



AMS-måleres effekt på strømforbruket i private husstander

- En analyse av målerdata fra Demo Steinkjer og fra Odderhei og Søm

Axel Adrian Brattgjerd Alnæs

Veileder: Linda Nøstbakken

Selvstendig arbeid, master i økonomi og administrasjon
Energy, Natural Resources and the Environment

NORGES HANDELSHØYSKOLE

Dette selvstendige arbeidet er gjennomført som ledd i masterstudiet i økonomi- og administrasjon ved Norges Handelshøyskole og godkjent som sådan. Godkjenningen innebærer ikke at Høyskolen eller sensorer inntår for de metoder som er anvendt, resultater som er fremkommet eller konklusjoner som er trukket i arbeidet.

Sammendrag

Innføringen av AMS-målere i alle norske husstander innen 1. januar 2019 er den mest betydelige moderniseringen av strømmettet på over hundre år. Denne masteroppgaven benytter enkel økonometrisk metode for å evaluere om installasjon av slik AMS-måler kan føre til lavere elektrisitetsforbruk, også foruten som plattform for tilleggsinitiativ. Analysen sammenlikner det automatisk målte elektrisitetsforbruket i 50 husstander innrullert i det nasjonale demonstrasjonsprosjektet Demo Steinkjer med selvavlest forbruk i 100 husstander i Odderhei og Søm. Observasjonene spenner over 25 måneder (mars 2013 - mars 2015).

Forskjell i elektrisitetsforbruket mellom de to områdene beregnes ved hjelp av et egenkonstruert datasett bestående av 3750 observasjoner for månedlig elektrisitetsforbruk på husstands nivå samt offentlig tilgjengelige områdespesifikke temperatur- og prisvariabler for hver måned i perioden. Analysen er gjennomført ved OLS- og 2SLS-regresjon(er) på dette datagrunnlaget og OLS-regresjon på temperatur- og stedskorrigert forbruk etter NVEs modell. Undersøkelsene avdekker forskjell i elektrisitetsforbruk ved å kontrollere for månedvis ulikt antall graddager og månedvis ulik gjennomsnittlig spotpris i de to områdene. Selv om det absolutte elektrisitetsforbruket i Steinkjer i de fleste månedene er høyere enn i Odderhei og Søm, viser jeg at dette beror sterkt på at det generelt har vært lavere temperaturer her. Grunnet utilstrekkelig tilgang til data på husstands nivå, er det gjort et sett med antakelser om fravær av systematiske forskjeller mellom husstandene i utvalgene i de to områdene. Under disse antakelsene estimerer jeg at størrelsen på reduksjonen varierer fra 11 til 27 prosent, avhengig av hvilken metode som legges til grunn. Jeg konkluderer derfor med forsiktighet at AMS-måleren har hatt konserverende effekt på elektrisitetsforbruket i utvalget fra Steinkjer, og argumenterer for at dette mest sannsynlig kommer som følge av økt oppmerksomhet og økt bevissthet blant forbrukerne rundt eget forbruk som følge av informasjon gitt ved målerbytte, og at målsettingene ved moderniseringen av strømmettet er blitt tydelig kommunisert.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som del av min mastergrad i økonomi og administrasjon ved Norges Handelshøyskole, med hovedprofil innen *Energy, Natural Resources and the Environment*.

Arbeidet med denne selvstendige utredningen har vært utfordrende og lærerikt, og gitt meg innsikt i fagområder og aspekter ved kraftmarkedet jeg ikke fra før hadde solid kunnskap om. Spesielt utfordrende viste det seg å innhente datamateriale for analysen jeg hadde bestemt meg for, da observasjoner fra AMS-målere i forbrukermarkedet på nasjonalt nivå er naturlig begrenset av det faktum at svært få private husstander har hatt måleren installert tilstrekkelig lenge. Derfor ønsker jeg å rette takk til Demo Steinkjer, både for tilgang til målerdata fra prosjektet, og for raske svar på spørsmål som dukket opp underveis i arbeidet.

Jeg ønsker å rette stor takk til Knut Hoven ved Agder Energi AS for interessante og givende samtaler samt inspirasjon til oppgavevalg, for interesse for mitt arbeid og for uvurderlig bidrag med forbruksdata fra Vest-Agder.

Jeg vil gjerne benytte meg av muligheten til å takke også min veileder, Linda Nøstbakken, som har vært oppmuntrende gjennom hele høsten og kommet med nyttige konstruktive tilbakemeldinger.

Bergen, 18. Desember 2015

Axel Adrian Brattgjerd Alnæs

Innhold

Sammendrag	ii
Forord	iii
Kapittel 1: Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	2
1.2 Definisjon av problemstilling	3
Kapittel 2: Kraftmarkedet og anvendt økonomisk teori	5
2.1 Det norske og nordiske kraftmarkedet	6
2.2 Aktører på det norske markedet	7
2.3 Forbruk i Norge	9
2.4 Produksjon av elektrisitet	10
2.5 Kraftbørs	11
2.6 Prisområder	11
2.7 Naturlig monopol	13
2.8 Likevekt i kraftmarkedet	14
2.9 Sluttbrukermarkedet og engrosmarkedet	17
2.10 Laststyring	19
2.10.1 Energieffektivitet og -konservering	21
2.10.2 Etterspørselsrespons	22
Kapittel 3: Drivere for etterspørsel etter kraft og relevant teori	23
3.1 Drivere for elektrisitetsforbruk	24
3.1.1 Direkte drivere	25
3.1.2 Indirekte drivere	27
3.2 Energiusynlighet og -ubevissthet	30
3.3 Atferdsendringsteori	32
3.4 Hawthorneeffekten	35
Kapittel 4: Datasettet	37

4.1	Data.....	38
4.1.2	Demo Steinkjer.....	39
4.2	Kontrollfaktorer	40
4.2.1	Direkte drivere.....	41
4.2.2	Indirekte drivere	43
4.2.3	Bemerkninger	47
4.3	Deskriptiv statistikk.....	48
Kapittel 5: Metode.....		50
5.1	OLS.....	52
5.2	2SLS og instrumentvariabler	53
5.3	Instrumentvariablers egenskaper	56
5.4	Durbin-Wu-Hausman-test	56
5.5	Breusch-Pagan-test	56
5.6	Ramseys RESET-test.....	57
5.7	Wooldridges test.....	57
5.8	Multikollinearitet.....	57
5.9	Dummyvariabler.....	58
Kapittel 6: Økonometrisk modell og analyse.....		59
6.1	Avhengig variabel.....	60
6.2	Uavhengige variabler.....	60
6.3	Endogen variabel	60
6.4	Instrumentvariabler.....	61
6.5	Funksjonell form.....	61
6.6	Utelatte variabler	61
6.7	Spesifikasjon av modell.....	62
6.8	Resultater	62
6.8.1	Konstruksjon av modell	63

6.8.2	Testresultater	65
6.8.3	OLS-resultater	66
Kapittel 7:	Diskusjon.....	68
7.1	Strømprisens estimerte effekt	69
7.2	Temperaturesens estimerte effekt	70
7.3	AMS-installasjonens estimerte effekt.....	70
7.4	Fordeler og ulemper ved analysemetoden	73
7.4.1	Dummyvariabelen <i>DI</i>	74
7.4.2	Skjevhet i utvalget.....	74
7.4.3	Begrenset tidsperiode	75
7.4.4	Ulemper ved å sammenlikne forbruk i to forskjellige områder	75
7.4.5	Fordeler ved å sammenlikne forbruk i samme tidsrom.....	75
7.5	Forslag til videre arbeid.....	75
Kapittel 8:	Konklusjon	77
Referanser.....		79
Vedlegg		86
Vedlegg 1:	Demonstrasjonsprosjektet i Idaho Falls, USA.....	87
Vedlegg 2:	NVEs modell for temperaturkorrigering	89
Vedlegg 3:	Transformasjon av forbruksvariabelen	92
Vedlegg 4:	Graddagstall og normaler	93
Vedlegg 5:	Spotpriser.....	95
Vedlegg 6:	PHELIX prisindeks.....	96

Kapittel 1: Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Drivhuseffekten og utslipp av karbondioksid fra forbruk av fossile brennstoff er to av de viktigste årsakene til klimaendringene og problemene dette medfører. Dette er trolig blant de største utfordringene verden står overfor i dag. Temaet er stadig mer aktuelt, og tar til tider stor plass i nyhetsbildet. Globalt samarbeid og en helhetlig løsning for å bremse og snu utviklingen synes imidlertid vanskelig å oppnå, grunnet blant annet forskjeller i økonomisk utvikling, ulike kulturer og ulikheter i styresett.

Mindre koalisjoner har imidlertid satt i gang prosessen med å adressere problemene, blant annet i Europa, der EU stadig utarbeider forskjellige direktiver og målsettinger som har gjort eller vil gjøre seg gjeldende. Medlemslandene vedtok i 2009 EUs fornybardirektiv, og i Norge ble direktivet innlemmet gjennom EØS-avtalen sent i 2011 (EU, 2009; Regjeringen, 2011). Mellom Norge og Sverige er det videre opprettet et felles marked for grønne sertifikater, også kjent som elsertifikatorordningen. Ordningen er en markedsbasert støtteordning, der myndighetene deler ut sertifikater til produsenter som investerer i fornybar produksjon, som produsentene så kan selge i tillegg til kraften de produserer i de nye anleggene. Mål for å redusere utslippene og øke andelen fornybar produksjon er også satt av Norge selv, og Norges helhetlige klimapolitikk er basert på forlik inngått i Stortinget i 2008 og 2012. I klimaforliket heter det blant at Norge skal være karbonnøytralt innen 2050, overoppfylle Kyoto-forpliktelsen med 10 prosentpoeng i første forpliktelsesperiode og påta seg en forpliktelse om å kutte globale utslipp tilsvarende 30 prosent av norsk utslippsnivå i 1990 (Regjeringen, 2014).

Ved siden av disse initiativene, har EU gjennom sine mål for 2020 forpliktet seg til å redusere utslippene av klimagasser med 20 prosent, øke andelen fornybar kraft til 20 prosent, og å øke energieffektiviteten med 20 prosent (EU, 2015). Dette utgjør de såkalte 20-20-20-målene.

Et viktig virkemiddel som kan bidra til å nå disse målene, er moderniseringen av dagens strømmnett. Overgangen til et mer moderne strømmnett, såkalt smartgrid, er slik en del av satsningen på teknologiske løsninger som søker å redusere menneskelig påvirkning av miljøet ved å effektivisere distribusjonssystemet og kraftmarkedet generelt samt tilrettelegge for økt andel fornybar kraft i kraftmiksen.

I Norge er det bestemt at alle strømkunder skal få installert nye, automatiske strømmålere innen 1. januar 2019 (NVE, 2014). Disse inngår i ”Avanserte Måle- og Styringssystemer” (AMS) og er en komponent i utviklingen av et smart nett. AMS-målerne fasiliterer mer

nøyaktig informasjon om strømforbruket i tillegg til å fungere som plattform for mange nye tjenester og funksjoner. Dette inkluderer ulike laststyringsinitiativ med virkemidler som automatisk frakobling eller ulike tariffavtaler mellom husstand og kraftleverandør, samt forbedret informasjon til forbrukerne gjennom eksempelvis ”smart-display” eller mer detaljerte regninger og tettere tilknytning mellom prissignaler i engrosmarkedet og sluttbrukermarkedet.

I litteraturen antas det gjerne at installasjon av strømmålere i seg selv ikke vil ha noen effekt på forbruket dersom det ikke innføres noen slike tilleggsfunksjoner som benytter seg av det mer nøyaktige datagrunnlaget tilgjengelig. Resultater fra et demonstrasjonsprosjekt utført nylig i Idaho Falls i USA, tyder derimot på at installasjonen av selve strømmåleren bidrar til redusert forbruk (PNWSGD, 2015). Gjennom relevant atferdsteori finnes det mange forklaringer på hvorfor dette kan inntreffe, og det er mulig at antakelsen er noe svakt underbygget.

1.2 Definisjon av problemstilling

Det foreligger en stadig økende mengde litteratur som evaluerer potensialet for ulike initiativ som muliggjøres av AMS-måleren. I denne masteroppgaven er derimot effekten av selve installasjonen av måleren forsøkt isolert, og problemstillingen er valgt for å evaluere empirisk forbruksdata fra husstander i to områder, henholdsvis med og uten automatiske strømmålere. Problemstillingen blir derfor som følger:

- **Kan installasjon av AMS-målere ha konserverende effekt på elektrisitetsforbruket i private husstander?**

Med denne problemstillingen søker denne masteroppgaven å undersøke om resultater lignende de som er funnet i Idaho Falls, også foreligger her i Norge. Med andre ord, om installasjon av AMS-målere beviselig kan føre til lavere strømforbruk hos private sluttbrukere i Norge. For å belyse problemstillingen vil strømforbruket i 56 eneboliger, som er del av det nasjonale demonstrasjonsprosjektet ”Demo Steinkjer” og dermed har fått AMS-måleren installert, bli sammenliknet med forbruksdata fra 100 eneboliger med selvavleste profilanlegg i området Odderhei/Søm utenfor Kristiansand.

Elektrisitetsforbruket i private husholdninger utgjør den største andelen av elektrisitetskonsumet i Norge ved siden av forbruket i energiintensiv industri (NVE, 2013). Eventuelle endringer i forbruksmønsteret i denne sektoren vil derfor være av stor betydning

for morgendagens kraftsystem og av interesse for beslutningstakere i både offentlig og privat sektor gjennom mulig endret grunnlag for investeringsavgjørelser og kapasitetsplanlegging.

Kapittel 2: Kraftmarkedet og anvendt økonomisk teori

For å kunne evaluere strømforbruket hensiktsmessig, er det viktig å ha innsikt i hvordan kraftmarkedet i Norge og Norden fungerer. Det norske og det nordiske kraftmarkedet er på mange måter ganske spesielt, blant annet karakterisert av tidlig liberalisering, høy andel vannkraft og relativt lave og lite volatile priser. Slike faktorer kan ha betydning for hvorvidt og hvordan installasjon av AMS-målere vil påvirke elektrisitetsforbruket hos norske sluttbrukere. Dette kapittelet vil derfor først gi et historisk tilbakeblikk for å belyse utviklingen i det norske og nordiske kraftmarkedet før aktørene i markedet presenteres. Deretter presenteres den nordiske kraftbørsen samt årsakene til at markedet består av ulike prisområder. Dannelsen av naturlig monopol i distribusjonssektoren anses også som et viktig aspekt ved det nordiske kraftmarkedet, og vies derfor en omtale.

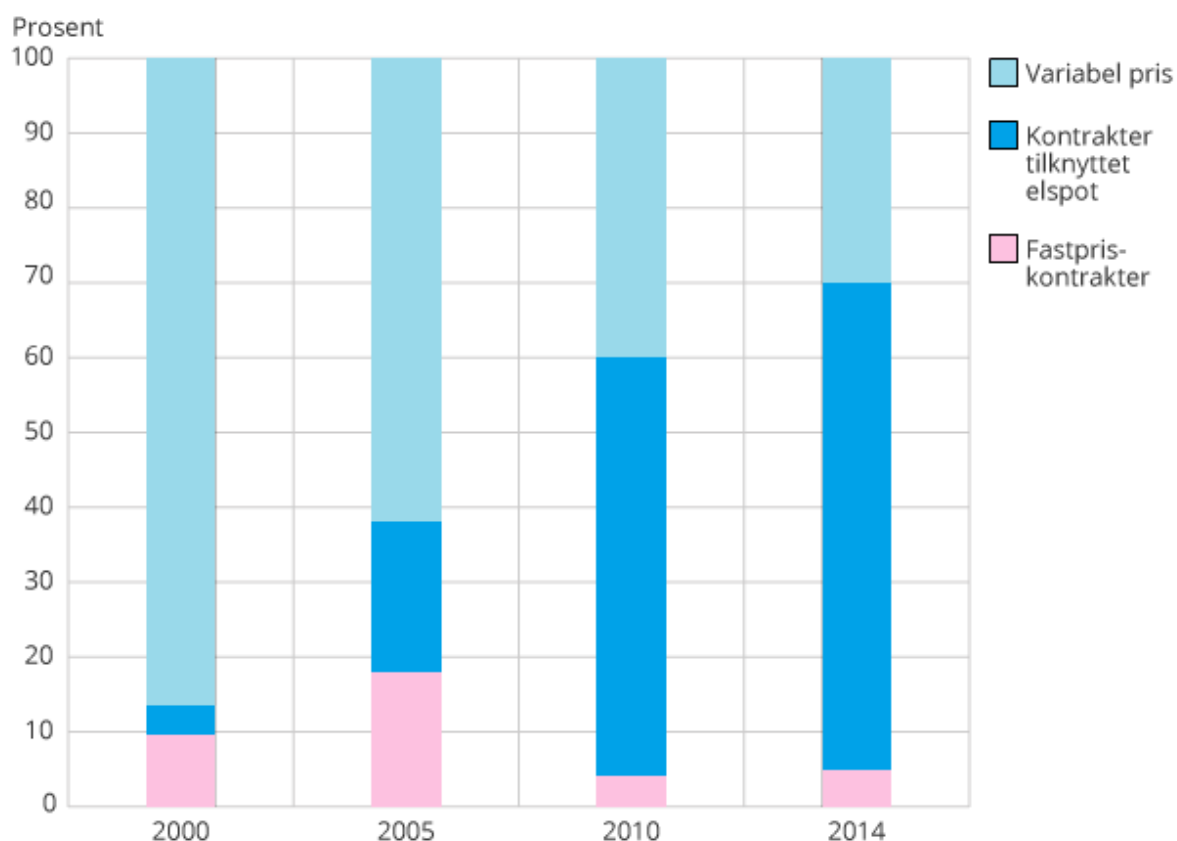
Dette kapittelet vil også gi leseren en rask innføring i relevant økonomisk teori som er aktuell for å forstå fundamentale mekanismer som påvirker det norske kraftmarkedet. De ulike konseptene er utvalgt på grunnlag av hvilke økonomiske faktorer som kan være av betydning når en forbruker velger sin tilpasning. Kapittelet blir så avsluttet med en evaluering av ineffektivitet som oppstår grunnet den dårlige forbindelsen mellom sluttbrukermarkedet og engrosmarkedet i dagens kraftmarked, samt en definisjon av de viktige begrepene laststyring, energieffektivitet og -konservering og etterspørselsrespons.

2.1 Det norske og nordiske kraftmarkedet

I tiden før deregulering av elektrisitetsmarkedet i Norge, ble investeringsavgjørelser tatt sentralt og det var indikasjoner på betydelige overinvesteringer i sektoren. Risikoen for forsyningsknapphet var begrenset da formålet ved kapasitetsplanleggingen var å dekke etterspørsel under tilnærmet alle tenkelige forhold (Bye & Hope, 2005). Investeringsrisikoen var videre lav som følge av at tariffene var utformet for å dekke kostnadene, og ineffektive investeringer kunne slik dekkes av tariffmodifikasjoner.

Ett av formålene med deregulering var derfor å redusere overinvesteringer og sikre bedre utnyttelse av de totale ressursene i elektrisitetssektoren ved å overlate investeringsavgjørelser til aktørene i markedet (Ericson, 2007). Desentraliseringen av beslutningsavgjørelsene fulgte av at det norske elektrisitetsmarkedet ble deregulert i 1991. Sverige fulgte etter i 1996, og de to landene etablerte da verdens første multinasjonale marked for elektrisitetskontrakter, Nord Pool Spot. Finland og Danmark tilsluttet seg i henholdsvis 1998 og 2000. I nyere tid er det bygget ut overføringskapasitet også til andre europeiske land, noe som har ført til at også Polen, Tyskland, Holland, Russland og Baltikum gjennom overføringslinjer er tilknyttet det nordiske markedet (Bleskestad, Holstad, & Aanensen, 2015).

Før dereguleringen var kraftsystemet karakterisert av stor grad av vertikal integrasjon med et sluttbrukermarked basert på fastpriskontrakter (Wangensteen, 2012). I 1997 ble avgiften ved leverandørbytte fjernet, så små forbrukere som husholdninger kunne delta i markedet på lik linje med andre (Bye & Hope, 2006). Nå kan forbrukere fritt velge leverandør og kontrakter knyttet opp til spotprisen er blitt mer vanlig. Utviklingen i valg av kontraktstyper blant husholdningskunder kan sees i figur 1.



Figur 1 - Valg av kontraktstyper i husholdninger 2000-2014 (Bleskestad, Holstad, & Aanensen, 2015)

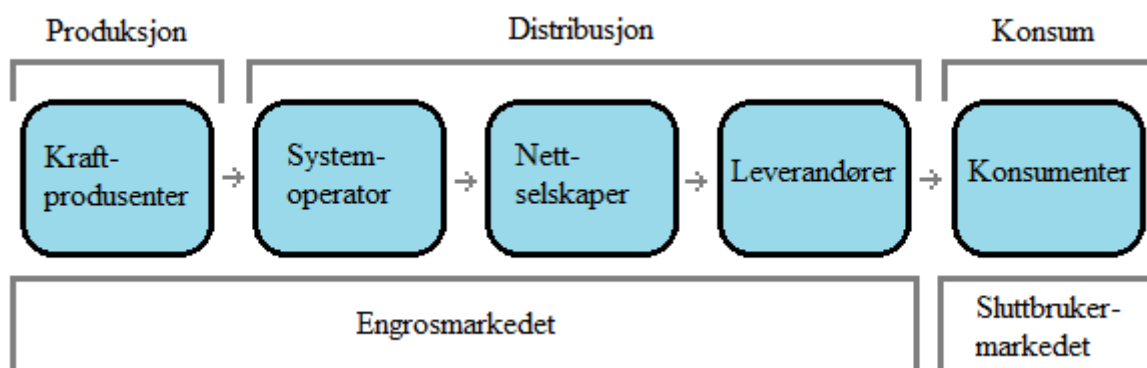
2.2 Aktører på det norske markedet

Nasjonal kraftproduksjon og forsyningssikkerhet i kraftmarkedet anses som vitale samfunnsfunksjoner, og oppbyggingen av verdikjeden i bransjen er derfor noe spesiell. For å oppnå innsikt i hvordan denne bransjen skiller seg fra andre, er det hensiktsmessig å se på de ulike aktørenes rolle i bransjen og ansvarsfordelingen mellom disse.

Det norske kraftmarkedet er preget av lav grad av sentralisering og høyt antall aktører i forhold til resten av Europa og aktørene i det norske markedet kan kategoriseres som presentert i oversikten nedenfor (Wangensteen, 2012; OED, 2013)

- Regulatoren (Norges vassdrags- og energidirektorat) er ansvarlig for å regulere nettselskapenes naturlige monopol og kontrollere at de operer med normal fortjeneste samt sikre at strømmettet er tilgjengelig for enhver aktør. NVE har videre plikter innenfor utvikling av lovmessige rammeverk, kapasitetsplanlegging, evaluering av relevant litteratur og studier, samt overvåkning av vannressursene.
- Nettselskaper som eksempelvis Agder Energi Nett AS og Hafslund Nett AS, og systemoperatøren Statnett drifter og vedlikeholder strømmettet. De er ansvarlige for investeringer i kapasitet og påbygninger. De er videre ansvarlige for å holde nettet åpent for eventuelle tredjeparter samt å beregne og implementere takster for slik bruk.
- Kraftprodusenter som eksempelvis Statkraft Energi AS, produserer og selger elektrisitet til markedet. I Norge er Statkraft desidert størst blant de omkring 175 kraftprodusentene, og står for om lag 35 prosent av den samlede produksjonen.
- Sluttbrukere omfatter husstander, bedrifter, lokalsamfunn, offentlig sektor samt kraftintensiv og øvrig industri. Sluttbrukerne kan velge kraftleverandør, men er bundet til å betale nettleie til sitt lokale nettselskap.
- Kraftbørsen Nord Pool Spot utgjør det fysiske markedet for handel av kraftkontrakter i det nordiske markedet. Handelen på Elspot, som er for påfølgende dag, utgjør storparten av handelsvolumet mens Elbas fungerer som en buffer med kortere tidsdifferanse opp mot driftstimen.
- Systemoperatøren (TSO) i Norge, Statnett, er ansvarlig for forsyningssikkerheten i nettet og for å opprettholde riktig spenningsnivå (balanse) samt å opprettholde forbindelse med nabolandene slik at kraft kan overføres over landegrensene. Statnett regulerer også balansen i nettet gjennom regulerkraftmarkedet og regulerkraftopsjonsmarkedet, som begge er kontrollert av Statnetts landssentral.
- Kraftleverandører (omsetningsselskaper) som eksempelvis Hafslund Strøm AS eller Fjordkraft AS kjøper kraft i engrosmarkedet for videresalg til sluttbrukere, men driver ikke nødvendigvis med kraftproduksjon.
- Konkurransetilsynet kontrollerer og regulerer konkurransen i elektrisitetsmarkedet, og tilser at rettferdige markedsbetingelser opprettholdes.

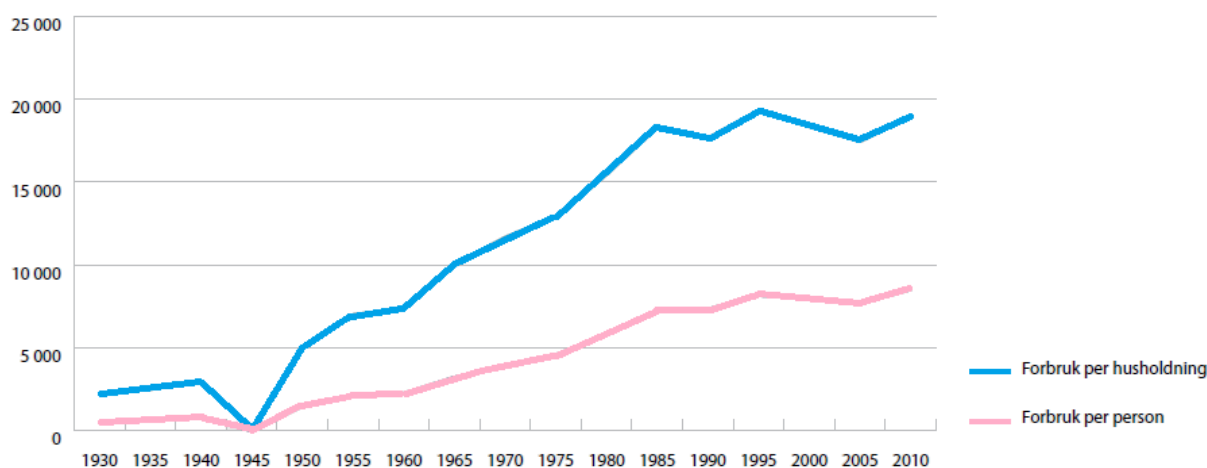
En forenklet fremstilling av aktørenes posisjoner i verdikjeden, er fremstilt i figur 2.



Figur 2 - Verdikjeden i den norske kraftbransjen. Inspirert av Wangensteen (2012)

2.3 Forbruk i Norge

Norge er et av de landene i verden der innbyggerne bruker mest elektrisitet per innbygger, og i 2012 brukte en gjennomsnittlig husstand over 20230 kWh energi til boligformål, nest mest i verden etter Kuwait (Bøeng, 2014). En av grunnene til dette kan være at elektrisitet er hovedenergibæreren norske bygninger. Elektrisk oppvarming er dominerende i Norge og som et resultat av relativt kaldt klima, utgjør forbruket av elektrisk kraft nesten 50 prosent av totalt sluttforbruk av energi, og mer enn 70 prosent av det stasjonære energikonsumet (NVE, 2013). En annen viktig faktor kan være at strømprisene i Norge historisk har vært lave i forhold til de fleste andre land (DECC, 2013).



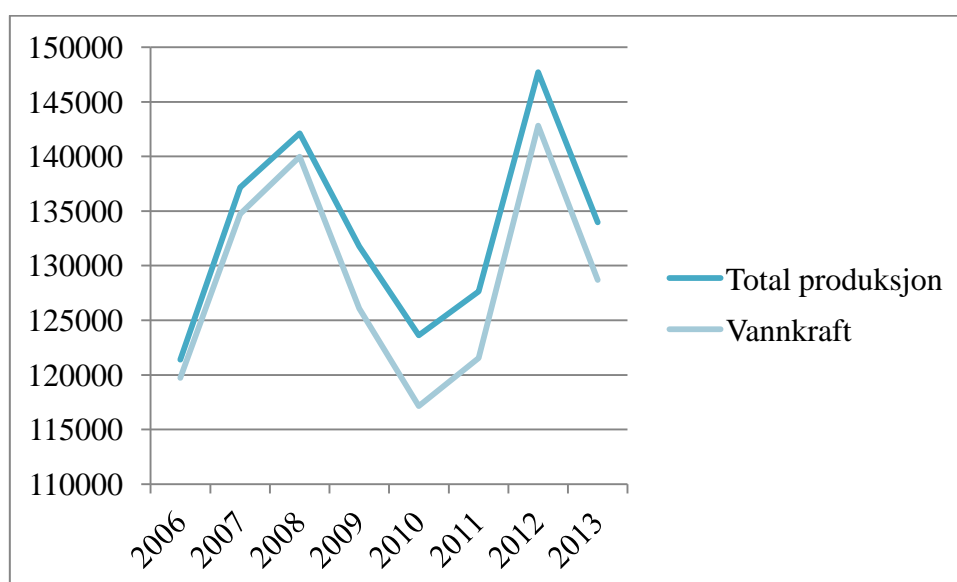
Figur 3 - Strømforbruk i husholdninger 1930-2010, kWh per husholdning og kWh per person (OED, 2013)

Etter mange år med stor vekst i forbruket, har imidlertid forbruket flatet ut etter 1995, som kan sees av figur 3. Dette er mye grunnet nedgang i veksten i gulvareal per person og mer effektivt energiforbruk. I tillegg har det siden slutten av 80-tallet vært betydelig mildere klima

som har medført redusert oppvarmingsbehov av bygninger. De siste årene er det også innført strengere bygningsforskrifter og krav til energieffektivitet i nybygg, noe som har bidratt ytterligere til å bremse veksten i energiforbruket. Det figur 3 til en viss grad skjuler, er at det også har vært en langsiktig trend mot flere, men mindre husholdninger (SSB, 2014).

