerte for leilighet 1, og rute to er maks aggregerte for leilighet 1 og 2, rute tre er maks aggregerte for leilighet 1,2 og 3.Samtidighetsfaktor for 2015.

| 2015      |                                         |                                     |                    |
|-----------|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Leilighet | Maks individuelle last per time [kWh/h] | Maks aggregerte last per time [kWh] | Samtidighetsfaktor |
| 1         | 2,91                                    | 2,91                                | 1                  |
| 2         | 2,97                                    | 4,42                                | 0,7517             |
| 3         | 2,51                                    | 5,54                                | 0,6603             |
| 4         | 2,83                                    | 6,46                                | 0,5758             |
| 5         | 2,32                                    | 7,48                                | 0,5524             |
| 6         | 3,59                                    | 8,27                                | 0,4828             |
| 7         | 3,58                                    | 9,43                                | 0,4553             |
| 8         | 3,4                                     | 10,54                               | 0,4372             |
| 9         | 2,32                                    | 11,1                                | 0,4200             |
| 10        | 2,95                                    | 11,87                               | 0,4040             |
| 11        | 1,52                                    | 12,96                               | 0,4194             |
| 12        | 3,19                                    | 13,12                               | 0,3849             |
| 13        | 3,33                                    | 14,66                               | 0,3918             |
| 14        | 2,32                                    | 15,37                               | 0,3868             |
| 15        | 2,75                                    | 16,49                               | 0,3881             |
| 16        | 2,99                                    | 17,51                               | 0,3850             |
| 17        | 2,36                                    | 19,47                               | 0,4070             |
| 18        | 2,42                                    | 19,95                               | 0,3969             |
| 19        | 3,08                                    | 20,38                               | 0,3821             |
| 20        | 3,53                                    | 21,79                               | 0,3832             |
| 21        | 2,2                                     | 22,01                               | 0,3726             |
| 22        | 3,31                                    | 23,07                               | 0,3698             |
| 23        | 4,75                                    | 26,35                               | 0,3925             |
| 24        | 2,69                                    | 27,28                               | 0,3907             |
| 25        | 2,31                                    | 27,49                               | 0,3811             |
| 26        | 3,44                                    | 28,11                               | 0,3720             |
| 27        | 1,4                                     | 28,24                               | 0,3669             |
| 28        | 2,63                                    | 28,94                               | 0,3636             |
| 29        | 3,72                                    | 29,24                               | 0,3509             |
| 30        | 1,91                                    | 29,66                               | 0,3480             |
| 31        | 3,56                                    | 30,25                               | 0,3407             |
| 32        | 4,21                                    | 30,43                               | 0,3272             |
| 33        | 3,48                                    | 31,11                               | 0,3225             |
| 34        | 2,41                                    | 31,42                               | 0,3177             |
| 35        | 3,25                                    | 31,84                               | 0,3117             |
| 36        | 3,47                                    | 32,7                                | 0,3096             |

Tabell E.4. Resultat av utregning av samtidighetsfaktor baser på datagrunnlaget fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Der rute én i maks aggregerte last per time er maks aggregerte for leilighet 1, og rute to er maks aggregerte for leilighet 1 og 2, rute tre er maks aggregerte for leilighet 1,2 og 3. Samtidighetsfaktor beregnet på reelle måledata fra 2016.

