



Rapport 2019/12 | For Statnett



Hvordan avbruddskostnader utvikler seg over tid

Delprosjekt 3 i FOU-prosjektet *Mot en bedre forståelse av kostnad og ulempe av strømbrudd*

Michael Hoel, Orvika Rosnes, Magnus Skeie og Haakon Vennemo

Dokumentdetaljer

Tittel	Hvordan avbruddskostnader utvikler seg over tid
Rapportnummer	2019/12
ISBN	978-82-8126-408-3
Forfattere	Michael Hoel, Orvika Rosnes, Magnus Skeie og Haakon Vennemo
Prosjektleder	Haakon Vennemo
Kvalitetssikrer	John Magne Skjelvik
Oppdragsgiver	Statnett
Dato for ferdigstilling	5. juni 2019
Kilde forsidefoto	Foto Chr. Hansen, Tromsø/Perspektivet Museum
Tilgjengelighet	Offentlig
Nøkkelord	KILE, avbruddskostnader, samfunnsøkonomisk metode

Om Vista Analyse

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

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

Forord

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

5. juni 2019

Haakon Vennemo

Partner

Vista Analyse AS

Innhold

Sammendrag og konklusjoner	7
1 Innledning	11
1.1 Hovedtrekk i mandatet	11
1.2 Kommentar til mandatet	12
1.3 Disposisjon av rapporten	12
2 Prinsipielt om avbruddskostnader	13
2.1 Etterspørsel, konsumentoverskudd og avbruddskostnader	13
2.2 Endringer i konsumentoverskudd over tid	15
2.3 Alternative metoder for å anslå avbruddskostnader	20
2.4 Avbruddskostnader for næringslivet	21
2.5 Etterspørsels- og tilbudskurver i sammenheng	25
2.6 Usikkerhet om utviklingen i avbruddskostnader	26
3 Etterspørselastisiteter på kort og lang sikt	28
3.1 Hva finner forskningslitteraturen om elastisiteter?	29
4 Avbruddskostnader over tid i tidligere norsk arbeid	33
4.1 SINTEF og Pöry (2012)	33
4.2 Vista Analyse (2017)	34
4.3 Anbefalinger i SINTEF og Pöry (2012)	35
5 Internasjonal forskning og praksis	37
5.1 Internasjonal forskning	37
5.2 Internasjonal praksis	39
6 Anbefalinger til Statnett	43
Referanser	46
Vedlegg	48
A Utregninger og bevis	48
Figurer	
Figur 2.1 Etterspørsel, pris og konsumentoverskudd i elmarkedet	14
Figur 2.2 Et parallelt skift utover av etterspørselskurven	17
Figur 2.3 Et proporsjonalt skift utover i etterspørselen	18
Figur 2.4 Et proporsjonalt skift oppover i etterspørselskurven	19
Figur 2.5 Etterspørsel etter elektrisitet fra en enkelt bedrift under forutsetninger forklart i teksten	23
Figur 2.6 Etterspørselen etter elektrisitet fra fire bedrifter under forutsetninger forklart i teksten	24
Figur 2.7 Tilbud og etterspørsel etter elektrisitet over tid	25
Figur 3.1 Fordeling av priselastisiteter i studiene i Zhu m.fl. (2018)	29
Figur 3.2 Fordeling av inntektselastisitet i studiene i Zhu m.fl. (2018)	31

Tabeller

Tabell 3.1	Priselastisitet i utvalgte studier.....	30
Tabell 3.2	Inntektselastisitet i utvalgte studier	31
Tabell 4.1	Resultater fra regresjonsanalyse av mulige forklaringsfaktorer for normalisert avbruddskostnad	34
Tabell 4.2	Resultater fra regresjonsanalyse av mulige forklaringsfaktorer for oppgitt betalingsvillighet. Prosentvis endring i betalingsvillighet ved utslag i dummyvariable og ved én prosent økning i kontinuerlige variable.....	35
Tabell 4.3	Anbefalinger for justering av KILE-satser over tid i SINTEF og Pöyry (2012b)	35

Fant ingen figurlisteoppføringer.

Sammendrag og konklusjoner

Vi har vurdert hvordan den samfunnsøkonomiske kostnaden ved avbrudd i strømforsyningen utvikler seg over tid. Det er mye som taler for at avbruddskostnaden per kWh er konstant i reelle termer, og den samlede avbruddskostnaden utvikler seg i takt med forbruksveksten. Dette gjelder både for husholdninger og andre sluttbrukere. Vi bygger vår konklusjon på en omfattende prinsipiell analyse, men den er også i tråd med praksis i andre land og i tråd med anbefalingen i tidligere forskning på området.

I mange av nettselskapenes investeringer er færre og kortere strømbrydd en del av forventet nytte, som vi gjerne kaller avbruddskostnad. Investeringsprosjekter har ofte en langsiktig horisont og avbruddene vil da spre seg ut i tid. I denne sammenhengen oppstår spørsmålet om hvordan avbruddskostnaden bør fremskrives over tid. Rapporten prøver å besvare dette spørsmålet. Dette er ikke bare nyttig kunnskap for samfunnsøkonomiske analyser, men også for regulatoren NVE, som i forskrift bestemmer hvordan de såkalte KILE-satsene skal fremskrives.

I utgangspunktet er det uklart hvordan avbruddskostnaden bør fremskrives. Samfunnet blir stadig mer avhengig av strøm, og det kunne tale for at kostnaden ved å være uten strøm, øker over tid. Men samfunnet er også minst like dyktig som før til å sløse med strømmen, som kunne tale for at kostnaden ved å være uten strøm, kanskje er konstant eller til og med fallende over tid. For å rydde i de ulike argumentene gjennomfører vi en diskusjon der vi går systematisk og prinsipielt gjennom drivere som kan påvirke avbruddskostnaden. Den prinsipielle diskusjonen støttes av en gjennomgang av forskningslitteratur på området, og praksis i andre land.

Vi skiller mellom to former for avbruddskostnad: Samlet avbruddsskostnad er benevnt i kroner. Samfunnsøkonomisk sett er den lik samlet konsumentoverskudd som går tapt ved strømbrydd. Praktisk sett er den sammenliknbar med størrelsen *kostnaden ved et avbrudd* som inngår i KILE-ordningen. Avbruddskostnad per kWh er benevnt i kroner per kWh. Samfunnsøkonomisk sett er den lik samlet konsumentoverskudd dividert på energiforbruk i strømbryddperioden. Praktisk sett tilsvarer den det som ifølge EU og andre kalles value of lost load (VoLL).

Vi kaller konsumentoverskuddet V og konsumentoverskudd per kWh for v . Med x som indikator for forbruket, gjelder det at

$$V = vx$$

Analysen tyder på at konsumentoverskudd per kWh er konstant over tid i reelle termer

En eventuell endring i konsumentoverskudd per kWh må skyldes at noe skjer på tilbuds- eller etterspørselssiden av markedet. Dersom prisen i markedet endres, enten på grunn av at tilbudskurven skifter, eller etterspørselskurven skifter og tilbudskurven er stigende, viser vi at endringen i konsumentoverskudd per kWh er innrammet av de to størrelsene p/v , og ϵ . Her er p/v forholdet mellom pris og konsumentoverskudd per kWh. Størrelsen ϵ er priselastisiteten for strøm.

Om forholdet p/v vet vi fra empiriske undersøkelser at v for et times avbrudd ligger rundt 20 kroner. Hvis vi for enkelhets skyld antar at prisen per kWh 1 krone, blir p/v anslagsvis 0,05. Om ϵ sier empi-

riske undersøkelser at 0,5 kan være et fornuftig anslag for en elastisitet som inkluderer såkalt lastflytting. Alt i alt betyr dette at 10 prosent økt pris endrer konsumentoverskudd per kWh med mellom minus 0,5 og pluss 5 prosent.

Vi har også sett på den situasjonen at prisen er konstant, men etterspørselen av ulike grunner flytter seg proporsjonalt utover i markedsdiagrammet. Her viser vi at endringen i konsumentoverskudd per kWh alltid er null.

Endelig har vi sett på den situasjonen at prisen er konstant, men etterspørselen flytter seg proporsjonalt oppover i markedsdiagrammet. Da får vi at endringen i konsumentoverskudd per kWh er innrammet av ϵ og p/v som over, men nå i motsatt orden: endringen spenner fra minus ϵ til pluss p/v og ti prosent høyere etterspørsel til enhver pris endrer konsumentoverskudd per kWh med mellom minus 5 og pluss 0,5 prosent.

Den prinsipielle diskusjonen omfatter også produsenter og produsentoverskudd. Produsenter kan tenkes å ha enda høyere v i forhold til p , og lavere ϵ siden lastflytting ofte er mindre aktuelt, slik at rammen for endring i produsentoverskudd per kWh er enda mindre enn for konsumentoverskudd.

Setter vi de ulike resultatene sammen, er vår vurdering at konsumentoverskudd per kWh for praktiske forhold kan betraktes som en konstant størrelse i reelle termer. Denne konklusjonen støttes av forskningslitteratur som har beregnet konsumentoverskudd per kWh på indirekte måter. Den støttes også av å se på andre lands praksis på området. Blant land det er naturlig å sammenlikne seg med, har vi ikke funnet noen som justerer den reelle verdien av konsumentoverskudd per kWh over tid.

Samlet konsumentoverskudd bør fremskrives med forbruket av elektrisitet

Siden mye taler for at størrelsen v , konsumentoverskudd per kWh er konstant over tid, så følger det av likningen $V = vx$ at samlet konsumentoverskudd, V i likningen, vokser over tid i takt med veksten i elektrisitetsforbruket x .

Denne konklusjonen gir intuisjon til det tidligere resultatet at v er konstant over tid. Mange kan være overrasket over at v er konstant over tid. Er ikke elektrisitet et gode vi har stadig mer bruk for? Blir vi ikke dessuten stadig mer velstående? Vil vi ikke dermed se høyere betalingsvilje over tid? Problemet med dette resonnementet er at det bare handler om telleren i uttrykket for konsumentoverskudd per kWh. Det kan være telleren stiger over tid, som følge av for eksempel inntektsvekst, men det gjør også nevneren. Vår analyse har vist at under rimelige forutsetninger vil forbruket stige omtrent likt med konsumentoverskuddet i kroner, og konsumentoverskudd per kWh vil være uendret i realverdi. Derimot vil samlet konsumentoverskudd stige i takt med forbruksveksten.

Konsumentoverskudd per kWh bør fremskrives med konsumprisindeksen

Vi samler våre konklusjoner i form av anbefalinger til Statnett.

Vår analyse peker klart på at konsumentoverskudd per kWh, altså v , er konstant i reelle termer. I en verden med prisstigning må vi fremskrive konsumentoverskudd per kWh med prisindeksen, men ikke noe mer. Hvis vi hovedsakelig er opptatt av husholdningers konsumentoverskudd per kWh, er konsumprisindeksen den beste prisindeksen. Ofte brukes konsumprisindeksen også for å fremskrive

prisstigning for andre aktører, og vi gjør neppe stor feil om vi bruker konsumprisindeksen som indikator for alle kundegruppers konsumentoverskudd per kWh.

Vi har gjennomgått praksis for fremskrivning av avbruddskostnad i land det er naturlig å sammenlikne seg med, og finner at alle land som har regler om fremskrivning, fremskriver med prisindeks. Dette støtter vårt råd.

Vi vil anbefale at anslag for konsumentoverskudd per kWh fremskrives med konsumprisindeksen.

Konsumentoverskudd i kroner bør fremskrives med forbruksveksten og konsumprisindeksen

Det følger av konklusjonen vi nettopp trakk om konsumentoverskudd per kWh, og likningen $V = vx$, at samlet konsumentoverskudd over tid er proporsjonal med forbruket x og dermed bør fremskrives med forbruksveksten. I hvert år må man i tillegg multiplisere med konsumprisindeksen relativt til utgangsåret.

Hvilken indikator for forbruksvekst å bruke, avhenger av hvilken informasjon man har og hva man er interessert i. Ideelt sett bør man ha tilgjengelig data for konsumentoverskudd for hver kundegruppe. Disse bør multipliseres med forbruksvekst for vedkommende kundegruppe, og man summerer til slutt.

Vi vil anbefale at anslag for samlet konsumentoverskudd som går tapt ved strømbrudd, fremskrives med anslag for forbruksveksten og konsumprisindeksen.

Tilgjengelige data taler for at forbruksveksten er lavere enn inntektsveksten

Det er ulike ting som driver forbruksvekst, blant annet priser, teknologiske muligheter, demografi, og inntekt. I enkelte sammenhenger vil en vurdere å bruke inntektsvekst som indikator for forbruksvekst. Denne indikatoren fanger opp inntekt per befolkning, og befolkningsvekst. I rapporten gjennomgår vi et utvalg internasjonale og nasjonale studier av inntektselastisiteten for elektrisitet. Alle får til resultat at inntektselastisiteten er lavere enn 1. Resultatene spriker, men et midtpunkt som virker å være et gjennomsnitt er den norske studien til Bye m.fl. (2008), som fant en inntektselastisitet nær 0,5. Bye m.fl. (2008) er imidlertid en gammel studie. Dette leder oss til følgende anbefaling:

Skal man bruke inntekt som indikator for forbruk, anbefaler vi inntil videre å legge til grunn at forbruksveksten er halvparten av inntektsveksten. Inntektselastisiteten for elektrisitet for ulike forbrukergrupper bør beregnes (estimeres) på nytt.

Kostnaden i KILE-ordningen bør fremskrives med konsumprisindeks og forbruk

Kostnaden i KILE-ordningen består av en rekke kompliserte ledd, men essensen er en størrelse kalt $k_{p,ref}$ for samlet konsumentoverskudd per kilowatt, og en størrelse P_{ref} for antall kilowatt. Kostnaden er benevnt i kroner. Den har formen $V = vx$ med x benevnt i effekt (kW). Samtidig brukes kostnaden om strømbrudd av endelig varighet og for våre formål er det ikke avgjørende at x i KILE-ordningen er benevnt i kW og ikke kWh.

Størrelsen P_{ref} oppdateres minst en gang i kvartalet slik at den til enhver tid gjenspeiler faktisk forbruk, se f.eks. Vista Analyse (2019). Størrelsen $k_{p,ref}$ skal oppdateres med konsumprisindeksen. Det betyr at KILE-kostnaden per i dag holdes løpende oppdatert på en måte som er i samsvar med vår anbefaling for oppdatering av samlet konsumentoverskudd. Vi vil i tillegg gi følgende anbefaling:

Dersom kostnaden i KILE-ordningen brukes som grunnlag for fremskrivning av avbruddskostnader, bør størrelsen P_{ref} fremskrives med forbruksveksten og størrelsen $k_{p,ref}$ bør fremskrives med konsumprisindeksen.

1 Innledning

Denne rapporten er en del av FoU-prosjektet Mot en bedre forståelse av kostnad og ulempe av strømbrudd, som Vista Analyse utfører for Statnett.

1.1 Hovedtrekk i mandatet

Mandatet for rapporten pekte på

I denne delen skal det avklares om avbruddssatsene skal justeres gjennom analyseperioden. Dette omfatter en vurdering om satsene skal justeres, med hva, og hvor mye. En drøfting av hva som påvirker størrelsen på usikkerheten i dagens satser og hvordan denne skal håndteres vil inngå. Basert på denne vil det bli utformet konkrete anbefalinger for hvordan avbruddssatsene skal håndteres i de fremtidige kontantstrømmene.

Mandatet pekte også på at

I dag justeres KILE for husholdninger med inflasjon. Det tas sikte på avklare om og hvilke andre faktorer som burde inngå i en slik justering over tid i kontantstrømmene. Det er en generell estimatusikkerhet i satsen og det er mulig å tenke at denne vil variere over tid spesielt siden samfunnet blir mer avhengig av at strømmen er tilgjengelig i fremtiden. Det vil bli diskutert hva som er usikkerheten i satsen og hvordan denne vil utvikle seg over tid. En viktig avklaring er om det er tilstrekkelig, og korrekt, og realprisjustere satsene basert på dagens metoder. I dette inngår det en drøfting av om det er rimelig å anta en økende betalingsvilje for tilgjengeligheten av kraft og om og hvordan denne skal hensyntas gjennom analyseperioden/kontantstrømmen.

Delprosjektet skulle ifølge mandatet ha følgende innhold:

- *Prinsipiell drøfting med tilhørende konklusjoner av problemstillingen av hvordan handtere de fremtidige kontantstrømmene av avbruddskostnader. En gjennomgang av hva det er som påvirker nivået og usikkerheten i disse.*
- *En utbygging av punktene over, der vi også setter oss inn i hva som er skrevet av Econ Pøry i forskningsprosjektet 2012, og annen forskningslitteratur.*
- *En oversikt over hva vi vet om inntektselastisiteten for strøm.*
- *Resonnementer rundt tilbudskurven for effekt. Kort sikt, lang sikt.*
- *En gjennomgang av hvordan utenlandske utredninger og regulering forholder seg til «Value of lost load» og dens endring over tid. Her samlet vi en del stoff i Vista Analyse (2016a) som man kan bygge på.*
- *Et eksempel der vi demonstrerer forskjellen for samfunnsøkonomisk lønnsomhet av nettførsterkningstiltak dersom a) konstant realpris, b) realpris som stiger med inntekt for eksempel som spesifisert i perspektivmeldingen 2017.*
- *Konklusjoner og anbefalinger.*

1.2 Kommentar til mandatet

I lys av de konklusjonene vi kom fram til i den prinsipielle delen av arbeidet, har vi ikke fulgt opp punktet om et eksempel der vi demonstrerer forskjellen i samfunnsøkonomisk lønnsomhet av nettforsterkningstiltak dersom a) konstant realpris, b) realpris som stiger med inntekt for eksempel som spesifisert i perspektivmeldingen. Som de følgende kapitlene vil gjøre klart, så stiger ikke realprisen definert som «value of lost load» med inntekt.

