



Rapport 2019/26 | Statnett



Alternative måter å regne KILE-kostnaden på

Delprosjekt 1 i FOU-prosjektet

Mot en bedre forståelse av kostnad og ulempe av strømbrudd

Orvika Rosnes

Dokumentdetaljer

Tittel	Alternative måter å regne KILE-kostnaden på
Rapportnummer	2019/26
ISBN	978-82-8126-422-9
Forfattere	Orvika Rosnes
Prosjektleder	Haakon Vennemo
Kvalitetssikrer	John Magne Skjelvik
Oppdragsgiver	Statnett
Dato for ferdigstilling	14. juni 2019
Kilde forsidefoto	Photographer: Frank C. Müller - Own work, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1783172
Tilgjengelighet	Offentlig
Nøkkelord	KILE, strømbrudd, ikke-levert energi, avbruddskostnader, betalingsvillighet

Om Vista Analyse

Vista Analyse AS er et samfunnsfaglig analyseselskap med hovedvekt på økonomisk utredning, evaluering, rådgivning og forskning. Vi utfører oppdrag med høy faglig kvalitet, uavhengighet og integritet. Våre sentrale temaområder omfatter klima, energi, samferdsel, næringsutvikling, byutvikling og velferd.

Våre medarbeidere har meget høy akademisk kompetanse og bred erfaring innenfor konsulentvirksomhet. Ved behov benytter vi et velutviklet nettverk med selskaper og ressurspersoner nasjonalt og internasjonalt. Selskapet er i sin helhet eiet av medarbeiderne.

Forord

Denne rapporten er en leveranse fra forskningsprosjektet *Mot en bedre forståelse av kostnad og ulempe ved strømbrydd*, som Vista Analyse gjennomfører for Statnett. Rolf Korneliussen har vært kontaktperson hos Statnett. Vi takker ham og andre ressurspersoner i Statnett for mange givende diskusjoner om problemstillingene.

14. juni 2019

Haakon Vennemo

Partner

Vista Analyse AS

Innhold

Sammendrag og konklusjoner	7
1 Innledning	11
2 KILE-beregningen i dag	12
2.1 P_{ref} – avbrutt effekt på referansetidspunktet	13
2.2 $k_{p,ref}$ – normalisert avbruddskostnad	15
2.3 Korreksjonsfaktorer f_m, f_d, f_h	17
3 Metode A: Avbruddskostnader med dagens KILE-formel (med referansetidspunkt)	19
4 Metode B: Avbruddskostnader med faktisk avbruddstidspunkt og -omfang	21
4.1 Nye korreksjonsfaktorer for ulik forventet last på ulike tidspunkt	21
4.2 Eksempel med metode B	27
5 Metode C: Avbruddskostnader med utgangspunkt i betalingsvillighet direkte	30
5.1 Eksempel med metode C: Eksperiment med GIS-data i Nord-Jæren	31
6 Mulige forenklinger og tilpasninger av parametere til et konkret geografisk område	33
6.1 Tilpasning av metode B	34
6.2 Tilpasning av metode C	35
Referanser	36
A Vedlegg: Standardiserte lastprofiler	37
B Vedlegg: Korreksjonsfaktorer f_m, f_d, f_h	41
Figurer	
Figur 4.1 Lastprofiler for husholdninger, hverdag i ulike måneder, kW	23
Figur 4.2 Lastprofiler for husholdninger, helgedag i ulike måneder, kW	23
Figur 5.1 Kart over utvalg 1 (nord for Stokkeland) og utvalg 2 (nord for Bærheim)	31
Figur 6.1 Beregnede lastprofiler: landsgjennomsnitt (hel linje) og Stavanger (stiplet linje) ...	35
Tabeller	
Tabell 2.1 Betalingsvillighet på referansetidspunktet, kr/avbrudd og kr/kW	17
Tabell 2.2 $k_{p,ref}$ som funksjon av avbruddets varighet (t timer), kr/kW	17
Tabell 2.3 Anslag for gjennomsnittlig betalingsvillighet på ulike tidspunkt (kr)	17
Tabell 3.1 Eksempel med metode A: kostnader ved avbrudd (som varer 2 timer) på ulike tidspunkt.....	20
Tabell 4.1 Gjennomsnittlige månedstemperaturer 2012-2016 (°C).....	22
Tabell 4.2 Korreksjonsfaktorer for ulik last på hverdager (januar, hverdag kl. 17:00 = 1).....	25
Tabell 4.3 Korreksjonsfaktorer for ulik last på helgedager (januar, hverdag kl. 17:00 = 1)	26
Tabell 4.4 Eksempel med metode B: kostnader ved avbrudd på ulike tidspunkt med teoretiske tall for avbrutt effekt (avbruddsvarighet 2 timer).....	28
Tabell 4.5 Eksempel med metode B: kostnader ved avbrudd på ulike tidspunkt med utgangspunkt i historisk last i Stavanger (avbruddsvarighet 2 timer)	29
Tabell 5.1 Antall boliger, husholdninger og personer i utvalgene	31
Tabell 5.2 Eksempel med metode C: kostnader ved et avbrudd som varer 2 timer	32

Alternative måter å regne KILE-kostnaden på

Tabell 6.1	Gjennomsnittlige månedstemperaturer 2012-2016 (°C).....	34
------------	---	----

Sammendrag og konklusjoner

Vi diskuterer formler for å beregne kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi (KILE). Formlene betegner ulike veier fra estimert betalingsvillighet til KILE. To av metodene er likevel teoretisk identiske. I en praktisk situasjon er det datatilgjengelighet som bør bestemme hvilken av dem som er mest anvendelig. Den tredje metoden er teoretisk sett forskjellig. Hvorvidt man vil bruke denne, kommer an på både datatilgjengelighet og om man foretrekker dens teoretiske egenskaper.

KILE-beregningen i dag

Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi (KILE) skal bidra til at nettselskapene tar hensyn til avbruddskostnader i utbygging, vedlikehold og drift av kraftnettet. Nettselskapenes årlige inntektsrammer justeres som følge av avbruddskostnader for tilknyttede sluttforbrukere. KILE-ordningen trådte i kraft 1. januar 2001, og har vært revidert flere ganger siden.

Hvordan kostnader ved et strømavbrudd skal beregnes er fastsatt i *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffier*, kapittel 9.¹ Kostnaden ved et avbrudd av lengde l på tidspunkt j for en sluttbruker i kundegruppe K skal ifølge forskriften beregnes på følgende måte:²

$$K_j = P_{ref} k_{p,ref} f_{K,m} f_{K,d} f_{K,h}$$

Enkelt forklart beregner formelen totale kostnader som avbrutt effekt for kundegruppen (P_{ref} , målt i kW) ganget med en tilhørende kostnad ($k_{p,ref}$, målt kr/kW). Siden KILE-kostnaden beregnes som om avbruddet hadde skjedd på et bestemt tidspunkt (referansetidspunktet), brukes korreksjonsfaktorene ($f_{K,m}$, $f_{K,d}$, $f_{K,h}$) for å ta hensyn til at avbruddet faktisk skjedde på et annet tidspunkt. $k_{p,ref}$ og korreksjonsfaktorene er basert på betalingsvillighetsundersøkelsen (Vista Analyse, 2017).

P_{ref} er definert som avbrutt effekt for berørt sluttbruker dersom avbruddet hadde skjedd på referansetidspunktet. For husholdninger er referansetidspunktet kl. 17:00 på en hverdag i januar. P_{ref} er altså en beregnet størrelse, basert på historiske lastprofiler og temperaturer, og vil være den samme for alle avbrudd, uansett når avbruddet skjer.

Etter at det har skjedd et avbrudd er det forholdsvis lett for et nettselskap å bruke formelen til å beregne kostnadene ved avbruddet: nettselskapet vet da akkurat hvilke kunder som har vært berørt (og dermed kan de relevante P_{ref} -ene beregnes) og når avbruddet har skjedd (og dermed hvilke korreksjonsfaktorer som skal brukes).

Noen ganger kan det imidlertid være nyttig å anslå avbruddskostnadene før avbruddet har skjedd. For eksempel kan man ønske å anslå kostnadene ved et avbrudd i et bestemt geografisk område på

¹ https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302/KAPITTEL_4-3#KAPITTEL_4-3

² I formelen er det underforstått at tidspunkt j løper over måned m , dag d og time h . $k_{p,ref}$ varierer med lengde l , men dette er per konvensjon ikke med som en fotskrift. K i fotskrift løper over kundegruppe. K i vanlig skrift betyr kostnad. P_{ref} og $k_{p,ref}$ løper over kundegruppe, dette er underforstått. I rapporten gjengir vi formler fra forskriften og andre direkte sitater slik som de står i kildene.

et bestemt tidspunkt til bruk i investeringsanalyser. Da har man ofte prognoser for hvor stort avbruddet vil bli akkurat på dette tidspunktet. Vi ser i denne rapporten på om man kan bruke andre beregningsmåter i slike tilfeller, og sammenligner tre alternative metoder for å beregne avbruddskostnader i husholdninger. Alternative beregningsmåter kan i prinsippet også være nyttig ex post.

Metode A, med utgangspunkt i referansetidspunktet

Metode A tar utgangspunkt i dagens KILE-formel. Den samlede avbruddskostnaden for et geografisk område blir summen av avbruddskostnader til alle berørte husholdninger i det aktuelle området: $K = \sum_1^N K_i$, der fotskrift i løper over husholdninger.³ Men leddet $k_{p,ref} f_m f_d f_h$ er likt for alle husholdninger; det er bare $P_{ref,i}$ som varierer mellom husholdningene. Dermed blir de samlede kostnadene ved et avbrudd som skjer i måned m , dag d , time h og rammer N sluttbrukere:

$$K_{m,d,h} = k_{p,ref} f_m f_d f_h \sum_{i=1}^N P_{ref,i} \quad (A)$$

Metode B, med utgangspunkt i faktisk tidspunkt og faktisk omfang for avbruddet

Vi ser også på en annen metode som tar utgangspunkt i faktisk tidspunkt for avbruddet og faktisk omfang (f.eks. 200 MW avbrutt effekt for de berørte husholdningene i juli), istedenfor å gå veien om P_{ref} og referansetidspunktet. Vi kaller denne for metode B.

Vi beregner et nytt sett (dvs. to matriser) korreksjonsfaktorer $g_{m,d,h}$ som kan brukes til å skalere avbrutt effekt for sluttbruker i på et vilkårlig tidspunkt m,d,h ($P_{m,d,h,i}$) til referansetidspunktet. Da kan man fortsatt bruke avbruddskostnaden $k_{p,ref}$, som refererer til januar. De eksisterende korreksjonsfaktorene f_m, f_d, f_h , som korrigerer for ulik betalingsvillighet, kommer i tillegg.

Kostnaden ved et avbrudd på tidspunkt m,d,h med metode B blir dermed:

$$K_{m,d,h} = k_{p,ref} f_m f_d f_h g_{m,d,h} \sum_{i=1}^N P_{m,d,h,i} \quad (B)$$

Forskjellen mellom metode A og metode B er hvilket tidspunkt avbruddet refererer til: om beregningen tar utgangspunkt i avbrutt effekt på referansetidspunktet eller på avbruddstidspunktet. Både metode A og B bruker avbrutt effekt, målt i MW, til å skalere omfanget av avbruddet.

Metode C, med utgangspunkt i husholdningenes betalingsvillighet direkte

Både dagens beregningsmetode for avbruddskostnader (metode A) og alternativ metode, som tar utgangspunkt i faktisk omfang og tidspunkt for avbruddet (metode B), går veien om husholdningens effektforbruk (målt i kW). En annen tolkning av betalingsvillighetsundersøkelsen er at anslagene angir *verdien av å unngå ett strømbrydd av en viss varighet på et bestemt tidspunkt* – mao. uavhengig av hvor mye effekt husholdningen mister. Ved å ta utgangspunkt i denne tolkningen kan vi lage en ny metode som tar utgangspunkt i betalingsvillighet (BV) direkte. Vi kaller denne for metode C.

Kostnaden ved et avbrudd på tidspunkt m,d,h for sluttbruker i vil da være:

³ Vi avgrensner studien til husholdninger, og dropper derfor fotskriften K (for kundegruppe) i formlene.

$$K_{m,d,h,i} = BV \cdot f_m f_d f_h \quad (C)$$

BV angir den gjennomsnittlige betalingsvilligheten per husholdning, og er den samme for alle husholdninger. Siden betalingsvilligheten refererer til januar, må vi fortsatt gange med korreksjonsfaktorene f_m, f_d, f_h for å beregne kostnaden ved avbrudd som skjer på et annet tidspunkt.

For å beregne den totale kostnaden ved et avbrudd i et geografisk område, kan vi bare telle antallet husholdninger (N) i området og gange det med betalingsvillighet per husholdning (BV):

$$K_{m,d,h} = N \cdot K_{m,d,h,i} = N \cdot BV \cdot f_m f_d f_h \quad (D)$$

I metode C justerer man altså ikke avbruddskostnadene for størrelsen på strømforbruket, kun antall husholdninger som blir berørt.