2.4 Produksjon av elektrisitet

Produksjonen av elektrisk kraft må, grunnet mangel på lagringskapasitet, skje samtidig med forbruk (Hafslund, 2015). Elektrisitet produseres dermed over alle døgnet tider og gjerne fra ulike energikilder. Vannkraft er den desidert største energikilden i Norges kraftsystem og utgjør oppimot 99 prosent av all kraftproduksjonen (Statkraft, 2015). I tillegg har Norge noe produksjonskapasitet i varmekraftverk som forbrenner både fossilt og biologisk brennstoff, samt stadig større produksjonskapasitet fra vindturbiner (NVE, 2011).



Figur 4 - Produksjon av elektrisitet i Norge i GWh 2006-2013 (SSB, 2015)

Den totale produksjonen av kraft i Norge henger tett sammen med vannkraftproduksjonen, som vist i figur 4. Differansen mellom de to kurvene utgjør vindkraft- og varmekraftproduksjon i de respektive årene.

Det ventes økende andel stokastisk produksjon i den norske kraftmiksen i tiden fremover, både som følge av nasjonale initiativ og av europeiske klimamålsettinger satt av EU. Med stokastisk produksjon menes produksjonsmetoder som ikke kan reguleres, eksempelvis solkraft, vindkraft og vannkraftverk uten lagringskapasitet i form av magasiner. Produksjonen i disse anleggene vil avhenge av variasjon i værforhold og klima, og kan dermed utgjøre en

utfordring for aktørenes prediksjonsevne i forbindelse med produksjonsplanlegging samt for systemoperatørens evne til å opprettholde den momentane balansen i strømmettet.

I et vannkraftsbasert marked som det norske vil tilbudet kunne variere signifikant med varierende nedbør. I 2011 ble det eksempelvis produsert 128 TWh hvorav 122 av disse ble produsert i vannkraftanlegg (OED, 2013). Tilsiget dette året var enda større. 1996 var derimot et år med lavt tilsig (ca. 90 TWh), og NVE beregner for de siste 20 årene at det nyttbare tilsiget til vannkraftverkene har variert med opptil 60 TWh (OED, 2013). Denne variasjonen vil fremstå som skift i tilbudskurven på det nordiske markedet som beskrevet i avsnitt 2.8, og vil følgelig ha utslag også i prisen på elektrisitet samt mengden elektrisitet omsatt gjennom likevekten mellom etterspørsel og tilbud.

2.5 Kraftbørs

Nord Pool Spot AS styrer i dag det fysiske markedet for kraftkontrakter. Prisen blir bestemt av balansen mellom tilbud og etterspørsel samt overføringskapasitet mellom de aktuelle områdene. Markedsaktørene kommer med bud på salg og kjøp av kraft for påfølgende dag (Elspot) eller med kortere tidsperspektiv (Elbas). I Elspot fastsettes prisen på bakgrunn av disse budene for hver time av påfølgende dag og utgjør en teoretisk fellespris for det nordiske handelsområdet, kalt systemprisen. Denne fungerer som referansepris for finansielle kontrakter og representerer sluttbrukernes betalingsvilje for den siste kilowattimen samt kostnaden ved å produsere én kilowattime fra den mest kostbare kraftkilden i energimiksen.

2.6 Prisområder

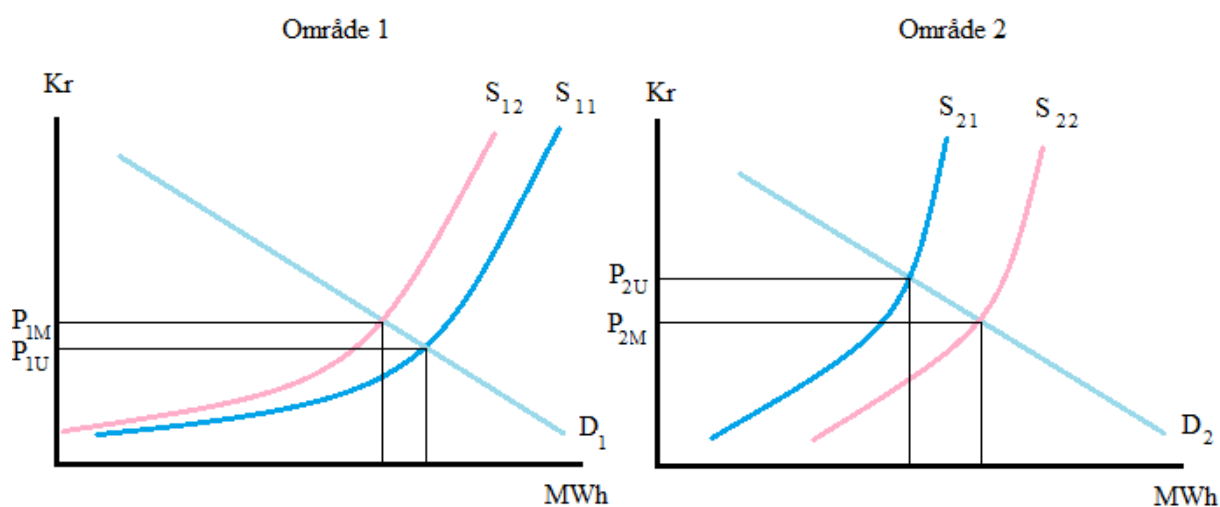
I dag er Norge inndelt i fem forskjellige prisområder, mens Sverige og Danmark er delt inn i henholdsvis fire og to områder. Finland og de baltiske landene utgjør hvert sitt område. Mengden kraft som kan utveksles mellom områdene bestemmes av overføringskapasiteten på nettet, og er grunnen til at det dannes forskjellige prisområder. Prisområdene som eksisterer i dag, er presentert i figur 5.

I de forskjellige prisområdene vil prisen være forskjellig basert på om det er over- eller underskudd av kraft. Mangel på kraft i et område vil føre til høyere priser, og kraft fra områder med lavere pris vil overføres. Dersom det etterspørres større overføringer enn kapasiteten i nettet tillater, vil det dermed oppstå flaskehals og forskjellige priser i forskjellige prisområder med avvik fra systemprisen.



Figur 5 - Elspot prisområder i det nordiske kraftmarkedet (Nord Pool Spot, 2015)

I figur 6 er det presentert et tilfelle der det er overskudd av kraft i område 1 relativt til område 2. D_1 og D_2 representerer etterspørselen i henholdsvis område 1 og område 2. Tilbudskurvene S_{12} og S_{22} representerer her en ny tilpasning etter kraftoverføring fra område 1 til område 2. Eksporten fra område 1 gjør at konsumentene i dette området får et redusert tilbud og dermed høyere pris (fra P_{1U} til P_{1M}). I område 2, der det opprinnelig var kraftunderskudd, fører importen fra område 1 til at tilbudet øker og prisen reduseres fra P_{2U} til P_{2M} . Uten overføringsbegrensninger vil prisnivået P_{1M} være lik P_{2M} .



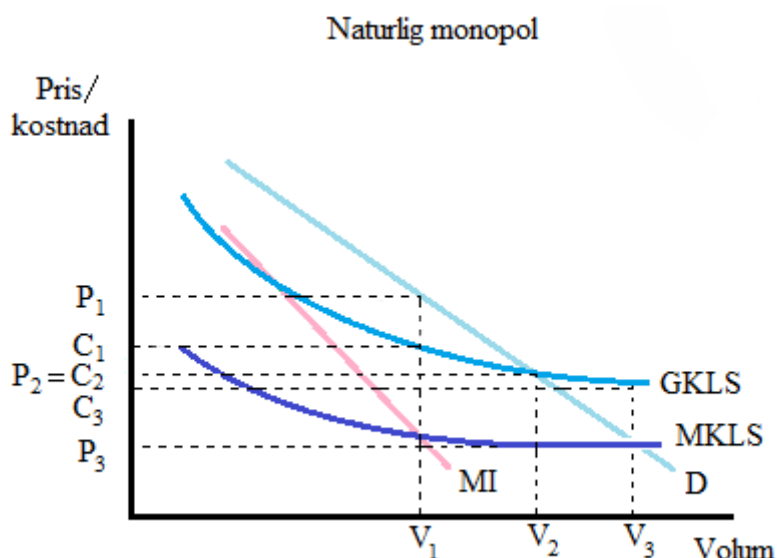
Figur 6 - Kraftoverføring fra område 1 til område 2

Når forbruksdata fra henholdsvis Odderhei/Søm og Steinkjer senere skal sammenliknes, vil prisforskjeller kunne skape forskjeller i etterspurt mengde elektrisitet mellom områdene. Prisen er en viktig del av etterspørselsfunksjonen, og vil derfor være viktig å kontrollere for. Dette vil bli adressert nærmere i metoddelen av oppgaven.

2.7 Naturlig monopol

Norge er delt inn i geografiske områder der lokale nettselskaper eier og er ansvarlige for utbygging og drift av strømmettet. Av geografiske og teknologiske årsaker dannes det naturlige monopoler i denne delen av verdikjeden, og strømbrukere kan derfor ikke velge nettselskap.

Et naturlig monopol finnes gjerne i et marked der gjennomsnittskostnaden på lang sikt avtar med økt volum i hele spekteret av tenkelig produksjon, gitt posisjonen til den totale etterspørselsfunksjonen (se GKLS i figur 7). Markedet for elektrisitetsdistribusjon er et mye brukt eksempel på et marked der det dannes slike naturlige monopoler. Omfattende og kostbar infrastruktur er nødvendig for å levere elektrisitet, men etter at kapasiteten er installert vil svingninger i etterspurt mengde forårsake relativt små endringer i totale kostnader. I et naturlig monopol vil det alltid være mer kostnadseffektivt med monopol enn konkurranse, da GKLS er lavere dersom én tilbyder betjener hele markedet enn hvis to (eller flere) tilbydere deler markedet seg imellom.



Figur 7 - Naturlig monopol, tilpasset fra (Lipczynski, Wilson, & Goddard, 2013)

I figuren overfor er D etterspørselskurven for markedet, GKLS og MKLS er henholdsvis gjennomsnittskostnaden og marginalkostnaden på lang sikt, mens MI er marginalinntekten.

En ser at en uregulert profittmaksimerende monopolist produsere volum V_1 til pris P_1 .

Gjennomsnittskostnaden er da C_1 og monopolisten har økonomisk profitt lik: $V_1(P_1 - C_1)$.

Dersom monopolisten ble tvunget til å produsere V_2 , ville prisen falt til P_2 , og monopolisten ville hatt en normal fortjeneste.

Effektiv allokering (pris lik marginalkostnad) oppnås ved at monopolisten produserer volum V_3 med gjennomsnittskostnad C_3 . Siden prisen i dette tilfellet er P_3 , vil monopolisten ha et økonomisk resultat lik: $V_3(P_3 - C_2)$, altså tap.

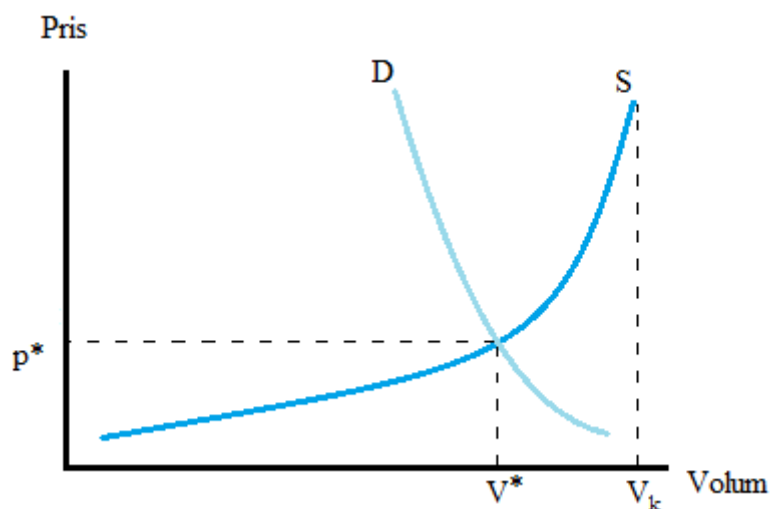
Effektiv allokering i markedet for elektrisitetsdistribusjon er kanskje ikke oppnåelig, da nettselskapet heller vil forlate markedet enn å operere ved (P_3, V_3) . Det vil imidlertid, med bakgrunn i effektivitets- og velferdskriterier, være fordelaktig dersom monopolisten tilpasser seg nærmere (P_3, V_3) enn i den profittmaksimerende tilpasningen (P_1, V_1) .

NVE (Norges Vassdrags- og energidirektorat) regulerer med bakgrunn i dette markedet, og tilser at nettselskapene hverken taper penger eller opptrer som profittmaksimerende monopolister. De pålegger med dette nettselskapene å operere med et tilbuds nivå rundt V_2 .

Nettleien er forskjellig etter hvor effektivt det lokale strømmettet er, og dette beror på flere faktorer som befolkningstetthet og geografiske aspekter som påvirker kostnadene ved å bygge og drive strømmettet. NVE forvalter en regional utjevningsordning som skal sikre at nettleien blir mer lik i ulike deler av landet med ulikt kostnadsgrunnlag. Utjevningsordningen kompenserer likevel ikke fullt ut for disse forskjellene (Bleskestad, Holstad, & Aanensen, 2015), og dette gir utslag i ulik pris for nettleie i Steinkjer og i Odderhei/Søm (NVE, 2015).

2.8 Likevekt i kraftmarkedet

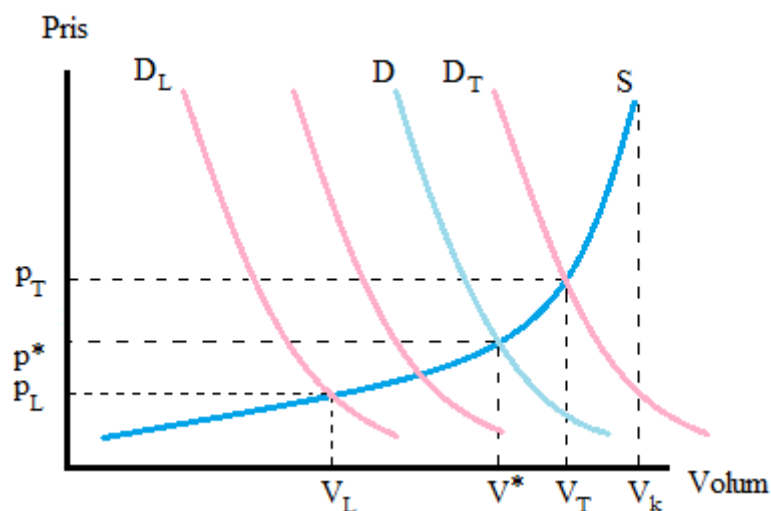
Økonomisk teori forteller oss at i markeder med perfekt konkurranse, finnes det en effektiv allokering av ressurser der marginalnyttens av konsum er lik marginalkostnaden på tilbudssiden. I figur 8 er dette i punktet der etterspørselskurven krysser tilbudskurven med likevektspris p^* og konsum V^* . S og D er henholdsvis tilbud og etterspørsel, mens V_k er kapasitetsgrensa.



Figur 8 - Likevektspris og -volum i et marked med perfekt konkurranse. Fritt etter Pindyck & Rubinfeld (2012)

I kraftmarkedet blir tilbudskurven konstruert ved å rangere generatorer fra lavest til høyest marginal produksjonskostnad. Til venstre i figuren vil vindturbiner, vannkraft, solkraft og andre generatorer som har lav marginalkostnad være. Når tilbudskurven nærmer seg kapasitetsgrensa vil den inkludere generatorer som gassturbiner og oljefyringskraftverk som er i operasjon sjeldnere og har høyere marginalkostnad. Her er tilbudskurven svært bratt og maksimal produksjon betegnes V^K . Etterspørselskurven har helning for å representere stadig redusert marginal nytte ved økt konsum.

Denne figuren har med dette ingen tidsdimensjon og kan derfor anvendes på enhver tidsskala. Det er dog slik at tidsperspektivet bestemmes av spesifikke karakteristika ved etterspørsel- og tilbudskurvene. På timebasis vil etterspørselen i kraftmarkedet variere i tråd med aktivitetsnivået til bedrifter og med forbruksmønsteret i privatmarkedet. Etterspørselskurven vil dermed skifte. Dette skaper en systematisk variasjon i kvantum konsumert (og pris) (Andersen, et al., 2006). På hverdager kan det observeres høy etterspørsel (og dermed høyere pris) om morgenen og ettermiddagen, mens det er lavere etterspørsel (og pris) i øvrige timer av døgnet. Effekten av disse skiftene er illustrert i figuren under, der indeks L og T indikerer henholdsvis lavlastperioder og topplastperioder.

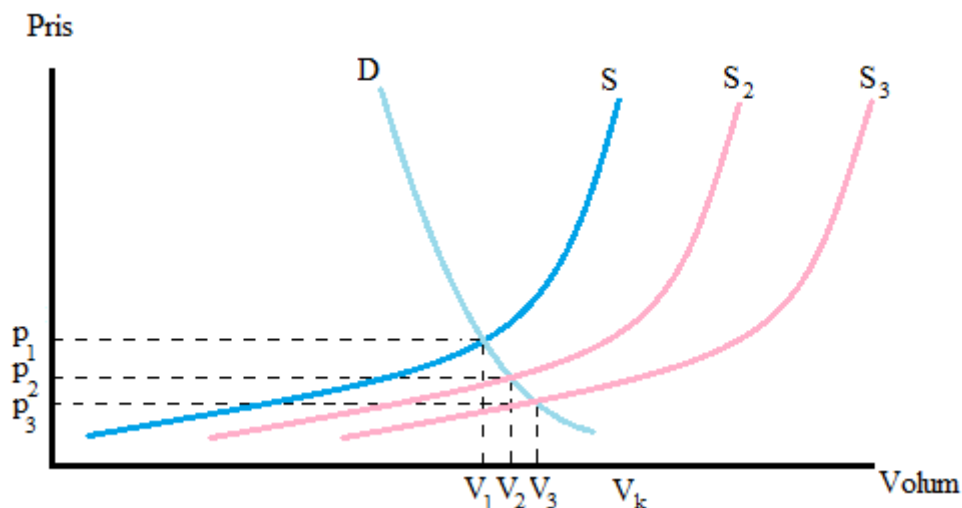


Figur 9 - Endring i etterspurt mengde elektrisitet

Den norske kraftproduksjonen er imidlertid som nevnt basert på storskala vannkraft, og opp- og nedjustering av produksjonen er relativt enkelt grunnet vannmagasiner i forkant av produksjonsanleggene. Energien kan altså lagres, og dette gjør det mulig for produsentene å benytte sin markedsrett for å påvirke prisen. Derfor er det ikke sikkert at skift i etterspørselen har like stor effekt på prisen som det vises i figuren, da tilbudet kan skiftes mellom perioder som respons på endringer i etterspørselen.¹ Generelt kan det sies at likevekten i kraftmarkedet bestemmes simultant av balansen mellom etterspørsel og tilbud. Dette er et viktig aspekt som kan ha betydning når forbruket av strøm etter hvert skal kontrolleres for strømpris.

I tillegg til skift i etterspørselskurven grunnet varierende aktivitetsnivå og forbruksmønster, vil tilbudskurven kunne skifte grunnet eksempelvis forandring i vind- og værforhold eller driftsstans i et produksjonsanlegg. Denne variasjonen er imidlertid ikke systematisk, og i motsetning til skiftede etterspørselskurver vil skiftede tilbudsskurver innebære negativ korrelasjon mellom pris og volum. Med andre ord vil økt tilbud føre til lavere pris. Dette er illustrert i figur 10, der S_2 og S_3 er skiftede tilbudsskurver som følge av økt tilbud. Figuren viser kun én etterspørselskurve, D .

¹ For en grundigere diskusjon rundt markedsrett i det norske kraftmarkedet, se Haug (2004)

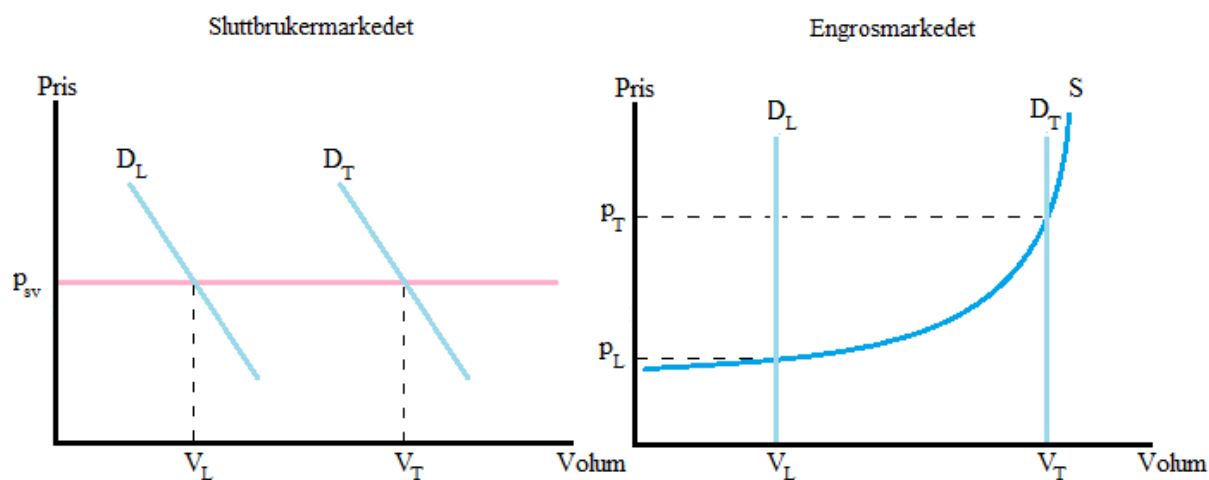


Figur 10 - Endring i tilbudt mengde elektrisitet

2.9 Sluttbrukermarkedet og engrosmarkedet

Den private etterspørselsiden i det norske kraftmarkedet er per i dag preget av målersystemer som kun måler akkumulert elektrisitetsforbruk. Alle konsumenter uten automatiske strømmålere, det vil si tilnærmet alle norske husstander, kan derfor kun velge mellom tariffer der prisen i praksis holdes fast. Selv for husstander med spotpriskontrakter vil prisen per kilowatttime være fast, da de i realiteten blir belastet for det månedlige gjennomsnittet av den markedsbaserte spotprisen (Ericson, 2007).

Husstandene står altså ikke overfor de store variasjonene i prisen på elektrisitet i engrosmarkedet, og har derfor ikke incentiver til å tilpasse forbruket etter disse prisvariasjonene. Grunnet denne mangelen på fleksibilitet, må selskapene som selger kraft til sluttbrukermarkedet plassere prisinsensitive bud på engrosmarkedet og følgelig betale enhver pris for å dekke etterspørselen til sine kunder. Denne situasjonen representerer en mangel på kobling mellom engrosmarkedet og sluttbrukermarkedet da informasjon om markedsforhold gitt gjennom prisene på engrosmarkedet ikke kommer frem til husstandene. Informasjon om husstandenes faktiske etterspørselsfleksibilitet og betalingsvilje reflekteres heller ikke i engrosmarkedet. Dette fører til kunstig lav priselastisitet som illustrert i figur 11b.



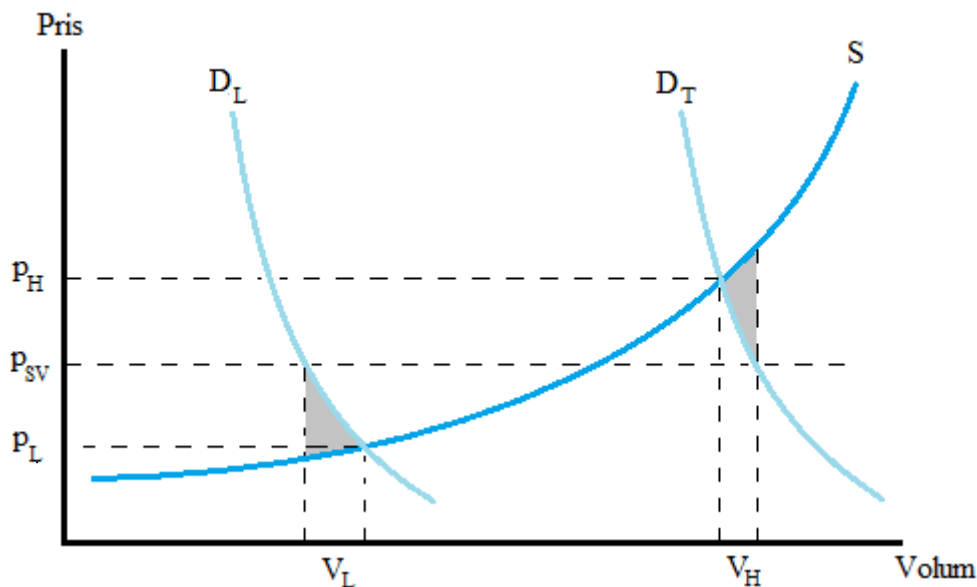
Figur 11a og 11b - Etterspørselen fremstår forskjellig i sluttbruker- og engrosmarkedet.

Tilpasset fra Ericson (2007)

Figur 11a er en forenklet fremstilling av konsumentenes tilpasning, der etterspørselen er delt inn i to forskjellige perioder av døgnet; en periode med høy etterspørsel (topplast) og en periode med lav etterspørsel, henholdsvis D_T og D_L . P_{SV} representerer en standard variabel pris fra krafttilbyderen som ikke kan endres i noen av periodene. Siden prisen ikke endres mellom periodene, fremstår etterspørselen fra privatmarkedet fullstendig uelastisk i engrosmarkedet. Dette er fremstilt i figur 11b.

Innføringen av automatiske målere i norske husstander er ett steg i retning av tilkobling mellom disse to markedene. Gjennom toveis kommunikasjon og tilbud av kontrakter til sluttbrukerne knyttet opp til engrosmarkedet, vil det være mulig for konsumentene å observere og tilpasse seg priser nærmere den marginale produksjonskostnaden for kraft.

Siden ineffektiviteten i markedet oppstår når prisen i privatmarkedet avviker fra prisen i engrosmarkedet vil en slik kommunikasjon føre til at informasjon om markedsforhold gitt gjennom prisene på engrosmarkedet faktisk kommer frem til husstandene, og at informasjon om husstandenes faktiske etterspørselsfleksibilitet og betalingsvilje reflekteres i engrosmarkedet. Dette vil gi utslag i etterspørselskurvene, som ikke lenger vil fremstå som fullstendig uelastiske, men heller være mer representative for konsumentenes faktiske etterspørselsfleksibilitet. Det vil altså oppstå en annen tilpasning i markedet, med endret forbrukt elektrisitet i de to periodene samt endret pris.



Figur 12 - Virkninger av overgang fra standard variabel pris til marginalkostnadspris i elektrisitetmarkedet på kort sikt. Tilpasset fra Ericson (2007) og Andersen et al. (2006).

Figur 12 viser hvordan den nye tilpasningen kan se ut med økt priselastisitet. D_T og D_L representerer her de nye etterspørselsfunksjonene i perioder med henholdsvis høy og lav etterspørsel. Equilibrium mellom de mer elastiske etterspørselskrivene og tilbudet avgjør hvor store effektivitetsforbedringer som oppstår, representert ved de skraverte områdene. Mer elastisk etterspørsel fører til større effektivitetsforbedringspotensiale.

Effektivitetsforbedring som beskrevet i figur 12 inntreffer imidlertid som følge av tilleggsinitiativ muliggjort av AMS-målerne, og er dermed ikke hovedfokus i denne oppgaven. Det er likevel viktig å huske på at ineffektiviteten i markedet kommer delvis som følge av informasjonsbegrensninger. Som jeg kommer tilbake til i avsnittet omhandler energiulykhet, kan denne informasjonsbegrensningen ha sammenheng med utviklingen av sluttbrukernes atferdsmønster og dermed være aktuelt når konservering av elektrisk energi skal evalueres.