1.3 Disposisjon av rapporten

Kapittel 2 inneholder vår prinsipielle drøfting og utgjør hoveddelen av rapporten. Kapittel 3 gir en oversikt over etterspørselastisiteter på kort og lang sikt, som er relevant for den empiriske bruken av de prinsipielle resultatene. Kapittel 4 refererer fra avbruddskostnader over tid i tidligere norsk arbeid, mens kapittel 5 viser til internasjonal forskning og praksis. Vi avslutter i kapittel 6 med å gi anbefalinger til Statnett. Disse anbefalingene finnes også i sammendragkapitlet som innledet rapporten.

2 Prinsipielt om avbruddskostnader

2.1 Etterspørsel, konsumentoverskudd og avbruddskostnader

2.1.1 Etterspørsel og konsumentoverskudd

For å forstå hvordan avbruddskostnader kan tenkes å utvikle seg over tid gjennom analyseperioden, må vi først se nærmere på faktorer som bestemmer størrelsen på avbruddskostnadene. Et naturlig utgangspunkt for å analysere dette er etterspørselsfunksjonen etter elektrisitet. Denne er en funksjon som gir en sammenheng mellom el-pris og kvantum etterspurt, gitt alle andre faktorer som påvirker etterspørselen. Bakgrunnen for at noen etterspør elektrisitet er at bruken av elektrisitet har en verdi for brukeren. Denne verdien kan i prinsippet måles i penger, og vi lar verdien av et forbruk x være lik $u(x)$. Brukeren maksimerer forskjellen mellom verdien $u(x)$, som altså er en bruttoverdi av å bruke mengden x , og kostnaden av å kjøpe x . Kostnaden er px dersom el-prisen er p . Maksimering av $u(x) - px$ gir $u'(x) = p$. Det er denne sammenhengen mellom x og p som utgjør etterspørselsfunksjonen. Den maksimerte verdien av $u(x) - px$, som vil avhenge av prisen p og funksjonsformen u , kaller vi konsumentoverskuddet, og betegner denne med $V(p)$, dvs

$$V(p) = \max_x [u(x) - px] \quad (2.1)$$

En etterspørselsfunksjon er inntegnet i Figur 2.1. Etterspørselsfunksjonen er fallende, øvrige egenskaper drøftes senere i rapporten. Som forklart over er det funksjonen $u(x)$ for bruttoverdien av x som er grunnlaget for etterspørselsfunksjonen. Og motsatt, dersom en kjenner etterspørselsfunksjonen kan en utlede funksjonen $u(x)$. I Figur 2.1 er $u(x)$ gitt ved arealet $OxQBO$. Konsumentoverskuddet er dette arealet minus kostnaden av elektrisitet, som i figuren er gitt ved $OxQpO$; konsumentoverskuddet er altså gitt ved arealet $pQBp$.

Egenskapene til etterspørselsfunksjonen vil avhenge av tidsperspektivet en har. En langsiktig etterspørselsfunksjon forteller oss hvordan etterspørselen vil endre seg på lang sikt (for eksempel mer enn et år) ved permanent økning i kraftprisen. Over en slik langsiktig periode vil brukerne av elektrisitet ha tid til å gjøre langsiktige tilpasninger til prisendringer, som gå over til andre energibærere, installere styringssystemer for varme, bytte til mer energieffektivt utstyr, isolere boligen mm.

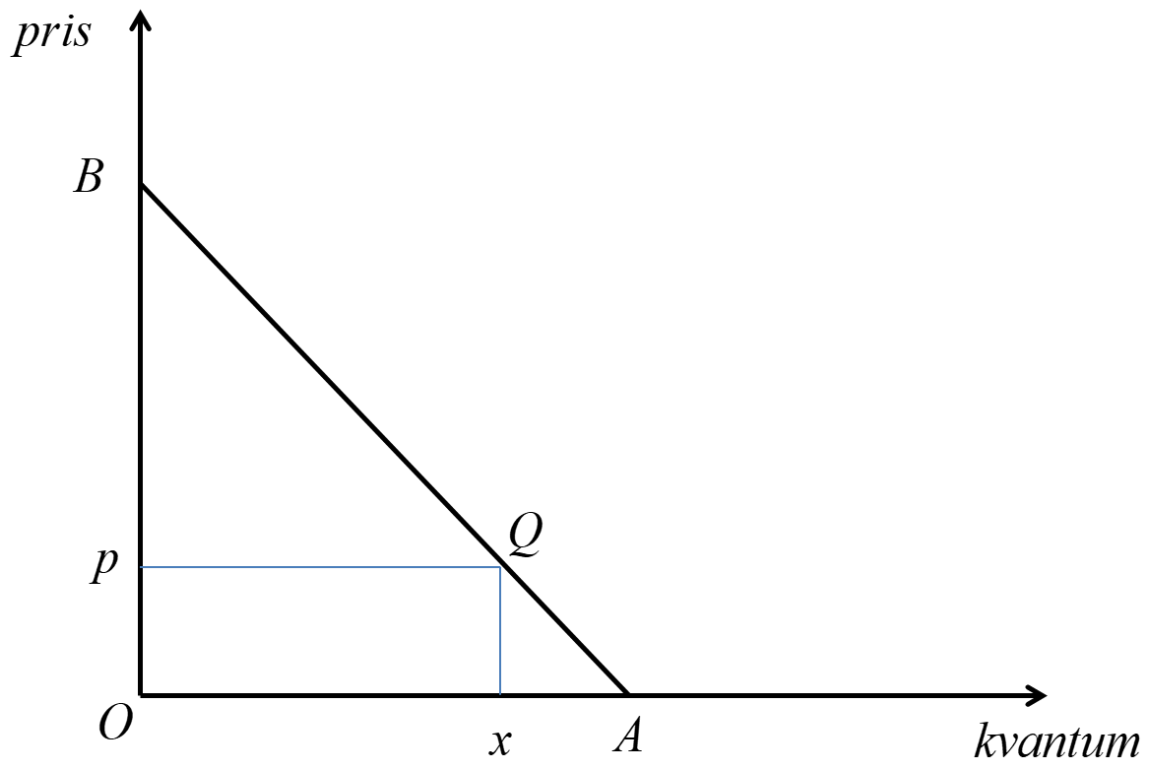
En kortsiktig etterspørselsfunksjon forteller oss hvordan etterspørselen vil endre seg på kort sikt (f.eks. en uke eller en måned) ved en permanent økning i kraftprisen. Denne etterspørselsfunksjonen er mindre prisfølsom enn en langsiktig etterspørselsfunksjon, da det tar tid å tilpasse seg endrede priser. Det er også et premiss for den kortsiktige etterspørselsfunksjonen at prisøkningen er uventet. Hvis ikke, kunne man jo tilpasse seg i tide og det ville ikke vært forskjell på den kortsiktige og langsiktige funksjonen.

Det kan også være relevant å se på hvordan forbrukere responderer på *forbigående* høyere timepriser, og hvor enkelt det er å flytte forbruket fra en time til en annen (lastflytting). Sammenliknet med en respons på varig prisendring gir lastflytting en ekstra margin å tilpasse seg på.

På samme måte som i tilfellet med varig høyere pris kan man tenke seg langsiktige og kortsiktige varianter av en etterspørselskurve som inkluderer lastflytting. Den langsiktige varianten gir sammenhengen mellom etterspørsel og pris når brukerne har vent seg til et prismønster. Den kortsiktige gir sammenhengen før brukerne har vent seg til et slikt prismønster.

Vi drøfter priselastisitetene (den prosentvise endringen i etterspørsel ved én prosents endring i prisen) for ulike etterspørselsfunksjoner nærmere i kapittel 3.

Figur 2.1 Etterspørsel, pris og konsumentoverskudd i elmarkedet



2.1.2 Konsumentoverskudd og avbruddskostnader

Konsumentoverskuddet måler brukerens nettoverdi (dvs fratrullet kostnaden ved kjøp av el) av å konsumere den elektrisiteten brukeren velger. Konsumentoverskuddet er dermed i prinsippet også et mål på avbruddskostnaden; kostnaden ved avbrudd er jo per definisjon tapet av verdien en har av elektrisitetsforbruket.

I praksis må konsumentoverskuddet relateres til en etterspørselsfunksjon, og et interessant spørsmål fra et empirisk synspunkt er: Hvilken etterspørselsfunksjon?

Et strømaavbrudd kan sees på som en avgrenset periode med uendelig høye priser. Det trekker i retning av at en variant av en etterspørselskurve for midlertidige priser (timespriser) kan være aktuell. Men en slik etterspørselskurve tillater lastflytting til senere *og tidligere* tidspunkter. Ved et uvarslet avbrudd er det ikke mulig med lastflytting til et tidligere tidspunkt. Dessuten har avbruddet uvisst lengde så lenge det varer. Slik sett minner et uvarslet avbrudd om situasjonen rundt den kortsiktige etterspørselsfunksjonen ved varig prisendring, men ikke helt: hvis avbruddet viser seg å vare en kort periode, kan man på tross av tidligere uvisshet foreta lastflytting som reparerer deler av nyttetapet

og vi er alt i alt nærmest den midlertidige etterspørselsfunksjonen med lastflytting. Empirisk viser det seg at mange av de spurte angir null i betalingsvillighet for å unngå et kortvarig avbrudd, noe som støtter denne tolkningen (Vista Analyse, 2017). Hvis strømbruddet viser seg å vare lenge, finnes færre reparasjonsmuligheter og situasjonen blir forholdsvis lik den kortsiktige etterspørselsfunksjonen. Hvis strømbruddet varer ekstremt lenge, eller det er vanlig med strømbrudd, kan brukerne ha gjort tilpasninger som gjør den langsiktige etterspørselskurven mest relevant.

Et varslet avbrudd av en viss lengde virker det forholdsvis ukontroversielt å assosiere med etterspørselskurven for priser samme lengde.

Anta nå at vi er gitt en etterspørselskurve som enten kan være kortsiktig, langsiktig eller midlertidig og tillate lastflytting. Da kan det hende at avbruddskostnaden avviker fra konsumentoverskuddet i den etterspørselskurven vi er gitt. Men selv om det oppgitte konsumentoverskuddet kan gi et for lavt (eller for høyt) anslag på avbruddskostnader, kan de samme faktorene som påvirker konsumentoverskuddet være aktuelle for avbruddskostnadene. Mer presist: La $K(p)$ være avbruddskostnaden for et avbrudd av et bestemt varighet når prisen er p . Konsumentoverskuddet for samme periode og pris er $V(p)$. Anta videre at $K(p)=hV(p)$, hvor h kan være større eller mindre enn 1 som forklart over. Dersom vi ikke har noen grunn til å tro at h vil endre seg over tid, vil $K(p)$ endre seg over tid på samme måte som $V(p)$.

På bakgrunn av drøftingen over skal vi i de neste avsnittene se nærmere på hvordan verdien av $V(p)$ regnet totalt og per forbruksenhet kan tenkes å utvikle seg over tid.

2.2 Endringer i konsumentoverskudd over tid

Vi er interessert i to størrelser, nemlig **samlet konsumentoverskudd $V(p)$** og **konsumentoverskudd per kWh, dvs $v(p)=V(p)/x(p)$** . Samlede avbruddskostnader og avbruddskostnader per kWh antas proporsjonale med disse to størrelsene, jfr. drøftingen over. Som forklart i avsnitt 2.1.1 er konsumentoverskuddet bestemt av etterspørselskurvens form og beliggenhet, samt el-prisen.

Det kan være verdt å merke seg at $x(p)$ i nevneren for konsumentoverskudd per kWh er faktisk elektrisitetsetterspørsel knyttet til konsumentoverskuddet ved samme pris. Dermed skiller størrelsen $v(p)$ seg fra f.eks. uttrykket som inngår i KILE-satsene for norske husholdninger. I KILE-satsene er nevneren en konstant og KILE er dermed proporsjonal med samlet konsumentoverskudd $V(p)$.

Etterspørselen etter strøm avhenger av strømprisen som brukeren betaler, men også av en rekke andre faktorer. Eksempel på andre faktorer kan være demografiske endringer, endringer i størrelse og kvalitet på boligmassen, og økning i andel el-biler. Dersom disse andre faktorene endrer seg over tid, vil også etterspørselskurven illustrert i Figur 2.1 endre seg. Den mest nærliggende faktoren som bestemmer husholdningers etterspørsel etter strøm er husholdningenes inntekt. Når inntekten øker over tid vil også etterspørselen øke, vi får altså et skift utover i etterspørselskurven i Figur 2.1. Vi skal drøfte hvordan et slikt skift påvirker konsumentoverskuddet og dermed avbruddskostnadene, men vil først se på hvilken betydning elektrisitetsprisen kan ha for konsumentoverskuddet.

2.2.1 Endret pris

Over tid kan prisen endres. En slik endring kan skyldes at etterspørselen gradvis flytter seg utover samtidig som den langsiktige tilbudsfunksjonen for elektrisitet er stigende. Prisen kan også endres over tid selv om etterspørselskurven ligger fast. Dette kan skyldes endrede kostnader, endrede utenlandske el-priser, eller endrede avgifter til brukeren. Det er derfor nyttig å se på den isolerte virkningen av en prisendring.

I tillegg til at etterspørselskurven er fallende skal vi anta følgende om priselastisiteten: Denne elastisiteten (målt positivt og betegnet med ϵ) er mindre enn 1 for lave priser, og er større jo større prisen er. For tilstrekkelig høy pris er elastisiteten større enn 1. Uten den siste antagelsen ville konsumentoverskuddet vært uendelig stort, dvs brukerne ville være villig til å betale hva som helst for å unngå strømvbrudd. Denne egenskapen ved etterspørselskurven (altså at priselastisiteten er større enn 1 for høye priser) er gyldig for en lineær etterspørselskurve, og også for alle etterspørselskurver som er tilstrekkelig like med en lineær kurve. I kapittel 3 viser vi til en studie av Inglesi-Lotz (2011) som støtter denne antagelsen.

Samlet konsumentoverskudd $V(p)$ er gitt ved arealet pQB_p i Figur 2.1, og vi ser umiddelbart at dette arealet er mindre jo høyere prisen p er. Etterspurt kvantum $x(p)$ er også lavere jo høyere prisen er, så det er ikke opplagt hvordan brøken for konsumentoverskudd per kWh, $v(p)=V(p)/x(p)$ endrer seg når p øker. I Appendiks 1 viser vi at $v(p)$ vil øke eller avta avhengig av om ϵ i opprinnelig likevektspunkt er større eller mindre enn px/V .

Størrelsen px/V uttrykker forholdet mellom budsjettet brukt på vare x , altså px , og samlet konsumentoverskudd V . Ved å dele på x får vi $px/V = p/v$.

I appendiks 1 viser vi at $v(p)$ helt sikkert avtar med økt pris for en etterspørselskurve som er lineær eller krummet konkavt. Vi viser også at uansett etterspørselskurvens form vil økt pris på 1% gi en endring i $v(p)$ mellom $-p/v$ og ϵ . Verdien på $-p/v$ og ϵ vil avhenge av etterspørselskurvens form, og dermed også av tidspunkt og varighet for strømvbruddet. Dersom vi antar at både p/v og ϵ er mindre enn 0,5 i tallverdi, vil 10% prisøkning gi en endring i $v(p)$ på mellom -5% og +5%. En gjør derfor ikke noen stor feil om en antar at $v(p)$ er konstant for moderate prisendringer.

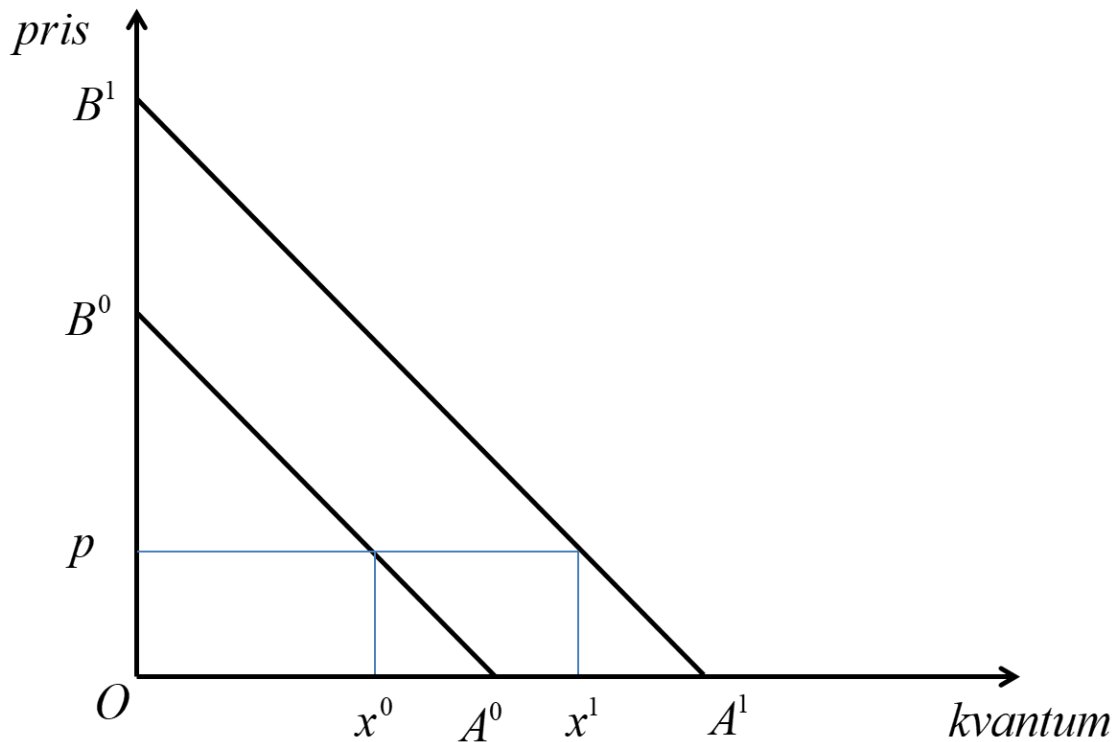
I kapittel 3 drøfter vi litteraturens anslag for ϵ nærmere og viser at 0,5 kan være et rimelig estimat når en inkluderer mulighet for lastflytting. Det andre kravet er at p/v er mindre enn 0,5. Husk i denne sammenheng at p/v er lik forholdet mellom faktisk pris og verdien av-, eller betalingsviljen for å unngå avbrudd regnet per kWh. Empiriske undersøkelser, blant annet i Vista Analyse (2017, 2018) tyder på at forhold mellom pris og betalingsvilje er klart mindre enn 0,5.