Metodene kan gi like resultater, avhengig av datagrunnlaget

Som et eksperiment har vi beregnet kostnader med alle tre metodene for et område i Nord-Jæren. Vi har identifisert antallet husholdninger i området, og beregner deres samlede kostnader ved strømbrudd som skjer på ulike tidspunkt (metode C). For metode A og B har vi brukt anslag fra Statnett på samlet avbrutt effekt for husholdningskunder i det samme område. Avbruddskostnadene ($k_{p,ref}$) og korreksjonsfaktorene (f_m, f_d, f_h) kommer fra forskriften og forslaget til den nye forskriften som NVE sendte på høring i 2018.

Resultatene tyder på at de tre metodene i praksis kan gi temmelig like resultater, men alle avhenger av hvor godt datagrunnlaget er. *Forholdstallene* for avbrudd på ulike tidspunkt er per definisjon de samme i alle tre metodene, fordi korreksjonsfaktorene som brukes for å justere betalingsvilligheten fra referansetidspunktet til tidspunktet for avbrudd er de samme. Det betyr at hvis man kjenner til kostnadene på ett tidspunkt kan man bruke korreksjonsfaktorene til å regne ut kostnadene på et annet tidspunkt.

Treffsikkerheten av alle tre metodene avhenger av hvor gode data som brukes. Er det avbrutt effekt på referansetidspunktet i januar (P_{ref}) eller på det faktiske avbruddstidspunktet ($P_{m,d,h}$) man har best anslag for? Eller antall husholdninger som blir berørt av strømbruddet? Avhengig av svaret er hhv. metode A, B eller C best egnet.

I tillegg avhenger treffsikkerheten av hvor gjennomsnittlig det aktuelle området er. Metode C bygger på betalingsvilligheten til gjennomsnittshusholdningen, mens i metode A og B brukes nasjonale gjennomsnittstemperaturer og standardshusholdningens lastforbruk. Dette går tydelig fram av likning (E) under.

Tilpasning av metodene til lokale forhold

Beregningene og sammenligningen av de ulike metodene bygger på nasjonale lastprofiler og temperaturer og gjennomsnittshusholdningens betalingsvillighet for strøm. I analyser av konkrete geografiske områder kan man ta hensyn til forhold som påvirker husholdningenes energiforbruk i det området (først og fremst temperaturene og sammensetningen av boliger).

Vi viser at ligning (A) ovenfor kan omskrives til:

$$K_{m,d,h,i} = P_{ref,i} k_{P,ref} f_m f_d f_h = P_{ref,i} \frac{BV}{P_{standardprofil}} f_m f_d f_h = \alpha_i \cdot BV \cdot f_m f_d f_h \quad (E)$$

Dersom $\alpha_i = 1$ tilsvarer metode (A) metode (C). Hvorvidt $\alpha_i \leq 1$ avhenger av:

- Om temperaturer på stedet er høyere eller lavere enn landsgjennomsnittet, som igjen avhenger av den geografiske beliggenheten til sluttbrukere som opplever avbruddet. For eksempel er døgnmiddeltemperaturen i januar høyere i Stavanger enn landsgjennomsnittet, og isolert sett bidrar dette til $\alpha_i < 1$ for folk i Stavanger.
- Om energiforbruket til sluttbrukeren er større eller mindre enn standardhusholdningens. Det avhenger av størrelsen og typen husholdninger i området. Her kan vi anta at sluttbrukere i eneboliger har høyere energiforbruk enn gjennomsnittshusholdningen, mens sluttbrukere i leiligheter har lavere energiforbruk enn gjennomsnittshusholdningen.

Siden ligning (E) er lik ligning (C) justert med α_i så kan man tilpasse metode C ved å inkludere en parameter som gjenspeiler egenskapene ved sluttbrukere i det aktuelle området.

Også korreksjonsfaktorene $g_{m,d,h}$ i metode B er basert på nasjonale profiler. Hvis det er store avvik mellom de nasjonale og lokale profilene, burde man beregne korreksjonsfaktorer som tar hensyn til lokale lastprofiler og temperaturer.

Det må understrekes at disse ulike metodene er foreslått til bruk i f.eks. investeringsanalyser der man trenger *ex ante* anslag for kostnader ved avbrudd. Vi har ikke vurdert hvorvidt selve KILE-ordninger bør endres. I offisielle KILE-beregninger brukes fortsatt metode A, med utgangspunkt i P_{ref} og referansetidspunktet. Så lenge det er «fasiten», skal det være gode grunner til å avvike fra metoden.

Ny metode i framtiden?

P_{ref} , som er den sentrale størrelsen i KILE-beregningene, er basert på generelle lastprofiler for ulike kundegrupper, og parametere som ligger bak beregningen av P_{ref} stammer fra gamle belastningsmålinger. Dette er fra en tid da det ikke fantes timesmålinger for enkeltkunder, i alle fall ikke for husholdninger. Da kunne man heller ikke vite hvor mye effekt som kunden hadde mistet ved et avbrudd. Med automatisk måleravlesing og Elhub blir helt andre data tilgjengelige.

Med automatisk måleravlesing blir det enklere å beregne P_{ref} for alle sluttbrukere på grunnlag av deres egne historiske forbruksdata, istedenfor generelle lastprofiler. Da blir metode A enklere og mer treffsikker. I så fall blir metode A å foretrekke framfor metode B, som krever ett ekstra sett korreksjonsfaktorer (med tilhørende mulighet for unøyaktigheter).

Nye måledata vil også gjøre det enklere å beregne α_i , på grunnlag av faktiske lastmålinger for aktuelle sluttbrukere. Dette kan brukes til å tilpasse metode C bedre til en analyse av et konkret område.

1 Innledning

Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi (KILE) skal bidra til at nettselskapene tar hensyn til avbruddskostnader i utbygging, vedlikehold og drift av kraftnettet. Nettselskapenes årlige inntektsrammer justeres som følge av avbruddskostnader for tilknyttede sluttforbrukere. For å få en riktig forsyningssikkerhet i det norske kraftnettet er det viktig at tallene som brukes til å tallfeste avbruddskostnader i størst mulig grad reflekterer de samfunnsøkonomiske kostnadene ved avbrudd.

KILE-ordningen trådte i kraft 1. januar 2001, og har vært revidert flere ganger siden (se f.eks. Kjølle, 2011). Hvordan kostnader ved et strømavbrudd skal beregnes er fastsatt i *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffen*, kapittel 9.⁴ Fra 1. januar 2015 endret NVE KILE-satsene for alle kundegrupper unntatt husholdninger. I 2017 leverte Vista Analyse en rapport (Vista Analyse, 2017) med anbefalinger for nye KILE-satser for husholdninger, basert på en ny spørreundersøkelse. NVE sendte forslaget til forskriftsendring på høring i juni 2018.

Dette prosjektet tar utgangspunkt i arbeidet med de nye KILE-satsene i 2017, og studerer kostnadene ved strømbrudd videre. Prosjektet er en del av forskningsprosjektet *Mot en bedre forståelse av kostnad og ulempe av strømbrudd*. Delprosjekt 1 handler om alternative metoder for å beregne kostnader ved et avbrudd. Målet er å sammenligne alternative metoder som kan brukes i analyser av hypotetiske avbrudd (f.eks. i investeringsanalyser), ikke å foreslå en ny metode for NVE for justering av nettselskapenes inntektsrammer. Vi avgrensner studien til husholdninger.

Vi begynner med å redegjøre for dagens beregning av KILE-kostnaden i kapittel 2. Denne beregningen brukes etter at et avbrudd har skjedd, og det er ganske enkelt å bruke formelen når man kjenner til avbruddstidspunktet og -omfanget og hvem som har blitt rammet. Hvor korrekt beregningen er, avhenger av dataenes kvalitet. Vi undersøker ulike alternativer til å anslå KILE-kostnader ex ante, uten å vite akkurat hvem som har blitt rammet, for eksempel ved en analyse av et strømbrudd i et større geografisk område. Det kan være nyttig f.eks. i investeringsanalyser av ulike nett-tiltak. Vi beregner KILE-kostnaden for et geografisk område ved hjelp av dagens KILE-formel (som vi kaller for metode A her) i kapittel 3. Dagens metode relaterer kostnadene til referansetidspunktet (som for husholdninger er kl. 17:00 på en hverdag i januar). Kapittel 4 beskriver en alternativ metode (metode B) som tar utgangspunkt i faktisk tidspunkt og faktisk omfang for avbruddet istedenfor referansetidspunktet. Kapittel 5 beskriver en tredje metode (metode C) som bruker husholdningenes betalingsvillighet for å unngå strømbrudd direkte, uten å gå veien om avbrutt effekt. Vi diskuterer også mulige tilpasninger til konkrete geografiske områder (kapittel 6).

Fokuset i denne rapporten er på de ulike metodene. Vi lager noen beregningseksempler⁵ og utarbeider nye korreksjonsfaktorer som kan brukes i de ulike metodene. Hvilken metode som egner seg best i en konkret analyse avhenger av datagrunnlaget som er tilgjengelig til denne analysen.

⁴ https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302/KAPITTEL_4-3#KAPITTEL_4-3

⁵ Merk at vi bruker de nye KILE-satsene (som ble foreslått i Vista Analyse, 2017) i beregningene.

2 KILE-beregningen i dag

Kostnaden ved et strømavbrudd for en sluttbruker på et bestemt tidspunkt kan i prinsippet beregnes som avbrutt effekt (kW) ganget med avbruddskostnaden (kr/kW):

$$K_j = P_j k_p \quad (1)$$

der

K_j = kostnad for en sluttbruker for et avbrudd på tidspunkt j (kroner)

P_j = avbrutt effekt for sluttbrukeren på tidspunkt j (kW)

k_p = spesifikk avbruddskostnad for et avbrudd (kr/kW)

Ligning (1) viser hvordan KILE-kostnaden kunne blitt beregnet hvis man hadde all nødvendig informasjon. I praksis kjenner man ikke til avbruddskostnaden (betalingsvilligheten for strøm) til alle forbrukerne på alle tidspunkt, og heller ikke til deres kraftforbruk (som blir avbrutt) på ethvert tidspunkt.⁶ I den faktiske tallfestingen må man ta til takke med tilgjengelig data. I KILE-ordningen har man valgt å implementere funksjonen (1) ved å knytte avbruddskostnaden til et bestemt tidspunkt (referansetidspunktet, som for husholdninger er kl. 17:00 på en hverdag i januar).

Den spesifikke avbruddskostnaden per avbrudd (k_p) er tallfestet gjennom betalingsvillighetsundersøkelser der man har spurt et representativt utvalg av strømbrukere om deres verdsetting av strømmen.⁷ For å kunne bruke de oppgitte avbruddskostnadene fra betalingsvillighetsundersøkelsen for alle husholdninger (store og små husholdninger, med ulikt kraftforbruk), må de oppgitte avbruddskostnadene bli normalisert, dvs. regnet om fra et kronebeløp til kr/kW. I denne normaliseringen bruker man standardhusholdningens effektforbruk på referansetidspunktet.

Vi kjenner heller ikke enkeltforbrukernes forbruk (effekt) som faktisk blir borte ved et avbrudd. Avbrutt effekt i ligning (1) tallfestes vha. beregnet avbrutt effekt for hver sluttbruker på referansetidspunktet.

For å kunne beregne avbruddskostnadene på *alle andre tidspunkt enn referansetidspunktet* brukes korreksjonsfaktorer: disse justerer kostnadene for å ta hensyn til at avbruddet faktisk skjedde på et annet tidspunkt enn i januar.⁸

Som følge disse tilpasningene har man endt opp med en mer komplisert ligning (se ligning (2) nedenfor).

⁶ Iallfall var det slik på 2000-tallet, da KILE-ordningen ble innført. Med timesmålere i alle husholdninger og Elhub får man et helt annet informasjonsgrunnlag.

⁷ Se Vista Analyse (2017) for den siste betalingsvillighetsundersøkelsen for husholdninger og hvordan resultatene er omsatt til KILE-satser.

⁸ Ulike tolkninger av korreksjonsfaktorene blir diskutert i kapittel 4 og 5.

Kostnaden ved et avbrudd på tidspunkt j for en sluttbruker i kundegruppe K skal jf. forskriften beregnes på følgende måte:⁹

$$K_j = P_{ref} k_{p,ref} f_{K,m} f_{K,d} f_{K,h} \quad (2)$$

der:

K_j = totalkostnad (kroner) for en sluttbruker for et avbrudd på tidspunkt j

P_{ref} = avbrutt effekt for sluttbrukeren dersom tilsvarende avbrudd hadde skjedd på referansetidspunktet (kWh/h)

$k_{p,ref}$ = avbruddskostnad (kr/kW) på referansetidspunktet for et avbrudd av en gitt varighet

$f_{K,m}$ = korreksjonsfaktor for avbruddskostnad i måned m

$f_{K,d}$ = korreksjonsfaktor for avbruddskostnad på dag d

$f_{K,h}$ = korreksjonsfaktor for avbruddskostnad i time h

Denne formelen gir altså det totale beløpet (i kroner) for *avbruddskostnad per sluttbruker per avbrudd*. I utgangspunktet beregner formelen totale kostnader som avbrutt effekt (kW) ganget med en kostnad (kr/kW). KILE-kostnaden beregnes som om avbruddet skjer på et bestemt tidspunkt: P_{ref} er avbrutt effekt for kunden som opplever avbruddet dersom avbruddet hadde skjedd på referansetidspunktet. Avbruddskostnad $k_{p,ref}$ er normalisert avbruddskostnad (dvs. målt i kroner per kW).¹⁰ Korreksjonsfaktorene ($f_{K,m}$, $f_{K,d}$, $f_{K,h}$) justerer kostnadene, for å ta hensyn til at avbruddet faktisk skjedde på et annet tidspunkt enn i januar.