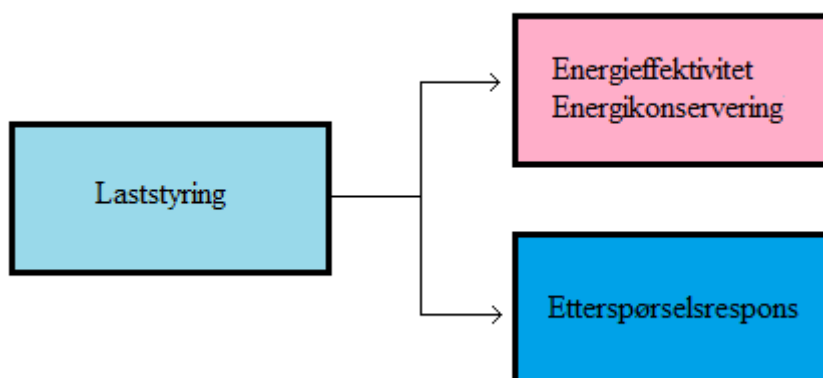
2.10 Laststyring

For å tydeliggjøre forskjellen mellom etterspørselsresponsinitiativ, som sanntidsprisingseksempelet nevnt i foregående avsnitt, og energieffektivitet og energikonservering, må det overordnede begrepet *laststyring* defineres.

Laststyring, eller "Demand Side Management", er et relativt ungt begrep og ble offisielt introdusert av Electric Power Research Institute på 1980-tallet (Balijepalli, Pradhan,

Khaparde, & Shereef, 2011). Begrepet omfatter alle endringer i etterspørselen etter elektrisitet som følge av tiltak og initiativ med endring som formål, og inkluderer dermed både energikonservering, energieffektivitet og automatisk og initiert forbrukerfleksibilitet. Generelt refererer begrepet til forskjellige mekanismer i elektrisitetsbransjen som skal påvirke og tilpasse konsumentenes forbruksmønster og -mengde slik at det samsvarer bedre med kapasiteten på tilbudssiden (Gellings, 1985). En av de mest markante fordelene ved laststyring ligger i at det fasiliterer sluttbrukernes endring av egen etterspørsel i perioder med høy aggregert etterspørsel, og kan bidra til å redusere elektrisitetsforbruket i sin helhet. Dette har positive konsekvenser i form av reduserte vedlikeholdskostnader på strømmettet og redusert utslipp av klimagasser. Automatiske strømmålere er én av de teknologiske nyvinningene som muliggjør ulike former for laststyring.

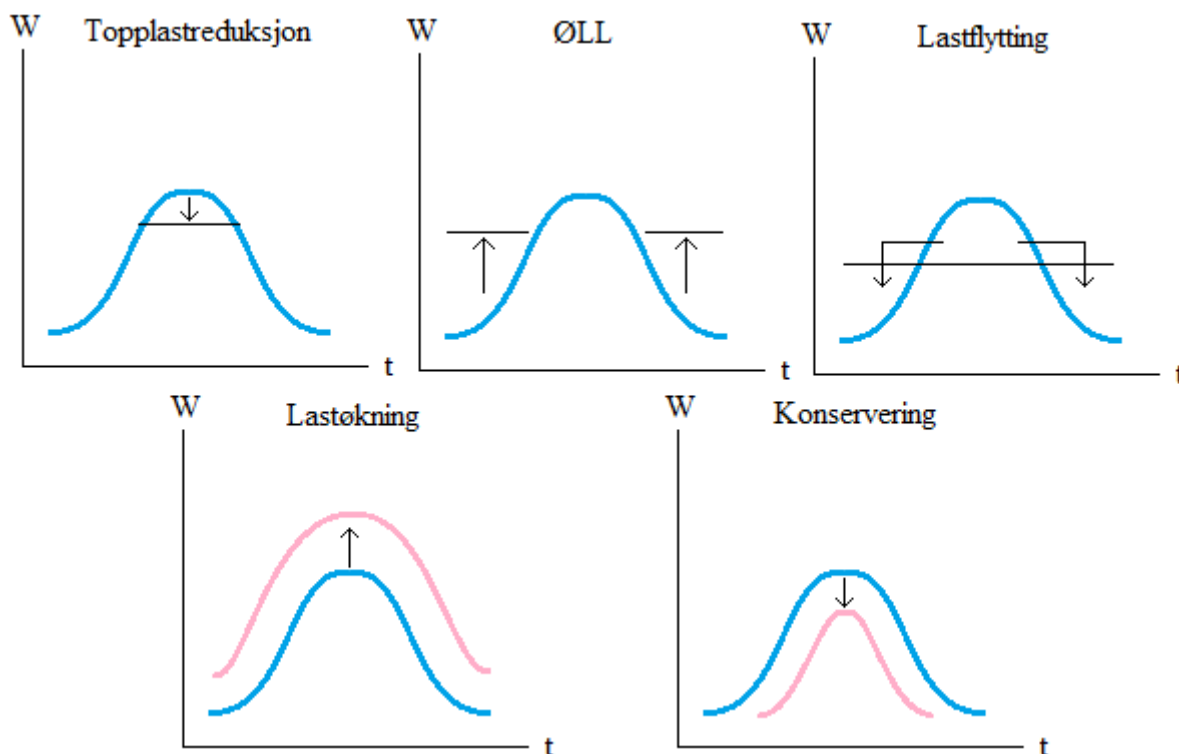
Laststyring består av to hovedkomponenter: forbrukerfleksibilitet på den ene siden, og energieffektivitet og -konservering på den andre. Gjennom redegjørelse av disse komponentene, og laststyringsbegrepet generelt, vil energikonservering bli satt i kontekst blant laststyringsmekanismene.



Figur 13 - Kategorisering av laststyring, tilpasset etter AIEC (2009) og McKinsey (2010)

Laststyring kan skje på flere måter, og i figur 14 er forskjellige laststyringsmål oppsummert. Topplastreduksjon, lastflytting, lastøkning, konservering og økt last i lavlastperiode (ØLL) er strategier for å tilpasse forbruket. Topplastreduksjon betyr å redusere forbruket i perioder der det er høy etterspørsel. Lastflytting flytter forbruk fra høylastperioder til lavlastperioder. Lastøkning refererer til strategisk økning av forbruket over hele eller deler av perioden, mens konservering på den andre siden beskriver det motsatte, reduksjon av forbruket over hele eller deler av perioden. ØLL beskriver økt last i lavlastperioder, og er inkludert som mål fordi

jevne belastning kan føre til forlenget levetid på transformatorer i nettet (Bøe, Laselle, Gebes, & Sandnes, 2012).



Figur 14 - Forskjellige laststyringsmål, tilpasset og oversatt fra (CEB, 2015)

Elektrisitetsskonerivering, både som laststyringsmål og laststyringskomponent, vil i denne oppgaven være hovedfokus. Muligheten for tilleggsinitiativer som følge av installasjon av AMS-målere er imidlertid et viktig argument for å modernisere strømmettet, og det er av betydning å presisere forskjellen mellom effektivitet og konservering på den ene siden, og etterspørselsrespons på den andre.

2.10.1 Energieffektivitet og -konservering

Energieffektivitet er et begrep som ofte brukes for å beskrive både energieffektivitet og energikonservering. Det er imidlertid hensiktsmessig å påpeke forskjellen mellom de to begrepene. I følge International Energy Agency (IEA) er energieffektivitet et begrep som refererer til redusert energibruk ved samme eller høyere nyttenivå eller et høyere nyttenivå ved samme energibruk (IEA, 2015). Dersom en eksempelvis bytter ut en gammel glødepære med en fluoriserende lyspære som bruker mindre strøm, men likevel leverer samme mengde lys (og varme), vil en si at dette er mer energieffektivt.

Energikonservering omhandler på den annen side å klare seg uten (deler av) nytten som kommer fra energiforbruket. Det vil i tråd med eksempelet gitt overfor være å klare seg uten belysning, dempe belysningen eller unngå å ha lyset stående på i rom en ikke bruker.

2.10.2 Etterspørselsrespons

Etterspørselsrespons, eller forbrukerfleksibilitet, er den andre komponenten av laststyring og kan defineres som endringer i forbruksmønster hos sluttbrukere som følge av endringer i prisen på elektrisitet over tid eller av insentivbaserte systemer utviklet for å redusere sluttbrukernes strømforbruk dersom nettets driftsikkerhet er truet (Albadi & El-Saadany, 2007). Hovedformålet med etterspørselsrespons er altså å bidra til en mer fleksibel etterspørsel. Potensialet for at gunstige effekter som følge av etterspørselsresponsinitiativ skal oppstå anses som stort, spesielt i markeder som innehar spesielle karakteristikk som volatile priser og begrensninger i distribusjonsnettet eller ønsker om å øke andelen stokastisk, fornybar kraft.

I Norge, og i andre utviklede strømmarkeder, har det lenge foreligget avtaler og ordninger der en gjennom samarbeid med energiintensiv industri og andre storforbrukere søker å utnytte nettopp potensialet for etterspørselsrespons. Dette kan oppnås eksempelvis gjennom tariffavtaler som gir ulik pris på kraft til ulike tider av døgnet eller gjennom frakoblingsavtaler med systemoperatoren, der store unngåtte nettbelastninger brukes for å opprettholde riktig spenning i nettet (Torriti, Hassan, & Leach, 2010).

Antatt økende etterspørsel etter elektrisitet og ambisjoner om å inkludere mer stokastisk kraftproduksjon som vind-, sol og småskala vannkraft som resultat av ambisiøse klimamål samt stadig teknologisk utvikling av lavkostelektronikk og rimelige IT-løsninger har imidlertid i nyere tid ført til at interessen for etterspørselsresponsinitiativ også i privatmarkedet og i det øvrige bedriftsmarkedet har økt betraktelig. Økende effektbehov som følge av ny teknologi som induksjon og hurtigladning av elektriske kjøretøy vil også øke belastningen i strømmettet, og tiltak som kan jevne ut effektuttakstoppene vil derfor kunne redusere behovet for investeringer i overførings- og distribusjonsnettet samt bidra til redusert slitasje på disse (Bøe, Lasselle, Gebbs, & Sandnes, 2012).

Innføringen av AMS åpner for økt etterspørselsrespons gjennom ulike initiativ som eksempelvis sanntidsprising eller andre tariffalternativer og direkte laststyring via automatisk frakobling av varmtvannsberedere og luftkondisjonering.

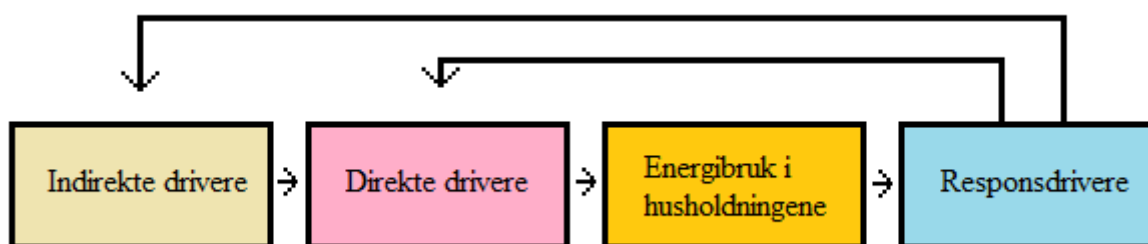
Kapittel 3: Drivere for etterspørsel etter kraft og relevant teori

For den økonometriske analysen i denne oppgaven, er det svært viktig å identifisere alle faktorer som er med på å bestemme hvor mye strøm husholdningene forbruker. Det teoretiske rammeverket til Hille et al. (2011), omhandlende indirekte og direkte drivere samt responsdrivere for elektrisitetsforbruk, fremstilles derfor i dette kapittelet og benyttes videre for å identifisere de driverne av størst betydning for analysen som skal utføres. Dette er viktig for å avgjøre hvilke faktorer elektrisitetsforbruket i Steinkjer og Odderhei/Søm skal kontrolleres for.

Et annet viktig formål med dette kapittelet er videre å identifisere ulike psykologiske faktorer som kan ha påvirkning på driverne identifisert i Hilles rammeverk. Dette gjøres ved gjennomgang av en relevant atferdsendringsteori samt vurdering av Stern og Aronsons (1984) redegjørelse for energiusynlighets- og energiubevissthetsbegrepet. Disse teoriene vil sammen med Hilles rammeverk og resultatene fra analysen danne grunnlaget for diskusjonen i kapittel 7.

3.1 Drivere for elektrisitetsforbruk

Hille, Simonsen og Aall (2011) introduserer i sin rapport til NVE en modell for kategorisering av påvirkningsfaktorer og drivere for forbruk av strøm, basert på OECDs DPSR-modell (driver, påvirkning, status og respons). Denne modellen kan brukes til å identifisere og systematisere alle faktorene som kan ha påvirkning i modellen som skal formuleres i kapittel 6. De tre driverne introdusert i rapporten er henholdsvis indirekte drivere, direkte drivere og responsdrivere.



Figur 15 - Driveres påvirkning på energibruk i husholdningene, tilpasset fra Hille, Simonsen & Aall (2011)

Direkte drivere innbefatter blant annet boligareal og andre byggespesifikasjoner som isolasjonsnivå samt innetemperatur, og er ment å beskrive drivere av teknisk eller fysisk karakter. Bak disse direkte driverne finnes de indirekte driverne, som defineres som enten juridiske, demografiske eller økonomiske, og innbefatter dermed eksempelvis kunnskap og

holdninger samt energibevissthet i befolkningen, folketall og strømpriser samt klimatiske elementer som temperatur. Disse indirekte driverne påvirker de direkte driverne.

Responsdriverne har karakteristikk som de indirekte driverne, men er gjerne knyttet opp til initiativ tatt med mål om å endre forbrukeratferd. Slik kan de påvirke de direkte driverne både direkte og gjennom påvirkning av de indirekte driverne. Dette kan eksempelvis være responsdrivere knyttet til offentlig virkemiddelbruk som tekniske forskrifter for nybygg eller strømvavgifter.

3.1.1 Direkte drivere

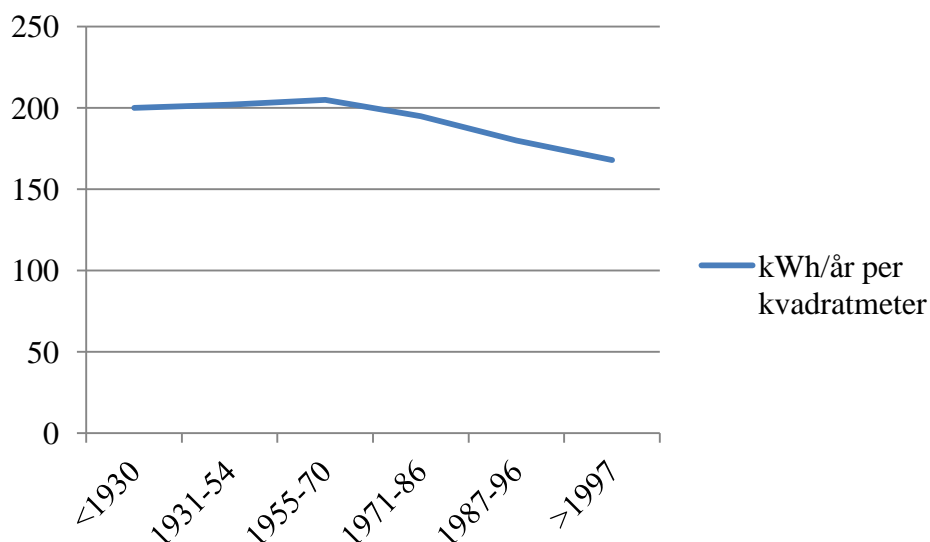
Bopelens karakterstikker og husholdningsmedlemmenes komfortkrav skal beskrives i dette avsnittet. Disse direkte driverne anses som de viktigste faktorene med direkte påvirkning på energiforbruket i husstander.

3.1.1.1 Bopelens egenskaper

Strømforbruket i en husstand henger tett sammen med boligtype, størrelse og tekniske egenskaper ved bygningen. Leiligheter for eksempel, som gjerne har mindre gulvareal enn eneboliger, er mer energiintensive per kvadratmeter. Dette kan forklares med at noe av energibruken, spesielt forbruket av varmtvann og andre elektriske apparater, avgjøres av antall medlemmer i husholdningen fremfor bopelens størrelse. På husstands nivå er derimot eneboliger mer energiintensive enn leiligheter (EIA, 2015). Om boligen klassifiseres som del av leilighetskompleks, del av rekkehus, del av tomannsbolig eller som frittstående enebolig er derfor av betydning for strømforbruket.

Størrelsen på en bolig påvirker strømforbruket gjennom å gjøre den mer energikrevende å varme opp, i tillegg til at det kan være større varmetap gjennom klimaskallet.² Tekniske egenskaper som isolasjonsnivå og tetthet i bygningen samt nivå på bruk av luftutskiftning ved hjelp av initiert ventilasjon varierer også mellom ulike bygninger. Nyere hus er gjerne bedre isolert og av generelt høyere bygningsmessig standard grunnet bedre teknologi, mindre slitasje og stadig strengere bygningsmessige forskrifter og krav innført av myndighetene. I figur 16 er sammenhengen mellom strømforbruk og alder på bygningen fremstilt for eneboliger.

² Klimaskall er et begrep som omfatter tak, gulv og vegger og det som ellers omslutter boligen og beskytter konstruksjonen mot eksterne påvirkninger (Stenby, 2014).



Figur 16 - spesifikk energibruk i eneboliger etter byggeår (kWh/m²/år). Tilpasset fra Hille et al. (2011)

3.1.1.2 Husholdningsmedlemmenes komfortkrav

Husholdningsmedlemmenes forbruksvaner og komfortkrav vil påvirke strømforbruket i husstanden. Dette inkluderer valg av innetemperatur, bruk av varmtvann samt energibruk til kunstig belysning og ulike elektriske apparater.

Forskjellen mellom valgt innetemperatur og gitt utetemperatur, er en viktig driver for elektrisitetsforbruk i alle husstander med ventilasjon. Endrer en den gjennomsnittlige innetemperaturen med én °C, endres strømforbruket med rundt fem prosent (AEI, 2015).

Oppvarming av vann er anslått til å utgjøre mellom 10 og 18 prosent av husholdningenes totale energibruk (Ljones, Nesbakken, Sandbakken, & Aaheim, 1992; Magnussen, Spilde, & Killingland, 2011). Tekniske aspekter som isolasjon av varmtvannsberederen og varmetap i rør spiller en viss rolle, men den viktigste faktoren er likevel hvor mye varmtvann husholdningen bruker.

Det elspesifikke forbruket inkluderer bruk av hvitevarer og brunevarer, belysning og elektronikk som fjernsynsapparat og musikkanlegg. Dette forbruket antas å bero i hovedsak på hvor mange medlemmer det er i husstanden, men varierer også etter hvor mange og hvilken type apparater som er tilgjengelige/installert. Eksempelvis hadde 98 prosent av husstandene i Norge installert elektrisk komfyr i 2009, mens kun 45 prosent hadde tørketrommel eller -skap (Hille, Simonsen, & Aall, 2011).

Som for alle de direkte driverne for elektrisitetsforbruk, ligger det også her indirekte drivere bak disse komfortkravene. I dette tilfellet er det imidlertid spesielt tydelig at bevissthet rundt eget forbruk og etablerte holdninger spiller en avgjørende rolle. Konserveringspotensialet er betydelig i forbindelse med avgjørelser om redusert innetemperatur, redusert varighet eller temperatur på dusjbesøk og høyere fyllingsgrad i vaskemaskin og oppvaskmaskin, for å nevne noen.

3.1.2 Indirekte drivere

Klimatiske elementer, strømpris og karakteristikker ved husholdningsmedlemmene samt deres kunnskap, holdninger og preferanser anses som de viktigste indirekte driverne. Disse påvirker energiforbruket i husstander via direkte drivere.

3.1.2.1 Strømpris

Prisen kunden betaler består av en spotpris som bestemmes i markedet, nettleie til det lokale nettselskapet og avgifter til staten. Sluttbrukerprisen på elektrisitet vil kunne ha innvirkning på etterspurt mengde elektrisitet gjennom antakelsen om forbrukeres nyttemaksimerende tilpasning. Det vil si at en høyere pris fører til lavere forbruk i henhold til husstandenes etterspørselsfunksjon. Dette kan komme som resultat av at forbrukerne velger å redusere sitt forbruk gjennom energikonservering, eller grunnet økt bruk av tilgjengelige substitutter som eksempelvis ved- eller oljefyring.

Hille et al (2011) påpeker imidlertid at strømprisene, på kort sikt, har liten effekt på forbruket. På lang og mellomlang sikt, derimot, kan strømprisene være avgjørende for valg av energibærere i hjemmet og investeringsavgjørelser omhandlende oppgradering av boligens klimaskall.

3.1.2.2 Alder, inntekt og antall husholdningsmedlemmer

Andre viktige indirekte drivere er demografiske forhold på husstands nivå som aldersammensetning, samlet inntekt og antall medlemmer i husholdningen. Ulike aldersgrupper kan ha ulikt bruksmønster av de forskjellige elektriske apparatene, og for vaske- og tørkeapparater spesielt, vil antall medlemmer i husholdningen i stor grad diktere bruksfrekvensen. Husholdningens samlede inntekt spiller også inn i regnestykket. Både via elektrisitetspriser, ved å legge budsjettbegrensninger, og via påvirkning av mulighetsområdet for investeringer i boligen. Blant disse investeringene kan, foruten boligen selv, investeringer i kanskje dyrere og mer energieffektive apparater og investeringer i øvrig oppgradering av boligen som har utslag i elektrisitetsforbruket, som eksempelvis etterisolasjon, nevnes.

3.1.2.3 Kunnskap, preferanser og holdninger

Menneskelige aspekter ved husholdningsmedlemmene kan forårsake ulikt forbruk mellom enheter som ellers er helt like. Det vil si at husholdninger i bopeler som tilsynelatende er helt identiske (størrelse, isolasjon, antall personer, byggeår mm.) kan ha svært varierende strømforbruk. Dette kommer av ulikt kunnskapsnivå, ulike preferanser og ulike holdninger.

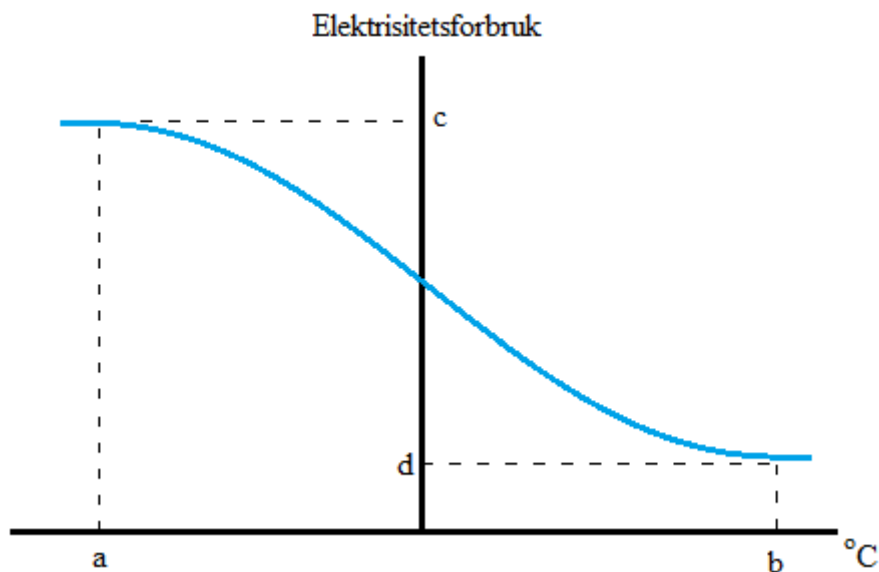
Kunnskapsnivå kan påvirke de direkte driverne gjennom husstandmedlemmenes evne til å prioritere avslukning av de mest energikrevende apparatene ved ønske om å konservere energi. Kunnskapsnivået vil også, i tillegg til å påvirke bruk av teknologi, påvirke valg av teknologi. Energimerking har eksempelvis økt informasjonsgrunnlaget til forbrukerne når de skal anskaffe nye elektriske apparater.

Et sett preferanser kan påvirke de direkte driverne gjennom at de påvirker avgjørelser omhandlende eksempelvis innetemperatur, vasketemperatur og øvrig bruk av elektriske installasjoner. I tillegg vil også preferansene styre valget av utrustning av boligen.

Med holdninger menes her husholdningsmedlemmenes standpunkt i forhold til energiforbruk. Det finnes antakeligvis store avvik i hvor opptatt forskjellige husholdninger er av å spare energi eller bidra til reduserte utslipp fra kraftproduksjon, og dette vil ha innvirkning på de forskjellige husstandenes endelige strømforbruk.

3.1.2.4 Temperatur

I Norge er som nevnt elektrisitet hovedenergibæreren i stasjonært forbruk, og spesielt i husholdningene står elektrisitet for en stor andel av energiforbruket. Oppvarming av areal (volum) er spesielt energikrevende, og det er betydelige forskjeller mellom energibruken i kalde og varme perioder og år. I modellen fra foregående avsnitt plasseres temperaturforhold under indirekte drivere, og temperatursvingninger er på kort sikt den mest betydningsfulle driveren for energiforbruk (Døhl, 1998). På lengre sikt, vil utviklingen i pris på energibærere og overordnet samt individuell økonomisk vekst sannsynligvis ha større betydning.



Figur 17 - Forenklet sammenheng mellom utetemperatur og elektrisitetsforbruk, adaptert fra Døhl (1998)

I figur 17 er det fremstilt en stilisert sammenheng mellom utetemperatur og elektrisitetsforbruk. Den blå kurvens helning representerer elektrisitetsforbrukets temperaturfølsomhet. Lav temperatur fører til høyt forbruk og vice versa. Ved et visst punkt, a, vil imidlertid elektrisitetsforbruket begrenses av kapasitetsbegrensninger enten i overføringssystemet eller i oppvarmingssystemet. Lavere temperaturer enn ved (a) fører altså ikke til økt forbruk, og (c) kan dermed tolkes som kapasitetsmaksimum. Med utetemperatur nærmere (b) er oppvarmingsbehovet mindre og ved temperatur (b) er behovet for oppvarming fraværende. Elektrisitetsforbruk som i (d) kan derfor tolkes som temperatu-uavhengig forbruk. Ved høyere temperaturer enn (b) vil det imidlertid kanskje være behov for nedkjøling i form av luftkondisjonering.

3.1.2.5 Vind

Vindhastighet og -retning vil også kunne ha innvirkning på strømbehovet, avhengig av bygningsmessig tilstand og kvalitet. Dette er fordi vindforhold bidrar til naturlig ventilasjon i bygget og slik fører til varmetap, særlig i eldre bygninger og utette bygg.

Vindhastighet og vindretning er imidlertid svært vanskelig å kontrollere elektrisitetsforbruket for, fordi målingene fra målestasjonene til meteorologisk institutt sier lite om vindforholdene den enkelte bygning er utsatt for. Stasjonene er ofte plassert i uskjermet lende og måler gjerne vindretning og -hastighet ti meter over bakken (Kure, 2011).

3.1.2.6 Sol

Stråling fra solen utgjør en betydelig lys- og varmekilde, men kun en brøkdel av denne strålingen utnyttes i bygninger gjennom vinduer og andre åpninger lyset kan trenge gjennom. Strålingen kan likevel utgjøre en relativt stor andel av oppvarmingsbehovet, og i tillegg bidrar dagslyset til å minske behovet for elektrisk belysning. Solforhold er dermed, ved siden av temperatur, det viktigste klimaelementet som driver elektrisitetsforbruket (NTNU & SINTEF, 2007).

Fra meteorologisk institutt er det tilgjengelig data fra noen av målestasjonene omhandlende solforhold i form av data omhandlende skydekke. Dette er imidlertid ikke tilgjengelig for målestasjonene benyttet i denne oppgaven.

3.2 Energiusynlighet og -ubevissthet

Som diskutert i kapittel 2.9, er det ofte vanskelig for sluttbrukeren å tilpasse seg prisendringer selv om økonomiske incentiver for endring egentlig er tilstede. I løpet av det siste århundret er elektrisitet i tillegg blitt rimeligere og energiflyten stadig mer usynlig for brukeren. Stern & Aronson (1984) innfører to begreper som konsekvenser av denne historiske utviklingen; energiusynlighet og energiubevissthet. Disse begrepene knytter seg til indirekte drivere for elektrisitetsforbruk, og kan være av betydning når eventuelle konserveringseffekter som følge av AMS-måleren skal evalueres.

Som et illustrativt eksempel fra oppvarming i privatmarkedet, kan en anerkjenne at de fleste husstander på 1800-tallet ble varmet opp av vedovner. Mange av forbrukerne gjorde kanskje alt fra trefelling og vedhugging til selve fyringen selv. Energibruken var her meget synlig for forbrukeren, da arbeidsmengden kan anses som proporsjonal til energien brukt for å varme opp huset.

Senere kom kull og koksovner, der brennstoffet heller ble levert av bedrifter enn forbrukeren selv. Kullet måtte imidlertid fortsatt bli spadd inn i ovnen, så forbrukeren måtte fortsatt yte en viss innsats, og hadde med det oversikt over hvor mye kull som ble forbrent. Energibruken var altså fortsatt rimelig synlig for huseieren.

Så kom oljefyrte ovner, som ble markedsført som mer praktisk enn den kullfyrte ovnen på grunnlag av at forbrukeren ikke trengte å stadig etterfylle brennstoff. Den personlige innsatsfaktoren ble dermed fjernet, mens flyten av olje fra lagringstanken til forbrenningsstadiet ble usynlig. Dermed var den sporadiske leveringen av olje til lagringstanken det eneste synlige elementet i energiforbruket.