2.2.2 Et parallelt skift utover av etterspørselskurven til gitt pris

Inntektsendringer og andre faktorer vil over tid typisk føre til økt etterspørsel eller strøm for en gitt pris. Vi får altså et skift til høyre i etterspørselsfunksjonen. For en lineær etterspørselskurve er den enkleste formen for skift en parallellforskyving til høyre, som illustrert i Figur 2.2. Det er ikke opplagt hvordan en kan generalisere et slikt skift til en ikke-lineær etterspørselskurve. Skiftet i Figur 2.2 er *ikke* et konstant påslag i etterspurt kvantum for enhver pris: For priser opp til B^0 i Figur 2.2 er etterspørselsøkningen lik $x^1 - x^0$ uansett pris. Men for priser høyere enn B^0 er etterspørselsøkningen mindre, siden etterspørselen opprinnelig er null for så høye priser.

Hva hvis man tenkte seg at etterspørselsøkningen er konstant også for priser høyere enn B^0 ? Det ville bety at den nye etterspørselsfunksjonen aldri krysset y-aksen. Minste etterspurte kvantum ville være nettopp det konstante etterspørselstillegget fra null og utover. For denne etterspørselsfunksjonen vil derfor konsumentoverskuddet være uendelig stort.

Figur 2.2 Et parallelt skift utover av etterspørselskurven



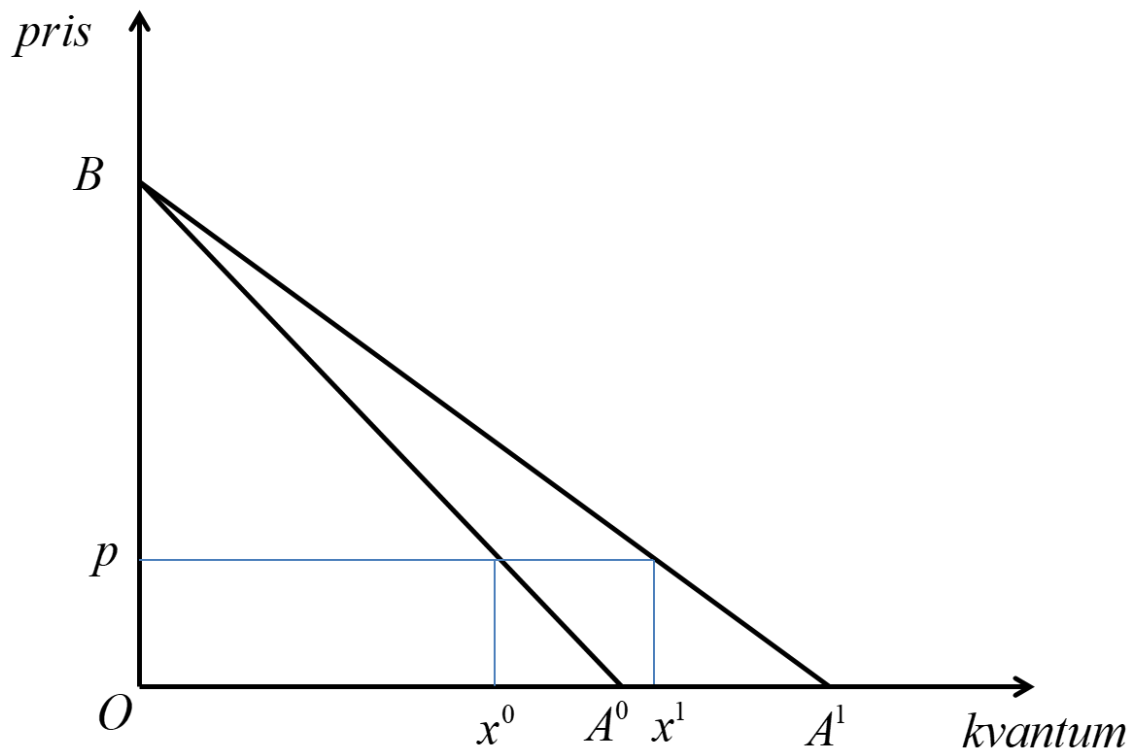
Siden et konstant skift til høyre ikke er meningsfylt skal vi i stedet først se på to typer skift hvor den *relative* skift-størrelsen er konstant.

2.2.3 Et proporsjonalt skift utover i etterspørselskurven til gitt pris

Vi ser på et proporsjonalt skift til høyre som illustrert i Figur 2.3. For å konkretisere kan vi tenke oss at til enhver pris er den nye etterspørselen 10% høyere enn den gamle. For et slikt skift viser vi følgende i vedlegget: For uendret pris vil

- Etterspørselstetisiteten ϵ være den samme som før
- $x(p)$ øker med 10%
- $V(p)$ øker med 10%
- $v(p)$ forblir uendret

Figur 2.3 Et proporsjonalt skift *utover* i etterspørselen



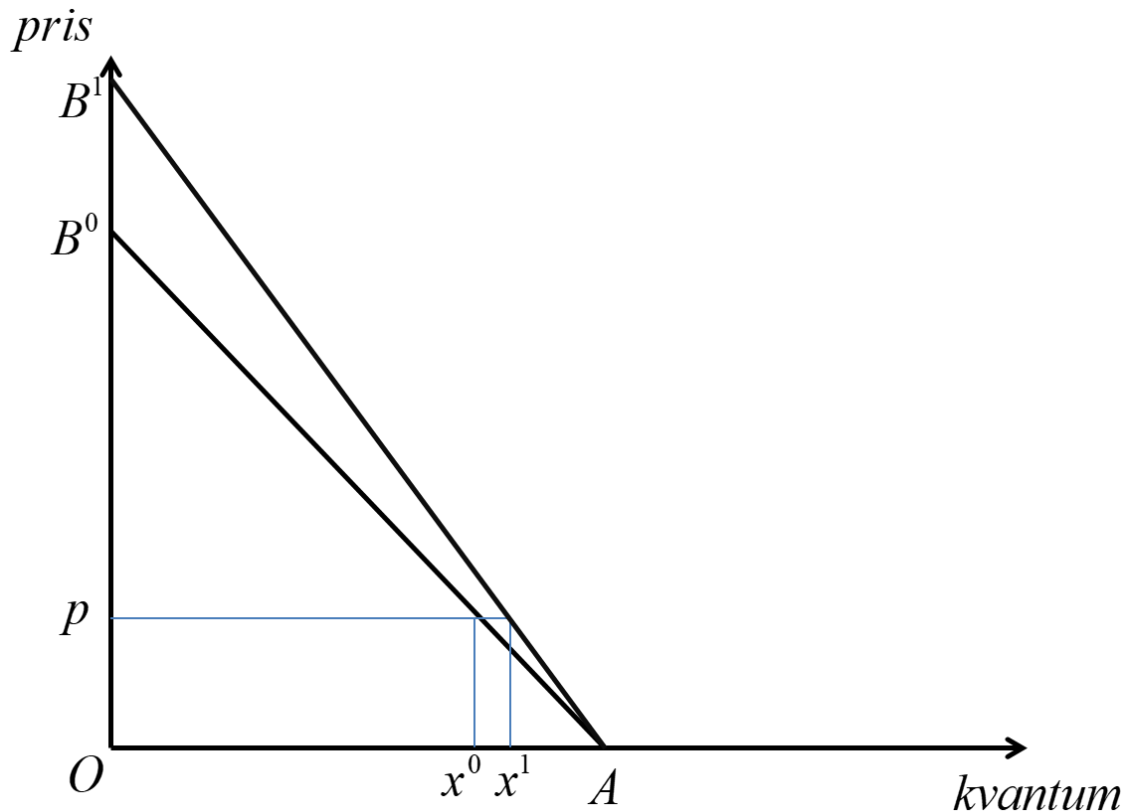
2.2.4 Et proporsjonalt skift oppover i etterspørselskurven til gitt pris

Det er ikke opplagt at endringer i inntekt eller annet skifter etterspørselen proporsjonalt utover. Spesielt kan første kulepunkt over virke urimelig: En ville kanskje vente at med økt inntekt blir etterspørselen etter elektrisitet mindre prisfølsom. En alternativ type skift i etterspørselskurven er et proporsjonalt skift oppover som illustrert i Figur 2.4. Her vil den marginale betalingsviljen for ethvert kvantum øke prosentvis like mye for alle kvanta.

En tolkning av et slikt skift er at bruttonytten u ikke bare avhenger av mengden elektrisitet, men også av inntekt y . Mer presist, anta at nytten av el-bruken er gitt ved $g(y)h(x)$ hvor både g og h er økende i sine argumenter. x er som før kvantum elektrisitet.¹ Bruttonytten av et gitt el-forbruk målt i kroner er altså høyere jo høyere inntekten er, og den prosentvise økningen i bruttonytte for en gitt økning i inntekt er uavhengig av hva den gitte el-bruken er. Vi viser i vedlegget at en økning i y i så fall skifter etterspørselskurven som illustrert i Figur 2.4.

¹ Det kan være verdt å minne om at x vil være en funksjon av y (og andre parametre, som p) gjennom etterspørselsfunksjonen. Nyttfunksjonen vi har skrevet opp, er en blanding av direkte og indirekte nyttefunksjon som er hensiktsmessig for formålet.

Figur 2.4 Et proporsjonalt skift oppover i etterspørselskurven



For et slikt skift viser vi følgende i vedlegget: For uendret pris vil

- Priselastisiteten ϵ avta
- $x(p)$ øke
- $V(p)$ øke
- $v(p)$ øke eller avta avhengig av om ϵ er mindre eller større enn $p/v(p)$
- et skift oppover i etterspørselskurven på 1% vil gi en endring i $v(p)$ mellom $-\epsilon$ og p/v^2

Vi har sett på to typer skift i etterspørselsfunksjonen. I virkeligheten vil et skift utover neppe være nøyaktig lik noen av disse to typene. Men trolig vil de fleste faktiske skift kunne approksimeres med en passe kombinasjon av et proporsjonalt horisontalt og et proporsjonalt vertikalt skift. Spesielt vil en bestemt kombinasjon av disse to skift-typene gi oss det parallelle skiftet i en lineær etterspørselskurve som ble illustrert i Figur 2.2.

Hvis et faktisk skift utover i etterspørselskurven kan karakteriseres ved en kombinasjon av de to spesifikke skiftene vi har sett på, følger det at **$v(p)$ ikke påvirkes i betydelig grad av skift av rimelig størrelse**. Årsaken er at den horisontalt proporsjonale delen av skiftet innebærer uendret $v(p)$, mens den vertikalt proporsjonale delen av skiftet gir en endring i $v(p)$ mellom $-\epsilon$ og p/v for hver prosent skift oppover i denne komponenten av det totale skiftet.

² Hvis begge disse er under 0,5 i tallverdi, vil et skift oppover på 10% gi en endring i $v(p)$ mellom -5% og 5%, nøyaktig som i avsnitt 2.2.1.

2.3 Alternative metoder for å anslå avbruddskostnader

Etter vår oppfatning er analyser med utgangspunkt i etterspørsel og konsumentoverskudd (dvs som over) den prinsipielt beste måten å anslå avbruddskostnader på. I tillegg til denne metoden drøfter Sanghvi (1982) to andre metoder; redusert verdi av fritid og direkte spørreundersøkelser. Vi skal kort drøfte disse, og spesielt hvordan de kan hjelpe oss til å si noe om utviklingen av avbruddskostnader over tid.

2.3.1 Redusert verdi av fritid

Når en husholdning rammes av et strømafbrytning vil ulike former for husarbeid og fritidsaktiviteter bli rammet. I verste fall vil et 3 timers bortfall av strøm en ettermiddag eller kveld bety totalt tap av verdien av fritid disse 3 timene. Verdien av en time fritid blir ut fra økonomisk teori ofte satt lik en times disponibel lønnsinntekt. Hvis sistnevnte er f.eks. 200 kroner, tilsier dette at et strømafbrytning på 3 timer har en kostnad lik 600 kroner.

Avbruddskostnaden i illustrasjonen over (600 kroner for 3 timer) er trolig for høy, siden verdien av fritid sjelden vil falle til null dersom strømmen blir borte. Har en f.eks. planlagt å se på TV i perioden strømmen blir borte, kan en i stedet lese bok eller spille sjakk (kanskje med stearinlys). Det er likevel et tap, siden en i utgangspunktet hadde TV som førstevalg og dermed verdsatt høyere enn bok eller sjakk. Et problem med denne måten å anslå avbruddskostnader er at det er vanskelig å anslå hvor stor reduksjonen i verdien av fritid er.

Et annet problem med denne metoden er at det i en husholdning som rammes av strømbrytning i mange tilfeller er personer som ikke er knyttet til arbeidsmarkedet. En har derfor ikke noe utgangspunkt for å anslå verdien av fritid for disse personene, og dermed reduksjonen i denne som følge av strømbrytning.

Endelig kan det pekes på at ulike former for reguleringer av arbeidsmarkedet innebærer at det teoretiske grunnlaget for å sette verdien av fritid lik disponibel lønn ikke er helt ut oppfylt.

Vårt anliggende her er ikke å beregne avbruddskostnaden, men å si noe om hvordan den kostnaden en har beregnet, kan tenkes å utvikle seg over tid. Anta følgende forutsetninger gjelder:

- verdien av fritid er proporsjonal med disponibel lønn, med konstant proporsjonalitetsfaktor over tid
- den prosentvise reduksjonen av verdien på fritid som følge av strømbrytning er konstant over tid
- verdien av fritid for personer som ikke er tilknyttet arbeidsmarkedet relativt til de som er i arbeidsmarkedet er konstant over tid

Hvis disse forutsetningene holder, vil *totale* avbruddskostnader $V(p)$ for et bestemt strømbrytning (tidspunkt og varighet) øke over tid med en rate lik veksten i disponibel lønn. Et grovt anslag for sistnevnte er veksten i BNP per capita. Hvis forbruket også øker med BNP per capita, vil avbruddskostnad per kWh, størrelsen $v(p)$ over, være konstant over tid. Hvordan forbruket øker i inntekt måles gjerne ved inntektselastisiteter. Avsnitt 3.1.3 gjengir forskning om dette.

Det er vanskelig å spekulere i hvor rimelig forutsetningene i de tre kulepunktene er. Muligens er den andre mest tvilsom: Hvis over tid fritidsaktiviteter blir mer og mer elektrisitetsavhengige, tilsier dette at den prosentvise reduksjonen av verdien på fritid som følge av et strømbrudd vil øke over tid. I så fall vil totale avbruddskostnader (gitt de to andre forutsetningene) øke raskere over tid enn disponibel lønn. Veksten i BNP per capita kan i så fall underestimere veksten i de *totale* avbruddskostnadene. Men dersom el-forbruket av samme grunn øker mer enn proporsjonalt med BNP per capita, er vi tilbake til at avbruddskostnader per kWh kan være konstante eller nær konstante over tid.

2.3.2 Spørreundersøkelser

En opplagt måte å anslå kostnaden av strømbrudd på er gjennom spørreundersøkelser. Et eksempel på en omfattende spørreundersøkelse er Vista Analyse (2017, 2018). London Economics (2013) er et annet eksempel.

Det er velkjent fra teorien om verdsettelse at slike spørreundersøkelser ikke er uproblematisk. Spesielt er det velkjent at detaljer i hvordan spørreundersøkelsen er utført kan ha stor betydning for svarene.

Anta for nå at en har greid å utføre en «god» spørreundersøkelse, slik at en får et godt anslag på avbruddskostnader. Anta videre at spørreundersøkelsen omfatter såpass mange husholdninger at en kan anslå avbruddskostnadene (for et nærmere definert strømbrudd) ikke bare som et gjennomsnitt over husholdningene, men også anslag fordelt på inntekt, husholdningstype, boligtype, etc. I kapittel 4 omtaler vi et par slike undersøkelser, blant annet vår egen Vista Analyse (2017). Med slike data kan en beregne utviklingen av gjennomsnittlige avbruddskostnader per husholdning basert på framskrivninger over tid over inntekt, husholdningssammensetninger, boligtyper etc.