Vi skal forklare elementene i formelen mer inngående nedenfor. Kapittel 2.1 gjennomgår utregningen av P_{ref} i detalj, mens kapittel 2.2 forklarer $k_{p,ref}$ nærmere og kapittel 2.3 diskuterer korreksjonsfaktorene $f_{K,m}$, $f_{K,d}$, $f_{K,h}$.

2.1 P_{ref} – avbrutt effekt på referansetidspunktet

P_{ref} er definert som avbrutt effekt for berørt sluttbruker *dersom avbruddet hadde skjedd på referansetidspunktet*. For husholdninger er referansetidspunktet kl. 17:00 på en hverdag i januar. P_{ref} for en gitt husholdning vil altså være den samme for alle avbrudd, uansett når avbruddet skjer.

P_{ref} beregnes i to trinn.¹¹ I første trinn beregner man *forventet last* for sluttbrukeren i timen som omfatter referansetidspunktet ved å ta utgangspunkt i historiske lastprofiler for den relevante kundegruppen (husholdninger), sluttbrukerens energibruk i fjor og lokal temperaturserie. I andre trinn beregner man *forventet avbrutt effekt* ved å ta hensyn til om lasten i denne timen er stigende eller synkende. Nedenfor (i avsnitt 2.1.1 og 2.1.2) gjennomgår vi disse to trinnene i detalj.¹²

⁹ Se kapittel 9 i Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer, https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302/KAPITTEL_4-3#KAPITTEL_4-3

¹⁰ Avbruddskostnad $k_{p,ref}$ er også en funksjon av avbruddets varighet, se nærmere i avsnitt 2.2.

¹¹ Praktisk gjøres dette i godkjent FASIT-programvare.

¹² Framstillingen er basert på Energi Norge (2015), spesielt kapittel 4.3.4, 4.5.3 og 4.6, og Eggen (2014).

2.1.1 Trinn 1: Regn ut forventet last i en time

Forventet last for en sluttbruker beregnes med utgangspunkt i sluttbrukerens målte årlige energiforbruk, lokal døgnmiddeltemperatur og beregnede lastprofiler.

Forventet last $P_{i,d,h}$ i time h dag d for en sluttbruker i som tilhører kundegruppe K (her: K = husholdning), målt i kWh/h:

$$P_{i,d,h} = (A_{K,d,h}T_{u_d} + B_{K,d,h}) \frac{W_i}{W_{N,i}} \quad (3)$$

der:

$A_{K,d,h}$ = konstant for kundegruppe K , døgn (d) og time (h) [kWh/(h°C)]

$B_{K,d,h}$ = konstant for kundegruppe K , døgn (d) og time (h) [kWh/h]

T_{u_d} = døgnmiddeltemperatur fra lokal temperaturserie [°C].

$W_i/W_{N,i}$ = forholdet mellom sluttbrukerens energiforbruk og beregnet energiforbruk for standardhusholdningen i samme geografiske område

W_i = levert energi siste måleperiode for sluttbruker i [kWh]

$W_{N,i}$ = beregnet energi for siste måleperiode for standardkunden i samme geografiske område som sluttbruker i (med lokal temperaturserie) [kWh]

Parametere A og B er spesifisert for hver time i døgnet for hverdag/helg og sommer/vinter (se vedlegg A.1), men A og B er like for alle husholdninger. Disse parameterne er basert på studier fra slutten av 1990-tallet.

Temperaturvariabelen T_{u_d} varierer mellom sluttbrukere, men er lik for sluttbrukere som er i samme geografiske område. Man skal benytte gjennomsnittstemperaturen for hele januar (fra 30 års standardserie for middeltemperatur fra «meteorologisk nærmeste» målestasjon).¹³ Det finnes over 600 målestasjoner.¹⁴

W_i og $W_{N,i}$ er energiforbruket til hhv. den aktuelle husholdningen i og «standardhusholdningen» i samme område, i siste måleperiode. Siste måleperiode er typisk året før eller siste 365 dager. $W_{N,i}$ for en periode på n dager beregnes etter følgende formel:

$$W_{N,i} = \sum_{d=1}^{d=n} \sum_{h=1}^{h=24} (A_{K,d,h}T_{u_d} + B_{K,d,h}) \quad (4)$$

Siden $W_{N,i}$ skal beregnes med utgangspunkt i den samme temperaturserien som husholdning i opplevde i forrige måleperiode, kan vi tolke $W_{N,i}$ som energiforbruket til standardhusholdningen som bor i samme geografiske område som husholdning i . Forholdstallet $W_i/W_{N,i}$ avhenger altså av om fjorårets energiforbruk til husholdning i var større eller mindre enn standardhusholdningens energiforbruk i samme område.

$P_{i,d,h}$ skal oppdateres hver gang det kommer nye måledata (energiforbruk og temperatur), minst en gang i kvartalet.

¹³ Se Eggen (2014).

¹⁴ På met.no stasjonskart for 2007 er det 630 stasjoner som met.no drifter og som tilfredsstillter met.no sine krav til drift og eksponering, se <http://sharki.oslo.dnmi.no/Help/stationmap2007.pdf>.

2.1.2 Trinn 2: Regn ut forventet avbrutt effekt i en time

Forventet avbrutt effekt i en time beregnes som den effekten (kW) som ville ha blitt levert hvis avbruddet ikke hadde inntruffet. Det er ikke nødvendigvis det samme som effekten som ble borte i avbruddet – man må også ta hensyn til hvordan lasten ville utviklet seg i tiden etter avbruddet. I beregningen tar man mao. hensyn til om lasten er stigende eller synkende på avbruddstidspunktet.

For dette må man i tillegg til forventet last i timen som omfatter referansetidspunktet (trinn 1 beskrevet i avsnitt 2.1.1) beregne forventet effekt *i timen før* og *i timen etter* timen som omfatter referansetidspunktet. Med andre ord: hvis avbrutt effekt skal beregnes for kl. 17:00 (som er i begynnelsen av time 18), må det tas hensyn til forventet last også i time 17 og 19.

Dersom forventet last i timen før avbruddstimen er mindre og i timen etter avbruddstimen større enn forventet last i avbruddstimen, kan man anta at også forventet avbrutt effekt vil øke i løpet av den aktuelle avbruddstimen. Tilsvarende kan man resonnerer dersom verdien er synkende i løpet av disse timene. Dette er beskrevet i avsnittet «I timer der gradienten ikke skifter fortegn» i kap. 4.6.1 i FASIT-dokumentasjon (Energ Norge, 2015). Siden referansetidspunktet er kl. 17:00 (altså 0 minutter over hele timen), innebærer formelen i kap. 4.6.1 i FASIT-dokumentasjonen at P_{ref} i dette tilfelle blir middelveien av forventet last i time 17 og time 18 (formelen kollapser til et enkelt gjennomsnitt av disse to timene).

Dersom forventet last i avbruddstimen er større enn i timen før og i timen etter avbruddstimen, er dette et «toppunkt». Tilsvarende blir det et «bunnpunkt» dersom verdien for timen før og etter er høyere enn i avbruddstimen. Dette er beskrevet i avsnittet «I timer der gradienten skifter fortegn» i kap. 4.6.1 i FASIT-dokumentasjon. I dette tilfelle blir P_{ref} lik forventet last i timen som omfatter referansetidspunktet (dvs. time 18).

2.1.3 P_{ref} oppsummert

P_{ref} for en sluttbruker er definert som avbrutt effekt for sluttbrukeren dersom avbruddet hadde skjedd på referansetidspunktet. For husholdninger er referansetidspunktet kl. 17:00 på en hverdag i januar. P_{ref} for en sluttbruker vil altså være den samme for alle avbrudd, uansett når avbruddet faktisk skjer, fram til sluttbrukerinformasjonen oppdateres med nye måledata (minst en gang i kvartalet).

P_{ref} beregnes i to trinn. I første trinn beregner man *forventet last* for sluttbrukeren i den aktuelle timen ved å ta hensyn til temperaturen i det geografiske området som husholdningen bor i, samt husholdningens energiforbruk i forrige måleperiode. I andre trinn regner man *forventet avbrutt effekt* på referansetidspunktet ved å ta hensyn til om lasten i den aktuelle timen er stigende eller synkende.

2.2 $k_{P,ref}$ – normalisert avbruddskostnad

Avbruddskostnad $k_{P,ref}$ gir kostnaden per avbrudd, målt i kroner per kW. Denne satsen er differensiert mellom ulike kundegrupper (husholdninger, jordbruk, industri, handel og private tjenester, offentlige tjenester), men lik for alle kunder innenfor samme sluttbrukerkategori.

2.2.1 Normalisering av avbruddskostnaden

Avbruddskostnad $k_{P,ref}$ er utledet fra betalingsvilligheten til ulike kundegrupper.¹⁵ Til slutt blir betalingsvilligheten beregnet som funksjon av tiden avbruddet varer (Tabell 2.2).

Tabell 2.1 viser husholdningenes betalingsvillighet for strøm på referansetidspunktet i januar for strømbrudd av ulik varighet. Men for å kunne anvende kostnadsanslagene fra betalingsvillighetsundersøkelsen på alle forbrukere, store og små, blir tallene regnet om fra *total betalingsvillighet per avbrudd* (BV) til *betalingsvillighet per kW*. Denne såkalte normaliseringen skjer vha. standardhusholdningens effektforbruk på referansetidspunktet ($P_{standardprofil}$):

$$k_{P,ref} = \frac{BV}{P_{standardprofil}} \quad (5)$$

$P_{standardprofil}$ regnes ut på samme måte som beskrevet i avsnitt 2.1. $P_{standardprofil}$ for dag d , time h er:

$$P_{d,h} = (A_{d,h}T_{u_d} + B_{d,h})\frac{W}{W_N} \quad (6)$$

Siden $P_{standardprofil}$ er effektforbruket til standardhusholdningen, blir

- $W/W_N = 1$ per definisjon
- For temperatur T brukes befolkningsveid gjennomsnitt for hele landet ($-2,7$ °C ble brukt for januar i Vista Analyse, 2017).

Ved å sette inn verdiene for A og B for hverdag, januar (høyload) time 17, 18 og 19 fra vedlegg A.1 i ligning (6) får vi forventet last til standardhusholdningen i disse timene:

$$P_{hverdag,17} = (A_{hverdag,17}T_{u_d} + B_{hverdag,17})\frac{W}{W_N} = (-0,06 \cdot (-2,7) + 3,20) \cdot 1 = 3,36$$

$$P_{hverdag,18} = (A_{hverdag,18}T_{u_d} + B_{hverdag,18})\frac{W}{W_N} = (-0,06 \cdot (-2,7) + 3,37) \cdot 1 = 3,54$$

$$P_{hverdag,19} = (A_{hverdag,19}T_{u_d} + B_{hverdag,19})\frac{W}{W_N} = (-0,06 \cdot (-2,7) + 3,49) \cdot 1 = 3,66$$

Lasten er altså stigende i disse timene, og man må benytte framgangsmåten for timer der gradienten ikke skrifter fortegn (jfr. trinn 2 beskrevet i avsnitt 2.1.2). Forventet avbrutt effekt blir middelveiden av forventet last i time 17 og time 18: $P_{standardprofil} = 3,45$ for husholdninger.

Både betalingsvilligheten per avbrudd og resultatet av normalisering (betalingsvillighet per kW) er vist i Tabell 2.1. Til slutt blir betalingsvilligheten beregnet som funksjon av tiden avbruddet varer (Tabell 2.2).

¹⁵ Se Vista Analyse (2017) for undersøkelsen som er grunnlaget for betalingsvillighetsanslag for husholdninger, og hvordan den blir brukt i KILE-funksjoner.

Tabell 2.1 Betalingsvillighet på referansetidspunktet, kr/avbrudd og kr/kW

Scenario	1 min	2 timer	6 time	24 timer	72 timer
Betalingsvillighet per avbrudd	37	138	434	1032	2814
Betalingsvillighet per kW	11	40	126	299	816

Kilde: Vista Analyse (2017), tabell 4.15 og 5.4.