| 2016      |                                         |                                       |                    |
|-----------|-----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Leilighet | Maks individuelle last per time [kWh/h] | Maks aggregerte last per time [kWh/h] | Samtidighetsfaktor |
| 1         | 2,57                                    | 2,57                                  | 1,000              |
| 2         | 3,32                                    | 4,06                                  | 0,689              |
| 3         | 2,81                                    | 5,08                                  | 0,584              |
| 4         | 3,03                                    | 5,53                                  | 0,471              |
| 5         | 2,23                                    | 7,35                                  | 0,527              |
| 6         | 3,14                                    | 8,27                                  | 0,484              |
| 7         | 2,75                                    | 9,08                                  | 0,457              |
| 8         | 3,59                                    | 10,3                                  | 0,439              |
| 9         | 2,34                                    | 11,52                                 | 0,447              |
| 10        | 3,44                                    | 12,32                                 | 0,422              |
| 11        | 1,81                                    | 12,46                                 | 0,402              |
| 12        | 2,37                                    | 13,48                                 | 0,404              |
| 13        | 3,84                                    | 14,48                                 | 0,389              |
| 14        | 2,24                                    | 15,08                                 | 0,382              |
| 15        | 3,38                                    | 16,38                                 | 0,382              |
| 16        | 3,18                                    | 17,55                                 | 0,381              |
| 17        | 2,53                                    | 18,36                                 | 0,378              |
| 18        | 2,96                                    | 18,58                                 | 0,361              |
| 19        | 3,11                                    | 19,19                                 | 0,351              |
| 20        | 3,8                                     | 20,4                                  | 0,349              |
| 21        | 1,92                                    | 20,66                                 | 0,342              |
| 22        | 2,48                                    | 20,9                                  | 0,333              |
| 23        | 2,99                                    | 23,31                                 | 0,354              |
| 24        | 3                                       | 24,47                                 | 0,356              |
| 25        | 1,98                                    | 25,15                                 | 0,355              |
| 26        | 4,15                                    | 26,3                                  | 0,351              |
| 27        | 1,86                                    | 26,65                                 | 0,347              |
| 28        | 2,27                                    | 27,03                                 | 0,342              |
| 29        | 5,25                                    | 27,7                                  | 0,328              |
| 30        | 2,82                                    | 28,47                                 | 0,327              |
| 31        | 3,12                                    | 28,62                                 | 0,317              |
| 32        | 3,8                                     | 29,37                                 | 0,312              |
| 33        | 2,68                                    | 29,55                                 | 0,305              |
| 34        | 2,93                                    | 30,44                                 | 0,305              |
| 35        | 3,55                                    | 31,17                                 | 0,302              |
| 36        | 2,6                                     | 31,31                                 | 0,296              |

Tabell E.5. Resultat av utregning av samtidighetsfaktor baser på datagrunnlaget fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Der rute én i maks aggregerte last per time er maks aggregerte for leilighet 1, og rute to er maks aggregerte for leilighet 1 og 2, rute tre er maks aggregerte for leilighet 1,2 og 3. Samtidighetsfaktor beregnet på reelle måledata fra 2017.

| <b>2017</b> |                                         |                                       |                    |
|-------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Leiligheter | Maks individuelle last per time [kWh/h] | Maks aggregerte last per time [kWh/h] | Samtidighetsfaktor |
| 1           | 2,09                                    | 2,09                                  | 1,000              |
| 2           | 3,04                                    | 3,6                                   | 0,702              |
| 3           | 2,28                                    | 4,32                                  | 0,583              |
| 4           | 2,8                                     | 6,09                                  | 0,596              |
| 5           | 2,09                                    | 6,68                                  | 0,543              |
| 6           | 3,36                                    | 8,02                                  | 0,512              |
| 7           | 4,21                                    | 10,88                                 | 0,548              |
| 8           | 2,43                                    | 11,65                                 | 0,522              |
| 9           | 2,91                                    | 12,73                                 | 0,505              |
| 10          | 2,9                                     | 14,27                                 | 0,508              |
| 11          | 1,66                                    | 15,58                                 | 0,523              |
| 12          | 2,44                                    | 17,34                                 | 0,538              |
| 13          | 3                                       | 17,79                                 | 0,505              |
| 14          | 2,02                                    | 18,66                                 | 0,501              |
| 15          | 2,52                                    | 19,64                                 | 0,494              |
| 16          | 2,71                                    | 20,3                                  | 0,478              |
| 17          | 2,63                                    | 21,22                                 | 0,471              |
| 18          | 2,61                                    | 21,55                                 | 0,452              |
| 19          | 3                                       | 22,51                                 | 0,444              |
| 20          | 3,94                                    | 23,96                                 | 0,439              |
| 21          | 2,15                                    | 24,59                                 | 0,433              |
| 22          | 2,1                                     | 25                                    | 0,425              |
| 23          | 2,6                                     | 26,62                                 | 0,433              |
| 24          | 3,53                                    | 27,83                                 | 0,428              |
| 25          | 1,81                                    | 27,96                                 | 0,418              |
| 26          | 4,82                                    | 28,94                                 | 0,404              |
| 27          | 1,64                                    | 29,21                                 | 0,399              |
| 28          | 2,33                                    | 29,66                                 | 0,392              |
| 29          | 3,24                                    | 30,17                                 | 0,383              |
| 30          | 2,64                                    | 31,14                                 | 0,382              |
| 31          | 2,42                                    | 32,04                                 | 0,382              |
| 32          | 3,54                                    | 32,83                                 | 0,375              |
| 33          | 2,73                                    | 33,56                                 | 0,372              |
| 34          | 2,24                                    | 34,06                                 | 0,368              |
| 35          | 3,47                                    | 34,77                                 | 0,363              |
| 36          | 3,54                                    | 34,96                                 | 0,352              |