Dersom en spørreundersøkelse skulle gi feilaktige anslag på faktiske avbruddskostnader, kan metoden over likevel brukes til å fremskrive avbruddskostnadene over tid. Dersom feilene er usystematiske, i den forstand at avbruddskostnadene blir feilrapportert med samme prosent på tvers av husholdningenes kjennetegn (inntekt og andre faktorer nevnt over), vil fordelingen av svar fra husholdninger kunne brukes til å fremskrive avbruddskostnader over tid. Anta f.eks. at undersøkelsen viser at en husholdning med inntekt 40% over gjennomsnittet (og alt annet likt) har 20% større rapportert avbruddskostnad enn den rapporterte avbruddskostnaden for gjennomsnittshusholdningen. Selv om begge de rapporterte kostnadene er misvisende i forhold til faktiske kostnader, kan denne informasjonen brukes dersom vi tør forutsette at den relative feilen er (omtrent) den samme i begge rapporteringene. I så fall tilsier undersøkelsen at hver prosent økning i husholdningsinntekt over tid vil øke avbruddskostnaden med 0,5%. Hvis inntektselastisiteten for strøm er 0,5 vil også el-forbruket over tid øke med 0,5% for hver prosent inntekten øker med. I så fall er dette en konklusjon som stemmer overens med hva vår analyse basert på konsumentoverskudd ga, nemlig at konsumentoverskudd per kWh er omtrent konstant over tid.

2.4 Avbruddskostnader for næringslivet

Avbruddskostnader for næringslivet kan i prinsippet analyseres tilsvarende som for husholdninger. Utgangspunktet for avbruddskostnader for husholdninger var deres konsumentoverskudd gitt ved likning (2.1). I dette uttrykket inngikk bruttoverdien av strømbruken $u(x)$. For en produksjonssektor er $u(x)$ denne sektorens produksjonsverdi fratrukket kostnader til faktorer som kan justeres på kort

sikt. Kostnader som er gitt på kort sikt er irrelevante; de løper uansett. Eksempler på gitte kostnader er kapitalkostnader og kostnader til leie av lokaler. Lønn til arbeidstagere kan ikke reduseres som følge av kortsiktige produksjonsavbrudd forårsaket av strømbrudd, det er derfor rimelig at også lønnskostnader er en del av kostnadene som er gitt på kort sikt. I noen tilfeller vil de ansatte kunne gjøre andre arbeidsoppgaver enn vanlig under en periode med strømbrudd, i så fall skal verdien av dette alternative arbeidet trekkes fra tapt brutto produksjonsverdi for å komme frem til verdien $u(x)$. Verdien av vareinnsats som unngås ved strømbrudd, er et typisk eksempel på kostnader som trekkes fra tapt brutto produksjonsverdi for å komme frem til verdien $u(x)$. I en norsk undersøkelse av slike forhold, Sintef&Poyry (2012c), er lønnskostnader for «uvirksomme» inkludert i avbruddskostnadene på en måte som så vidt vi kan se, samsvarer med vårt resonnement her.

Med definisjonen av $u(x)$ gitt over er produsentoverskuddet gitt ved ligning (2.1). Som for husholdninger vil det typisk være en forskjell mellom avbruddskostnader og et på forhånd målt produsentoverskudd. Dersom vi kan anta at forholdet mellom disse to størrelsene er konstant (som vi gjorde i avsnitt 2.2) er hele analysen i avsnitt 2.1 og 2.2 gyldig også for strømvbrudd for næringslivet.

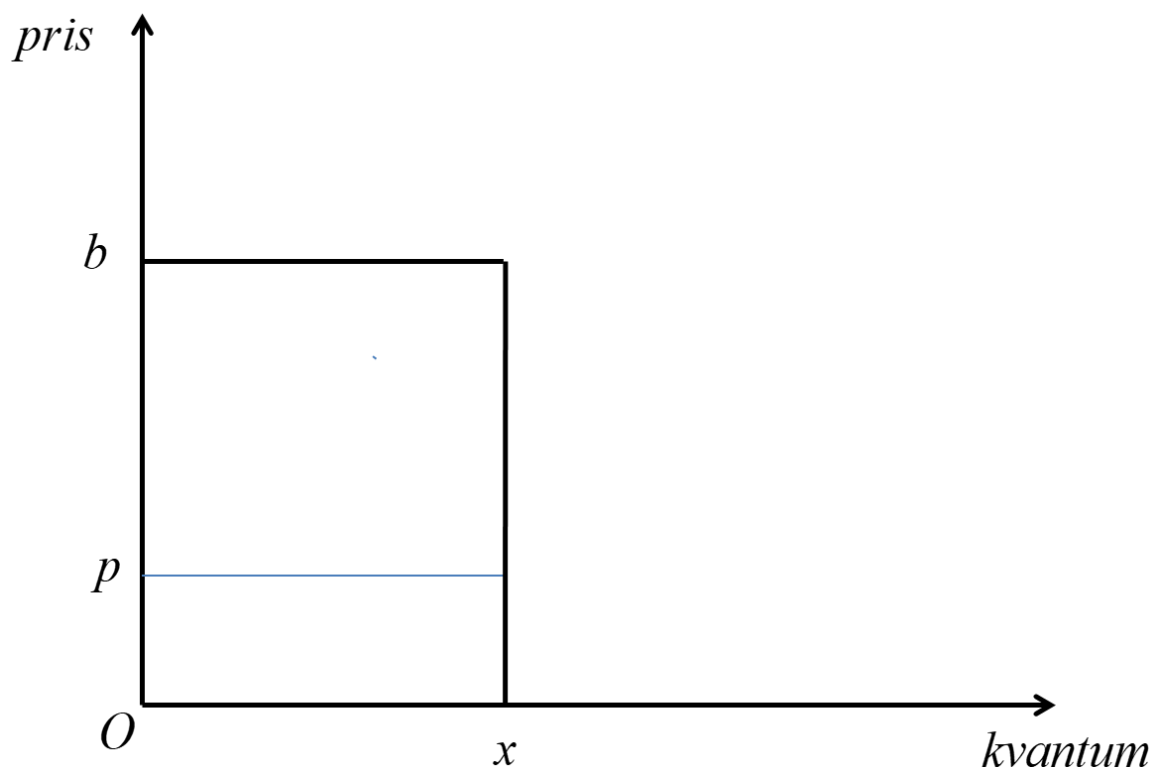
I de neste underavsnittene skal vi drøfte egenskaper ved produsentoverskuddet $V(p)$ nærmere for å se hva som kan forventes om utviklingen i denne over tid.

2.4.1 Etterspørselsfunksjonens form

De fleste anslag på avbruddskostnader for næringslivet gir en betydelig høyere verdi (per kWh, dvs $v(p)$ i vår notasjon) enn for avbruddskostnader for husholdninger. Fra Figur 2.1 vet vi at $v(p)$ er gitt ved arealet pQ_B dividert med avstanden pQ . Hvis denne skal være større for næringslivet enn for husholdninger må dette bety at etterspørselskurven er brattere for noen eller alle priser over p .

For en enkelt bedrift eller produksjonsenhet kan vi veldig stilisert anta at etterspørselsfunksjonen har følgende egenskaper: Så lenge el-prisen ligger under en terskel b , er produksjonsverdi minus strømkostnader p_x positiv, og produksjonen går som normalt. Hvis det på helt kort sikt ikke er mulig å gjøre tilpasninger som reduserer strømb Bruken uten av produksjonen reduseres, er etterspørselen helt uelastisk så lenge prisen ligger under terskelen b . Kommer el-prisen over terskelen b , antas produksjonsinntekten (definert ved u som forklart over) å bli negativ. Da vil produksjonen bli (midlertidig) stanset, og el-etterspørselen faller til null. En slik etterspørselskurve er illustrert i Figur 2.5. I dette tilfellet er altså produsentoverskuddet per kWh lik $v(p)=b-p$ (som også antatt i Joskow og Tirole (2007) når de drøfter uforutsette strømvbrudd).

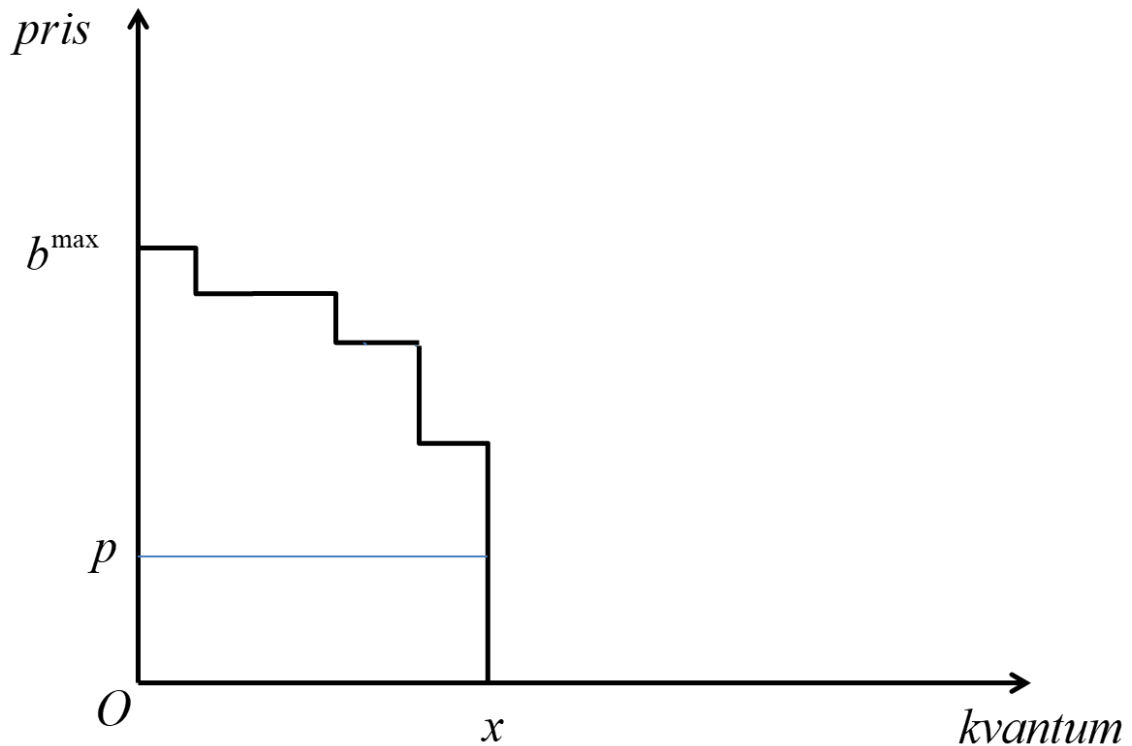
Figur 2.5 Etterspørsel etter elektrisitet fra en enkelt bedrift under forutsetninger forklart i teksten



Etterspørselskurven gitt ved Figur 2.5 er svært stilisert. For det første vil en bedrift muligens ha visse muligheter til å redusere strømforbruk som følge av høyere strømpris uten at produksjonen kuttet. Langt viktigere er det at for en sektor som helhet, eventuelt all næringsvirksomhet i et geografisk område, vil etterspørselskurven være et horisontalt aggregat av etterspørselskurver av typen illustrert i Figur 2.5. Hvis vi aggregerer slik at bedriftene er lengre til venstre jo høyere b -verdi de har, får vi en aggregert etterspørselsfunksjon som vist i Figur 2.6 (der antatt fire bedrifter).

Figur 2.6

Etterspørselen etter elektrisitet fra fire bedrifter under forutsetninger forklart i teksten



Med mange bedrifter vil denne se ut som en «vanlig» glatt etterspørselsfunksjon med etterspørsel høyere jo lavere el-prisen er. Også for en slik aggregert etterspørselsfunksjoner er det grunn til å tro at etterspørselen er tilnærmet uelastisk for priser nær normalprisen p . Grunnen til dette er at bedriftene har tilpasset seg til normalprisen, og da er produksjonsverdien $u \cdot p \cdot x$ stor nok til å dekke alle kostnader som er gitt på kort sikt. En moderat prisøkning på strøm ut fra en slik situasjon vil derfor ikke føre til at noen bedrifter innstiller sin produksjon.

2.4.2 Virkning av prisendring

Virkningen av en prisøkning langs den kortsiktige etterspørselskurven ble analysert i avsnitt 2.2.1. Vi fant der at elastisiteten av $v(p)$ m.h.p. p lå mellom $-p/v$ og ϵ . Som forklart over er trolig ϵ nær null for næringslivet, og v betydelig større enn for husholdninger, dvs p/v betydelig mindre. En gjør derfor neppe noen stor feil om en antar at elastisiteten av $v(p)$ m.h.p. p er lik null for næringslivet.

2.4.3 Skift i etterspørselskurven

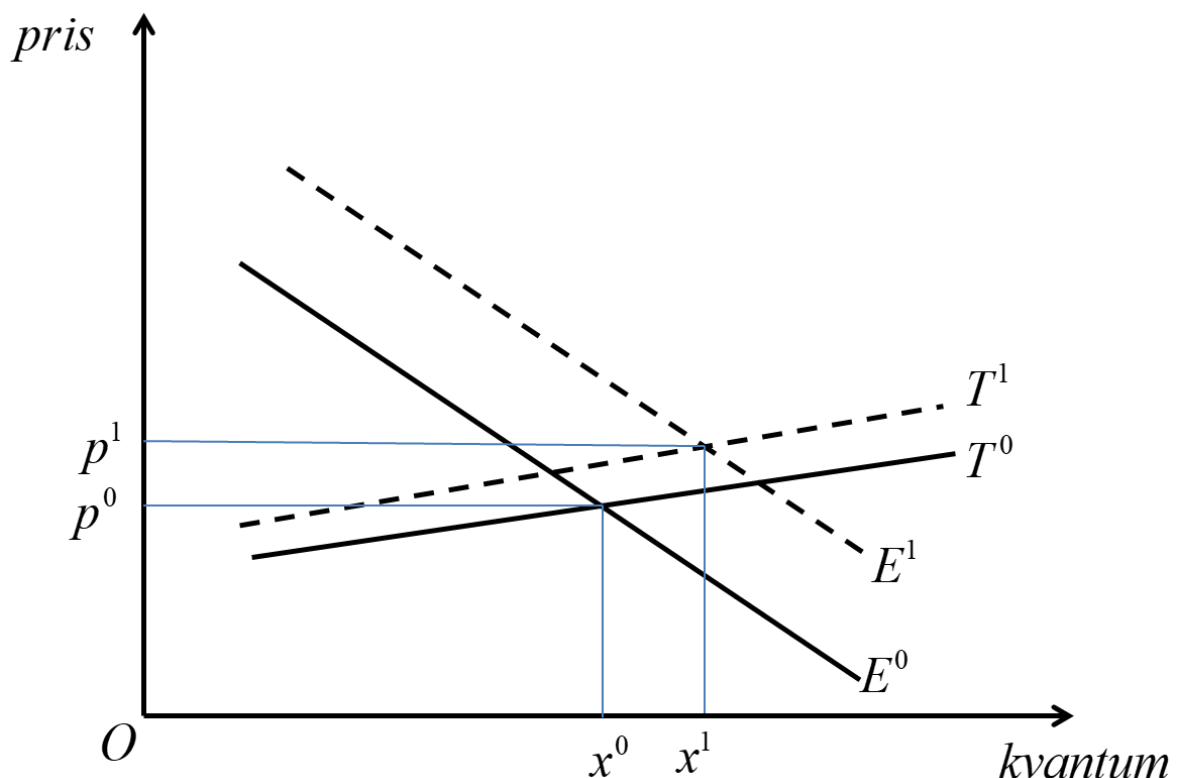
Anta at produksjonen i sektoren vi ser på har konstant utbytte m.h.p skalaen på lang sikt og anta først at etterspørselen etter produktene bestemmer produksjonsomfanget. Hvis etterspørselen etter produktene øker over tid, og alle faktorpriser er uendret, skiftes etterspørselen etter alle faktorer proporsjonalt utover. Dette vil spesielt gi et proporsjonalt skift utover i den kortsiktige etterspørselsfunksjonen etter strøm, som illustrert i Figur 2.3. Som vist i avsnitt 2.2.3 vil et slikt skift i etterspørselskurven gi en økning i produsentoverskuddet, mens produsentoverskuddet per kWh blir uendret.

Økningen i produksjon over tid er typisk kjennetegnet med en produktivitetsøkning, dvs at produksjonen øker raskere over tid enn bruken av innsatsfaktorer. I vedlegget rendyrker vi dette ved å se på en situasjon hvor all produksjonsvekst kommer fra produktivitetsvekst, dvs hvor bruken av alle innsatsfaktorer utenom elektrisk kraft er uendret, men hvor produksjonen likevel øker. Vi viser at under rimelige forutsetninger vil dette skifte etterspørselsfunksjonen etter strøm oppover. For en spesiell type nøytral teknologisk endring (som ofte forutsettes i litteraturen) blir skiftet proporsjonalt vertikalt, som illustrert i Figur 2.4. For et slikt skift fant vi i avsnitt 2.2.4 at endringen i $v(p)$ vil avgrenses av den kortsiktige priselastisiteten på den ene siden, og forholdstallet p/v på den andre siden. Dette er to små, og kanskje meget små størrelser. Produktivitetsvekst vil derfor ikke påvirke $v(p)$ i særlig grad.

