



Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på mitt masterstudie i samfunnsøkonomi og fem års studier på Handelshøyskolen ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Det var først og fremst min interesse og fordypning innen miljø- og energiøkonomi som motiverte meg til å skrive denne oppgaven. Jeg vil takke Hilde Marit Kvile i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) for gode råd og forslag til problemstillingen om geografiske faktorerens påvirkning på leveringspålitelighet og nettleie i distribusjonsnettet. Jeg vil også takke Hege Sveaas Fadum i NVE for data.

Jeg vil gi en stor takk til min veileder Olvar Bergland for konstruktive tilbakemeldinger og nyttige innspill. Videre vil jeg takke min far, Einar, for korrekturlesing av oppgaven. En takk vil jeg også gi til Marte og Marie på kontoret, som har vært med på å holde motivasjonen oppe. Til slutt vil jeg takke min samboer, Kevin, for å ha vært en viktig støttespiller med tro på meg gjennom prosessen.

Eventuelle feil og mangler i oppgaven er mitt hele og fulle ansvar.

Ås, 7. mai 2015

Maria Kringlen Halvorsen

Abstract

Norwegian distribution companies operate under different geographic conditions that may influence the reliability of supply and tariffs in the electricity distribution network. This master thesis has estimated the effect of geographic factors on the reliability of supply and tariffs among 121 Norwegian distribution companies in the period 2007-2013.

The research question is to find the extent to which geographic factors influence the reliability of supply and tariffs in the electric distribution network. The thesis also investigates two hypothesis: (1) Distribution companies with difficult geographic conditions have a lower reliability of supply, (2) Distribution companies with difficult geographic conditions have higher tariffs. The research question and hypotheses are investigated by using econometric analysis based on three different panel data sets:

- (i) Long interruptions > 3 minutter
- (ii) Short interruptions ≤ 3 minutter
- (iii) Tariffs for households

Data are gathered from the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). Dataset (i) and (ii) are obtained from NVE's statistics on interruptions and dataset (iii) is obtained from NVE's statistics on distribution tariffs. Both structural and geographic factors are used as explanatory variables, where the geographic factors are time-invariant. The reliability of supply is defined by the frequency and duration of interruptions. Therefore, several dependent variables are used to describe interruptions, as they addresses various aspects of interruptions.

To analyse the effect of geographic factors, I have used an estimation method which takes unobserved effects into account. I assume that the unobserved effects are independent from the explanatory variables through a random effects (RE) model.

The results imply that geographic factors have a limited influence on the reliability of supply and tariffs. I discuss how other factors can influence the reliability of supply and tariffs, and how the chosen method have an impact on the results.

Sammendrag

Norske nettselskaper opererer med ulik geografi som kan påvirke selskapets leveringspålidelighet og nettleie. Denne oppgaven har estimert effekten av geografiske faktorer på leveringspålidelighet og nettleie hos 121 norske nettselskaper i perioden 2007-2013.

Problemstillingen er å finne ut i hvilken grad geografiske forhold påvirker leveringspålidelighet og nettleie i distribusjonsnett for strøm. Forbundet med dette undersøker oppgaven to hypoteser: (1) Nettselskaper med vanskelige geografiske forhold har lav leveringspålidelighet, (2) Nettselskaper med vanskelige geografiske forhold har høy nettleie. Problemstillingen og hypotesene besvares ved bruk av økonometriske analyser basert på tre ulike paneldatasett:

- (i) Langvarige avbrudd med varighet > 3 minutter
- (ii) Kortvarige avbrudd med varighet ≤ 3 minutter
- (iii) Nettleie for husholdninger

Dataene er samlet inn fra Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE). Datasett (i) og (ii) er hentet fra NVEs avbruddsstatistikk og datasett (iii) er hentet fra nettleiestatistikken. Som forklaringsvariabler brukes både strukturelle og geografiske rammevilkår, hvor de geografiske variablene er tids-konstante. Siden leveringspålidelighet defineres av både antall og varighet på avbrudd bruker jeg flere avhengige avbruddsvariabler som tar for seg ulike sider ved leveringspålideligheten.

For å analysere effekten av geografifaktorer har jeg brukt en estimeringsmetode som tar hensyn til uobserverte effekter. Jeg forutsetter at disse uobserverte effektene er uavhengige av forklaringsvariablene gjennom en random effects (RE) modell.

Resultatene viser at geografi har en begrenset påvirkning på leveringspålidelighet og nettleie. Jeg diskuterer hvilke andre faktorer som kan påvirke leveringspålidelighet og nettleie, i tillegg til hvordan metodevalget kan ha hatt en påvirkning på resultatene.

Ordliste

SAIFI	<i>System average interruption frequency index</i>
CAIFI	<i>Customer average interruption frequency index</i>
SAIDI	<i>System average interruption duration index</i>
CTAIDI	<i>Customer total average interruption duration index</i>
CAIDI	<i>Customer average interruption duration index</i>
POLS	<i>Pooled ordinary least squares</i>
FE	<i>Fixed effects</i>
RE	<i>Random effects</i>

Innhold

Forord	i
Abstract	ii
Sammendrag	iii
Ordliste	iv
Liste over figurer	vii
Liste over tabeller	vii
1 Innledning	1
1.1 Motivasjon	1
1.2 Problemstilling og hypoteser	2
1.3 Oppgavens struktur	2
2 Bakgrunn	3
3 Teori	6
3.1 Naturlig monopol	6
3.2 Ramsey prising	7
3.3 Asymmetrisk informasjon	8
3.4 Vogelsang-Finsinger-mekanismen	9
3.5 Prisdifferensiering	9
3.6 Produktkvalitet	10
3.7 Peak load prising	12
3.7.1 Spotprising	12
3.7.2 Selvrasjonering (<i>self-rationing</i>)	13
3.7.3 Prioritetservice (<i>priority service</i>)	13
3.8 Reguleringsformer	15
3.8.1 Kostnadsdekning (<i>cost recovery</i>)	15
3.8.2 Pristaksregulering (<i>price-cap regulation</i>)	15
3.8.3 Avkastningsregulering (<i>rate-of-return</i>)	16
3.8.4 Målestokkregulering (<i>yardstick competition</i>)	16
3.9 Økonomisk regulering i NVE	17
3.9.1 Regulering av antall aktører i markedet	17
3.9.2 Regulering av pris	17
3.9.4 Inntektsrammeregulering	18
3.9.5 Regulering av kvantum	19
3.9.6 Regulering av kvalitet	19
3.9.7 Regulering av investeringer	19

4	Data og metode	20
4.1	Paneldata.....	20
4.2	Pooled OLS (POLS)	20
4.3	Uobserverte effekter	21
4.4	Fixed effects (FE)	21
4.5	Random effects (RE)	21
4.6	Forutsetninger.....	22
4.5	Metodevalg i tidligere forskning	23
4.6	Forklaringsvariabler.....	24
4.7	Modell for leveringspålidelighet	27
4.7.1	Langvarige avbrudd.....	31
4.7.2	Kortvarige avbrudd	32
4.8	Modell for nettleie	33
4.9	Statistiske tester	34
4.9.1	Test for heteroskedastisitet.....	34
4.9.2	Grupper i datastrukturen.....	34
4.9.4	Test for uobserverte effekter	35
4.9.5	Hausman test	35
4.9.6	Test for autokorrelasjon	36
5	Resultater og diskusjon	37
5.1	Leveringspålidelighet	37
5.1.1	Langvarige avbrudd.....	38
5.1.2	Kortvarige avbrudd	42
5.2	Nettleie.....	45
5.3	Diskusjon	47
5.4	Framtidens kraftmarked.....	50
5.5	Svakheter ved oppgaven	50
5.6	Forslag til videre forskning.....	50
6	Konklusjon.....	52
7	Litteratur	54
8	Vedlegg	57

Liste over figurer

Figur 1 Avbruddsstatistikk	5
Figur 2 Frikonkurransse og monopol.....	6
Figur 3 Naturlig monopol.....	7
Figur 4 Ramsey prising	8
Figur 5 Prisdifferensiering	10
Figur 6 Effekten av økt kvalitet.....	11
Figur 7 Histogrammer for avbrudd før og etter log transformasjon	30
Figur 8 Fordelingen til nettleie sammenliknet med normalfordeling	33
Figur 9 Plot av residualer	34

Liste over tabeller

Tabell 1 Typer av goder	11
Tabell 2 Forklaringsvariabler	27
Tabell 3 Beskrivende statistikk for avhengige variabler, langvarige avbrudd	31
Tabell 4 Beskrivende statistikk for avhengige variabler, kortvarige avbrudd	32
Tabell 5 Beskrivende statistikk for nettleie	33
Tabell 6 Resultater for langvarige avbrudd.....	41
Tabell 7 Resultater for kortvarige avbrudd	44
Tabell 8 Resultater for nettleie	46
Tabell 9 Korrelasjonsmatrise over avhengige variabler, langvarige avbrudd.....	57
Tabell 10 Korrelasjonsmatrise over avhengige variabler, kortvarige avbrudd	57
Tabell 11 Korrelasjonsmatrise over forklaringsvariabler, leveringspålitelighet	58
Tabell 12 Korrelasjonsmatrise over forklaringsvariabler, nettleie	58

1 Innledning

1.1 Motivasjon

Formålet med denne oppgaven er å undersøke i hvilken grad geografiske forhold kan forklare forskjeller i leveringspålitelighet og nettleie blant norske nettselskaper. Resultatene vil være viktige for reguleringen av nettselskaper som har som mål at distribusjonsnettene driftes, utnyttes og utvikles på en samfunnsmessig rasjonell og effektiv måte (NVE 2014c).

Nettselskapene eier, og driver overføring av strøm, i distribusjonsnettene. I likhet med annen infrastruktur, har distribusjonsnettene lang levetid og høye investeringskostnader. Derfor er det ikke lønnsomt for samfunnet med parallelle og konkurrerende distribusjonsnett. Det er mer lønnsomt med en selger av strøm for hvert forsyningsområde, noe som gjør at nettselskapene fungerer som naturlige monopoler. For å sikre en tilfredsstillende leveringskvalitet til en rimelig nettleie blir nettselskapene regulert av Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE 2014c). Leveringspålitelighet er en del av begrepet leveringskvalitet og defineres som kraftsystemets evne til å levere elektrisk energi til sluttbrukere. Denne evnen er avhengig av antall og varighet på avbrudd (Aabakken et al. 2014). Nettleie er betaling for overføring av strøm fra nettselskap til forbruker. NVE regulerer nettselskapene ved å tildele konsesjoner og sette inntektsrammer for hvert enkelt nettselskap. Inntektsrammene setter et tak på hvor mye nettselskapene kan tjene i totale nettleieinntekter. Ved hjelp inntektsrammereguleringen blir ikke bare nettleie, men også leveringspålitelighet regulert gjennom kvalitetsjustering av inntektsrammene (NVE 2012a).

Det antas at en del geografiske forhold driver kostnader, og derfor er inntektsrammene justert for forskjeller i geografi. Nettselskaper med vanskelig geografi tillates høyere kostnader gjennom økte inntektsrammer. Samtidig senker avbrudd inntektsrammen ved at leveringskvalitet er integrert i reguleringen. Med kvalitetsjusterte inntektsrammer for ikke levert energi (KILE) skal nettselskapene ha incentiver til å planlegge, operere og vedlikeholde distribusjonsnettene på en samfunnsøkonomisk optimal måte ved å ta kundenes kostnader ved avbrudd med i sine bedriftsøkonomiske vurderinger (Langset et al. 2001).

1.2 Problemstilling og hypoteser

Med utgangspunkt i data fra 121 norske nettselskaper over perioden 2007-2013 ønsker jeg å undersøke i hvilken grad geografiske forhold påvirker leveringspålitelighet og nettleie i distribusjonsnett for strøm. Gjennom økonometriske analyser skal jeg svare på følgende problemstilling:

I hvilken grad påvirker geografiske forhold leveringspålitelighet og nettleie i distribusjonsnett for strøm?

Jeg ønsker å undersøke to hypoteser knyttet til dette:

- 1. Nettselskaper med vanskelige geografiske forhold har lav leveringspålitelighet.*
- 2. Nettselskaper med vanskelige geografiske forhold har høy nettleie.*

1.3 Oppgavens struktur

Oppgaven begynner med et bakgrunnskapittel som skal sette leseren inn i området som skal undersøkes. I kapittel 2 tar jeg for meg relevant teori. Jeg forklarer naturlig monopol som en begrunnelse for regulering. Deretter går jeg inn på prising i naturlig monopoler og prising av økonomiske varer med varierende etterspørsel og som ikke kan lagres (peak load prising). Jeg går videre inn på kostnadsdekning og insentivbasert regulering, samt NVEs regulering av nettselskaper. Kapittel 4 presenterer data, estimeringsmetoder og statistiske tester. I kapittel 5 presenterer jeg resultatene fra analysen samtidig som jeg diskuterer resultatene før jeg konkluderer i kapittel 6.

2 Bakgrunn

Strømnettet består av sentralnett, regionalnett og distribusjonsnett. Sentralnettet er landsdekkende og kan ses på som hovedveiene i overføringssystemet. Regionalnettet er bindeleddet mellom sentralnettet og distribusjonsnettet som overfører strøm fra nettselskap til sluttbrukere: husholdninger, fritidsboliger og næringskunder. Spenningen på strømmen transformeres til lavere nivåer på veien fra produksjon til sluttbrukere (NVE 2009b). Som strømkunde betaler du strøm til to ulike aktører. Til strømleverandøren betaler du en strømpris som er fastsatt på kraftbørsen. Til det lokale nettselskapet betaler du nettleie som dekker kostnaden for overføring av strøm (SNL 2014b). I denne oppgaven vil jeg fokusere på distribusjonsnettet hvor nettselskapene har ansvar for forsyning av strøm i sitt forsyningsområde.

Norge var det andre landet i Europa til å deregulere kraftmarkedet i 1991, etter England og Wales i 1989. Energiloven av 1990 la grunnlaget for dereguleringen som hadde som mål å liberalisere og effektivisere kraftmarkedet gjennom mer markedsbaserte prinsipper. Dereguleringen førte til en strukturell endring i kraftsektoren ved at transmisjons- og distribusjonsnettet ble oppdelt, og produksjon ble konkurranseutsatt. I sammenheng med dereguleringen ble det norske kraftmarkedet integrert med de andre nordiske landene slik at det oppstod et felles nordisk kraftmarked i 2002. Da ble også den nordiske kraftbørsen, Nord Pool, opprettet for å skape en markeds plass for omsetning av elektrisk kraft. Hovedgrunnen til dereguleringen var at det eksisterende markedet fungerte dårlig med hensyn til økonomisk effektivitet og ressursutnyttelse, og spesielt med hensyn til investeringer. Uten et velfungerende marked var det ingen sammenheng mellom markedspriser og investeringer, eller mellom markedspriser og kostnadseffektivitet. Markedet fungerte som et kostnadsdekningssystem og ga derfor ikke nettselskapene insentiver for kostnadseffektivitet (Bye & Hope 2005).

Etter mange år med insentivbasert regulering har mye av ineffektiviteten i elektrisitetsnettverkene forsvunnet. Benchmarking har vært et viktig element i disse effektivitetsgevinstene. Benchmarking er en sammenlikning av et nettselskaps effektivitet mot et referanseselskaps effektivitet, hvor referanseselskapet fungerer som en benchmark (Edvardsen & Førstund 2001). Samtidig som at effektiviteten hos nettselskapene har forbedret seg, står strømnettet overfor utfordringer. På forbrukersiden blir kraft mer energieffektivt, men mer effektkrevende. På produksjonssiden er en større andel av kraftproduksjonen

fornybar energi som ikke kan styres etter behovet for kraft (Andresen & Mook 2015). I tillegg kan klimautfordringer kan føre til mer ekstremvær og belastning på strømmettet.

Strømmettet er en type infrastruktur som også flere andre infrastrukturer er avhengige av, som for eksempel transport, telekommunikasjon og krise- og sikkerhetstjenester. Derfor er det viktig at strømmettet er pålitelig. Avbrudd kan dessuten medføre ulemper og kostnader for husholdninger og bedrifter som er avhengige av belysning, datamaskiner osv. Uforutsette strømavbrudd kan ha sin årsak i alt fra svikt i produksjon til komponentfeil i distribusjonsnettet hvor både geografiske og strukturelle faktorer spiller inn. Siden distribusjonslinjene har begrenset kapasitet, kan også overbelastning føre til brudd når etterspørsel overstiger tilbud (Maliszewski et al. 2012).

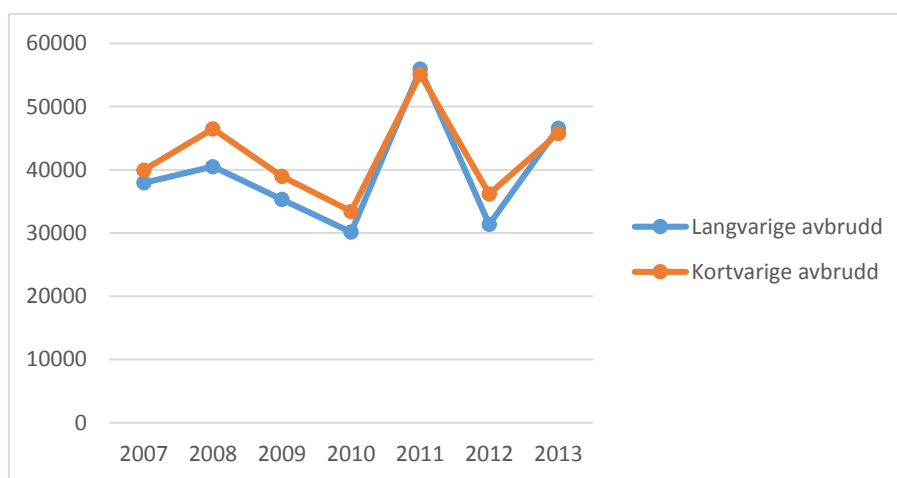
Avbruddsstatistikken til NVE i 2013 viste at de fleste feil i distribusjonsnettet skyldes omgivelser. Nettselskapets omgivelser stod for hele 56,3 % av alle feil, både forbigående og varige. Andre årsaker stod for 19,9 % og teknisk utstyr for 13,4 %. Mindre prosentandeler av disse feilene var grunnet mennesker/personale, driftspåkjenninger og konstruksjon/montasje. De fleste av feilene grunnet omgivelser hadde tordenvær som utløsende årsak. Vegetasjon stod også for en stor del av feilene, etterfulgt av vind, fugl og dyr (Aabakken et al. 2014). Med over halvparten av feilene grunnet omgivelser er det grunn til å tro at geografiske forhold har en stor påvirkning på avbrudd, og dermed også nettleie.

Energiloven skal sikre at overføring av energi foregår på en samfunnsmessig rasjonell måte (Energiloven 1990). Det krever en leveringskvalitet som står i forhold til kostnadene og samfunnets betalingsvillighet for leveringskvalitet. Det har blitt gjennomført en betalingsvillighetsundersøkelse av Sintef Energi og Poyry Management Consulting for å kartlegge samfunnsøkonomiske kostnader ved avbrudd, spenningsforstyrrelser og rasjonering. For husholdninger er de samfunnsøkonomiske kostnadene tilnærmet lik de privatøkonomiske kostnadene. Avbrudd hos husholdninger medfører i liten grad monetære kostnader, men ulike ulemper som er reelle ikke-monetære kostnader. De samlede nasjonale kostnadene for husholdninger ble estimert til 45 millioner kroner for avbrudd og 70 millioner kroner for spenningsforstyrrelser (Pöyry & EnergiNorge 2012).