## Vedlegg F. R-kvadrert ved evaluering av samtidighetsfaktor

Evaluering av samtidighetsfaktor ved hjelp av trendlinje som indikator.

*Tabell F.1 Verdien av  $R^2$  for den geometriske trendlinjen basert på samtidighetsfaktor beregnet 36 enheter fra Ringeriks-Kraft Nett (2018).*

| År   | $R^2$ trendlinjene |
|------|--------------------|
| 2014 | 0,859              |
| 2015 | 0,930              |
| 2016 | 0,953              |
| 2017 | 0,925              |

Vedlegg G. Generering av nye spesifikke last-indikatorer fra modell fra (Pedersen 2008) med inndata fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).

Tabell G.1 Spesifikke last-indikatorer for kategorien vinter. Genererte basert på datagrunnlaget fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Alle fire årene med data er lagt til grunne.

| Time | Vinter                                                                            |                                           |                                                   |                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|      | Aggregert tilstand per enhet basert på et område med 36 enheter [kWh/h leilighet] |                                           |                                                   |                                           |
|      | Hverdag                                                                           |                                           | Helg                                              |                                           |
|      | Forventet last-indikator, $\mu$ [kWh/h leilighet]                                 | Standardavvik, $\sigma$ [kWh/h leilighet] | Forventet last-indikator, $\mu$ [kWh/h leilighet] | Standardavvik, $\sigma$ [kWh/h leilighet] |
| 1    | 0,402                                                                             | 0,208                                     | 0,412                                             | 0,193                                     |
| 2    | 0,352                                                                             | 0,178                                     | 0,359                                             | 0,173                                     |
| 3    | 0,332                                                                             | 0,162                                     | 0,333                                             | 0,149                                     |
| 4    | 0,327                                                                             | 0,152                                     | 0,326                                             | 0,145                                     |
| 5    | 0,325                                                                             | 0,151                                     | 0,328                                             | 0,144                                     |
| 6    | 0,331                                                                             | 0,153                                     | 0,325                                             | 0,143                                     |
| 7    | 0,353                                                                             | 0,166                                     | 0,331                                             | 0,146                                     |
| 8    | 0,384                                                                             | 0,188                                     | 0,364                                             | 0,171                                     |
| 9    | 0,439                                                                             | 0,223                                     | 0,420                                             | 0,213                                     |
| 10   | 0,498                                                                             | 0,257                                     | 0,489                                             | 0,261                                     |
| 11   | 0,523                                                                             | 0,293                                     | 0,530                                             | 0,293                                     |
| 12   | 0,524                                                                             | 0,303                                     | 0,546                                             | 0,308                                     |
| 13   | 0,513                                                                             | 0,307                                     | 0,537                                             | 0,304                                     |
| 14   | 0,515                                                                             | 0,307                                     | 0,539                                             | 0,314                                     |
| 15   | 0,537                                                                             | 0,313                                     | 0,558                                             | 0,333                                     |
| 16   | 0,573                                                                             | 0,328                                     | 0,578                                             | 0,340                                     |
| 17   | 0,629                                                                             | 0,361                                     | 0,628                                             | 0,373                                     |
| 18   | 0,666                                                                             | 0,367                                     | 0,660                                             | 0,371                                     |
| 19   | 0,673                                                                             | 0,372                                     | 0,683                                             | 0,373                                     |
| 20   | 0,657                                                                             | 0,338                                     | 0,668                                             | 0,343                                     |
| 21   | 0,642                                                                             | 0,308                                     | 0,644                                             | 0,299                                     |
| 22   | 0,624                                                                             | 0,284                                     | 0,619                                             | 0,262                                     |
| 23   | 0,580                                                                             | 0,258                                     | 0,571                                             | 0,239                                     |
| 24   | 0,491                                                                             | 0,236                                     | 0,498                                             | 0,220                                     |