2.5 Etterspørsels- og tilbudskurver i sammenheng

I Figur 2.7 har vi skissert hvordan kvantum og pris på strøm kan tenkes å utvikle seg over tid. Den langsiktige etterspørselskurven E^0 er summen av etterspørselen fra husholdninger og næringsliv. Tilbudskurven er gitt ved T^0 , og likevektspunktet er (x^0, p^0) .

Figur 2.7 Tilbud og etterspørsel etter elektrisitet over tid



Over tid antas etterspørselskurven å skifte utover/oppover som følge av økt inntekt og produktivitet til den nye kurven E^1 . Tilbudskurven kan også tenkes å skifte oppover som følge av økte kostnader (bl a økt alternativkostnad på eksportert kraft som følge av høyere karbonpriser), til T^1 i Figur 2.7. Det nye likevektspunktet er (x^1, p^1) .

For begge de to likevektspunktene i Figur 2.7 er det en tilhørende avbruddskostnad. I analysen over har vi lagt særlig vekt på hva en kan si om endringen i avbruddskostnader basert på etterspørselsfunksjonene tilhørende de to likevektspunktene. Vår konklusjon var at skiftet utover i etterspørselskurven ($x^1 > x^0$) kan bidra til økt avbruddskostnad per kWh, mens prisøkningen ($p^1 > p^0$) kan ha motsatt effekt. Imidlertid er begge virkningene beskjedne, så en gjør neppe noen stor feil om en antar at avbruddskostnaden per kWh er upåvirket av skiftet fra (x^0, p^0) til (x^1, p^1) . Dette tilsier at totale avbruddskostnader (for et strømbrydd av bestemt varighet, tidspunkt og geografisk utstrekning) øker proporsjonalt med bruken av elektrisitet.

For husholdninger drøftet vi også to andre tilnærminger til hvordan avbruddskostnader kan bli bestemt. Den ene metoden tilsier at samlede avbruddskostnader utvikler seg proporsjonalt med husholdningenes disponible lønn, som igjen kan antas å utvikle seg noenlunde i takt med økonomiens produktivitetsvekst. Dersom lønns- og produktivitetsveksten i prosent er omtrent lik veksten i elforbruk i prosent, tilsier dette uendrede nivå på avbruddskostnader per kWh, i likhet med analysen basert på konsument- og produsentoverskudd.

Den siste tilnærmingen vi drøftet var resultater fra ulike spørreundersøkelser om betalingsvilje for å unngå strømbrydd. Her har vi lite empiri, men undersøkelsen til Vista Analyse (2017) antyder en moderat positiv sammenheng mellom inntekt og betalingsvilje for å unngå strømbrydd. Andre har funnet enda svakere sammenheng (London Economics, 2013), se også kapittel 4. Dette tilsier i så fall trolig en noe lavere vekst i totale avbruddskostnader enn den som følger av analysen basert på konsument- og produsentoverskudd.

2.6 Usikkerhet om utviklingen i avbruddskostnader

Det er stor usikkerhet knyttet til anslag for avbruddskostnader; både hva de er i dag og hvordan de vil utvikle seg over tid. Det er særlig utviklingen over tid som er aktuell i denne rapporten. I drøftingen under deler vi denne usikkerheten i to, og omtaler dem hver for seg. Vi antar i drøftingen at det skal vurderes et investeringsprosjekt der færre og kortere avbrudd utgjør en verdi, og at denne verdien strekker seg ut i tid.

2.6.1 Usikkerhet om økonomiske variabler

Anta hypotetisk at vi med stor grad av sikkerhet visste hvordan avbruddskostnader avhenger av økonomiske størrelser som inntekt, produktivitet, elforbruk, produksjonskostnader og eksportpriser for strøm og lignende. Den fremtidige utviklingen av disse økonomiske størrelsene er usikker, og med voksende usikkerhet over tid. Dermed blir også utviklingen av avbruddskostnader over tid usikker, med økende usikkerhet jo lenger frem i tid vi ser. Det er ikke urimelig å anta at fremtidige samlede avbruddskostnader vil være positivt korrelert med inntekt og produktivitet. I så fall har vi et typisk tilfelle av systematisk usikkerhet. Denne kan ivaretas på «standard» måte ved å bruke beregnede forventede fremtidige verdier av avbruddskostnadene, og neddiskontere til i dag gjennom et risikopåslag i kalkulasjonsrenten. Det er ikke noe grunnlag for å tro at denne typen systematisk usikkerhet er større enn for de fleste offentlig investeringsprosjekter, og en bør derfor legge til grunn en vanlig risikojustert kalkulasjonsrente på 4%.

2.6.2 Modellusikkerhet

Modellusikkerhet betyr at vi har manglende kunnskap både om hva avbruddskostnadene er i dag og om hva som påvirker deres utvikling fremover i tid. Trolig er denne typen usikkerhet – som altså skyldes mangelfulle kunnskaper – betydelig større enn usikkerheten drøftet i avsnitt 2.6.1. Modellusikkerheten er imidlertid helt uavhengig av fremtidige økonomiske størrelser som inntekt og produktivitet. Vi har derfor i dette tilfelle ikke systematisk usikkerhet. Selv om denne typen usikkerhet er temmelig stor, gir den derfor ikke grunnlag for noe ekstra påslag i risikoelementet i kalkulasjonsrenten.

Modellusikkerhet innebærer at det for alle fremtidige verdier av avbruddskostnader er et betydelig spenn av mulige verdier. For å gjennomføre en nytte-kostnadsanalyse bør en for hvert fremtidige år velge forventningsverdien til avbruddskostnaden, og deretter gjennomføre analysen som om denne forventningsverdien er sikker (forutsatt en samfunnsøkonomisk analyse slik at usikkerheten er liten i forhold til samfunnets totale fremtidige inntekt).

Det kan tenkes at en er så usikker på fremtidig verdi på avbruddskostnader at en ikke er i stand til å angi noen forventningsverdi, men bare et plausibelt intervall $[K^L, K^H]$ for den sanne verdien K for avbruddskostnaden. Da bør en i prinsippet gjennomføre en nytte-kostnadsanalyse for alle verdiene av K i intervallet $[K^L, K^H]$. Hvis en finner at et investeringsprosjekt er enten lønnsomt eller ulønnsomt for alle verdiene av K i intervallet $[K^L, K^H]$ bør ikke usikkerheten om K bety noe for investeringsbeslutningen. Det vanskelige tilfellet er når en investering er lønnsom for noen verdier av K i intervallet $[K^L, K^H]$, men ulønnsom for andre. I slike tilfeller må en enten erkjenne at vi ikke kan si sikkert om en investering bør gjennomføres eller ikke, eller en må forsøke å innhente kunnskap som kan snevre inn intervallet for rimelige anslag på K .

3 Etterspørselstetastiteter på kort og lang sikt

Elastisiteter viser hvor følsom etterspørselen er for endringer i underliggende drivere (som pris eller inntekt, men også temperaturer osv.). Priselastisiteten måler den prosentvise endringen i kraftetterspørselen når kraftprisen øker med 1%. Inntektelastisiteten viser den prosentvise endringen i kraftetterspørselen når inntekten øker med 1%.

Kraftetterspørsel kan imidlertid være et ganske vagt begrep: Det kan være snakk om etterspørselen på kort eller lang sikt, etterspørselen til en enkeltkunde eller til alle forbrukere innenfor en forbrukerkategori, jf drøftingen av ulike etterspørselsfunksjoner i kapittel 2. Tilsvarende kan priselastisiteter betegne ulike ting. Ofte snakker man om kortsiktige og langsiktige elastisiteter. *Kort sikt* kan noe løselig defineres som så kort tidsperiode at tilpasningen til de nye prisene må skje innenfor eksisterende rammer, noe som ofte er ensbetydende med en forbruksreduksjon. På *lang sikt* har forbrukere mulighet til å investere i nytt utstyr (f.eks. nye elektriske apparater, alternative oppvarmingskilder, osv.) som respons til prisendringen. Når inntekten øker, kjøper man gjerne flere husholdningsartikler.

Et avbrudd kan sees som en periode med uendelig høye priser. Da kan det være relevant å se på hvordan forbrukere responderer på timepriser og ikke minst hvor lett det er å flytte forbruket fra en time til en annen (lastflytting). Dessuten er de høye prisene forbigående, i motsetning til prisendringer på kort og lang sikt.

Det finnes etter hvert flere studier som tallfester hvordan forbrukere responderer på elprisendringer, og det har kommet en del nye studier de siste årene. Det er likevel et stort mylder og mange av dem er vanskelig sammenlignbare.

- For det første vil forbrukernes respons variere avhengig av tidsperspektivet, som nevnt tidligere. Men hvordan de løselige definisjonene av kort og lang sikt er implementert i studiene varierer (og det er ikke alltid klart heller). Grovt sagt kan man si at kort sikt er mindre enn ett år. Det finnes veldig få studier som bruker timepriser eller dag-/nattpriser, og enda færre som ser på flytting av last mellom ulike perioder.
- For det andre er den grunnleggende forutsetningen at elastisitetene representerer forbrukeradferd som ikke endres over tid. Det kan være grunn til å tro at adferden i praksis har endret seg, rett og slett fordi rammebetingelser har endret seg etter liberaliseringen av kraftmarkedene. De fleste forbrukere (både husholdninger og små og mellomstore bedrifter) var ikke eksponert for løpende endringer i kraftpriser tidligere – de verken så eller kunne respondere på faktiske timepriser.
- For det tredje bruker ulike studier data fra ulike land, ulike metoder, ulike tidsperioder, osv. Forbruksstrukturen er forskjellig i forskjellige land, og dermed bør man være varsom med å overføre resultater fra andre land til Norge. For eksempel kan el-oppvarming ha mye å si for hvordan forbrukere reagerer på prisendringer. Også valg av metode er viktig: Alberini & Filipini (2011) viser at bare valg av estimeringsmetode, brukt på samme datasett, kan gi resultater som avviker 70%–88%.

3.1 Hva finner forskningslitteraturen om elastisiteter?

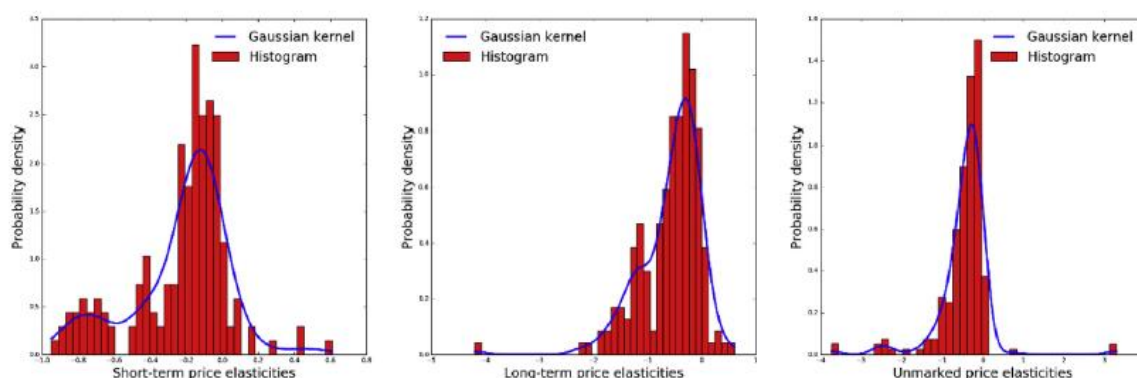
3.1.1 Priselastisiteter på kort og lang sikt

Generelt finner man at de kortsiktige priselastisitetene er ganske nær null, mens de langsiktige er noe høyere.

Zhu m.fl. (2018) gjennomgår 103 studier av priselastisiteter i husholdninger, og konkluderer med at på kort sikt er elektrisitetsetterspørselen nesten fullstendig uelastisk. Gjennomsnittsverdien for kort-siktig priselastisitet er i disse 103 studiene er $-0,028$. Den langsiktige elastisiten er betydelig høyere, men også uelastisk, den er $-0,577$.³ Sagt på en annen måte: når elprisen øker varig med 1% vil etterspørselen gå ned med 0,028% på kort sikt, og 0,577% på lengre sikt.

Det er imidlertid stor variasjon i elastisitetene (til og med noen positive verdier), og gjennomsnittstallene er selvsagt påvirket av det. Figur 3.1 viser variasjonen i elastisitetene i de tre kategoriene i utvalget. Forfatterne konkluderer med at estimatene avhenger av modellspesifikasjon, data, «miljøvariable» (inntekt, i-land/u-land og forbruksstrukturen («living habits»)) og tidsperioden som blir brukt til estimering.

Figur 3.1 Fordeling av priselastisiteter i studiene i Zhu m.fl. (2018)



Zhu m.fl. (2018) finner også at etterspørselen har blitt mer elastisk etter år 2000. Dette kan henge sammen med både organisering av markedet (liberalisering av elektrisitetsmarkeder og at forbrukere møter faktiske priser) og større fokus på energiforbruk og energipriser (f.eks. fokus på energiforbruk og klimapolitikk).

Cialani & Mortazavi (2018) estimerer elastisiteter på grunnlag av paneldata for 29 land i Europa (EU-28 pluss Norge) i perioden 1995-2015. Denne studien er relevant fordi den bruker relativt ferske data sammenlignet med mange andre studier, fra perioden etter at kraftmarkedene har blitt liberalisert. Selv om liberaliseringsprosessen har skjedd gradvis, i alle fall for husholdninger, er den likevel med i datagrunnlaget. Tabell 3.1 viser deres estimater på elastisiteter sammen med resutater fra andre studier. Vi ser at på kort sikt er elastisiteten deres ganske nær null, dvs $-0,04$. På lang sikt er den noe høyere, rundt $0,1-0,3$.

³ I tillegg har de kategorien «ukjent» med et gjennomsnitt på $-0,450$. Det er antakelig studier som ikke sier klart hva de estimerer. I økonomisk faglitteratur er alle etterspørselsfunksjoner med elastisitet mindre enn -1 i tallverdi, uelastiske.

Tabell 3.1 Priselasitet i utvalgte studier

	Sektor	Kort sikt*	Lang sikt*
Zhu m.fl. (2018)	Husholdninger	-0,028	-0,577
Cialani & Mortazavi (2018)	Husholdninger	-0,041 til -0,044	-0,189 til -0,302
Cialani & Mortazavi (2018)	Industri	-0,029 til -0,052	-0,118 til -0,198
Bye m. fl. (2008)	Husholdninger		-0,29
Studier med timepriser eller peak/off-peak-priser:			
Lijesen (2007)	Hele markedet	-0,029	
Patrick & Wolak (2001)	Industri	0 til -0,05**	
Filippini (2011)	Husholdninger:	-0,652 til -0,835	-1,273 til -2,266

* Intervallene viser spennet i elastisiteter som er estimert vha. ulike metoder.

** Unntaket er vannforsyning (-0,27).

De langsiktige elastisitetene i Cialani & Mortazavi (2018) stemmer ganske godt med hva vi vet om norske forhold. Bye m. fl. (2008) har elastisiteter for husholdninger i Norge til bruk i MSG-modellen. De finner en priselastisitet for elektrisitet totalt på -0,29. Kraftetterspørsel relatert til husholdningsartikler er litt mindre følsomt (-0,25), mens oppvarming er litt mer følsomt (-0,3). Dette er langsiktige elastisiteter.

3.1.2 Forbrukeres respons på timepriser

Det mest relevante når det gjelder kortere avbrudd er forbrukernes respons på veldig kort sikt: på timepriser eller priser som varierer over døgnet. Der finnes det noen få relativt nye studier som bruker real-time prices eller time-of-use prices, se nedre del av tabell 3.1. Lijesen (2007) estimerer priselastisiteten for topplastpriser⁴ ved å se på responsen på spotpriser i Nederland. Resultatet er priselastisitet på -0,029. Patrick & Wolak (2001) ser på responsen til industri og tjenesteytende sektorer i Storbritannia. Også der er konklusjonen at i fire av fem sektorer er elastisiteten mellom 0 og 0,05 (unntaket er vannforsyning, med -0,27). Boisvert m. fl. (2004) (ikke i tabellen) estimerer substitusjonselastisiteter for prisforskjellen mellom priser i høylast/topplast og lavlast for industri og næringsliv i Canada, og konkluderer med at 75 % av responsen kan tilskrives lastflytting (ikke energisparing). Elastisitetene er høyere jo kortere topplastperioden er.

Filippini (2011) estimerer elastisiteter for time-of-use priser for husholdninger i Sveits. Hans estimater er ganske mye høyere enn de fleste andre: kortsiktige priselastisiteter er mindre enn 1 (i absoluttverdi), mens langsiktige er større enn 1 (i absoluttverdi), se Tabell 3.1.⁵ Disse estimatene kan skyldes både metoden og datautvalget han bruker.

Det interessante ved studien til Filippini (2011) er at han også estimerer krysspriselasiteteter mellom høylastpriser og lavlastpriser, altså hvor lett er det å flytte forbruket over døgnet.⁶ Resultatene viser ganske høye krysspriselasiteteter (mellom 0,363 og 0,917 på kort sikt og 0,684 til 2,311 på lang sikt). Med andre ord tyder resultatene på at forbruket til en viss grad er fleksibelt mellom dag og natt.

⁴ «Peak hours» er definert i studien som timene mellom kl. 9.00 og 18.00 – altså ikke helt topplast, men høylastperiode.

⁵ Han definerer lang sikt som lang nok tid til at det er mulig å kjøpe mer effektive husholdningsartikler.