Leverinspålitelighet er definert som:

$$\frac{LE - ILE}{LE}$$

hvor LE = levert energi og ILE = ikke levert energi. ILE er mengden ikke levert energi som hadde vært levert til sluttbruker dersom avbrudd ikke hadde inntruffet og avhenger dermed av antall og varighet på avbrudd (Leveringskvalitetsforskriften 2005). Figur 1 viser gjennomsnittlig utvikling i antall avbrudd i perioden 2007-2013. Året 2011 skiller seg ut ifra andre år. Orkanen Dagmar raste over Nord-Vestlandet og store deler av Østlandet i løpet av romjulen (Aabakken et al. 2014). Dette førte til at 570 000 kunder mistet strømmen, og 35 000 av disse var uten strøm i over et døgn. Strømbryddet førte også til internett og telefonnett forsvant, i tillegg til problemer med veier og kollektivtrafikk (DSB 2014). Det viser betydningen vær kan ha å si for avbrudd, i dette tilfellet ekstremvær.



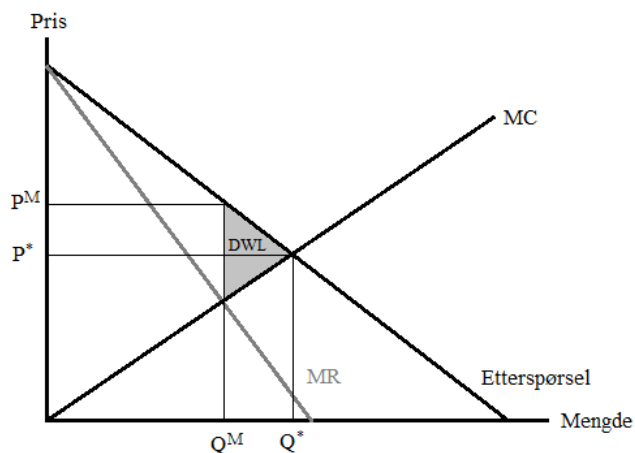
Figur 1 Avbruddsstatistikk

3 Teori

3.1 Naturlig monopol

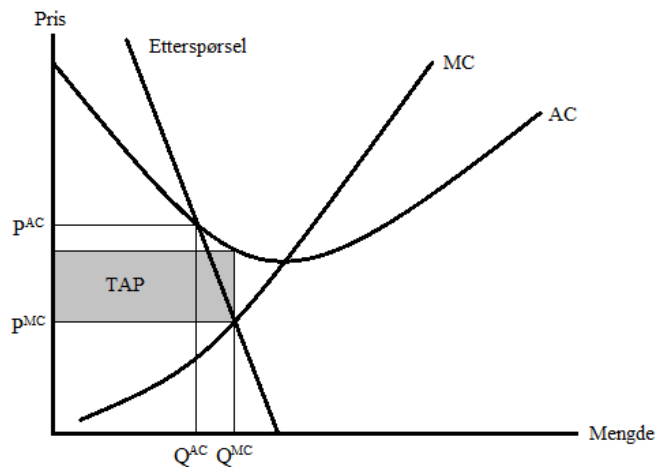
Monopol og naturlig monopol avviker fra perfekt konkurranse. I et marked med perfekt konkurranse er det et stort antall konsumenter og produsenter som ikke har markedsrett til å påvirke prisen. De økonomiske agentene er pristakere og kvantumstilpassere i en økonomi hvor det blir produsert identiske goder uten eksterne effekter. Det forutsettes rasjonell atferd, som vil si at konsumentene maksimerer nytte og produsentene maksimerer profitt. Alle økonomiske agenter har perfekt informasjon og kan gå inn og ut av markedet kostnadsfritt. Prisen i markedet blir bestemt ut ifra tilbudet fra produsentene og etterspørselen fra konsumentene, som vil føre til en tilpasning hvor pris er lik marginalkostnad. Dette maksimerer samfunnsøkonomisk overskudd, og er en Pareto-optimal løsning hvor ingen kan få økt velferd uten at andre får redusert velferd (Varian 2010).

I en monopolsituasjon er det kun en tilbyder av godet, og monopolisten har markedsrett til å påvirke prisen. Monopolisten vil velge den pris og det kvantum som maksimerer profitt. Dette gjør monopolisten ved å sette marginalinntekt lik marginalkostnad ($MR = MC$). I figur 2 ser vi at monopoltilpasningen (P^M, Q^M) fører til en høyere pris og lavere kvantum enn tilpasningen under frikonkurranse (P^*, M^*). Tilpasningen under frikonkurranse er pris lik marginalkostnad ($P = MC$). Ved monopol oppstår det et dødvektstap, som er summen av redusert konsument- og produsentoverskudd. Dette er vist som DWL (dead weight loss) i figuren. Ressursutnyttelsen er ineffektiv i forhold til situasjonen med frikonkurranse, der samfunnets ressurser blir utnyttet optimalt uten samfunnsøkonomiske effektivitetstap (Varian 2010).



Figur 2 Frikonkurranse og monopol

I et naturlig monopol er det lønnsomt for samfunnet med kun en bedrift i markedet. Et naturlig monopol er karakterisert av stordriftsfordeler med store faste kostnader og lave marginalkostnader. Følgelig vil selskapet ha synkende gjennomsnittskostnader. Kostnader blir minimert når det kun en bedrift i markedet. Dersom pris settes lik marginalkostnad i et naturlig monopol, vil ikke bedriften tjene nok til å dekke kostnadene sine, men ha et tap som vist i figur 3.



Figur 3 Naturlig monopol

Distribusjonsnettene kjennetegnes av høye faste kostnader til etablering og vedlikehold, og lave variable kostnader ved overføring av strøm (Andresen & Mook 2015). Det vil også være praktiske, ressursmessige og miljømessige hensyn som begrenser muligheten for at flere nettselskaper kan operere samtidig innenfor samme område.

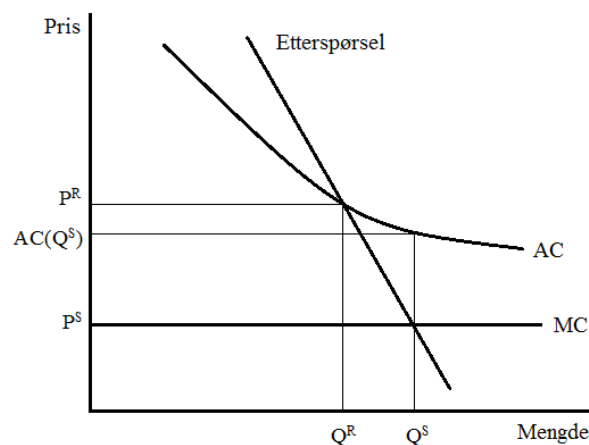
Når gjennomsnittskostnadene er synkende krever produksjonseffektivitet at det kun er en bedrift i markedet. Allokativ effektivitet krever imidlertid at det er flere bedrifter i markedet for å drive marginalkostnadene ned. På grunn av dette forholdet mellom produksjonseffektivitet og allokativ effektivitet, vil ikke frikonkurranse føre til det samfunnsøkonomiske optimale utfallet. I en situasjon med naturlig monopol vil regulering være et bedre alternativ enn frikonkurranse. Regulering vil kunne øke velferd og oppnå både produksjonseffektivitet og allokativ effektivitet (Viscusi et al. 2000).

3.2 Ramsey prising

For et naturlig monopol er Ramsey prising et alternativ til prising lik marginalkostnad. Ramsey prising er den prisen og det kvantumet som maksimerer overskudd gitt at bedriften får dekket sine kostnader. Med andre ord setter bedriften prisen nærmest mulig marginalkostnad gitt at den får dekket sine kostnader. I figur 4 er Ramsey-løsningen vist ved

prisen P^R og kvantumet Q^R . Ramsey priser er optimale priser under et naturlig monopol. Det samfunnsøkonomiske effektivitetstapet er imidlertid ikke null som ved prising lik marginalkostnad. Derfor blir Ramsey prising ansett som det nest beste alternativet. Ramsey prising har to motvirkende effekter; En økning av pris over marginalkostnad er med på å dekke det bedriftsøkonomiske tapet til bedriften, men øker det samfunnsøkonomiske tapet (Train 1991).

I den grad Ramsey prising er den mest effektive prisingen for et naturlig monopol er avhengig av to faktorer: 1) Forskjellen mellom gjennomsnittskostnader og marginalkostnader, 2) Etterspørselstetthet. Dersom det er betydelige stordriftsfordeler vil marginalkostnader være mye lavere enn gjennomsnittskostnader, og ineffektiviteten forbundet med Ramsey prising vil være stor. Om forskjellen mellom marginalkostnader og gjennomsnittskostnader ikke er så stor, vil det kun være et lite dødvektstap under Ramsey prising. Større etterspørselstetthet vil gi større tap enn det lav elastisitet vil gi (Train 1991).



Figur 4 Ramsey prising

3.3 Asymmetrisk informasjon

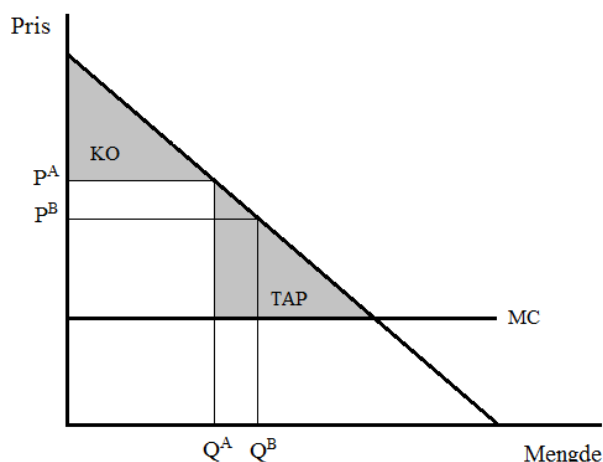
Asymmetrisk informasjon finner sted når regulatoren ikke har perfekt eller fullverdig informasjon om bedriften den skal regulere, slik som den regulerte bedriften har. Bedriften har mer informasjon om sine kostnader, markedets etterspørsel og sine investeringer eller tiltak for å redusere kostnader. Dette gir bedriften incentiver til strategisk atferd for å øke profitt. Regulatoren og bedriften har ulike interesser. Bedriften kan øke sin profitt ved å overbevise regulatoren om at kostnadene er høyere enn reelt, eller rapportere at den har gjort kostnadsreducerende tiltak uten at regulatoren har mulighet til å observere at det er riktig. Det er vanskelig for regulatoren å implementere Ramsey prising eller prising lik marginalkostnad når bedriftens kostnadsfunksjon er ukjent for regulatoren (Church & Ware 2000).

3.4 Vogelsang-Finsinger-mekanismen

Med Vogelsang-Finsinger-mekanismen havner bedriften i et Ramsey utfall uten at regulatoren trenger å vite hva Ramsey prisene og kvantumet er i forkant av reguleringen. Regulatoren trenger heller ikke å vite om bedriftens kostnadsfunksjon. Bedriftens handlinger i en tidsperiode avslører viktig informasjon om priser, kvantum og kostnader som regulatoren kan bruke til å begrense bedriften i den neste perioden. Sekvenser av avslørt informasjon etterfulgt av begrensninger basert på denne informasjonen vil føre til Ramsey prising. Hvis bedriftene rapporterer riktige kostnader løser Vogelsang-Finsinger-mekanismen problemet med asymmetrisk informasjon. Bedriftene kan imidlertid ha et insentiv til å feilrapportere høyere kostnader eller ha et kostnadsnivå som overstiger minimumskostnadene for produksjon. I begge tilfeller vil bedriften tillates høyere priser i den neste perioden. For å forhindre eller redusere feilrapportering kan regulatoren føre tilsyn med bedriftens kostnader. Hvis regulatoren har mulighet til å gi en tilstrekkelig stor straff ved feilrapportering behøver ikke tilsyn å foregå ofte og kostnadene ved tilsyn vil være små. Dersom regulatoren ikke har denne muligheten må tilsyn føres oftere og kostnadene vil bli større. Med riktig tilsyn vil ikke bedrifter feilrapportere kostnader, men de kan likevel sløse ved å ha et kostnadsnivå høyere enn minimumskostnader for produksjon (Train 1991).

3.5 Prisdifferensiering

En bedrift kan bruke prisdifferensiering til å selge det samme godet til ulike priser og dermed ta til seg ubenyttet konsumentoverskudd (KO). Konsumentene vil ikke nødvendigvis være dårligere stilt i en situasjon med prisdiskriminering. I Figur 5 er prisen i utgangspunktet satt over marginalkostnad, som fører til et samfunnsøkonomisk tap. Det er også et konsumentoverskudd på grunn av konsumenter med høyere betalingsvillighet enn prisen. Hvis bedriften i tillegg tilbyr å selge en mengde større enn Q^A (Q^B) til en pris lavere enn P^A (P^B), vil konsumentene være bedre stilt i en situasjon med prisdiskriminering, fordi konsumentoverskuddet blir større. Den minste trekanten i figuren er en økning i konsumentoverskudd som følge av prisdiskriminering av to konsumenter som betaler to ulike priser (Church & Ware 2000).

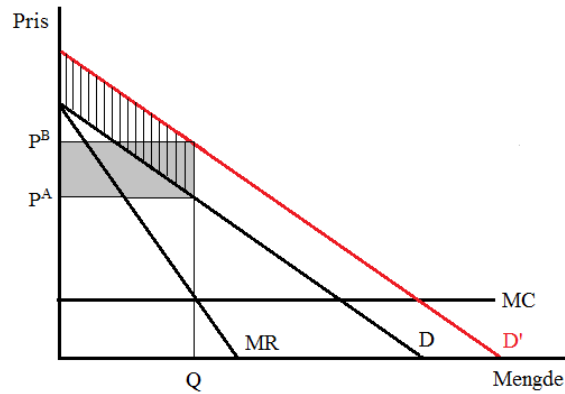


Figur 5 Prisdifferensiering

Det er flere metoder for prisdifferensiering. Dersom et marked kan deles inn delmarkeder kan bedriften sette ulike priser i de ulike delmarkedene. Et marked kan deles inn i geografiske delmarkeder eller med utgangspunkt i kundeforskjeller. Nettselskapene har ulike tariffen for husholdninger, fritidsboliger og bedrifter. En annen form for prisdifferensiering er ikke-lineær prising. Den enkleste formen for ikke-lineær prising er topart-prising. Som navnet tilsier, består topart-prising av to ledd, et fastledd og et variabelt ledd. Kun det variable leddet er avhengig av kjøpt mengde, mens fastleddet er uavhengig av dette. Norske nettselskaper bruker toparts tariffen. En tredje måte er produktkobling, som refererer til at selgeren betinger kjøpet av ett produkt til kjøpet av et annet produkt. To produkter kan knyttes til hverandre teknologisk eller gjennom kontrakter. Før dereguleringen av kraftmarkedet eksisterte det en form for produktkobling ved at produksjon, transmisjon og distribusjon var vertikalt integrert i en bedrift. Til slutt er kvalitetsdiskriminering en form for prisdifferensiering. Ved kvalitetsdiskriminering tar bedriften høyere priser for produkter av høy kvalitet og lavere priser for produkter av lav kvalitet (Church & Ware 2000).

3.6 Produktkvalitet

I likhet med bedriftens valg av pris og kvantitet, kan en bedrift med markedsmakt velge et kvalitetsnivå som maksimerer profitt ved å sette marginalinntekt for økt kvalitet lik marginalkostnad for økt kvalitet. En økning i kvalitet vil flytte etterspørselskurven utover og øke prisen, som vist i figur 6. Det grå området i figuren er monopolistens inntekt, og det skraverete området er samfunnsøkonomisk overskudd. Siden det samfunnsøkonomisk optimale kvalitetsnivået oppnås ved å sette marginaloverskudd fra økt kvalitet lik marginalkostnad, vil ikke alltid det samfunnsøkonomiske og det bedriftsøkonomiske nivået være det samme (Church & Ware 2000).



Figur 6 Effekten av økt kvalitet

Leveringskvalitet av strøm kan karakteriseres med et lavt nivå på rivalisering av forbruk og et høyt nivå på ekskluderbarhet. Det er et lavt nivå på rivalisering fordi strømforbruket til en strømkunde ikke forhindrer en annen kunde i å bruke strøm. Det høye nivået ekskluderbarhet kommer av at kundene må betale for strømforbruket sitt og kan bli ekskludert fra å bruke strøm hvis de ikke betaler strømregningen sin. Dermed kan leveringskvalitet bli sett på som et klubbgode. Klubbgoder er kollektive goder for en definert gruppe eller område. Det skal imidlertid mye til for at en kunde skal bli ekskludert fra å bruke strøm. For at et norsk nettselskap skal kunne stenge strømmen må det foreligge store avvik i betalinger over en lengre periode. Selv om det er sjeldent at nettselskaper ekskluderer kunder i å bruke strøm ved å kutte strømmen, kan leveringskvalitet bli sett på som ett klubbgode på grunn av betalingen som kreves. I det et kollektivt gode må betales for blir det et klubbgode. Klubbgoder og skiller seg fra rene kollektive goder som er ikke-rivaliserende og ikke-ekskluderbare (McDowell et al. 2009). De ulike typene av goder er vist i tabell 1.

Tabell 1 Typer av goder

	EKSLUDERBAR	IKKE-EKSKLUDERBAR
RIVALISERENDE	Privat gode	Felles gode
IKKE-RIVALISERENDE	Klubbgode	Kollektivt gode

3.7 Peak load prising

Etterspørselen etter strøm har store periodiske og tilfeldige variasjoner. Etterspørselen varierer med årstid, uke og tid på dagen. Om vinteren er etterspørselen etter strøm større enn om sommeren. Når strømmen først er produsert må den brukes med en gang. Derfor kan strøm bli sett på som en ferskvare. Mange ferskvarer varierer mye i pris for å balansere pris og etterspørsel. Det er ikke ønskelig med store prisvariasjoner i strømpriser. Dette vil gi ulemper for kundene og høye informasjonskostnader (Vickrey 1971). Det at produksjon og forbruk må foregå samtidig i et svingende marked gir opphav til peak load problemer. Peak load prising referer til prising av økonomiske varer med varierende etterspørsel og som ikke kan lagres. Dersom prisen hadde vært konstant over tid, ville etterspørselen hatt store svingninger. Dette ville krevd oppbygging av kapasitet som ville stått uutnyttet store deler av tiden. Fordi kapasitet koster, brukes peak load prising til å redusere denne ineffektiviteten. Peak load prising kan løse kapasitetsproblemer ved at strømkundene selv avslører sine avbruddskostnader og velger sitt nivå på forsyningssikkerhet. Teorien om peak load prising forsøker å klarere markedet og allokere kapasitet på en effektiv måte, samt å oppnå informasjon om avbruddskostnader (Crew et al. 1995). Jeg vil nå ta for meg tre områder innenfor peak load prising; Spotprising, selvrasjonering og prioritetservice.

3.7.1 Spotprising

Spotpriser balanserer tilbud og etterspørsel og kan gi konsumentene insentiver til optimal atferd. Hvis spotprising lykkes i å klarere markedet til enhver tid, kan overbelastning unngås uten at det vil være behov for rasjonering. Ifølge Vickrey (1971), som var den første til å introdusere spotprising, vil spotprising være det nærmeste man kommer et fritt marked og det beste utfallet i en situasjon med høye faste kostnader og stordriftsfordeler (Vickrey 1971).