Tabell 2.2 $k_{P,ref}$ som funksjon av avbruddets varighet (t timer), kr/kW

(0,1 min)	[1 min, 2 t)	[2 t, 6 t)	[6 t, 24 t)	[24 t, 72)	[72 t, ∞)
11	11+13,7*t	38+21,9*(t-2)	126+13,0*(t-6)	360+13,0*(t-24)	984+13,0*(t-72)

Kilde: Vista Analyse (2017), tabell 5.5.

2.3 Korreksjonsfaktorer f_m, f_d, f_h

Vi kjenner ikke husholdningenes betalingsvillighet for å unngå strømbrudd på alle tidspunkt gjennom hele året. Betalingsvillighetsundersøkelsen gir likevel anslag for husholdningenes betalingsvillighet på noen tidspunkt: januar og juli, hverdag og helg, kl. 9:00 og kl. 17:00 (se Tabell 2.3 nedenfor). Variasjonen i betalingsvilligheten på disse tidspunktene brukes til å beregne korreksjonsfaktorene f_m, f_d, f_h . Strengt tatt tolkes altså variasjonen i betalingsvillighetstallene som uttrykk for ulik betalingsvillighet, og bare det. Vi kan ikke utelukke at respondentene har også tenkt på hvor mye strøm de bruker på ulike tidspunkt, og denne variasjonen i lasten er «innbakt» i svarene, men vi har ingen mulighet til å skille mellom disse to basert på svarene fra spørreundersøkelsen.

Tabell 2.3 Anslag for gjennomsnittlig betalingsvillighet på ulike tidspunkt (kr)

Scenario	1 min	2 timer	6 timer	24 timer	72 timer
Tirsdag kl. 17 i januar	37 kr	138 kr	434 kr	1032 kr	2814 kr
Tirsdag kl. 09 i januar			331 kr		
Tirsdag kl. 01 i januar			280 kr		
Lørdag kl. 17 i januar			506 kr		2482 kr
Tirsdag kl. 17 i juli			265 kr		1863 kr
Tirsdag kl. 17 i januar, varslet			210 kr		1555 kr

Kilde: Vista Analyse (2017), tabell 4.15.

Basert på tallene i Tabell 2.3 beregnes korreksjonsfaktorer. Korreksjonsfaktor f_m justerer for måned: $f_m = \frac{BV_m}{BV_{ref}}$, der BV_m er betalingsvillighet vedkommende måned, og BV_{ref} refererer til januar.

Korreksjonsfaktoren for juli blir dermed $f_{juli} = \frac{BV_{juli}}{BV_{jan}} = \frac{265}{434} = 0,6$. Korreksjonsfaktorer for de andre månedene blir interpolert.

Tilsvarende korrigerer f_d for dag: $f_d = \frac{BV_d}{BV_{ref}}$, der BV_d er betalingsvillighet vedkommende dag, og BV_{ref} refererer til tirsdag. f_h korrigerer for time: $f_h = \frac{BV_h}{BV_{ref}}$, der BV_h er betalingsvillighet vedkommende time, og BV_{ref} refererer til kl. 17:00.

Nærmere detaljer om utregning finnes i kap. 5.5 i Vista Analyse (2017). Både de nye og de nåværende korreksjonsfaktorene er gjengitt i vedlegg B.

3 Metode A: Avbruddskostnader med dagens KILE-formel (med referansetidspunkt)

Beregningen av avbruddskostnader i kapittel 2 gjelder for hver sluttbruker (husholdning). KILE-kostnader for et nettselskap er summen av avbruddskostnadene for alle tilknyttede sluttbrukere og alle hendelsene i løpet av et år. Dette beregnes med godkjent programvare for hvert år.

Noen ganger kan det imidlertid være behov for å anslå avbruddskostnader for et større område, uten detaljert kjennskap til alle forbrukere i området. Vi skal her se hvordan avbruddskostnader kan beregnes for et område med utgangspunkt i dagens KILE-formel. Vi avgrensner analysen til husholdninger.

Den samlede avbruddskostnaden for et geografisk område for tidspunkt m,d,h blir summen av avbruddskostnader til alle berørte sluttbrukere i det aktuelle området: $K_{m,d,h} = \sum_{i=1}^N K_{m,d,h,i}$. Men som diskusjonen i kapittel 2 har vist, er leddene $k_{P,ref} f_m f_d f_h$ i ligning (2) like for alle husholdninger; det er bare P_{ref} som varierer mellom sluttbrukere. Vi betegner avbrutt effekt til sluttbruker i med $P_{ref,i}$. Dermed blir de samlede kostnadene ved et avbrudd som rammer N sluttbrukere:

$$K_{m,d,h} = k_{P,ref} f_m f_d f_h \sum_{i=1}^N P_{ref,i} \quad (7)$$

Vi bruker ligning (7) til å beregne samlede KILE-kostnader i Nord-Jæren som eksempel for metode A. Vi har fått oppgitt fra Statnett at den maksimale lasten inn til i området er 700 MW, og husholdninger står for 41 % av forbruket i området i gjennomsnitt. Vi bruker $700 \text{ MW} \times 41 \% = 287 \text{ MW}$ som anslag for avbrutt effekt til husholdningene i området.¹⁶

Tabell 3.1 viser resultater av regneeksempler for avbrudd som varer to timer på ulike tidspunkt. Avbruddskostnad for et avbrudd som varer to timer er 38 kr/kW (fra Tabell 2.2). Korreksjonsfaktoren for time 18 er 1,05 (fra vedlegg B). Totalkostnad for dette avbruddet i januar er $287 \text{ MW} \times 38 \text{ kr/kW} \times 1,05 = 11,5 \text{ mill. kroner}$.

Hvis avbruddet skjer på et annet tidspunkt, brukes fortsatt avbrutt effekt og avbruddskostnad for referansetidspunktet. Det skal imidlertid korrigeres for betalingsvilligheten på ulike tidspunkt. F.eks. hvis avbruddet skjer kl. 17:00 på en hverdag i juli, justeres kostnaden ned med $f_m = 0,6$, slik at totalkostnaden blir knappe 6,9 mill. kroner. Tilsvarende justeres kostnaden med $f_h = 0,75$ hvis avbruddet skjer kl. 9 på en hverdag, istedenfor kl. 17. Da blir totalkostnaden i området knappe 8,2 mill. kroner i januar og 4,9 mill. kroner i juli. Hvis avbruddet skjer på lørdag eller søndag, skal kostnaden justeres opp for husholdninger, med $f_d = 1,15$. Samlet kostnad ved et to-timers avbrudd blir da 7,9 mill. kroner.

¹⁶ Her ser vi bort fra at ved beregningen av P_{ref} tas det hensyn til stigende eller synkende last.

Tabell 3.1 Eksempel med metode A: kostnader ved avbrudd (som varer 2 timer) på ulike tidspunkt

	Januar hverdag kl. 17	Juli hverdag kl. 17	Januar hverdag kl. 9	Juli hverdag kl. 9	Juli helg kl. 9
Avbrutt effekt (MW)	287	287	287	287	287
$k_{p,ref}$ for et avbrudd som varer 2 timer (kr/kW)	38	38	38	38	38
Korreksjonsfaktor for måned (f_m)*	1	0,6	1	0,6	0,6
Korreksjonsfaktor for time (f_h)*	1,05	1,05	0,75	0,75	0,75
Korreksjonsfaktor for dag (hverdag/helg) (f_d)*	1	1	1	1	1,15
Totalkostnad per avbrudd (kr)	11 451 300	6 870 780	8 179 500	4 907 700	7 901 397

* Vi bruker de nye foreslåtte korreksjonsfaktorene her, se vedlegg B.

4 Metode B: Avbruddskostnader med faktisk avbruddstidspunkt og -omfang

Metode A, som bygger på dagens KILE-funksjon, beregner avbruddskostnaden med utgangspunkt i referansetidspunktet: P_{ref} er definert som avbrutt effekt hos en sluttbruker dersom avbruddet hadde skjedd på referansetidspunktet (som er kl. 17:00 på en hverdag i januar). Med andre ord: P_{ref} er det samme tallet for alle avbrudd, uansett når avbruddet skjer. I dagens KILE-formel brukes korreksjonsfaktorer f_m, f_d, f_h for å justere kostnaden fra referansetidspunkt til tidspunktet for avbruddet (f.eks. kl. 12:00 en hverdag i juli).

I prinsippet kan korreksjonsfaktorene tenkes å korrigere for to ting:

- ulik betalingsvillighet på ulike tidspunkt (fordi elektrisiteten verdsettes mer i januar enn i juli)
- ulik avbrutt effekt på ulike tidspunkt (fordi lasten er høyere i januar enn i juli).

Siden korreksjonsfaktorene f_m, f_d, f_h er beregnet ut fra forskjeller i betalingsvillighet på ulike tidspunkt (se kapittel 2.3), kan vi tolke dem som uttrykk for ulik verdsetting (det første kulepunktet ovenfor). Det kan ikke utelukkes at de som svarte på spørreundersøkelse oppgav lavere betalingsvillighet i juli fordi de bruker mindre strøm i juli og er dermed mindre avhengig av strømmen. Men vi har ingen mulighet til å skille mellom disse to – lavere verdsetting og lavere forbruk – ut fra tallene vi har.

Vi ser på en ny metode (metode B) som bruker data for faktisk avbrudd (MW og tidspunkt) direkte i beregningen av avbruddskostnader. Vi begynner med å beregne et nytt sett korreksjonsfaktorer som kan brukes til å skalere avbrutt effekt på et vilkårlig tidspunkt til referansetidspunktet (kapittel 4.1). I kapittel 4.2 beregner vi avbruddskostnader med den nye metoden og sammenligner med metode A.

4.1 Nye korreksjonsfaktorer for ulik forventet last på ulike tidspunkt

Variasjonen i betalingsvillighet blir i dag tolket som uttrykk for ulik betalingsvilje for å unngå strømbrudd på ulike tidspunkt, ikke som uttrykk for forskjeller i last eller avbrutt effekt. Derfor trenger vi noen andre korreksjonsfaktorer som kan justere for forskjeller i last og avbrutt effekt i ulike perioder.

Som vist i avsnitt 2.2 blir resultatene fra betalingsvillighetsundersøkelsen regnet om fra total betalingsvillighet per avbrudd (BV) til *betalingsvillighet per kW*. Denne normaliseringen skjer vha. standardisert effekt på referansetidspunktet: $k_{P,ref} = \frac{BV}{P_{standardprofil}}$, der $P_{standardprofil} = 3,45$.

Vi kan imidlertid bruke den samme ligning (6) til å beregne *forventet last (kW) i hver time gjennom hele uken i hver måned*.¹⁷ Ved å utnytte variasjonen i forventet last gjennom året kan vi beregne nye korreksjonsfaktorer som kan korrigerer for ulik last på ulike tidspunkt (det andre kulepunktet ovenfor):

$$g_{m,d,h} = \frac{P_{\text{referansetidspunktet}}}{P_{\text{avbruddstidspunkt } m,d,h}} \quad (8)$$

Disse korreksjonsfaktorene $g_{m,d,h}$, som korrigerer for last på ulike tidspunkt, kommer i tillegg til de eksisterende f_m, f_d, f_h , som korrigerer for ulik betalingsvillighet.¹⁸ Utregningen av $g_{m,d,h}$ blir forklart nærmere i avsnittene 4.1.1 og 4.1.2 nedenfor.

4.1.1 Forventet last i en vilkårlig time

Vi kan regne ut forventet last for standardhusholdningen vha. ligning (6) som vist i avsnitt 2.2. Parametere A og B i formelen er spesifisert for hver time for hverdag/helg og sommer/vinter (se vedlegg A.1). For temperaturvariabelen $T_{u,d}$ kan vi bruke befolkningsveid middeltemperatur for hver måned (se Tabell 4.1). Vi forutsetter som før at $W/W_N = 1$ for standardhusholdningen.

Resultatene for forventet last for alle timene i uken for hver måned, basert på disse forutsetningene, er vist på Figur 4.1 og Figur 4.2 og i vedlegg A.2. Vi ser at nivået på kurvene varierer (pga. ulik temperatur i ulike måneder), men også formen på kurvene varierer (fordi parameterne A og B er forskjellige i ulike måneder).