Tabell G.2 Spesifikke last-indikatorer for kategorien sommer. Genererte basert på datagrunnlaget fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) . Alle fire årene med data er lagt til grunne.

| Time | Sommer                                                                            |                                           |                                                   |                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|      | Aggregert tilstand per enhet basert på et område med 36 enheter [kWh/h leilighet] |                                           |                                                   |                                           |
|      | Hverdag                                                                           |                                           | Helg                                              |                                           |
|      | Forventet last-indikator, $\mu$ [kWh/h leilighet]                                 | Standardavvik, $\sigma$ [kWh/h leilighet] | Forventet last-indikator, $\mu$ [kWh/h leilighet] | Standardavvik, $\sigma$ [kWh/h leilighet] |
| 1    | 0,325                                                                             | 0,153                                     | 0,320                                             | 0,149                                     |
| 2    | 0,264                                                                             | 0,113                                     | 0,270                                             | 0,118                                     |
| 3    | 0,248                                                                             | 0,098                                     | 0,249                                             | 0,101                                     |
| 4    | 0,244                                                                             | 0,090                                     | 0,244                                             | 0,092                                     |
| 5    | 0,243                                                                             | 0,089                                     | 0,245                                             | 0,091                                     |
| 6    | 0,241                                                                             | 0,091                                     | 0,244                                             | 0,091                                     |
| 7    | 0,249                                                                             | 0,095                                     | 0,244                                             | 0,092                                     |
| 8    | 0,273                                                                             | 0,117                                     | 0,257                                             | 0,107                                     |
| 9    | 0,309                                                                             | 0,152                                     | 0,287                                             | 0,127                                     |
| 10   | 0,354                                                                             | 0,198                                     | 0,335                                             | 0,166                                     |
| 11   | 0,365                                                                             | 0,230                                     | 0,356                                             | 0,210                                     |
| 12   | 0,366                                                                             | 0,243                                     | 0,358                                             | 0,227                                     |
| 13   | 0,353                                                                             | 0,238                                     | 0,362                                             | 0,238                                     |
| 14   | 0,346                                                                             | 0,227                                     | 0,347                                             | 0,220                                     |
| 15   | 0,354                                                                             | 0,233                                     | 0,345                                             | 0,217                                     |
| 16   | 0,373                                                                             | 0,241                                     | 0,366                                             | 0,241                                     |
| 17   | 0,396                                                                             | 0,263                                     | 0,372                                             | 0,244                                     |
| 18   | 0,423                                                                             | 0,285                                     | 0,378                                             | 0,246                                     |
| 19   | 0,415                                                                             | 0,281                                     | 0,398                                             | 0,258                                     |
| 20   | 0,408                                                                             | 0,270                                     | 0,416                                             | 0,268                                     |
| 21   | 0,413                                                                             | 0,251                                     | 0,415                                             | 0,243                                     |
| 22   | 0,422                                                                             | 0,239                                     | 0,417                                             | 0,231                                     |
| 23   | 0,418                                                                             | 0,213                                     | 0,413                                             | 0,212                                     |
| 24   | 0,391                                                                             | 0,186                                     | 0,384                                             | 0,186                                     |

Tabell G.3 Spesifikke last-indikatorer for kategorien vår/høst. Genererte basert på datagrunnlaget fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018) . Alle fire årene med data er lagt til grunne.