Litteraturen om spotprising forutsetter at det ikke er transaksjonskostnader, at konsumentene er risiko-nøytrale og at konsumentene responderer optimalt. Den effektive ressursutnyttelsen som oppnås kommer av økt belastningsfaktor og lavere gjennomsnittsfaktorer (Vickrey 1971). Brudd på disse forutsetningene, som at strømprisen ikke responderer perfekt på prissignaler i en periode, kan føre til høye pristopper denne perioden. I praksis er prisene satt en god stund i forkant av kjøp og salg (Crew et al. 1995). I den nordiske kraftbørsen, Nord Pool, regnes det ut kraftpriser for hver time i det kommende døgnet (Fornybar 2015).

Spotprising blir brukt i engrosmarkedet, men har ikke vært suksessfullt i sluttbrukermarkedet. Det er flere grunner til dette. En grunn er at kundene ønsker en viss anelse om hva de månedlige regningene vil komme på. I spotmarkedet kan uforutsette hendelser føre til

plutselige og store prissvingninger. I sluttbrukermarkedet krever dette allokeringer som må implementeres fort og metoder for å etablere likevektspriser på en rask måte. I tillegg er det transaksjonskostnader ved å kontinuerlig overvåke spotpriser og justere etterspørsel etter dette (Chao & Wilson 1987).

3.7.2 Selvrasjonering (*self-rationing*)

Panzar og Sibley (1978) bruker selvrasjonering til å sette optimale priser og håndtere kapasitetsproblemer. I deres rammeverk lager kundene strømvatler om et bestemt kapasitetsnivå. Konsumenten betaler et beløp for dette kapasitetsnivået, i tillegg til et beløp for hver enhet strøm som faktisk er konsumert. Strømbrydd skal kun forekomme dersom strømforbruket overskrider det avtalte kapasitetsnivået. Da vil strømmen gå for å forhindre videre forbruk. Konsumentenes betalingsvillighet vil variere, og de med høy betalingsvillighet vil betale mer for et høyere kapasitetsnivå. Oppgaven blir dermed å sette en pris for kapasitet og en pris for forbruk som maksimerer velferd, samtidig som man sørger for nok kapasitet til å møte etterspørselen. På den måten unngås strømbrydd ved at konsumentene rasjonerer sitt eget strømforbruk. En svakhet ved tilnærmingen til Panzar og Sibley er at konsumenter kan øke kapasitetsgrensene sine i perioder hvor systemet allerede er overbelastet. Da er ikke konsumentene lengre garantert å få den kapasiteten de har betalt for (Panzar & Sibley 1978).

NTE Nett og Fredrikstad Energi Nett har prøvd ut nettleie med abonnert effekt. Et fåtall av de to nettselskaperes kunder fikk nettleie basert på abonnert effekt og visualisert strømforbruket sitt gjennom et display. Nettleie med abonnert effekt ga redusert energiforbruk og redusert effektuttak. Nettleie kan dermed være et viktig virkemiddel for å utnytte kapasiteten i eksisterende nett, men det kan være vanskelig å kommunisere og gi lastreduksjon også i perioder hvor nytteverdien er begrenset (Andresen & Mook 2015).

3.7.3 Prioritetsservice (*priority service*)

Chao og Wilson (1987) referer til prioritetsservice som en meny av betingede *forward* leveransekontrakter. En kundes valg av kontrakt bestemmer kundens prioritet. Selgeren rasjonerer leveranser i henhold til kundenes prioriteter helt fram til selgeren ikke har mer å tilby eller kunden ikke etterspør mer. Jo mer en kunde er villig til å betale, desto høyere prioritet har kunden (Chao & Wilson 1987). I Marchand sitt rammeverk kan kundene velge mellom flere grader av leveringskvalitet som varierer med sannsynligheten for avbrudd. Dette er ikke urealistisk når selskaper opererer på en utkoblbar basis (Marchand 1974).

Mange selskaper opererer på en utkoblbar basis ved at kunder kan gi selskapet rettigheter til å kutte strømmen når etterspørselen overstiger kapasiteten i systemet. Til gjengjeld får kunden

en reduksjon i strømrregningen sin. Norske nettselskaper har mulighet til å tilby kunder reduserte tariffer mot at nettselskapet kan koble dem ut ved akutt eller forventet knapphet på overføringskapasitet. Ifølge NVE gir ikke utkoblbare tariffer kundene riktig verdsetting av utkobling som et alternativ til nettinvesteringer. Ordningen påvirker ikke nettselskapets kostnader, men er kun en omfordeling av kostnader mellom kundene. Det kan likevel være et behov for fleksibilitet fra kundene som en mulighet til å utsette investeringer i distribusjonsnettet. NVE mener derfor at det bør legges til rette for markedsløsninger for forbrukerfleksibilitet hvor kunden selv kan velge å inngå slike tjenester (Andresen & Mook 2015).

Chao og Wilson relaterer prioritetservice til både produkt differensiering, rasjonering og spotmarkeder. Prioritetservice kan bli sett på som en form for produkt differensiering ved at markedet er delt opp i prioritetsklasser. Prioritetservice kan også bli sett på som et rasjoneringskjema for å kutte tilgang til strøm når etterspørselen overstiger tilbudet. Denne rasjoneringskjema samsvarer med teorien om effektiv rasjonering som tilsier at allokering bør være i henhold til kundenes verdsetting av service. Kundenes prioritetsvalg reflekterer nettopp deres verdsetting av servicen levert strøm. Til slutt kan prioritetservice bli sett på som en form for markedsorganisering som i noen tilfeller kan supplementere, og i andre tilfeller erstatte, spotmarkeder. I prinsippet er prisen for hver prioritetsklasse den samme som er forventet for tilsvarende kvalitet i spotmarkedet. Forskjellen er at spotpriser endres kontinuerlig, mens kontakter for prioritetservice dekker en lengre periode (Chao & Wilson 1987).

Chao og Wilson finner at prioritetservice er bedre enn tilfeldig rasjonering til en fastsatt pris. Ved tilfeldig rasjonering får kundene levert strøm så lenge kapasiteten holder. Ved kapasitetsproblemer er det tilfeldig hvem som får kuttet strømmen sin (Chao & Wilson 1987).

3.8 Reguleringsformer

Målet med regulering er å stimulere til effektiv prising og produksjon med hensyn til kostnader og kvalitet (inkludert pålitelighet), samtidig som at den regulerte bedriften kan dekke sine kostnader uten å utnytte markedsmakt (Joskow 2008). Jeg vil ta for meg de insentivbaserte reguleringene pristaksregulering, avkastningsregulering og målestokkregulering. I tillegg vil jeg ta for meg kostnadsdekning. Etter dereguleringen av kraftsektoren på 1990-tallet har insentiv- og ytelsesbaserte reguleringsformer blitt mer brukt og vist seg å være mer effektive enn reguleringer som kostnadsdekning (Growitsch et al. 2012).

3.8.1 Kostnadsdekning (*cost recovery*)

Kostnadsdekning er en kostnadsbasert regulering, der nettselskapene rapporterer sine kostnader til regulatoren. Regulatoren kan velge å ta kostnadsinformasjonen for gitt og refundere alle innrapporterte kostnader, men ikke noe mer utover det. Nettselskapene er dermed sikret at alle kostnader det påtar seg blir refundert. Siden kun realiserte kostnader blir refundert, vil ikke bedriften sitte igjen med noe overskudd. Dette gir ingen insentiver til å redusere kostnader, fordi bedriften ikke tjener på kostnadskutt (Joskow 2008). Kostnadene kan bli ineffektivt høye med mindre regulatoren gjennomfører en kostbar verifisering av innrapporterte data. I tillegg til uønskede effektivitetsgevinster som sløsing kan kostnadsdekning føre til skjeve investeringsinsentiver, fordi det ikke eksisterer en investeringsrisiko. Kostnadsreduksjon vil kun føre til tap av inntekt og ikke høyere profitt (Bogetoft & Otto 2011). Siden prisene følger kostnadene, fører dette til høyere priser for konsumentene. Når regulatoren ikke vet hvor kostnadsnivået burde ligge, er det vanskelig å vite om bedriften er ineffektiv eller om den faktisk har et høyt kostnadsnivå (Shleifer 1985).

3.8.2 Pristaksregulering (*price-cap regulation*)

Under pristak-regulering setter regulatoren en grense for tillatt pris (eller inntekt) for bedriften i en forhåndsbestemt periode. For å fastsette denne grensen estimeres kostnadsutviklinger i forkant av perioden (Bogetoft & Otto 2011). I stedet for at prisen settes er helt fast, kan den variere med eksogene indekser og kostnadsdrivere. I motsetning til kostnadsdekning beholder bedriften 100 % av alle kostnadsreduksjoner og har dermed insentiver til å redusere sine kostnader. Regulatoren må imidlertid forsikre seg om at pristaket som pålegges bedriften er høyt nok til at bedriften får dekket sine kostnader. Når regulatoren er usikker på bedriftens faktiske kostnader må pristaket derfor settes relativt høyt. Ofte er dette pristaket for høyt i forhold til bedriftens faktiske kostnader. Selv om denne reguleringsformen oppnår reduserte

kostnader, vil ikke nødvendigvis kostnadsreduksjonen komme konsumentene til gode i form av lavere priser (Joskow 2008).

3.8.3 Avkastningsregulering (*rate-of-return*)

Med avkastningsregulering tillattes den regulerte bedriften å tjene en rettferdig avkastning på investert kapital. Bedriften kan selv velge nivået på innsatsfaktorer, produksjon og pris så lenge avkastningen ikke overgår den tillatte avkastningen som er satt av regulatoren. Averch and Johnson (1962) har vist flere problemer med avkastningsregulering. Ifølge den såkalte Averch-Johnson effekten vil den regulerte bedriften bruke mer kapital enn den uregulerte bedriften. Forholdet mellom kapital og arbeidskraft vil være ineffektivt høyt for den regulerte bedriften, fordi den samme mengden kunne blitt produsert billigere med mindre kapital og mer arbeidskraft (Train 1991).

3.8.4 Målestokkregulering (*yardstick competition*)

Målestokkregulering baserer seg på kostnadsfunksjoner som er estimert i etterkant av en gitt periode. Ideen bak målestokkregulering er å etterlikne markedet så mye som mulig ved å bruke reelle observasjoner framfor prognoser (Bogetoft & Otto 2011). Med målestokkregulering får bedriftene mulighet til å dra nytte av fordelene med kostnadsreduksjoner før prisene blir presset ned. Dette gir insentiver til å redusere kostnader. For at insentivet til å redusere kostnader skal være stort nok til å være på effektivt kostnadsnivå, er det nødvendig med en benchmark som sammenlikner bedriften med andre bedrifter. På den måten kan regulatoren evaluere bedriftens potensial, finne ut av hva bedriftens kostnader burde være og sette prisene deretter. Bedriftene bør sammenliknes med liknende regulerte bedrifter. Kostnadene til liknende bedrifter kan brukes til å finne et oppnåelig kostnadsnivå for hver bedrift. Ved å relatere bedriftens kostnader til liknende bedrifter, kan regulatoren tvinge bedrifter som operer i ulike markeder å konkurrere med hverandre. Bedriften vil tjene på å redusere sine kostnader når de andre ikke gjør det. Dersom bedriften ikke reduserer kostnader når de andre gjør det, vil den tape penger. Hvordan bedriften gjør det avhenger dermed av andre bedrifter, noe som skaper konkurranse (Shleifer 1985).

3.9 Økonomisk regulering i NVE

Økonomisk regulering kan rettes mot pris, kvantum, antall bedrifter i markedet, kvalitet og investeringer (Viscusi et al. 2000). En viktig del av reguleringen av nettselskapene i Norge er inntektsrammereguleringen, men inntektsrammereguleringen er kun ett av flere virkemidler for å oppnå målsettingen om effektiv drift, utvikling og utnyttelse av strømmettet. Lover, forskrifter og konsesjoner er andre virkemidler av betydning.

3.9.1 Regulering av antall aktører i markedet

NVE regulerer antallet nettselskaper ved å tildele områdekonsesjoner. Nettselskapene må ha konsesjon for å bygge og drive distribusjonsnett innenfor sitt område. Landet er delt inn i områder hvor hvert område har ett nettselskap som er gitt områdekonsesjon (NVE 2009a).

3.9.2 Regulering av pris

Prisen for overføring av strøm i distribusjonsnettet, nettleie, blir regulert for at prisen til forbruker ikke skal bli for høy. Gjennom inntektsrammereguleringen blir det satt en øvre begrensning på totale nettleieinntekter. NVE angir også prinsipper om hvordan nettselskapene kan utarbeide nettleie gjennom Forskrift om kontroll av nettvirksomhet. Nettleie skal være ikke-diskriminerende og kun differensieres ut fra objektive vilkår. Objektive vilkår er relevante nettforhold som forskjeller i brukstid. Forskjeller i brukstid gir grunnlag for inndeling i kundegrupper som husholdninger, fritidsboliger og næringskunder (NVE 2015b).

De fleste nettselskapene benytter et energiledd for privatkunder som reflekterer verdien av marginale strømtap i overføringsnettet. Når strøm overføres utvikles varme og dermed går en del av energien tapt (Andresen mfl. 2015). Energileddet skal i prinsippet gjenspeile de marginale tapskostnadene som følge av den økte belastningen kunden påfører nettet med sitt forbruk (NVE 2015b).

Det brukes også et andre tariffledd for å dekke nettets høye faste kostnader og for å oppnå en rimelig avkastning. For kunder som ikke effektavregnes skal det settes et fastledd per kunde eller per rapporteringspunkt som minimum skal dekke kundespesifikke kostnader.

Fastleddene er ofte differensiert. Mange selskaper differensierer ut ifra kundens sikringsstørrelse eller forskjeller i brukstid (NVE 2015b).

For kunder som er effektavregnet skal det i tillegg benyttes et effektledd som er basert på kundens effektuttak. Effektavregnede kunder består for det meste næringskunder, men enkelte nettselskaper bruker effektledd for privatkunder hvor alle har timemåling i hjemmet sitt. Det er varierende praksis i fastsettelsen av effektuttak. Noen nettselskaper bruker kundens

maksimaleffekt per måned, mens andre bruker den gjennomsnittlige effekten av flere målinger over samme periode. Siden forholdet mellom leddene i nettleien varierer blant nettselskapene vil dette føre til ulike nivåer på nettleie (NVE 2015b).

Når overføringsbehovet i nettet overstiger kapasiteten, kan kapasitetsledd benyttes for å skape balanse mellom overføringsbehov og nettkapasitet. Nettselskapene pleier ikke å bruke kapasitetsledd i nettleien, men kapasitetsprising finnes i regional- og sentralnettet (Andresen & Mook 2015).

3.9.4 Inntektsrammeregulering

Etter energiloven har økonomisk regulering vært gjennomført over tre perioder. Under den første perioden, 1993-1996, ble det brukt en avkastningsregulering. Dette var kun en midlertidig regulering mens en bedre reguleringsmodell ble utviklet. Den første formen for inntektsrammeregulering fant sted i perioden 1997-2001. Mindre justeringer i reguleringen førte til en ny inntektsrammeregulering i perioden 2002-2006. Dagens inntektsrammeregulering har vært brukt siden 2007. Inntektsrammen består av et kostnadsgrunnlag som skal følge utviklingen av selskapets kostnader, og en kostnadsnorm som skal være frikoblet fra selskapets egne kostnader i størst mulig grad. Denne frikoblingen skal gi incentiver til kostnadseffektivitet (Gammeltvedt et al. 2006).

NVE beregner inntektsrammer (IR) i år t for hvert nettselskap med følgende formel:

$$IR_t = (1 - \rho)K_t + \rho K_t^* \quad \text{hvor } 0 \leq \rho \leq 1 \quad (3.1)$$

K_t = inflasjonsjustert kostnadsgrunnlag fra år $t-2$, K_t^* = kostnadsnormen basert på data fra år $t-2$ og ρ = inntektsrammens normalandel. I dagens regulering har ρ en verdi på 0.6. Det vil si at kostnadsnormen utgjør 60 % av den totale inntektsrammen, mens kostnadsgrunnlaget utgjør 40 % (NVE 2014b).

Kostnadsnormen settes på bakgrunn av den sammenliknende effektivitetsanalysen DEA (data envelopment analysis). Modellen for fastsettelse av kostnadsnorm er laget for å fange opp relevante forskjeller i geografiske og strukturelle rammevilkår. DEA sammenlikner nettselskapene med hverandre ut ifra hvor mye ressurser de bruker på å utføre sin forsyningsoppgave. Det konstrueres et mønsterselskap (en benchmark) for hvert nettselskap. Mønsterselskapet er basert på nettselskapets referanseselskaper, som bruker minst ressurser på å utføre liknende forsyningsoppgaver (NVE 2014a).

Inntektsrammens kostnadsgrunnlag, K_t , beregnes med følgende formel:

$$K_t = (DV_{t-2} + KILE_{t-2}) * \frac{KPI_t}{KPI_{t-2}} + NT_{t-2} * P_t + AVS_{t-2} + AKG_{t-2} * r_{NVE} \quad (3.2)$$

der DV = drifts- og vedlikeholdskostnader (inklusive utbetalinger til kunder med svært langvarige avbrudd og individuelle KILE-avtaler), KILE = KILE-beløp (unntatt individuelle KILE-avtaler), KPI = konsumprisindeksen, NT = overføringstap i MWH, P = referansepris på kraft (områdeprisen), AVS = årlige avskrivninger, AKG = avkastningsgrunnlag (inkludert 1 % for arbeidskapital) og r_{NVE} er NVEs referanserate (NVE 2014b).

3.9.5 Regulering av kvantum

Alle nettselskaper har leveringsplikt til å levere strøm til kunder innenfor sitt forsyningsområde (NVE 2015a). Dersom det skulle oppstå behov for rasjonering fungerer NVE som rasjoneringsmyndighet. Liv og helse prioriteres først i en rasjonerings situasjon. Etter liv og helse skal tilgjengelig energi prioriteres til vitale samfunnsinteresser som administrasjon og forvaltning, informasjon, sikkerhet, infrastruktur og forsyning. Deretter skal næringsliv og økonomiske interesser prioriteres (Forskrift om planlegging mv. 2002).

3.9.6 Regulering av kvalitet

Nettselskapene skal sørge for tilfredsstillende leveringskvalitet i sitt forsyningsområde. Leveringskvalitet av strøm omfatter leveringspålitelighet og spenningskvalitet, samt all kontakt som foregår mellom nettselskap og kunde (NVE 2013a). NVE fører tilsyn av leveringskvalitet hos nettselskapene. For leveringspålitelighet er det ikke tallfestede krav, men flere bestemmelser. Det er krav til utbedring av feil og avbrudd uten ugrunnet opphold. Nettselskapene er pliktig til å gjenopprette elektrisitetsforsyningen så raskt som mulig etter avbrudd. KILE-ordningen skal motivere nettselskapene til dette ved at ikke levert energi (ILE) inngår i nettselskapets inntektsrammer. NVE kan også pålegge enkeltaktører at omfanget av avbrudd skal reduseres. For spenningskvalitet er det gitt konkrete grenseverdier for enkelte spenningsparametere som overspenninger, underspenninger og spenningsprang. Nettselskapene må registrere og rapportere årlige avbruddsdata til NVE. Avbruddsstatistikken er en viktig del av oppfølgingen og reguleringen av leveringskvaliteten (NVE 2013b).