⁶ «Peak hours» er definert ganske «romslig»: virkedager kl. 7.00–21.00 (dette henger antakelig sammen med hvilke kon-trakter var tilgjengelige for husholdninger). Lang sikt er definert som lang nok tid til å kjøpe nye elektriske apparater.

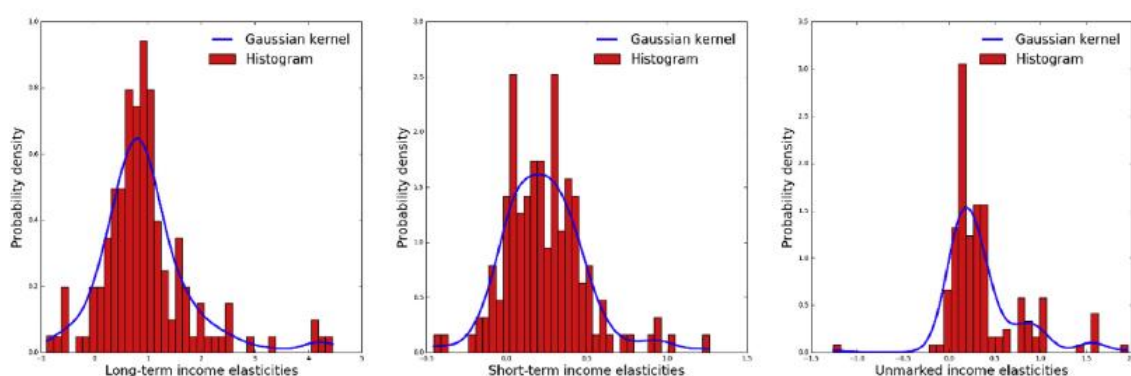
Denne muligheten til å flytte forbruket over døgnet er relevant for et varslet avbrudd. Med ikke-varslet avbrudd kommer behovet for å flytte forbruket uplanlagt, og det kan være vanskeligere.

3.1.3 Inntektselastisiteter

Inntektselastisiteten er positiv for normale goder: Jo rikere mennesker blir, desto mer bruker de på en vare. Dersom inntektselastisiteten er høyere enn 1, så øker godets budsjettandel med inntekt. Er den lavere enn 1, så minker godets budsjettandel med inntekt.

Zhu m.fl. (2018) finner også stor spredning i inntektselastisitet (se Figur 3.2). Gjennomsnittet for kortsiktig inntektselastisitet er 0,239 og for langsiktig inntektselastisitet er det 0,96. Den langsiktige inntektselastisiteten er en god del høyere enn den langsiktige priselastisiteten, noe som tyder på at på lang sikt har inntektsutviklingen mer å si for kraftetterspørselen enn prisutviklingen (hvis ikke prisen øker svært mye). Av bakenforliggende faktorer finner de at inntektselastisiteten er høyere i u-land enn i i-land, altså at kraftetterspørselen i utviklingsland er mer følsom for endringer i inntekt. Dette kan også implisere at jo rikere mennesker er, desto lavere er inntektselastisiteten.

Figur 3.2 Fordeling av inntektselastisitet i studiene i Zhu m.fl. (2018)



Cialani & Mortazavi (2018) finner, basert på data fra Europa, at inntektselastisiteten er ganske lav, rundt 0,1–0,2 både for husholdninger og industri (se Tabell 3.2). Den tidligere nevnte studien til Filippini (2011) gir et stort spenn, fra 0,058 til 0,622.

For norske forhold bruker Bye m.fl. (2008) en inntektselastisitet for elektrisitet 0,47. Etterspørselen etter husholdningsapparater er mer følsom for inntektsendringer (0,57) enn etterspørsel etter oppvarming (0,42), noe som virker rimelig a priori.

Tabell 3.2 Inntektselastisitet i utvalgte studier

	Sektor	Kort sikt*	Lang sikt*
Zhu m.fl. (2018)	Husholdninger	0,239	0,96
Cialani & Mortazavi (2018)	Husholdninger	0,133 til 0,186	
Cialani & Mortazavi (2018)	Industri	0,167 til 0,180	
Bye m. fl. (2008)	Husholdninger		0,47
Filippini (2011)	Husholdninger	0,058 til 0,622	

* Intervallene viser spennet i elastisiteter som er estimert vha. ulike metoder.

3.1.4 Andre interessante resultater

Andre interessante resultater fra litteraturen er at energipriselastisiteter varierer mellom husholdningstypene, og rike husholdninger er mer følsomme for både prisendringer og for inntektsendringer enn fattige husholdninger (se Schulte & Heindl (2017), som estimerer elastisiteter for hele konsumsystemet i Tyskland). Priselastisiteten spenner fra -0,179 for den fattigste fjerdedelen av husholdninger til -0,676 for den rikeste fjerdedelen. Tilsvarende for inntektselastisiteten, som spenner fra 0,253 for de fattigste til 0,485 for de rikeste.

Inglesi-Lotz (2011) ser på sammenhengen mellom priselastisitet og prisnivå. Hun finner at prisfølsomheten er høyere jo høyere prisnivået er. Hennes studie er basert på data fra Sør-Afrika i 1980-2005, i en periode da elprisene var fallende. Konkret finner hun at priselastisiteten falt fra rundt -1 på 1980-tallet til -0,045 i 2005. Men i samme periode har inntektselastisiteten økt fra rundt 0,2 til rundt 1, så betydningen av inntekt for krafttetterspørselen har økt.

4 Avbruddskostnader over tid i tidligere norsk arbeid

I Norge er avbruddskostnader beregnet i tre omganger. I 2002 gjennomførte SINTEF det vi vil kalle 2002-undersøkelsen⁷. I 2010 gjennomførte SINTEF og Pöyry det vi kaller 2010-undersøkelsen, og i 2016 gjennomførte Vista Analyse en undersøkelse av husholdningers avbruddskostnader. I 2010-undersøkelsen ble det gjennomført et delprosjekt som analyserte drivkrefter bak endringer i normaliserte avbruddskostnader over tid (SINTEF og Pöyry, 2012a). Med normaliserte avbruddskostnader menes kostnader for ikke-levert energi per time over avbruddsperiodens varighet, som har benevnelsen kroner per kWh/h. Sistnevnte kan forkortes med h i teller og nevner, og man får kr/kW (kroner per avbrutt effekt på avbruddstidspunktet), slik KILE-satsene er innrettet i dag. Resultatene brukes så for å kaste lys over observerte endringer i estimatene mellom 2002-undersøkelsen og 2010-undersøkelsen. I det følgende trekker vi frem de viktigste konklusjonene SINTEF og Pöyry (2012a).

4.1 SINTEF og Pöyry (2012)

I 2010-undersøkelsen er det gjennomført regresjonsanalyser for å vurdere hvilke faktorer som påvirker normalisert avbruddskostnad. For husholdninger har man brukt forklaringsfaktorer som inntektsnivå, primær oppvarmingskilde, forekomst av back-up utstyr, fylke/region, bostedstype (i eller utenfor by), boligtype (enebolig, tomannsbolig, leilighet), boligens byggeår, samt årlig strømforbruk. For industri og andre virksomheter oppgis at omtrent de samme forklaringsfaktorer er benyttet, i tillegg til el-intensitet (strømforbruk per ansatt). Få av faktorene hadde signifikant betydning for avbruddskostnadene og gjengis ikke her. Signifikante resultater fra regresjonsanalysene er gjengitt i Tabell 4.1 under.⁸

⁷ Arbeidet er dokumentert i tre rapporter; SINTEF (2003a), (2003b) og (2004).

⁸ Regresjonene innebærer log-transformasjon, slik at regresjonskoeffisientene burde kunne tolkes som elastisiteter (prosentvise endringer), men det oppgis at koeffisienten i tabellen knyttet til husholdningsinntekt gjelder en 15 prosent økning. Koeffisientene knyttet til el-intensitet gjelder en 10 prosent økning. Koeffisienten knyttet til årlig elforbruk gjelder en 6 prosent økning. Det er ikke oppgitt noe om de andre koeffisientene, som da formodentlig refererer til 1 prosent økning.

Tabell 4.1 Resultater fra regresjonsanalyse av mulige forklaringsfaktorer for normalisert avbruddskostnad

Kundegruppe	Forklaringsfaktor	Prosentvis endring i normalisert avbruddskostnad
Husholdning	Lokalisert i by	-50
Husholdning	Byggeår senere enn 2000	-28
Husholdning	Husholdningsinntekt	4
Husholdning	Årlig strømforbruk (kWh)	-15
Industri	Under 20 ansatte	168
Industri	El-intensitet	-2
Handel og (private) tjenester	El-intensitet	-3
Offentlig virksomhet	El-intensitet	-1

Kilde: Vista Analyse/SINTEF & Pöry (2012a)

Av tabellen ser vi at en typisk husholdning i by kun har halvparten så store avbruddskostnader som en typisk husholdning utenfor bystrøk. Videre har de som bor i nyere hus i gjennomsnitt lavere avbruddskostnader enn de som bor i eldre hus. Avbruddskostnadene øker i husholdningsinntekt, men synker i strømforbruket. For industribedrifter med færre enn 20 ansatte er avbruddskostnadene mye høyere enn for en typisk bedrift med flere enn 20 ansatte (over to og en halv gang høyere). For alle typer virksomheter kan vi av tabellen slutte at avbruddskostnadene øker med redusert el-intensitet.

Rapporten konkluderer med at betydningen av disse forklaringsfaktorene for endringene i kostnadsanslagene over tid (fra 2002- til 2010-undersøkelsen) må være liten, siden man mener endringen i disse faktorene har vært liten i løpet av 2000-tallet. Hvor små endringene faktisk har vært kan nok diskuteres, særlig for husholdninger. Det vil antakeligvis være en ikke ubetydelig endring i antall boliger med byggeår senere enn år 2000 mellom de to undersøkelsene (2002 og 2010), og det har vært en sterk reallønnsvekst i Norge gjennom 2000-tallet.⁹ Man har ikke hatt data på bruken av elektrisk utstyr i husholdningene, som også kan ha betydning for endring i avbruddskostnader over tid.

4.2 Vista Analyse (2017)

Vista Analyse utarbeidet nye KILE-funksjoner for husholdninger i 2017, på oppdrag fra NVE. I forbindelse med dette arbeidet ble det gjennomført regresjonsanalyser for oppgitt betalingsvilighet¹⁰. Til grunn for resultatene ligger et nettoutvalg på drøyt 1300 respondenter (etter at protestsvar og ekstreme observasjoner er utelukket). For nærmere redegjørelser for utvalget, benyttet metodikk og

⁹ Kilde: SSB. <https://www.ssb.no/arbeid-og-lonn/statistikker/lonnansatt/aar/2017-02-01?fane=arkiv>. På den annen side ser vi at selv 15 prosent økning gir lite utslag, ifølge denne analysen.

¹⁰ I SINTEF og Pöryrs regresjonsanalyser er utfallsvariabelen *normalisert avbruddskostnad* (kr/kW), som er utledet fra respondentenes oppgitte betalingsvilighet. Hos Vista Analyse er utfallsvariabelen oppgitt betalingsvilighet direkte. Dette har ingen praktisk betydning for forskjeller i regresjonsanalysene mellom de to studiene.

annet, se Vista Analyse (2017). Tabell 4.2 viser resultatene fra regresjonsanalyse av forklaringsfaktorer for oppgitt betalingsvillighet. Vi har kun gjengitt de signifikante regresjonskoeffisientene.¹¹

Tabell 4.2 Resultater fra regresjonsanalyse av mulige forklaringsfaktorer for oppgitt betalingsvillighet. Prosentvis endring i betalingsvillighet ved utslag i dummyvariable og ved én prosent økning i kontinuerlige variable

Kundegruppe	Forklaringsfaktor	Prosentvis endring i oppgitt betalingsvillighet
Husholdning	Husholdningsinntekt	0,22
	Mannlig respondent	0,34
	Små eller ingen konsekvenser ved strømbrydd	-0,61

Note: Oppgitte endringer er gjennomsnittet over de ulike avbruddsvarighetene for hvilke effekten er signifikant. Avbruddsvarighetene i undersøkelsen er ett min., to timer, seks timer, 24 timer og 72 timer.

Kilde: Vista Analyse

Det er kun husholdningsinntekt som er felles forklaringsvariabel (blant de signifikante) mellom studiene (Tabell 4.1 og Tabell 4.2). Det fremgår at husholdningsinntekt har omtrent samme effekt på avbruddskostnader i begge studier.¹² Videre ser vi av Tabell 4.2 at mannlige respondenter i gjennomsnitt oppgir høyere betalingsvillighet for å unngå avbrudd enn kvinner, og at respondenter som ikke opplever særlige konsekvenser av et strømbrydd, i gjennomsnitt oppgir lavere betalingsvillighet enn de som opplever større konsekvenser.

4.3 Anbefalinger i SINTEF og Pöyry (2012)

Anbefalingene for oppdateringer av KILE-satsene over tid i SINTEF og Pöyrys arbeid er hentet fra SINTEF og Pöyry (2012b), og gjengitt i kortform i Tabell 4.3.

Tabell 4.3 Anbefalinger for justering av KILE-satser over tid i SINTEF og Pöyry (2012b)

Kundegruppe	Type justering	Kommentar
Husholdninger	Tilsvarende endringen i konsumprisindeksen (KPI)	Signifikante effekter fra analysen vurderes som av liten betydning. Høyere inntekt gir både høyere avbruddskostnader og strømforbruk, og endringen i avbruddskostnader per kW er derfor usikker.

¹¹ Avbruddsvarighetene i undersøkelsen er ett min., to timer, seks timer, 24 timer og 72 timer. Vi har her gjengitt koeffisienter som er signifikante i minst to av de fem scenariene. Boligareal som forklaringsvariabel får signifikante koeffisienter i to av fem scenarier, i omtrent lik størrelse, men med motsatt fortegn av hverandre. Den er derfor utelatt her.

¹² 15 pst. økning fra utvalgsgjennomsnitt gir 4 pst. økning i avbruddskostnad i SINTEF og Pöyry (2012a). Tilsvarende økning i Vista Analyse (2017) gir 0,22 pst. * 15 = 3,3 pst. økning i oppgitt betalingsvillighet.

Industri	Tilsvarende endring i prisindeksen for bruttoproduktet ¹³	I perioden 2000-2010 har produktprisene angivelig økt 40 prosent mer enn konsumprisene (KPI), som antas å øke industriens normaliserte avbruddskostnader tilsvarende
Handel og tjenester	Tilsvarende endring i prisindeksen for bruttoproduktet ¹⁴	El-intensitet er eneste signifikante effekt på normalisert avbruddskostnad, og vurderes som neglisjerbar for justeringer over tid.
Offentlig virksomhet	Tilsvarende veksten i lønnskostnadene per timeverk for offentlig ansatte	Avbruddskostnadene for denne kundegruppen er basert på verdien av tapt arbeidstid ved avbrudd.
Industri med eldrevne prosesser	Tilsvarende endring i prisindeksen for bruttoproduktet ¹⁵	Sterk vekst i prisindeksen gjennom 2000-tallet. Grunnet store årlige prissvingninger anbefales en «glatting» ved at man tar hensyn til prisendringen over flere år.
Jordbruk	Tilsvarende endring i prisindeksen for bruttoproduktet ¹⁶	I den grad prisindeksen er kjennetegnet av store, årlige svingninger åpnes det for å benytte et gjennomsnitt for de siste årene.

Kilde: Vista Analyse/SINTEF & Pöyry (2012b)

¹³ Ytterligere definisjon eller referanse ikke oppgitt. Vi antar at det menes vareprisindeks for industrinæringene, som SSB fra og med oktober 2015 fører i *Produsentprisindeks for olje og gass, industri, bergverk og kraftforsyning* («produsentprisindeksen»).

¹⁴ Vi antar at det menes henholdsvis *Prisindeks for engroshandel* og *Produsentprisindekser for tjenester*, levert av SSB.

¹⁵ Vi antar at det menes *Produsentprisindeks for olje og gass, industri, bergverk og kraftforsyning* («produsentprisindeksen»), med blant annet metallindustri og maskinindustri som egne grupper.

¹⁶ Vi antar at det menes *Prisindeks for engroshandel*, med jordbruksråvarer (og levende dyr) som egen gruppe.

5 Internasjonal forskning og praksis

I dette kapitlet redegjør vi for våre funn etter en gjennomgang av internasjonal forskning og andre lands praksis vedrørende justering av avbruddskostnader over tid.

5.1 Internasjonal forskning

Det er et omfattende internasjonalt forskningsmateriale for estimering av avbruddskostnader og metodiske tilnærminger til dette, men gjennom våre søk etter teoretiske arbeider vedrørende justering av avbruddskostnader *over tid* erfarer vi at dette feltet er relativt begrenset.¹⁷

Det beste eksempelet vi kan finne er fra oppdragsforskning utført for den australske systemoperatøren AEMO (the Australian Energy Market Operator). I Australia er Victoria den eneste jurisdiksjonen som bruker eksplisitte verdier for avbruddskostnader i beslutningsprosesser for nettinvesteringer. Avbruddskostnader ble estimert i 2002 og i 2007 for seks kundegrupper og delstaten som helhet. Verdier for årene mellom 2002 og 2007 ble utledet ved hjelp av en indekseringsmetode utarbeidet av NERA Economic Consulting (VENCorp, 2009)¹⁸.