Tabell 4.1 Gjennomsnittlige månedstemperaturer 2012-2016 (°C)

	Jan	Feb	Mars	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
Landsgjennomsnitt (befolkningsveid)	-2,7	-0,6	2,0	4,7	9,9	12,8	15,6	14,8	11,9	6,6	2,7	0,2

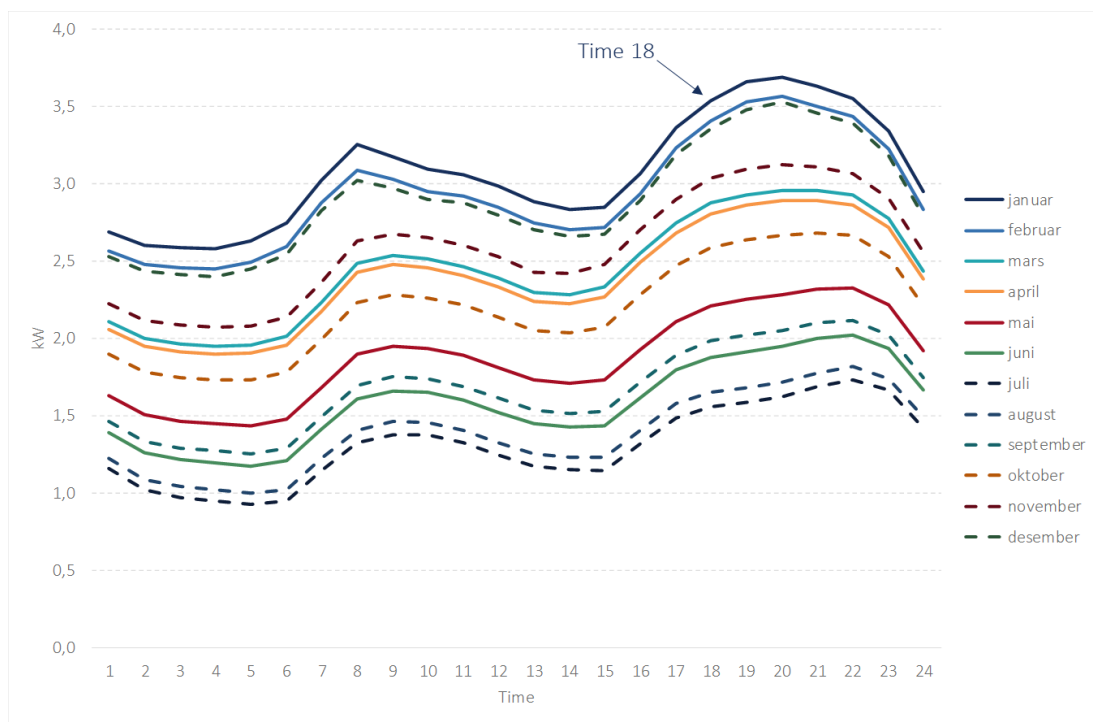
Landsgjennomsnittet er basert på temperatur fra én målestasjon per fylke, vektet gjennomsnitt etter befolkning.

Kilde: Vista Analyse (2017), figur 5.1

¹⁷ Egentlig i hver time på en representativ hverdag og representativ helgedag i hver måned.

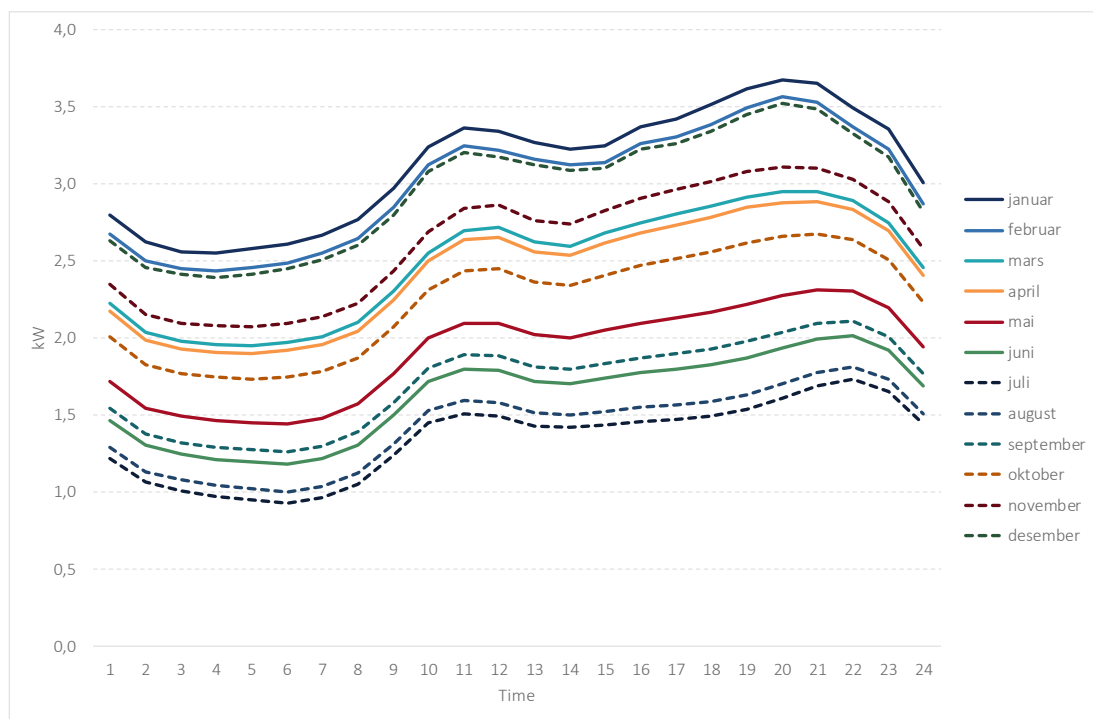
¹⁸ Vi kunne også bruke $P_{\text{avbruddstidspunktet}}$ til å regne ut k_p for alle timene. Det blir ekvivalent til metode B her. Vi synes det er ryddigere å beregne nye korreksjonsfaktorer og beholde k_{Pref} som den er.

Figur 4.1 Lastprofiler for husholdninger, hverdag i ulike måneder, kW



Kilde: Vista Analyse (egne beregninger)

Figur 4.2 Lastprofiler for husholdninger, helgedag i ulike måneder, kW



Kilde: Vista Analyse (egne beregninger)

4.1.2 Utregning av korreksjonsfaktorer $g_{m,d,h}$

Ved å utnytte variasjonen i forventet last på ulike tidspunkt kan vi beregne nye korreksjonsfaktorer som kan korrigere for ulik avbrutt effekt:

$$g_{m,d,h} = \frac{P_{\text{referansetidspunktet}}}{P_{m,d,h}} \quad (9)$$

For eksempel blir korreksjonsfaktoren for kl. 17:00 (som er time 18) på en tirsdag i juli (se vedlegg A.2):

$$g_{\text{juli,hverdag,18}} = \frac{P_{\text{referansetidspunktet}}}{P_{\text{avbruddstidspunkt}}} = \frac{P_{\text{januar,hverdag,18}}}{P_{\text{juli,hverdag,18}}} = \frac{3,54}{1,56} = 2,27$$

Ved hjelp av $g_{m,d,h}$ kan man skalere avbrutt effekt opp eller ned fra avbrutt effekt på tidspunkt m,d,h til avbrutt effekt på referansetidspunktet.¹⁹ Dette fordi avbruddskostnaden per kW refererer til januar (nevneren i $k_{p,ref}$ er for januar).

Tabell 4.2 og Tabell 4.3 viser de nye korreksjonsfaktorene for hhv. hverdager og helger/helligdager. Vi har valgt å lage en matrise for korreksjonsfaktorer som kombinerer måned og time (istedenfor en vektor for måned og en vektor for time), fordi det blir mer presist. Fra Tabell 4.2 kan vi f.eks. se at effektforbruket kl. 17:00 på en hverdag i januar (referansetidspunktet) er 1,26 ganger høyere enn effektforbruket i kl. 17:00 på en hverdag i april, og hele 2,27 ganger høyere enn effektforbruket kl. 17:00 på en hverdag i juli. Disse tallene kan brukes til å beregne kostnaden av et hypotetisk avbrudd på et bestemt tidspunkt.

¹⁹ Merk at vi ser her bort fra om lasten er stigende eller synkende på avbruddstidspunktet.

Tabell 4.2 Korreksjonsfaktorer for ulik last på hverdager (januar, hverdag kl. 17:00 = 1)

Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Januar	1,32	1,36	1,37	1,37	1,35	1,29	1,17	1,09	1,11	1,14	1,16	1,18	1,23	1,25	1,24	1,15	1,05	1,00	0,97	0,96	0,98	1,00	1,06	1,20
Februar	1,38	1,43	1,44	1,45	1,42	1,36	1,23	1,15	1,17	1,20	1,21	1,24	1,29	1,31	1,30	1,20	1,09	1,04	1,00	0,99	1,01	1,03	1,10	1,25
Mars	1,68	1,77	1,80	1,81	1,81	1,76	1,59	1,42	1,40	1,41	1,44	1,48	1,54	1,55	1,52	1,39	1,29	1,23	1,21	1,20	1,20	1,21	1,28	1,45
April	1,72	1,82	1,85	1,86	1,86	1,81	1,63	1,46	1,43	1,44	1,47	1,52	1,58	1,59	1,56	1,42	1,32	1,26	1,24	1,22	1,22	1,24	1,30	1,49
Mai	2,17	2,35	2,42	2,45	2,47	2,40	2,10	1,86	1,81	1,83	1,87	1,95	2,04	2,07	2,04	1,83	1,68	1,60	1,57	1,55	1,53	1,52	1,60	1,84
Juni	2,54	2,81	2,92	2,96	3,01	2,93	2,51	2,20	2,13	2,14	2,21	2,32	2,44	2,48	2,47	2,19	1,97	1,88	1,85	1,82	1,77	1,75	1,83	2,13
Juli	3,05	3,47	3,64	3,72	3,83	3,73	3,09	2,67	2,56	2,58	2,67	2,84	3,01	3,07	3,09	2,69	2,38	2,27	2,23	2,18	2,10	2,04	2,13	2,50
August	2,89	3,25	3,40	3,47	3,55	3,46	2,90	2,52	2,42	2,43	2,52	2,67	2,82	2,87	2,88	2,52	2,24	2,14	2,11	2,06	1,99	1,95	2,03	2,38
September	2,42	2,65	2,74	2,78	2,82	2,74	2,37	2,08	2,02	2,03	2,09	2,19	2,30	2,33	2,32	2,06	1,87	1,79	1,75	1,72	1,69	1,67	1,75	2,03
Oktober	1,86	1,98	2,02	2,04	2,04	1,99	1,77	1,58	1,55	1,56	1,60	1,65	1,73	1,74	1,71	1,55	1,43	1,37	1,34	1,33	1,32	1,33	1,40	1,60
November	1,59	1,67	1,70	1,71	1,70	1,65	1,50	1,35	1,32	1,34	1,36	1,40	1,46	1,46	1,43	1,31	1,22	1,17	1,14	1,13	1,14	1,15	1,22	1,38
Desember	1,40	1,46	1,47	1,47	1,45	1,39	1,25	1,17	1,19	1,22	1,23	1,26	1,31	1,33	1,32	1,22	1,11	1,05	1,02	1,00	1,02	1,04	1,11	1,27

Kl. 17.00 er i starten på time 18.

Kilde: egne beregninger.

Tabell 4.3 Korreksjonsfaktorer for ulik last på helgedager (januar, hverdag kl. 17:00 = 1)

Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Januar	1,27	1,35	1,38	1,39	1,37	1,36	1,33	1,28	1,19	1,09	1,05	1,06	1,08	1,10	1,09	1,05	1,03	1,01	0,98	0,96	0,97	1,01	1,05	1,18
Februar	1,32	1,41	1,44	1,45	1,44	1,42	1,39	1,34	1,24	1,13	1,09	1,10	1,12	1,13	1,13	1,08	1,07	1,04	1,01	0,99	1,00	1,05	1,10	1,23
Mars	1,59	1,74	1,79	1,81	1,81	1,79	1,76	1,69	1,54	1,39	1,31	1,30	1,35	1,36	1,32	1,29	1,26	1,24	1,21	1,20	1,20	1,22	1,29	1,44
April	1,63	1,78	1,83	1,85	1,86	1,84	1,81	1,73	1,57	1,42	1,34	1,33	1,38	1,40	1,35	1,32	1,29	1,27	1,24	1,23	1,23	1,25	1,31	1,47
Mai	2,06	2,29	2,38	2,42	2,45	2,45	2,39	2,25	2,00	1,77	1,69	1,69	1,75	1,77	1,73	1,69	1,66	1,63	1,59	1,56	1,53	1,53	1,61	1,82
Juni	2,42	2,72	2,84	2,92	2,97	3,00	2,91	2,71	2,36	2,06	1,97	1,98	2,06	2,07	2,04	2,00	1,97	1,94	1,89	1,83	1,77	1,76	1,84	2,10
Juli	2,91	3,33	3,51	3,64	3,73	3,82	3,68	3,37	2,86	2,44	2,35	2,37	2,48	2,49	2,47	2,43	2,41	2,37	2,31	2,20	2,10	2,04	2,14	2,46
August	2,75	3,12	3,29	3,40	3,47	3,54	3,42	3,15	2,69	2,32	2,22	2,24	2,34	2,36	2,33	2,29	2,27	2,23	2,17	2,08	1,99	1,95	2,05	2,34
September	2,30	2,57	2,68	2,74	2,78	2,80	2,73	2,55	2,24	1,96	1,87	1,88	1,95	1,97	1,93	1,89	1,86	1,83	1,79	1,73	1,69	1,68	1,76	2,00
Oktober	1,77	1,94	2,00	2,03	2,04	2,03	1,99	1,89	1,71	1,53	1,45	1,45	1,50	1,51	1,47	1,43	1,41	1,38	1,35	1,33	1,32	1,34	1,41	1,58
November	1,51	1,64	1,69	1,70	1,71	1,69	1,66	1,59	1,46	1,32	1,25	1,24	1,28	1,29	1,25	1,22	1,19	1,17	1,15	1,14	1,14	1,17	1,23	1,37
Desember	1,34	1,44	1,47	1,48	1,47	1,45	1,41	1,36	1,26	1,15	1,10	1,11	1,13	1,15	1,14	1,10	1,08	1,06	1,02	1,00	1,01	1,06	1,11	1,26

Kl. 17.00 er i starten på time 18.