| Basert på alle<br>4 år i<br>datasettet | Vår/høst                                                                             |                                                 |                                                                |                                                 |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                        | Aggregert tilstand per enhet basert på et område med 36<br>enheter [kWh/h leilighet] |                                                 |                                                                |                                                 |
|                                        | Hverdag                                                                              |                                                 | Helg                                                           |                                                 |
| Time                                   | Forventet<br>last-<br>indikator, $\mu$<br>[kWh/h<br>leilighet]                       | Standardavvik,<br>$\sigma$ [kWh/h<br>leilighet] | Forventet<br>last-<br>indikator, $\mu$<br>[kWh/h<br>leilighet] | Standardavvik,<br>$\sigma$ [kWh/h<br>leilighet] |
| 1                                      | 0,381                                                                                | 0,188                                           | 0,382                                                          | 0,186                                           |
| 2                                      | 0,315                                                                                | 0,158                                           | 0,323                                                          | 0,162                                           |
| 3                                      | 0,301                                                                                | 0,143                                           | 0,300                                                          | 0,147                                           |
| 4                                      | 0,295                                                                                | 0,138                                           | 0,294                                                          | 0,140                                           |
| 5                                      | 0,295                                                                                | 0,137                                           | 0,297                                                          | 0,139                                           |
| 6                                      | 0,298                                                                                | 0,138                                           | 0,297                                                          | 0,137                                           |
| 7                                      | 0,308                                                                                | 0,148                                           | 0,299                                                          | 0,139                                           |
| 8                                      | 0,342                                                                                | 0,167                                           | 0,320                                                          | 0,158                                           |
| 9                                      | 0,381                                                                                | 0,195                                           | 0,358                                                          | 0,186                                           |
| 10                                     | 0,434                                                                                | 0,246                                           | 0,419                                                          | 0,227                                           |
| 11                                     | 0,452                                                                                | 0,270                                           | 0,449                                                          | 0,268                                           |
| 12                                     | 0,453                                                                                | 0,291                                           | 0,456                                                          | 0,292                                           |
| 13                                     | 0,438                                                                                | 0,283                                           | 0,444                                                          | 0,291                                           |
| 14                                     | 0,429                                                                                | 0,278                                           | 0,440                                                          | 0,288                                           |
| 15                                     | 0,439                                                                                | 0,285                                           | 0,438                                                          | 0,284                                           |
| 16                                     | 0,460                                                                                | 0,297                                           | 0,449                                                          | 0,298                                           |
| 17                                     | 0,492                                                                                | 0,320                                           | 0,466                                                          | 0,308                                           |
| 18                                     | 0,526                                                                                | 0,342                                           | 0,501                                                          | 0,332                                           |
| 19                                     | 0,538                                                                                | 0,349                                           | 0,525                                                          | 0,346                                           |
| 20                                     | 0,546                                                                                | 0,333                                           | 0,540                                                          | 0,330                                           |
| 21                                     | 0,551                                                                                | 0,309                                           | 0,542                                                          | 0,301                                           |
| 22                                     | 0,552                                                                                | 0,281                                           | 0,544                                                          | 0,274                                           |
| 23                                     | 0,535                                                                                | 0,242                                           | 0,525                                                          | 0,242                                           |
| 24                                     | 0,478                                                                                | 0,217                                           | 0,467                                                          | 0,218                                           |

Vedlegg H. Dimensjonerende last ved bruk av nye spesifikke last-indikatorer fra modell og inndata fra Ringeriks-Kraft Nett (2018).

*Inndata for dimensjonerende last for 36 enheter.*

Samtidighetsfaktoren brukes ikke for å estimere dimensjonerende last, da den er inkorporert i last-indikatorene.