Etter dette ble ovner drevet av gass mer vanlig, og uleiligheten med oljelevering ble fjernet. Nå var drivstoffoverføringen fullstendig sømløs og usynlig for huseieren.

Til slutt ble det mer vanlig med elektrisk oppvarmede hus, og som i tilfellet med gassovner var dette fullstendig usynlig varme. Det eneste som nå i praksis er synlig for forbrukeren av elektrisitet, er strømregningen. Denne energiusynligheten er faktisk noe av det som har gjort elektrisitet så populært, og ikke overraskende utgjorde det også en stor del av den suksessfulle markedsføringen av elektrisitet (Stern & Aronson, 1984).

De relativt lave prisene på elektrisitet kombinert med at det lenge har vært lite fokus på energikonservering og -effektivitet kan ha ført til økt energiubevissthet i den norske befolkningen. I nyere tid er derimot denne trenden snudd, og i dag er det mange initiativ som søker å øke bevisstheten i befolkningen og sette energibruk på agendaen. Disse tiltakene faller i hovedsak inn under direkte drivere grunnet sin fysiske karakter, men kan også klassifiseres som responsdrivere i kraft av at de kan påvirke konsumentenes tankesett. Blant disse tiltakene finner vi:

- Forskriftsmessige energikrav til boliger, stilt gjennom byggteknisk forskrift TEK10 til plan- og bygningsloven. Her fremstilles det konkrete tiltak og en ramme for totalt netto energibehov i bygninger.
- Bygningsenergidirektivet, som regulerer boliger og yrkesbygg som selges eller utleies og krever energiattest på disse. Uttalt mål for direktivet er å sette energibruk i fokus i boligmarkedet, i markedet for bygninger generelt, og i planleggingen av nybygg. Direktivet er også tiltenkt å stimulere til energieffektiviserende tiltak i disse markedene.
- Energimerking av husholdningsvarer- og apparater, som er innført gjennom et rammedirektiv utarbeidet av EU. Direktivet skal gi kjøperne et best mulig grunnlag for å velge den mest energieffektive varen eller det mest energieffektive apparatet. Produktene blir merket på en syvtrinns skala fra A+++ til D.
- Økodesigndirektivet, som omfatter energirelaterte varer som omsettes i EØS-området. Dersom varen oppfyller kriteriene i direktivet, får den et CE-merke og kan omsettes i EØS. Direktivet søker å eliminere omsetningen av de minst energieffektive løsningene fra markedet.

I tillegg til disse initiativenes direkte og indirekte påvirkningskraft, har det siden 2000 vært perioder med relativt høye priser på elektrisitet etterfulgt av generelt god mediedekning rundt

prisvariasjoner. Dette har gjort at forbrukere har kunnet følge utviklingen i (spot)markedet, og slik blitt mer aktive forbrukere. Én indikator på kundebevissthet kan være antall leverandørbytter, som eksempelvis økte drastisk i vinterperioden 2002/2003 da prisene var spesielt høye. Nesten 450 000 kunder byttet i 2003 leverandør, og byttefrekvensen holdt seg relativt høy også i de påfølgende årene (Holstad & Pettersen, 2011)

Endringer i sluttbrukernes aktivitetsnivå og bevissthet og dermed de indirekte driverne kan markere behovet for endringer i verdikjeden i kraftbransjen. Overgangen fra fastpriskontrakter til kontrakter knyttet til spotprisen i engrosmarkedet, som nevnt i avsnitt 2.1, er ett eksempel på at økt prissensitivitet og leverandørbytter kan påvirke sluttbrukermarkedet (Holstad & Pettersen, 2011).

AMS kan være et virkemiddel for å gjøre energibruken mer synlig for sluttbrukeren igjen, uten at det påfører han/henne noen uleiligheter eller ulemper. Gjennom tilbakemelding til konsumenten om eget energiforbruk via eksempelvis et smart-display eller mer detaljerte regninger vil energisynligheten øke. Slike tiltak vil bli direkte muliggjort av installasjonen av automatiske strømmålere i norske husstander.

Hvorvidt disse to begrepene kan bidra til å forklare effektene av installasjon av AMS-målere vil jeg komme tilbake til i kapittel 7.

3.3 Atferdsendringsteori

Atferdsmønstre og innarbeidede vaner påvirker strømforbruket i husholdningene, og det er derfor nyttig å vie plass til å utrede hvordan menneskelig atferd dannes og hva som kan være opphavet til gitte atferdsmønstre. Dette avsnittet vil slik danne grunnlaget for å evaluere hvordan (endring i) indirekte drivere gir utslag i faktisk forbrukt mengde elektrisk energi i husstandene.

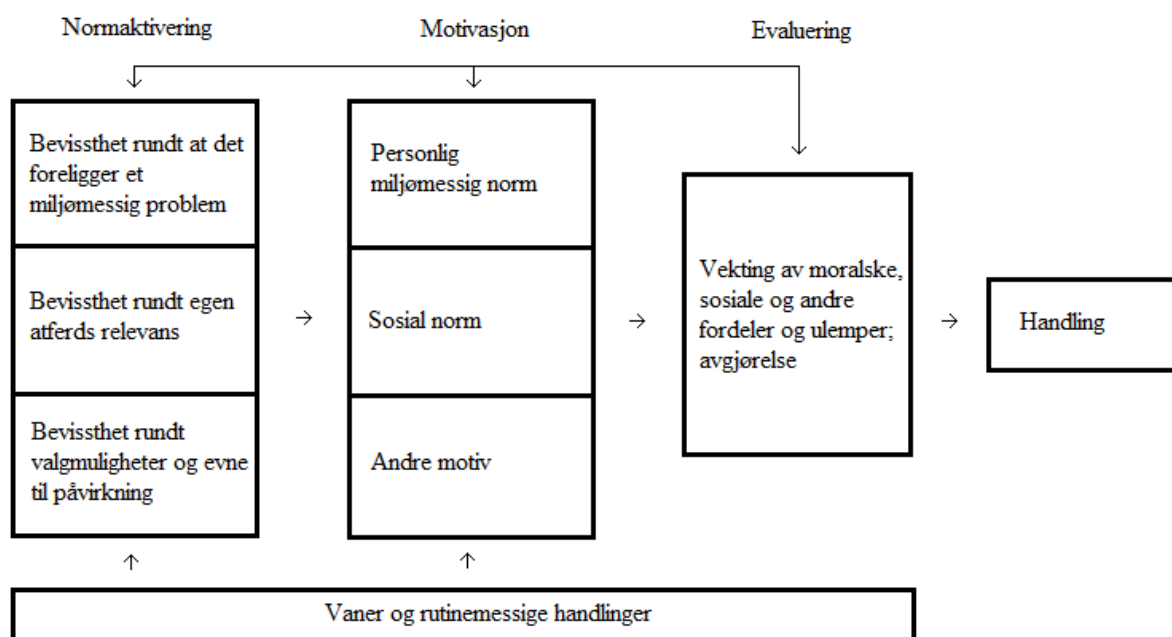
Energibruk i husholdninger er i all hovedsak bestemt av menneskelig atferd. Dette strekker seg fra bruksmønstre omhandlende bruk av lyskilder i rom en bruker og ikke bruker, om televisjonsapparatet brukes, hvordan oppvaskmaskin, vaskemaskin og tørketrommel brukes og hvilken temperatur en velger å opprettholde i rom med forskjellige bruksområder til avgjørelser om varighet og temperatur på en dusjseanse og om ladere til elektriske apparater kobles fra stikkontakten når de ikke er i bruk.

Det er viktig å understreke at elektrisitet videre er et muliggjørende produkt, det vil si at konsumenter forbruker elektrisitet for å få nytte fra en eller annen energikrevende prosess. Formålet med å skru på tv-en er ikke å bruke strøm, men først og fremst å bli underholdt eller

informert av programmene som vises. Forbruket av og tilgangen til elektrisitet kan også i mange tilfeller klassifiseres som en hygienefaktor da elektrisitet er et uhåndgripelig produkt som kanskje ikke tilordnes nytteverdien skapt i strømforbruksprosessen, men som skaper misnøye dersom det ikke er tilgjengelig (Carroll, Hatton, & Brown, 2009). Disse grunnleggende karakteristikkene er viktige å ha i mente dersom en søker å endre konsumenters atferd og forbruk av elektrisitet da det følgelig kan være en utfordring å få folk til å være bevisste rundt, og å bry seg om sitt eget strømforbruk.

Et annet aspekt er at deler av konsumentenes strømforbruk er tett knyttet opp til en rekke automatiske avgjørelser som gjerne utgjør et vanemønster. Fordelen med etablerte vaner, er at den enkelte konsument unngår å bruke tid og krefter på avgjørelser i gjentatte avgjørelsessituasjoner. Etablerte vanemønstre utgjør imidlertid en utfordring dersom atferdsendring er målet, og en kan merke seg at etablerte mønstrene kan føre til suboptimale resultater siden konsumenten kanskje aldri har brukt tid eller krefter på å finne den mest optimale tilpasningen, eller forholdene har endret seg slik at en tilpasning som i utgangspunktet var optimal ikke er det lenger. I feltet omhandlende atferd som påvirker miljøet finnes det vaner som er skadelige for miljøet fordi de ble etablert i en tid der miljømessige aspekter kanskje ikke var like relevant å vurdere, fordi kunnskap om miljømessig påvirkning på den tiden kanskje har vist seg å være feil, eller fordi situasjonen har forandret seg slik at den tids gunstige atferd ikke er hensiktsmessig lenger.

For at nye normer og betraktninger skal inkluderes i avgjørelsestakningsprosessen blant konsumenter, må det derfor tas en bevisst avgjørelse for å bryte opp etablerte vane- og handlingsmønstre (Fischer, 2008). Innen feltet miljøpsykologi er det utviklet en rekke modeller som tar sikte på å forklare miljørelatert atferd og danne et fundament for suksessfull atferdsendring. Matthies (2005) har integrert resultater fra hele fagområdet og foreslår en heuristisk modell for miljøvennlig atferd. Modellen er vist i figur 18.



Figur 18 - Heuristisk modell for miljøvennlig atferd. Tilpasset og oversatt fra Matthies (2005) og Fischer (2008)

Matthies' modell skiller mellom to typer handlinger; rutinemessige og bevisste handlinger. I modellen er de rutinemessige handlingene antatt som skadelige for miljøet. For å bryte opp disse vanene, må konsumenten anerkjenne at det foreligger et problem, at dens handlinger er relevante for problemet og være bevisst på sine valgmuligheter og evne til å påvirke. Disse tre momentene utgjør det Matthies kaller normaktivering. Når normaktiveringsprosessen er fullført, vil konsumenten vurdere de ulike motivasjonsfaktorene for å finne optimalt handlingsmønster. I følge modellen kan disse motivene bestå av personlige normer, sosiale normer og "andre motiv". Personlige normer er individuelle overbevisninger om hvordan en skal handle, mens sosiale normer heller består av inntrykk omhandlende hva slags oppførsel og fremferd samfunnet og andre individer setter høyt. Andre motiv er ikke spesifisert i modellen, men kan bestå av behovet for eller ønsket om nytten som kommer fra elektrisitetsforbruket, som for eksempel komfortabel innetemperatur eller tilstrekkelig leselys. Flere av disse motivene kan være i konflikt, og derfor er evalueringsmomentet inkludert i modellen. Her vurderes og vektet fordeler og ulemper ved de ulike motivene og normene på bakgrunn av tilgjengelig informasjon, og en handling velges.

Ved å systematisere tankeprosesser og utviklingen av avgjørelser i en slik modell, kan det bli enklere å identifisere hvordan en installasjon av en AMS-måler i en husstand kan påvirke forbruksmønster og -mengde. Konsumentene kan bli mer bevisste på at det faktisk foreligger

et *problem*, eller i hvert fall at privat forbruk av elektrisitet er et fokusområde for samfunnets beslutningstakere. Installasjonen kan videre indikere at husstandenes forbruk er relevant og har betydning for utviklingen i energibruken i landet. Kanskje kan en også strekke det så langt som å tilordne installasjonen betydning for individenes oppfattelse av sosiale normer rundt elektrisitetsforbruk.

3.4 Hawthorneeffekten

Hawthorneeffekten beskriver en produksjonsøkning, eller atferdsendring hos arbeidere, kun som følge av økt oppmerksomhet og overvåkning fra arbeidslederne. En slik type effekt vil, dersom den kan generaliseres til å gjelde også sluttbrukeres etterspørsel i kraftmarkedet, kunne bidra til å forklare hvorfor en eventuell reduksjon i forbruket inntreffer ved installasjon av AMS-måler.

I 1924 ble Hawthornestudiene initiert ved Hawthorneanlegget til Western Electric Company i Chicago. Studiene startet med å undersøke sammenhengen mellom belysning og produktivitet. Forsøksgruppa fikk gradvis redusert belysningen, mens kontrollgruppas belysning var konstant. Resultatet var at begge gruppene økte sin produktivitet sakte, men sikkert. Det var ikke før belysningen for forsøksgruppa nådde et nivå sammenliknbart med naturlig måneskinn at de ansatte begynte å klage på at de ikke kunne se hva de holdt på med og produktiviteten begynte å synke (Adair, 1984). Eksperimentet viste altså at belysning i seg selv ikke hadde noen signifikant effekt på produktiviteten så lenge den ble holdt på et fornuftig nivå. Det ble imidlertid klart at en eller flere andre faktorer kunne være viktigere i forbindelse med påvirkning av produktivitetsnivå.

Det som senere er blitt kalt hovedstudiene ble dermed igangsatt. Disse fokuserte på produktivitetseffekter av endring i hvilepauser og arbeidstid, og prøvde med dette å kontrollere for flere variabler som kunne ha betydning. Studiene foregikk over flere år (1927-1933), og resultatene var de samme som for de tidlige undersøkelsene; de inkluderte variablene kunne ikke forklare den økte produktiviteten hos arbeiderne. Forskerne som evaluerte resultatene konkluderte dermed med at det var en eller flere andre faktorer som førte til den jevnt økende produktiviteten. Roethlisberger og Dickson (1939), som utarbeidet hovedrapporten fra studiene, foreslo at den viktigste faktoren for den økte produktiviteten var forbedret relasjon mellom arbeiderne og ledelsen som følge av økt oppmerksomhet og overvåkning av resultater gjennom den praktiske gjennomføringen av eksperimentene. Dette forslaget utviklet seg over tid til en ”konklusjon” på studiene, og dannet grunnlaget for nyere tids ledelsesteori, der menneskelige relasjoner er i fokus (Wickström & Bendix, 2000).

Et begrep som først i senere tid ble innført på bakgrunn av resultater fra Hawthornestudiene, er ”Hawthorneeffekten”. I 1953 beskrev French denne effekten (French, 1953):

- *From a methodological point of view, the most interesting finding was what one may call the Hawthorne effect - a marked increase in production related only to special social position and social treatment” (s. 101)*

Begrepet brukes imidlertid for å beskrive mange fenomener, inkludert atferdsendring som følge av at undersøkelsesobjektet er bevisst på at det blir observert og aktiv etterlevelse av det subjektet kan anta er forskernes ønsker. Studiene og begrepet er relativt populært og flittig referert til, men også i litteraturen kritisert på bakgrunn av eksperimentenes og begrepets mangel på spesifisitet. Kritikken spenner fra bemerkninger om at eksperimentene i studiene var for dårlig utført, det vil si at de ikke klarte å kontrollere for nok variabler, til manglende empiriske bevis fra senere studier som kan understøtte den opprinnelige konklusjonen og alternative forklaringsvariabler foreslått til de originale studiene. Hawthorneeffektbegrepet burde derfor generelt unngås på grunn av sin tvetydighet og omstridte opprinnelse, i følge Wickström & Bendix (2000).

Det som likevel vil være nyttig i denne oppgaven, er å introdusere spesifikke psykologiske og sosiale faktorer som kan beskrive den relativt allmenngyldige indikasjonen på at subjektet kanskje kan justere atferd dersom det gis oppmerksomhet og får en følelse av det blir overvåket eller fulgt med på. Dette vil bli behandlet nærmere i kapittel 7.

Kapittel 4: Datasettet

Dette kapitlet beskriver hvordan datasettet er bygd opp og hvilke faktorer som er inkludert i analysen. Det er mange faktorer som ikke er inkludert grunnet utilstrekkelig tilgang på data, og dette har som nevnt innledningsvis utgjort en av de største utfordringene ved analysen.

Innledningsvis vil det i dette kapitlet klargjøres hvilke variabler som inngår i datasettet og hvorfra disse er tilgjengelige. Deretter presenteres viktige aspekter ved demonstrasjonsprosjektet Demo Steinkjer.

Avsnitt 4.2 vil gi svar på hvilke faktorer det finnes datamateriale for. Videre vil det i dette avsnittet presenteres hvordan disse faktorene inkluderes som variabler i den statistiske analysen, eller eventuelt hvordan manglende datamateriale kan tenkes å påvirke analysen.

Avslutningsvis fremkommer beskrivelse av variablene i form av deskriptiv statistikk.

4.1 Data

Datasettet består av månedlig forbruk av elektrisitet i 156 eneboliger mellom mars 2013 og mars 2015. 56 av disse befinner seg i Steinkjer, og er innlemmet i pilotprosjektet Demo Steinkjer. Disse eneboligene har fått installert automatiske strømmålere, og utgjør testgruppa. De resterende 100 eneboligene ligger i området Odderhei/Søm rett øst for Kristiansand og utgjør kontrollgruppa. Kontrollgruppa har ikke fått installert de nye målerne ennå, så dataene fra disse husstandene er avlest og innrapportert av kunden selv fra profilanlegg ("tradisjonelle målere"). Data fra Demo Steinkjer er tilgjengelig gjennom deres REST-API³ mens data fra Odderhei/Søm er oversendt meg fra LOS AS.

Videre er det innhentet klimadata fra eKlima og Enova omhandlende temperaturer, nedbørsmengde, månedsvise graddagstall og månedsnormaler fra målestasjoner representative for de to områdene boligene befinner seg i. For husstander beliggende i Steinkjer er målestasjonen "Steinkjer - Søndre Egge" benyttet. Denne stasjonen ligger nærmere fjorden enn området utvalget befinner seg i, men anses likevel som representativ. For husstandene i Odderhei og Søm er det benyttet et aritmetisk gjennomsnitt av stasjonene "Kjevik" og "Oksøy fyr", da området ligger midt mellom de to stasjonene. Graddagstallene for 2015 er i skrivende stund ennå ikke publisert, så graddagstall for januar, februar og mars 2015 er estimert på bakgrunn av månedlige gjennomsnitt av døgnmiddeltemperaturer i de to områdene. Dette kan være en noe unøyaktig måte å beregne graddagstall på, spesielt hvis det i måneden har vært døgnmiddeltemperaturer over basistemperaturen (17 °C). I de tre første månedene av året er imidlertid ikke dette et stort problem, og graddagstallene anses derfor som ganske presise.

³ <https://api.demosteinkjer.no/> (krever registrering)

Fra Nord Pool er det for de to forskjellige prisområdene Odderhei/Søm og Steinkjer tilhører (hhv. NO₂ og NO₃), innhentet gjennomsnittlige spotpriser på månedsnivå for den aktuelle perioden.

Som instrumentvariabel for spotpris, er månedlige gjennomsnitt av prisindeksen for det tyske, østerrikske og luxembourgske markedet, ”Physical Electricity Index” (PHELIX), inkludert i datasettet. Dette er gjort for å evaluere og eventuelt korrigere simultanitet i forbindelse med prisdannelse etter likevekt mellom tilbud og etterspørsel. Data for PHELIX er tilgjengelige fra dataplattformen Quandl.⁴

Datasettet er videre sterkt balansert, med andre ord uten manglende observasjoner.

4.1.2 Demo Steinkjer

Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk og The Norwegian Smartgrid Centre står bak Demo Steinkjer, som er ment å være en nasjonal testarena for smarte energiløsninger (Demo Steinkjer, 2015). Deltakerne i prosjektet har vært blant de første i Norge som har fått installert de nye strømmålerne. I første trinn av prosjektet, som datamaterialet lagt til grunn i denne masteroppgaven stammer fra, er 772 kunder i et område som ligger mellom Guldbergaunet og Byafossen inkludert. Av disse er hovedparten vanlige husholdninger, men også 65 bedrifter, tre skoler og ett kraftverk er inkludert i prosjektet. Hovedfokuset til demonstrasjonsprosjektet er å teste ut ny teknologi og nye løsninger i full skala. Blant de uttalte målsettingene finnes reduksjon av flaskehals, effekttopper, pristopper og avbruddsperioder samt effektivisering av strømmettet generelt.

I Demo Steinkjer er det utført en rekke prosjekter. Noen av disse har vært rettet mot forbruk i husstandene, deriblant prosjekter med fokus på uttesting av nye tariffsystemer, mens mange har vært mer tekniske prosjekter fokusert på utnyttelse av data fra AMS-målerne og innfasing av småskala kraftproduksjon i distribusjonsnettet for å nevne noen eksempler. Deltakelse i delprosjektene er frivillig. Det er verdt å merke seg at noen av husstandene har vært innrullert i EU-prosjektene i3RES og eGotham, og i det norske prosjektet DeVID.⁵ Alle disse prosjektene har som delmål å undersøke potensialet for laststyringsinitiativ, og vil derfor sannsynligvis kunne ha en effekt på forbruksmønsteret hos husstandene som har deltatt. Demo Steinkjer har jobbet med å få opp et godt system for kunderelasjonshåndtering (CRM)

⁴ <https://www.quandl.com/data/EEX>

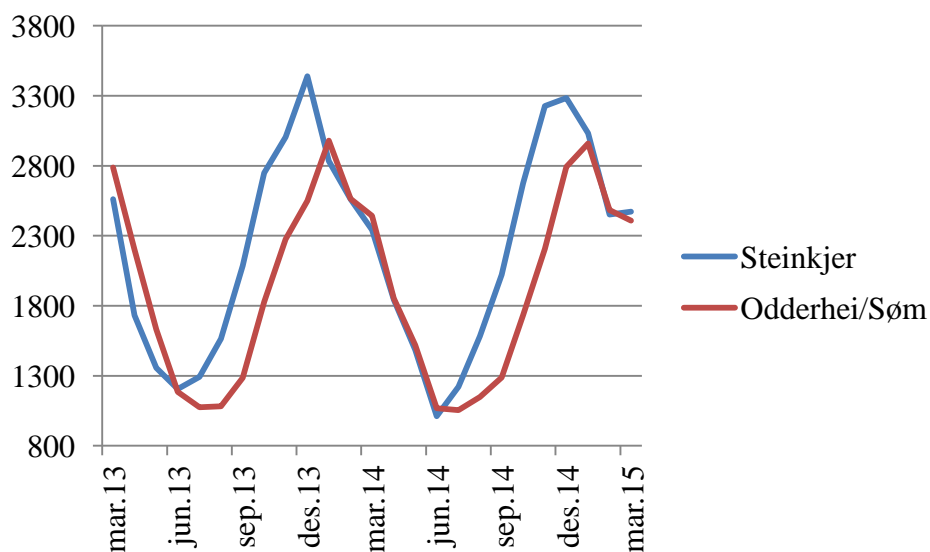
⁵ For mer informasjon om disse prosjektenes målsettinger, se nettsider for de respektive prosjektene: i3RES: <http://www.i3res.eu/v1/index.php/project2/concept2>; eGotham: <http://www.e-gotham.eu/index.php/e-gothamproj/objectives>; og DeVID: <http://www.sintef.no/projectweb/devid/delprosjekter/delprosjekter/>

med oversikt over husstandene, men det er foreløpig ikke mulig å uthente informasjon om hvilke husstander som har stått overfor forskjellige stimuli gjennom de ulike delprosjektene.

Alle husstandene i Demo Steinkjer har fått informasjon om demonstrasjonsprosjektet gjennom allmøter, avisoppslag, og utsending av informasjon og nyhetsbrev per e-post samt personlig informasjon ved installasjon av måleren. Gjennom invitasjon til prosjekter er formålet med satsningen i Demo Steinkjer videre understreket og beskrevet.

4.2 Kontrollfaktorer

I figur 19 er det vist en grafisk fremstilling av strømforbruket i utvalget av eneboliger i Steinkjer og Odderhei/Søm. Vi ser at elektrisitetsforbruket har sterke sesongvariasjoner, med høyere forbruk i de kalde periodene av året. Av figuren kan det også sees at det absolutte forbruket i Steinkjer synes noe høyere enn i Odderhei/Søm. Spesielt på sensommeren, høsten og tidlig vinter forbruker husstandene i Steinkjer mer elektrisk kraft enn husstandene på Sørlandet.



Figur 19 - månedlig gjennomsnittlig strømforbruk (kWh) i Steinkjer og Odderhei/Søm mellom mars 2013 - mars 2015

Bak dette forbruket ligger et sett med direkte og indirekte drivere som påvirker variasjonen i større eller mindre grad. Denne oppgavens største utfordring er å identifisere og evaluere disse driverne for å isolere variasjon som skyldes installasjon av AMS-måler. Som nevnt, foreligger det dessverre ikke data omhandlende alle disse forholdene for husstandene i utvalget. I de påfølgende avsnittene vil jeg derfor presentere hvilke av driverne som vil inkluderes i den økonometriske modellen som uavhengige variabler, og hvilke drivere som

jeg ikke får kontrollert for. Jeg skal videre vise at forskjellen mellom områdene i disse utelatte faktorene i mange tilfeller synes små, og at resultatene fra analysen derfor ikke trenger å svekkes altfor mye. Variasjon som skyldes andre forhold enn AMS-måler er forsøkt fjernet, og jeg burde sitte igjen med den isolerte forbruksendringseffekten av deltakelsen i demonstrasjonsprosjektet og dermed AMS-installasjonen.

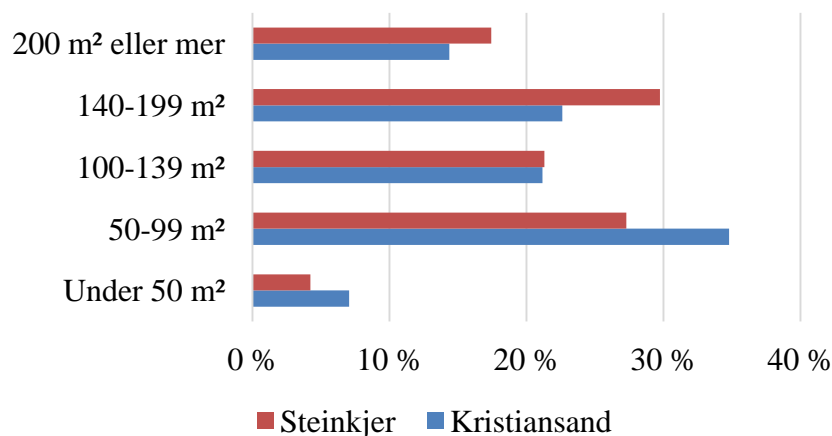
4.2.1 Direkte drivere

Blant de direkte driverne jeg skal ta stilling til, finnes de samme som presentert i foregående kapittel, nemlig bopelens egenskaper og husholdningsmedlemmenes komfortkrav.

4.2.1.1 Bopelens egenskaper

Forbruksvariasjon som forårsakes av ulik hustype, er eliminert ved at det i utvalgene fra begge de geografiske områdene kun foreligger eneboliger. Det er imidlertid en viss mulighet for at det foreligger systematisk forskjell mellom disse områdenes eneboliger i form av størrelse, byggeår og tilstand på klimaskallene.

For å undersøke om det faktisk foreligger forskjeller i størrelse på bopeler i Steinkjer og Odderhei/Søm, henvendes det til folke- og bolig tellingen fra 19. november 2011 (SSB, 2013). I denne statistikken foreligger det informasjon om husstandene på kommunenivå. Slik kan Steinkjer kommune og Kristiansand kommune sammenliknes. Kommunene omfatter imidlertid et ganske mye større område enn de begrensede områdene utvalget i denne masteroppgaven stammer fra. Implikasjoner ved dette vil bli behandlet i de enkelte tilfellene.

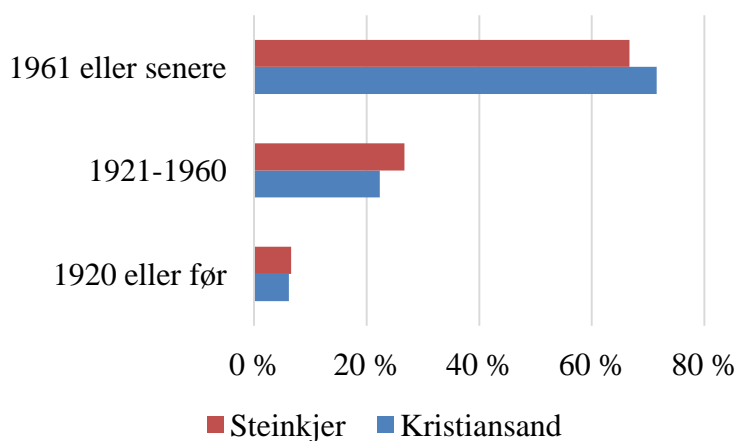


Figur 20 - Fordeling av bopeler etter størrelse i Steinkjer kommune og Kristiansand kommune i 2011. Tall fra SSB (2013).