Kilde: egne beregninger.

4.2 Eksempel med metode B

I dag må man bruke referansetidspunktet i januar til å beregne kostnaden ved avbruddet (metode A). Hvis man heller ønsker å bruke (faktisk eller antatt) avbrutt effekt på avbruddstidspunktet i beregningen, må den skaleres opp eller ned vha. de nye korreksjonsfaktorene $g_{m,d,h}$. Da får man avbrutt effekt (MW) dersom avbruddet hadde skjedd på referansetidspunktet, og kan fortsatt bruke avbruddskostnaden $k_{p,ref}$, som refererer til januar. De eksisterende korreksjonsfaktorene (f_m, f_d, f_h), som korrigerer for ulik betalingsvillighet, kommer i tillegg.

Kostnaden ved et avbrudd med metode B blir dermed:

$$K_{m,d,h} = k_{p,ref} f_m f_d f_h g_{m,d,h} \sum_{i=1}^N P_{m,d,h,i} \quad (10)$$

der $P_{m,d,h,i}$ er avbrutt effekt til sluttbruker i på tidspunkt m,d,h .

Tabell 4.4 viser noen regneeksempler med denne metoden. De første kolonnene viser beregningen med metode A, og er de samme som vist i Tabell 3.1. Eksempelvis: hvis man antar at det skjer et avbrudd som varer i to timer i juli kl. 17:00, skaleres antatt avbrutt effekt opp med en korreksjonsfaktor $g_{juli,hverdag,18} = 2,27$ (fra Tabell 4.2), til avbrutt effekt i januar. Hvis avbrutt effekt i juli er 126 MW, blir dette skalert opp til $126 \text{ MW} \times 2,27 = 287 \text{ MW}$ på referansetidspunktet. De andre korreksjonsfaktorene (f_m, f_d, f_h) tar hensyn til forskjellen mellom betalingsvillighet i juli og januar. Da blir den samlede kostnaden ved avbruddet $126 \text{ MW} \times 38 \text{ kr/kW} \times 1,05 \times 2,27 = 6,9 \text{ mill. kroner}$, det samme som ved beregning med metode A via referansetidspunktet. Tilsvarende, hvis avbruddet skjer i januar kl. 9:00 og man anslår at avbrutt effekt da er 251 MW, vil korreksjonsfaktoren 1,14 (fra Tabell 4.2) skalere avbrutt effekt opp fra kl. 9 til kl. 17 (til referansetidspunktet). Kostnaden blir $251 \text{ MW} \times 38 \text{ kr/kW} \times 0,75 \times 1,14 = 8,2 \text{ mill. kroner}$. Hvis avbruddet skjer kl. 9:00 på en hverdag i juli, skal det skaleres opp med en faktor på 2,58 (fra Tabell 4.2).

Kostnadene ved avbrudd av ulik varighet beregnes på samme måte. Siden avbruddskostnaden $k_{p,ref}$ er en funksjon av avbruddets varighet (se Tabell 2.2), vil verdien av $k_{p,ref}$ vil være noe annet enn 38 kr/kW, men fremgangsmåten vil være den samme.

Resultatene for metode A og metode B i Tabell 4.4 samsvarer perfekt. Det er fordi vi i dette stiliserte eksempelet har antatt perfekt informasjon og perfekt samsvar mellom avbrutt effekt på ulike tidspunkt.

Tabell 4.5 viser et annet eksempel der vi har tatt utgangspunkt i historiske lastmålinger i Stavanger. Vi har tilgang til lastmålinger for hver time i 2013. Vi anslår avbrutt effekt i en gitt time som gjennomsnittet av disse timene i en måned (f.eks. anslag for avbrutt effekt på hverdag kl. 17:00 i januar er gjennomsnittet av lasten kl. 17:00 i 23 hverdager i januar, og tilsvarende for andre tidspunkt). Ellers bruker vi samme fremgangsmåte som beskrevet ovenfor. Resultatene viser at mens totalkostnadene samsvarer ganske godt mellom metode A og B for juli kl. 17:00 (avviket mellom metode A og B er mindre enn 1%), er det større avvik for andre tidspunkt: metode B gir 19 % høyere kostnader for januar kl. 9:00 og 24 % høyere kostnader for juli kl. 9:00 enn metode A.

Disse eksemplene er ment som en illustrasjon av metoden og viser hvor viktig det er med gode data. Det kan være ulike grunner til avvikene. For det første har vi brukt tall fra bare ett år – men vi vet

ikke om både januar og juli i 2013 var representative. For det andre har vi antatt at husholdningene står for 41 % av lasten i området – dette sjablongmessige tallet gjelder for årlig energiforbruk i det aktuelle området, men ikke nødvendigvis for hver time gjennom året. Heller ikke korreksjonsfaktorene $g_{m,d,h}$, som er beregnet på bakgrunn av nasjonale data, er nødvendigvis riktige for Stavanger-området.

Tabell 4.4 Eksempel med metode B: kostnader ved avbrudd på ulike tidspunkt med teoretiske tall for avbrutt effekt (avbruddsvarighet 2 timer)

	Refe- ranse Januar kl. 17	Metode A			Metode B		
		Juli kl. 17	Januar kl. 9	Juli kl. 9	Juli kl. 17	Januar kl. 9	Juli kl. 9
Avbrutt effekt (MW)	287	287	287	287	126	251	111
$k_{p,ref}$ for et avbrudd som vare 2 timer (kr/kW), som i dag	38	38	38	38	38	38	38
<i>Gamle korreksjonsfaktorer f_m, f_d, f_h:</i>							
Korreksjonsfaktor for ulik BV i hver måned (f_m), som i dag	1	0,6	1	0,6	0,6	1	0,6
Korreksjonsfaktor for ulik BV i hver time (f_h), som i dag	1,05	1,05	0,75	0,75	1,05	0,75	0,75
<i>Nye korreksjonsfaktorer $g_{m,d,h}$:</i>							
Korreksjonsfaktor for ulik last i hver måned (juli kl. 17 vs. jan. kl. 17), ny					2,27	1	1
Korreksjonsfaktor for ulik last i hver time (kl. 17 vs. kl. 9), ny					1	1,14	1
Korreksjonsfaktor for ulik last i måned og klokkeslett (juli kl. 9 vs. jan. kl. 17), ny					1	1	2,58
Totalkostnad per avbrudd (kr)	11 451 300	6 870 780	8 179 500	4 907 700	6 870 780	8 179 500	4 907 700

Tabell 4.5 Eksempel med metode B: kostnader ved avbrudd på ulike tidspunkt med utgangspunkt i historisk last i Stavanger (avbruddsvarighet 2 timer)

	Refe- ranse Januar kl. 17	Metode A			Metode B		
		Juli kl. 17	Januar kl. 9	Juli kl. 9	Juli kl. 17	Januar kl. 9	Juli kl. 9
Avbrutt effekt (MW)	234	234	234	234	104	243	113
$k_{P,ref}$ for et avbrudd som vare 2 timer (kr/kW), som i dag	38	38	38	38	38	38	38
<i>Gamle korreksjonsfaktorer f_m, f_d, f_h:</i>							
Korreksjonsfaktor for ulik BV i hver måned (f_m), som i dag	1	0,6	1	0,6	0,6	1	0,6
Korreksjonsfaktor for ulik BV i hver time (f_h), som i dag	1,05	1,05	0,75	0,75	1,05	0,75	0,75
<i>Nye korreksjonsfaktorer $g_{m,d,h}$:</i>							
Korreksjonsfaktor for ulik last i hver måned (juli kl. 17 vs. jan. kl. 17), ny					2,27	1	1
Korreksjonsfaktor for ulik last i hver time (kl. 17 vs. kl. 9), ny					1	1,14	1
Korreksjonsfaktor for ulik last i måned og klokkeslett (juli kl. 9 vs. jan. kl. 17), ny					1	1	2,58
Totalkostnad per avbrudd (kr)	9 336 600	5 601 960	6 669 000	4 001 400	5 656 401	7 919 416	4 978 904

Hvorvidt metode A eller B er best i en konkret analyse avhenger av hvilket tidspunkt det er best informasjon om (referansetidspunktet eller faktisk avbruddstidspunkt). Hvis man mener at man har bedre anslag for avbruddsomfanget på et annet tidspunkt enn referansetidspunktet, kan man bruke metode B. Videre avhenger treffsikkerheten av metode B av hvor godt de beregnede korreksjonsfaktorene, som her er basert på nasjonale profiler, stemmer med det aktuelle området. Hvis det er store avvik, burde man beregne korreksjonsfaktorer som tar hensyn til lokale lastprofiler og temperaturer. Regionale tilpasninger blir nærmere omtalt i kapittel 6. Så lenge metode A, med utgangspunkt i P_{ref} og referansetidspunktet, er «fasiten», skal det være gode grunner til å avvike fra det.

5 Metode C: Avbruddskostnader med utgangspunkt i betalingsvillighet direkte

Både dagens beregningsmetode for avbruddskostnader (kapittel 3) og alternativ beregningsmetode B, som tar utgangspunkt i faktisk tidspunkt og omfang for avbruddet (kapittel 4), går veien om husholdningens effektforbruk og avbruddskostnader per kW.

En annen tolkning av betalingsvillighetsundersøkelsen er at anslagene angir *verdien av å unngå ett strømbrudd av en viss varighet på et bestemt tidspunkt* – uavhengig av hvor mye effekt husholdningen mister. Denne tolkningen støttes delvis av betalingsvillighetsundersøkelsen: det er ingen tydelig sammenheng mellom oppgitt betalingsvillighet og boligtype eller boligareal (se avsnitt 4.5.1 i Vista Analyse, 2017). Videre er høyere inntekt (og derigjennom høyere forbruk) assosiert med høyere betalingsvillighet (som forventet), men denne sammenhengen er kun statistisk signifikant for de lengste avbruddene (over 24 timer og over 72 timer).

Ved å ta utgangspunkt i denne tolkningen kan vi lage en ny metode som tar utgangspunkt i betalingsvillighet (BV) direkte. I stedet for å gå veien om forventet last og avbrutt effekt (målt i kW) og kostnaden per kW (kr/kW), kan vi anta at betalingsvillighetsundersøkelsen gir oss husholdningens samlede kostnad ved avbrudd direkte. Kostnaden ved et avbrudd på tidspunkt m, d, h for husholdning i vil da være:

$$K_{m,d,h,i} = BV \cdot f_m f_d f_h \quad (11)$$

Siden betalingsvilligheten refererer til januar, må vi fortsatt gange med korreksjonsfaktorene f_m, f_d, f_h for å beregne kostnadene på andre tidspunkt.

BV angir den gjennomsnittlige betalingsvilligheten for husholdningskunder, og er altså den samme for alle husholdninger. For å beregne den totale kostnaden ved et avbrudd i et geografisk område, kan vi bare telle antallet husholdninger (N) i området og gange det med betalingsvillighet per husholdning (BV):

$$K_{m,d,h} = N \cdot K_{m,d,h,i} = N \cdot BV_K \cdot f_m f_d f_h \quad (12)$$

Vi gjennomfører et eksperiment for å teste hvordan resultatene ved denne metoden samsvarer med de andre metodene.

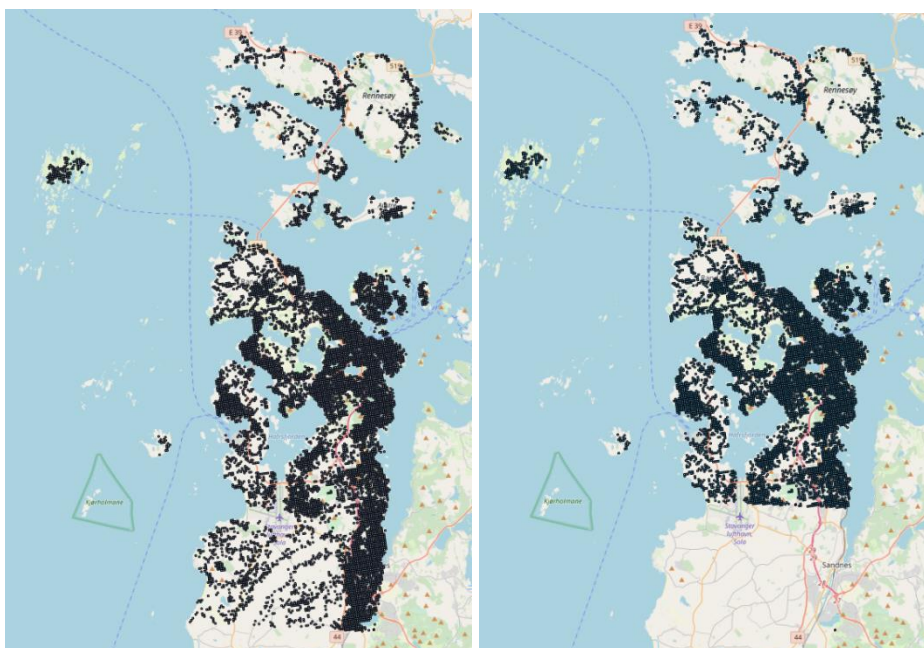
5.1 Eksempel med metode C: Eksperiment med GIS-data i Nord-Jæren

Vi har brukt datasettet «Demografi100m uttrekk» fra Geodata²⁰ til å identifisere husholdninger i Stavanger-området vha. GIS-data. Vi har identifisert to utvalg av husholdninger:

- Utvalg 1 er området nord for Stokkeland/Fagrafjell transformatorstasjon
- Utvalg 2 er området nord for Bærheim transformatorstasjon

Figur 5.1 viser utvalgene på kartet. I begge tilfeller har vi tatt et snitt av kartet i øst-vest-retningen ved hhv. Stokkeland og Bærheim stasjoner. Øyene nord for Stavanger er også med.