I ettertid ønsket AEMO å fortsette med årlig justering av avbruddskostnadene og utarbeidelse av avbruddskostnader for de øvrige NEM-regionene¹⁹ basert på den metodiske tilnærmingen i Victoria. Det ble utført et nytt arbeid i 2011 for å gjennomgå metodiske tilnærminger for estimering av avbruddskostnader og utarbeide disse for øvrige NEM-regioner ved bruk av verdioverføring med Victoria-estimatene («benefit transfer») (Oakley Greenwood, 2011). I det følgende redegjør vi for de ulike metodiske tilnærmingene til indeksering av avbruddskostnader som har vært lansert i dette arbeidets ulike faser.

Indeksering med vektet snitt av sektorvise indekser

Følgende indeksering ble anbefalt av NERA Economic Consulting i 2009. Hovedindeksen («headline index») som skal benyttes til justering av avbruddskostnader fremkommer som et gjennomsnitt av tre sektorspesifikke indekser, vektet med sektorens andel av delstatens totale strømforbruk.

$$HI_t = RI_t * W_{R,t} + AI_t * W_{A,t} + CII_t * W_{II,t}$$

hvor

$$HI_t = \text{«Headline index»}$$

$$RI_t = \left(\frac{TGI_t}{TGI_{2007}} \right) * 100 \text{ (\"Residential index\")}$$

¹⁷ Et omfattende forskningsprosjekt ledet av SINTEF Energi, ved navn GARPUR, tar for seg alternative tilnærminger til styring av forsyningssikkerhet – men berører ikke eksplisitt problemstillingen med indeksering av avbruddskostnader over tid.

¹⁸ Rapporten er ikke offentlig tilgjengelig, men anbefalt metode er gjengitt i Oakley Greenwood (2011).

¹⁹ The National Electricity Market (NEM) består av fem fysisk forbundede regioner på østkysten av Australia: Queensland, New South Wales, Victoria, Tasmania og South Australia.

$$AI_t = \left(\frac{GVA_t}{GVA_{2007}} \right) * 100 \text{ ("Agricultural index")}$$

$$CII_t = \left(\frac{GSP_t}{GSP_{2007}} \right) * 100 \text{ ("Commercial and industrial index")}$$

TGI_t = samlet brutto husholdningsinntekt i år t (for aktuell delstat)

GVA_t = bruttoproduktet i jordbruksnæringen til produsentpriser i år t (for aktuell delstat)

GSP_t = brutto delstatsprodukt i år t

$W_{R,t}$ = husholdningssektorens andel av delstatens totale strømforbruk i år t

$W_{A,t}$ = jordbrukssektorens andel av delstatens totale strømforbruk i år t

$W_{CII,t}$ = kommersiell og industriell sektors andel av delstatens totale strømforbruk i år t

Indeksering med vektet snitt av sektorvise indekser korrigert for endringer i strømforbruk

Oakley Greenwood (2011) påpeker at en hovedindeks beregnet på ovennevnte måte ikke bare vokser med priser og husholdningsinntekt, men også ved befolkningsøkning. Dette fordi indeksen baseres på *samlet* brutto husholdningsinntekt, som vil øke med befolkningen selv om (den gjennomsnittlige) husholdningsinntekten ikke øker. Videre tar ikke indeksen hensyn til endringer i forbruksmønster, eller «el-intensitet». Det gis et eksempel hvor en industribedrift bytter ut en el-drevet produksjonsprosess med en gass-drevet produksjonsprosess, slik at strømforbruket reduseres. Produksjonsnivået og verdien av produksjonen er likevel uendret. Ved et strømbrydd vil all produksjon stoppe opp, og siden bedriften forbruker færre kWh strøm enn tidligere, vil den økonomiske skaden per kWh være høyere enn tidligere. Dette vil presse sektorens avbruddskostnader per kWh oppover, proporsjonalt med antall bedrifter som på liknende måter bytter ut strømdrevne produksjonsprosesser.

For å bøyte på slike problemer foreslås en modifisert beregning av de sektorvise indekser, hvor inntektsmålene normaliseres på samlet strømforbruk på følgende måte:

$$RI'_t = \left(\frac{TGI_t/RSE_t}{TGI_{2007}/RSE_{2007}} \right) * 100$$

$$AI'_t = \left(\frac{GVA_t/ASE_t}{GVA_{2007}/ASE_{2007}} \right) * 100$$

$$CII'_t = \left(\frac{GSP_t/CISE_t}{GSP_{2007}/CISE_{2007}} \right) * 100$$

hvor

RSE_t = samlet strømforbruk i husholdningssektoren i år t (for aktuell delstat)

ASE_t = samlet strømforbruk i jordbrukssektoren i år t (for aktuell delstat)

$CISE_t$ = samlet strømforbruk i kommersiell og industriell sektor i år t (for aktuell delstat)

Med en slik normalisering fremholdes det at man eliminerer befolkningsvekst som driver av sektorindeksene (og derfor hovedindeksen), når det antas at man har en «befolkningseffekt» i både teller

og nevner i uttrykkene over og under den store brøkstreken i hver av sektorindeksene, som da går mot hverandre.

Grunnet manglende datagrunnlag kunne Oakley Greenwood imidlertid ikke beregne indekser med sin foretrukne metode på daværende tidspunkt, og benyttet heller en alternativ beregningsmetode for de sektorvise indeksene, med unntak for jordbruksindeksen (som er den samme som i NERAs tilnærming skissert tidligere i kapitlet)

$$RI''_t = \left(\frac{TGIpc_t}{TGIpc_{2007}} \right) * 100$$

$$AI_t = \left(\frac{GVA_t/ASE_t}{GVA_{2007}/ASE_{2007}} \right) * 100$$

$$CII''_t = \left(\frac{GSP_t/CISE_t}{GSP_{2007}/CISE_{2007}} \right) * 100$$

hvor

$TGIpc_t$ = samlet brutto husholdningsinntekt per capita i år t (for aktuell delstat)

GVA_t = bruttoproduktet i jordbruksnæringen til produsentpriser i år t (for aktuell delstat)

$GSPpc_t$ = brutto delstatsprodukt per capita i år t

Det påpekes to svakheter ved en slik tilnærming. For det første tar den ikke hensyn til endringer i strømforbruk i husholdninger og bedrifter, og for det andre tar den ikke hensyn til at jordbruksindeksen ikke kan korrigeres for per capita endringer, da det ikke finnes et tilsvarende mål på bruttoproduktet, målt i produsentpriser, per jordbruksvirksomhet. Selv med disse svakhetene mener Oakley Greenwood at denne tilnærmingen er bedre enn det som er blitt brukt av AEMO årene før (på NERAs anbefaling). AEMO har imidlertid nå avvist både NERAs og Oakley Greenwoods tilnærming, og dagens praksis i Australia er redegjort for i avsnitt 5.2.

5.2 Internasjonal praksis

Sverige

I Sverige ble avbruddskostnader beregnet i 1994 av Svensk Energi (tilsvarende organisasjonen Energi Norge). Avbruddskostnadene ble oppdatert i 2003 gjennom en ordinær justering tilsvarende endringene i konsumprisindeksen. Energimarknadsinspeksjonen (EI)²⁰ er av den oppfatning at en KPI-justering fra 2003 til det nærmeste aktuelle prisnivået for det respektive avregningsår for nettselskapenes inntektsramme må anses å gi «kostnadsriktiga» aktuelle verdier for avbruddskostnadene (Energimarknadsinspeksjonen, 2010). Kostnadsriktighet er et prinsipp som hovedsakelig opptrer i el-markedsreguleringen, som innebærer at hver strømkunde skal betale en avgift som står i forhold til den kostnad han/hun påfører nettkonsesjonshaveren.²¹ Hva gjelder avbruddskostnader er det motsatt, da strømkunden påføres kostnader av nettoperatøren (grunnet dennes manglende evne til å

²⁰ Tilsynsmyndighet, underlagt Miljö- och energidepartementet.

²¹ Kilde: <https://lagen.nu/prop/2001/02:56>

opprettholde strømforsyningen). Vi tolker Energimarknadsinspeksjonen slik at en KPI-justering av avbruddskostnader, opprinnelig basert på kundeundersøkelser, over tid bevarer forholdet mellom kostnader som påføres strømkunden ved et avbrudd og den reduksjon i inntektsramme som påføres nettselskapet.

Det er imidlertid nylig beregnet nye avbruddskostnader som skal benyttes fra og med tilsynsperioden 2020-2023, på bakgrunn av erkjennelsen av at disse kostnadene kan endres over tid med endringer i samfunnets bruk av strøm (Energimarknadsinspeksjonen, 2018). Det er rimelig å forvente at årlig KPI-justering av avbruddskostnaden vil fortsette i årene etter innføring av nye grunnlagsestimater, slik praksis har vært det siste tiåret, til det eventuelt utføres en ny verdsettingsstudie.

I praktisk veiledning for nytte-kostanalyse før nettinvesteringer finner vi ingen omtale av justering av avbruddskostnader over analyseperioden, utover den alminnelige neddiskonteringen av nytte- og kostnadsvirkninger (se Nordling, et al. (2018), vedrørende smartgrid-investeringer)

Danmark

Den danske systemoperatøren (Energinet) har ikke besvart vår henvendelse, men slik vi leser den danske lovgivningen på området²² og dokumentasjon hos Forsyningstilsynet (Forsyningstilsynet, 2018), er behandlingen av avbruddskostnader relativt ulik den i Norge og Sverige.

Nettselskapenes inntektsramme reguleres med en rekke tillegg og fradrag, hvorav et av disse er fradrag av et beløp for «utilstrækkelig leveringskvalitet». Inntektsrammen fastsettes med henblikk på å dekke nettvirksomhetens omkostninger ved effektiv drift. Fradraget for utilstrækkelig leveringskvalitet bestemmes som en prosentvis reduksjon av et omkostningsgrunnlag som fastsettes av Forsyningstilsynet, med hensyn til hvilke kostnader nettvirksomheten forventes å kunne påvirke. En slik reduksjon i omkostningsgrunnlaget gir da i sin tur en reduksjon i inntektsrammen. Målene for leveringskvalitet fastsettes av Forsyningstilsynet i forkant av hver femårige reguleringsperiode. Disse baseres på tall for hyppighet og varighet for avbrudd per kunde per år, og skiller ikke mellom ulike kundegrupper (Forsyningstilsynet, 2018).

Ifølge lovgivningen skal omkostningsgrunnlaget justeres for prisutvikling til og med utgangen av perioden omkostningsgrunnlaget beregnes for (foregående reguleringsperiode). Dette gir i praksis samme prisjustering for utilstrækkelig leveringskvalitet, da verdien av denne gis som en andel av omkostningsgrunnlaget. Indeksen som skal benyttes er gjennomsnittet av lønnsindeksen²³ og prisindeksen for innenlandsk vareforsyning²⁴.

²² Bekendtgørelse om indtægtsrammer for netvirksomheder.

<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=202321#id4d0ea231-e131-45c0-a0d4-a3574b625d6e>

²³ Danmarks Statistiks lønnsindeks for virksomheder og organisationer for ansatte i industrien (ILON12)

²⁴ Danmarks Statistiks prisindeks for indenlandsk vareforsyning (PRIS11)

Finland

Energimarknadsverket pålegger nettoperatørene å beregne årlige avbruddskostnader i sine respektive nett for syv forbrukstyper/kundegrupper.²⁵ Avbruddskostnadene beregnes etter en formel som minner om KILE-funksjonen i norsk sammenheng²⁶:

$$KAH_{t,k} = \sum_{i=1}^n [(A_i + B_i * T_i) * P_i * K_{i,va} * K_{i,vp}] * \left(\frac{KHI_{k-1}}{KHI_{2009}} \right)$$

I denne sammenheng er vi opptatt av prisjusteringer over tid, og går derfor ikke nærmere inn på den øvrige innretningen av formelen. Prisjusteringen forekommer i siste faktor, hvor *KHI* er konsumprisindeksen, *k* er beregningsåret og 2009 er baseåret.

Irland og Nord-Irland

Irland og Nord-Irland benytter felles estimater for avbruddskostnader. Satsen ble i 2007 satt til €10/kWh (SEM committee, 2007). Kostnadene er ikke avledet fra verdsettingsundersøkelser, og det differensieres ikke mellom kundegrupper. Estimateret er basert på en metode hvor avbruddskostnadene kan avledes implisitt. Metoden baserer seg på «samfunnsøkonomisk effektive avbruddstimer» i et sentralstyrt kraftsystem, hvor antallet slike timer er lik det antall timer der produksjonskostnaden ved å møte den gitte kraftetterspørselen overstiger avbruddskostnadene. Metoden er nærmere beskrevet i Curtin og Doherty (2007). Avbruddskostnaden justeres årlig med en vektet faktor bestående av the Irish Harmonised Index of Consumer Prices (HICP) og UK HICP, med henholdsvis to tredjedeler og en tredjedels vekt.

EU

The Council of European Energy Regulators (CEER) påpeker viktigheten av at det optimale nivået for forsyningssikkerhet vil endres over tid, som følge av endringer i sluttbrukeres utstyr og krav til forsyningen, samt nettinvesteringskostnader (Brekke, Vailati, Torstensson, Steiner, & Falcao, 2011). Vi har imidlertid ikke klart å oppdrive dokumenterte retningslinjer som spesifikt omhandler endring i avbruddskostnader over tid. Systemoperatørene i Frankrike (RTE) og Storbritannia (National Grid) har ikke besvart våre henvendelser.

Australia

Den australske systemoperatøren AEMO (the Australian Energy Market Operator) har utført et relativt grundig teoretisk arbeid vedrørende justering av avbruddskostnader over tid, som beskrevet i avsnitt 5.1. I ettertid har AEMO vært bekymret for at de foreslåtte metodiske tilnærmingerne over tid vil gi indekserte avbruddskostnader som vil skille seg fra resultatene i nye, fremtidige verdsettingsundersøkelser. Dette fordi man har erfart at bruk av indekseringsmetodene i for liten grad har klart

²⁵ Disse inkluderer mineralindustri, papirindustri, kjemisk industri, metallindustri, transport, samt distribusjonsnettet i henholdsvis urbane og landlige strøk (husholdninger).

²⁶ I norsk sammenheng inngår ikke prisjustering i selve kostnadsfunksjonene, men totale avbruddskostnader skal KPI-justeres årlig, ifølge forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302/KAPITTEL_4-3#%C2%A79-2

å predikere endringen i avbruddskostnader mellom verdsettingsstudier over tid. Man har ikke funnet gode argumenter, eller fått innspill fra berørte parter, for en særskilt måte å indeksere avbruddskostnader over tid (AEMO, 2011). På denne bakgrunn benyttes nå en alminnelig KPI-justering for å opprettholde realverdien på avbruddskostnadene:

$$VCR_t = VCR_{t-1} * \left(\frac{CPI_{t-1}}{CPI_{t-2}} \right)$$

hvor

VCR_t = Avbruddskostnad i år t for gitt kundegruppe (VCR = value of customer reliability)

CPI_t = Konsumprisindeks fra mars i år $t-1$ til mars i år t , alle vare- og tjenestegrupper (vektet gjennomsnitt av åtte hovedsteder).

AEMO erkjenner at det med en KPI-justering også kan bli forskjeller mellom indekserte verdier og resultater fra nye verdsettingsstudier. For nærmere drøfting av denne problemstillingen, se AEMO (2014).

6 Anbefalinger til Statnett

Problemstillingen i denne rapporten har vært om «kostnaden ved avbrudd» i samfunnsøkonomiske analyser bør fremskrives med prisindeksen, eller en indeks for inntektsvekst (for eksempel bnp/capita, eller lønnsvekst) eller noe annet. Dette er nyttig kunnskap for en som skal gjøre samfunnsøkonomiske investeringsanalyser der færre og kortere avbrudd er en av gevinstene. Det kan også være nyttig kunnskap for regulatoren NVE, som i forskrift bestemmer hvordan de såkalte KILE-satsene skal fremskrives. KILE-satsene fremover i tid er i neste omgang ment å påvirke nettselskapenes investeringsbeslutninger.

Vi har presisert problemstillingen til å omfatte samlet konsumentoverskudd ved (manglende) strømbrudd, og konsumentoverskudd per kWh. Konsumentoverskudd per kWh er benevnt i kroner per kWh og tilsvarer det som i EUs elmarkedsdirektiv²⁷ kalles value of lost load (VoLL). Konsumentoverskudd er benevnt i kroner. Konsumentoverskudd i kroner er så vidt vi kan se samme størrelse som i forskriften for KILE-satsene kalles kostnaden ved et avbrudd (benevnt K_j i forskriften).²⁸

Vi har altså

- Konsumentoverskudd per kWh er relevant for VoLL
- Konsumentoverskudd i kroner er relevant for kostnaden ved et avbrudd i KILE-ordningen.

Vi kaller konsumentoverskuddet V og konsumentoverskudd per kWh for v . Med x som indikator for forbruket, har vi

$$V = vx$$

Konsumentoverskudd per kWh bør fremskrives med konsumprisindeksen

Vår analyse peker klart på at konsumentoverskudd per kWh, altså v , i investeringsanalyser bør være konstant i realverdi. Intuitivt kan dette virke overraskende: Er ikke elektrisitet et gode vi har stadig mer bruk for? Blir vi ikke dessuten stadig mer velstående? Vil ikke dette føre til høyere betalingsvilje over tid? Problemet med dette resonnementet er at det bare handler om telleren i uttrykket for konsumentoverskudd per kWh. Det kan være telleren stiger over tid, som følge av for eksempel inntektsvekst, *men det gjør også nevneren*. Vår analyse har vist at under rimelige forutsetninger vil forbruket stige omtrent likt med konsumentoverskuddet i kroner, og konsumentoverskudd per kWh vil være uendret i realverdi.