*Tabell H.1. Last indikatorer for en leilighet i aggregert tilstand. Forventningsverdi og tilhørende standardavvik. Modellerte forbruksdata med datagrunnlag fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018).*

| $\mu$ [kWh/h leilighet] | $\sigma$<br>[kWh/h leilighet] | $t_{\alpha}$ |
|-------------------------|-------------------------------|--------------|
| 0,68                    | 0,37                          | 1,64         |

*Inndata for dimensjonerende last for 1500 enheter.*

*Tabell H.2. Individuelle last indikatorer for leilighet. Forventningsverdi og tilhørende standardavvik. Modellerte forbruksdata med datagrunnlag fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Her er kun inndata for timen med dimensjonerende last presentert.*

| $\mu'$ [kWh/h leilighet] | $\sigma'$<br>[kWh/h leilighet] |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1,77                     | 0,96                           |

Den aggregerte lasten for 1500 enheter finnes ved inndataene presentert i tabell 32.

Samtidighetsfaktoren fra Kersting (2007) ved aggregering av 70 enheter brukes ved aggregering av 1500 enheter.

*Tabell H.3. Datagrunnlag for estimering av dimensjonerende last ved aggregering av 1500 enheter, ved å ta i bruk modell basert på data fra (Ringeriks-Kraft Nett 2018). Der forventningsverdi og standardavvik er presentert for en individuell leilighet. Med empirisk samtidighetsfaktor fra (Kersting 2007) for 70 enheter. Her er kun inndata for timen med dimensjonerende last presentert.*

| $\mu'$ [kWh/h leilighet] | $\sigma'$<br>[kWh/h leilighet] | Samtidighetsfaktor<br>1500 enheter, $s_{70}$ | $t_{\alpha}$ |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|--------------|
| 1,77                     | 0,96                           | 0,3125                                       | 1,64         |

Tabell H.4 Grunnlag for lastkurve ved bruk av tilpasset modell leiligheter ved aggregering av 1500 og samtidighetsfaktor fra Kersting (2007). Dimensjonerende last i de ulike kategoriene er innrammet og er i fet rød skrift. Viser maks last både for hverdag og helg, der helg blir dimensjonerende last da den er av høyeste verdi.

| Time | Maks last per leilighet, $\Phi$ (1500 leiligheter) [kWh/h leilighet] |             | Aggregert 1500 leiligheter, $\Phi$ [kWh/h] |                |
|------|----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------|----------------|
|      | Hverdag                                                              | Helg        | Hverdag                                    | Helg           |
| 1    | 0,60                                                                 | 0,59        | 899,66                                     | 881,75         |
| 2    | 0,52                                                                 | 0,52        | 779,69                                     | 777,69         |
| 3    | 0,48                                                                 | 0,47        | 724,43                                     | 698,10         |
| 4    | 0,46                                                                 | 0,46        | 696,93                                     | 682,65         |
| 5    | 0,46                                                                 | 0,46        | 693,80                                     | 683,81         |
| 6    | 0,47                                                                 | 0,45        | 704,76                                     | 677,60         |
| 7    | 0,50                                                                 | 0,46        | 756,69                                     | 691,66         |
| 8    | 0,56                                                                 | 0,52        | 838,40                                     | 780,80         |
| 9    | 0,65                                                                 | 0,62        | 973,77                                     | 930,61         |
| 10   | 0,74                                                                 | 0,74        | 1113,05                                    | 1111,50        |
| 11   | 0,81                                                                 | 0,82        | 1215,25                                    | 1223,88        |
| 12   | 0,82                                                                 | 0,85        | 1236,29                                    | 1273,04        |
| 13   | 0,82                                                                 | 0,84        | 1231,37                                    | 1253,14        |
| 14   | 0,82                                                                 | 0,85        | 1233,59                                    | 1276,63        |
| 15   | 0,85                                                                 | 0,89        | 1272,40                                    | 1337,61        |
| 16   | 0,90                                                                 | 0,92        | 1346,77                                    | 1375,14        |
| 17   | 0,99                                                                 | 1,00        | 1479,21                                    | 1501,37        |
| 18   | 1,02                                                                 | 1,02        | 1536,44                                    | 1535,74        |
| 19   | 1,04                                                                 | <b>1,05</b> | 1553,22                                    | <b>1569,11</b> |
| 20   | 0,98                                                                 | 0,99        | 1467,58                                    | 1490,78        |
| 21   | 0,93                                                                 | 0,92        | 1388,95                                    | 1373,60        |
| 22   | 0,88                                                                 | 0,85        | 1320,22                                    | 1270,02        |
| 23   | 0,81                                                                 | 0,78        | 1214,12                                    | 1166,41        |
| 24   | 0,71                                                                 | 0,69        | 1063,30                                    | 1039,09        |