Figur 5.1 Kart over utvalg 1 (nord for Stokkeland) og utvalg 2 (nord for Bærheim)



I begge utvalgene er det flere boliger enn husholdninger (Tabell 5.1). I området nord for Stokkeland er det omtrent 83 000 husholdninger, mens i område nord for Bærheim er det 65 700 husholdninger. Siden det i gjennomsnitt bor 2,17 personer i en husholdning i Stavanger, blir det hhv. 180 000 og 142 600 innbyggere i de to utvalgene.²¹

Tabell 5.1 Antall boliger, husholdninger og personer i utvalgene

	Boliger	Husholdninger	Personer
Utvalg 1	89 429	82 952	180 006
Utvalg 2	70 831	65 701	142 571

²⁰ Tjenesten inneholder et omfattende grid med demografiske data innen temaene inntekt, formue, folketall, alder, kjønn, eiendomspriser, boligtyper, familiesammensetning, sivilstand, eie- og leieform, ansettelse, sysselsetting og pendling, utdanningsnivå og -område, m.m. Tjenesten er basert på demografisk statistikk fra Statistisk Sentralbyrå, på bygnings- og eiendomsinformasjon fra Matrikkelen, på bildata fra Motorvognregisteret, og på inntekts- og formuesdata fra Skattedirektoratet (levert av IPER).

²¹ Statistikkbanken tabell 09747, <https://www.ssb.no/statbank/table/09747>

5.1.1 Resultater

Vi bruker *antallet husholdninger* i utvalg 1 og ligning (12) til å beregne kostnader ved et strømbrudd som varer 2 timer.

Tabell 5.2 viser resultatene. Kostnadene ved et strømbrudd på en hverdag i januar kl. 17:00 blir beregnet til drøye 12 mill. kroner ($138 \text{ kr} \times 82\,952 \text{ husholdninger} \times 1,05$ korreksjon for kl. 17:00). For å beregne kostnadene for avbrudd på andre tidspunkt må fortsatt korreksjonsfaktorene (f_m, f_d, f_h) brukes. Kostnadene ved et 2-timers avbrudd i juli blir 7,2 mill. kroner (60 % av kostnadene i januar). Kostnadene ved et avbrudd kl. 9:00 om morgenen blir drøye 8,5 mill. kroner januar (71 % av referansetidspunktet) og 5,2 mill. kroner i juli (43 % av referansetidspunktet).

Tabell 5.2 Eksempel med metode C: kostnader ved et avbrudd som varer 2 timer

	Metode C			
	Januar kl. 17	Juli kl. 17	Januar kl. 9	Juli kl. 9
BV (kr per avbrudd)	138	138	138	138
Husholdninger (antall)	82 952	82 952	82 952	82 952
Korreksjonsfaktor for ulik BV i hver måned (f_m), som i dag	1	0,6	1	0,6
Korreksjonsfaktor for ulik BV i hver time (f_h), som i dag	1,05	1,05	0,75	0,75
Totalkostnad per avbrudd (kr)	12 019 745	7 211 847	8 585 532	5 151 319

Kostnadene med metode C (Tabell 5.2) er litt høyere enn det vi fant med metode A (Tabell 3.1). Forholdstallene for avbrudd på ulike tidspunkt er imidlertid de samme for metode A og metode C. Det er fordi korreksjonsfaktorene som brukes for å justere betalingsvilligheten fra referansetidspunktet til avbruddstidspunktet er de samme. Det betyr at hvis man kjenner til kostnadene på ett tidspunkt kan man bruke korreksjonsfaktorene til å regne ut kostnaden på et annet tidspunkt.

Hvorvidt metode A eller metode C er best i et konkret tilfelle avhenger av datagrunnlaget (på samme måte som for metode B). Det er et spørsmål om hvilket tall er riktigst eller hvilket tall kjenner man best: er 287 MW (41 % av 700 MW) riktigere anslag enn 82 952 husholdninger som blir rammet? En kritisk vurdering av datagrunnlaget er viktig.

Et annet viktig moment er hvorvidt husholdningene i området er gjennomsnittlige når det gjelder strømforbruk og betalingsvillighet for strøm. Anslag for husholdningenes betalingsvillighet er basert på en landsdekkende undersøkelse og gjelder for gjennomsnittshusholdningen. Når man studerer et konkret geografisk område kan man også vurdere hvorvidt husholdningene der er «gjennomsnittlige»: består området av blokker eller eneboliger? Hvis husholdningene i området ikke er gjennomsnittlige (f.eks. kun villabebyggelse eller kun blokker), vil kostnadsanslaget underestimere eller overestimere kostnadene. Dette blir nærmere diskutert i kapittel 6.

6 Mulige forenklinger og tilpasninger av parametere til et konkret geografisk område

Beregningene og sammenligningen av de ulike metodene i kapittel 3–5 bygger på nasjonale lastprofiler og temperaturer samt gjennomsnittshusholdningens betalingsvillighet for strøm. Både $P_{standardprofil}$ (som brukes til å normalisere $k_{P,ref}$) og de nye korreksjonsfaktorene $g_{m,d,h}$ er beregnet på grunnlag av nasjonale tall. I en analyse av avbruddskostnader i et konkret område kan man også ta hensyn til lokale forhold.

Ved å sette inn for $k_{P,ref}$ fra ligning (5) i ligning (2), får vi følgende:

$$K_{m,d,h,i} = P_{ref,i} k_{P,ref} f_m f_d f_h = P_{ref,i} \frac{BV}{P_{standardprofil}} f_m f_d f_h = \alpha_i \cdot BV \cdot f_m f_d f_h \quad (13)$$

der

$$\alpha_i = \frac{P_{ref,i}}{P_{standardprofil}} \quad (14)$$

Både $P_{ref,i}$ og $P_{standardprofil}$ handler om husholdningers effektforbruk og beregnes etter samme formel (jfr. ligning (3) og ligning (6) i kapittel 2). Begge gjelder for referansetidspunktet. $P_{standardprofil}$ er beregnet last for standardhusholdningen, mens $P_{ref,i}$ er forventet last for hver enkelthusholdning. P_{ref} varierer mellom sluttbrukere, avhengig av temperatur og sluttbrukerens energiforbruk. Om (og hvor mye) $P_{ref,i}$ avviker fra $P_{standardprofil}$ (eller alternativt: om $\alpha_i \leq 1$) avhenger av:²²

- Om temperaturvariabelen $T_{u,d}$ er høyere eller lavere enn landsgjennomsnittet, som igjen avhenger av den geografiske beliggenheten til kunden som opplever avbruddet.
- Om $W_i/W_{N,i}$ er større eller mindre enn 1, dvs. om energiforbruket til kunden er større eller mindre enn standardhusholdningens.

Lokale temperaturer

$T_{u,d}$, som brukes i $P_{standardprofil}$, er befolkningsveid gjennomsnittstemperatur for hele landet. Om $T_{u,d}$ for en konkret husholdning er høyere eller lavere enn landsgjennomsnittet, avhenger av hvor husholdningen som opplever avbruddet bor. For eksempel var døgnmiddeltemperaturen i januar i 2012-2016 2,02 °C i Stavanger, men -3,14 °C i Oslo og -8,62 °C i Alta (se Tabell 6.1).²³ P_{ref} blir med disse temperaturene hhv. 3,16 kW, 3,47 kW og 3,8 kW. Med andre ord: $\alpha < 1$ for Stavanger, $\alpha \approx 1$ for Oslo og $\alpha > 1$ for Alta.

²² Her ser vi bort fra at ved beregningen av P_{ref} tas det hensyn til stigende eller synkende last.

²³ Basert på data for middeltemperaturer for utvalgte målestasjoner i årene 2012-2016: Oslo – Blindern, Stavanger – Våland og Alta Lufthavn.

Tabell 6.1 Gjennomsnittlige månedstemperaturer 2012-2016 (°C)

	Jan	Feb	Mars	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
Lands- gjennomsnitt*	-2,7	-0,6	2,0	4,7	9,9	12,8	15,6	14,8	11,9	6,6	2,7	0,2
Alta	-8,6	-5,1	-2,5	0,9	6,8	10,3	13,8	12,5	9,2	2,7	-2,3	-4,5
Oslo	-3,1	-0,8	2,9	6,0	11,7	15,1	17,8	16,0	12,7	7,0	2,7	-0,5
Stavanger	2,0	2,5	4,3	6,3	10,4	12,7	15,4	15,3	13,3	9,3	6,3	4,5

* Landsgjennomsnittet er basert på temperatur fra én målestasjon per fylke, vektet gjennomsnitt etter befolkning.

Kilde: Vista Analyse (2017), figur 5.1

I spesialtilfellet der temperaturvariabelen $T_{u,d}$ er lik i P_{ref} og $P_{standardprofil}$ (sluttbrukeren bor på et sted der temperaturen er lik landsgjennomsnittet), blir $\alpha_i = \frac{W_i}{W_{N,i}}$. Da blir avbruddskostnaden lik det generelle leddet for betalingsvillighet for husholdninger, justert opp eller ned avhengig av om sluttbrukeren har høyere eller lavere forbruk enn standardhusholdningen.

Sammensetningen av boliger i bydelen/området

En viktig tilpasning kan være å ta hensyn til sammensetningen av boliger i området man studerer.

Leddene $W_i/W_{N,i}$, som inngår i P_{ref} , gjenspeiler den relative størrelsen til husholdningen: om energiforbruket til sluttbrukeren er større eller mindre enn standardhusholdningens.

- For det første avhenger det av størrelsen og typen til husholdningen. Her kan vi anta at sluttbrukere i eneboliger har høyere energiforbruk enn gjennomsnittshusholdningen, mens sluttbrukere i leiligheter har lavere energiforbruk enn gjennomsnittshusholdningen. Hvis et område består av blokker, vil $W_i/W_{N,i} < 1$. Motsatt, i en bydel med eneboliger vil $W_i/W_{N,i} > 1$.
- For det andre kan det påvirkes av «været i fjor». P_{ref} oppdateres minst en gang i kvartalet med nye måledata for energiforbruk og temperatur. Været i forrige måleperiode kan endre forholdstallet $W_i/W_{N,i}$ fra år til år: en ekstra kald vinter kan øke energiforbruket til den aktuelle sluttbrukeren mer eller mindre enn standardhusholdningens energiforbruk ($W_{N,i}$).

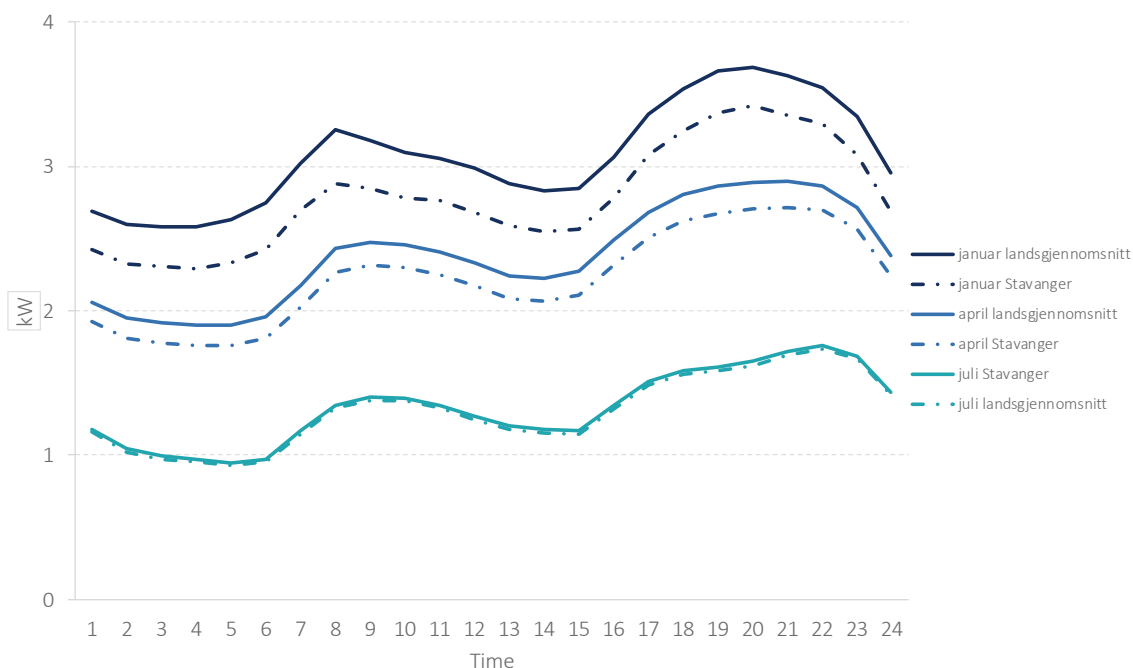
$P_{standardprofil}$ på sin side vil være uendret til neste revidering av KILE-satsene.

For $P_{standardprofil}$ er $W_i/W_{N,i}=1$ per definisjon.

6.1 Tilpasning av metode B

Temperaturer er også viktige for beregning av korreksjonsfaktorer $g_{m,d,h}$ i metode B. Korreksjonsfaktorene i Tabell 4.2 og Tabell 4.3 er beregnet fra nasjonale lastprofiler, med nasjonale gjennomsnittstemperaturer. Hvis man studerer et konkret geografisk område, kan man bruke temperaturserier fra det området til å beregne korreksjonsfaktorer. For eksempel kan man beregne forventet last for standardhusholdningen i Stavanger på samme måte som nasjonalt (se kapittel 4.1), men bruke temperaturserien for Stavanger istedenfor landsgjennomsnittet. Resultatene er vist på Figur 6.1. Siden temperaturen i Stavanger er høyere enn landsgjennomsnittet, særlig i vinterhalvåret, blir avviket mellom forventet last nasjonalt og i Stavanger størst i vintermånedene.

Figur 6.1 Beregnede lastprofiler: landsgjennomsnitt (hel linje) og Stavanger (stiplet linje)



Sammensetningen av boliger i området, som ble diskutert ovenfor, er også viktig for metode B.

6.2 Tilpasning av metode C

Metode C tar utgangspunkt i den gjennomsnittlige husholdningens betalingsvillighet, uten å veie den med størrelsen på forbruket. Hvis husholdninger i det relevante området avviker fra standardhusholdningen, vil metode C gi feil anslag for avbruddskostnader. Sannsynligvis vil metode C overvurdere avbruddskostnadene i et område som hovedsakelig består av boligblokker, mens den vil undervurdere kostnadene for en bydel med eneboliger.

Vi ser imidlertid at ligning (13) er nesten det samme som (11) i metode C: den eneste forskjellen er parameteren α_i , som nettopp gjenspeiler forholdet mellom den aktuelle husholdningens og representative husholdningens effektforbruk. Denne parameteren kan dermed brukes til å tilpasse metode C bedre til området man studerer.

Referanser

Eggen, A.O. (2014): Beregning av Pref. Prosjektnotat 14.12.31, SINTEF Energi

Energi Norge (2015): FASIT kravspesifikasjon versjon 2016. Energi Norge AS – EnergiAkademiet, publikasjonsnummer 388-2015

Kjølle, G. (2011): KILE-satsene og hva de dekker. Prosjektnotat AN11.12.01, SINTEF Energi

Vista Analyse (2017): Nye KILE-funksjoner for husholdninger. Vista Analyse rapport 2017/32

A Vedlegg: Standardiserte lastprofiler

A.1 Parametere A og B for utregning av generelle lastprofiler for husholdninger

Tabell A.1 Parametere A og B for utregning av generelle lastprofiler for husholdninger

Dag	Last	Parameter	Time																							
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Hverdag	Høy	A	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,08	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	
Hverdag	Høy	B	2,54	2,44	2,42	2,41	2,46	2,56	2,84	3,04	2,99	2,91	2,89	2,81	2,71	2,67	2,68	2,90	3,20	3,37	3,49	3,54	3,47	3,40	3,19	2,80
Helg	Høy	A	-0,06	-0,06	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,05	-0,05	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07
Helg	Høy	B	2,64	2,47	2,42	2,40	2,42	2,46	2,52	2,61	2,81	3,09	3,21	3,19	3,13	3,10	3,11	3,24	3,27	3,35	3,46	3,53	3,50	3,34	3,19	2,83
Hverdag	Lav	A	-0,08	-0,08	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,11	-0,11	-0,11	-0,12	-0,12	-0,11	-0,10	-0,10	-0,09
Hverdag	Lav	B	2,44	2,34	2,32	2,30	2,32	2,39	2,62	2,90	2,94	2,92	2,87	2,79	2,69	2,68	2,75	2,99	3,19	3,34	3,41	3,43	3,41	3,35	3,17	2,79
Helg	Lav	A	-0,09	-0,08	-0,08	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,10	-0,10	-0,11	-0,10	-0,10	-0,11	-0,11	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,11	-0,10	-0,10	-0,09
Helg	Lav	B	2,58	2,38	2,32	2,31	2,31	2,34	2,38	2,47	2,68	2,94	3,12	3,15	3,04	3,01	3,12	3,21	3,28	3,34	3,41	3,42	3,40	3,30	3,14	2,82

Høylast: januar, februar, desember. Lavlast: alle andre måneder.

Kilde: Generelle lastprofiler for FASIT (<http://fasit.nsp01cp.nhosp.no/kravspesifikasjon-fasit-nis-og-kis/category183.html>)

A.2 Beregnet last i ulike timer

Tabell A.2 Beregnet last for standardhusholdningen på hverdager, kWh/h

Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Januar	2,69	2,60	2,58	2,58	2,63	2,74	3,02	3,26	3,18	3,09	3,06	2,98	2,88	2,83	2,85	3,07	3,36	3,54	3,66	3,69	3,63	3,55	3,34	2,95
Februar	2,57	2,47	2,46	2,45	2,49	2,60	2,87	3,08	3,03	2,95	2,92	2,85	2,75	2,70	2,72	2,94	3,23	3,40	3,53	3,57	3,50	3,43	3,22	2,83
Mars	2,11	2,00	1,96	1,95	1,95	2,01	2,23	2,49	2,53	2,51	2,46	2,39	2,29	2,28	2,33	2,55	2,75	2,87	2,93	2,96	2,96	2,92	2,77	2,43
April	2,06	1,95	1,91	1,90	1,90	1,96	2,18	2,43	2,48	2,45	2,40	2,33	2,24	2,22	2,27	2,49	2,68	2,81	2,86	2,89	2,89	2,86	2,72	2,38
Mai	1,63	1,50	1,46	1,45	1,43	1,48	1,68	1,90	1,95	1,94	1,89	1,81	1,73	1,71	1,73	1,93	2,11	2,21	2,25	2,28	2,32	2,32	2,21	1,92
Juni	1,39	1,26	1,21	1,19	1,18	1,21	1,41	1,61	1,66	1,65	1,60	1,52	1,45	1,43	1,43	1,62	1,79	1,88	1,91	1,95	2,00	2,02	1,93	1,66
Juli	1,16	1,02	0,97	0,95	0,92	0,95	1,14	1,32	1,38	1,37	1,32	1,24	1,18	1,15	1,14	1,31	1,49	1,56	1,58	1,62	1,69	1,73	1,66	1,42
August	1,23	1,09	1,04	1,02	1,00	1,02	1,22	1,40	1,46	1,45	1,40	1,33	1,25	1,23	1,23	1,40	1,58	1,65	1,68	1,71	1,78	1,82	1,74	1,49
September	1,46	1,33	1,29	1,27	1,26	1,29	1,49	1,70	1,75	1,74	1,69	1,61	1,54	1,52	1,53	1,71	1,89	1,98	2,02	2,05	2,10	2,12	2,02	1,74
Oktober	1,90	1,78	1,75	1,73	1,73	1,78	1,99	2,23	2,28	2,26	2,21	2,14	2,05	2,03	2,07	2,28	2,47	2,59	2,64	2,67	2,68	2,66	2,53	2,21
November	2,22	2,11	2,08	2,07	2,08	2,14	2,36	2,63	2,67	2,65	2,60	2,53	2,43	2,42	2,47	2,70	2,90	3,03	3,09	3,12	3,11	3,07	2,91	2,55
Desember	2,52	2,43	2,41	2,40	2,45	2,54	2,82	3,02	2,97	2,90	2,87	2,80	2,70	2,66	2,67	2,89	3,19	3,36	3,48	3,53	3,46	3,39	3,18	2,79

Kl. 17:00 er i starten på time 18.

Kilde: egne beregninger

Tabell A.3 Beregnet last for standardhusholdningen på helgedager, kWh/h

Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Januar	2,80	2,62	2,56	2,55	2,58	2,61	2,67	2,76	2,97	3,24	3,36	3,34	3,27	3,22	3,24	3,37	3,42	3,51	3,62	3,67	3,65	3,49	3,35	3,01
Februar	2,67	2,50	2,45	2,43	2,46	2,49	2,55	2,64	2,84	3,12	3,24	3,22	3,16	3,12	3,14	3,26	3,30	3,39	3,50	3,56	3,53	3,37	3,22	2,87
Mars	2,22	2,03	1,98	1,96	1,95	1,97	2,01	2,10	2,30	2,55	2,70	2,71	2,62	2,60	2,68	2,75	2,80	2,85	2,92	2,95	2,95	2,89	2,75	2,45
April	2,17	1,98	1,93	1,91	1,90	1,92	1,95	2,04	2,25	2,50	2,64	2,65	2,56	2,54	2,61	2,68	2,73	2,78	2,84	2,88	2,88	2,83	2,69	2,40
Mai	1,72	1,54	1,49	1,46	1,44	1,44	1,48	1,57	1,77	2,00	2,10	2,10	2,02	2,00	2,05	2,10	2,13	2,17	2,22	2,27	2,31	2,31	2,20	1,94
Juni	1,46	1,30	1,24	1,21	1,19	1,18	1,22	1,31	1,50	1,72	1,80	1,79	1,72	1,71	1,73	1,77	1,79	1,82	1,87	1,93	1,99	2,01	1,92	1,69
Juli	1,22	1,06	1,01	0,97	0,95	0,93	0,96	1,05	1,24	1,45	1,51	1,49	1,43	1,42	1,43	1,45	1,47	1,49	1,53	1,61	1,69	1,73	1,65	1,44
August	1,29	1,13	1,08	1,04	1,02	1,00	1,03	1,12	1,31	1,53	1,59	1,58	1,51	1,50	1,52	1,55	1,56	1,59	1,63	1,70	1,78	1,81	1,73	1,51
September	1,54	1,38	1,32	1,29	1,27	1,26	1,30	1,39	1,58	1,80	1,89	1,88	1,81	1,80	1,83	1,87	1,90	1,93	1,98	2,04	2,09	2,10	2,00	1,77
Oktober	2,00	1,82	1,77	1,74	1,73	1,74	1,78	1,87	2,07	2,31	2,44	2,45	2,36	2,34	2,41	2,47	2,51	2,56	2,61	2,66	2,67	2,64	2,51	2,23
November	2,34	2,15	2,10	2,08	2,07	2,10	2,13	2,22	2,43	2,69	2,84	2,86	2,76	2,74	2,83	2,90	2,96	3,02	3,08	3,11	3,10	3,03	2,88	2,58
Desember	2,63	2,46	2,41	2,39	2,41	2,45	2,51	2,60	2,80	3,08	3,20	3,18	3,12	3,09	3,10	3,23	3,26	3,34	3,45	3,52	3,49	3,33	3,17	2,82

Kl. 17:00 er i starten på time 18.

Kilde: egne beregninger

B Vedlegg: Korreksjonsfaktorer f_m , f_d , f_h

Tabellene nedenfor viser korreksjonsfaktorer f_m , f_d , f_h for husholdninger som ble foreslått i Vista Analyse (2017) og som danner grunnlaget for utkastet til nye KILE-funksjoner som ble sendt til høring av NVE i 2018, samt dagens korreksjonsfaktorer.

Tabell B.1 Ny korreksjonsfaktor f_m

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	des
Ny f_m	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	0,9	1,0
Dagens f_m	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0

Kilde: Vista Analyse (2017), tabell 5.3

Tabell B.2 Ny korreksjonsfaktor f_d

	Ukedag	Lørdag	Søn-/helligdager
Ny f_d	1,0	1,15	1,15
Dagens f_d	1,0	1,1	1,1

Kilde: Vista Analyse (2017), tabell 5.2

Tabell B.3 Ny korreksjonsfaktor f_h

	00-06	06-09	09-12	12-16	16-18	18-21	21-24
Ny f_h	0,65	1,05	0,75	0,75	1,05	1,05	0,8
Dagens f_h	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1

Kilde: Vista Analyse (2017), tabell 5.1



Vista Analyse AS
Meltzers gate 4
0257 Oslo

post@vista-analyse.no
www.vista-analyse.no