Det kan fra figur 20 observeres at det er større andel små bopeler (<100 m²) i Kristiansand kommune enn i Steinkjer kommune. I Steinkjer kommune er det større andel større bopeler (>139 m²). Denne forskjellen kan imidlertid sannsynligvis forklares med at Kristiansand er en relativt mye større by enn Steinkjer, og derfor er det naturlig å anta at den større andelen små bopeler skyldes større antall leiligheter og mindre bopeler i og nær bykjernen i Kristiansand kommune. Sammenlikningen i figur 20 kan på grunnlag av dette ikke benyttes som bevis på at det foreligger systematisk forskjell i boligstørrelse mellom utvalget fra Steinkjer og utvalget fra Odderhei/Søm. Som nevnt, har det ikke vært mulig å innhente informasjon om dette for utvalgene, men forskjellen mellom områdene synes uansett små i dette henseende.

Bopelenes alder er den eneste indikasjonen tilgjengelig fra folke- og boligtellings på klimaskallenes tilstand. Det er likevel slik at oppgraderinger og utbedringer av klimaskallet i boligene kan ha forekommet, og dette vil ikke vises i statistikken. Sammenhengen mellom elektrisitetsforbruk og klimaskallets egenskaper er heller ikke entydig (se Ljones, Nesbakken, Sandbakken & Aaheim (1992) og Boverket (2010)).

Jeg innehar ikke informasjon om alder på bygningene utvalgene residerer i, og får derfor ikke kontrollert elektrisitetsforbruket for dette aspektet. I figur 21 ser vi imidlertid at forskjellene mellom kommunene synes små.



Figur 21 - Fordeling av bopeler etter byggeår i Steinkjer kommune og Kristiansand kommune i 2011. Tall fra (SSB, 2013).

4.2.1.2 Husholdningsmedlemmenes komfortkrav

Utvalgene fra Steinkjer og Odderhei/Søm skal være tilfeldige utvalg fra populasjonen eneboliger i disse områdene (se kapittel 7.4.1 for nærmere diskusjon rundt dette). Dermed må en eventuell systematisk forskjell mellom de to utvalgene ha grunnlag i en fundamental

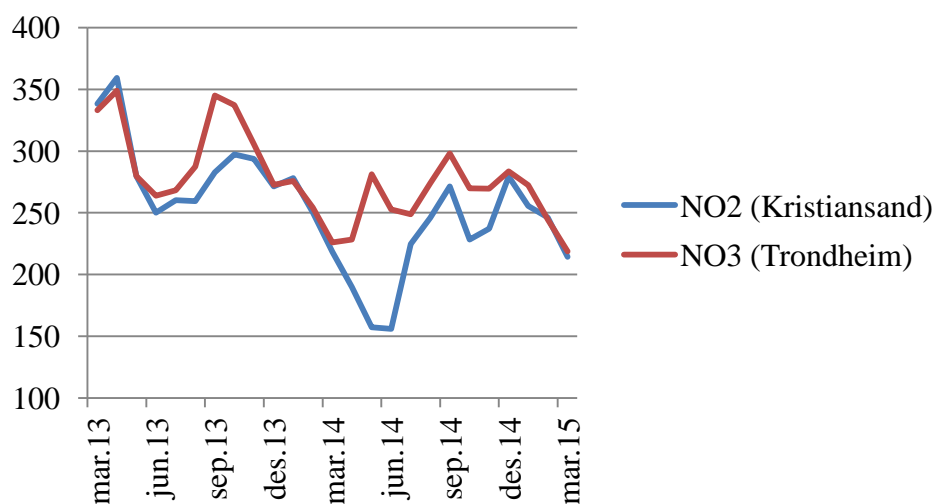
forskjell i de to befolkningene. Det går selvfølgelig an å argumentere for at det i Steinkjer kanskje er en noe annerledes kultur enn i Odderhei/Søm, og at folk fra de to områdene synes noe forskjellige på gitte områder, men jeg ser imidlertid ingen naturlig grunn til å tro at dette skal gi utslag i systematisk ulike innetemperaturer, ulik utbredelse av tørketromler og andre elektriske hjelpemidler eller ellers ulike komfortkrav i de to områdene. At populasjonene i de to områdene ikke har systematisk ulike komfortkrav anses derfor som en rimelig antakelse.

4.2.2 Indirekte drivere

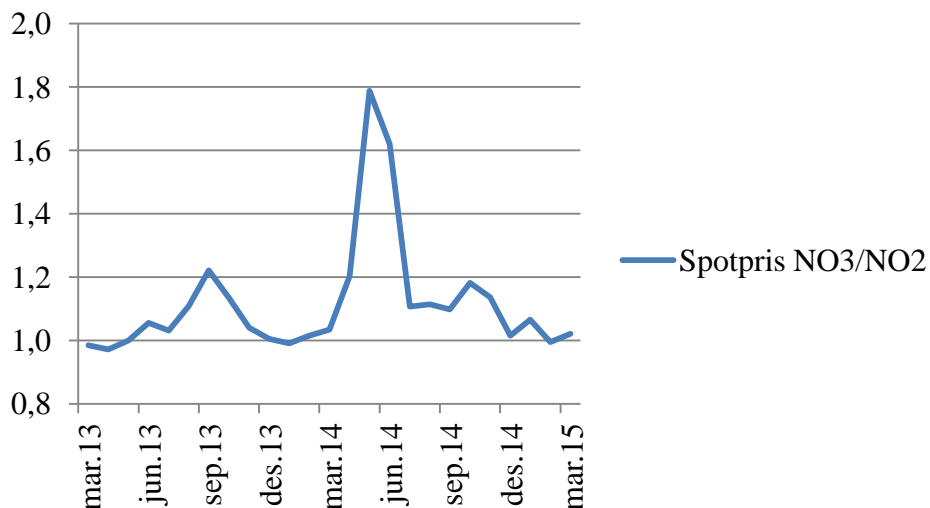
De indirekte driverne det skal tas stilling til i påfølgende avsnitt, er pris, klimatiske elementer og demografiske aspekter ved husholdningene.

4.2.2.1 Elektrisitetspris

Mellom områdene foreligger det variasjon i forbruket som kan skyldes forskjeller i prisen på elektrisitet. Spotprisen brukes her som referanse, og månedlige gjennomsnitt av spotprisen fra prisområdene NO2 (Kristiansand) og NO3 (Trondheim), som henholdsvis Odderhei/Søm og Steinkjer er del av, viser til tider betydelig variasjon i pris mellom de to prisområdene. Figur 22 viser månedlige gjennomsnitt av spotpriser i NO2 og NO3 i NOK/MWh, mens figur 23 viser månedlige gjennomsnitt av spotprisen for NO3 uttrykt i forhold til månedlige gjennomsnitt av spotprisen i NO2.



Figur 22 - månedlige gjennomsnitt av spotprisen i NO2 og NO3 i perioden mars 2013 - mars 2015, NOK/MWh, fremstilt av data fra Nord Pool Spot (2015)



Figur 23 - spotpris i prisområde NO3 uttrykt i forhold til spotpris i NO2 i perioden mars 2013 - mars 2015, egne beregninger med data fra Nord Pool Spot (2015)

Vi ser at prisen generelt har vært høyere for forbrukerne lokalisert i Steinkjer enn for forbrukerne i Odderhei/Søm. Dette kan være viktig å kontrollere for. For å ta hensyn til variasjon i forbruk som skyldes disse prisulikhetene i områdene, inkluderes uavhengige variabler for de månedlige gjennomsnittlige spotprisene direkte i regresjonsmodellen.

Som nevnt, består prisen sluttbrukerne betaler for strøm av både nettleie, avgifter og spotpriser. Nettleien varierer dog ikke i samme grad som spotprisen, og variasjonen i prisforskjellene på nettleie mellom de to områdene synes mindre enn den relative variasjonen i spotpris. Å inkludere månedlige gjennomsnitt av spotprisen fra de respektive prisområdene anses derfor som den beste tilnærmingen til å forklare variasjon på kort sikt i strømforbruket som følge av ulike sluttbrukerpriser på strøm.

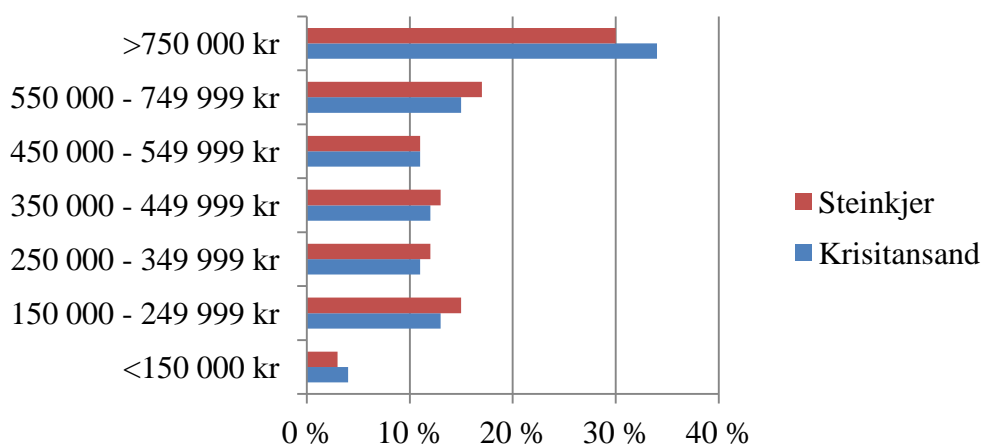
4.2.2.2 Alder, inntekt og antall husholdningsmedlemmer

Fra folke- og boligtellings tidligere nevnt, finnes det statistikk for aldersfordelingen i kommunene. Denne viser at befolkningen i Steinkjer er noe eldre enn befolkningen i Kristiansand kommune. Denne forskjellen kan tenkes å ha betydning for strømforbruket, men undersøkelser gjort på området tyder på at ulike aldersgrupper *ikke* forbruker ulik mengde elektrisk energi i hjemmet (se blant andre Petersen & Gram-Hansen (2005) og Zimmermann (2009)). På bakgrunn av dette antas forskjellene i aldersfordeling mellom de to områdene å ikke gi utslag i forskjeller i forbrukt mengde strøm.

De to kommunene har også relativt lik andel husstander i de forskjellige inntektsgruppene definert i figur 24. Petersen & Gram-Hansen (2005) estimerer en stigning i forbrukt mengde

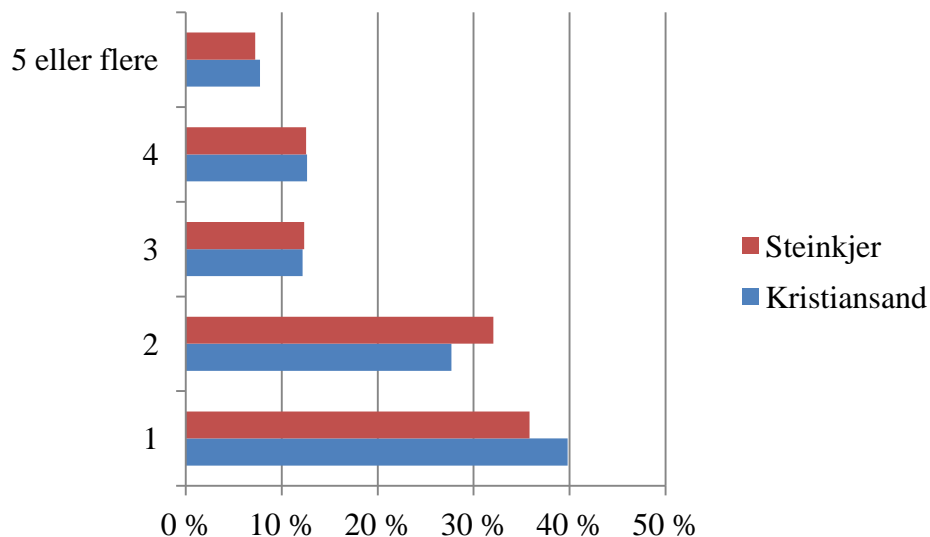
elektrisitet på rundt 1,5 kWh per 1000 kroners (DKK) økning i samlet inntekt for husholdninger residerende i eneboliger i Århus i Danmark. Det er dog en viss grad av usikkerhet i dette estimatet, og det er også distinkte forskjeller mellom det norske og det danske kraftmarkedet.

I Kristiansand kommune kan det observeres en noe høyere andel husstander med over 750 000 kroner i årlig samlet inntekt enn det er i Steinkjer kommune. I Steinkjer kommune er det imidlertid høyere andel husstander som faller inn under kategorien med den nest høyeste samlede inntekten. Dette får jeg ikke kontrollert for, men forskjellene synes små også på dette aspektet.



Figur 24 - fordeling av husstander etter samlet årlig inntekt i Steinkjer kommune og Kristiansand kommune i 2011. Tall fra (SSB, 2013).

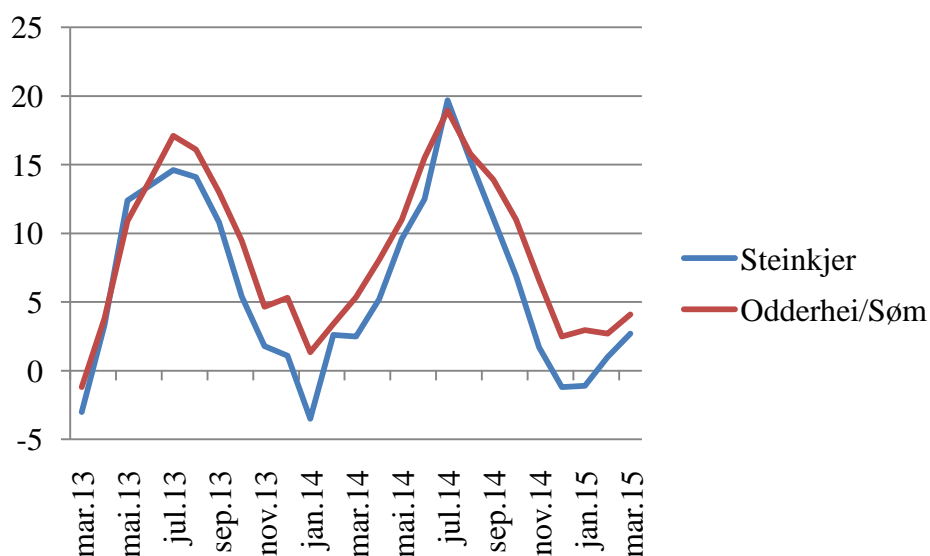
Det finnes videre statistikk for hvor mange medlemmer det er i husstandene på kommunenivå. I figur 25 kan det observeres at Kristiansand kommune har høyere andel eneboere enn Steinkjer, mens det i Steinkjer kommune er en relativt høyere andel husstander med to medlemmer. Andelen husstander med tre eller flere medlemmer er imidlertid tilnærmet lik i de to kommunene. Det er gjerne disse familiene, eller gruppene om du vil, som residerer i eneboliger. Selv om det kan være av en viss betydning at gjennomsnittet av antall medlemmer i husholdningene i Kristiansand er litt lavere grunnet den relativt høyere andelen eneboere, anses denne forskjellen som å ha sammenheng med den større andelen små boliger omtalt i avsnittet omhandlende bopelenes egenskaper. Igjen må det, grunnet datamangel, aksepteres at elektrisitetsforbruket ikke kontrolleres for antall husholdningsmedlemmer.



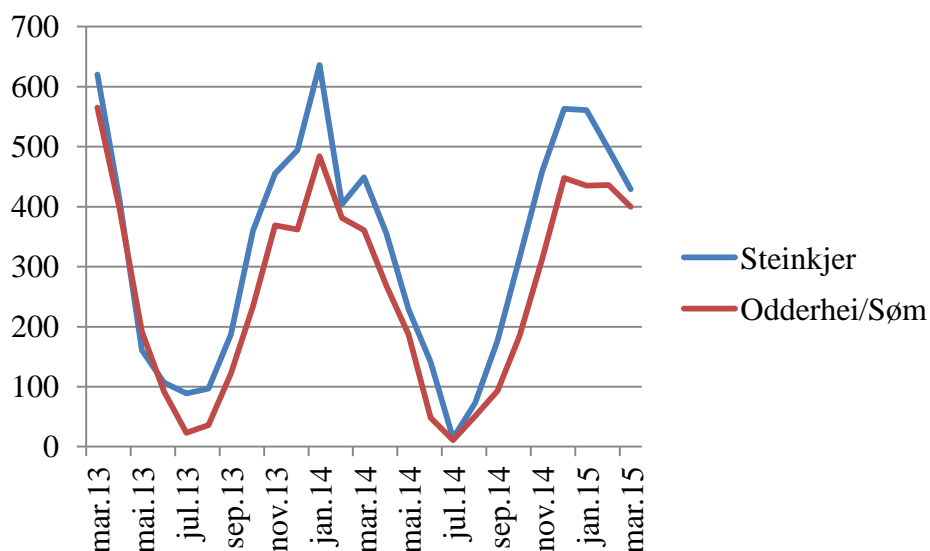
Figur 25 - fordeling av husstander etter antall husholdningsmedlemmer i Steinkjer kommune og Kristiansand kommune i 2011. Tall fra SSB (2013).

4.2.2.3 Temperatur

Temperatur er som nevnt den viktigste indirekte driveren for elektrisitetsforbruk i Norge, og det er derfor viktig å kontrollere for disse forskjellene. Av figur 26a og 26b ser vi at månedsmiddeltemperaturer i Steinkjer har vært noe lavere enn i Odderhei/Søm for den aktuelle perioden og at det i Steinkjer generelt har vært flere graddager hver måned. Forøvrig er det verdt å legge merke til at figur 26b har svært liknende form som kurvene i figur 19.



Figur 26a - månedlige middeltemperaturer (°C) i Steinkjer (Søndre Egge) og Odderhei/Søm (Kjevik og Oksøy fyr) mellom mars 2013 og mars 2015 (Meteorologisk institutt, 2015).



Figur 26b - månedlige graddagstall i Steinkjer (Søndre Egge) og Odderhei/Søm (Kjevik og Oksøy fyr) mellom mars 2013 og mars 2015 (Meteorologisk institutt, 2015).

Temperatursvingninger og temperaturforskjeller kontrolleres for ved å inkludere temperaturvariabler i form av månedlige graddagstall.

4.2.2.4 Vind og sol

Som nevnt, er vindstyrke og -retning svært vanskelig å inkludere i beregningene fordi det ikke er tilgjengelig gode nok data for husstandene i denne oppgaven. Boligenes eksakte posisjon i terrenget vil ha stor betydning for hvor mye vindstyrke- og retning påvirker elektrisitetsforbruket, og derfor er ikke målte vindstyrker og -retninger representative for boligene i utvalget. Det gjøres på grunnlag av dette en antakelse om at det ikke har vært forskjell i vindforholdenes påvirkning på elektrisitetsforbruket i Odderhei/Søm og Steinkjer.

Stråling fra solen er videre også vanskelig å inkludere i beregningene som skal gjøres i denne oppgaven. Som for vindstyrke og -retning vil også påvirkning fra solstråling variere med boligens posisjon i terrenget. Det foreligger heller ikke her benyttbar data fra målestasjonene, og det må derfor gjøres en antakelse om at solstrålings påvirkning på strømforbruket i de to områdene ikke er ulik.

4.2.3 Bemerkninger

Å utelate variablene omtalt i dette kapittelet grunnet datamangel, vil føre til at mye variasjon ikke forklares. Som jeg skal vise i kapittel 6, er også alle variablene inkludert i analysen like for alle husstander i samme område for en gitt periode. Altså kan ikke variasjon i forbrukt mengde elektrisitet mellom husstander i samme område forklares av de inkluderte variablene.

Dette representerer en svakhet ved analysen, og vil føre til at forklaringskraften i regresjonsmodellene som etter hvert skal formuleres, vil være relativt lav. Jeg kommer tilbake til dette og andre svakheter i kapittel 7.

4.3 Deskriptiv statistikk

I tabell 1 følger beskrivelse av variablene inkludert benyttet i hovedanalysen.

Beskrivelse av variablene	
<i>Forbruk</i>	Månedlig elektrisitetsforbruk i kWh
<i>Spotpris</i>	Månedlig gjennomsnittlig spotpris, NOK/MWh
<i>PHELIX</i>	Månedlig gjennomsnittlig systempris, PHELIX, EUR/MWh
<i>Temperatur</i>	Middeltemperatur, månedsvis i grader Celsius
<i>Gd</i>	Antall graddager, månedsvis
<i>Gd2</i>	Antall graddager ² , månedsvis
<i>Gd3</i>	Antall graddager ³ , månedsvis
<i>D1</i>	= 1 hvis Område er lik Steinkjer, ellers 0
<i>GdD1</i>	Interaksjonsvariabel (antall graddager * D1)
<i>Målernummer</i>	Identifikasjon av måler (1-156)
<i>lnSpotpris</i>	Naturlig logaritme av <i>Spotpris</i>
<i>lnPHELIX</i>	Naturlig logaritme av <i>PhelixSpot</i>
<i>Nedbor</i>	Månedlig nedbørmengde, millimeter
<i>P_t</i>	= 1 hvis periode (måned) er lik <i>t</i>

Tabell 1 - Beskrivelse av variabler inkludert i analysen

En graddag beskriver skilnaden mellom døgnmiddeltemperatur på 17°C og den aktuelle utvendige døgnmiddeltemperaturen over et døgn, dersom temperaturen er lavere enn 17 °C. Ved døgnmiddeltemperatur under 17°C antas det altså at husstander har behov for å bli tilført varme, og derfor korrigeres forbruket i tråd med hvor mange graders avvik det er fra denne grensa. Et døgn med døgnmiddeltemperatur på 5°C, har eksempelvis 12 graddager. Periodens døgn graddager summeres til periodens totale graddagstall, og følgelig vil en periode med mange kalde døgn ha et høyere antall graddager enn en varmere periode.

Figur 28 inneholder deskriptiv statistikk for de viktige (uttransformerte) variablene. Her vises det at det er store variasjoner i registrert strømforbruk. Det er også store variasjoner i månedlige temperaturer, representert ved månedlig sum av graddøgnstall.

Deskriptiv statistikk					
Variabel	Gjennomsnitt	Standardavvik	Min.	Maks.	Ant. Obs
<i>Forbruk</i>	1844,69	908,63	71	7424	3750
<i>Spotpris</i>	261,64	43,97	156	359	50
<i>PHELIX</i>	36,92	5,18	17,85	45,85	25
<i>Gd</i>	286,17	174,16	11	636	50

Tabell 2 - Oppsummering av deskriptiv statistikk

Seks husstander i Steinkjer er fjernet fra datasettet grunnet usannsynlig høye verdier på månedlig forbruk (>10 000 kWh).⁶ Dette er trolig målefeil, da det er bekreftet fra Demo Steinkjer at de aktuelle målerne faktisk representerer eneboliger. Representanten jeg har vært i kontakt med fra demonstrasjonsprosjektet er videre enig i at disse husstandene burde fjernes fra datasettet. I et knippe husstander er det også målt svært lavt forbruk i sommermånedene. Det er imidlertid vanskelig å si om dette skyldes at boligen periodevis har vært ubebodd grunnet ferie, eller om det beror på faktorer som skal kontrolleres for i modellen. Alle husstandene har lavere forbruk i disse månedene, så verdiene anses derfor ikke som statistiske utliggere.

⁶ Målnummer 101, 109, 110, 114, 116 og 118.

Kapittel 5: Methode

Det grunnleggende målet ved denne analysen er å evaluere om selve installasjonen av AMS-målere i norske husstander har konserverende effekt på strømforbruket. Som nevnt, vil strømforbruket i 56 (50) husstander *med* AMS-målere vil bli sammenliknet med 100 husstander *uten* AMS-målere i to forskjellige områder i Norge over 25 måneder (mars 2013 - mars 2015).

Resultatene fra undersøkelsene vil gi indikasjoner på hvordan og hvorvidt etterspørselen i privatmarkedet endres, og med det hva bransjen og myndighetene kan vente seg i privatmarkedet etter at utrulling av målerne ved inngangen til 2019 er gjennomført. Dermed kan resultatene være et viktig moment å inkludere når beslutningsavgjørelser omhandlende innføring av ulike tilleggsinitiativ muliggjort av målerne, som for eksempel smart-display eller automatisk utkobling av uprioritert last, skal tas.

Det har i de seneste årene blitt publisert svært mange undersøkelser omhandlende effekten av ulike tilleggsinitiativ som muliggjøres av de nye målerne. Det er imidlertid svært få som har evaluert effekten av selve installasjonen; de eneste resultatene jeg har funnet, stammer fra et demonstrasjonsprosjekt i Idaho Falls (PNWSGD, 2015). Her fant de resultater som tyder på at installasjonen i seg selv hadde konserverende effekt på strømforbruket. Presentasjon av dette prosjektet finnes i vedlegg 1.

Denne masteroppgaven relaterer seg til eksisterende litteratur ved å sette spørsmålsteget ved antakelsen om at AMS-målere ikke har effekt på strømforbruket foruten som plattform for etterspørselresponsinitiativ. Analysen vil derfor kunne utvide kunnskapsgrunnlaget vi har om etterspørselseffekter som følge av AMS-installasjon, og vil bidra til å evaluere om den nevnte antakelsen er underbygget gjennom å tilføre resultater fra et konkret demonstrasjonsprosjekt i Norge.

For å kontrollere for temperaturforskjeller mellom Steinkjer og Odderhei/Søm, er det i denne oppgaven vurdert to forskjellige metoder. Den ene metoden er å inkludere temperatur (graddager) som forklaringsvariabel direkte i regresjonsmodeller for å kontrollere forbruket for temperaturvariasjon, slik som beskrevet i foregående kapittel. Den andre er temperaturkorrigering og stedskorrigering av forbruket, før videre analyser så utføres på dette korrigerede datagrunnlaget. Denne metoden bygger på NVEs modell for temperatur- og stedskorreksjon. Den første metoden er valgt for å utlede hovedresultat i denne oppgaven, mens NVEs korreksjonsmetode er vedlagt i vedlegg 2.

I dette kapittelet vil det redegjøres for de økonometriske metodene som nyttiggjøres i hoveddelen av analysen. OLS (minste kvadraters metode), 2SLS (tostegs minste kvadraters metode) samt instrumentvariabler vil bli gjennomgått med hensyn på nødvendige forutsetninger. Formålet og fremgangsmåten til statistiske tester benyttet i analysen gjennomgås også her. Spesifikasjon av de aktuelle modellene med variabler spesielle for denne analysen blir presentert i neste kapittel.

5.1 OLS

Minste kvadraters metode (heretter OLS) er en metode for å estimere ukjente parametre i en lineær regresjonsmodell ved å minimere summen av kvadratene til residualene. Under en rekke forutsetninger produserer modellen konsistente estimater for de uavhengige variablenes påvirkning på den avhengige variabelen. Gauss-Markov-antakelsene inneholder forutsetninger som bør være tilstede i et ideelt datasett for at OLS ikke skal inneholde skjevhet og være mest effektive estimat. Disse er som følger (Wooldridge, 2013):

1. **Lineær i parametre** - i populasjonsmodellen er den avhengige variabelen, y , relatert til de uavhengige variablene, x_k , og feilleddet, u , som $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + u$, der $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ er de ukjente parametrene og u er det stokastiske feilleddet.
2. **Tilfeldig utvalg** - det foreligger et tilfeldig utvalg av størrelse n som følger populasjonsmodellen gitt i foregående punkt.
3. **Ingen perfekt kollinearitet** - observerte verdier av x_k er ikke like for alle n , og det foreligger ikke noe eksakt lineært forhold mellom noen av de uavhengige variablene.
4. **Nullforventning i feilleddet** - forventet verdi av feilleddet, u , er lik null for alle verdier av x_k . $E(u|x_1, x_2, \dots, x_k) = 0$
5. **Homoskedastisitet** - feilleddet u har samme varians uavhengig av verdi på forklaringsvariablene. Med andre ord: $Var(u|x_1, x_2, \dots, x_k) = \sigma^2$.
6. **Normalitet** - populasjonens feilledd, u , er uavhengig av forklaringsvariablene, x_1, x_2, \dots, x_k , og normalfordelt med gjennomsnitt lik null og varians σ^2 :
 $u \sim Normal(0, \sigma^2)$.

Hvorvidt disse ideelle forutsetningene holder, danner grunnlaget for hvor gode resultater modellen produserer. Derfor vil det være av betydning å teste disse.

5.2 2SLS og instrumentvariabler

OLS produserer estimater som tilsier enveis kausalitet mellom de uavhengige variablene og den avhengige. Dersom dette ikke er tilfellet, ved at det foreligger et toveis kausalitetsforhold mellom en uavhengig variabel og den avhengige, er kanskje ikke OLS lenger BLUE.⁷

Kausalitetsforholdet forteller oss da at den aktuelle forklaringsvariabelen ikke lenger er uavhengig av y , og klassifiseres dermed som en endogen forklaringsvariabel. OLS vil dermed produsere forventningsskjev regresjonskoeffisient, $\hat{\beta}_k$, et inkonsistent estimat av β_k .