3.9.7 Regulering av investeringer

Distribusjonsnettene har høye investeringskostnader, og reguleringsmodellen som brukes i dag er tilpasset en situasjon hvor nettselskapene skal gjøre store investeringer. Derfor blir inntektsrammene oppdatert årlig (NVE 2014b).

4 Data og metode

I dette kapittelet vil jeg presentere data og redegjøre for metodevalg i analysen av leveringspålidelighet og i analysen av nettleie. Jeg har tatt utgangspunkt i 121 nettselskaper. Det var 152 nettselskaper i Norge i 2014 (SNL 2014a). De nettselskapene som utelukkes er små selskaper med et lite distribusjonsnett og få kunder eller industribedrifter som har distribusjonsnett til eget forbruk.

Jeg vil først analysere hvordan geografi påvirker avbrudd før jeg analyserer hvordan geografi påvirker nettleie. Analysene av avbrudd er todelt med en analyse for kortvarige avbrudd og en analyse for langvarige avbrudd. Data er hentet fra NVEs avbruddsstatistikk og nettleiestatistikk. Geografivariablene er også fra NVE. Alle de tre datasettene er paneldata sett, som består av både tverrsnittsdata (flere enheter) og tidsseriedata (flere perioder). Ved hjelp av statistikkprogrammet Stata vil jeg kvantifisere effekten av geografiske faktorer på leveringspålidelighet og nettleie.

4.1 Paneldata

Paneldata følger de samme enhetene over tid og utnytter dermed variasjonen mellom enhetene, men også variasjon for de samme enhetene over tid. Dette er en fordel ved paneldata over rene tverrsnitts- og tidsseriedata. Paneldata har stor kapasitet for å fange opp kompleksiteten i det som forklares. Antallet frihetsgrader og variasjon i utvalget er større, noe som gir mer effektive og nøyaktige estimatorer. En ulempe som følger av dette er utfordrende metode. Standardfeilene må justeres fordi et år ikke er uavhengig av tidligere år. I tillegg kan det være korrelasjon mellom enhetene (Cameron & Trivedi 2010).

4.2 Pooled OLS (POLS)

For hvert nettselskap, i , er modellen:

$$y_{it} = \beta_1 x_{it1} + \dots + \beta_k x_{itk} + u_{it}, \quad t = 1, \dots, T, \quad (4.1)$$

hvor y_{it} er den avhengige variabelen, x_{it} er uavhengige forklaringsvariabler og β er parameterestimer. u_{it} er feilledet som inneholder alle faktorer som påvirker y_{it} utenom x_{it} . Dersom forklaringsvariablene er ukorrelerte med feilledet kan denne modellen estimeres ved hjelp av *ordinary least squares* (OLS). Feilledet antas imidlertid å være korrelert over tid for en gitt enhet. Dersom vanlige standardfeil brukes i dette tilfellet vil de mest sannsynlig være for små til å gi konsistente estimatorer (Cameron & Trivedi 2010). Derfor bør robuste standardfeil brukes. Hvis det i tillegg er korrelasjon mellom enheter kan standardfeilene korrigeres ytterligere ved å bruke gruppe-robuste standardfeil.

4.3 Uobserverte effekter

En modell med uobserverte effekter kan skrives på følgende måte:

$$y_{it} = \beta_1 x_{it1} + \dots + \beta_k x_{itk} + (\alpha_i + u_{it}), \quad t = 1, \dots, T, \quad (4.2)$$

hvor α_i er uobserverte effekter, og u_{it} er et idiosynkratisk feilledd. u_{it} er kalt et idiosynkratisk feilledd fordi den representerer uobserverte effekter som forandrer seg over tid og som påvirker y_{it} . Den uobserverte effekten, α_i , dekker alle uobserverte tids-konstante effekter som påvirker y_{it} , og er også kalt *uobservert heterogenitet* (Wooldridge 2009). Dersom POLS brukes når det eksisterer uobserverte effekter vil parameterstimatorene være forventningsskjeve, fordi POLS ignorerer uobserverte effekter. Det er to hovedmetoder for å estimere uobserverte effekter; fixed effects (FE) og random effects (RE).

4.4 Fixed effects (FE)

Fixed effects tillater at den uobserverte effekten er korrelert med en eller flere av forklaringsvariablene. Dermed tillater FE en begrenset form for endogenitet. FE tillater at forklaringsvariablene er endogene så lenge de kun er korrelerte med tids-konstante delen av det idiosynkratiske feilleddet (Cameron & Trivedi 2010). Målet med FE er å eliminere den uobserverte effekten, fordi vi tror den er korrelert med en eller flere av forklaringsvariablene (Wooldridge 2009).

4.5 Random effects (RE)

Random effects forutsetter at den uobserverte effekten ikke er korrelert med noen av forklaringsvariablene (Wooldridge 2009). Med andre ord forutsetter RE at forklaringsvariablene er fullstendig eksogene (Cameron & Trivedi 2010). Med RE kan vi derfor estimere effekten av tids-konstante forklaringsvariabler. RE kan bli estimert ved hjelp av *generalized least squares* (GLS).

Når RE og FE brukes er det også ofte nyttig å se på POLS estimatorene i tillegg. En sammenlikning av RE og POLS synliggjør effekten av å etterlate hele den uobserverte effekten i feilleddet som (i POLS) eller kun delvis som (i RE). Likevel er POLS standardavvik og statistiske tester ugyldige, siden POLS ignorerer uobserverte effekter (Wooldridge 2009).

Siden flertallet av variablene i modellen min er tids-konstante hindrer dette bruken av FE. Dersom jeg bruker FE vil alle tids-konstante forklaringsvariabler bli fjernet sammen med den uobserverte effekten. Om RE er en bedre estimeringsmetode enn FE er betinget på at den uobserverte effekten er ukorrelert med forklaringsvariablene. Derfor vil jeg teste for

korrelasjon mellom den uobserverte effekten og forklaringsvariablene. Dersom jeg finner korrelasjon er FE den beste metoden, og RE den nest beste metoden. RE er bedre enn POLS også i tilfeller hvor korrelasjon tilsier at FE bør brukes, men tids-konstante variabler hindrer bruken av FE. Det er imidlertid en fare for at koeffisientene kan være forventningsskjeve, spesielt i små utvalg (Cameron & Trivedi 2010).

4.6 Forutsetninger

FE og RE bygge på mange av de samme forutsetningene (Wooldridge 2009):

- (1) For hvert nettselskap i er

$$y_{it} = \beta_1 x_{it1} + \dots + \beta_k x_{itk} + (\alpha_i + u_{it}), \quad t = 1, \dots, T.$$

- (2) Vi har et tilfeldig utvalg fra tverrsnittet.

- (3) Ingen perfekte lineære sammenhenger eksiterer mellom forklaringsvariablene. For FE må minst noen forklaringsvariabler forandre seg over tid.

- (4) For hver t , er den forventede verdien av den idiosynkratiske feilen gitt av forklaringsvariablene i alle tidsperioder. Den forventede uobserverte effekten er lik null:

$$E(u_{it} | \mathbf{X}_i, \alpha_i) = 0.$$

- (5) $Var(u_{it} | \mathbf{X}_i, \alpha_i) = Var(u_{it}) = \sigma_u^2, \quad t = 1, \dots, T.$

- (6) For alle $t \neq s$, så er de idiosynkratiske feilene ukorrelerte (betinget alle forklaringsvariablene og α_i):

$$Cov(u_{it}, u_{is} | \mathbf{X}_i, \alpha_i) = 0.$$

- (7) Betinget på \mathbf{X}_i og α_i , så er u_{it} uavhengig og likt distribuert som Normal $(0, \sigma_u^2)$.

Siden RE tillater tids-konstante forklaringsvariabler må vi legge til noen forutsetninger om hvordan den uobserverte effekten er relatert til forklaringsvariablene.

Disse forutsetningene må i tillegg legges til for RE:

- (8) Den forventede verdien til α_i gitt alle forklaringsvariablene er konstant:

$$E(\alpha_i | \mathbf{X}_i) = \beta_0.$$

Denne forutsetningen utelukker korrelasjon mellom den uobserverte effekten og forklaringsvariablene. På grunn av denne forutsetningen kan vi inkludere tids-konstante variabler. Forutsetningen utgjør hovedskillet mellom FE og RE.

- (9) Variansen til α_i gitt alle forklaringsvariablene er konstant:

$$Var(\alpha_i | \mathbf{X}_i) = \sigma_\alpha^2.$$

4.5 Metodevalg i tidligere forskning

En undersøkelse som likner analysen i denne oppgaven ble gjennomført av Maliszewski, Larson og Perrings i 2012 i Phoenix, Arizona. De ønsket å finne ut hvilke kunder som ble utsatt for avbrudd gitt ulike geografiske faktorer. I stedet for å se på nettselskaper, er enhetene i undersøkelsen deres husholdninger. De geografiske forholdene i Phoenix er svært ulik geografien i Norge. Phoenix ligger i et ørkenområde som til tider har mye vegetasjon etter perioder med regn. At enhetene er husholdninger fører til en annen type data, andre aktuelle forklaringsvariabler og økometriske metoder. De bruker likevel mange av de samme forklaringsvariablene som jeg vil se på i denne oppgaven. I liket med denne oppgaven ser de kun på ikke-varslede avbrudd (Maliszewski et al. 2012).

Maliszewski, Larson og Perrings begynte først med estimeringsmetoden ordinary least squares (OLS). Siden variablene deres er tellevariabler med en positiv skjev fordeling, brukte de i tillegg en Poisson modell og en negativ binomial modell. For disse to modellene brukte de generalised least squares (GLS) som estimeringsmetode. Poisson modellen passer til data som består av heltall og relativt få verdier. Denne modellen hadde ikke passet til mine data, som består av kontinuerlige verdier med stor variasjon. De brukte også en spatial regresjonsmodell på grunn av sannsynligheten for at avbrudd i et hus er avhengig av avbrudd i en nettstasjon i nærheten. Dette resulterer i høyt korrelerte sett av observasjoner hvor hus i nabolag som er forsynt av samme nettselskap mest sannsynlig vil oppleve den samme forstyrrelsen (Maliszewski et al. 2012).

Maliszewski, Larson og Perrings fokuserte på geografiske forhold, infrastrukturen i distribusjonsnettet, og samspillet mellom de to. Variablene som er inkludert i analysen er blant annet boligareal, avstand til nærmeste vei, vegetasjonstetthet, fugletetthet, avstand til nærmeste ørken, alder på bolig, avstand til nærmeste innsjø og minimumstemperatur i August. De fant ut at luftlinjer er korrelerte med avbrudd, noe som de mente er en indikasjon på at jordkabler er mer motstandsdyktige. Andre positive faktorer i deres undersøkelse var samspillet mellom fugler og vegetasjon i nærvær av luftlinjer. Nærhet til ørkenområder og innsjøer er andre positive faktorer som beskriver mye av variasjonen i avbruddene. I tillegg er nærhet til vei og samspillet mellom boligareal og temperatur også positivt signifikante (Maliszewski et al. 2012).

Geografiske faktorerers påvirkning på avbrudd sammen med strukturelle faktorer har blitt lite undersøkt, og dette påpekes av Maliszewski, Larson og Perrings. I Norge har det blitt gjort en undersøkelse på hvordan geografiske faktorer påvirker effektiviteten hos nettselskaper. Dette

er interessant fordi effektivitetsanalyser blir brukt til å sette kostnadsnormen i inntektsrammene, og denne kostnadsnormen justeres for geografiske faktorer ved at nettselskaper med vanskelige geografiske forhold tillattes høyere inntektsramme. Growitsch, Jamasb og Wetzel undersøkte effektivitetseffekter av observert og uobservert heterogenitet hos 128 norske nettselskaper i perioden 2001-2004. De observerte effektene er geografiske faktorer og værfaktorer. Dette gjorde de ved hjelp av en pooled versjon av effektivitetsanalysen SFA (stochastic frontier analysis) og en SFA modell med «true» random effects. De observerte geografiske faktorene hadde liten påvirkning på selskapenes gjennomsnittlige effektivitet og utfall på effektivitetsskåring (Growitsch et al. 2012).

4.6 Forklaringsvariabler

Som forklaringsvariabler for både avbrudd og nettleie vil jeg begynne med en rekke geografiske og strukturelle rammevilkår. Som utgangspunkt ser jeg på de geografivariablene som NVE har funnet at har en signifikant effekt på å forklare effektivitetsforskjeller. Det er sannsynlig at disse variablene også har en signifikant effekt på å forklare forskjeller i leveringspålitelighet og nettleie. Disse variablene er avstand til vei, jordkabelandel, luftnett gjennom barskog, helning, småkraft, luftnett gjennom løvskog, kystavstand og kystklima. Geografivariablene forandrer seg ikke over tid; de er tids-konstante. Klima forandrer seg over tid, men klimavariabelen her er et gjennomsnitt over tid. I tillegg ser jeg på levert energi, antall sluttbrukere, antall rapporteringspunkter og sjøkabler. Både levert energi, antall sluttbrukere og antall rapporteringspunkter varierer over tid med små forskjeller fra år til år. Jeg vil se på følgende geografiske og strukturelle rammevilkår i denne oppgaven:

- Levert energi
- Antall sluttbrukere
- Antall rapporteringspunkter
- Jordkabler
- Sjøkabler
- Luftlinjer gjennom barskog
- Luftlinjer gjennom løvskog
- Avstand til vei
- Helning
- Småkraft
- Kystavstand
- Kystklima

Leverert energi

Leverert energi er summen av levert energi målt i kWh i løpet av året. Mengden av levert energi sier noe om størrelsen på nettselskapet og er et mål på etterspørsel etter energi og effekt (Gammeltvedt et al. 2006).

Sluttbrukere

En sluttbruker er definert som en kjøper av elektrisk energi som ikke selger energien videre. Dette inkluderer husholdninger, fritidsboliger og bedrifter. Antallet sluttbrukere til et nettselskap sier noe om størrelsen på selskapet og er et mål på etterspørsel etter tilknytning og kunderelaterte tjenester (Gammeltvedt et al. 2006).

Rapporteringspunkter

Et rapporteringspunkt er et tilknytningspunkt med levering direkte til sluttbruker og med krav om rapportering av avbrudd til NVE (Leveringskvalitetsforskriften 2005). Variabelen inkluderer alle rapporteringspunkter i distribusjonsnettet, og inkluderer ikke rapporteringspunkter i regional- og sentralnettet. Denne variabelen sier noe om nettets struktur og kompleksitet.

Jordkabelandel og sjøkabelandel

Disse to variablene tar for seg andelen av høyspent jordkabel og andelen av høyspent sjøkabel av totalt høyspent nett. Høyspent luftnett har over 1 kV spenning (Leveringskvalitetsforskriften 2005).

Barskog og løvskog

Disse variablene beskriver andelen av det høyspente luftnettet som går gjennom barskog og løvskog med høy til særs høy bonitet. For å regnes som barskog må arealet være dekket av minimum 50 % bartrær. Løvskog er definert som et skogareal hvor mindre enn 20 % er dekket av barskog (Amundsveen, R. et al. 2012).

Vei

Veivariabelen er gjennomsnittlig avstand fra høyspent luftnett til vei i meter. Variabelen omfatter privat-, skogsbil-, kommune-, fylkes-, riks- og Europavei med unntak av tunneler og ferjeleier (Amundsveen, R et al. 2012).

Helning

Helningsvariabelen tar hensyn til terrengforskjeller ved at den måler gjennomsnittlig helning i form av terrengets helningsgrad. Variablene kan også fange opp snøskredfare og steinskredfare. Gjennomsnitt helning anses som en bedre variabel enn den maksimale helningen i forsyningsområdet, fordi maksimal helning kun sier noe om det ene punktet hvor helningen er størst (Amundsveen, R et al. 2012).

Småkraft

Denne variabelen beskriver den installerte ytelsen av små kraftverk som mater inn på distribusjonsnettet. Små kraftverk er vannkraftverk med 1000 kW - 10 000 kW (NVE 2012b).

Kystavstand

Kystavstandsvariabelen beskriver antall forsynte øyer som ligger mer enn 1 kilometer fra fastland eller nærmeste forsynte øy (Amundsveen, R et al. 2012).

Kystklima

Kystklima er kvadrert maksimalvind i kommunen dividert på gjennomsnittlig avstand til kyst fra høyspent luftnett i meter. Det brukes referansevind i stedet for gjennomsnittlig referansevind for å fange opp ekstremvind (Amundsveen, R. et al. 2012).

Variablene er valgt ut fra en «ovenfra og ned» - metode. Denne metoden går ut på at jeg inkluderer alle variabler jeg tror kan ha en påvirkning på den avhengige variabelen i regresjonsmodellen. Deretter tar jeg ut variabler på bakgrunn av høy korrelasjon og ikke-signifikante verdier. Jeg ser først på korrelasjoner, og ut ifra dette tester jeg ut et sett med variabler i regresjonsmodeller. Deretter luker jeg ut en og en variabel, og begynner med de med høyest p-verdi til jeg kun har variabler med $p < 0,2000$ igjen i modellen. Dette betyr at det er minst 80 % sikkert at de har en signifikant effekt på variabelen som forklares.

Tabell 2 viser beskrivende statistikk for tidsperioden 2007-2013. Tre avvikende verdier for levert energi er tatt ut. Jeg antar at disse kommer av inntastingsfeil, fordi det er uvanlig med store variasjoner i levert energi fra år til år.

Tabell 2 Forklaringsvariabler

<i>Variabel</i>	<i>Gjennomsnitt</i>	<i>Standardavvik</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>LE</i>	725 000 000	1 910 000 000	21 500 000	17 800 000 000
<i>RP</i>	1054,143	1996,427	81	15 266
<i>SB</i>	22 839,09	58 890,05	986	567 761
<i>Vei</i>	219,3026	197,0109	70,3699	1056,444
<i>Jordkabler</i>	0,3508	0,1794	0,0571	0,8655
<i>Barskog</i>	0,1225	0,1020	0	0,4037
<i>Helning</i>	10,1933	3,5734	3,0312	22,2152
<i>Småkraft</i>	15,4107	22,4470	0	102,092
<i>Løvskog</i>	0,0781	0,0878	0	0,3054
<i>Kystavstand</i>	2,5289	5,4427	0	30
<i>Sjøkabler</i>	0,0178	0,0358	0	0,3308
<i>Kystklima</i>	0,2066	0,5057	0,0025	2,7256

Beskrivende statistikk viser at et gjennomsnittlig nettselskap leverer 725 000 000 kWh energi til 22 839,09 sluttbrukere via 1054,143 rapporteringspunkter i løpet av et år. Nettselskapene har en gjennomsnittlig avstand til vei på 219,30 meter. Et gjennomsnittlig nettselskap har en jordkabelandel på 35,08 % og en sjøkabelandel på 1,78 %. Andelen av luftlinjer som går gjennom barskog har en gjennomsnittsverdi på 12,25 % og andelen igjennom løvskog på 7,81 %. Gjennomsnittlig helning er på 10,19 helningsgrader. Installert ytelse småkraft har en gjennomsnittsverdi på 15,41. Det gjennomsnittlige antallet forsynte øyer er 2,53. Til slutt, har kystklimavariabelen et gjennomsnitt på 0,21. Den beskrivende statistikken viser at det er stor variasjon blant forklaringsvariablene.

4.7 Modell for leveringspålitelighet

Nettselskapene rapporterer sine avbruddsdata årlig til NVE. Avbruddstatistikken er sluttbrukerorientert og beskriver de hendelsene som fører til avbrudd for sluttbrukere. I motsetning er feilstatistikken til Statnett systemorientert og beskriver alle feilhendelsene i nettet uavhengig om sluttbrukere påvirkes (NVE 2013a). Et avbrudd er definert som en «tilstand karakterisert ved uteblitt levering av elektrisk energi til en eller flere sluttbrukere, hvor alle forsyningsspenningene er under 5 % av avtalt spenningsnivå» (Leveringskvalitetforskriften 2005).

I analysen av leveringspålidelighet bruker jeg et datasett for kortvarige avbrudd og et datasett for langvarige avbrudd. Kortvarige avbrudd er mindre enn eller lik 3 minutter og langvarige avbrudd er over 3 minutter. De avhengige variablene er ulike sluttbrukerindikatorer, antall avbrudd i løpet av året, varighet på disse avbruddene (i minutter) og antall sluttbrukere som blir berørt av avbruddene (Leveringskvalitetforskriften 2005). Det skilles videre mellom varslede og ikke-varslede avbrudd. Siden varslede avbrudd er planlagte anser jeg ikke-varslede avbrudd som mer sårbare for vanskelig geografi og mer relevant for denne oppgaven. Det er ikke grunn til å tro at geografiske forhold skal påvirke varslede avbrudd. Derfor bruker jeg kun avbruddstall for ikke-varslede avbrudd. Jeg har regnet ut sluttbrukerindikatorer for ikke-varslede avbrudd på samme måte som NVE regner ut sluttbrukerindikatorer for summen av varslede og ikke-varslede avbrudd. Sluttbrukerindikatorerne er alle mål på antall avbrudd eller avbruddsvarighet.

SAIFI (system average interruption frequency index)

SAIFI er gjennomsnittlig antall avbrudd per sluttbruker og regnes ut som summen av antall avbrudd over året dividert på antall sluttbrukere siste dag i året:

$$SAIFI = \frac{\sum_1^n \text{Antall avbrudd}}{\sum_1^n \text{Antall sluttbrukere}} \quad (4.3)$$

CAIFI (customer average interruption frequency index)

CAIFI er gjennomsnittlig antall avbrudd per berørte sluttbruker og regnes ut som summen av antall avbrudd over året divider på antall sluttbrukere som har opplevd avbrudd innenfor året.

$$CAIFI = \frac{\sum_1^n \text{Antall avbrudd}}{\sum_1^n \text{Antall berørte sluttbrukere}} \quad (4.4)$$

Antall berørte sluttbrukere beregnes ved hjelp av innrapportert CAIFI:

$$\sum_1^n (\text{Antall berørte sluttbrukere}) = \frac{\sum_1^n \text{Antall avbrudd}}{CAIFI} \quad (4.5)$$

SAIDI (system average interruption duration index)

SAIDI er gjennomsnittlig avbruddsvarighet per sluttbruker og regnes ut som summen av avbruddsvarighet over året dividert på antall sluttbrukere siste dag i året:

$$SAIDI = \frac{\sum_1^n \text{Varighet}}{\sum_1^n \text{Antall sluttbrukere}} \quad (4.6)$$

CAIDI (customer average interruption duration index)

CAIDI er gjennomsnittlig gjenopprettingstid per avbrudd og regnes ut som summen av avbruddsvarighet over året dividert på antall avbrudd innenfor året:

$$CAIDI = \frac{\sum_1^n \text{Varighet}}{\sum_1^n \text{Antall avbrudd}} \Rightarrow CAIFI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (4.7)$$

CTAIDI (customer total average interruption duration index)

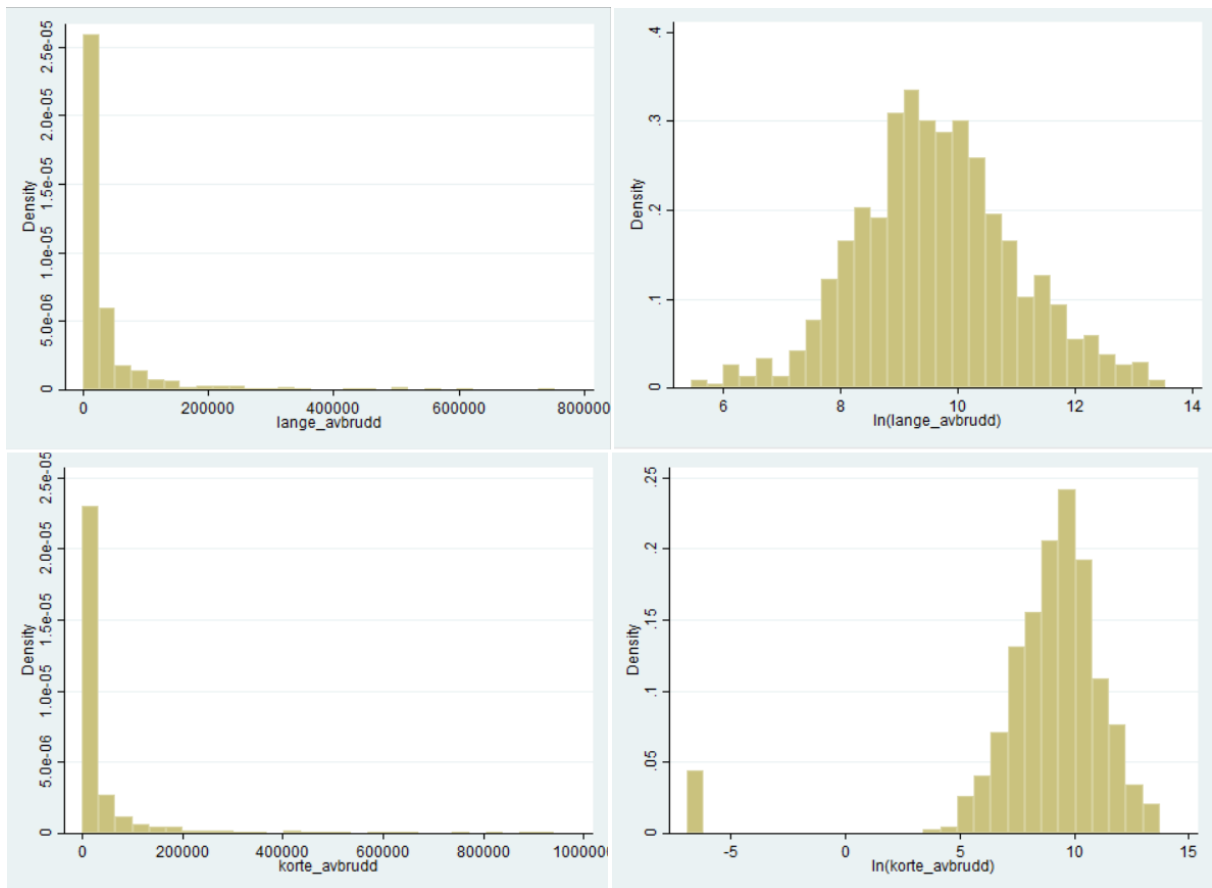
CTAIDI er gjennomsnittlig avbruddsvarighet per berørt sluttbruker og regnes ut som summen av avbruddsvarighet over året dividert på antall sluttbrukere som har opplevd avbrudd innenfor året:

$$CTAIDI = \frac{\sum_1^n \text{Varighet}}{\sum_1^n \text{Antall berørte sluttbrukere}} \Rightarrow \frac{\sum_1^n \text{Varighet} * CAIFI}{\sum_1^n \text{Antall avbrudd}} \quad (4.8)$$

Alle variablene har en positiv skjev fordeling. For å gjøre dataene mer normalfordelte har jeg tatt logaritmen av alle avhengige og uavhengige variabler slik at jeg får en log-log modell som beskriver prosentvise endringer:

$$\ln(y_{it}) = \beta_1 \ln(x_{it1}) + \dots + \beta_k \ln(x_{itk}) + (\alpha_i + u_{it}), \quad t = 1, \dots, T \quad (4.9)$$

Histogrammene i figur 7 viser fordelingen av antall avbrudd for langvarige og kortvarige avbrudd før og etter log transformasjon. Variablene har fått en langt mer normalfordelt distribusjon. Grunnen til at det er en liten stolpe rundt -6,9 for kortvarige avbrudd er at statistikken inneholder noen 0-verdier. Siden det er umulig å ta logaritmen av 0 har jeg justert disse til 0,001 for at de ikke skal forsvinne ved logaritmisk transformasjon.



Figur 7 Histogrammer for avbrudd før og etter log transformasjon

Andel sjøkabler beskriver mye av det samme som kystavstand. Siden sjøkabler viser seg å beskrive avbrudd bedre enn kystavstand bruker jeg sjøkabler i stedet for kystavstand. Variablene levert energi, antall sluttbrukere og antall rapporteringspunkter er høyt korrelerte. Derfor bruker jeg kun levert energi av disse. Jeg anser levert energi som viktig for å beskrive avbrudd med tanke på at variabelen er et mål på etterspørsel etter energi og effekt. Avbrudd er påvirket av etterspørsel, fordi økt etterspørsel gir økt belastning på nettet. Når etterspørselen overstiger tilbudet vil dette føre til avbrudd. Til slutt sitter jeg igjen med åtte variabler i regresjonsmodellen for avbrudd, som alle har lav korrelasjon med hverandre. Dette er synlig i korrelasjonsmatrisen i vedlegget, tabell 11. Levert energi er den eneste variabelen som varierer over tid. De andre forklaringsvariablene er tids-konstante.

4.7.1 Langvarige avbrudd

Datasettet med langvarige avbrudd inneholder data for 121 nettselskaper i perioden 2007-2013. Nettselskaper sammen med år utgjør hver observasjon. Til sammen er det 848 observasjoner i dette datasettet for langvarige avbrudd som er sterkt balansert. Et balansert datasett inneholder tall for like mange år for hvert nettselskap. Tabell 3 viser beskrivende statistikk før log transformasjon for langvarige avbrudd.

Tabell 3 Beskrivende statistikk for avhengige variabler, langvarige avbrudd

VARIABEL	GJENNOMSNIITT	STANDARDVVIK	MINIMUM	MAKSIMUM
BERØRTE	13 405,42	29 006,22	142	315 999
ANTALL	39 693,53	76 628,84	233	752 804
VARIGHET	2 537 839	6 045 680	5505	78 544 030
SAIFI	3,05	2,71	0,08	40,32
CAIFI	4,01	4,03	1	62,59
SAIDI	196,43	299,39	1,73	5196,46
CAIDI	74,16	62,80	7,94	534,89
CTAIDI	258,03	386,55	12,12	5483,88

Det er i gjennomsnitt 3,05 langvarige avbrudd (SAIFI) per sluttbruker. For berørte sluttbrukere er det i gjennomsnitt 4,01 kortvarige avbrudd (CAIFI). Hver sluttbruker opplever i gjennomsnitt avbrudd på 196,43 minutter (SAIDI). Det tar i gjennomsnitt 74,16 minutter før strømmen er gjenopprettet etter et langvarig avbrudd (CAIDI). For den berørte sluttbruker er den gjennomsnittlige varigheten på avbrudd 258,03 minutter (CTAIDI).

Siden alle de avhengige variablene er mål på avbrudd, er det grunn til å tro at korrelasjonen mellom dem er høy. Samtidig beskriver de ulike sider ved avbrudd. Derfor gjør jeg en korrelasjonsanalyse for de avhengige variablene. Som vist i tabell 9 i vedlegget har ikke alle de avhengige variabler høy korrelasjon, men alle korrelasjonene er positive. Antall berørte sluttbrukere, antall avbrudd og avbruddsvarighet er høyt korrelerte. Sluttbrukerindikatorene har generelt lav korrelasjon. Jeg kan ikke anta at de samme forklaringsvariablene beskriver alle disse avhengige variablene like godt, og vil derfor vurdere hvilke forklaringsvariabler som skal inn i de ulike regresjonsanalysene hver for seg.

4.7.2 Kortvarige avbrudd

Datasettet for kortvarige avbrudd inneholder data for 120 nettselskaper i perioden 2007-2013. Tinn hadde ingen kortvarige avbrudd i løpet av denne syvårsperioden og er tatt ut av datasettet. I utgangspunktet hadde datasettet 841 observasjoner, men tre observasjoner ble tatt ut på bakgrunn av ekstreme verdier for enkelte sluttbrukerindikatorer. Dermed ender datasettet opp med 838 observasjoner. Datasettet er ubalansert, fordi det ikke inneholder data for like mange år for hvert nettselskap. Ekstreme verdier, kalt «outliers», gir høye standardavvik og kan påvirke den økonometriske analysen i stor grad. Derfor er det viktig å luke ut slike observasjoner. Observasjonene dette gjelder er en observasjon med SAIFI på 87,38, en observasjon med CAIFI på 108,42 og en observasjon med CAIDI på 31,08. Til sammenlikning er gjennomsnittsverdien til SAIFI 2,57, gjennomsnittet for CAIFI er 3,95 og gjennomsnittet for CAIDI 1,02. Beskrivende statistikk for kortvarige avbrudd før log transformasjon er vist i tabell 4.

Tabell 4 Beskrivende statistikk for avhengige variabler, kortvarige avbrudd

VARIABEL	GJENNOMSNIITT	STANDARDVVIK	MINIMUM	MAKSIMUM
BERØRTE	10 583,20	23 454,03	0,001	233 925
ANTALL	41 748,04	100 988,20	0,001	939 951
VARIGHET	31 014,95	65 995,03	0,001	534 183,80
SAIFI	2,60	3,41	0,001	43,00
CAIFI	3,98	4,02	0,001	47,00
SAIDI	1,99	2,42	0,001	25,77
CAIDI	1,02	0,74	0,001	4,98
CTAIDI	3,18	3,43	0,001	51,38

Det er i gjennomsnitt 2,60 kortvarige avbrudd (SAIFI) per sluttbruker. For berørte sluttbrukere er det i gjennomsnitt 3,98 kortvarige avbrudd (CAIFI). Hver sluttbruker opplever i gjennomsnitt avbrudd på 1,99 minutter (SAIDI). Det tar i gjennomsnitt 1,02 minutter før strømmen er gjenopprettet etter et kortvarig avbrudd (CAIDI). For den berørte sluttbruker er den gjennomsnittlige varigheten på avbrudd 3,18 minutter (CTAIDI).

Korrelasjoner mellom de avhengige variablene for kortvarige avbrudd er vist i tabell 10 i vedlegget. Korrelasjonene er ganske høye, men jeg vil likevel vurdere hvilke forklaringsvariabler som skal brukes i hver regresjonsanalyse hver for seg.

4.8 Modell for nettleie

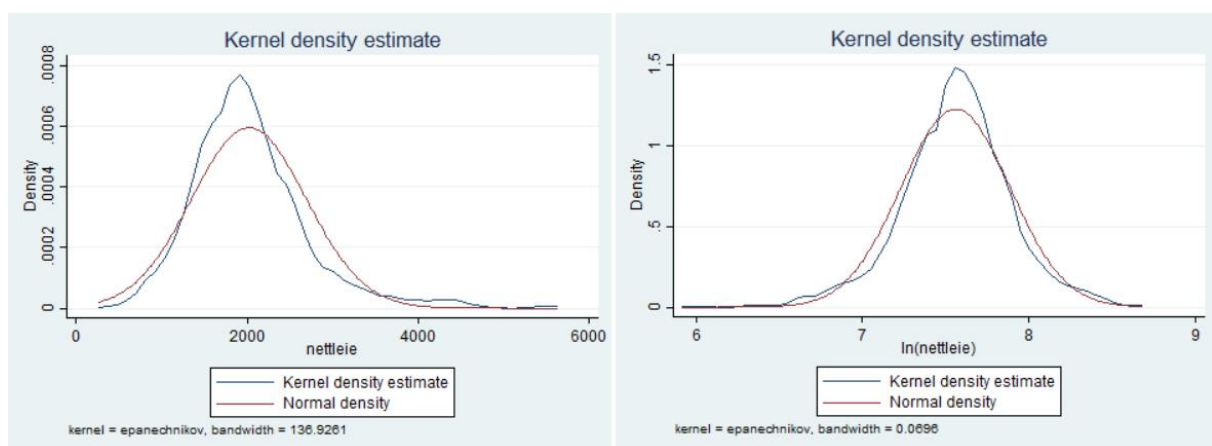
Datasettet for nettleie har data for 121 nettselskaper over perioden i 2007-2013, men to observasjoner fra 2007 mangler. Derfor er også dette datasettet noe ubalansert og inneholder 846 observasjoner. Nettselskapene har ulike tariffier for husholdninger, hytter og bedrifter. Jeg tar kun for meg husholdninger i denne oppgaven, og bruker nettleie uten merverdiavgift som den avhengige variabelen.

Beskrivende statistikk for nettleie er vist i tabell 5. I beregningen av nettleie er det en forutsetning at husholdninger har et forbruk på 20 000 kWh per år. Den gjennomsnittlige nettleien uten merverdiavgift er på 2020,76 kr. Den minste nettleien i datasettet er på 400 kr, mens den høyeste nettleien er på 5500 kr.

Tabell 5 Beskrivende statistikk for nettleie

<i>Variabel</i>	<i>Gjennomsnitt</i>	<i>Standardavvik</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Nettleie</i>	2020,76	671,40	400	5500

Et histogram over nettleie viser at fordelingen ikke er like skjev som hos avbrudd. I en sammenlikning av fordelingen av nettleie med normalfordeling viser likevel at nettleie blir mer normalfordelt ved logaritmisk transformasjon. Dette er synlig i grafene nedenfor, hvor rødt er normalfordeling og blått er faktisk fordeling. Den til venstre viser fordelingen før log transformasjon og den til høyre viser fordelingen etter log transformasjon. Derfor er modellen for nettleie en log-log modell i likhet med avbrudd.



Figur 8 Fordelingen til nettleie sammenliknet med normalfordeling

Forklaringsvariablene for nettleie er stort sett de samme som for avbrudd. Den eneste forskjellen er at kystavstand er brukt i stedet for andel sjøkabler, fordi kystavstand viste seg å beskrive nettleie bedre. Korrelasjonsmatrise over forklaringsvariabler for nettleie er i tabell 12 i vedlegget.