I en verden med prisstigning må vi fremskrive konsumentoverskudd per kWh med prisindeksen, men ikke noe mer. Hvis vi hovedsakelig er opptatt av husholdningers konsumentoverskudd per kWh, er konsumprisindeksen den beste prisindeksen. Ofte brukes konsumprisindeksen også for å fremskrive prisstigning for andre aktører, og vi gjør neppe stor feil om vi bruker konsumprisindeksen som indikator for alle kundegruppers konsumentoverskudd per kWh.

²⁷ <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/966-value-of-lost-load-voll>

²⁸ https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302/KAPITTEL_4-3#%C2%A79-1

Vi har gjennomgått praksis for fremskrivning av avbruddskostnad i land det er naturlig å sammenlikne seg med, og finner at alle land som har regler om fremskrivning, fremskriver med prisindeks. Dette støtter vårt råd.

Vi vil altså anbefale at anslag for konsumentoverskudd per kWh fremskrives med konsumprisindeksen.

Konsumentoverskudd i kroner bør fremskrives med forbruksveksten og konsumprisindeksen

Det følger av konklusjonen vi nettopp trakk om konsumentoverskudd per kWh, og likningen $V = vx$, at samlet konsumentoverskudd over tid er proporsjonal med forbruket x og dermed bør fremskrives med forbruksveksten. Det kronetallet man da får må multipliseres opp til ønsket prisnivå ved hjelp av konsumprisindeksen.

Hvilken indikator for forbruksvekst å bruke, avhenger av hvilken informasjon man har og hva man er interessert i. Ideelt sett bør man ha tilgjengelig data for konsumentoverskudd for hver kundegruppe. Disse bør multipliseres med forbruksvekst for vedkommende kundegruppe, og man summerer til slutt.

Vi vil altså anbefale at anslag for samlet konsumentoverskudd som går tapt ved strømbrudd, fremskrives med anslag for forbruksveksten. Tallet man da får, multipliseres opp til ønsket prisnivå ved hjelp av konsumprisindeksen.

Tilgjengelige data taler for at forbruksveksten er lavere enn inntektsveksten

Det er ulike ting som driver forbruksvekst, blant annet priser, teknologiske muligheter, demografi, og inntekt. I enkelte sammenhenger vil en vurdere å bruke inntektsvekst som indikator for forbruksvekst. Denne indikatoren fanger opp inntekt per befolkning, og befolkningsvekst. I avsnitt 3.1.3 gjennomgår vi et utvalg internasjonale og nasjonale studier av inntektselastisiteten for elektrisitet. Alle får til resultat at inntektselastisiteten er lavere enn 1. Resultatene spriker, men et midtpunkt som virker å være et gjennomsnitt er den norske studien til Bye m.fl. (2008), som fant en inntektselastisitet nær 0,5. Bye m.fl. (2008) er nå noen år gammel. Dette leder oss til følgende anbefaling:

Skal man bruke inntekt som indikator for forbruk, anbefaler vi å legge til grunn at inntil videre forbruksveksten er halvparten av inntektsveksten. Inntektselastisiteten for strøm, for ulike brukergrupper, bør estimeres på nytt.

Kostnaden i KILE-ordningen bør fremskrives med konsumprisindeks og forbruk

Kostnaden i KILE-ordningen består av en rekke kompliserte ledd, men essensen er en størrelse kalt $k_{p,ref}$ for samlet konsumentoverskudd per kilowatt, og en størrelse P_{ref} for antall kilowatt. Kostnaden har formen $V = vx$ med x benevnt i effekt (kW). Samtidig brukes kostnaden om strømbrudd av endelig varighet og for våre formål er det ikke avgjørende at x i KILE-ordningen er benevnt i kW og ikke kWh.

Størrelsen P_{ref} oppdateres minst en gang i kvartalet slik at den til enhver tid gjenspeiler faktisk forbruk, se f.eks. Vista Analyse (2019). Størrelsen $k_{p,ref}$ skal oppdateres med konsumprisindeksen. Det betyr

at KILE-kostnaden per i dag holdes løpende oppdatert på en måte som er i samsvar med vår anbefaling for oppdatering av samlet konsumentoverskudd. Vi vil i tillegg gi følgende anbefaling:

Dersom kostnaden i KILE-ordningen brukes som grunnlag for fremskrivning av avbruddskostnader, bør størrelsen P_{ref} fremskrives med forbruksveksten og størrelsen $k_{p,ref}$ bør fremskrives med konsumprisindeksen.

Referanser

- AEMO. (2011). *Value of Customer Reliability Issues Paper*. Melbourne: Australian Energy Market Operator.
- AEMO. (2014). *Value of Customer Reliability - Application Guide - Final Report*. Melbourne: Australian Energy Market Operator.
- Alberini, A, M. Filippini (2011). Response of residential electricity demand to price: The effect of measurement error. *Energy Economics* 33, 889–895
- Boisvert, R., P. Cappers, B. Neenan, B. Scott (2004). Industrial and Commercial Customer Response to Real Time Electricity Prices. Neenan Associates (tilgjengelig på www.bneenan.com)
- Brekke, K., Vailati, R., Torstensson, D., Steiner, M., & Falcao, A. (2011). *CEER Recommendations on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances*. CIRED Conference.
- Bye, B., T. Gunnes, B.M. Larsen (2008): *Konsummodellen i MSG6 ved økonomisk vekst. En analyse av utviklingen i energiforbruket og teknologisk endring*. SSB Rapporter 2008/30
- Cialani, C., R. Mortazavi (2018): Household and industrial electricity demand in Europe. *Energy Policy* 122 (2018), 592–600
- Curtin, J., & Doherty, T. (2007). *The Value of Lost Load, the Market Price Cap and the Market Price Floor - A Consultation Paper*. Tallaght: SEM committee.
- Energimarknadsinspektionen. (2010). *Kvalitetsbedømming av elnät vid förhandsreglering*. Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Energimarknadsinspektionen. (2018). *Leveranssäkerhet i Sveriges elnät 2017*. Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Filippini, M. (2011): Short- and long-run time-of-use price elasticities in Swiss residential electricity demand. *Energy Policy* 39 (2011), 5811–5817
- Forsyningstilsynet. (2018). *Afgørelse om mål for netvirksomheders leveringskvalitet 2018-2022*. Valby: Forsyningstilsynet.
- Inglesi-Lotz, R. (2011): The evolution of price elasticity of electricity demand in South Africa: A Kalman filter application. *Energy Policy* 39 (2011), 3690–3696.
- Joskow, P. og Tirole, J. (2007), Reliability and competitive electricity markets. *RAND Journal of Economics* 38, 60-84.
- Lijesen, M.G. (2007): The real-time price elasticity of electricity. *Energy Economics* 29 (2007), 249–258.
- London Economics (2013), *The Value of Lost Load (VoLL) for Electricity in Great Britain - Final report for Ofgem and DECC*. <https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/82293/london-economics-value-lost-load-electricity-gbpdf>

- Nordling, A., Pädam, S., af Burén, C., & Jörgensen, P. (2018). *Social costs and benefits of smart grid technologies*. ISGAN.
- Oakley Greenwood. (2011). *Valuing Reliability in the National Electricity Market - Final Report*. Melbourne: Oakley Greenwood.
- Patrick, R.H, F.A. Wolak (2001): Estimating the customer-level demand for electricity under real-time market prices. NBER Working Paper 8213.
- Sangvi, A.P. (1982), Economic costs of electricity supply interruptions – US and foreign experience. *Energy Economics*, July 1982, 180-198
- Schulte, I., P. Heindl (2017): Price and income elasticities of residential energy demand in Germany. *Energy Policy* 102 (2017), 512–528
- SEM committee. (2007). *The Value of Lost Load, the Market Price Cap and the Market Price floor - A Response and Decision Paper*. Tallaght: SEM committee.
- SINTEF. (2003a). *Sluttbrukeres kostnader forbundet med avbrudd og spenningsforstyrrelser. Del 1 av 3: Spørreundersøkelse - Metodeunderlag*. Trondheim: SINTEF Energi AS.
- SINTEF. (2003b). *Sluttbrukeres kostnader forbundet med avbrudd og spenningsforstyrrelser. Del 2 av 3: Spørreundersøkelse - Resultater*. Trondheim: SINTEF Energi AS.
- SINTEF. (2004). *Sluttbrukeres kostnader forbundet med avbrudd og spenningsforstyrrelser. Del 3 av 3: Spørreundersøkelse - Utfyllende analyser*. Trondheim: SINTEF Energi AS.
- SINTEF og Pöyry. (2012a). *Samfunnsøkonomiske kostnader ved avbrudd og spenningsforstyrrelser - Drivkrefter bak endring*. Oslo: Energi Norge AS.
- SINTEF og Pöyry. (2012b). *Samfunnsøkonomiske kostnader ved avbrudd og spenningsforstyrrelser - Implikasjoner for regulering*. Oslo: Energi Norge AS.
- SINTEF & Pöyry. (2012c). *Samfunnsøkonomiske kostnader ved avbrudd og spenningsforstyrrelser - Private bedrifter og offentlige tjenester*. Oslo: Energi Norge AS.
- VENCorp. (2009). The value of customer reliability for the electricity transmission network: Methodology for extrapolating VCR between surveys. VENCORP
- Vista Analyse. (2017). *Nye KILE-funksjoner for husholdninger*. Rapport 2017/32. Av Skjeflo, S., Magnussen, K., Navrud, S., Tennbak, B. og Vennemo, H. Oslo: Vista Analyse
- Vista Analyse (2018). *KILE-funksjoner for husholdninger bygget på erfaringer med lange avbrudd*. Rapport 2018/05. Av Skeie, M.A, B. Tennbakk og H. Vennemo. Oslo: Vista Analyse.
- Vista Analyse (2019). *Alternative måter å regne KILE-kostnaden på*. Rapport 2019/26. Av O. Rosnes. Oslo: Vista Analyse.
- Zhu, X., L. Li, K. Zhou, X. Zhang, S. Yang (2018): A meta-analysis on the price elasticity and income elasticity of residential electricity demand. *Journal of Cleaner Production* 201 (2018), 169–177

Vedlegg A: Utregninger og bevis

Konsumentoverskudd og pris

Etterspørselsfunksjonen er gitt ved $x(p)$. Da er konsumentoverskuddet, dvs arealet pQBp i Figur 2.1, gitt ved

$$V(p) = \int_p^{\infty} x(s) ds \quad (1)$$

Fra dette uttrykket følger det at

$$V'(p) = -x(p) < 0 \quad (2)$$

Konsumentoverskuddet per kWh er

$$v(p) = \frac{V(p)}{x(p)}$$

Derivasjon med hensyn på p gir

$$v' = \frac{1}{x^2} [xV' - Vx'] \quad (3)$$

Priselastisiteten for elektrisitet (målt positivt) er definert ved

$$\varepsilon = -x'(p) \frac{p}{x}$$

som gir $x' = \varepsilon x/p$. Vi setter dette samt $V' = -x$ (fra (2) inn i (3) og får

$$v'(p) = \varepsilon \frac{V}{px} - 1 = \varepsilon \frac{v}{p} - 1 \quad (4)$$

eller på elastisitetsform

$$El[v(p)] = v' \frac{p}{v} = \varepsilon - \frac{p}{v} \quad (5)$$

Vi har altså at

$$v'(p) \gtrless 0 \text{ avhengig om } \varepsilon \gtrless \frac{p}{v}$$

Brøken $p/v = px/V$ er forholdet mellom kostnader til kjøpt strøm og konsumentoverskuddet. For $\varepsilon < 1$ går px og dermed p/v mot null når p går mot null, slik at for tilstrekkelig lav p er helt sikkert $v'(p) > 0$ (med mindre ε også går mot null når p går mot null). For verdier av p nær faktiske priser er fortegnet på $v'(p)$ usikkert.

Fra (5) ser vi også at elastisiteten til funksjonen $v(p)$ må ligge i intervaller $[-p/v, \varepsilon]$. Hvis både ε og p/v er små, blir også tallverdien av denne elastisiteten liten, uansett fortegn.

Et proporsjonalt skift utover av etterspørselskurven

Anta nå at etterspørselen er gitt ved $\alpha f(p)$, hvor α er en skiftparameter. Priselastisiteten er gitt ved

$$\varepsilon = -\alpha f'(p) \frac{p}{\alpha f(p)} = -f'(p) \frac{p}{f(p)}$$

som er uavhengig av α .

Konsumentoverskuddet er gitt ved

$$V(p) = \alpha \int_p^{\infty} f(s) ds$$

som øker proporsjonalt med α når p er gitt. Videre er

$$v(p) = \frac{\alpha \int_p^{\infty} f(s) ds}{\alpha f(p)} = \frac{\int_p^{\infty} f(s) ds}{f(p)}$$

uavhengig av α .

Et proporsjonalt skift oppover av etterspørselskurven

Anta nå at etterspørselen er gitt ved

$$x = f\left(\frac{p}{\beta}\right)$$

hvor β er en skiftparameter og $f' > 0$. For en gitt pris er x høyere jo større β er. Den inverse etterspørselsfunksjonen, som gir marginal betalingsvilje for hvert kvantum, er

$$p = \beta f^{-1}(x)$$

Denne marginale betalingsviljen øker proporsjonalt med β , økt β gir altså et proporsjonalt skift oppover i etterspørselskurven.

Siden det bare er forholdstallet p/β som påvirker etterspørselen, er det bare dette forholdstallet som påvirker størrelsene ε , V og v . Virkningen på disse størrelsene av en økning i β er derfor nøyaktig den samme som virkningen av en reduksjon i prisen p . Et proporsjonalt skift oppover i etterspørselskurven gir derfor lavere priselastisitet og økt samlet avbruddskostnad. Virkningen på avbruddskostnad per kWh er usikker, men denne vil gå opp dersom $\varepsilon < p/v$. Merk imidlertid at hvis $El[v(p)]$ er liten i absolutt verdi, er også endringen i $v(p)$ for et skift på f.eks. 10% uansett liten. Hvis vi for eksempel antar at både ε og p/v er mindre enn 0,1, vil et 10% skift oppover i etterspørselskurven gi en endring i $v(p)$ som er under 1%.

Lineær etterspørselskurve

Ved passende valg av måleenheter kan en lineær etterspørselsfunksjon skrives som

$$x = 1 - p \tag{6}$$

som gir priselastisitet (målt positivt) lik

$$\varepsilon = -\frac{dx}{dp} \frac{p}{x} = \frac{p}{1-p} \tag{7}$$

Konsumentoverskuddet V er gitt ved arealet pQBp i Figur 2.1 som med etterspørselsfunksjon over gir

$$V = \frac{1}{2}(1 - p)^2 \quad (8)$$

og

$$v = \frac{V}{x} = \frac{1}{2} \frac{(1 - p)^2}{1 - p} = \frac{1}{2}(1 - p) \quad (9)$$

Ligning (7) gir

$$p = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \quad (10)$$

som innsatt i (8) gir

$$v = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}\right) = \frac{1}{2(1 + \varepsilon)} \quad (11)$$

Fra de to siste ligningene følger det at

$$\frac{p}{v} = 2\varepsilon$$

For en lineær etterspørselsfunksjon følger det altså at

$$\varepsilon < \frac{p}{v}$$

Med andre ord: For en lineær etterspørselskurve vil økt pris gi lavere verdi på v , mens et skift oppover i etterspørselskurven vil gi en høyere verdi på v . Det samme resultatet må gjelde for en etterspørselskurve som er konkav (dvs $f''(p) < 0$), siden v/p i dette tilfellet er lavere (dvs p/v høyere) enn for en lineær etterspørselskurve for samme likevektsverdier for x og p og samme priselastisitet i likevektspunktet.

Merk også at for den lineære etterspørselskurven er $El[v(p)] = -\varepsilon$. Et skift oppover i etterspørselsfunksjonen på 1% vil derfor øke $v(p)$ med $\varepsilon\%$.

Produktivitetsendring og produsentoverskudd

Anta at vi har en produktfunksjon F hvor alle faktorer unntatt elektrisitet x og en teknologiparameter γ er konstante. Produksjonen y er altså gitt ved

$$y = F(x, \gamma) \quad (12)$$

Bedriftene velger x slik at overskuddet $F - px$ blir maksimert. Dette gir etterspørselsfunksjonen etter elektrisitet på invers form:

$$p = F_x(x, \gamma) \quad (13)$$

En positiv produktivitetsendring er representert ved en økning i γ , som gir økt produksjon, dvs $F_\gamma > 0$. Det er rimelig å anta at denne produktivitetsøkningen gir økt marginalproduktivitet av bruk av strøm, slik at $F_{x\gamma} > 0$. I så fall gir produktivitetsøkningen et skift oppover i etterspørselsfunksjonen.

I mange økonomiske modeller antas det at teknologisk endring er "nøytral", nærmere bestemt at

$$F(x, \gamma) = \gamma \tilde{F}(x)$$

I så fall blir etterspørselsfunksjonen

$$p = \gamma \tilde{F}'(x)$$

I dette tilfelle vil etterspørselsfunksjonen skifte oppover over tid proporsjonalt med produktivitetsveksten.



Vista Analyse AS
Meltzersgate 4
0257 Oslo

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