Som nevnt, kan det foreligge skjevhet som følge av simultan bestemmelse av pris og etterspørsel i kraftmarkedet. Dette er et spesielt tilfelle av endogenitet, og kalles gjerne simultanitet. For å illustrere dette kan det vises en enkel modell for tilbud og etterspørsel i elektrisitetmarkedet:

$$\begin{aligned} Q_t^d &= \alpha_0 + \alpha_1 P_t + U_t \\ Q_t^s &= \beta_0 + \beta_1 P_t + V_t \\ Q_t^d &= Q_t^s, \end{aligned}$$

der Q_t^d er kvantum etterspurt, Q_t^s er kvantum tilbudt og P_t er prisen på kraft. Feilledet i etterspørselsfunksjonen, U_t , uttrykker andre faktorer enn pris som påvirker elektrisitetsetterspørselen, for eksempel temperatur. Avhengig av verdien på U_t , skifter etterspørselskurven opp eller ned i pris/kvantumplanet. På samme måte representerer feilledet V_t andre faktorer enn pris som påvirker elektrisitetstilbudet. Krysningpunktet mellom de to funksjonene fanger opp gjennomsnittet av feilledene, og dermed antas det at $E(U_t) = E(V_t) = 0$. Ved klarering av markedet ved kvantum $Q_t^d = Q_t^s = Q_t$, reduseres systemet til to likninger:

$$Q_t = \alpha_0 + \alpha_1 P_t + U_t \quad (\text{Etterspørsel})$$

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1 P_t + V_t \quad (\text{Tilbud})$$

⁷ BLUE = beste lineære estimat uten skjevhet

Den uavhengige variabelen P_t er i dette tilfellet nødvendigvis endogen i begge likningene, da den er en funksjon av begge feilleddene. Dette kan sees ved å løse for (P_t, Q_t) :

$$P_t = \frac{\beta_0 - \alpha_0}{\alpha_1 - \beta_1} + \frac{V_t - U_t}{\alpha_1 - \beta_1}$$

$$Q_t = \frac{\alpha_1\beta_0 - \alpha_0\beta_1}{\alpha_1 - \beta_1} + \frac{\alpha_1V_t - \beta_1U_t}{\alpha_1 - \beta_1}$$

Dersom OLS nå benyttes for å gjøre en regresjon med kvantum på pris, blir hverken tilbuds- eller etterspørselskurven estimert. Grunnen til at disse ikke konsistent kan estimeres, er fordi det ikke kan etableres hvorvidt endringene i pris og kvantum følger av et skift i etterspørselen eller et skift i tilbudet.

Dersom det imidlertid er mulig å identifisere faktorer som vi vet påvirker kurvene, kan det være mulig å produsere konsistente estimater for parametrene for tilbud og etterspørsel. Disse faktorene kalles instrumentvariabler. Identifikasjon av og tilgang til gode instrumentvariabler vil være avgjørende for hvorvidt en får gode resultater. Avhengig av hva en ønsker å analysere, er det naturlig å søke et instrument som er korrelert med ett av feilleddene, men ikke det andre. Dersom analyse av etterspørselen er formålet, vil en forsøke å finne et instrument som er korrelert med V_t , men ikke med U_t . Altså en observerbar faktor som skifter tilbudet, men kun har effekt på etterspørselen via prisvariabelen. Med Z_t representerende en instrumentvariabel, kan tilbudsfunksjonen dermed skrives som

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1P_t + \beta_2Z_t + \delta_t,$$

der δ_t er den uobserverte komponenten, det vil si delen av V_t som er ukorrelert med Z_t .

Instrumentet er etter antakelse ukorrelert med feilleddet i etterspørselsfunksjonen, U_t , og etter konstruksjon ukorrelert med δ_t . Dette gjør instrumentet gyldig. For at instrumentet også skal være relevant, må det være korrelert med P_t . Styrken på denne korrelasjonen avgjør styrken på instrumentet (Wooldridge, 2013)

Innsikten fra illustrasjonen overfor kan benyttes for å utlede 2SLS, som er den vanligste instrumentalvariabelestimatoren. Med én endogen variabel (og én eksogen variabel), skrives den strukturelle likningen fra avsnitt 5.1 om som

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + u,$$

der x_1 representerer den endogene variabelen og x_2 den eksogene variabelen. Videre behøves det identifikasjon av en instrumentvariabel (eller flere). Instrumentvariabelen benyttes så i det første steget av 2SLS.

Steg én - her beregnes verdier for \hat{x}_1 gjennom å benytte den eksogene variabelen og instrumentet:

$$\hat{x}_1 = \alpha_0 + \alpha_1 z_1 + \alpha_2 x_2 + \delta,$$

der z_1 representerer instrumentet.

Steg to - her benyttes de predikerte verdiene fra steg én for \hat{x}_1 i den strukturelle likningen

$$y_1 = \beta_0 + \beta_1 \hat{x}_1 + \beta_2 x_2 + u,$$

der u er komposittfeilleddet som er ukorrelert med \hat{x}_1 og x_2 .

2SLS-metoden er med dette et viktig verktøy for å påvise kausalitetsforhold selv i modeller med endogene forklaringsvariabler. Dette avhenger imidlertid av kvaliteten på instrumentvariablene, og dersom disse er korrelert med feilleddet og/eller kun svakt korrelert med den endogene forklaringsvariabelen, kan 2SLS gi dårligere resultater enn OLS.

5.3 Instrumentvariablers egenskaper

For at et instrument skal kunne benyttes, er det visse krav som må oppfylles. Disse er nevnt i forrige avsnitt, men det kan likevel være hensiktsmessig å oppsummere dem her. En instrumentvariabel, z , må være:

1. Ukorrelert med feilledet: $Cov(z, u) = 0$
2. Korrelert med den endogene variabelen: $Cov(z, x) \neq 0$

Instrumentvariabelen skal videre ikke ha innvirkning på den avhengige variabelen i den strukturelle likningen annet enn gjennom den endogene variabelen.

Et *svakt* instrument er løst definert som et instrument med *lav* korrelasjon mellom x og z (Wooldridge, 2013). Nyttiggjørelse av svake instrumenter fører til inkonsistente estimater i 2SLS og upålitelige konfidensintervaller (Staiger & Stock, 1997). Det er derfor av betydning å undersøke hvorvidt instrumentvariablene inkludert er sterke eller svake. En metode for å sjekke dette, er å evaluere partiell forklaringsgrad (R^2) og partiell F-verdi i første steg av 2SLS. Et godt instrument vil ha høy F-verdi og partiell R^2 .

5.4 Durbin-Wu-Hausman-test

Dersom det benyttes 2SLS og instrumenter i tilfeller der endogenitet ikke foreligger, vil regresjonsestimater være konsistente, men ikke mest effektive. Det vil derfor være av betydning å undersøke om det faktisk foreligger endogenitet. For å teste dette, kan Durbin-Wu-Hausman-testen anvendes. Denne testen evaluerer om OLS-estimatene er signifikant forskjellige fra 2SLS-estimatene. Nullhypotesen er at alle variabler er eksogene, og signifikant p-verdi i testen er dermed bevis for at endogenitetsproblemer finnes i modellen. Usignifikant p-verdi betyr at nullhypotesen ikke kan forkastes, og OLS er å foretrekke.

5.5 Breusch-Pagan-test

Breusch-Pagan-test benyttes for å teste for heteroskedastisitet i en lineær regresjonsmodell. Homoskedastisitet er en av forutsetningene for at OLS skal være BLUE. Fravær av sådan medfører tap av effektivitet, selv om det ikke medfører skjevhet. Testen undersøker om den estimerte variansen av residualene i en regresjon er avhengig av verdien på de uavhengige variablene. Dette tilsier i så fall at det foreligger heteroskedastisitet. Nullhypotesen er at det foreligger homoskedastisitet, og dersom denne kan forkastes endres variansen av residualene som en funksjon av minst én av de uavhengige variablene. Dersom det foreligger

heteroskedastisitet, vil robuste standardfeil legges til grunn. Disse kalles også White standardfeil.

5.6 Ramseys RESET-test

For å undersøke om modellen lider av skjevhet som følge av misspesifisert modell, kan Ramseys RESET-test (regression specification error test) være til hjelp. Ideen bak testen er enkel: dersom den originale modellen er som spesifisert under punkt 1 i avsnitt 5.1 og tilfredsstillende antakelsen under punkt 4 ($E(u|x_1, x_2, \dots, x_k) = 0$), skal ingen ikke-lineære transformasjoner være signifikante dersom de legges til den originale modellen. Dersom de er signifikante, vil RESET-testens nullhypotese om korrekt spesifisert modell forkastes. Et problem med testen er imidlertid at forkastelse av nullhypotesen ikke forteller noe om hvordan modellen skal utvides videre. Jeg vet imidlertid, fra figur 17 i avsnitt 3.1.2.4, omtrent hvordan den antatt viktigste uavhengige variabelen, *Graddager*, er tenkt å påvirke elektrisitetsforbruket. Dermed inkluderer jeg kvadrert og kubisk transformasjon av denne variabelen.

5.7 Wooldridges test

Autokorrelasjon fører til skjevhet i standardfeilene og gjør resultatene mindre effektive (Drukker, 2003). For å undersøke om datasettet inneholder autokorrelasjon, kan Wooldridges test for autokorrelasjon benyttes. Denne testen er enkel å implementere og krever få forutsetninger. Testen evaluerer residualene fra en førstedifferensiert modell. Nullhypotesen i testen er at det ikke foreligger førsteordens autokorrelasjon. Dersom det foreligger autokorrelasjon, vil Newey-West standardfeil benyttes for OLS og 2SLS. I kombinasjon med White standardfeil kalles dette Newey-West robuste standardfeil.

5.8 Multikollinearitet

Multikollinearitet er et problem som kan føre til ustabile koeffisientestimer og store standardfeil. Det vil ofte foreligge en viss grad av kollinearitet, og dermed er det ofte snakk om hvor mye kollinearitet en kan akseptere. Én metode for å undersøke graden av multikollinearitet er å regne ut variansinflasjonsfaktoren (VIF) etter utført regresjon. Denne regnes ut ved regresjoner der de uavhengige variablene settes som avhengig variabel, og justert forklaringskraft (R^2) beregnes for hver av dem. VIF for β_k vil så være:

$$VIF_k = \frac{1}{1 - R_k^2}$$

En tommelfingerregel er at dersom VIF er høyere enn 10, er dette grunn til å undersøke videre.

5.9 Dummyvariabler

Ettersom datasettet består av observasjoner av strømforbruket i 150 husstander målt over en 25-måneders periode, kan vi klassifisere dataene som paneldata.

Dummyser for hver husstand (bortsett fra én) kunne blitt brukt til å kontrollere for uobserverte individspesifikke faste effekter, men ettersom jeg er mest interessert i dummyvariabelen for område (som ikke varierer over tid), er ikke dette et alternativ. Effekten av AMS-installasjon ville i så fall blitt inkorporert i de ulike skjæringspunktene estimert ved husstandsdummyene.

Dummyser for hver tidsperiode (måned) kan derimot være hensiktsmessig å inkludere, fordi de kontrollerer for tidsspesifikke sjokk, eller heterogenitet over tid som ikke skyldes de andre inkluderte forklaringsvariablene (Menard, 2008). Dersom en ikke inkluderer tidsdummyer når de trengs, vil dette lede til skjevhet i estimatene. Inkludering av tidsdummyer kan imidlertid redusere effektiviteten til estimatene. For å bestemme om slike dummyvariabler skal inkluderes, kan en benytte en F-test. Denne testen returnerer F-verdi $(24, 3719) = 9,49$ ved utvidelse av modell 6 i tabell 3 med tidsdummyer (modell 7). Jeg kan dermed forkaste nullhypotesen om at tidsdummyer ikke behøves.

Kapittel 6: Økonometrisk modell og analyse

Dette kapittelet vil spesifisere valget av inkluderte variabler i den strukturelle likningen som legges til grunn for regresjonsanalyse. Hille et als modell, som presentert i kapittel 3, vil legges til grunn, i kombinasjon med vurderingene gjort omhandlende kontrollfaktorer tidligere i kapittel 4.

6.1 Avhengig variabel

Når elektrisitetsforbruket skal analyseres er det naturlig å benytte mål på forbruk som avhengig variabel. Her det valgt å bruke den naturlige logaritmen av månedlig strømforbruk i regresjonsmodellene, da forbruket ved slik transformasjon innehar mindre positiv skjevhet (se vedlegg 3). Forbruket vil slik bli forklart ved hjelp av de uavhengige variablene og deres regresjonskoeffisienter.

6.2 Uavhengige variabler

6.2.1 Eksogene variabler

De eksogene uavhengige variablene inkludert i modellen, er temperaturvariabler uttrykt som graddager. Temperaturforholdene behandles som eksogene fordi de fører til endringer i forbruk uten å påvirkes av forbruksendringer. På lang sikt kan en imidlertid kanskje påstå at økt elektrisitetsforbruk og følgelig økt klimagassutslipp fører til høyere globale temperaturer, men dette er sett bort ifra i denne oppgaven da det neppe er merkbart over en 25-måneders periode.

6.2.2 Dummy- og interaksjonsvariabler

Tidsdummyer for hver tidsenhet (måned) inkluderes. Det inkluderes videre ulike dummy- og interaksjonsvariabler i sammenheng med hvilket område strømmålerne (boligene) befinner seg. Dette gjøres for å tillate ulik variasjon mellom de to områdene. Som jeg kommer tilbake til, er det mulig at temperaturen påvirker forbruket forskjellig i de to områdene. Nærmere beskrivelse av disse variablene finnes i delkapittel 4.3. Det er ikke valgt å inkludere interaksjonsvariabel mellom spotpris og område, da en Chow-test viser at spotpris ikke påvirker forskjellig i områdene (modell 6).

6.3 Endogen variabel

$\ln Spotpris$, den naturlige logaritmen av månedlige gjennomsnitt av spotprisen i de to områdene, er inkludert som endogen variabel jamfør diskusjonen om simultanitet. Denne endogenitetsantakelsen blir vurdert gjennom formelle tester.

6.4 Instrumentvariabler

I forbindelse med det antatte endogenitetsproblemet i sammenheng med spotprisen, er flere mulige instrumentvariabler vurdert.

- Nedbør var tenkt å være et instrument som påvirker tilbudet av kraft uten å påvirke etterspørselen, spesielt i forbindelse med småskala vannkraft uten lagringskapasitet. Ved undersøkelse av variabelen, viser det seg imidlertid at det foreligger positiv korrelasjon mellom nedbør og pris. Tolkningen av dette er isolert sett at økt nedbørsmengde er korrelert med høyere elektrisitetspris, altså det motsatte av det en intuitivt kan forvente. Muligheten for å lagre vann i magasiner i den regulerbare delen av vannkraftproduksjonen tenkes å svekke dette instrumentets styrke.
- Gjennomsnitt av den tyske/østerrikske prisenindeksen er korrelert med norsk og regional spotpris, men har ingen påvirkning på etterspørselen etter kraft i Norge foruten gjennom pris. Den er dermed hverken endogen eller inkludert i den strukturelle likningen for forbruk av kraft i eneboliger i Steinkjer og Odderhei/Søm.

Variabelen som inneholder prisindeks for det tyske/østerrikske spotmarkedet synes å fungere best som instrumentvariabel. Den endogene variabelen $\ln Spotpris$ vil dermed estimeres ved de eksogene variablene for temperatur og instrumentvariabelen, $\ln PHELIX$.

6.5 Funksjonell form

Det finnes ingen formell metode for å bestemme riktig funksjonell form på modellens likning (Hauer & Bamfo, 1997). For denne analysen har jeg valgt å prøve å passe en kombinasjon av en *log-lin* og en *log-log*-modell rundt datasettet. Dette er valgt som resultat av utforskende dataanalyse der jeg har undersøkt datasettet ved visuell fremstilling samt analyse av residualene ved en rekke funksjonelle former. I tråd med Døhls (1998) vurderinger er transformasjoner av variabelen *Graddager* (kvadratisk og kubisk) inkludert for å tillate temperaturen å påvirke forbruket ikke-lineært. Prisvariabler er transformert ved den naturlige logaritmen for å uttrykke påvirkningen av prosentvis endring i disse.

6.6 Utelatte variabler

I avsnitt 4.2 har jeg gjort mange antakelser om at (utvalget i) Steinkjer og Odderhei/Søm er like på veldig mange områder. Det er likevel slik at disse faktorene påvirker elektrisitetsforbruket i stor grad i hver husstand, som nevnt i avsnitt 4.2.3. Å utelate slike variabler kan føre til spesifikasjonsskjevhet og dermed gale estimater for regresjonskoeffisientene. Det er imidlertid slik at mange av de utelatte variablene er ukorrelert

med temperatur, og heller ikke korrelert med spotprisen gjennom annet enn sin direkte påvirkning på forbruket (i den grad spotprisen kan sies å bestemmes endogent). Dersom de utelatte variablene faktisk *er* ukorrelert med de inkluderte uavhengige variablene, er fortsatt feilledet ukorrelert med forklaringsvariablene (Studenmund, 2010), noe som betyr at estimatene ikke vil inneholde skjevhet.

6.7 Spesifikasjon av modell

For **OLS** (modell 7 i tabell 3) blir den strukturelle likningen:

$$\ln\text{Forbruk}_{ht} = \beta_0 + \sum_{t=1}^{24} \beta_t P_t + \beta_{25} Gd_{ht} + \beta_{26} Gd2_{ht} + \beta_{27} Gd3_{ht} + \beta_{28} \ln\text{Spot}_{ht} \\ + \beta_{29} GdD1_{ht} + \beta_{30} D1_h + u_{ht},$$

der er β -verdiene er ukjente parametre som estimeres, P_t er dummy for periode t , og u_{ht} er det stokastiske feilledet i modellen. Benevnning h og t står for henholdsvis husstand og tid.

For **2SLS** vil den strukturelle likningen estimeres gjennom to steg, som beskrevet i avsnitt 5.2 (modell 6 i tabell 3):

Steg én:

$$\widehat{\ln\text{Spotpris}}_{ht} = \alpha_0 + \alpha_1 Gd_{ht} + \alpha_2 Gd2_{ht} + \alpha_3 Gd3_{ht} + \alpha_4 GdD1_{ht} + \alpha_5 D1_h \\ + \alpha_6 \ln\text{PHELIX}_t + \delta_{ht},$$

der temperatur-, område og interaksjonsvariablene sammen med de naturlige logaritmene av tysk/østerriksk prisindeks fungerer som instrumentvariabler for $\ln\text{Spotpris}$.

Steg to:

$$\ln\text{Forbruk}_{ht} = \beta_0 + \beta_1 Gd_{ht} + \beta_2 Gd2_{ht} + \beta_3 Gd3_{ht} + \beta_4 GdD1_{ht} + \beta_5 D1_h \\ + \beta_6 \widehat{\ln\text{Spotpris}}_{ht} + u_{ht},$$

der β -verdiene er parametre for de eksogene og den endogene variabelen. u_{ht} er her komposittfeilledet.

6.8 Resultater

I denne delen vil regresjonsanalysene for elektrisitetsforbruket presenteres. I første avsnitt vil det bli presentert hvordan resultatene forandrer seg ved gradvis utvidelse av modellen, etterfulgt av testresultatene som la føringer på modellvalget. Deretter blir resultatene fra de forskjellige modellene og metodene presentert.

Statistikkprogrammet ”Stata 14 (64-bit)” er benyttet for statistisk analyse av datasettet.

6.8.1 Konstruksjon av modell

Variabel \ Modell	1	2	3	4
	OLS	OLS	OLS	OLS
	b/NWse	b/NWse	b/NWse	b/NWse
Graddager	0.0018*** (0.00)	0.0018*** (0.00)	0.0034*** (0.00)	0.0006 (0.00)
lnSpotpris		-0.1385*** (0.06)	-0.0867 (0.06)	
Graddager^2			-0.0000*** (0.00)	0.0000*** (0.00)
Graddager^3				-0.0000*** (0.00)
Område 1 (Dummy)				
GdD1 (Graddager*D1)				
Tidsdummyer	Nei	Nei	Nei	Nei
Konstant	6.8765*** (0.02)	7.6337*** (0.31)	7.2074*** (0.31)	6.8691*** (0.02)
R-sqr	0.342	0.344	0.365	0.376
* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001				

Variabel \ Modell	5	6	6	7
	OLS	OLS	2SLS	OLS
	b/NWse	b/NWse	b/Rse	b/NWse
Graddager	0.0015*** (0.00)	0.0015*** (0.00)	0.0014*** (0.00)	0.0020 (0.00)
lnSpotpris	0.0958 (0.06)	0.0686 (0.06)	0.1362 (0.10)	0.0385 (0.06)
Graddager^2	0.0000*** (0.00)	0.0000*** (0.00)	0.0000*** (0.00)	0.0000** (0.00)
Graddager^3	0.0000*** (0.00)	0.0000*** (0.00)	-0.0000*** (0.00)	-0.0000*** (0.00)
Område 1 (Dummy)	-0.2809*** (0.03)	-0.2105*** (0.04)	-0.2262*** (0.04)	-0.1130* (0.05)
GdD1 (Graddager*D1)		-0.0002* (0.00)	-0.0002 (0.00)	-0.0006*** (0.00)
Tidsdummyer	Nei	Nei	Nei	Ja
Konstant	6.3774*** (0.30)	6.5134*** (0.31)	6.1474*** (0.55)	8.7131*** (0.67)
R-sqr	0.430	0.431	0.431	0.459
* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001				

Tabell 3 - Regresjonskoeffisienter, Newey-West robuste standardfeil og forklaringskraft etter gradvis utvidelse av regresjonsmodell

Forklaringskraften til modellene er gitt ved R^2 , som regnes ut ved formelen $R^2 = \frac{1-RSS}{TSS}$, der RSS og TSS er henholdsvis summen av kvadrerte residualer og den totale kvadratsummen. I oversikten i tabell 3 er denne betegnet R-sqr. Målet er en (prosentvis) indikasjon på hvor mye av variasjonen i forbrukt mengde elektrisk energi i Steinkjer og Odderhei/Søm som forklares av de inkluderte forklaringsvariablene. Forklaringskraften i modellen stiger for hver inkluderte variabel, fra 34 prosent i modellen der det åpnes kun for lineær temperaturpåvirkning, til 46 prosent i modell 7 med alle variablene inkludert (marginalt lavere dersom adj. R^2 legges til grunn). Modellen har altså ikke veldig høy forklaringskraft.

Når modellen gradvis inkluderer flere forklaringsvariabler, kan det sees at regresjonskoeffisientene i modellene med få variabler fanger opp andre variablers effekt på elektrisitetsforbruket. Eksempelvis observerer jeg at den estimerte koeffisienten for *lnSpotpris* reduseres i størrelse og signifikans når transformerte variabler for antall graddager inkluderes. Dette tyder på at spotprisen fanger opp klimatiske elementer i (2) og (3) - høyere kraftpriser har gjerne sammenheng med lavere temperaturer og igjen høyere forbruk. Ved videre utvidelse av modellen, kan det sees at den estimerte koeffisienten for *lnSpotpris* skifter fortegn og er insignifikant. Dette betyr at modellen estimerer en (insignifikant) sammenheng mellom priser og forbruk som at økte priser fører til økt forbruk (dersom det ses bort fra endogenitetsproblemet), noe som åpenbart er kontraintuitivt, da elektrisitet anses som et normalgode. Spotprisen er likevel interessant jamfør tidligere bemerkninger om prisens betydning for elektrisitetsetterspørselen, og inkluderes derfor videre i analysen.

Verdiene på de transformerte variablene *Gd2* og *Gd3* blir fort veldig store, og tolkningen av tilhørende og tilsynelatende små koeffisienter i tabell 3 er derfor kanskje ikke så åpenbar ved første øyekast. Jeg kommer imidlertid tilbake til betydningen og størrelsene på disse senere.

Utviklingen fra (5) til (6) vitner om at en relativt stor del av forskjellen mellom områdene, stammer fra ulikt forbruk ved lavere temperaturer. Husstandene i Odderhei og Søm (område 2) har et elektrisitetsforbruk mer sensitivt for kaldere vær. Denne sammenhengen er estimert enda sterkere ved inkludering av tidsdummyer i (7). De estimerte koeffisientene for tidsdummyene er forøvrig utelatt fra tabell 3 for økt leservennlighet. Koeffisientene fra (7) er forøvrig identiske de som produseres av FE-regresjon⁸, foruten dummyvariabelen for Steinkjer, som ikke kan inkluderes her.

⁸ eng: Fixed Effects Regression

Konstantleddene forteller noe om elektrisitetsforbruket når alle inkluderte forklaringsvariabler er lik null. Dette inntreffer imidlertid aldri. Konstantleddene og tilhørende koeffisienter, β_0 , gir dermed lite mening, foruten å angi nivået på regresjonslinja, og vies derfor ikke videre oppmerksomhet.

6.8.2 Testresultater

Breusch-Pagan-testen for heteroskedastisitet returnerer $\chi^2(6) = 283,44$ for modell 6 (OLS) i avsnitt 6.8.1 og $\chi^2(30) = 287,88$ for modell 7. Dette tilsier at nullhypotesen om homoskedastisitet kan forkastes i begge tilfellene (p-verdi = 0,00).

Heteroskedastisitetskonsistente standardfeil, såkalte White standardfeil eller robuste standardfeil, er derfor lagt til grunn

Resultater fra RESET-testen utført viser at modell 6 (OLS) ikke lider av utelatte variabler, med $F(3, 3740) = 1,81$. Jeg kan dermed ikke forkaste nullhypotesen om korrekt spesifisert modell (p-verdi = 0,14). For modell 7 forkastes nullhypotesen fra RESET-testen ($F(3, 3716) = 16,08$ med p-verdi = 0), men denne testen evaluerer først og fremst om modellen er lineær i de originale variablene, så dette anses ikke som et stort problem.

Durbin-Wu-Hausman-testen returnerer $\chi^2(1) = 0,512$ og $F(1, 3742) = 0,512$ når 2SLS anvendes med *lnPHELIX* sammen med de eksogene variablene som instrument for *lnSpotpris* (Modell 6, 2SLS). Jeg kan dermed ikke forkaste nullhypotesen om at variablene er eksogene (p-verdi = 0,47 i begge tilfellene). Resultatene fra 2SLS er rapportert i tabell 3, men vil ikke vies videre oppmerksomhet på grunnlag av dette. Det kan være verdt å merke seg at instrumentet inkludert er relativt svakt, så selv om det hadde vært påvist endogenitet, kunne andre metoder enn 2SLS vært å foretrekke.

Wooldridges test for autokorrelasjon i returnerer $F(1, 149) = 121,177$ for modell 6, og $F(1, 149) = 102,223$ for modell 7. Jeg kan dermed forkaste nullhypotesen om ingen autokorrelasjon i begge tilfellene (p-verdi = 0,00). Newey-West robuste standardfeil er derfor benyttet for OLS i denne analysen. Disse gir konsistente standardfeil for koeffisientenes estimater på tross av både heteroskedastisitet og autokorrelasjon.

Multikollinearitet er som forventet et problem kun i forhold til de transformerte variablene for graddager, og VIF-verdiene for temperaturvariablene er 89,31, 435,28 og 157,45 for henholdsvis *Gd*, *Gd2* og *Gd3* i modell 6 (OLS) i tabell 3. I en modell som inkluderer kvadratiske og kubiske transformasjoner av en variabel er dette som regel tilfelle, men kan ignoreres da slik kollinearitet ikke har alvorlige konsekvenser (Allison, 2012). Det vil si at p-

verdier og R^2 ikke påvirkes. For modell 7 er VIF-verdiene for disse tre variablene enda høyere. For de øvrige variablene av interesse, er imidlertid VIF-verdiene akseptable, og jeg velger å akseptere en viss grad av multikollinearitet. Ofte er det ikke snakk om hvorvidt en skal akseptere multikollinearitet eller ikke, men heller *hvor mye* kollinearitet en kan akseptere.

6.8.3 OLS-resultater

Resultatene fra modell 7 (OLS) i tabell 3 legges til grunn videre.

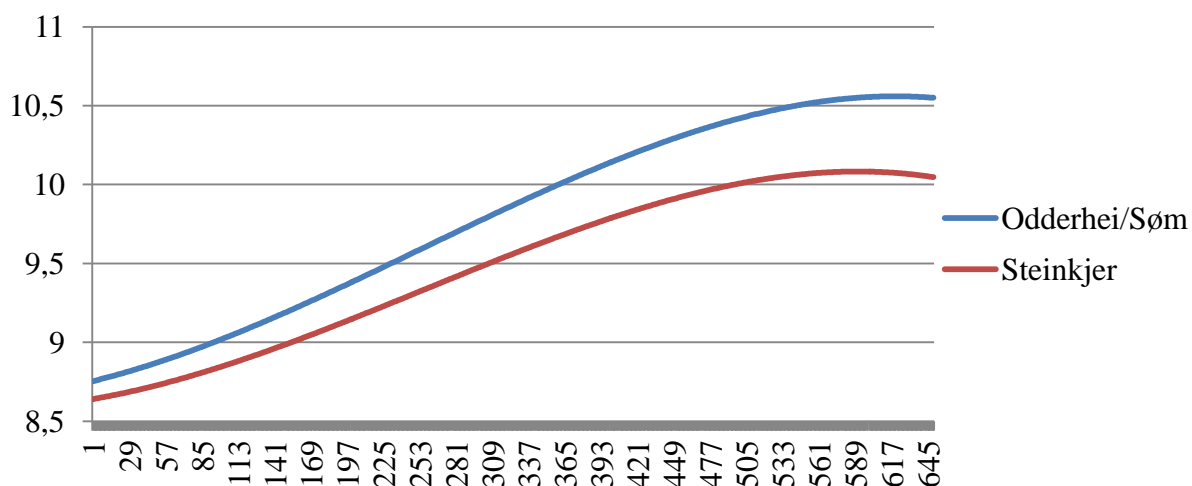
Nullhypotesene er at forklaringsvariablene ikke har hatt effekt på elektrisitetsforbruket i områdene. Nullhypotesen kan altså forkastes for alle variabler utenom *Graddager* og *lnSpotpris*, da de har statistisk signifikant effekt på forbruket.