## Vedlegg I. Beregninger for fleksibilitetspotensialet for Fjellhamar Bruk.

### *Fleksibilitetspotensialet oppvaskmaskin*

30% aksepterer laststyring av oppvaskmaskin. Da oppvaskmaskiner antas å ha sykluser med varigheter 1,5 (Rangøy 2013) til 4 timer utsettes alle oppvaskmaskinene som slås på i tidsrommet time 17, til time 21. Dette for å være sikker på at ingen av oppvaskmaskinene som aksepterer last-styring er på i timen med topplast.

*Tabell I.1. Bakgrunn for utnyttelse av fleksibilitetspotensialet som ligger i fryserne. Med topplasttiden som forekommer i juletiden avviker den formålsfordelte lastkurven fra opprinnelig. I scenario 1 minker andelen bruk av elektrisitet til oppvaskmaskin med 50% i timene 17 til 21. I scenario 2 øker den med 50% i timene 17 til 21.*

| Time | Antall kWh til oppvaskmaskin for alle 1500 innbyggere (ElDeK) | Scenario 1                          |                                                  | Scenario 2                        |                                                  |
|------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|
|      |                                                               | Andelen av forbruket minker med 50% | Last-reduisering med 30% som aksepterer styring: | Andelen av forbruket øker med 50% | Last-reduisering med 30% som aksepterer styring: |
| 17   | 89,05                                                         | $89,05 \times 0,5 = 44,53$          | 13,36                                            | $89,05 \times 1,5 = 133,58$       | 40,07                                            |
| 18   | 83,72                                                         | $83,72 \times 0,5 = 41,86$          | 12,56                                            | $83,72 \times 1,5 = 125,59$       | 37,68                                            |
| 19   | 77,19                                                         | $77,19 \times 0,5 = 38,60$          | 11,58                                            | $77,19 \times 1,5 = 115,79$       | 34,74                                            |
| 20   | 101,36                                                        | $101,36 \times 0,5 = 50,68$         | 15,20                                            | $101,36 \times 0,5 = 50,68$       | 45,61                                            |
| 21   | 99,89                                                         | $99,89 \times 0,5 = 49,95$          | 14,98                                            | $99,89 \times 0,5 = 49,95$        | 44,95                                            |

### *Fleksibilitetspotensialet fryser*

#### *Scenario 1.*

80% av leilighetene i Fjellhamar bruk tillater last-styring. Dette tilsvarer totalt 1200 fryser.

En antagelse er at en fryser i Fjellhamar Bruk har en last på 70 Wh/h. I scenario en er det 20% av de styrbare fryserne som har tilstrekkelig med kapasitet til å slås av i time 19, dette tilsvarer 240 fryser. Dette resulterer i regnestykket:

$$240 \text{ fryser} \times 70 \text{ Wh/h per fryser} = 16,8 \text{ kWh/h.}$$

#### *Scenario 2.*

I scenario 2 er det 40% av de styrbare fryserne som har tilstrekkelig til kapasitet til å slås av i topplast-timen. Dette resulterer i et last-flyttingspotensiale for 480 fryser. Dette gir følgende regnestykke:

$$480 \text{ fryser} \times 70 \text{ Wh/h per fryser} = 33,6 \text{ kWh/h.}$$

Dette resulterer i en reduksjon i timen med topplast, og tilsvarende øker lasten i den etterfølgende time, som illustrert i tabell H.2.