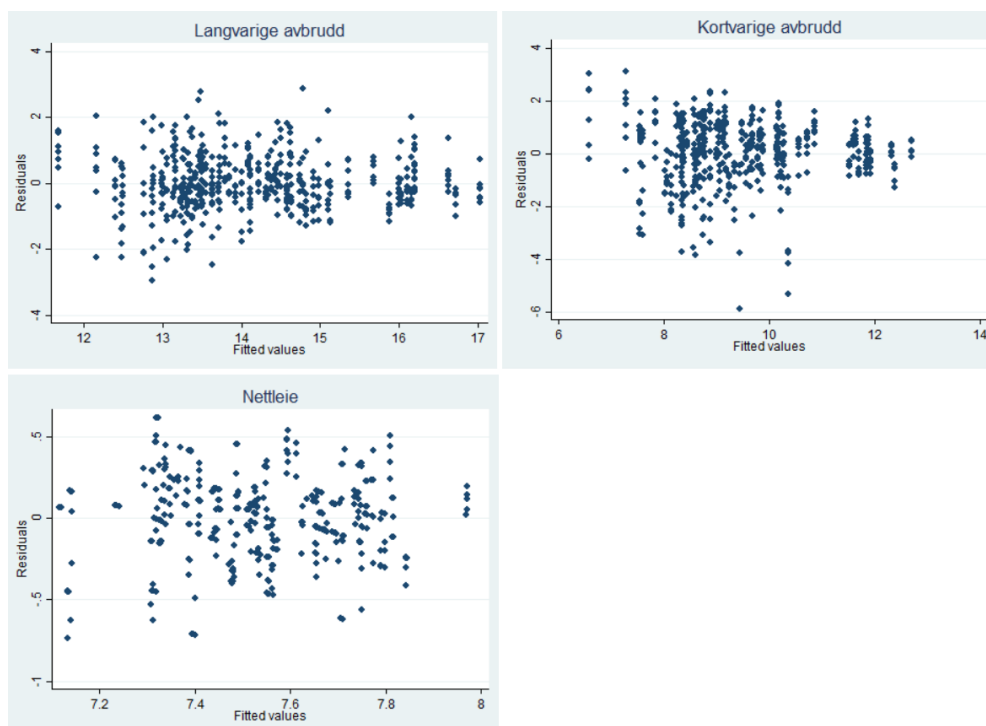
4.9 Statistiske tester

4.9.1 Test for heteroskedastisitet

Homoskedastisitet betyr at residualene har konstant varians for alle forklaringsvariablene. Det motsatte er heteroskedastisitet og vil gi korrekte parameterestimatorer, men feil standardavvik som t-tester bygger på. Jeg tester nullhypotesen om homoskedastisitet ved hjelp av Breusch-Pagan testen og White testen. Begge testene viser tydelige tegn til heteroskedastisitet for alle regresjoner. Derfor tar jeg hensyn til heteroskedastisitet ved å bruke robuste standardfeil.

4.9.2 Grupper i datastrukturen

I paneldata er feilleddene vanligvis korrelerte over tid, siden en observasjon fra ett år ikke er uavhengig av en observasjon fra et tidligere år. Dette er også tilfellet her for nettselskaper. Figur 9 viser residualer for avbruddsvarighet på langvarige, kortvarige avbrudd og nettleie. Figuren viser tegn til at nettselskapene former grupper i datastrukturen med korrelerte feilledd over tid. Dette er også synlig i tilsvarende figurer for de andre regresjonsanalysene. Dette vil gi forventningsrette parameterestimatorer, men feil standardavvik. Derfor har jeg tatt hensyn til grupper i datastrukturen ved å bruke gruppe-robuste standardfeil.



Figur 9 Plot av residualer

4.9.3 Test for modellspesifikasjon

For å teste om regresjonsmodellene er riktig spesifiserte bruker jeg en Ramsey RESET test. Nullhypotesen er at modellen ikke er feil spesifiserte. Feilspesifikasjon kan være utelatte variabler eller ikke-linearitet. For langvarige avbrudd kan ikke nullhypotesen forkastes for antall avbrudd, avbruddsvarighet og SAIFI. Dette tyder på at modellene er riktig spesifiserte. Nullhypotesen kan forkastes for antall berørte sluttbrukere, CAIFI, SAIDI, CAIDI og CTACIDI på et 5 % nivå. Dette tyder på feilspesifikasjon. For kortvarige avbrudd kan nullhypotesen ikke forkastes for antall berørte sluttbrukere, antall avbrudd, avbruddsvarighet, SAIFI, CAIFI og CTACIDI. Dette tyder på at modellene er riktig spesifiserte. Nullhypotesen kan forkastes for SAIDI og CAIDI på et 5 % signifikansnivå, noe som tyder på feilspesifikasjon.

4.9.4 Test for uobserverte effekter

Siden jeg har et paneldatasett tester jeg for uobserverte effekter ved hjelp av Breusch & Pagan Lagrange multipliser for uobserverte effekter, hvor nullhypotesen er ingen uobserverte effekter. Sterkt signifikante p-verdier på 0,000 viser tydelige tegn til uobserverte effekter for alle regresjonsanalyser som utføres. Med dette kan jeg forkaste nullhypotesen om ingen uobserverte effekter, som tilsvarer at POLS er den riktige estimeringsmetoden å bruke. POLS vil ignorere den uobserverte effekten. Alternativet til nullhypotesen er at RE og FE er bedre egnede estimeringsmetoder, fordi de tar hensyn til uobserverte effekter.

4.9.5 Hausman test

Etter å ha testet for uobserverte effekter ønsker jeg å undersøke om disse uobserverte effektene er korrelerte (FE) eller ukorrelerte (RE) med forklaringsvariablene. Dette gjør jeg ved hjelp av en Hausman test før jeg tar bort variabler på grunn av at de ikke er signifikante. Det må være minst en tids-varierende variabel tilstede for at testen skal kunne gjennomføres. Nullhypotesen er at det ikke er systematiske forskjeller i forklaringsvariablene, noe som tilsier bruken av RE. Dersom nullhypotesen kan forkastes bør FE brukes. Nullhypotesen kan ikke forkastes for alle regresjonene for kortvarige avbrudd, hvor testen viser høye p-verdier. Dermed bør RE brukes for kortvarige avbrudd. Nullhypotesen kan heller ikke forkastes for flertallet av regresjonene for langvarige avbrudd, men den forkastes på et 5 % nivå for antall berørte sluttbrukere, avbruddsvarighet og CAIDI. For nettleie kan nullhypotesen ikke forkastes, og dermed bør FE brukes for nettleie. Der nullhypotesen kan forkastes sier testen at FE bør brukes, men dette vil ta bort de tids-konstante variablene. Når tids-konstante variabler utelukker FE, er det andre beste alternativet RE. RE er et bedre alternativ enn POLS, også når

Hausman testen tilsier at RE er inkonsistent og FE bør brukes (Cameron & Trivedi). Derfor vil jeg bruke RE i alle analysene, men jeg vil være kritisk til resultatene hvor FE burde blitt brukt. Siden dette gjelder kun 3 av 16 regresjonsanalyser for avbrudd, har jeg likevel tilstrekkelig med andre regresjonsresultater å trekke konklusjoner fra.

4.9.6 Test for autokorrelasjon

For å teste for autokorrelasjon kjører jeg regresjoner med laggede residualer. Nullhypotesen er ingen autokorrelasjon, som vil si ingen korrelasjon mellom feilleddene over tid. Dersom p-verdien for det laggede residualet er signifikant er det autokorrelasjon. Denne testen viser tegn til autokorrelasjon.

RE tar hensyn til autokorrelasjon i feilleddet. For feilleddet $u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$ er det forutsatt at α_i er i.i.d. (*independent and identically distributed*) med variansen σ_α^2 og at u_{it} er i.i.d. med variansen σ_ε^2 . Da har u_{it} variansen $Var(u_{it}) = \sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2$ og kovariansen $Cov(u_{it}, u_{is}) = \sigma_\alpha^2, s \neq t$. Av dette følger det at:

$$\rho_u = Cor(u_{it}, u_{is}) = \frac{\sigma_\alpha^2}{\sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2}, \quad s \neq t \quad (4.10)$$

Denne konstante variansen er kalt intraklasse-korrelasjonen til feilleddet. Derfor tillater RE autokorrelasjon i feilleddet (Cameron & Trivedi 2010).

5 Resultater og diskusjon

I dette kapittelet vil jeg presentere resultatene fra analysen og diskutere disse. Variablene i regresjonsmodellene som er brukt er signifikante som en gruppe ifølge F-testen. Når jeg ser på signifikansen til koeffisientene hver for seg ved hjelp av t-tester, bruker jeg tre ulike signifikansnivåer og diskuterer resultatene ut ifra dette. Jeg har merket koeffisientene etter signifikansnivå med *** for 1 %, ** for 5 % og * for 10 %. Koeffisientene som ikke er merket er ikke signifikante på 10 % nivå, men de har $p < 0,2000$. De variablene med $p > 0,2000$ er ikke inkluderte i regresjonene. Standardavvik er oppgitt i parentes for alle koeffisientene.

5.1 Leveringspålitelighet

Jeg har hovedsakelig brukt estimeringsmetoden RE, men også sett på resultatene til POLS. Regresjon med RE gir noen få flere signifikante verdier enn POLS. Koeffisientene er tilnærmet like, og det er heller ikke stor forskjell på standardavvikene. Derfor presenterer jeg kun resultatene fra RE, som har vist seg å være en bedre estimeringsmetode.

De åtte avhengige variablene for leveringspålitelighet gir åtte ulike regresjoner for analysen av langvarige avbrudd og åtte regresjoner for analysen av kortvarige avbrudd. Signifikante verdier varierer med hvilken avhengig variabel som brukes. Jeg forventer at de fleste forklaringsvariablene har positive effekter, fordi jeg anser dem som vanskelige geografiske forhold. En positiv effekt betyr at en økning i variabelen fører til en økning i avbrudd, mens en negativ effekt betyr at variabelen reduserer avbrudd.

Jeg forventer at levert energi kan ha en positiv effekt på avbrudd med tanke på at det er et mål på etterspørsel etter energi og effekt. Større etterspørsel gir mer belastning på nettet. Hvis etterspørselen overstiger tilbudet vil det lettere forekomme avbrudd. Siden jordkabler er beskyttet mot omgivelser som kan forårsake avbrudd, forventer jeg at denne variabelen kan ha en negativ effekt på avbrudd. Det hender at trær faller over strømmettet og kutter strømmen, eller at grener kommer borti strømmettet og gir forstyrrelser. Mekanisk påkjenning fra skog reduserer nettets tekniske levetid som kan føre til feil og avbrudd (Gammeltvedt et al. 2006). Derfor forventer jeg at både luftlinjer i barskog og luftlinjer i løvskog kan ha positive effekter. Et nettselskap med høy helningsgrad har bratt og ulent terreng, som jeg anser som et vanskelig geografisk forhold. Bratt og ulent terreng reduserer framkommelighet og gjør vedlikeholds-, feilrettings- og anleggsarbeider vanskelig. Dessuten er det større fare for snø-, stein- og jordras (Amundsveen, R et al. 2012). Dette kan føre til skade på nettanleggene, redusert teknisk levetid og større sannsynlighet for avbrudd. Ras kan også blokkere

veiforbindelser som hindrer personell i å rette feil. Derfor forventer jeg en positiv effekt for helning. Avstand til vei reduserer også framkommelighet, som tilsier en positiv effekt, i det minste for varigheten på avbrudd. De fleste øysamfunn er forsynt ved hjelp av sjøkabler. Det kan ta tid å rette opp sjøkabler hvis et avbrudd først inntreffer, og i enkelte tilfeller ikke forsvarlig å sende ut personell i båt for å rette feil. Derfor forventer jeg at sjøkabler har en positiv effekt, i det minste for varigheten på avbrudd. Når det gjelder småkraft forventer jeg at denne variabelen kan påvirke i begge retninger. Det har blitt hevdet at innmating av mini-, mikro- og småkraftverk endrer kraftflyten og overføringstapet i nettet, noe som øker investeringsbehovet. I enkelte situasjoner kan også det motsatte være tilfellet (Gammeltvedt et al. 2006). Klimavariabelen som jeg bruker i denne analysen består av vind. Mekanisk påkjenning fra vind reduserer nettets tekniske levetid. Jo mer vindutsatt et område er, desto større sannsynlighet er det for feil i anleggene. For anlegg ved kysten kan vind dessuten ta med seg salt som kan føre til lavere teknisk levetid, korrosjon, kortslutninger og avbrudd (Gammeltvedt et al. 2006). Derfor forventer jeg en positiv effekt for kystklima.

5.1.1 Langvarige avbrudd

Resultatene for langvarige avbrudd er vist i tabell 6. Regresjonene med antall berørte sluttbrukere, avbruddsvarighet og CAIDI som avhengig variabel er estimert med RE selv om det er korrelasjon mellom den uobserverte effekten og forklaringsvariablene. Derfor er det viktig å huske på at koeffisientene i disse regresjonene kan være forventingskjevne. For de øvrige regresjonene er den uobserverte effekten ukorrelert med forklaringsvariablene, som betyr at RE er en egnet estimeringsmetode.

Resultatene for sluttbrukerindikatorene er generelt mindre signifikante enn resultatene for de øvrige regresjonsanalysene. Det vil si at dersom vi tar selskapets størrelse med i betraktning har geografiske forhold mindre å si for avbrudd. Dette gjelder også levert energi. Levert energi er positiv og sterkt signifikant på et 1 % nivå for antall berørte sluttbrukere, antall avbrudd og avbruddsvarighet. For gjennomsnittlig varighet per avbrudd (CAIDI) er levert energi signifikant på et 5 % nivå. Levert energi er dermed kun signifikant for de avhengige variablene som ikke tar hensyn til antall sluttbrukere. At levert energi er signifikant for avbrudd tyder på at jo mer energi et nettselskap leverer, desto høyere er sannsynligheten for avbrudd. Dette er i henhold med forventningene. Det er også grunn til å tro at selskaper som leverer mye energi vil ha flere avbrudd. Hvis vi ser på hvor mye energi selskapet leverer i forhold til antall sluttbrukere er ikke effekten av levert energi signifikant på avbrudd. En 1 % økning i levert energi fører til en 0,57 % økning i den avhengige variabelen antall avbrudd.

Kystklima viser seg å ikke være signifikante for langvarige avbrudd. Det er likevel grunn til å tro at kystklima påvirker langvarige avbrudd, men denne effekten er ikke fanget opp her. Det er mulig at en annen klimavariabel hadde fanget opp klimaeffekten bedre, eller at den samme klimavariabelen hadde vært signifikant sammen med et annet sett av variabler.

Jordkabler er negativ og sterkt signifikant på et 1 % nivå for antall berørte sluttbrukere og avbruddsvarighet, og på et 10 % nivå for antall avbrudd. Av disse er det kun antall avbrudd som er egnet for estimering med RE. Jordkabler er ikke signifikant for noen av sluttbrukerindikatorerne. En 1 % økning i jordkabelandel fører til en reduksjon i antall avbrudd på 0,20 %. Denne effekten er imidlertid kun signifikant på 10 %. At fortegnet er negativt er som forventet. Maliszewski, Larson og Perrings (2012) finner at jordkabler er mer motstandsdyktige på grunn av korrelasjon mellom luftlinjer og avbrudd. Siden jordkabler ligger under bakken og på den måten er beskyttet for omgivelser er de sannsynligvis mer motstandsdyktige. Jeg kan konkludere med det samme som Maliszewski, Larson og Perrings ut ifra mine resultater for luftlinjer gjennom barskog, men ikke ut ifra mine resultater for luftlinjer gjennom løvskog.

Andelen av luftlinjer som går gjennom barskog er positiv og sterkt signifikant på et 1 % nivå for antall avbrudd og avbruddsvarighet, og på et 5 % nivå for antall avbrudd. Barskog er ikke signifikant for noen av sluttbrukerindikatorerne. En 1 % økning i barskog fører til en 0,08 % økning i den avhengige variabelen antall avbrudd. Dette indikerer at jordkabler er mer motstandsdyktige. Andelen av luftlinjer som går gjennom løvskog er sterkt signifikant for alle regresjonsanalysene med unntak av CAIDI, hvor den ikke er signifikant. Her er imidlertid effekten negativ. En 1 % økning i løvskog skal føre til en reduksjon på 0,19 % for antall avbrudd. Dermed kan vi ikke trekke en konklusjon om at jordkabler er mer motstandsdyktige enn luftlinjer når det gjelder luftlinjer gjennom løvskog. Løvskog har mest sannsynlig ikke en reduserende effekt på avbrudd, men kan muligens være mer fordelaktig enn barskog. Den mest sannsynlige forklaringen på det uventede resultatet er at utelatte variabler korrelerer med forklaringsvariablene. Da vil parameterestimatorene for disse være feil. Derfor kan det tenkes at det er et problem med utelatte variabler, som kan være geografiske og/eller ikke-geografiske. Områder med barskog kan ha faktorer som er korrelerte med andre forhold som er krevende i forhold til områder med løvskog. På samme måte kan områder med løvskog ha faktorer som er korrelerte med andre forhold som er mer fordelaktige enn barskog. Det kan også være verdt å merke seg at definisjonen på variabelen barskog er skog med minimum 50 % bartrær, mens definisjonen på variabelen løvskog er mindre enn 20 % barskog.

Jeg forventet at småkraft kan påvirke i begge retninger, men småkraft viser seg å kun ha positive effekter. Med andre ord har småkraftverk hyppigere og lengre avbrudd. Denne effekten er sterkt signifikant på et 1 % nivå for alle regresjoner med unntak av antall berørte sluttbrukere, hvor den er signifikant på et 10 % nivå. Småkraft er dermed den mest signifikante driveren for avbrudd i denne modellen. En 1 % økning i småkraft fører til en 0,20 % økning i antall avbrudd. Påstanden om at innmating av småkraftverk endrer kraftflyten i nettet ser ut til å være reell. Kraftflyten endrer overføringstapet, som videre kan føre til avbrudd. Dersom det ikke investeres i samsvar med det økte investeringsbehovet øker dette sannsynligheten for avbrudd.

Helning er signifikant for avbruddsvarighet på et 5 % nivå og for antall avbrudd på et 10 % nivå. Effekten er negativ, noe som betyr at helning skal ha en reduserende effekt på avbrudd. En 1 % økning i helning skal føre til en økning på 0,57 % for antall avbrudd. Dette stemmer ikke overens med forventningene og erfaringer. Også denne variabelen ser ut til å korrelere med utelatte variabler.

Sjøkabler er signifikant på et 5 % nivå for avbruddsvarighet og på et 10 % nivå for SAIDI og CAIDI. Effekten er som forventet positiv. Dette indikerer at sjøkabler ikke er like robuste som jordkabler. Siden det ofte tar tid å rette opp avbrudd med sjøkabler, gir det mening at sjøkabler er mest signifikant for avbruddsvarighet. En 1 % økning i sjøkabler fører til en 0,15 % økning i avbruddsvarighet. Siden regresjonen med CAIDI ikke tilfredsstiller forutsetningene til RE, kan imidlertid ikke dette resultatet stoles på. For CTAIDI, som oppfyller forutsetningene, vil en 1 % økning føre til en økning på 0,08 % for langvarige avbrudd. Dette resultatet er kun signifikant på et 10 % nivå.

Avstand til vei er kun signifikant for CAIDI, og det på et 5 % nivå. Effekten er positiv som forventet. En 1 % økning i veiavstand fører til en 0,12 % økning i gjennomsnittlig varighet per avbrudd (CAIDI). Siden regresjonen med CAIDI ikke tilfredsstiller forutsetningene til RE, er heller ikke dette resultatet til å stoles på. Avstand til vei er ikke en viktig driver for langvarige avbrudd i denne modellen.

Når det kommer til konstantleddene er noen signifikante og andre ikke, noen har positive fortegn og andre har negative fortegn. Alle nettselskapene har i det minste noen av de geografiske forholdene til en viss grad, og alle nettselskapene må levere noe energi. Derfor gir det ikke mening å se hva avbruddstallet hadde vært uten de inkluderte forklaringsvariablene. Et selskap som ikke leverer energi kan heller ikke ha avbrudd.

Tabell 6 Resultater for langvarige avbrudd

	LN(BERØRTE)	LN(ANTALL)	LN(VARIGHET)	LN(SAIFI)	LN(CAIFI)	LN(SAIDI)	LN(CAIDI)	LN(CTAIDI)
KONSTANT	-6,6048*** (0,5857)	-0,1883 (1,8826)	3,7723* (2,0208)	0,3110 (0,2852)	0,6743*** (0,1157)	4,3222*** (0,2802)	1,8700*** (0,7171)	5,8889*** (0,5904)
LN(LE)	0,7664*** (0,0319)	0,5667*** (0,0595)	0,5818*** (0,0644)				0,0751** (0,0352)	
LN(VEI)							0,1186** (0,0481)	
LN(JORDKABLER)	-0,2504*** (0,0810)	-0,1985* (0,1083)	-0,2715*** (0,0897)	-0,1471 (0,1146)		-0,1691 (0,1121)		
LN(BARSKOG)	0,0519** (0,0221)	0,0825*** (0,0291)	0,1090*** (0,0347)					
LN(SMÅKRAFT)	0,0445* (0,0265)	0,2063*** (0,0564)	0,2369*** (0,0512)	0,1375*** (0,0436)	0,1252*** (0,0319)	0,1745*** (0,0456)	0,0888*** (0,0294)	0,1748*** (0,0359)
LN(HELNING)		-0,6258* (0,3197)	-0,6724** (0,3377)					-0,2401 (0,1867)
LN(LØVSKOG)	-0,0953*** (0,0262)	-0,1907*** (0,0493)	-0,1807*** (0,0542)	-0,1349*** (0,0323)	-0,0884*** (0,0211)	-0,1218*** (0,0362)		-0,0692** (0,0331)
LN(SJØKABLER)		0,0961 (0,0643)	0,1456** (0,0671)	0,0677 (0,0475)		0,0894* (0,0519)		0,0839* (0,0432)

5.1.2 Kortvarige avbrudd

Resultatene for kortvarige avbrudd er vist i tabell 7. For kortvarige avbrudd viste Hausman testen at RE kan brukes for alle regresjonsanalysene, og dette har blitt gjort. Andelen av luftlinjer gjennom løvskog er ikke signifikant for noen av regresjonene. Siden effekten av løvskog var negativ i analysen for langvarige avbrudd og ikke signifikant for kortvarige avbrudd, viser ikke løvskog seg som en viktig driver for avbrudd i denne modellen. Kystklima, som ikke var signifikant for langvarige avbrudd, er så vidt signifikant på et 10 % nivå for antallet kortvarige avbrudd. Klima beskriver dermed ikke avbrudd godt i denne modellen heller.

Den mest signifikante variabelen for kortvarige avbrudd er levert energi som er signifikant på et 1 % nivå for alle avbruddstall. Kortvarige avbrudd ser dermed ut til å være mest påvirket av levert energi, uavhengig av størrelsen på nettselskapet. At effekten er positiv er i henhold med forventninger og resultatene fra langvarige avbrudd. En forskjell fra resultatene for langvarige avbrudd er at levert energi også er signifikant for de avhengige variablene som tar hensyn til antall sluttbrukere. Effekten er likevel mindre for sluttbrukerindikatorene enn den er for de øvrige regresjonsanalysene. En 1 % økning i jordkabelandel fører til en økning på 1,25 % for antall avbrudd og en økning på 0,50 % for gjennomsnittlig avbruddsvarighet per sluttbruker (SAIDI).

Jordkabler er signifikant på et 1 % nivå for antall avbrudd og SAIFI, på et 5 % nivå for antall berørte sluttbrukere og SAIDI, og på et 10 % nivå for CAIFI. I likhet med langvarige avbrudd er effekten negativ. Grunnen til dette er antakelig den samme som for langvarige avbrudd. En 1 % økning i jordkabler fører til en reduksjon på 0,72 % for det gjennomsnittlige antallet av avbrudd per sluttbruker (SAIFI).

Andelen av luftlinjer som går gjennom barskog er så vidt signifikant for gjennomsnittlig antall avbrudd per berørte sluttbruker (CAIFI) på et 1 % nivå. I motsetning til langvarige avbrudd er effekten negativ, men liten på 0,07. Som nevnt er løvskog ikke signifikant for kortvarige avbrudd. Derfor beskriver ikke skog kortvarige avbrudd godt i denne modellen.

Småkraft var signifikant for alle regresjonene i langvarige avbrudd, men for kortvarige avbrudd er den kun signifikant for CTAIDI på et 5 % nivå og for CAIDI på et 10 % nivå. Siden CTAIDI og CAIDI er indikatorer på varighet, ser småkraft ut til å påvirke varigheten på kortvarige avbrudd mer enn antallet. En 1 % økning i småkraft fører til en 0,13 % økning i gjennomsnittlig avbruddsvarighet per berørte sluttbruker (CTAIDI).

Helning er kun signifikant for gjennomsnittlig avbruddsvarighet per sluttbruker (SAIDI). Her er effekten positiv og signifikant på et 5 % nivå. Dette er et mer forventet resultat enn for langvarige avbrudd, hvor effekten var negativ. En 1 % økning i helning fører til en 0,81 % økning i SAIDI for kortvarige avbrudd.

Sjøkabler er signifikant for antall berørte sluttbrukere og antall avbrudd på et 5 % nivå. I motsetning til langvarige avbrudd, er effekten her negativ. Det er grunn til å tro at sjøkabler beskriver langvarige avbrudd best, fordi feil i disse kablene kan ta tid å rette opp, noe som påvirker varigheten og ikke hyppigheten til avbrudd.

Avstand til vei er positiv signifikant på et 5 % nivå for gjennomsnittlig varighet per berørte sluttbruker (CTAIDI) og på et 10 % nivå for gjennomsnittlig varighet per avbrudd (CAIDI). Siden CAIDI og CTAIDI er indikatorer på varighet, ser også avstand ut til å påvirke varigheten på kortvarige avbrudd mer enn antallet. En 1 % økning i avstand til vei fører til en 0,26 % økning i gjennomsnittlig avbruddsvarighet per berørte sluttbruker (CTAIDI).

Tabell 7 Resultater for kortvarige avbrudd

	LN(BERØRTE)	LN(AVBRUDD)	LN(VARIGHET)	LN(SAIFI)	LN(CAIFI)	LN(SAIDI)	LN(CAIDI)	LN(CTAIDI)
KONSTANT	-14,9187*** (2,5817)	-17,3813*** (2,8393)	-17,5868*** (2,4514)	-8,8837*** (1,4242)	-7,5289*** (1,2518)	-12,1646*** (1,8301)	-6,1586*** (1,0806)	-7,3118*** (1,3795)
LN(LE)	1,0926*** (0,1094)	1,2489*** (0,1218)	1,3219*** (0,1115)	0,4288*** (0,0694)	0,4063*** (0,0595)	0,4951*** (0,0705)	0,2404*** (0,0482)	0,3276*** (0,0602)
LN(VEI)							0,1885* (0,1076)	0,2621** (0,1278)
LN(JORDKABLER)	-0,7898** (0,3151)	-1,1968*** (0,3631)	-0,6141 (0,4157)	-0,7188*** (0,2274)	-0,4026* (0,2254)	-0,5749** (0,2411)		
LN(BARSKOG)					-0,0619* (0,0365)			
LN(SMÅKRAFT)							0,0840* (0,0504)	0,1295** (0,0691)
LN(HELNING)						0,8052** (0,3225)		
LN(SJØKABLER)	-0,3367** (0,1368)	-0,3486** (0,1578)						
LN(KYSTKLIMA)	0,1582 (0,0966)	0,1848* (0,1097)						

5.2 Nettleie

Resultatene for nettleie er vist i tabell 8. I analysen av nettleie har jeg brukt kystavstand i stedet for sjøkabelandel, fordi den viste seg å forklare nettleie bedre. Helning og levert energi er tatt ut av regresjonsanalysene på grunn av $p > 0,2000$. Uten levert energi er det kun tids-konstante variabler igjen i modellen. Selv om Hausman testen viste at FE bør brukes når levert energi (og helning) var inkludert, er jeg nødt til å bruke RE på grunn av de tids-konstante variablene. Dette er en svakhet ved analysen, men er det nest beste alternativet. Veiavstand og småkraft var heller ikke signifikant på et 10 % nivå, men er likevel inkludert i modellen fordi $p < 0,2000$. Selv om RE anses å være en bedre estimeringsmetode enn POLS, presenterer jeg resultatet for begge estimeringsmetoder.

Jeg forventer i utgangspunktet at forhold som driver kostnader har en positiv effekt på nettleie gjennom en økning i nettleie, fordi nettselskapenes tak på nettleieinntekter er bestemt av dets kostnader. Inntektsrammen er dessuten justert for vanskelige geografiske forhold ved at selskaper med vanskelig geografi får en økning i nettleien. Samtidig forventer jeg at forhold som driver avbrudd har en negativ effekt på nettleie gjennom en reduksjon i nettleie, fordi avbrudd vil senke inntektsrammen og dermed nettleiegrunnlaget. Det er de samme geografiske forholdene som antas å drive avbrudd som driver kostnader. Dette vanskeliggjør tolkningen av resultatene til nettleie. Dersom jeg finner uforventede tegn for nettleie antar jeg variablene dette gjelder er forbundet med avbrudd eller andre variabler som ikke er inkludert i modellen, men som påvirker nettleie.

Noen steder ligger nettanleggene slik til at man må bruke kostbare transportmidler som helikopter for å komme seg til stedet med personell og materiell (Gammeltvedt et al. 2006). Dette taler for at avstand til vei driver kostnader. Jordkabler er forbundet med høye investeringskostnader, men krever lite vedlikehold og dermed lavere vedlikeholdskostnader sammenliknet med luftlinjer. Dersom et avbrudd skulle oppstå, kan det imidlertid ta tid å rette opp. Byer har ofte høy jordkabelandel fordi det er umulig å bygge luftlinjer. Jordkabling i byer er spesielt kostbart på grunn av asfaltering og legging av brostein. I tillegg er det restriksjoner på når og hvordan arbeid kan utføres. Ofte kan kablingskostnaden reduseres ved å legge flere kabler i samme grøft. Da kan man dele grøftkostnaden med andre infrastruktureiere. Selv om det er forhold ved jordkabler som kan trekke kostnader ned, forventer jeg et positivt fortegn på jordkabler (Gammeltvedt et al. 2006). I tillegg hadde jordkabler en reduserende effekt for avbrudd. Jeg forventer også positive fortegn for luftlinjer gjennom barskog og løvskog fordi det er forbundet kostnader med blant annet skogrydding.

Kystavstandsvariabelen er antall forsynte øyer som ligger mer enn 1 kilometer fra fastland eller nærmeste forsynte øy. På grunn av dårlig tilgjengelighet brukes det mer ressurser på å forsyne øyer enn fastlandet (Gammeltvedt et al. 2006). Derfor forventer jeg et positivt tegn for kystavstand. Vind gjennom kystklimavariabelen kan redusere nettets tekniske levetid. Jo mer vindutsatt et område er, desto kraftigere må luftlinjer dimensjoneres (Gammeltvedt et al. 2006). Derfor forventer jeg også en positiv effekt for kystklima.

Tabell 8 Resultater for nettleie

	Nettleie (POLS)	Nettleie (RE)
<i>Konstant</i>	6,6947*** (0,4786)	6,6800*** (0,4809)
<i>ln(veiavstand)</i>	0,1252 (0,0783)	0,1288 (0,0788)
<i>ln(jordkabler)</i>	-0,2122*** (0,0738)	-0,2094*** (0,0739)
<i>ln(barskog)</i>	0,1047** (0,0383)	0,1046*** (0,0383)
<i>ln(småkraft)</i>	0,0541 (0,0381)	0,0538 (0,0381)
<i>ln(løvskog)</i>	-0,1509** (0,0559)	-0,1502*** (0,0560)
<i>ln(kystavstand)</i>	-0,1008** (0,0464)	-0,1001** (0,0463)
<i>ln(kystklima)</i>	0,0939*** (0,0291)	0,0934*** (0,0292)

$R^2 = 0,3718$ for både POLS og RE siden det kun er tids-konstante variabler i modellen. Dette betyr at forklaringsvariablene i modellen beskriver 37,18 % av variasjonen i nettleie. Resultatene for POLS og RE er veldig like, men RE gir noe mer signifikante verdier. I diskusjonen av resultatene tar jeg for meg resultatene fra RE. Resultatene for nettleie diskuteres i lys av reguleringen av inntekter og nettleie.

Jordkabler har en negativ effekt som er signifikant på et 1 % nivå. En 1 % økning i jordkabelandel fører til en reduksjon i nettleie på 0,21 %. Dette er ikke helt som forventet siden jordkabler er forbundet med høye kostnader. I tillegg har jeg funnet at jordkabler har en reduserende effekt på avbrudd. Det er imidlertid lave drifts- og vedlikeholdskostnader ved jordkabler, noe som trekker inntektsrammen ned.

Barskog har en positiv effekt på nettleie, mens løvskog har en negativ effekt. Begge er signifikante på et 1 % nivå. En økning i barskog på 1 % gir en økning på 0,10 % i nettleie, og en økning i løvskog på 1 % gir en reduksjon i nettleie på 0,15 %. Den positive effekten av barskog kan komme av at det er et vanskelig geografisk forhold som tillater høyere kostnader. Den negative effekten av løvskog kan komme av at nettselskaper med løvskog har hatt dårligere leveringspålidelighet på grunn av løvskog eller andre forhold. Resultatene for langvarige avbrudd viste imidlertid at barskog senker leveringspålideligheten og at løvskog øker leveringspålideligheten. Det er grunn til å tro at utelatte variabler har påvirkning på resultatene ved å gjøre parameterestimatorene forventingsskjeve.

Kystavstand er negativ og signifikant på et 5 % nivå. En 1 % økning i antall forsynte øyer som ligger mer enn 1 kilometer fra fastland eller nærmeste forsynte øy (kystavstandsvariabelen) fører til en reduksjon i nettleie på 0,1 %. Også denne variabelen kan være korrelert med utelatte variabler. Kystklima er positiv og signifikant for nettleie på et 1 % nivå. En 1 % økning i kystklima fører til en 0,09 % økning i nettleie. Med andre ord er denne effekten liten.

5.3 Diskusjon

I denne oppgaven har jeg gjort analyser for å besvare problemstillingen:

I hvilken grad påvirker geografiske faktorer leveringspålidelighet og nettleie i distribusjonsnett for strøm?

Geografiske faktorer har en påvirkning på leveringspålidelighet og nettleie, men det er en stor sannsynlighet for at de inkluderte forklaringsvariablene korrelerer med utelatte variabler som påvirker den avhengige variabelen. Dette vil som nevnt tidligere gjøre parameterestimatorene forventingsskjeve. I tillegg vet vi at det eksisterer uobserverte effekter som korrelerer med forklaringsvariabler for enkelte av regresjonene for langvarige avbrudd. Det kan virke som at andre faktorer er viktigere for å forklare avbrudd og nettleie enn geografiske faktorer.

Growitsch mfl. (2012) som studerte effektivitetsforskjeller av observerte geografiske faktorer og uobserverte faktorer, fant liknende resultatet som denne analysen har funnet. De finner at

de observerte geografiske faktorene er av mindre viktighet enn uobserverte faktorer som har en større påvirkning.

Alder på nettet vil kunne påvirke både avbrudd og nettleie. Et gammelt nett har en økt sannsynlighet for feil. Inntektsrammene blir ikke bare justert for forskjeller i geografi, men også for alder på nettet. Derfor er alder en variabel som kunne blitt inkludert i analysen for nettleie, og også for avbrudd. Andre viktige utelatte variabler er diskutert for hver av hypotesene nedenfor. Jeg har undersøkt to hypoteser:

1. Har nettselskapene med vanskelige geografiske forhold lavere leveringspålidelighet?

De fleste forklaringsvariablene i analysen for avbrudd har en signifikant og positiv effekt på avbrudd gjennom ulike avhengige variabler for avbrudd. Siden en positiv effekt betyr en økning i antall og/eller varighet på avbrudd, viser dette en tendens til at nettselskaper med vanskelige geografiske forhold har lavere leveringspålidelighet. Samtidig er det flere geografiske forhold som trekker i motsatt retning. De variablene som har vist seg å øke både langvarige og kortvarige avbrudd er levert energi, avstand til vei og småkraft. Variablene som har hatt motsatt effekt for både langvarige og kortvarige avbrudd er jordkabler, som har vist seg å ha en reduserende effekt på avbrudd, som vil si økt leveringspålidelighet. Barskog, helning og sjøkabler har hatt ulike effekter for langvarige og kortvarige avbrudd. De variablene som har vist seg å ha en reduserende effekt på avbrudd er nødvendigvis ikke gunstige forhold for leveringspålidelighet, men de har mest sannsynlig en sammenheng med andre gunstige forhold.

For avbrudd kan drifts- og vedlikeholdskostnader være en viktig utelatt variabel i tillegg til alder. Et nett som blir dårlig vedlikeholdt vil i likhet med et gammelt nett ha større sannsynlighet for feil. Alder og drifts- og vedlikeholdskostnader vil sannsynligvis ha sammenheng med hverandre, siden et gammelt nett krever mer vedlikehold enn et nytt nett.

Ut ifra avbruddsstatistikken til NVE er det mange forskjellige faktorer som kan påvirke avbrudd. Det er dessuten mange tilfeldigheter forbundet med avbrudd, og dette gjør det vanskelig å fange opp alle årsakene til avbrudd. Eksempler på andre geografiske forhold som kunne vært inkludert i en modell for avbrudd er fugler, dyr, temperatur, jordingsforhold, snø og torden. Dette er forhold som nettselskapene har meldt ifra til NVE om at har ulemper.

De geografiske faktorene beskriver langvarige avbrudd bedre enn kortvarige avbrudd ved at det er flere signifikante effekter for langvarige avbrudd. Siden resultatene fra kortvarige og

langvarige avbrudd er såpass forskjellige, viser dette tegn til at det ikke er de samme forholdene som driver kortvarige og langvarige avbrudd.

Det er grunn til å tro at det er korrelasjoner framfor årsakssammenhenger for flesteparten av de inkluderte forklaringsvariablene. Levert energi kan ikke bli sett på som en årsak til avbrudd, men det ser ut til å være en korrelasjon mellom levert energi og avbrudd. Derimot kan etterspørselsoverskudd bli sett på som en årsak til avbrudd. Ved etterspørselsoverskudd overstiger etterspørselen tilbudet, noe som gir økt belastning på nettet og som øker sannsynligheten for avbrudd. Et nettselskap som har mye installert ytelse av små kraftverk som mater inn på distribusjonsnettet vil ha større sannsynlighet for avbrudd, men småkraft er nok ikke en grunn til avbrudd.

2. Har nettselskapene med vanskelige geografiske forhold høyere nettleie?

I resultatet for nettleie trekker to av fem signifikante forklaringsvariabler nettleien opp, mens tre variabler trekker nettleien ned. I fastsettelsen av inntektsrammer for nettselskapene er det mange faktorer som spiller inn. Kostnader, alder, beliggenhet, strukturelle og geografiske faktorer spiller en rolle. Spesielt viktig for inntektsrammen er kostnadsnivået sammenliknet med andre nettselskaper. I tillegg har utformingen av nettleie varierende praksis blant nettselskapene, og eierforhold kan også ha noe å si for nettleie. Dette vanskeliggjør vurderingen av effekten av geografivariablene når det eksisterer så mange andre variabler med påvirkning. Kapitalkostnader, drifts- og vedlikeholdskostnader, nettapskostnader og KILE-kostnader er kostnader som er avgjørende for nettleien. Disse kostnadene vil mest sannsynlig korrelere med hverandre. Siden en del geografiske faktorer er ansett som kostnadsdrivere kan geografivariablene på denne måten anses som kostnadsvariabler i modellen for nettleie. Ut ifra resultatene fra modellen for nettleie ser det ikke ut som at disse er tilstrekkelige.

Forskjeller i nettleie kan oppstå på grunn av forskjeller i utformingen av nettleie. Som beskrevet tidligere, har nettselskapene en viss frihet til å utforme nettleien. Et høyt fastledd fører til at kunder med lavt forbruk betaler mer enn kunder med høyere forbruk.

Nettselskapene påvirkes også av varierende praksis i utformingen av tariffen i regional- og sentralnettet. Områder med mye lokal og/eller regional produksjon vil ha lavere kostnader til overliggende nett. Noen få nettselskaper er en del av et større selskap som også driver kraftproduksjon. Dette er annet et forhold som kan påvirke nettleien. Enkelte nettselskaper velger dessuten å ikke utnytte inntektsmulighetene ved inntektsrammen fullt ut. Dette fører til

lavere nettleie for kundene. Alle disse forholdene som påvirker nettleie kan ha påvirkning på resultatene for nettleie (NVE 2015b). Variablene for nettleie kan i større grad ses på som årsakssammenhenger fordi nettleien til nettselskapene blir justert for forskjeller i geografi.

5.4 Framtidens kraftmarked

Utbygging av kapasitet i nettet er basert på hvor mye effekt det er forventet at kundene har behov for når forbruket er høyest. Tidspunkt for kundens energibruk har dermed stor betydning. De siste årene har maksimalt effektuttak vokst mer enn energiforbruket. Denne utviklingen er forventet å fortsette. Både forbrukerutvikling og fornybarsatsning kan gi knapphet på overføringskapasitet. Dette kan løses ved investering i økt kapasitet, regulerbar produksjon og med mer sluttbrukerfleksibilitet (Andresen & Mook 2015).

Innen 1. januar 2019 skal alle strømforbrukere ha montert avanserte måle- og styringssystemer (AMS) som måler og avregner energibruken på timebasis. Da kan forbrukere tilpasse eget energiforbruk til løpende prissignaler for å redusere utgifter. Ved å fordele strømforbruket jevnere vil kunder kunne dempe forbrukstopper og bidra med fleksibilitet som kan utsette eller redusere investeringsbehov i nettet. Nettleie vil kunne utformes på bakgrunn av kundens egen forbruksprofil. Derfor er det foreslått en omlegging av nettleien ved at gjennomsnittlig forbruk i løpet av en time (effektuttak) tillegges større vekt, mens kundene samlede energiforbruk får mindre betydning (Andresen & Mook 2015). Disse utviklingstrekkene kan ha påvirkning på både nettleie og avbrudd i framtiden.

5.5 Svakheter ved oppgaven

En svakhet i oppgaven er at RE er brukt for noen regresjoner hvor det er korrelasjon mellom den uobserverte effekten av forklaringsvariablene, noe som bryter en viktig forutsetning i RE. Dette gjelder imidlertid kun 3 av 16 regresjonsanalyser for avbrudd, i tillegg til analysen av nettleie. En annen svakhet er at det er flere variabler enn de inkluderte forklaringsvariablene som er med på å forklare avbrudd og nettleie. Spesielt gjelder dette nettleie som er satt ut ifra den regulerte inntektsrammen. Derfor er det grunn til å tro at modellene har et problem med utelatte variabler.

5.6 Forslag til videre forskning

I denne analysen har jeg kun sett på leveringspålitelighetsiden av leveringskvalitet, og ikke spenningsforstyrrelser, som er den andre delen av begrepet leveringskvalitet. Et forslag til videre forskning er å undersøke om vanskelig geografi påvirker spenningsforstyrrelser og i hvilken grad. Sammenhengen mellom avbrudd og nettleie er ikke gått i dybden på i denne

oppgaven. Det kan være nyttig både for reguleringen av leveringspålitelighet og nettleie å få undersøkt dette forholdet nærmere i videre forskning.

Når det er mange faktorer som er med på å forklare et problem, kan faktoranalyser brukes. Undersøkelsen om effektivitetseffekter av observert og uobservert heterogenitet av Growitsch, Jamasb og Wetzel brukte faktoranalyse for å redusere antallet geografiske faktorer til noen få sammensatte variabler og for å unngå problemer med multikollinearitet (Growitsch et al. 2012). De inkluderte forklaringsvariablene i denne modellen er i utgangspunktet funnet gjennom faktoranalyser, men dette var for å beskrive effektivitet, og ikke avbrudd eller nettleie. Det er grunn til å tro at mange av de samme variablene påvirker avbrudd og nettleie, men det kan likevel være noen forskjeller i sammensetningen av variablene som er avgjørende for resultatene.

Det finnes dessuten flere metoder for å estimere tids-konstante variabler i paneldata, ved siden av RE som er brukt i denne analysen. Et annet alternativ er Hausman-Taylor modellen som bruker instrumenter for forklaringsvariablene som antas å korrelere med den uobserverte effekten. Denne korrelasjonen kan ikke observeres, og det må derfor brukes skjønn for å avgjøre hvilke variabler man skal bruke instrumenter for, noe som ikke er en lett oppgave.

6 Konklusjon

Formålet med denne oppgaven var å undersøke i hvilken grad geografiske forhold kan forklare forskjeller i leveringspålitelighet og nettleie i distribusjonsnettet for strøm. Analysen av leveringspålitelighet har tatt for seg effekten av geografiske faktorer på både kortvarige avbrudd (≤ 3 minutter) og langvarige avbrudd (> 3 minutter) i form av antall og varighet, avhengig og uavhengig av nettselskapets størrelse. I tillegg til geografiske faktorer ble levert energi brukt som en forklaringsvariabel i de regresjonsanalysene hvor den viste seg å være signifikant.

Analysene ble gjennomført for 121 nettselskaper i perioden 2007-2013. Datasettene er paneldatasett med uobserverte effekter. Dette ga grunnlag for estimeringsmetodene fixed effects (FE) og random effects (RE), hvor FE tillater at den uobserverte effekten er korrelert med forklaringsvariablene, mens RE antar at den uobserverte effekten er ukorrelert med forklaringsvariablene. Hausman testen viste at RE kan brukes i alle regresjoner for kortvarige avbrudd og i 5 av 8 regresjoner for langvarige avbrudd, men ikke for nettleie. Siden levert energi er den eneste variabelen som varierer over tid, hindret dette bruken av FE, som ville tatt bort alle de tids-konstante geografivariablene. Derfor ble RE brukt i alle analysene uavhengig av testresultat. Der Hausman testen tilsa bruk av FE, er RE det nest beste alternativet, men vi må være kritiske til parameterestimatorene. RE er likevel bedre enn pooled OLS (POLS) som ikke tar hensyn til uobserverte effekter.

Den første hypotesen var at nettselskaper med lav leveringspålitelighet har vanskelige geografiske forhold. Resultatene har vist at enkelte geografiske forhold har en positiv effekt på avbrudd i form av flere og lengre avbrudd, som vil si lavere leveringspålitelighet. Andre geografiske faktorer har en negativ effekt på avbrudd i form av færre og kortere avbrudd, som vil si høyere leveringspålitelighet. For kortvarige avbrudd skiller levert energi seg ut som den faktoren som beskriver avbrudd best med en positiv effekt på avbrudd. Levert energi beskriver kortvarige avbrudd bedre enn geografiske faktorer. For langvarige avbrudd skiller småkraft seg ut som den mest signifikante geografiske faktoren med en positiv effekt på avbrudd. De geografiske faktorene beskriver langvarige avbrudd bedre enn kortvarige avbrudd ved at det er flere signifikante effekter for langvarige avbrudd. I tillegg tyder resultatene på at andre utelatte variabler har større påvirkning enn geografivariablene.

Den andre hypotesen var at nettselskaper med høy nettleie har vanskelige geografiske forhold. Selv om de geografiske faktorene er sett på som kostnadsdrivere har enkelte faktorer vist seg å drive nettleie ned. Dette kan ha en sammenheng med at avbrudd senker inntektsrammen, i

tillegg til andre faktorer som påvirker nettleie. Andre faktorer som påvirker nettleie er nettselskapets kostnadsnivå sammenliknet med andre selskaper, alder på nettet og utformingen av nettleie. I likhet med avbrudd, tyder resultatene for nettleie på at andre observerte og uobserverte effekter har en større påvirkning enn geografiske faktorer.

Med dette kan jeg svare på problemstillingen om i hvilken grad geografiske forhold påvirker leveringspålitelighet og nettleie i distribusjonsnettet for strøm. Det er funnet signifikante positive effekter i form av lengre og hyppigere avbrudd og høyere nettleie. Det er også funnet signifikante negative effekter som trekker i retningen færre og kortere avbrudd og lavere nettleie. Resultatene for leveringspålitelighet og nettleie tyder på at det eksisterer høy heterogenitet blant norske nettselskaper. Geografiske faktorer har en påvirkning, men andre observerte og uobserverte effekter spiller en betydelig rolle. Resultatene for leveringspålitelighet viser at forhold som levert energi og småkraft senker leveringspåliteligheten, og resultatene for nettleie viser at luftlinjer gjennom barskog og vind gjennom kystklimavariabelen øker nettleien. Derfor er det viktig å justere inntektsrammen for forskjeller i disse forholdene.

7 Litteratur

- Aabakken, C., Fadum, H. S., Ånestad, A., Hageengen, F. & Nordeng, R. A. (2014). Avbrotstatistikk 2013, 2013:74: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). 90 s.
- Amundsveen, R., Eirum, R., Kordahl, O., Kvile, H. M., Langset, T. & Vøllestad, K. (2012). Forslag til endring av modeller for å fastsette kostnadsnormer, 2012:2: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). 63 s.
- Amundsveen, R., Kordahl, O., Kvile, H. M., Lagergren, M., Langset, T., Steinnes, S. H. & Vøllestad, K. (2012). Endring av modeller for fastsettelse av kostnadsnormer fra 2013. Oppsummering av høring., 2012:71: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). 39 s.
- Andresen, T. M. & Mook, V. M. (2015). Høring om tariffer for uttak i distribusjonsnettet: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). 34 s.
- Bogetoft, P. & Otto, L. (2011). <Benchmarking with DEA, SFA and R.pdf>. Benchmarking with DEA, SFA and R, b. 157: Springer. 352 s.
- Bye, T. & Hope, E. (2005). Deregulation of Electricity Markets: The Norwegian Experience. *Economic and Political Weekly*, 40 (50): 5269-5278.
- Cameron, A. C. & Trivedi, P. K. (2010). *Microeconometrics using Stata*. 2. utg.: Stata Press.
- Chao, H. & Wilson, R. (1987). Priority Service: Pricing, Investment, and Market Organization. *The American Economic Review*, 77 (5): 899-916.
- Church, J. & Ware, R. (2000). *Industrial Organisation: A Strategic Approach*. Management & Organizations: McGraw-Hill Publishing Co. 832 s.
- Crew, M. A., Fernando, C. S. & Kleindorfer, P. R. (1995). The Theory of Peak-Load Pricing: A Survey. *Journal of Regulatory Economics*, 8 (3): 215-248.
- DSB. (2014). Nasjonalt risikobilde 2014: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
- Edvardsen, D. F. & Førstund, F. R. (2001). International Benchmarking of Electricity Distribution Utilities. *Resource and Energy Economics*, 25 (4): 353-371.
- Energiloven. (1990). *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m.*
- Fornybar. (2015). *Kraftmarkedet*. Tilgjengelig fra: <http://www.fornybar.no/kraftmarkedet> (lest 03.02.15).
- Forskrift om planlegging mv., k. (2002). *Forskrift om planlegging om gjennomføring av rekvisisjon av kraft og tvangsmessige leveringsinnskrenkinger ved kraftrasjonering*.
- Gammeltvedt, T. E., Hansen, W., Haugland, C., Karlsen, E. N., Langset, T., Neurauter, T. M., Tjeldflåt, A. & Wiull, S. O. (2006). Modell for fastsettelse av kostnadsnorm.: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). 140 s.
- Growitsch, C., Jamasb, T. & Wetzel, H. (2012). Efficiency effects of observed and unobserved heterogeneity: Evidence from Norwegian electricity distribution networks. *Energy Economics*, 34 (2): 542-548.
- Joskow, P. L. (2008). Incentive Regulation and Its Application to Electricity Networks. *Review of Network Economics*, 7 (4): 547-560.

- Langset, T., Trengereid, F., Samdal, K. & Heggset, J. (red.). (2001). *16th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution*. Quality dependent revenue caps - a model for quality of supply regulation, b. 6: IET.
- Leveringskvalitetsforskriften. (2005). *Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet*.
- Maliszewski, P. J., Larson, E. K. & Perrings, C. (2012). Environmental determinants of unscheduled residential outages in the electrical power distribution of Phoenix, Arizona. *Reliability Engineering and System Safety*, 99: 161-171.
- Marchand, M. G. (1974). Pricing power supplied on an interruptible basis. *European Economic Review*, 5 (3): 263-274.
- McDowell, M., Thom, R., Frank, R. & Bernanke, B. (2009). *Principles of Economics*, b. 2: McGraw-Hill Education. 810 s.
- NVE. (2009a). *Konsesjoner*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/konsesjoner/> (lest 04.02.2015).
- NVE. (2009b). *Nett*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/konsesjoner/nett/> (lest 11.03.15).
- NVE. (2012a). *Nettleie*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Nettleie1/> (lest 22.01.2015).
- NVE. (2012b). *Småkraft*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/smaakraft> (lest 10.04.15).
- NVE. (2013a). *Leveringskvalitet og avbruddsstatistikk*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Energi1/Kraftsystemet/Leveringskvalitet/> (lest 22.01.2015).
- NVE. (2013b). *Leveringspålitelighet*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Energi1/Kraftsystemet/Leveringskvalitet/Leveringspalitelighet/> (lest 22.01.2015).
- NVE. (2014a). *Kostnadsnormen*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Regulering-av-nettselskapene/Om-beregning-av-inntektsrammer/Normkostnadsmodellene/> (lest 09.03.2015).
- NVE. (2014b). *Reguleringsmodellen*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Regulering-av-nettselskapene/Om-beregning-av-inntektsrammer/> (lest 25.02.15).
- NVE. (2014c). *Økonomisk regulering av nettselskap*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Regulering-av-nettselskapene/> (lest 22.01.2015).
- NVE. (2015a). *Leveringsplikt*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/kraftmarked/tilknytning/leveringsplikt/> (lest 04.02.2015).
- NVE. (2015b). *Tariffer i distribusjonsnettet*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/kraftmarked/nettleie1/beregning-av-nettleie-til-forbruker-husholdning-og-naring/beregning-av-tariffer-i-distribusjonsnett/> (lest 02.03.2015).
- Panzar, J. C. & Sibley, D. S. (1978). Public Utility Pricing Under Risk: The Case of Self-Rationing. *The American Economic Review*, 68 (5): 888-895.
- Pöyry & EnergiNorge. (2012). Samfunnsøkonomiske kostnader ved avbrudd og spenningsforstyrrelser - implikasjoner for regulering. 58 s.
- Shleifer, A. (1985). The Theory of Yardstick Competition. *The RAND Journal of Economics*, 16 (3): 319-327.
- SNL. (2014a). *Nettselskap*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/nettselskap> (lest 05.03.15).
- SNL. (2014b). *Strømregning*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/strømregning> (lest 03.03.15).

- Train, K. (1991). *Optimal Regulation: The Theory of a Natural Monopoly*: The Mit Press. 338 s.
- Varian, H. R. (2010). *Intermediate Microeconomics: A Modern Approach*. 8 utg.: W. W. Norton & Company. 816 s.
- Vickrey, W. (1971). Responsive Pricing of Public Utility Services. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 2 (1): 337-346.
- Viscusi, W. K., Vernon, J. M. & Harrington, J. E. (2000). *Economics og Regulation and Antritrust*. 3. utg.: The Mit Press.
- Wooldridge, J. M. (2009). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, b. 4.: Cengage Learning. 865 s.

8 Vedlegg

Tabell 9 Korrelasjonsmatrise over avhengige variabler, langvarige avbrudd

	ln(berørte)	ln(antall)	ln(varighet)	ln(SAIFI)	ln(CAIFI)	ln(SAIDI)	ln(CAIDI)	ln(CTAIDI)
ln(berørte)	1							
ln(antall)	0,9261	1						
ln(varighet)	0,8512	0,9268	1					
ln(SAIFI)	0,3549	0,5964	0,5605	1				
ln(CAIFI)	0,2878	0,5803	0,5537	0,8366	1			
ln(SAIDI)	0,2964	0,5064	0,6761	0,8399	0,7206	1		
ln(CAIDI)	0,2284	0,2201	0,5261	0,2057	0,2835	0,6432	1	
ln(CTAIDI)	0,2092	0,4291	0,6548	0,6140	0,7489	0,8877	0,7869	1

Tabell 10 Korrelasjonsmatrise over avhengige variabler, kortvarige avbrudd

	ln(berørte)	ln(antall)	ln(varighet)	ln(SAIFI)	ln(CAIFI)	ln(SAIDI)	ln(CAIDI)	ln(CTAIDI)
ln(berørte)	1							
ln(antall)	0,9843	1						
ln(varighet)	0,9485	0,9599	1					
ln(SAIFI)	0,8503	0,9065	0,8645	1				
ln(CAIFI)	0,9009	0,9388	0,8886	0,9103	1			
ln(SAIDI)	0,7681	0,8121	0,8988	0,8849	0,7936	1		
ln(CAIDI)	0,7513	0,7152	0,8431	0,6043	0,7177	0,8072	1	
ln(CTAIDI)	0,8014	0,8274	0,9233	0,7872	0,8589	0,9233	0,9294	1

Tabell 11 Korrelasjonsmatrise over forklaringsvariabler, leveringspålidelighet

	ln(LE)	ln(vei)	ln(jordkabel)	ln(barskog)	ln(helning)	ln(småkraft)	ln(løvskog)	ln(sjøkabel)	ln(kystklima)
ln(LE)	1								
ln(vei)	-0,2564	1							
ln(jordkabel)	0,3549	-0,4036	1						
ln(barskog)	0,1163	-0,6219	0,3228	1					
ln(helning)	-0,4065	0,2791	-0,0396	0,0168	1				
ln(småkraft)	0,4068	-0,1550	0,0082	0,1428	0,2506	1			
ln(løvskog)	-0,0794	-0,0940	0,1693	0,5143	0,6183	0,3683	1		
ln(sjøkabel)	-0,1507	0,4413	-0,1031	-0,3108	0,4182	0,0172	0,2120	1	
ln(kystklima)	-0,1259	0,3890	-0,1915	-0,3987	0,0461	-0,1015	0,0467	0,5172	1

Tabell 12 Korrelasjonsmatrise over forklaringsvariabler, nettleie

	ln(vei)	ln(jordkabel)	ln(barskog)	ln(småkraft)	ln(løvskog)	ln(kystavstand)	ln(kystklima)
ln(vei)	1						
ln(jordkabel)	-0,6022	1					
ln(barskog)	-0,6283	0,5137	1				
ln(småkraft)	-0,2461	0,0926	0,1733	1			
ln(løvskog)	-0,2172	0,2031	0,5563	0,5091	1		
ln(kystavstand)	0,1820	-0,0335	0,0076	0,3890	0,1916	1	
ln(kystklima)	0,3221	-0,1410	-0,3483	0,0283	0,1542	0,2595	1



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no