De viktigste koeffisientene for denne masteroppgavens problemstilling, er koeffisientene til dummyvariabelen for område 1 (*DI*) og interaksjonsvariabelen (*GdDI*). Disse gir informasjon om forskjellen i forbruk mellom husstander lokalisert i Steinkjer og husstander lokalisert i Odderhei og Søm. Område 1 er Steinkjer, og med alt annet holdt likt, forteller regresjonskoeffisientene til *DI* oss at husholdningene i Steinkjer har et estimert forbruk av elektrisitet omtrent 11 ± 5 prosent lavere enn i Odderhei og Søm. Koeffisienten er statistisk signifikant på 5 prosents signifikansnivå, og har som vi ser relativt stor standardfeil.

Regresjonskoeffisienten for interaksjonsvariabelen *GdDI* forteller oss videre at dersom husstanden befinner seg i Steinkjer, er den mindre temperaturfølsom. Det vil med andre ord si at husstander i Steinkjer påvirkes annerledes enn husstander i Odderhei/Søm ved endringer i antall graddager (i lineær sammenheng). Koeffisientens størrelse tilsier at dersom antallet graddager i en måned øker med én, er den lineære sammenhengen mellom *lnForbruk* og *Graddager* i Steinkjer 0,0006 lavere enn for Odderhei/Søm (statistisk signifikant på 0,1 prosents signifikansnivå).

Koeffisienten til variabelen *Graddager*, som representerer antall graddager i måneden, er ikke statistisk signifikant i modell 7, men uttrykker at en økning i én graddag i en måned, altså én grad kaldere ett døgn i måneden, er estimert å føre til 0,2 prosent høyere elektrisitetsforbruk alt annet holdt likt. Med koeffisientene for transformasjonene av graddager (*Gd2* og *Gd3*) blir imidlertid tolkningen av temperaturens påvirkning mer komplisert. For å illustrere hvordan økt antall graddager påvirker forbruket, er sammenhengen estimert i modell 7 i tabell 3 vist i figur 27. Med koeffisientene estimert ved denne metoden, kan det for Odderhei/Søm, altså ikke inkludert koeffisienten for *GdDI* (ei heller *DI*), regnes ut at det estimerte månedlige forbruket øker eksponentielt med flere graddager frem til 256, som er det globale

maksimumspunktet til den deriverte av den estimerte regresjonslikningen mhp. graddager. Ved flere graddager enn 256 øker fortsatt det estimerte forbruket, men ved 620 graddager (nullpunktet til den deriverte av den estimerte regresjonslikningen mhp. graddager) spiller koeffisienten til den kubiske transformasjonen av graddager størst rolle. Ved flere graddager enn 620 er det altså estimert at det forbrukes *mindre* strøm. I datasettet er det imidlertid kun i januar 2014 i Steinkjer det observeres flere enn 620 graddager. Estimatenene trenger derfor ikke være gyldige for høyere månedlige graddagstall.



Figur 27 - Illustrasjon av hvordan de tre variablene inneholdende graddager, dummyvariabelen for område, og interaksjonsvariabelen er estimert å påvirke elektrisitetsforbruket, alt annet holdt likt (med koeffisienter fra modell 7)

Den estimerte koeffisienten for $\ln Spotpris$ er ikke statistisk signifikant, og det gir derfor ikke mening å diskutere størrelsen eller fortegnet på denne utover de bemerkninger som ble gjort i avsnitt 6.8.1.

Kapittel 7: Diskusjon

Den økonometriske modellen er spesifisert under en rekke antakelser om de to områdene, som presentert i avsnitt 4.2 med intensjon om at dummyvariabelen for Steinkjer (og interaksjonsvariabelen *GdDI*) kun skal fange opp effekten av å ha fått AMS-måleren installert. Som det fremkommer av kapittel 6, påvises det signifikant forskjell i elektrisitetsforbruket i Steinkjer og Odderhei/Søm i perioden mars 2013 til mars 2015 etter at aktuelle og tilgjengelige faktorer er kontrollert for. Dette er liknende resultatene funnet i Idaho Falls (PNWSGD, 2015), og antyder at installasjonen har hatt konserverende effekt på elektrisitetsforbruket.

I dette kapitlet vil jeg først diskutere resultatene regresjonsmodellen har gitt omhandlende strømprisens og temperaturens påvirkningen på strømforbruket, og om disse resultatene er i tråd med foreliggende empiri på området. Deretter vil jeg prøve å gi en forklaring på hvordan installasjon av AMS-målere faktisk *kan* føre til atferds- og forbruksendringer i husstandene med grunnlag i den teoretiske basisen lagt i kapittel to og tre. Generelt vil det være viktig å huske på at resultatene fra modellen beror på en rekke antakelser, og vi skal derfor ha i bakhodet at det eksisterer en viss grad av usikkerhet i resultatene. Ulemper og svakheter ved analysemetoden vil bli behandlet avslutningsvis i dette kapitlet.

7.1 Strømprisens estimerte effekt

Det første aspektet som skal omtales, er spotprisens påvirkning på elektrisitetsforbruket. Denne var som nevnt forventet å være endogent bestemt som følge av simultan tilpasningen av likevekten mellom tilbud og etterspørsel i markedet. Testresultatene viste imidlertid at spotprisen kunne behandles som eksogen, og videre ble det estimert en insignifikant regresjonskoeffisient for *lnSpot* ved OLS. Spotprisen kan derfor ikke tillegges særlig stor vekt når elektrisitetsforbruket skal forklares i denne analysen. På kort sikt er dette likevel som forventet. Aune (2007) peker på at de svært høye prisene vinteren 2002/2003 førte til at noen forbrukere umiddelbart senket innnetemperaturen betydelig, men at forbruket fort vendte tilbake til det normale. I denne perioden økte prisen på strøm med 43 prosent over kort tid. Hille et al. (2011) viser videre til at det er enda vanskeligere å se noen effekt av andre perioder med store prisstigninger, som i 2006 og 2010. De relativt små forskjellene i strømpris som observeres i datasettet her lagt til grunn, både mellom måneder og mellom de to områdene, synes derfor naturlig at ikke har gitt stort utslag i elektrisitetsforbruket. Strømprisens betydning for elektrisitetsforbruket kan kanskje være større på lengre sikt, i forbindelse med valg av energibærere og teknologi for oppvarming samt investeringer i

boligens klimaskall. Alt dette tatt i betraktning, synes resultatene for spotprisens påvirkning i kapittel 6 å stemme overens med eksisterende forskning på området.

7.2 Temperaturenens estimerte effekt

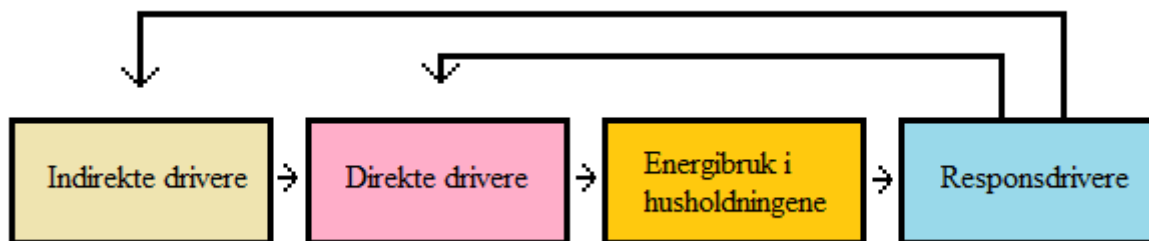
To av variablene for temperaturens påvirkning på elektrisitetsforbruket er på den annen side statistisk signifikante, og betydelig i analysen i form av at den er klart viktigste forklaringsfaktor for forbruket i områdene. Dersom en ser tilbake på figur 19 og figur 26b, ser en at kurvene i de to figurene har tilnærmet lik form, og det var derfor forventet at temperatur i form av graddagstall ville forklare store deler av variasjonen i forbruk i datasettet. Dette er i tråd med NVEs bemerkninger på området (NVE, 2014). Enova omtaler også i sin byggstatistikk for 2014 lufttemperaturen som viktigste faktor for energibruk i husholdninger (Enova, 2014). Et interessant funn fra Steinkjer og Odderhei/Søm er at det er estimert en påvirkning fra temperaturen som tilsier at det forbrukes *mindre* strøm ved høyere månedlige graddagstall enn cirka 620. Såpass høye graddagstall observeres imidlertid kun i januar 2014 og kun i Steinkjer. Dersom en ser tilbake til figur 17, ser en at lavere temperaturer enn punkt (a) antas å *ikke* føre til endring i elektrisitetsbruk. Argumentasjonen til Døhl (1998) bygger på at kapasitetsmaksimum er nådd ved slike lave temperaturer, og dermed er ytterligere økning i forbruket ikke mulig. Selv om resultatene her beror på at jeg har spesifisert en gitt funksjonell form, finnes det argumenter for at dette kan inntreffe. Én mulig forklaring er at husholdningene tar i bruk alternative energibærere i ekstremt kalde perioder eller aksepterer lavere innetemperaturer enn normalt.

7.3 AMS-installasjonens estimerte effekt

Jeg har estimert at AMS-installasjon har ført til 11 ± 5 prosent lavere elektrisitetsforbruk, og enda lavere forbruk dess høyere månedlige graddagstall (se figur 27). Ved å benytte NVEs modell for temperatur- og stedskorrigerings (vedlegg 2), er dette estimert 27 ± 3 prosent. På akkurat dette området foreligger det som nevnt ikke så mye forskning, og det er derfor vanskelig å sette dette resultatet i kontrast til andre studier. Størrelsen på reduksjonen er imidlertid høyere enn forventet ved begge metodene. Spørsmålet resultatene like fullt reiser, er: hva er det ved et enkelt målerbytte som kan gjøre at forbrukere reduserer sitt elektrisitetsforbruk?

De påfølgende avsnittene vil behandle dette spørsmålet ved å diskutere hva installasjonen faktisk innebærer for forbrukeren og, via rammeverket for drivere for elektrisitet, diskutere hvordan dette kan medføre endring i en eller flere viktige drivere.

Den påviste reduksjonen i elektrisitetsforbruket kommer nødvendigvis som følge av endring i en eller flere av driverne, og som beskrevet i figur 15 er det kun de direkte driverne som påvirker forbruket direkte. Indirekte drivere og responsdrivere kan imidlertid påvirke disse direkte driverne og slik ha betydning for forbruket.



Figur 15 - Driveres påvirkning på energibruk i husholdningene, tilpasset fra (Hille, Simonsen, & Aall, 2011)

For å identifisere drivere som kan endres som følge av AMS-installasjon, kan vi arbeide oss bakover i modellen. Det er påvist endring i den oransje boksen i figuren, "Energibruk i husholdningene" og dermed må det også foreligge endring i den lyserøde boksen, "Direkte drivere". Blant de direkte driverne finnes husholdningsmedlemmenes komfortkrav og bopelens egenskaper. Disse er påvirket av indirekte drivere.

Det er lite tenkelig at klimafaktorer som temperatur, solforhold og vindforhold påvirkes av at husstandene har fått installert nye strømmålere. Videre vil nok ikke antall personer i husholdningen, husholdningsmedlemmenes alder eller husholdningens samlede inntekt påvirkes av målerbyttet. Disse indirekte driverne er selvstendige, og kan anses som relativt uavhengige av andre drivere, i alle fall på kort sikt. Det som derimot kan påvirke husholdningsmedlemmenes komfortkrav, er medlemmenes preferanser, holdninger og kunnskap. Dersom det har vært endring i en av disse tre faktorene grunnet AMS-installasjonen, kan derfor dette være del av årsaken til at elektrisitetsforbruket er redusert. Så hvorfor skulle holdningene, preferansene eller kunnskapen til husholdningsmedlemmene endres som følge av introduksjon av smart strømmåler?

Isolert sett er den fysiske installasjonen av en AMS-måler en enkel operasjon. Kunden avtaler tidspunkt for utskiftning av det gamle profilmålte anlegget med installatør, og nettselskapene bærer, som ansvarlige for utrulling, kostnadene (NVE, 2014). Sett bort ifra uleiligheten ved å avtale tidspunkt for installasjon med installatør, er derfor i prinsippet den eneste forskjellen for kunden at han/hun slipper å lese av og rapportere strømmålerstanden hver måned. Dette

taler faktisk for at energiflyten er blitt enda mer *usynlig* for kunden enn den var med de gamle profilmålte anleggene, jamfør illustrasjonen av energi-*usynlighets*begrepet gitt i avsnitt 3.2.

Det må derfor finnes andre aspekter ved installasjonen som fører til endring hos forbrukerne.

Kommunikasjon til kunden i forbindelse med utskiftningen av målerne er et viktig aspekt ved installasjonen, og EnergiNorge har derfor utarbeidet omfattende markedsmateriell som søker å understreke nettmoderniseringens formål (EnergiNorge, 2015). I Demo Steinkjer har installatører vært instruert til å informere kunden om demonstrasjonsprosjektets formål, kommunisere at de nye målerne blir installert for å modernisere strømmettet og understreke at de kan hjelpe kunden å effektivisere og redusere strømforbruket sitt. Som beskrevet i avsnitt 4.1.2 har denne kommunikasjonen i tillegg skjedd via en rekke øvrige kanaler, og det er naturlig å anta at husstandene innrullert i demonstrasjonsprosjektet har fått mer informasjon om målsettingene, og at det har vært større oppmerksomhet rundt endringene enn det kommer til å være for den gjengse forbruker når implementeringen av smartmålere starter i hele landet.

Såfremt kommunikasjonen har vært tydelig og informasjonen har nådd ut til utvalget i Steinkjer, kan disse være årsak til at det oppstår endringer i kunnskapsnivå, holdninger og preferanser. Sammenhengen mellom handling (direkte drivere kategorisert under husholdningsmedlemmenes komfortkrav) og endringer i kunnskapsnivå, holdninger og preferanser, beskrives best gjennom Matthies' (2005) heuristiske modell for miljøvennlig atferd. Såfremt ikke forbrukerne allerede er fullstendig opplyste, vil kunnskapsnivået etter orientering og informasjon nødvendigvis være hevet. Dette kan føre til endring i holdninger og preferanser, noe som er i tråd med bemerkningene gjort av Stern & Aronson (1984) rundt energibevissthet. Derfor er informasjon inkludert som en viktig responsdriver som påvirker direkte og indirekte drivere i analyser av historisk og fremtidig energibruk (IFE, 2013). Dersom forbrukerne altså bevisstgjøres betydningen av eget forbruk og forbruksmønster som ledd i å oppnå utslippsreduksjonsmål og et mer effektivt kraftmarked, kan dette være nok til at de innser at det faktisk foreligger et miljømessig eller forsyningsikkerhetsmessig problem, eller i hvert fall en utfordring, og at elektrisitetsforbruk i private hjem av relevante autoriteter anses som et fokusområde. Hvis dette er tilfellet, initierer AMS-installasjonen normaktiveringsprosesser som beskrevet i den heuristiske modellen. Dette er første steg for suksessfull atferdsendring.

Dersom spesielt tydelig kommunikasjon og økt oppmerksomhet rundt eget forbruk er grunn til at reduksjonen i strømforbruket har vært såpass betydelig i Demo Steinkjer, er dette et

viktig aspekt å ta hensyn til når utrullingene starter for fullt. Jeg har i de foregående avsnittene argumentert for at informasjon og kommunikasjon ved målerbytte er en responsdriver som fører til endring i direkte drivere og dermed forbrukt mengde energi via påvirkning av holdninger, preferanser og kunnskapsnivå. Ved å fokusere på informasjon og oppmerksomhet rundt målerbyttet og kommunisere hensiktene ved moderniseringen av strømmettet når utrullingene av målerne starter for fullt, slik som det er gjort i Demo Steinkjer, mener jeg dermed at en enklere kan oppnå målene om reduserte utslipp og redusert forbruk, selv uten implementering av tilleggsinitiativ. Effektene av slike tilleggsinitiativ ville i så fall kommet i tillegg.

Jamfør presentasjonen av Hawthorneeffekten i kapittel 3.4, er det mulig at den konserverende effekten på strømforbruket som følge av målerinstallasjon i Demo Steinkjer forsterkes videre av at husholdningsmedlemmene føler at strømforbruket deres får økt oppmerksomhet. Selv om også de tradisjonelle målerne også overvåket og målte strømforbruket, måler AMS-målerne mer nøyaktig og kan gi informasjon også om effektuttaksmønstre, altså detaljerte opplysninger om hva enkeltpersoner gjør i hjemmet (Datatilsynet, 2010). Dette innebærer at det vil være mulig å anta eller forutsi når husholdningsmedlemmene i husstanden er på ferie eller på jobb, om personer sover i samme rom og når de sover eller er våkne. For noen vil nok dette kunne oppleves som overvåkning, eller i det minste kunne gi en følelse av å bli overvåket. Dette mener jeg kan resultere i at forbrukeren oppfører seg mer etter det han/hun forestiller seg er ønsket av ham/henne, selv om opposisjonelle forbrukere kanskje kan reagere på motsatt måte. Hva forbrukeren forestiller seg er ønsket av ham/henne, beror igjen på vedkommendes kunnskapsnivå og personlige oppfatning av formålet med målerbyttet, og har dermed sammenheng med hva slags informasjon som er gitt. I Matthies' modell kan slik atferdsendring begrunnes med endring i evalueringssteget og representerer forbrukerens økte vektleggelse av utslipp- og forbruksreduksjonsmål. Resultatet kan være at vanemønstre brytes, og forbrukeren forbraker mindre strøm.

7.4 Fordeler og ulemper ved analysemetoden

Ved en kvantitativ analyse, som utført i denne oppgaven, er det viktig å få kontrollert for så mange forklaringsvariabler som mulig. Av praktiske årsaker har det imidlertid ikke vært mulig å kontrollere for absolutt alle faktorer som kan påvirke strømforbruket i husstandene som i denne oppgaven er analysert. Dette avsnittet vil derfor ta for seg tilkortkomninger ved datamaterialet og analysen generelt, og hvorvidt disse kan redusere validiteten til resultatene.

7.4.1 Dummyvariabelen *DI*

Den estimerte koeffisienten for dummyvariabelen *DI*, er mål på hvor mange prosent mindre (eller mer) strøm det forbrukes i Steinkjer relativt til Odderhei og Søm. Denne forskjellen relaterer seg under antakelsene jeg har tatt, egentlig ikke bare til effekten av AMS-installasjon, men til deltakelse i demonstrasjonsprosjektet som helhet. Som nevnt, spenner undersøkelsene og målsettingene i Demo Steinkjer videre enn bare utrulling av AMS-målere i husstander, og det kan dermed tenkes at den estimerte reduksjonen i elektrisitetsforbruk påvirkes av aspekter ved demonstrasjonsprosjektet jeg ikke har oversikt over, for eksempel deltakelse i DeVID. Det er imidlertid slik at de fleste delprosjektene i Demo Steinkjer ikke relaterer seg til forbruk i sluttbrukermarkedet, men heller til mer tekniske aspekter ved nettmoderniseringen. Som jeg forklarer i neste avsnitt, er også husstander med smarthusteknologi, som gjerne er del av slike prosjekter, luket ut av utvalget. Det er likevel grunn til å tolke den estimerte effekten av AMS-installasjon med forsiktighet, og dersom forbruksendringene faktisk kommer som følge av tilleggsstimuli gitt gjennom delprosjekter, vil dette true den eksterne validiteten til undersøkelsene. Det vil i så fall bety at resultatene ikke kan generaliseres til å gjelde alle som etter hvert får AMS-måler installert.

7.4.2 Skjevhet i utvalget

Utvalget som er gjort av husstander i Demo Steinkjer, skal være et tilfeldig utvalg fra de rundt 800 husstandene som er innrullert i prosjektet. For å avgrense analysen til å omhandle kun eneboliger, har det imidlertid vært nødvendig å filtrere vekk forbruksmålinger fra husstander i leiligheter, rekkehus og tomannsboliger ved uthenting av forbruksdata fra REST-APIet til prosjektet. I tillegg er husstander med smartteknologi luket ut av utvalget, da denne typen teknologi antas å kunne ha effekt på strømforbruket eller indikere at husstanden har deltatt i delprosjekter som undersøker potensialet for laststyring. Problemet med filtreringen og dermed begrensningen av utvalget, er at informasjonen om husstandstype stammer fra spørreskjema utsendt til husstandene. Av de rundt 800 deltakende husstandene var det kun 118 som responderte på dette spørreskjemaet, og utvalget kan derfor inneholde skjevhet i og med at en kun velger blant husstander som har respondert på skjemaet. En kan for eksempel tenke seg at de som responderte på spørreskjemaet generelt er mer pliktoppfyllende eller har større interesse for demonstrasjonsprosjektet. Dersom dette er tilfellet, eller de 118 husstandene på en annen måte er systematisk ulike de som valgte å ikke svare på spørreskjemaet, er ikke utvalget lenger tilfeldig og inneholder skjevhet.

Utvalget av eneboliger fra Odderhei/Søm kan på den annen side betegnes som fullstendig tilfeldig.

7.4.3 Begrenset tidsperiode

Tidsperioden som analyseres (mars 2013 til og med mars 2015), er naturlig begrenset av oppstartstidspunktet til Demo Steinkjer og de deretter følgende installasjonstidspunkter for de nye målerne. Dette legger begrensninger på hvor bastant en kan konkludere med at effekten som er påvist, er en vedvarende effekt. Siden resultatene fra sammenlikningen mellom Steinkjer og Odderhei/Søm gjerne beror på psykologiske faktorer, vil spørsmålet om effekten av installasjonen av AMS-målere vedvarer over lengre tid være av betydning.

7.4.4 Ulemper ved å sammenlikne forbruk i to forskjellige områder

Når en sammenlikner to så forskjellige områder som Steinkjer i Nord-Trøndelag og Odderhei/Søm i Vest-Agder, oppstår det en rekke utfordringer. I tillegg til at en må korrigere eller kontrollere for temperatur(forskjeller) og andre områdespesifikke faktorer, er det mulig at det foreligger systematiske forskjeller mellom de ulike områdene på husstands nivå. Uten informasjon om dette, må en godta at mye variasjon ikke forklares. Det er, som nevnt, likevel slik at dersom disse utelatte faktorene er ukorrelert med de inkluderte uavhengige variablene, noe som kan være rimelig å anta i tilfellet for denne analysen, vil estimatene fortsatt være uten skjevhet.

7.4.5 Fordeler ved å sammenlikne forbruk i samme tidsrom

Når en sammenlikner to forskjellige områder og dermed unike husstander, har en muligheten til å analysere strømforbruket i samme tidsperiode. Dette er en fordel fordi husstandene da har stått overfor tilnærmet samme tidsbestemte heterogenitet. Ved å sammenlikne forbruket over samme tidsrom, unngår en slik at variasjon i forbruket som kan skyldes uobserverte sjokk tillegges ulik vekt mellom utvalgene.

7.5 Forslag til videre arbeid

Fra NTE, som er nettoperatøren i Nord-Trøndelag, har jeg ikke lyktes å innhente forbruksdata fra husstandene innrullert i Demo Steinkjer fra før AMS-målerne ble utrullet. Dersom disse dataene hadde vært tilgjengelige, og det hadde vært mulig å identifisere de aktuelle husstandene for sammenlikning, kunne en utført en tilpasset versjon av en eventstudie. Estimaten fra en slik undersøkelse ville inneholdt mindre usikkerhet enn de som er fremkommet i denne analysen, fordi de individspesifikke effektene kunne vært identifisert og forbruket i en husstand sammenliknet med forbruket i samme husstand før målerbytte.

Dersom en får tilgang til profilmålt forbruksdata fra husstander i Steinkjer eller nærliggende områder for den samme perioden som er analysert i denne oppgaven, ville det vært interessant å se om en kunne kommet til samme konklusjoner. Ved en slik analyse vil i så fall temperatur- og prisvariabler være "like" for alle husstander.

Jeg vet at LOS AS vurderer å inkludere informasjon om husstandene i form av antall husholdningsmedlemmer og boligstørrelse mm. i websystemet de benytter, så det er mulig at det ved en senere anledning også er mulig å utvide analysen gjennomført i denne masteroppgaven for å få kontrollert for flere husstandsspesifikke faktorer. Da vil i så fall graden av usikkerhet i estimatene reduseres.

Det hadde videre vært interessant å gjennomføre en analyse når det etter hvert foreligger målinger over en lengre periode. Slik kan en evaluere om konserveringseffekten også er vedvarende over lengre tid.

Kapittel 8: Konklusjon

For å besvare problemstillingen formulert i første kapittel av denne masteroppgaven, har forbruksdata fra eneboliger med AMS-måler innrullert i Demo Steinkjer blitt sammenliknet med forbruksdata fra eneboliger med profilmålte anlegg i Odderhei/Søm over en 25-måneders periode mellom mars 2013 og mars 2015 ved hjelp av estimater fra OLS og 2SLS. Selv om det absolutte elektrisitetsforbruket har vært høyere for husstandene i Steinkjer, er det vist at dette beror sterkt på at det generelt har vært lavere lufttemperatur her i perioden. Det er fremkommet at lufttemperaturen har signifikant påvirkning på elektrisitetsforbruket i begge områdene i perioden som ligger til grunn, og at de tre inkluderte variablene for graddager forklarer omtrent 40 prosent av variasjonen i forbruket. Variabelen som er inkludert for å forklare prisvariasjon og -forskjell er estimert å ha insignifikant påvirkning på elektrisitetsforbruket.

Etter å ha kontrollert for temperatur og pris er det i denne oppgaven, under et sett med antakelser, estimert at elektrisitetsforbruket for husstandene innrullert i Demo Steinkjer har vært 11 ± 5 prosent lavere enn forbruket i utvalget i Vest-Agder i perioden. I tillegg er husstandene i Steinkjer estimert mindre temperaturfølsomme, noe som tilsier at forskjellen mellom områdene øker ved lavere temperaturer. Dersom NVEs modell for temperatur- og stedskorrigerings legges til grunn, er det estimerte strømforbruket hele 27 ± 3 prosent lavere for husstandene med AMS-måler i Steinkjer etter at det er kontrollert for pris. Jeg velger imidlertid å tolke begge resultatene med forsiktighet, ettersom det er flere faktorer jeg ikke har hatt mulighet for å kontrollere for.

Jeg har i diskusjonsdelen argumentert for at informasjon og kommunikasjon til forbrukeren ved målerbytte kan være en suksessfaktor dersom elektrisitetskonservering er målet. Slik kan AMS-installasjonen være ledd i endring i responsdrivere og dermed, via endring i kunnskap, holdninger og/eller preferanser, påvirke direkte drivere for energiforbruk, resulterende i redusert elektrisitetsforbruk i husstandene. Jeg har videre argumentert for at overvåkningselementet ved AMS-måleren kan forsterke denne effekten.

For å besvare problemstillingen vil jeg derfor si at det kan se ut til at AMS-installasjon kan ha konserverende effekt på elektrisitetsforbruket i private husstander. Effekten synes videre å forsterkes betydelig i perioder med lavere temperaturer.

Referanser

Adair, J. (1984). The Hawthorne effect: a reconsideration of the methodological artifact. *Journal of applied psychology*, volum 69 , pp. 334-345.

AEI. (2015). *ENØK-guiden - innetemperatur*. Hentet November 11, 2015 fra Webområde for Akershus Enøk og Inneklima as: http://www.enok.no/enokguiden/02_1.html

AEIC. (2009). *Demand Reponse Measurement & Verification - Applications for Load Research*. Association of Edison Illuminating Companies.

Albadi, M. H., & El-Saadany, E. F. (2007). *Demand Response in Electricity Markets: An overview*. Waterloo: IEEE.

Allison, P. (2012, September 10). *When Can You Safely Ignore Multicollinearity?* Hentet Desember 11, 2015 fra Webområde for Statistical Horizons: <http://statisticalhorizons.com/multicollinearity>

Andersen, F. M., Jensen, S. G., Larsen, H. V., Meibom, P., Ravn, H., Skytte, K., et al. (2006). *Analyses of Demand Response in Denmark*. Risø National Laboratory.

Aune, M. (2007, Juli 12). Energy comes home. *Energy Policy* (35) , pp. 5457-5465.

Balijepalli, V. S., Pradhan, V., Khaparde, S. A., & Shereef, R. M. (2011). Review of Demand Response under Smart Grid Paradigm. *Innovative Smart Grid Technologies - India* , pp. 236-243.

Bleskestad, B., Holstad, M., & Aanensen, T. (2015, April). Regionale forskjeller i husholdningenes strømpris 2009-2013 - Strømprisen avhengig av hvor man bor. *Samfunnsspeilet* .

Boverket. (2010). *Energi i bebyggelsen – tekniska egenskaper och betraktninger - resultat från projektet BETSI*. Karlskrona: Boverket.

Bye, T., & Hope, E. (2005, Desember 10). Deregulation of electricity markets. The Norwegian experience. *Economic and Political weekly* , pp. 5269-5278.

Bye, T., & Hope, E. (2006, November). Electricity market reform - the Norwegian Experience. *In Competition and Welfare - the Norwegian experience* , pp. 21-50.

- Bøe, J., Laselle, S., Gebes, C., & Sandnes, A. (2012). *Muligheter og utfordringer med laststyring i smarte nett med fokus på elbiler*. Trondheim: Eksperter i team, NTNU.
- Bøe, J., Lasselle, S., Gebes, C., & Sandnes, A. (2012). *Muligheter og utfordringer med laststyring i Smarte nett med fokus på elbiler*. Trondheim: Eksperter i team, NTNU.
- Bøeng, A. C. (2014, April). Energibruk i husholdningene 2012. *Samfunnsspeilet*, pp. 9-15.
- Carroll, E., Hatton, E., & Brown, M. (2009). *Residential Energy Use Behaviour Change Pilot*. Minnesota: Franklin Energy.
- CEB. (2015). *Demand Side Management*. Hentet September 14, 2015 fra Webområde for Ceylon Electricity Board: <http://www.ceb.lk/sub/knowledge/demandside.html>
- Datatilsynet. (2010, November 25). *Automatiske målesystemer (AMS) kan registrere atferd i hjemmet*. Hentet Desember 10, 2015 fra Webområde for datatilsynet: <https://www.datatilsynet.no/Teknologi/Stromavlesing/>
- DECC. (2013, Mai 30). *Domestic electricity prices in the IEA*. Hentet September 25, 2015 fra Webområde for Department of Energy & Climate Change: <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/international-domestic-energy-prices>
- Demo Steinkjer. (2015). *Om Demo Steinkjer*. Hentet Oktober 20, 2015 fra Webområde for Demo Steinkjer: <https://www.demosteinkjer.no/om-demo-steinkjer/itemlist/category/11-om-demo-steinkjer/>
- Drukker, D. M. (2003). Testing for serial correlation in linear panel-data models. *The Stata Journal*, pp. 168-177.
- Døhl, Ø. (1998). *Temperaturkorrigering av energiforbruket - En empirisk analyse*. Statistisk sentralbyrå.
- EIA. (2015). *Drivers of U.S. Household Energy Consumption, 1980-2009*. Washington: U.S Department of Energy.
- EnergiNorge. (2015). *Kundekommunikasjon*. Hentet Desember 5, 2015 fra Webområde for EnergiNorge: <http://www.energinorge.no/smartstrom/kundekommunikasjon/>
- Enova. (2014). *Enovas byggstatistikk 2014*. Trondheim: Enova.

Enova. (2015). *Historiske graddagstall*. Hentet Desember 14, 2015 fra Webområde for Enova: <http://www.enova.no/radgivning/naring/kundenare-radgivere/bygningsnettverket/graddagstall/historiske-graddagstall/290/429/>

Ericson, T. (2007). *Improving the power market performance by automatic meter reading and time-differentiated pricing*. Statistics Norway.

EU. (2009, April 23). Directive 2009/28/EC. *Official Journal of the European Union* .

EU. (2015, Juni 6). *Europe 2020 targets*. Hentet Oktober 22, 2015 fra Webområde for den europeiske union: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_en.htm

Fischer, C. (2008, Mai 6). Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency* , pp. 79-104.

French, J. R. (1953). Experiments in field settings. *Research methods in the behavioral sciences* , pp. 98-135.

Gellings, C. (1985, Oktober). The concept of demand-side management for electric utilities. *Proceedings of the IEEE* , Volume: 73 (Issue: 10), pp. 1468-1470.

Hafslund. (2015). *Slik fungerer strømmarkedet*. Hentet September 25, 2015 fra Webområde for Hafslund ASA: http://www.hafslund.no/strom/bedrift/slik_fungerer_strommarkedet/2063

Hauer, E., & Bamfo, J. (1997). Two Tools for Finding What Function Links the Dependent Variable to the Explanatory Variables. *Proceedings of the ICTCT 1997 Conference, Lund, Sweden* .

Haug, T. E. (2004). *Eierkonsentrasjon og markedsrett i det norske kraftmarkedet*. Statistisk sentralbyrå.

Hille, J., Simonsen, M., & Aall, C. (2011). *Trender og drivere for energibruk i norske husholdninger*. Sogndal: Vestlandsforskning.

Holstad, M., & Pettersen, F. E. (2011, Februar). Hvordan reagerer strømforbruket i allminnelig forsyning på endringer i spotpris? *Økonomiske analyser* , pp. 27-31.

IEA. (2015). *Energy efficiency*. Hentet September 10, 2015 fra Webområde for International Efficiency Agency: <http://www.iea.org/topics/energyefficiency/>

IFE. (2013). *Future energy demand - a Norwegian review*. Kjeller: Institute for Energy Technology.

Kure, H. M. (2011). *Strømforbruk i norske husholdninger*. Trondheim: Institutt for elkraftteknikk, NTNU.

Lipczynski, J., Wilson, J. O., & Goddard, J. (2013). *Industrial Organization - Competition, Strategy and Policy*. Harlow: Pearson Education Limited.

Ljones, A., Nesbakken, R., Sandbakken, S., & Aaheim, A. (1992). *Energibruk i husholdningene - Energiundersøkelsen 1990*. Oslo - Kongsvinger: Statistisk Sentralbyrå.

Magnussen, I., Spilde, D., & Killingland, M. (2011). *Energibruk i fastlands-Norge*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Matthies, E. (2005). How can psychologists better put across their knowledge to practioners? Suggesting a new, integrative influence model of pro-environmental everyday behaviour. *Umweltpsychologie, volum 9, utgave 1*, pp. 62-81.

McKinsey. (2010). *The smart grid and the promise of demand-side management*. Hentet September 24, 2015 fra Webområde for McKinsey & Company:
http://www.mckinsey.com/client_service/electric_power_and_natural_gas/latest_thinking/mckinsey_on_smart_grid

Menard, S. (2008). *Handbook of Longitudinal Research: Design, Measurement, and Analysis*. Burlington: Academic Press.

Meteorologisk institutt. (2015). *Månedsverdier, temperatur, eKlima*. Hentet Oktober 20, 2015 fra Webområde for Meteorologisk institutt:
http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39063&_dad=portal&_schema=PORTAL

Nord Pool Spot. (2015). *Bidding Areas*. Hentet September 09, 2015 fra Webområde for Nord Pool Spot: <http://www.nordpoolspot.com/How-does-it-work/Bidding-areas/>

Nord Pool Spot. (2015, September 29). *Elspot prices*. Hentet Oktober 26, 2015 fra webområde for Nord Pool Spot: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/NO/Monthly/?view=table>

- NTNU & SINTEF. (2007). *ENØK i bygninger*. Oslo: Gyldendal.
- NVE. (2014, April 15). *AMS - smarte strømmålere*. Hentet Oktober 22, 2015 fra Webområde for Norges vassdrags- og energidirektorat: <http://www.nve.no/ams>
- NVE. (2014). *Energibruksrapporten 2013*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2011). *Energistatus*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2013). *Energy Consumption 2012*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2015). *Nettleiestatistikk husholdninger - 2005 og nyere*. Hentet November 17, 2015 fra Webområde for Norges vassdrags- og energidirektorat: <http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Nettleie1/Nettleiestatistikk/Nettleiestatistikk-husholdninger---2005-og-senere/>
- OED. (2013). *Fakta 2013 - Energi- og Vannressurser i Norge*. Olje- og Energidepartementet.
- Petersen, K. N., & Gram-Hansen, K. (2005). *Husholdningers energi- og vandforbrug, afhængighed af socio-økonomiske baggrundsvariable*. Hørsholm: SBI.
- Pindyck, R., & Rubinfeld, D. (2012). *Microeconomics: International edition*. Pearson Higher Ed USA.
- PNWSGD. (2015). *Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project Technology Performance Report Volume 1: Technology Performance*. Washington: Battelle Memorial Institute.
- Quandl. (2015). *European Energy Exchange*. Hentet November 1, 2015 fra Webområde for Quandl: <https://www.quandl.com/data/EEX>
- Regjeringen. (2011, Desember 19). *Fornybardirektivet en del av EØS-avtalen*. Hentet Oktober 22, 2015 fra Webområde for regjeringen: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/fornybardirektivet-en-del-av-eos-avtalen/id667482/>
- Regjeringen. (2014, November 14). *Klimarforliket*. Hentet Oktober 22, 2015 fra Webområde for regjeringen: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimaforliket/id2076645/>

Roethlisberger, F. J., & Dickson, W. (1939). *Management and the worker*. Cambridge: Harvard University Press.

SSB. (2015). *Elektrisitet, årstal - tabell 08308*. Hentet September 25, 2015 fra Webområde for Statistisk sentralbyrå:

<https://www.ssb.no/statistikkbanken/selecttable/hovedtabellHjem.asp?KortNavnWeb=elektrisitetaar&CMSSubjectArea=energi-og-industri&checked=true>

SSB. (2014, Desember 12). *Familier og husholdninger, 1. januar 2014*. Hentet Desember 9, 2015 fra Webområde for Statistisk sentralbyrå: <https://ssb.no/familie>

SSB. (2013, Februar 26). *Folke- og boligtellingsen, boliger, 19. november 2011*. Hentet November 12, 2015 fra Webområde for Statistisk sentralbyrå:

<http://ssb.no/befolkning/statistikker/fobbolig/hvert-10-aar/2013-02-26?fane=om#content>

Staiger, D., & Stock, J. H. (1997, Mai). Instrumental Variables Regression with Weak Instruments. *Econometrica*, pp. 557-586.

Statkraft. (2015). *Vannkraft*. Hentet September 25, 2015 fra Webområde for Statkraft:

<http://www.statkraft.no/energikilder/vannkraft/>

Stenby, O. C. (2014, Desember 8). *Slik virker huset ditt*. Hentet November 11, 2015 fra Webområde for BYGG og BEVAR: <http://www.byggogbevar.no/miljoe-og-enoek/artikler-miljoe-og-enoek/slik-virker-huset-ditt.aspx>

Stern, P. C., & Aronson, E. (1984). *Energy Use: The Human Dimension*. New York: W. H. Freeman & Company.

Studenmund, A. H. (2010). *Using Econometrics: A Practical Guide, 6. utgave*. Prentice Hall.

Torriti, J., Hassan, M. G., & Leach, M. (2010, April). Demand Response in Europe: Policies, Programs and Implementation. *Energy, Volume 35, utg. 4*, ss. 1575-1583.

Wangensteen, I. (2012). *Power system economics - The Nordic Electricity Market, 2.utg.* Trondheim: Tapir Academic Press.

Wickström, G., & Bendix, T. (2000). The "Hawthorne effect" - what did the original Hawthorne studies actually show? *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, volum 26(4)*, pp. 363-367.

Wooldridge, M. J. (2013). *Introduction to Econometrics*. Hampshire: Cengage Learning EMEA.

Zimmermann, J. P. (2009). *End-use metering campaign in 400 households in Sweden - Assessment of the Potential Electricity Savings*. Eskilstuna: Enertech.

Vedlegg

Vedlegg 1: Demonstrasjonsprosjektet i Idaho Falls, USA

Presentasjonen av dette prosjektet baserer seg i hovedsak på rapporten fra ”Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project” (PNWSGD) (PNWSGD, 2015)

Generelt

Idaho Falls er en liten by i Nordvest-USA og denne byen var ett av teststedene som ble brukt under gjennomføringen av PNWSGD, et av de største demonstrasjonsprosjektene noen gang gjennomført omhandlende nettmodernisering. ”Idaho Falls Power” er et kommunalt kraftselskap som betjener 22,4 tusen privatkunder og 3,7 tusen kommersielle kunder i Idaho Falls. I tillegg drifter byen 720 km overførings- og distribusjonslinjer samt 53,5 MW produksjon i form av sol-, vind- og vannkraft.

Fokusområdene for demonstrasjonsprosjektet i Idaho Falls var mange, deriblant, dog ikke begrenset til; varmtvannsberederkontroll, termostatkontroll, spenningsstyring og implementering av stokastisk produksjon (solkraft) og lagringskapasitet i form av batterier tilkoblet strømmettet. Det som er mest interessant å se på i forbindelse med denne masteroppgaven, er imidlertid deres analyse av energikonservering og -effektivitet gjennom undersøkelser av etterspørsel- og forbrukseffekter ved installasjon av AMS med og uten smartdisplay.

Beskrivelse av studiet

643 husstander dannet grunnlaget for undersøkelsen. 431 av disse fikk installert AMS-måler og et smartdisplay og utgjorde testgruppa, mens kontrollgruppa på 212 husstander kun fikk installert AMS. Forbruksdata fra perioden før AMS ble installert var begrenset til månedlige avlesninger, og regresjonen som ble gjennomført var derfor også basert på månedlige gjennomsnitt. Datasettet består av månedlig gjennomsnittlig forbruk i husstandene for både kontrollgruppa og testgruppa (Januar 2010 til og med Juli 2012), og forbruksdata fra alle husstandene med fem minutters intervaller i perioden August 2012 til og med September 2014 samt temperaturforhold i området. Med tilgang til data fra perioden før AMS ble installert, kunne undersøkelsen i tillegg til å estimere den isolerte effekten av smartdisplay også estimere konserveringseffekten av selve AMS-installasjonen.

Resultater

Gjennomsnittlig månedlig elektrisitetsforbruk for testgruppa *økte* med 2 ± 44 kWh etter installasjonen av AMS og smartdisplay. For kontrollgruppa, som altså bare fikk installert AMS, var resultatet en reduksjon på 92 ± 56 kWh i gjennomsnittlig månedlig forbruk.

Installasjonen av AMS uten smartdisplay førte altså til at kontrollgruppas forbruk ble signifikant redusert. Dette var imidlertid ikke tilfellet for testgruppa, og forskerne unngår å konkludere rundt hvilken effekt smartdisplayet har på forbruket.

Disse resultatene er litt overraskende, da mye av litteraturen beskriver tilbakemelding til konsumenten som en kritisk suksessfaktor for endret atferd og økt bevissthet rundt eget strømforbruk. Denne undersøkelsens resultater understøtter imidlertid hypotesen fremlagt i denne oppgaven; at installasjonen av AMS isolert sett kan ha en konserverende effekt på forbruket.

Vedlegg 2: NVEs modell for temperaturkorrigering

Istedenfor å inkludere temperaturvariabler direkte i regresjonene, er en annen mulighet å temperaturkorrigere elektrisitetsforbruket før dette analyseres videre. Vanligvis brukes slik temperaturkorreksjon for å normalisere forbruksdata med hensyn til temperatur slik at de ved sammenlikning fra år til år eller periode til periode gir et riktig bilde av utviklingen i forbruket. Slik kan en fastsette hvor mye av endringen i energiforbruket fra en periode til en annen skyldes temperaturmessige forhold, og hvor mye som kan tillegges andre påvirkningsfaktorer og slik identifisere trender i utviklingen. I dette vedlegget vil NVEs modell presenteres, for så å anvendes i en tilpasset form på datasettet for Steinkjer og Odderhei/Søm.

Formelen som brukes ved temperaturkorrigering av energibruken (for en husstand over én måned) er fremstilt under, der E_{TK} er temperaturkorrigert energibruk, E_M er målt energibruk i den aktuelle perioden, A_{TA} er andel temperaturavhengig energibruk, A_{TU} , er andel temperatu-uavhengig energibruk, mens GDT_N og GDT_M er antall graddagstall i henholdsvis en normalperiode og den målte perioden.

$$E_{TK} = E_M \left(A_{TA} \frac{GDT_N}{GDT_M} + A_{TU} \right)$$

Hvor stor andel av energien som er temperaturavhengig (A_{TA}) er tilnærmet ensbetydende med hvor stor andel av energien som brukes til oppvarming. NVE anslår i sin Energibruksrapport at over 2/3 av energien brukt i husholdninger på årsbasis går til oppvarming (NVE, 2014). Det er imidlertid av Enova fastsatt en temperaturavhengig andel av elektrisitetsforbruket for eneboliger på 55 prosent (Enova, 2014). Dette legges til grunn videre i analysen.

Det er bestemt en internasjonal normalperiode som spenner fra 1961-1990, som har etterfulgt den forrige normalperioden, 1931-1960. Den neste normalen skal omfatte data fra perioden 1991-2020, og er følgelig ikke ennå klar for bruk. Graddagstallnormaler for 1961-1990 er tilgjengelig for alle målestasjoner fra Meteorologisk institutts nettbaserte datasamling, "eKlima". NVE benytter imidlertid en normal som bygger på et snitt av graddagstallene fra 1976-2012 (NVE, 2014). Det foreligger relativt tydelige bevis på at middeltemperaturen har vært stabilt høyere siden midten av 80-tallet, så det kan forsvares at yngre statistikk kanskje er nærmere "normalen" enn statistikken fra den internasjonalt bestemte normalperioden. Det er blitt mer og mer vanlig å benytte seg av slike rullende intervaller for fastsettelse av normaler. Her vil den nyeste normalperioden tilgjengelig fra meteorologisk institutt (1981-2010), legges til grunn.

I tilfellet for undersøkelsene i denne masteroppgaven vil temperaturforskjeller mellom Odderhei/Søm og Steinkjer gi forskjellig utslag i elektrisitetsforbruket i de to områdene. Forbruket må derfor normaliseres i begge områdene før det kan sammenliknes, så variasjon som skyldes lokale temperaturforskjeller ikke påvirker de estimerte effektene av AMS-installasjonen på forbruket. Forbruket i Odderhei/Søm og Steinkjer korrigeres derfor først i forhold til respektive historiske normaltemperaturer i områdene, for så å stedkorrigeres for normalforholdet mellom områdene. Jeg har valgt å stedskorrigere forbruket i Steinkjer i forhold til Odderhei/Søm-klimaet. Formelen for stedskorrigering (for en husstand over én måned i Steinkjer) vil da se slik ut:

$$E_{TSK} = E_{TK} \left(A_{TA} \frac{GDT_{NO}}{GDT_{NS}} + A_{TU} \right),$$

der E_{TSK} er temperatur- og stedskorrigert elektrisitetsforbruk, GDT_{NO} er normalgradtall for Odderhei/Søm og GDT_{NS} er normalgradtall for Steinkjer.

Å temperaturkorrigere på denne måten har implikasjoner for hvorvidt det absolutte forbruket i de to områdene fremstilles i riktig størrelsesorden. En skal derfor være forsiktig med å tolke det temperaturkorrigerede forbruket som forbruk dersom det hadde vært et temperaturmessig normalår. Det kan heller tolkes som elektrisitetsforbruk slik det hadde vært dersom det hadde vært lik temperatur i Steinkjer som i Odderhei og Søm. Det relative forbruket er altså det jeg er opptatt av i denne analysen og ved å korrigere forbruket i de to områdene etter samme normal, muliggjøres sammenlikning på tvers av områdene.

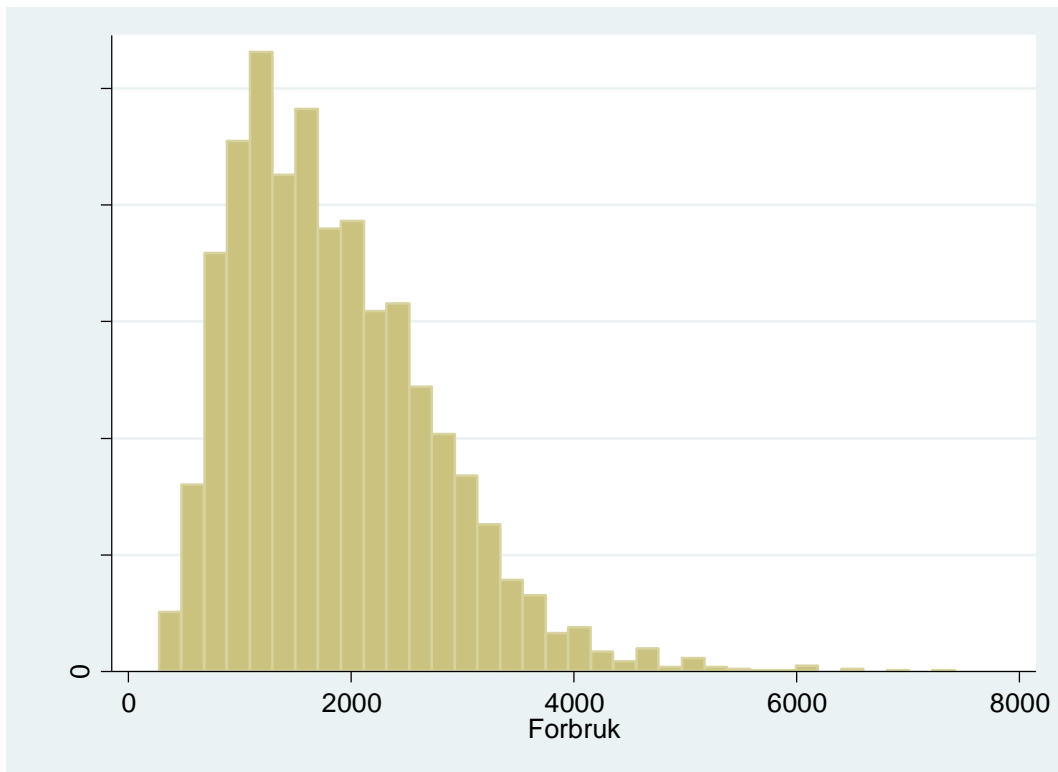
Regresjonsmodellen jeg legger til grunn har etter temperaturkorrigering kun to forklaringsvariabler, og det er dummy for område 1 (Steinkjer) og prisvariasjon som naturlig logaritme av månedlige gjennomsnitt av spotprisen. Som avhengig variabel benyttes $\ln ETSK$, som er den naturlige logaritmen av temperatur- og stedskorrigert strømforbruk, E_{TSK} .

$$\ln ETSK_{ht} = \beta_0 + \sum_{t=1}^{24} \beta_t P_t + \beta_{25} D1_h + \beta_{26} \ln Spotpris_{ht} + u_{ht}$$

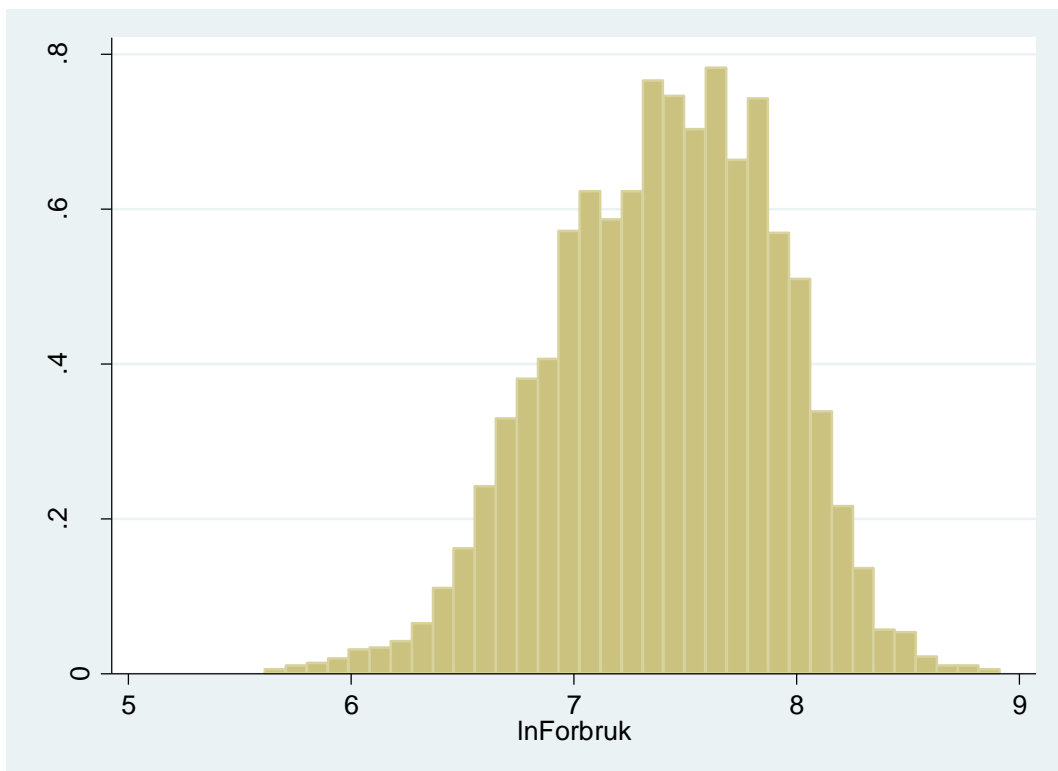
Koeffisienten for spotprisen er også her estimert insignifikant, mens koeffisienten for $D1_h$, β_1 , er høyst signifikant med estimert verdi lik -0,267 og Newey-West robuste standardfeil på

0,03. Estimater fra OLS for NVEs modell for temperaturkorreksjon tilsier altså at temperatur- og stedskorrigert elektrisitetsforbruk i Steinkjer er 27 ± 3 prosent lavere enn i Odderhei/Søm. Dette er et enda høyere estimat for reduksjon i strømforbruk i Steinkjer enn resultatet fra hovedanalysen, men inkluderer altså ikke mål for ulik forbruksrespons i de to områdene på kaldt vær.

Vedlegg 3: Transformasjon av forbruksvariabelen



Figur 28 - Histogram for uttransformert elektrisitetsforbruk



Figur 29 - Histogram for elektrisitetsforbruk transformert ved den naturlige logaritmen

Vedlegg 4: Graddagstall og normaler

Graddagstall		
	Steinkjer	Odderhei og Søm
Mars 2013	620	565
April 2013	412	397
Mai 2013	161	192
Juni 2013	107	92
Juli 2013	89	23
August 2013	97	36
September 2013	187	122
Oktober 2013	360	234
November 2013	455	369
Desember 2013	494	362
Januar 2014	636	484
Februar 2014	404	381
Mars 2014	449	361
April 2014	355	268
Mai 2014	229	187
Juni 2014	141	48
Juli 2014	14	11
August 2014	73	51
September 2014	177	93
Oktober 2014	315	185
November 2014	458	312
Desember 2014	563	448
Januar 2015	561*	435*
Februar 2015	496*	436*
Mars 2015	429*	400*
<i>* egne beregninger fra månedlige middeltemperaturer</i>		

Tabell 4 - Graddagstall for Steinkjer og Odderhei/Søm, henholdsvis Søndre Egge målestasjon og aritmetisk gjennomsnitt av Kjevik målestasjon og Oksøy fyr målestasjon. (Enova, 2015; Meteorologisk institutt, 2015)

Normaler 1981-2010		
	Steinkjer	Odderhei og Søm
Januar	633	504,5
Februar	572	470
Mars	540	462
April	395	346,5
Mai	256	210
Juni	142	102
Juli	84	42,5
August	101	50,5
September	215	135,5
Oktober	373	260,5
November	506	374
Desember	602	486

Tabell 5 - Graddagstallnormaler (1981-2010) for Steinkjer og Odderhei/Søm, henholdsvis Søndre Egge målestasjon og aritmetisk gjennomsnitt av Kjevik målestasjon og Oksøy fyr målestasjon (Enova, 2015)

Vedlegg 5: Spotpriser

Månedlige gjennomsnitt av spotpriser (NOK/MWh)		
	NO3 (Tr.heim)	NO2 (Kr.sand)
Mars 2013	333,05	338,24
April 2013	349,04	359,37
Mai 2013	279,6	279,59
Juni 2013	263,98	250,17
Juli 2013	268,27	260,25
August 2013	287,44	259,35
September 2013	345,14	282,68
Oktober 2013	337,19	297,4
November 2013	305,51	293,76
Desember 2013	272,78	271,45
Januar 2014	275,67	278,11
Februar 2014	254,13	250,34
Mars 2014	225,87	218,34
April 2014	228,44	189,95
Mai 2014	281,25	157,3
Juni 2014	252,65	155,89
Juli 2014	248,77	224,64
August 2014	274,02	246
September 2014	298,06	271,42
Oktober 2014	269,77	228,24
November 2014	269,56	237,14
Desember 2014	283,54	279,29
Januar 2015	272,29	255,49
Februar 2015	244,76	246,16
Mars 2015	218,78	214,27

Tabell 6 - Månedlige gjennomsnitt av spotpriser i NO2 og NO3, NOK/MWh (Nord Pool Spot, 2015)

Vedlegg 6: PHELIX prisindeks

Månedlige gjennomsnitt av PHELIX (EUR/MWh)	
Mars 2013	39,0
April 2013	38,0
Mai 2013	38,8
Juni 2013	38,8
Juli 2013	36,9
August 2013	38,5
September 2013	41,0
Oktober 2013	37,5
November 2013	39,1
Desember 2013	35,4
Januar 2014	45,9
Februar 2014	41,4
Mars 2014	36,6
April 2014	36,2
Mai 2014	36,6
Juni 2014	34,7
Juli 2014	32,2
August 2014	34,9
September 2014	45,2
Oktober 2014	37,2
November 2014	31,3
Desember 2014	32,3
Januar 2015	38,2
Februar 2015	38,9
Mars 2015	17,9

Tabell 7 - Månedlige gjennomsnitt av PHELIX prisindeks, EUR/MWh (Quandl, 2015)