*Tabell I.2 Resultat fleksibilitetspotensialet for fryser i Fjellhamar bruk. I scenario 1 kan 240 fryser slås av i topplasttimen. I scenario 2 kan 480 av de 1500 fryserne slås av i topplasttimen.*

| Time | Totalt for fryser av for 1500 boenheter [kWh/h] | Scenario 1. |                             | Scenario 2. |                             |
|------|-------------------------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|
|      |                                                 | Endring     | Nytt forbruksmønster fryser | Endring     | Nytt forbruksmønster fryser |
| 19   | 89,75                                           | 89,75-16,8  | 72,95                       | 89,75-33,6  | 56,15                       |
| 20   | 90,30                                           | 90,30+16,8  | 107,1                       | 90,3+33,6   | 123,9                       |

### *Totalt fleksibilitetspotensiale*

Resultatene for fleksibilitetspotensialet ved last-styring av oppvaskmaskin og fryser er presentert i tabell H.3. Lasten som reduseres ved utkobling av oppvaskmaskiner har rullerende innkobling etter time 21. Den rullerende innkoblingen varer fra time 21 til time 02. Her er time 01 og 02, representert i det samme døgnet, i realiteten er det et annet døgn.

Tabell I.3. Resultat for redusering av dimensjonerende last ved bruk av last-styring av oppvaskmaskin og fryser, scenario 1 og scenario 2.

| Time | Opprinnelig forbruk for 1500 leiligheter [kWh/h] | Scenario 1      |                       | Scenario 2    |                       |
|------|--------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
|      |                                                  | Endring         | Nytt forbruks-mønster | Endring       | Nytt forbruks-mønster |
| 1    | 881,79                                           | 881,79+15,20    | 897,00                | 881,79+45,61  | 927,40                |
| 2    | 777,73                                           | 777,73+14,98    | 792,71                | 777,73+44,95  | 822,68                |
| 3    | 698,13                                           | 698,13          | 698,13                | 698,13        | 698,13                |
| 4    | 682,68                                           | 682,68          | 682,68                | 682,68        | 682,68                |
| 5    | 683,85                                           | 683,85          | 683,85                | 683,85        | 683,85                |
| 6    | 677,64                                           | 677,64          | 677,64                | 677,64        | 677,64                |
| 7    | 691,69                                           | 691,69          | 691,69                | 691,69        | 691,69                |
| 8    | 780,84                                           | 780,84          | 780,84                | 780,84        | 780,84                |
| 9    | 930,65                                           | 930,65          | 930,65                | 930,65        | 930,65                |
| 10   | 1111,55                                          | 1111,55         | 1111,55               | 1111,55       | 1111,55               |
| 11   | 1223,94                                          | 1223,94         | 1223,94               | 1223,94       | 1223,94               |
| 12   | 1273,10                                          | 1273,10         | 1273,10               | 1273,10       | 1273,10               |
| 13   | 1253,20                                          | 1253,20         | 1253,20               | 1253,20       | 1253,20               |
| 14   | 1276,69                                          | 1276,69         | 1276,69               | 1276,69       | 1276,69               |
| 15   | 1337,67                                          | 1337,67         | 1337,67               | 1337,67       | 1337,67               |
| 16   | 1375,20                                          | 1375,20         | 1375,20               | 1375,20       | 1375,20               |
| 17   | 1501,44                                          | 1501,44 - 13,36 | 1488,08               | 1501,44-40,07 | 1461,37               |
| 18   | 1535,81                                          | 1535,8-12,56    | 1523,25               | 1535,81-37,68 | 1498,14               |
| 19   | 1569,18                                          | 1569,18-11,58   | 1540,80               | 1569,18-34,74 | 1500,84               |
| 20   | 1490,85                                          | 1490,85-15,20   | 1492,45               | 1490,85-45,61 | 1478,84               |
| 21   | 1373,67                                          | 1373,67-14,98   | 1358,68               | 1373,67-44,95 | 1328,72               |
| 22   | 1270,08                                          | 1270,08+13,36   | 1283,44               | 1270,08+40,07 | 1310,15               |
| 23   | 1166,46                                          | 1166,46+12,56   | 1179,02               | 1166,46+37,68 | 1204,14               |
| 24   | 1039,14                                          | 1039,14+11,58   | 1050,72               | 1039,14+34,74 | 1073,88               |







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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway