

*Bente Halvorsen, Bodil M. Larsen
og Runa Nesbakken*

**Norske husholdningers energi-
forbruk til stasjonære formål
1960 - 2003**

En diskusjon basert på noen
analyser i Statistisk sentralbyrå

Rapporter

I denne serien publiseres statistiske analyser, metode- og modellbeskrivelser fra de enkelte forsknings- og statistikkområder. Også resultater av ulike enkeltundersøkelser publiseres her, oftest med utfyllende kommentarer og analyser.

Reports

This series contains statistical analyses and method and model descriptions from the various research and statistics areas. Results of various single surveys are also published here, usually with supplementary comments and analyses.

© Statistisk sentralbyrå, desember 2005
Ved bruk av materiale fra denne publikasjonen,
vennligst oppgi Statistisk sentralbyrå som kilde.

ISBN 82-537-6901-6 Trykt versjon
ISBN 82-537-6902-4 Elektronisk versjon
ISSN 0806-2056

Emnegruppe
01.03.10

Design: Enzo Finger Design
Trykk: Statistisk sentralbyrå/208

Standardtegn i tabeller	Symbols in tables	Symbol
Tall kan ikke forekomme	Category not applicable	.
Oppgave mangler	Data not available	..
Oppgave mangler foreløpig	Data not yet available	...
Tall kan ikke offentliggjøres	Not for publication	:
Null	Nil	-
Mindre enn 0,5 av den brukte enheten	Less than 0.5 of unit employed	0
Mindre enn 0,05 av den brukte enheten	Less than 0.05 of unit employed	0,0
Foreløpig tall	Provisional or preliminary figure	*
Brudd i den loddrette serien	Break in the homogeneity of a vertical series	—
Brudd i den vannrette serien	Break in the homogeneity of a horizontal series	
Desimalskilletegn	Decimal punctuation mark	,(,)

Sammendrag

Bente Halvorsen, Bodil M. Larsen og Runa Nesbakken

Norske husholdningers energiforbruk til stasjonære formål 1960 - 2003

En diskusjon basert på noen analyser i Statistisk sentralbyrå

Rapporter 2005/37 • Statistisk sentralbyrå 2005

Husholdningenes energiforbruk utgjør en stor del av samlet energiforbruk. Kunnskap om hva som forklarer husholdningenes energibruk kan utnyttes til å gi svar på viktige spørsmål i samfunnsdebatten. I energipolitikken blir det ofte vurdert å benytte avgifter for å endre husholdningenes tilpasning. Analyser av virkninger av politiske virkemidler på husholdningenes energiforbruk er viktige i en slik sammenheng. I denne rapporten sammenfattes resultater fra en rekke analyser av husholdningenes energiforbruk i Statistisk sentralbyrå.

Totalt energiforbruk til stasjonære formål i husholdningssektoren økte med en gjennomsnittlig årlig vekstrate på 1,6 prosent fra 1960 til 2003. Det var en utflating av veksten i elektrisitetsforbruket på 1990-tallet sammenlignet med de tre foregående tiårene. Det har vært relativt store svingninger i energiforbruket fra år til år, og spesielt i sammensetningen av energiforbruket. Våre analyser viser at en økning i antall husholdninger har vært en viktig årsak til veksten i energiforbruket i husholdningssektoren fra 1960 til 2003. En utflating av veksten i elektrisitetsforbruket de siste ti år skyldes utflating både i veksten i antall husholdninger og i veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning. Stasjonært energiforbruk *per husholdning* vokste i begynnelsen av perioden, for så å stabilisere seg fra siste halvdel av 1970-tallet. Elektrisitetsforbruket per husholdning vokste kraftig fram til midten av 1980-tallet, for deretter å stabilisere seg.

Årsaken til store svingninger i sammensetningen av energiforbruket fra år til år ser ut til å være en sterk omstrukturering i husholdningenes energiforbruk på 1960- og 1970/80-tallet ved at elektrisitetsforbruk til ulike formål og sammensetningen av energiforbruket til oppvarming har endret seg mye. På 1960-tallet, og til dels også på 1970-tallet, var det en sterk vekst i andelen husholdninger med elektriske apparater som kjøleskap, komfyr, vaskemaskin, støvsuger, fjernsynsapparat og dypfryser. Årsaken til de store endringene i sammensetningen av energiforbruket til oppvarming ser ut til å være drevet av endringer i energipriser. En utstrakt bruk av fyringsoljer og ved på 1960- og 70-tallet og relativt store variasjoner både opp og ned i forbruket fra år til år, tyder på at mulighetene for enten å redusere nivået på energiforbruket eller å substituere mellom energityper var stor selv på svært kort sikt. Dermed kunne husholdningene reagere raskt på f.eks. oljeprissjokkene på 1970-tallet.

Årsaken til at veksten i elektrisitetsforbruket har flatet ut er bl.a. at den sterke veksten i elektrisitetsforbruk til apparater som vi så på 1960-tallet er redusert, og at overgangen fra å benytte oljer til å benytte elektrisitet til oppvarming som vi så på 1970- og 80-tallet har stoppet opp. Årsaker til at veksten i elektrisitetsforbruket til apparater har flatet ut, er trolig en utflating av veksten i andelen husholdninger som har de ulike apparatene og en utskifting av eldre apparater til nye og mer energieffektive apparater. Høyere utetemperaturer i fyringssesongen på 1990-tallet sammenlignet med de to foregående tiår bidrar også til å forklare den lavere veksten i elektrisitetsforbruket i siste delen av perioden. Videre antyder analysene at en utflating av veksten i boligareal, inntekt og andelen av husholdningene som har bad og oppvaskmaskin kan bidra til å forklare utflating av veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning.

Innhold

1. Innledning.....	7
2. Utviklingen i energiforbruk til boligformål 1960 - 2003.....	8
2.1. Energiforbruk i husholdningssektoren	8
2.2. Energiforbruk per husholdning	9
3. Analyser av husholdningenes energiforbruk til boligformål	11
3.1. Analysetema 1: Energibruk i husholdningene 1974-1995. Databeskrivelse	11
3.2. Analysetema 2: Hva forklarer veksten i husholdningenes elektrisitetsforbruk?	14
3.3. Analysetema 3: Valg og utnytting av oppvarmingsutstyr	16
3.4. Analysetema 4: Formålsfordeling av elektrisitetsforbruket.....	17
3.5. Analysetema 5: Fordelingseffekter av økt forbruksavgift på elektrisitet.....	18
3.6. Analysetema 6: Aggregeringsproblemer i husholdningenes energietterspørsel	21
3.7. Analysetema 7: Pris- og inntektsfølsomhet i ulike husholdninger	22
3.8. Oppsummering av analysene.....	22
4. Årsaker til utviklingen i energiforbruket.....	25
4.1. Hva har påvirket sammensetningen av energiforbruket?.....	26
4.2. Hvorfor vokste elektrisitetsforbruket?	26
4.3. Hvorfor flatet elektrisitetsforbruket ut?.....	27
4.4. Tilpasning til større svingninger i elektrisitetsprisen	28
5. Oppsummering	29
6. Videre arbeid	30
Referanser.....	31
Vedlegg	
A. Modell for husholdningenes etterspørsel etter elektrisitet	34
B. Modell for valg og utnytting av oppvarmingsutstyr.....	36
C. Modell for formålsfordeling av elektrisitetsforbruket.....	39
D. Mål på inntektsulikhet.....	42
D. Beregning av utgiftsøkning og kompensierende variasjon	43
F. Beholdning av elektriske apparater 1950 - 1981	45
G. Prosjektbeskrivelse.....	46
Tidligere utgitt på emneområdet	54
De sist utgitte publikasjonene i serien Rapporter	55

Figurregister

2. Utviklingen i energiforbruk til boligformål 1960-2003	
2.1. Totalt energiforbruk til stasjonære formål i husholdningssektoren og fordelt på ulike energibærere, 1960-2003. TWh.....	8
2.2. Forbruks- og prisforhold for elektrisitet og fyringsoljer i husholdningene, 1960-2003. Indeks, 1960=1	9
2.3. Energiforbruk til boligformål per husholdning, 1960-2003. KWh nyttiggjort.....	9
3. Analyser av husholdningenes energiforbruk til boligformål	
3.1. Datakilder for analyser av husholdningenes energiforbruk.....	12
3.2. Andelen i utvalget (Forbruksundersøkelsen) som har oppvaskmaskin og tørketrommel, 1975-95. Prosent	12
3.3. Gjennomsnittlig pris på ulike hvitevarer, 1975-95. 1995-kroner	13
3.4. Andelen i utvalget med ulike typer oppvarmingsutstyr, 1993-1995. Prosent	13
3.5. Andelen i utvalget med egen sentralfyr etter energibærer, 1993-1995. Prosent.....	13
3.6. Andelen i utvalget med fjernvarme og varmepumpe, 1993-1995. Prosent	13
3.7. Andelen i utvalget i perioden 1993-1995 etter hvilke energibærere oppvarmingsutstyret kan utnytte. Prosent	14
3.8. Andelen i utvalget med egen og felles sentralvarme, 1974-1995. Prosent.....	14
3.9. Antall husholdninger. Folke- og bolig tellingen 1960, 1970, 1980, 1990 og 2001	14
3.10. Gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk per apparat, 1976-93. KWh per apparat.....	15
3.11. Gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk til ulike apparater, 1976-93. KWh.....	15
3.12. Kortsiktig egenpriselastisitet (Cournot-elastisitet) for husholdningenes forbruk av elektrisitet. 1976-93.....	16
3.13. Elektrisitetsforbruk til ulike formål fra den økonometriske modellen i 1990. KWh	17
3.14. Formålsfordelingen av elektrisitetsforbruket i 1990 og 2001. Prosent.....	17
3.15. Husholdningenes elektrisitetsforbruk etter rangeringen i inntektsfordelingen, 1993-94	19
3.16. Kompenserende variasjon (nyttetap) ved økt elektrisitetsavgift etter avgiftsalternativ og inntektsgruppe. Kroner	19
3.17. Kompenserende variasjon som andel av inntekt ved økt elektrisitetsavgift for de som berøres av avgiftsøkningen etter avgiftsalternativ og inntektsgruppe. Prosent.....	20
4. Årsaker til utviklingen i energiforbruket	
4.1. Energiforbruk per husholdning, graddager, inntekt og elektrisitetspris 1960-2003. Indeks, 1960 = 1	25
4.2. Andel av solgt kvantum til husholdninger på ulike kontrakter, 2. kvartal 1998 - 4. kvartal 2004. Prosent.....	28
Vedlegg	
B1. Flow diagram for the variables in the model.....	37
F1. Andelen av husholdningene som har ulike elektriske apparater og eget bad. Prosent	45

Tabellregister

3. Analyser av husholdningenes energiforbruk til boligformål	
3.1. Foretrukket avgiftsalternativ avhengig av målsetting. Alle husholdninger og berørte husholdninger	20
3.2. Pris- og inntektselastisiteter i våre analyser.....	23
3.3. Betydningen av ulike forklaringsfaktorer for husholdningenes energiforbruk målt ved elastisiteter	24
4. Årsaker til utviklingen i energiforbruket	
4.1. Beholdning og kapasitet på oppvarmingsutstyret for husholdninger med ulike forbruksmuligheter, 1993 - 1995	26
4.2. Ulike forklaringsfaktorer betydning for veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning per år, 1960 - 2001	27
4.3. Ulike forklaringsfaktorer betydning for veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning, 1960 - 1990 og 1990 - 2001	27
Vedlegg	
A1. Estimert elektrisitetsforbruk i husholdningene, 1976-93. kWh	34

1. Innledning

Fra politisk hold uttrykkes det ofte bekymring for vekten i energiforbruket og effektene på ressurs situasjonen og miljøtilstanden. For å nå politiske målsetninger på dette området er det behov for kunnskaper om sammenhengen mellom energibruk, uttak av ressurser og miljøeffekter, samt effekten av ulike virkemidler på energiforbruket. Bruk av avgifter på energi er et svært vanlig virkemiddel. Spørsmålet er hva som skjer med forbruket av ulike energityper når prisen på én eller flere energityper endres som følge av avgifter. For å ha grunnlag for å si noe om forventet utvikling i energiforbruket trengs det informasjon om hvilke forklaringsfaktorer som er viktige for energiforbruket og på hvilken måte.

Analyser av husholdningenes energibruk til stasjonære formål har vært et sentralt tema i Forskningsavdelingen i Statistisk sentralbyrå siden begynnelsen av 1990-tallet. Siden husholdningene er svært forskjellige, har vi fokusert på studier av adferden basert på data for enkelthusholdninger (mikrodata). Målet har vært å få tak på hvilke forklaringsfaktorer som er viktige, og hva som driver utviklingen i husholdningenes energiforbruk. Etter den omfattende innsatsen på temaet over flere år er det nyttig å oppsummere arbeidene. Denne rapporten oppsummerer arbeider utført i perioden 1992 - 2005. Arbeidene har vært finansiert gjennom programmer i Norges forskningsråd (SAMMEN, SAMRAM og SAMSTEMT), av Olje- og energidepartementet, Finansdepartementet, Miljøverndepartementet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Enova SF og av midler fra Statistisk sentralbyrås ordinære budsjett. Analysene er basert på mikrodata for utvalg av husholdninger for perioden 1974 - 1995 og 2001. Formålet med denne rapporten er å gi en beskrivelse av hvordan adferden til husholdningene varierer med ulike forklaringsfaktorer og peke på en del strukturelle endringer som kan forklare den utviklingen vi har sett i energiforbruket de siste tiårene.

I avsnitt 2 gis en beskrivelse av energiforbruk og energipriser for husholdningssektoren sett under ett, samt energiforbruk per husholdning. Avsnitt 3 inneholder en gjengivelse av viktige resultater fra de ulike analysene, mens mer detaljerte beskrivelser av modeller og resultater er gitt i vedlegg A - E. I avsnitt 4 trekker vi tråder fra mikroanalysene til husholdningssektoren. Vi diskuterer hva som kan forklare utviklingen i elektrisitetsforbruket i husholdningssektoren sett under ett med bakgrunn i estimeringsresultatene fra de ulike analysene. Avsnitt 5 gir en oppsummering og avsnitt 6 gir en oversikt over planer for videre arbeid.

2. Utviklingen i energiforbruk til boligformål 1960 - 2003

2.1. Energiforbruk i husholdningssektoren

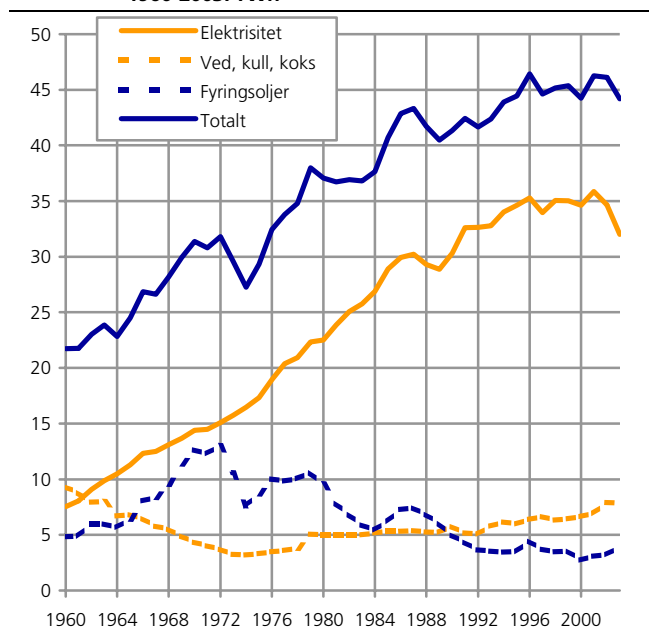
Figur 2.1 viser utviklingen i totalt energiforbruk til stasjonære formål (boligformål) og forbruket av de ulike energitypene i husholdningssektoren fra 1960 til 2003. Kurven for totalt energiforbruk inneholder også fjernvarme (fjernvarmeforbruket økte fra 0,1 TWh i 1983 til 0,4 TWh i 2003). Figuren viser at energiforbruket til stasjonære formål og elektrisitetsforbruket økte kraftig i perioden. Vi ser imidlertid at veksten i energiforbruket har avtatt, og fra midten av 1990-tallet har energiforbruket ligget stabilt på om lag 45 TWh. Vekstraten i elektrisitetsforbruket ble redusert på midten av 1980-tallet sammenlignet med foregående år, og utover på 1990-tallet lå elektrisitetsforbruket stabilt på om lag 35 TWh.

Totalt energiforbruk økte med en gjennomsnittlig årlig vekstrate på 1,6 prosent fra 1960 til 2003. I samme periode var gjennomsnittlig årlig vekstrate -0,5 prosent for oljeforbruket og -0,4 prosent for vedforbruket. For perioden 1960 til 2003 var veksten i elektrisitetsforbruket 24 TWh, noe som tilsvarer en gjennomsnittlig vekst på 3,4 prosent per år. Husholdningssektorens elektrisitetsforbruk i 1960 var bare om lag 7 TWh, mens det var om lag 30 TWh i 2003. Husholdningene står nå for om lag 1/3 av elektrisitetsforbruket i Norge.

Økningen i energiforbruket kan skyldes at det har blitt flere husholdninger, at gjennomsnittlig energiforbruk per husholdning har økt eller en kombinasjon av dette. Antall husholdninger økte i gjennomsnitt med 1,47 prosent per år i perioden 1960 til 2001. Veksten i antall husholdninger har imidlertid avtatt gjennom perioden, fra 1,9 prosent per år på 1960-tallet til 1,0 prosent på 1990-tallet. Utflatingen av veksten i antall husholdninger har derfor bidratt til utflatingen av veksten og stabiliseringen av energi- og elektrisitetsforbruket i husholdningssektoren. I tillegg har utviklingen i gjennomsnittlig energiforbruk per husholdning påvirket utviklingen for hele sektoren. Hvordan energiforbruk per husholdning har utviklet seg vil vi se nærmere på i avsnitt 2.2.

Figur 2.1 viser også at det har vært relativt store svingninger i energiforbruket fra år til år, noe som blant annet skyldes variasjoner i utetemperatur og energipriser. De største variasjonene finner vi i husholdningenes forbruk av fyringsoljer. Oljeforbruket vokste svært mye fram til oljeprissjokket i 1973 (OPEC I), for så å avta. Etter det steg oljeforbruket igjen frem til 1980 (OPEC II), for så å falle kraftig igjen. På midten av 1980-tallet var oljeprisene lave, og vi fikk en økning i oljeforbruket. På 1990-tallet og frem til i dag har oljeforbruket i husholdningssektoren vært relativt stabilt. Reduksjonen i elektrisitetsforbruket i 1997 og 2002/2003 har sammenheng med høye strømpriser, mye mediefokus og oppfordringer fra myndighetene om å spare elektrisitet.¹ Det lave elektrisitetsforbruket i 1990 kan skyldes at 1990 var det mildeste året i hele perioden.

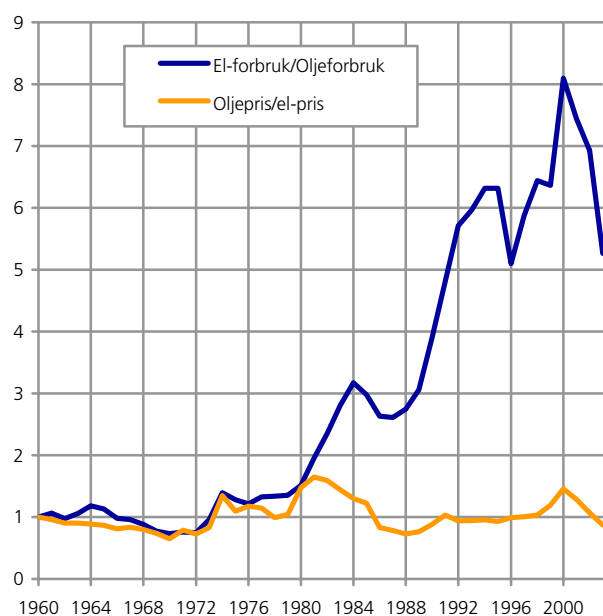
Figur 2.1. Totalt energiforbruk til stasjonære formål i husholdningssektoren fordelt på ulike energibærere, 1960-2003. TWh¹



¹ Kurven for samlet energiforbruk inneholder også fjernvarme (0,4 TWh i 2003). Tallene viser totalt forbruk av elektrisitet og anskaffet mengde av fyringsoljer, ved, kull og koks i husholdningssektoren til boligformål, og er ikke korrigert for forskjeller i temperatur og virkningsgrad. Kilde: Statistisk sentralbyrå (Energistatistikk) og Bøeng (2005).

¹ Nye studier i Statistisk sentralbyrå fokuserer på effekter av nedbørssvikt.

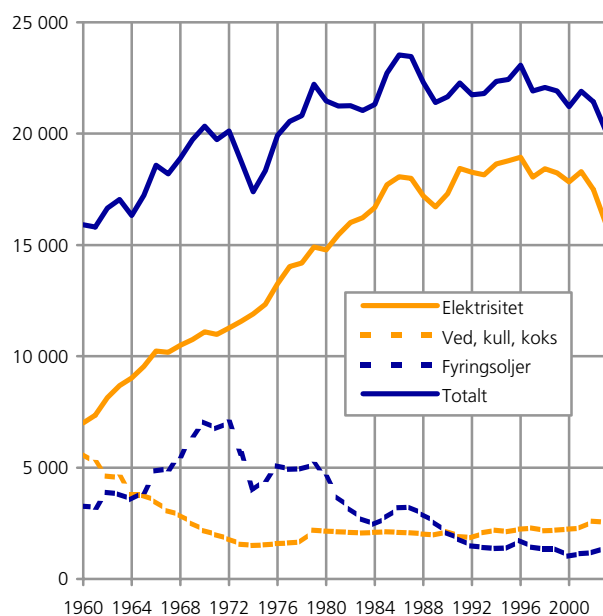
Figur 2.2. Forbruks- og prisforhold for elektrisitet og fyringsoljer i husholdningene, 1960-2003. Indeks, 1960=1



Kilde: Statistisk sentralbyrå, Energistatistikk

Figur 2.2 viser utviklingen i forholdet mellom forbruk av elektrisitet og olje og forholdet mellom oljepris og elektrisitetspris. Figuren viser at det fram til 1980 var en positiv sammenheng mellom den relative prisutviklingen for olje og elektrisitet og forholdet mellom forbruket av elektrisitet og olje. Det var slik at når elektrisitet ble dyrere i forhold til olje, gikk elektrisitetsforbruket ned i forhold til oljeforbruket, og omvendt når olje ble dyrere i forhold til elektrisitet. I flere perioder etter 1980 skjer imidlertid det motsatte. Til tross for en oppgang i elektrisitetsprisen relativt til oljeprisen, har elektrisitetsforbruket vokst kraftig i forhold til oljeforbruket. Dette tilsier at andre krefter, i tillegg til relative energipriser, driver utviklingen i energiforbruket i husholdningssektoren. En slik drivkraft kan være strukturelle endringer over tid i sammensetningen av ulike husholdninger med ulik adferd. Det er for eksempel rimelig å anta at en eldre enkemann i et stort og gammelt våningshus vil ha en annen adferd enn en småbarnsfamilie i blokk. Hvis andelen husholdninger i ulike grupper endrer seg over tid, vil dette påvirke utviklingen i samlet energiforbruk. Videre bruker ulike husholdninger ulikt utstyr, både når det gjelder oppvarmingsutstyr og elektriske apparater som vaskemaskin og oppvaskmaskin. Beholdningen av slikt utstyr kan også endres over tid, noe som vil føre til strukturelle endringer i energietterspørselen. For å forklare utviklingen i husholdningssektorens samlede energiforbruk over tid, ønsker vi å se på hva som kan gi opphav til strukturendringer ved å benytte mikrodata. Resultatene fra slike analyser er gjengitt i avsnitt 3.

Figur 2.3. Energiforbruk til boligformål per husholdning, 1960-2003. KWh nyttiggjort[†]



Kilde: Statistisk sentralbyrå, Energistatistikk og Bøeng (2005).

[†] Tallene er korrigert for virkningsgrad, men ikke for temperaturforskjeller. For fyringsoljer har vi benyttet virkningsgrad 0,73 og for ved, kull og koks 0,65. Totalt energiforbruk inkluderer også fjernvarme.

2.2. Energiforbruk per husholdning

Figur 2.3 viser utviklingen i gjennomsnittlig energiforbruk i norske husholdninger fra 1960 til 2003. Tallene er basert på data for samlet energiforbruk i husholdningssektoren (jf. figur 2.1) og antall husholdninger for årene 1960, 1970, 1980, 1990 og 2001 fra Folke- og boligtellningene. For årene mellom har vi beregnet jevn prosentvis vekst i antall husholdninger. Olje- og vedforbruk er omregnet til nyttiggjort energi (virkningsgrader 0,725 og 0,65).

Figur 2.3 viser at energiforbruket per husholdning har vært relativt stabilt på rundt 22000 kWh (nyttiggjort) siden slutten av 1970-tallet. Elektrisitetsforbruket per husholdning har vært stabilt på rundt 18000 kWh siden slutten av 1980-tallet. Figuren viser også at oljeforbruket per husholdning sank relativt kraftig i perioden fra begynnelsen av 1970-tallet (etter oljeprissjokkene OPEC I og II) til begynnelsen av 1990-tallet, samtidig som elektrisitetsforbruket steg. Etter 1990 har forbruket av alle energityper stabilisert seg.

Figur 2.3 viser en utflating av veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning. En utflating av veksten i antall husholdninger kan dermed ikke forklare hele utflatingen av veksten i elektrisitetsforbruket i husholdningssektoren. Figur 2.3 viser *tre hovedtrender* i den historiske utviklingen i gjennomsnittlig *energiforbruk per husholdning*:

- Sammensetningen av energiforbruket har endret seg mye fra år til år og over perioden.

- Energi- og spesielt elektrisitetsforbruket har økt kraftig over perioden.
- Veksten i energi- og elektrisitetsforbruket har flatet ut i den siste delen av perioden.

I tidligere studier har vi analysert hvordan husholdningenes energiforbruk varierer med energipriser, inntekt og ulike karakteristika ved bolig og husholdning. I det neste avsnittet vil vi gi en kort oppsummering av de viktigste resultatene fra disse analysene, og gi en kort oversikt over hvilke faktorer som påvirker energiforbruket til stasjonære formål. I kapittel 4 vil vi studere hvordan ulike faktorer kan bidra til å forklare de tre hovedtrendene i husholdningenes energiforbruk de siste tiårene.

3. Analyser av husholdningenes energiforbruk til boligformål

I dette avsnittet presenterer vi de viktigste resultatene fra ulike analyser som vi har gjort av husholdningenes energiforbruk. Analysene omhandler årsaker til vekst i elektrisitetsforbruket, valg av oppvarmingsutstyr, formålsfordeling av elektrisitetsforbruket, fordelings effekter av endret el-avgift og aggregering av resultater fra mikroanalyser til makroanalyser. Målsettingen med analysene har vært å beskrive adferden mht. energiforbruk best mulig, for å gi grunnlag for å analysere effekter av ulike virkemidler på energiforbruk, sammensetningen av forbruket og effekter på fordeling. Det er usikkerhet knyttet til de empiriske modellene som benyttes i disse analysene. Slik modellusikkerhet og stokastikk omtales i de enkelte studiene. For en mer detaljert beskrivelse av de ulike modellene og analysene henviser vi til vedlegg A - E og til referansene.

3.1. Analysetema 1: Energibruk i husholdningene 1974-1995. Databeskrivelse

Alle analysene som gjengis i denne rapporten er basert på data for enkelthusholdninger i de ulike utvalg trukket ut til *Forbruksundersøkelsen* (se for eksempel Statistisk sentralbyrå, 1996) eller *Energiundersøkelsen 1990* (se Ljones mfl., 1992). Forbruksundersøkelsene inneholder mikrodata for om lag 1 200 enkelthusholdninger i hvert år. Dataene dekker perioden 1974 - 1995 og gir opplysninger om utgifter til ulike energivarer, beholdning av varige forbruksgoder, beholdning av elektriske apparater og bolig- og husholdningskarakteristika. Forbruksundersøkelsen for årene 1993-1995 inneholder *tilleggsspørsmål om energibruk*, og gir blant annet opplysninger om husholdningenes beholdning av oppvarmingsutstyr.

Tilrettelegging av data

Informasjon om enkelte viktige variable finnes ikke i *Forbruksundersøkelsen*. Figur 3.1 gir en oversikt over koblingen av data fra ulike kilder til én database (ana-

lysefiler). Halvorsen mfl. (1999) gir en detaljert dokumentasjon av data. Halvorsen (1999a og b) samt Halvorsen og Wangen (1999) og Halvorsen og Hansen (1999) gir en oversikt over arbeidet med tilretteleggingen av data.

Inntektsdata er hentet fra *Ligningsregisteret*, dvs. at vi har koblet til selvangivelsesdata.

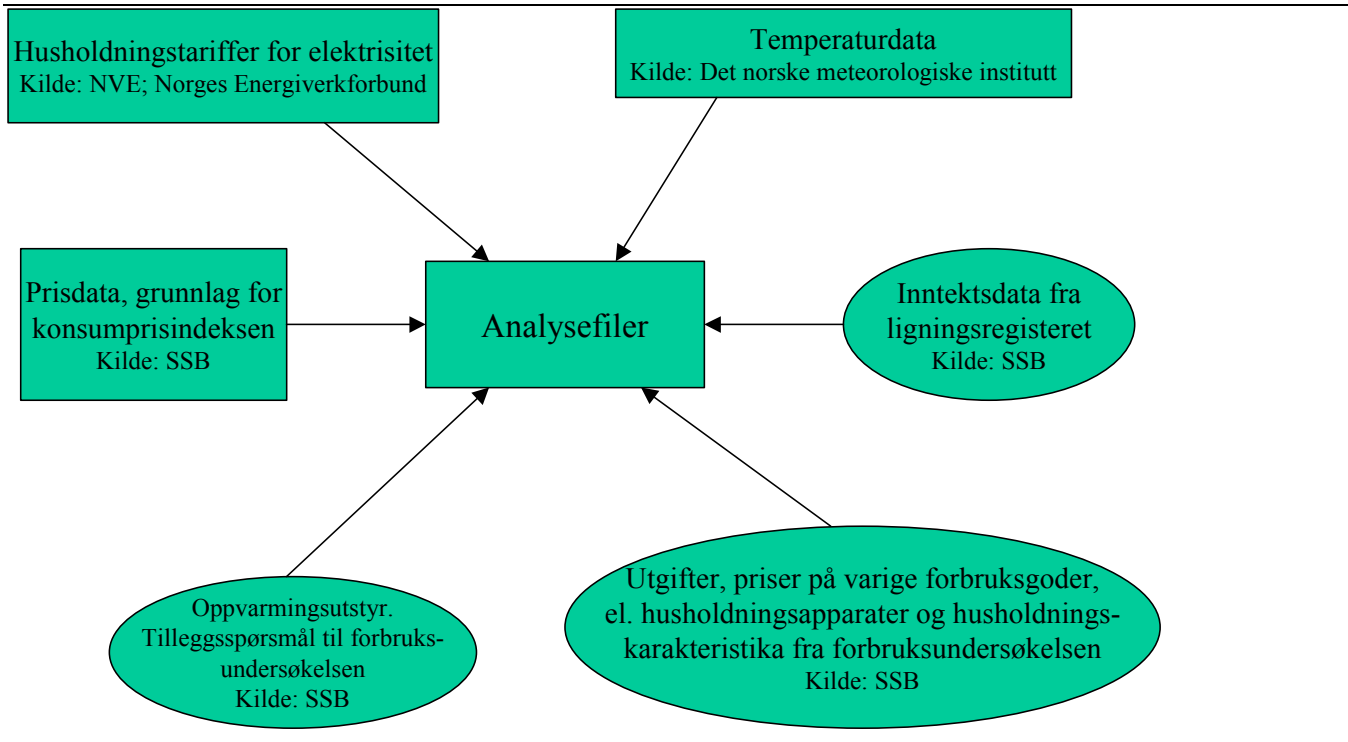
Temperaturdata for alle kommuner som er med i forbruksundersøkelsen er innhentet fra Meteorologisk institutt. Årlige graddagstall benyttes i analysene, og disse kobles etter bostedskommune. Graddagene er definert som summen av differansen mellom 17°C og gjennomsnittstemperaturen over døgnet for alle dager kaldere enn denne grensen. Det innebærer at jo høyere graddagstall, jo kaldere er det.

Priser på elektrisitet (standard husholdningstariffer) er innhentet fra NVE og Norges Energiverkforbund, og er koblet på etter bostedskommune eller elektrisitetsverk. Øvrige energipriser er i noen analyser beregnet som utgift dividert på kvantum og koblet på husholdningsnivå eller fylkesnivå. I andre analyser er energiprisene basert på prisdata som danner grunnlaget for konsumprisindeksen (kobles på kommunenivå). Øvrige priser er basert på prisdata som danner grunnlaget for konsumprisindeksen og er koblet etter kommune.

I tillegg til denne databasen har vi data fra *Energiundersøkelsen 1990* som var en omfattende undersøkelse av husholdningenes energiforbruk, se Ljones mfl. (1992).

For summarisk statistikk der det er korrigert for skjevheter som følge av trekkeskjevheter og frafall i utvalget viser vi til Bøeng og Nesbakken (1999) for årene 1993-1995 og Ljones mfl. (1992) for 1990.

Figur 3.1. Datakilder for analyser av husholdningenes energiforbruk



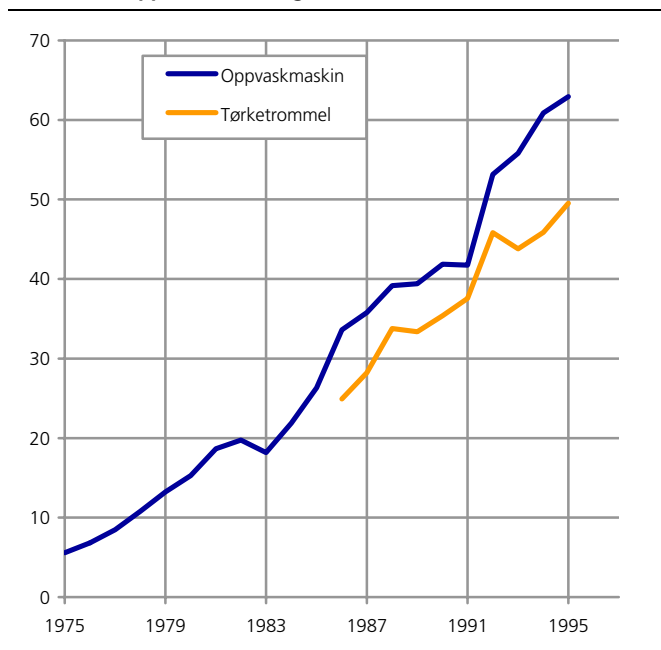
Kilde: Statistisk sentralbyrå

Statistikk over energibruk og utstyr

Beholdningen av ulike typer husholdningsapparater og oppvarmingsutstyr har betydning for husholdningenes energiforbruk og fordelingen på ulike energibærere. Forbruksundersøkelsen inneholder informasjon om husholdningens beholdning av elektriske apparater og om boligen har installert sentralvarmeanlegg. Oppvarmingsutstyr er ikke dekket i den ordinære forbruksundersøkelsen, men for årgangene 1993-95 ble det tatt inn tilleggsspørsmål om blant annet oppvarmingsutstyr (se Bøeng og Nesbakken, 1999).

Figurene 3.2 - 3.8 viser andelen av husholdningene i utvalget med ulike typer apparater og oppvarmingsutstyr, samt priser på hvitevarer. Andelen av husholdningene som har oppvaskmaskin og tørketrommel har økt svært kraftig. Om lag 70 prosent av husholdningene i utvalget hadde vedovn. Bare 10-15 prosent av husholdningene hadde parafinovn eller kombinert ovn for ved og olje i 1993-95. Vannbåren oppvarming var forholdsvis lite utbredt i perioden 1993-95. Andelen som hadde sentralvarme (egen sentralfyr, fjernvarme eller annen type felles sentralfyr) sank med nesten 50 prosent i perioden 1974 til 1995. Mange husholdninger hadde flere typer oppvarmingsutstyr som ga mulighet for å bruke flere energibærere. Figur 3.7 gir et bilde av substitusjonsmulighetene i energiforbruk til oppvarming i utvalget fra 1993-95. Figuren viser at over halvparten av utvalget hadde mulighet for å fyre både med elektrisitet og ved, mens én av fire kunne fyre med ved, elektrisitet og olje (parafin eller fyringsolje). Figuren viser også at 13 prosent av husholdningene i utval-

get kun hadde mulighet til å varme opp boligen med elektrisitet.² Varmepumper var svært lite utbredt.

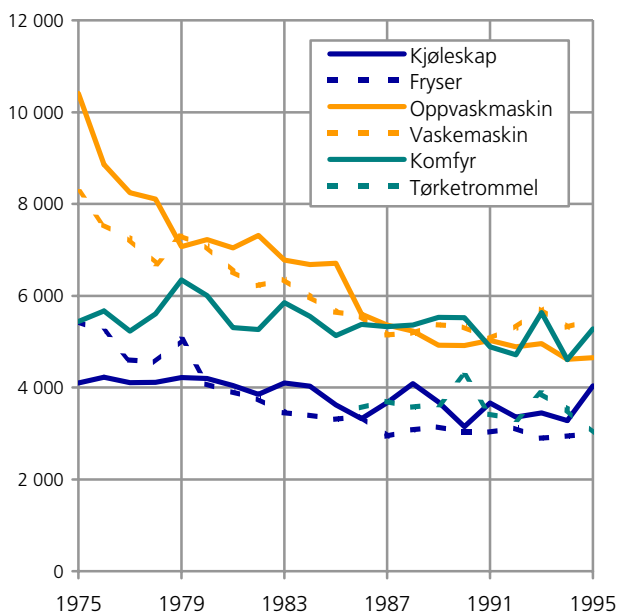
Figur 3.2. Andelen i utvalget (Forbruksundersøkelsen) som har oppvaskmaskin og tørketrommel, 1975-95. Prosent¹

¹ Trekkemetoden for husholdningsutvalg ble endret i 1992 ved at det trekkes person (og etableres husholdning rundt personen) i stedet for husholdning, slik at gjennomsnittlig husholdningsstørrelse blir høyere.

Kilde: Statistisk sentralbyrå, Forbruksundersøkelsen.

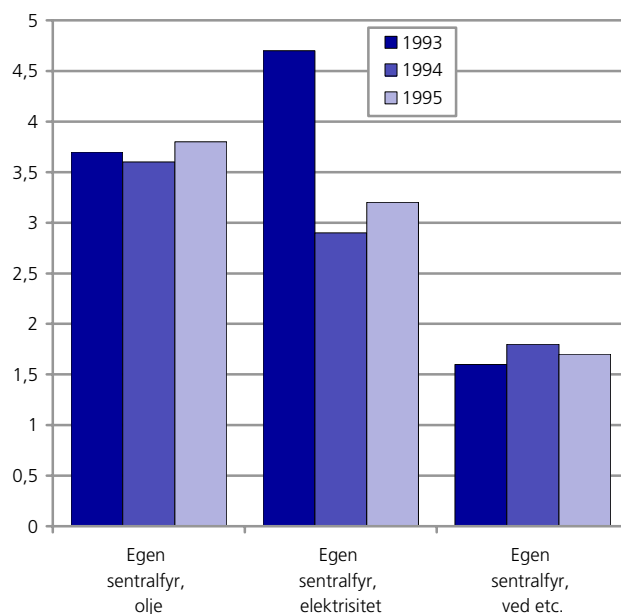
² For en beskrivelse av gjennomsnittstall for befolkningen (husholdningene) under ett, se Bøeng og Nesbakken (1999).

Figur 3.3. Gjennomsnittlig pris på ulike hvitevarer, 1975-95. 1995-kroner



Kilde: Statistisk sentralbyrå, grunnlagsdata for konsumprisindeksen.

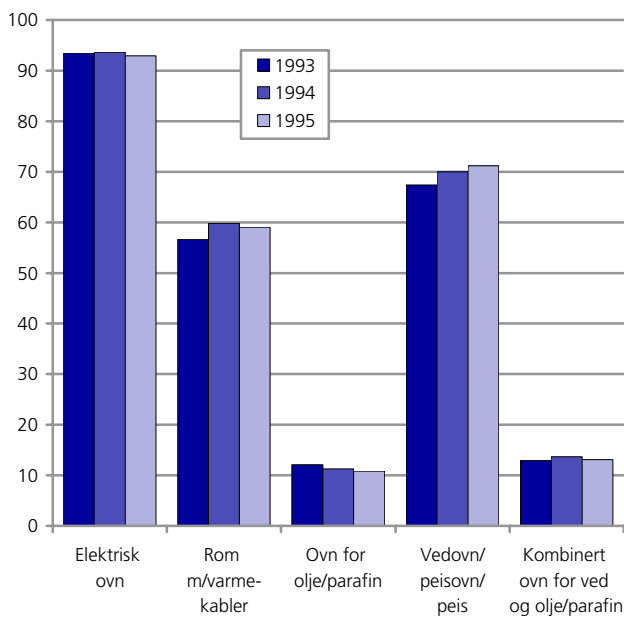
Figur 3.5. Andelen i utvalget med egen sentralfyr etter energibærer, 1993-1995. Prosent*



Kilde: Statistisk sentralbyrå, Forbruksundersøkelsen.

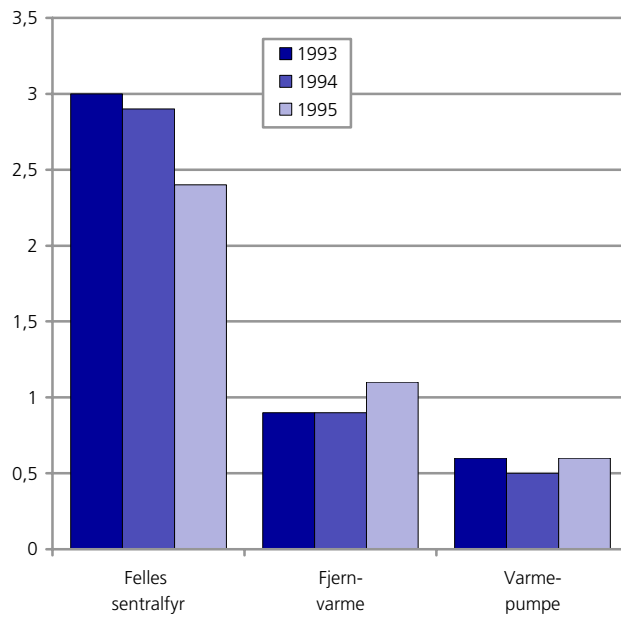
* Husholdninger med egen sentralfyr som kan bruke mer enn én type energi, f.eks. olje og elektrisitet, er med flere steder i figuren.

Figur 3.4. Andelen i utvalget med ulike typer oppvarmingsutstyr, 1993-1995. Prosent



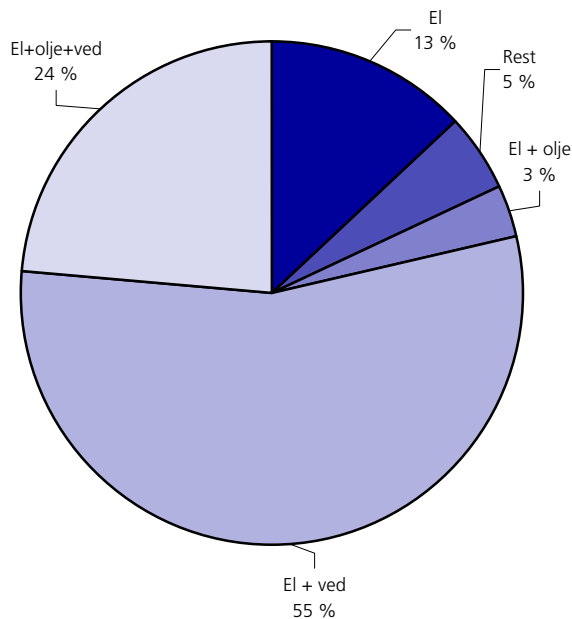
Kilde: Statistisk sentralbyrå, Forbruksundersøkelsen.

Figur 3.6. Andelen i utvalget med fjernvarme og varmepumpe, 1993-1995. Prosent



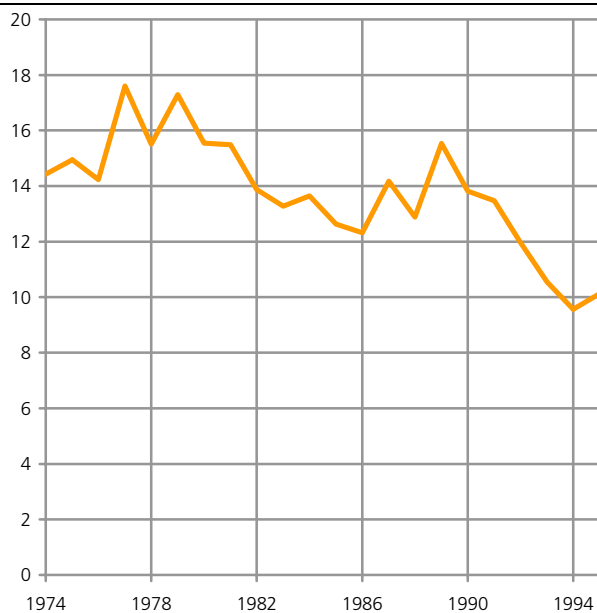
Kilde: Statistisk sentralbyrå, Forbruksundersøkelsen.

Figur 3.7. Andelen i utvalget i perioden 1993-1995 etter hvilke energibærere oppvarmingsutstyret kan utnytte. Prosent



Kilde: Statistisk sentralbyrå, Forbruksundersøkelsen.

Figur 3.8. Andelen i utvalget med egen og felles sentralvarme, 1974-1995. Prosent

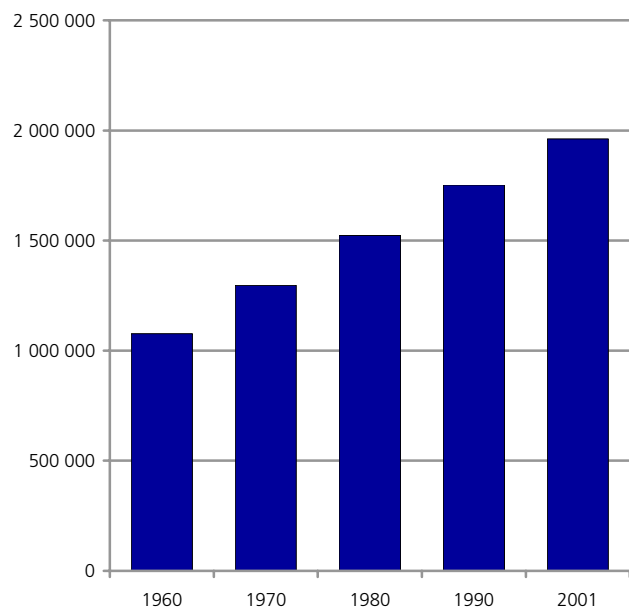


Kilde: Statistisk sentralbyrå, Forbruksundersøkelsen.

3.2. Analysetema 2: Hva forklarer veksten i husholdningenes elektrisitetsforbruk?

Veksten i husholdningssektorens samlede elektrisitetsforbruk kan dekomponeres i vekst i antall husholdninger og vekst i elektrisitetsforbruket i de enkelte husholdningene (endret gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk per husholdning). Resultatene i Halvorsen og Larsen (1999) og (2001b) viser at om lag halvparten av veksten i husholdningssektorens elektrisitetsforbruk skyldes vekst i antall husholdninger. Endringer i energiforbruket over tid som ikke kan relateres til utviklingen i antall husholdninger har sammenheng med endringer i tilpasningen til den enkelte husholdning.

Figur 3.9. Antall husholdninger. Folke- og bolig tellingen 1960, 1970, 1980, 1990 og 2001



Kilde: Statistisk sentralbyrå, Folke- og bolig tellingen.

Figur 3.9 viser at antall husholdninger har økt fra godt og vel 1 million husholdninger i 1960 til nærmere 2 millioner husholdninger i 2001.

Husholdningene har ikke nytte av energibruk i seg selv, men av de tjenestene som produseres med energi som innsats. To beslutninger er sentrale for slik energibasert husholdningsproduksjon. Den ene beslutningen gjelder kapitalbeholdningen, dvs. antall enheter av ulike typer oppvarmingsutstyr og elektriske husholdningsapparater samt typen utstyr (effekt, design osv.). Den andre beslutningen gjelder utnyttningen av denne kapitalbeholdningen. Beholdningen av energiforbrukende utstyr har betydning både for hvilke energivarer som benyttes og nivået på forbruket.

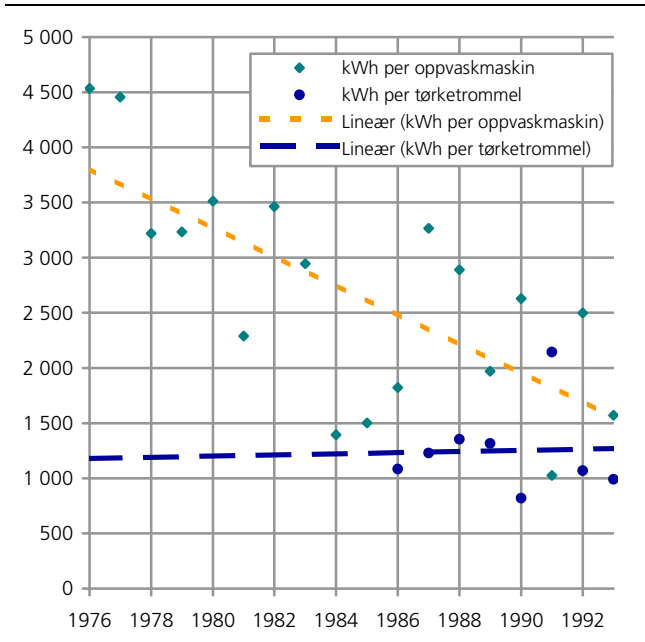
I Halvorsen og Larsen (2001a og 2001b) estimeres husholdningenes elektrisitetsforbruk, og det tas eksplisitt hensyn til sammenhengen mellom husholdningenes valg av energiforbrukende utstyr og utnyttelsen av dette. Det fokuseres på kjøp av elektriske husholdningsapparater. Vi finner at viktige forklaringsfaktorer for kjøp av elektriske husholdningsapparater er prisen på apparatene, elektrisitetsprisen og inntekten. En nærmere beskrivelse av modell og estimeringsresultater er gitt i Vedlegg A.

For å forklare veksten i elektrisitetsforbruket har vi sett på hvor mye av forbruket som er knyttet til elektriske husholdningsapparater og hvordan beholdningen av disse apparatene har utviklet seg i befolkningen over tid. Vi har funnet at elektrisitetsforbruket til en oppvaskmaskin av gjennomsnittstype har sunket over tid, se figur 3.10. Årsaken er at utstyret blir stadig mer

energieffektivt. Likevel øker det samlede elektrisitetsforbruket både til oppvaskmaskin og tørketrommel, se figur 3.11. Det skyldes at andelen av husholdningene som har slike husholdningsapparater har økt over tid. Andelen av husholdninger i utvalget som har oppvaskmaskin har økt fra 5 prosent i 1975 til 62 prosent i 1995, mens andelen i utvalget som har tørketrommel har økt fra 25 prosent i 1986 til 50 prosent i 1995, se figur 3.2.

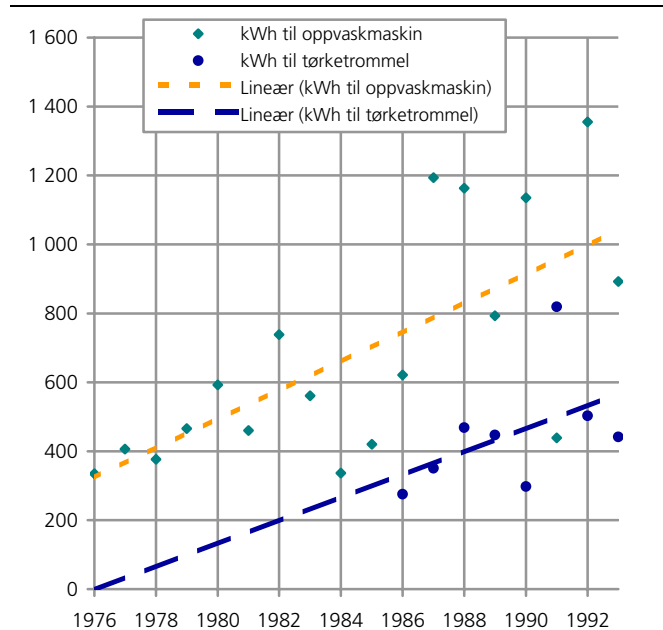
Vi har funnet at bl.a. priser på ulike energikilder og husholdningens inntekt påvirker energiforbruket. Realinntekten har økt med om lag 70 prosent fra 1974 til 1995. Inntekten har en direkte effekt på energiforbruket. Dessuten har inntekten indirekte effekt på energiforbruket ved at økt inntekt gir husholdningene mulighet til å skaffe seg større boliger og flere hjelpemidler til hjemmet, f.eks. oppvaskmaskin og tørketrommel. Inntektsveksten har delvis sammenheng med at flere kvinner har gått ut i arbeidslivet, og i tillegg har behovet for hjelpemidler i hjemmet økt med kvinners yrkesdeltakelse. Gjennomsnittlig boligareal har økt fra 100 m² i 1974 til 130 m² i 1995. For å få finne effekten av boligkarakteristika som boligareal og hustype (blokk, enebolig, våningshus osv.) og husholdningskarakteristika (antall medlemmer i husholdningen, alderssammensetning, osv.) er slike variable inkludert i estimeringene av elektrisitetsforbruket.

Figur 3.10. Gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk per apparat, 1976-93. KWh per apparat



Kilde: Halvorsen og Larsen (2001b).

Figur 3.11. Gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk til ulike apparater, 1976-93. KWh



Kilde: Halvorsen og Larsen (2001b).

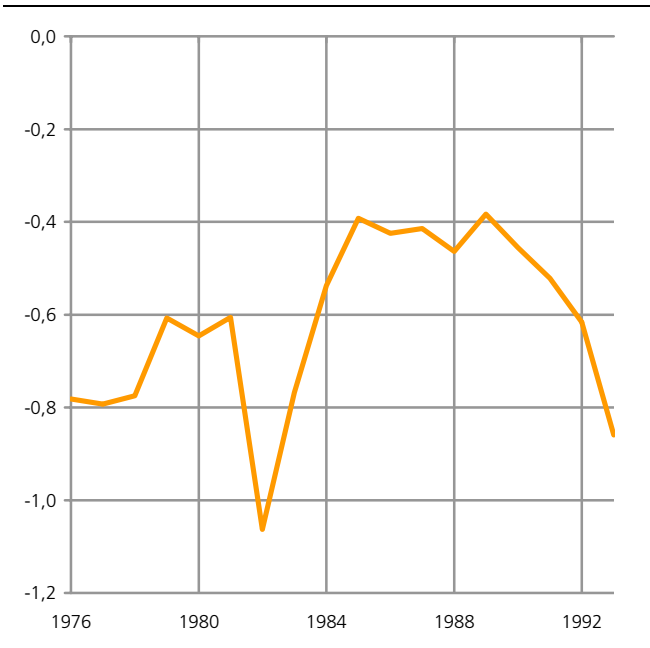
I tillegg til at inntekten har steget, har realprisen på husholdningsapparater sunket, se figur 3.3. For oppvaskmaskin har det vært en kraftig reduksjon i prisen (mer enn en halvering), og prisene på vaskemaskin og fryser har også sunket betydelig.

Variierende prislestisitet over tid

Figur 3.12 viser den direkte prislestisiteten for elektrisitet (prosentvis endring i elektrisitetsforbruket ved én prosentvis endring i elektrisitetsprisen) for hvert år i perioden 1976 til 1993, slik de er estimert i Halvorsen og Larsen (2001a). I beregningen av prislestisiteten har vi justert for at husholdningene er forskjellige når det gjelder inntekt, boligareal, oppvarmingsutstyr osv.

Figuren viser et forholdsvis stabilt forløp i anslaget på prislestisiteten for elektrisitet på slutten av 1970-tallet og slutten av 1980-tallet, men med relativt store variasjoner for enkelte år. Årsakene til de relativt store variasjonene kan være flere. For det første vil elastisitetene variere med utnyttelsen av oppvarmingsutstyret. I perioder hvor elektrisitet f.eks. er relativt dyrt vil husholdningene i større grad utnytte alternativer til elektrisitet i oppvarmingen. Dersom elektrisitetsprisene blir høyere, vil mulighetene for å redusere elektrisitetsforbruket ytterligere være lavere enn i perioder hvor man har større ledig kapasitet på det alternative oppvarmingsutstyret. I perioden 1982-1983 og på begynnelsen av 1990-tallet økte betydningen av elektrisitetsprisen på forbruket av elektrisitet. Den høye prislestisiteten i disse to periodene kan også ha sammenheng med forholdene på arbeidsmarkedet og konjunkturførhold, noe som trolig vil påvirke husholdningenes forventninger om framtidige priser og inntekt.

Figur 3.12. Kortsiktig egenpriselastisitet (Cournot-elastisitet) for husholdningenes forbruk av elektrisitet. 1976-93



Kilde: Halvorsen og Larsen (2001a).

3.3. Analysetema 3: Valg og utnyttning av oppvarmingsutstyr

Analysen i avsnitt 3.2 fokuserer på elektrisitetsforbruket, mens fokus for de to analysene i dette avsnittet er henholdsvis husholdningens samlede energiforbruk i boligen (elektrisitet, parafin, fyringsolje og ved) og energiforbruk til romoppvarming. Videre fokuserer analysen i avsnitt 3.2 på valg av elektriske husholdningsapparater, mens analysene i dette avsnittet fokuserer på valg av oppvarmingsutstyr. Vedlegg B gir en nærmere beskrivelse av modellen.

Valg av oppvarmingsutstyr

Nesbakken (1999 og 2001) studerer valg av oppvarmingsutstyr. Et mulig valg er oppvarmingsutstyr basert på bare elektrisitet, mens et annet valg f.eks. er en kombinasjon av utstyr basert på både elektrisitet og ved. Utstyrskostnader for det året huset ble bygd (anslag på anskaffelsestidspunkt) er tilordnet ulike utstyrskombinasjoner i estimeringene av modellen. Husholdninger med egen eller felles sentralfyr er ikke tatt med i analysen fordi vi mangler opplysninger om kostnader for slikt oppvarmingsutstyr.

Analysene viser at kapitalkostnaden for oppvarmingsutstyret, forventede energikostnader, hustype, antall husholdningsmedlemmer og eierform til boligen er viktige for valg av oppvarmingsutstyr. Sannsynligheten for å velge en spesifikk kombinasjon av oppvarmingsutstyr er større jo lavere kapitalkostnaden knyttet til denne utstyrskombinasjonen er.

Realprisen for kombiovner og oljekaminer ligger på et høyere nivå enn panel- og vedovner. Isolert sett (hvis vi ser bort fra energikostnader mv.) tilsier dette at alle

husholdninger velger panelovner, vedovner eller en kombinasjon av disse utstyrstypene uansett hvilket år boligen er bygd. Forventninger om energipriser varierer imidlertid med byggeåret for huset, da vi antar at utstyret ble anskaffet på byggetidspunktet (se figur 2.2 for utvikling i relative priser for elektrisitet og olje). For husholdninger med boliger bygd i perioder hvor elektrisitetsprisen var høyere enn oljeprisen, trekker energiprisene isolert sett i retning av valg av oljebasert utstyr. Gitt at husholdningen bygde enebolig eller våningshus, trakk det i retning av oppvarmingsutstyr basert på elektrisitet og ved, men også i retning av oppvarmingsutstyr basert på alle tre energikilder. Analysene viser videre at mange husholdningsmedlemmer trekker i retning av utstyr basert på elektrisitet og ved, mens få husholdningsmedlemmer trekker i retning av elektriske ovner kombinert med oljekamin eller bare elektriske ovner. I tillegg til forklaringsfaktorene for valg av oppvarmingsutstyr som er nevnt her, vil utstyrsvalget og energiforbruket kunne avhenge av en rekke faktorer som vi ikke kan observere eller har data for. Slike faktorer kan for eksempel være holdninger til miljø og energisparing. Resultatene gir støtte til at det er sammenheng mellom uobserverbare karakteristika ved utstyrsvalg og energiforbruk.

Utnyttingen av oppvarmingsutstyret

Resultatene for valg av oppvarmingsutstyr er særlig relevante for sammensetningen av energiforbruket på ulike energikilder. Nesbakken (1999) sammenlikner resultater ved å estimere modellen for utstyrsvalg og utnyttning for tre årganger av Forbruksundersøkelsen (1993-95). Resultatene viser at foruten valget av oppvarmingsutstyr er inntekt, gjennomsnittlig energipris, boligareal, utetemperatur, antall barn, vaske- og tørkeutstyr og kjøleutstyr samt alder på eldste person i husholdningen viktige forklaringsfaktorer for energiforbruket i den enkelte husholdning. Resultatene er forholdsvis stabile over tid. Dessuten finner vi at husholdninger med inntekt over gjennomsnittet påvirkes mer av endringer i energipris og inntekt enn husholdninger med inntekt under gjennomsnittet. Årsaken kan være at lavinntekts-husholdninger har mindre mulighet til å redusere energiforbruket (mer nødvendighetsforbruk).

Nesbakken (2001) er basert på data fra Energiundersøkelsen 1990, noe som gir mulighet for å studere andre forklaringsfaktorer for energiforbruket. Her studeres kun den delen av samlet energiforbruk som går til romoppvarming. I tillegg til forklaringsfaktorer for utnyttningen av oppvarmingsutstyret (dvs. energiforbruket) nevnt ovenfor finner vi at alder på boligen, alder på personen som besvarer undersøkelsen, manuell regulering av temperaturen og energisparetiltak er viktige forklaringsfaktorer for energiforbruket i den enkelte husholdning.

3.4. Analysetema 4: Formålsfordeling av elektrisitetsforbruket

Elektrisitetsforbruket kan knyttes til ulike formål, slik som romoppvarming, vannvarming, belysning, vasking, koking og kjøling, osv. Kunnskap om hvor mye av elektrisitetsforbruket som står i et substitusjonsforhold til andre energigoder og hvor mye som brukes til elektrisitetsspesifikt utstyr, belysning osv. gir grunnlag for å vurdere effekten på energiforbruket av blant annet avgifter. Effekten av energipolitiske tiltak avhenger av i hvilken grad husholdningene har mulighet til å vri forbruket mot den energikilden som til enhver tid er billigst. Det er særlig for oppvarming av bolig, og til dels også varming av vann, at det er mulig å benytte alternative energikilder. Utfordringen består i å beregne en slik formålsfordeling av elektrisitetsforbruket. En måte å finne formålsfordelingen på er å måle forbruket til ulike apparater og elektrisitetsforbrukende installasjoner i en rekke husholdninger, men en slik metode er svært kostbar. Vi har sett på to alternative metoder for beregning av formålsfordelingen for norske husholdninger, se Larsen og Nesbakken (2003) og (2004).

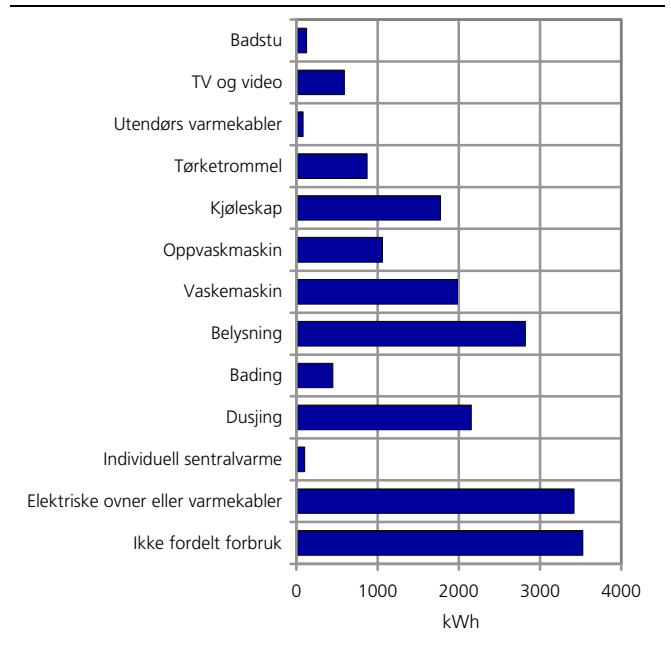
En ingeniørmodell og data fra blant annet Energiundersøkelsen 1990 gir den "rådende" formålsfordelingen for husholdningenes elektrisitetsforbruk i Norge (se Ljones mfl. 1992). Ingeniørmodellen tar utgangspunkt i en rekke tekniske sammenhenger som beskriver energibehovet i en bolig. Anslag på effekt og brukstid for ulike apparater er basert på målinger av forbruk til alle typer energikrevende utstyr i noen testboliger. For hver husholdning justeres beregnet energiforbruk til hvert formål opp eller ned med samme forholdstall (kalibreres) for å treffe det totale energiforbruket som er oppgitt i undersøkelsen.

En annen måte å formålsfordele elektrisitetsforbruket på er å benytte en økonometrisk metode. Vi har benyttet en økonometrisk modell spesielt utviklet for å kunne formålsfordele elektrisitetsforbruket. Modellen er gjengitt i vedlegg C. I denne modellen benyttes samme data som i ingeniørmodellen, dvs. data fra Energiundersøkelsen 1990. Hovedideen i den økonometriske metoden er at elektrisitetsforbruket estimeres som en funksjon av en rekke utstysvariable som har verdien 0 eller 1 avhengig av om husholdningen har utstyret eller ikke. De estimerte parametrene i modellen kan tolkes som gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk knyttet til de ulike apparatene.

Figur 3.13 viser resultatene fra analysen basert på den økonometriske modellen. Elektrisitet til oppvarming består av elektrisitet til elektriske ovner og varmekabler samt individuell sentralvarme basert på elektrisitet. Til sammen utgjør dette noe over 3500 kWh av et gjennomsnittlig totalforbruk på 18955 kWh. Elektrisitet til dusjing, belysning og vaskemaskin utgjør også mye av totalt elektrisitetsforbruk. Datagrnnlaget fra Energiundersøkelsen 1990 gir ikke grunnlag for å for-

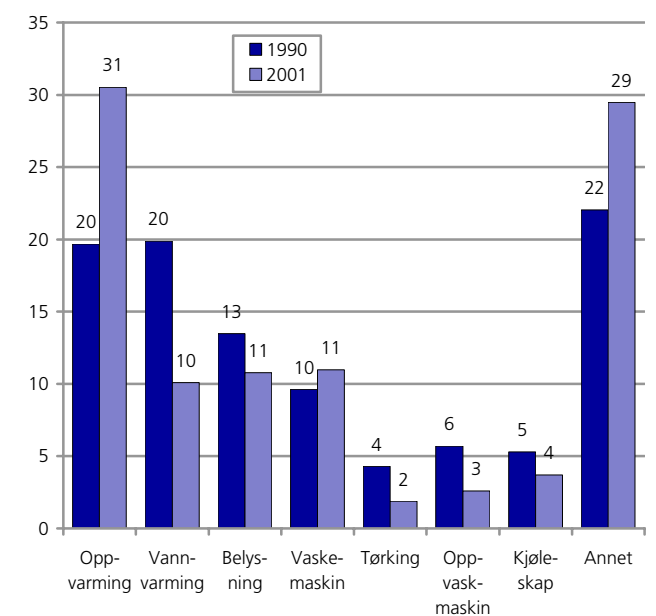
målsfordele elektrisitetsforbruket fullt ut. Om lag 3500 kWh (20 prosent) er ikke fordelt på ulike anvendelser.³

Figur 3.13. Elektrisitetsforbruk til ulike formål fra den økonometriske modellen i 1990. kWh



Kilde: Larsen og Nesbakken (2004).

Figur 3.14. Formålsfordelingen av elektrisitetsforbruket i 1990 og 2001. Prosent



Kilde: Larsen og Nesbakken (2005a).

³ Vi har ikke klart å estimere spesifikt elektrisitetsforbruk til komfyr, fryser, kombiskap, varmtvann utenom til dusj og bad, støvsuger samt til ulike "småapparater" (f.eks. vannkoker, kaffetrakter, føner, PC).

I Larsen og Nesbakken (2004) gis det også anbefalinger om hvordan nye spørsmål kan utformes for å gi data som kan forbedre resultatene basert på den økonometriske modellen. Slike spørsmål er innarbeidet i Forbruksundersøkelsen 2001.

En analyse av formålsfordelingen i 2001 og sammenligning av fordelingen i 1990 og 2001 er gitt i Larsen og Nesbakken (2005a) og (2005b). De nye resultatene er generelt robuste ved at signifikansnivåene er gode, resultatene er stabile når det gjelder størrelsen på parameterestimaterne, forklaringskraften er høy og regneeksempler viser at resultatene innebærer rimelige resultater for bruk av utstyret og effekt. Hovedresultatene er gjengitt i figur 3.14. Gjennomsnittlig samlet elektrisitetsforbruk per husholdning var om lag det samme i 1990 og 2001 (3 prosent høyere i 2001). Husholdningene reduserte sitt elektrisitetsforbruk blant annet til vannvarming, belysning, tørking og oppvaskmaskin fra 1990 til 2001, mens forbruket til boligoppvarming og "annet" økte.

Elektrisitetsforbruk til *boligoppvarming* var om lag 60 prosent høyere i 2001 enn i 1990. Dette skyldes svært ulike utetemperaturer i de to årene, ulike relative energipriser samt utviklingen i beholdningen av oppvarmingsutstyr og boligareal. Utetemperaturen var 23 prosent høyere enn normalt i 1990 og 2,5 prosent lavere enn normalt i 2001. At oljeprisen korrigert for virkningsgrad var 29 prosent høyere enn elektrisitetsprisen i 2001, men 12 prosent lavere i 1990, trakk også i retning av høyere elektrisitetsforbruk. Andelen av husholdningene med elektriske ovner eller varmekabler økte fra 92 til 98 prosent, andelen med oljeutstyr gikk ned fra 30 til 15 prosent og boligarealet økte med 4 prosent. Mer energieffektive husholdningsapparater trakk i retning av en lavere andel av elektrisitetsforbruket til slike apparater, og dermed høyere andel til oppvarming.

Elektrisitetsforbruk til *vannvarming* ble redusert med om lag 50 prosent fra 1990 til 2001. Dette skyldes lavere andel som har egen elektrisk varmtvannsbereder og sterk økning i andelen husholdninger som har oppvaskmaskin. Varmt tappevann til manuell oppvask gikk dermed ned. En reduksjon i antall karbad trekker også i retning av lavere varmtvannsforbruk. Andre årsaker kan være økt realpris på elektrisitet, bedre isolering i nye varmtvannsberedere, at berederen i større grad plasseres i oppvarmede rom og økt bruk av sparedusj. En overgang fra tradisjonell bøttevask til mopping kan også ha bidratt til lavere varmtvannsforbruk.

Elektrisitetsforbruk til *belysning* var 18 prosent lavere i 2001 enn i 1990. Dette kan blant annet skyldes betydelig høyere realpris på elektrisitet i 2001 enn i 1990, og at husholdningene dermed ble mer bevisste på å slå av lys og benytte lavenergipærer.

Andelen av husholdningene med *vaskemaskin* var om lag uendret, men elektrisitetsforbruket økte likevel med 17 prosent. Effektivitetsforbedringer trekker i retning av lavere elektrisitetsforbruk over tid. Det høyere forbruket skyldes da endret bruksmønster, som vasking på høyere temperatur, økning i antall vasker, vasking av ulltøy i maskin og økt bruk av forvask. Elektrisitetsforbruk per *tørketrommel/-skap* ble mer enn halvert fra 1990 til 2001, samtidig som det var en viss økning i andelen husholdninger som hadde dette utstyret. Samlet sett gikk gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk til tørking ned med 55 prosent. Betydelig flere husholdninger hadde *oppvaskmaskin* i 2001 enn i 1990, men energieffektiviteten for oppvaskmaskinene ble kraftig forbedret, og husholdningenes elektrisitetsforbruk til oppvaskmaskiner ble halvert. Elektrisitetsforbruk til *kjøleskap* utenom kombiskap gikk ned med 28 prosent, hovedsakelig på grunn av en sterk overgang til kombiskap.

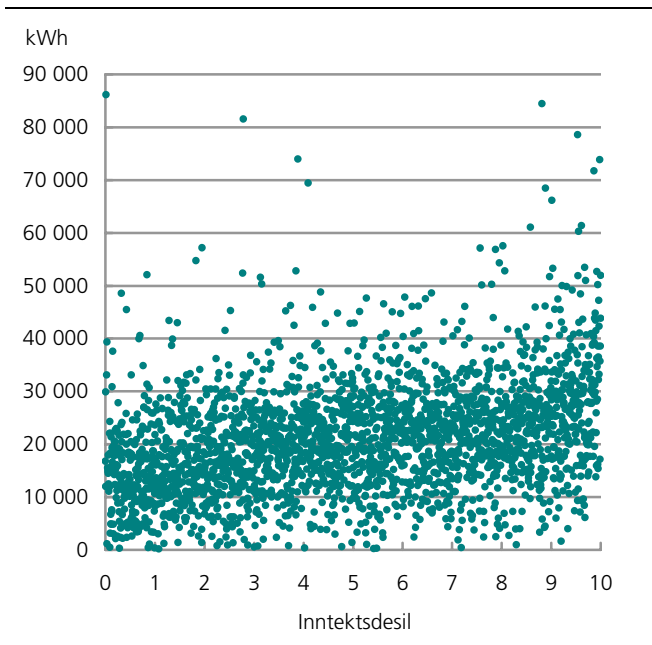
Samleposten av *annet elektrisitetsforbruk* dekker elektrisitetsforbruk til alle apparater som ikke er spesifiserte i estimeringene (inklusive blant annet komfyr, kombiskap, frysebokser), og dette forbruket økte med 37 prosent fra 1990 til 2001. Årsaker kan være økning i andelen som hadde kombiskap samt at husholdningene anskaffer stadig flere typer elektriske apparater. Det var også en relativt kraftig økning i husholdningenes realinntekt i perioden 1990 til 2001. Når inntekten øker, vil vi forvente lavere økning i elektrisitetsforbruk til nødvendighetsgoder sammenlignet med elektrisitetsforbruk som har mer luksuspreg. De spesifiserte postene som varm bolig, varmt vann, lys, rene og tørre klær, rent dekketøy og kalde matvarer har alle et nødvendighetspreg. Svømmebasseng, terrassevarmere, badstue, boblebad, aircondition osv. har mer luksuspreg, og dette utstyret er med i annet elektrisitetsforbruk. Økningen i elektrisitetsforbruket som følge av økt inntekt, må dermed forventes å være høyere for gruppen "Annet" enn for de andre formålene.

3.5. Analysetema 5: Fordelingseffekter av økt forbruksavgift på elektrisitet

På grunn av bekymringer om kraftbalansen har det ved flere anledninger blitt fremmet forslag om å øke elektrisitetsavgiften, blant annet i Nasjonalbudsjettet 1999. Politikerne er imidlertid også bekymret for uheldige fordelingsmessige virkninger av en slik avgiftsøkning. Som bakgrunn for analyser av økt forbruksavgift på elektrisitet har vi sett på hvordan elektrisitetsforbruket er fordelt på husholdninger med ulik inntekt. Figur 3.15 viser elektrisitetsforbruk i forhold til husholdningenes alminnelige inntekt etter skatt (ifølge selvangivelsen). Husholdningene er inndelt i 10 inntektsgrupper med like mange husholdninger i hver gruppe (desil). Figur 3.15 viser at det er svært stor variasjon i elektrisitetsforbruket, selv om det er en svak tendens til at elektrisitetsforbruket øker med inntekten. Vi finner husholdninger i den laveste inntektsgruppen som har høyt elektrisitetsforbruk, samtidig som vi finner husholdninger i den

høyeste inntektsgruppen som har lavt elektrisitetsforbruk. Det innebærer at en avgiftsøkning på elektrisitet vil ramme husholdninger i alle inntektsgrupper.

Figur 3.15. Husholdningenes elektrisitetsforbruk etter rangeringen i inntektsfordelingen, 1993-94



Kilde: Halvorsen og Nesbakken (2004).

Effekt av valgt fordelingsmål

Formålet med analysen i Halvorsen mfl. (2001b) er å vise betydningen av valg av fordelingsmål for resultatene fra analyser av fordelingseffekter av elektrisitetsavgift. Med fordelingseffekter mener vi endring i levekår. Levekårene kan ikke observeres, og vi må da finne en proxy-variabel som kan fange opp variasjoner i husholdningenes levekår. Vi har valgt å fokusere på ulike inntektsbegreper, da inntekt er viktig for husholdningenes forbruksmuligheter. Fordelingseffektene av en proporsjonal økning i elektrisitetsavgiften studeres ved å fokusere på alminnelig inntekt før og etter skatt, pensjonsgivende inntekt før og etter skatt samt total forbruksutgift. Vi måler ulikhet ved Lorenz-kurver samt Gini- og A-koeffisienten (se vedlegg D).

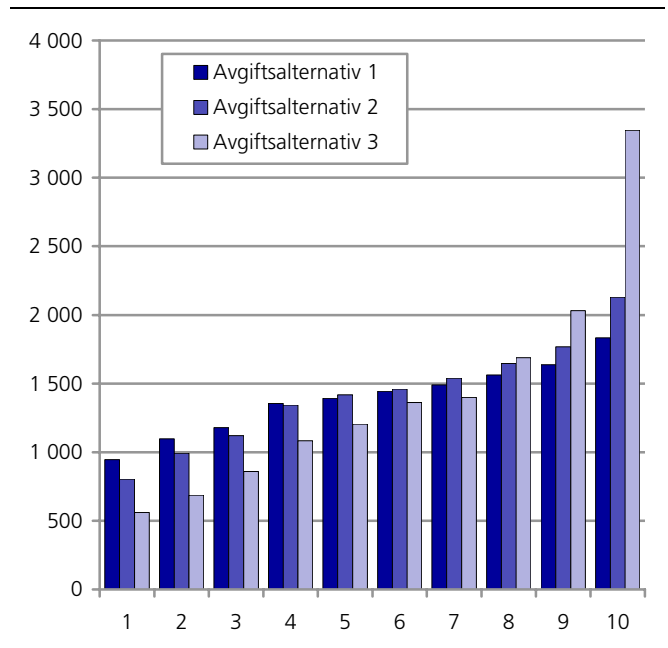
Vi finner at byrden av avgiftsøkningen, målt ved endring i budsjettandelen til elektrisitet, avtar med inntekt uansett hvilket fordelings-/inntektsbegrep vi benytter. Ved å beregne ulikhetsmål for inntekt fratrukket elektrisitetsavgift både før og etter avgiftsøkningen, har vi funnet at ulikhetsmålene blir signifikant forskjellige avhengig av hvilket fordelingsmål som benyttes. Alle de fem fordelingsmålene vi studerer har svakheter i forhold til at viktige komponenter for økonomiske levekår ikke fanges opp. Ingen av de fem fordelingsmålene peker seg spesielt ut i positiv eller negativ retning for bruk i fordelingsanalyser.

Målsettingskonflikter?

Vi har studert reduksjonen i elektrisitetsforbruket, velferdseffekter (målt ved kompenserende variasjon og økning i elektrisitetsutgiften) og effektivitetstap av tre avgiftsalternativer for elektrisitetsavgiften. Analysen er basert på data fra Forbruksundersøkelsen 1993 og 1994. Metoden som er brukt er estimering på et lineært utgiftssystem (LES). For en nærmere diskusjon av analysen, se Halvorsen og Nesbakken (2002b) samt vedlegg E.

I analysen ser vi kun på fordelingseffekter etter husholdningens inntekt.⁴ Husholdningenes kompenserende variasjon angir den økning i inntekt som er nødvendig for å ha samme velferd etter prisøkningen som før. Vi definerer en fordelingseffekt som positiv dersom den gir høyere velferdstap for høyinntektshusholdninger enn for lavinntektshusholdninger. Vi sier at en avgift har negative fordelingseffekter dersom velferdstapet for lavinntektsgruppene er høyere enn for høyinntektsgruppene. Velferdstapet måles ved husholdningenes kompenserende variasjon og kompenserende variasjon per inntektskrone.

Figur 3.16. Kompenserende variasjon (nyttetap) ved økt elektrisitetsavgift etter avgiftsalternativ og inntektsgruppe. Kroner



Kilde: Halvorsen og Nesbakken (2002b).

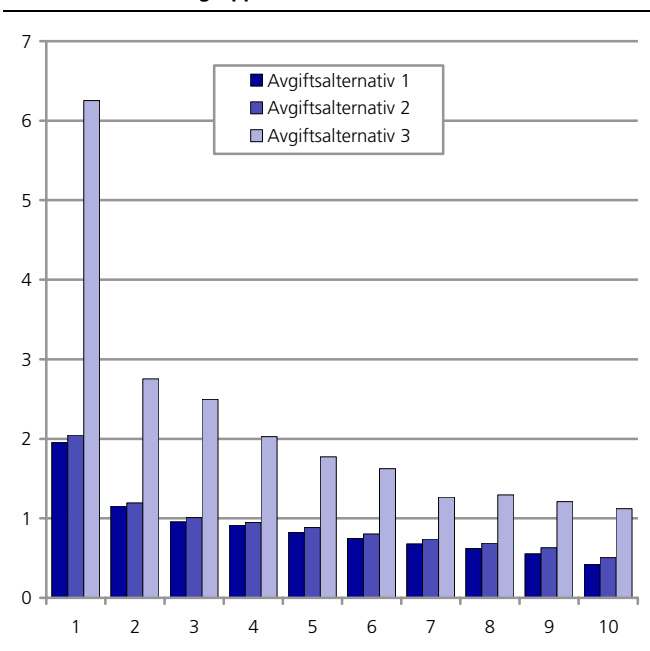
Avgiftsalternativ 1 gir en proporsjonal økning i avgiften for alle husholdninger. De to ikke-lineære avgiftsalternativene gir en avgiftsøkning for forbruk over et visst nivå, der forbruksgrensen og satsen er forholdsvis lave

⁴ Alternative fordelingskriterier kan være antall husholdningsmedlemmer, barnefamilier, eldre, enslige, etc. Noen av disse kriteriene blir analysert i den siste studien i dette avsnittet, som diskuterer effekter av en differensiering av el-avgiften for husholdningene.

i avgiftsalternativ 2 og høye i alternativ 3. Virkninger på elektrisitetsforbruket og velferdseffekter er beregnet for husholdninger i ulike grupper av inntektsfordelingen (desiler).

Det ikke-lineære avgiftsalternativet som rammer høyt forbruk (avgiftsalternativ 3) er å foretrekke hvis målet er å redusere elektrisitetsforbruket. Dette alternativet er imidlertid minst gunstig hvis målet er å få minst mulig effektivitetstap. Da er den proporsjonale avgiften (alternativ 1) å foretrekke. I vurderingen av fordelingseffektene avhenger rangeringen av avgiftsalternativer av hvilken vekt man tillegger ulike husholdningsgrupper. Figur 3.16 tyder på at avgiftsalternativ 3 gir størst nyttetap målt i kroner for husholdninger i inntektsgruppene med de høyeste inntektene, mens nyttetapet blir lite for husholdninger i inntektsgruppene med lav inntekt. Dersom man ønsker å tilgodese husholdninger i de laveste inntektsdesilene ved å gi dem så lavt nyttetap målt i kroner som mulig, er alternativ 3 å foretrekke.

Figur 3.17. Kompenserende variasjon som andel av inntekt ved økt elektrisitetsavgift for de som berøres av avgiftsøkningen etter avgiftsalternativ og inntektsgruppe. Prosent



Kilde: Halvorsen og Nesbakken (2002b).

Figur 3.17 viser nyttetapet i forhold til husholdningens inntekt for de husholdningene i hver inntektsgruppe som berøres av avgiftsøkningen. Vi ser at alle avgiftsalternativene gir størst nyttetap per inntektskrone for inntektsgruppene med lavest inntekt, og at nyttetapet per inntektskrone er størst i avgiftsalternativ 3 for alle inntektsgrupper. Dersom man ønsker å tilgodese husholdninger i de laveste inntektsdesilene, er avgiftsalternativ 3 det minst attraktive alternativet.

Årsaken til at nyttetapet per inntektskrone synker for husholdninger som er berørt, er at budsjettandelen til elektrisitet avtar med inntekt. Dette innebærer at andelen berørte husholdninger er høyere i høyere inntektsdesiler, samtidig som det er en del husholdninger med lav inntekt som har høyt elektrisitetsforbruk (se figur 3.15). Disse husholdningene vil bli svært hardt rammet av avgiftsalternativ 3, hvor avgiftsendringen er stor.

Tabell 3.1 oppsummerer resultatene i denne analysen. De tre ulike politiske målsettingene er vist i første kolonne, det foretrukne avgiftsalternativet i forhold til å oppnå målsettingen er vist i andre og tredje kolonne for henholdsvis alle husholdninger og de berørte husholdningene. Vi finner at hvorvidt det er målsetningskonflikter mellom elektrisitetsforbruk, fordelingsvirkninger og effektivitetsvirkninger avhenger av om man fokuserer på gjennomsnittet av alle husholdningene eller bare de husholdningene som berøres av avgiftsøkningen innen de ulike inntektsgruppene (under forutsetning av at avgiften ikke innføres av effektivitetsårsaker). Dersom vi ser på gjennomsnittet av alle husholdninger, er avgiftsalternativ 3 det beste når det gjelder å redusere elektrisitetsforbruket og tilgodese lavinntektshusholdninger, mens avgiftsalternativ 1 er best når det gjelder effektivitet (under forutsetning av at avgiften ikke innføres av effektivitetsårsaker). Dersom vi ser på de berørte husholdningene, kommer avgiftsalternativ 1 best ut med hensyn til å tilgodese lavinntektshusholdninger og effektivitet, mens alternativ 3 fortsatt er best med hensyn til å redusere elektrisitetsforbruket.

Tabell 3.1. Foretrukket avgiftsalternativ avhengig av målsetting. Alle husholdninger og berørte husholdninger

	Alle husholdninger	Berørte husholdninger
1. Redusert elektrisitetsforbruk	<i>Avgiftsalternativ 3</i> Høyinntektshusholdninger reduserer forbruket mest.	<i>Avgiftsalternativ 3</i> Ingen trend i forbruksreduksjonen i forhold til inntekt.
2. Fordelings-effekter:	<i>Avgiftsalternativ 3</i> Lavinntektshusholdninger kommer best ut i alle avgiftsalternativene.	<i>Avgiftsalternativ 1 og 2</i> Lavere CV enn i alternativ 3, og høyere relativ forskjell i CV for lav- vs. høyinntektshusholdninger.
a) Kompenserende variasjon (CV)		
b) CV/Inntekt	<i>Avgiftsalternativ 3</i> Lavinntektshusholdninger kommer dårligst ut i de andre alternativene.	<i>Avgiftsalternativ 1 og 2</i> Lavinntektshusholdninger kommer dårligst ut i alle alternativene.
3. Effektivitet:^a	<i>Avgiftsalternativ 1</i>	<i>Avgiftsalternativ 1</i>

^a Effektivitetsmålet er et bruttomål, dvs. vi har ikke tatt hensyn til eventuelle positive effektivitetseffekter som følger dersom motivasjonen for avgiftsøkningen er å redusere effektivitetstap.

Forutsetning om uendret elektrisitetsforbruk

Vi har studert fordelings effekter av økt el-avgift under forutsetning av uendret elektrisitetsforbruk, og sammenlignet dette med analyser hvor vi tar hensyn til

endret elektrisitetsforbruk (Halvorsen og Nesbakken, 2000 og 2002a). Vi ser på ett proporsjonalt avgiftsalternativ og fire ikke-lineære utforminger av avgiftsøkningen. Vi finner at det ikke-lineære alternativet med høyest forbruksgrense (innslagspunktet for avgiften) og høyest avgiftssats gir den gunstigste fordelingseffekten dersom man ønsker å tilgodese lavinntektshusholdningene, når det forutsettes at husholdningene ikke endrer forbruk ved avgiftsøkningen. Når vi tar hensyn til forbruksendringen, blir den positive fordelingseffekten av de ikke-lineære alternativene svakere, og rangeringen av hvilke avgiftsalternativer som gir de gunstigste fordelingseffektene endres.

Hvilke husholdninger rammes av høye strømpriser?

En uvanlig tørr høst ga historisk høye kraftpriser vinteren 2002/2003, og dermed høye strømpriser for husholdningene. Husholdninger med mange barn og store boliger bruker mest elektrisitet, og fikk størst økning i elektrisitetsutgiftene som følge av dette (se Halvorsen og Nesbakken, 2003a og 2003b). I gjennomsnitt befant disse husholdningene seg i de høyere inntektsgruppene. For høyinntektsgruppene utgjorde imidlertid utgiftsøkningen en mindre andel av inntekten enn for lavinntektsgruppene.

Innen hver inntektsgruppe fant vi stor variasjon med hensyn til familiestørrelse, boligareal og strømforbruk. Det er dermed relativt mange store husholdninger med høyt strømforbruk blant husholdningene med lav inntekt. På grunn av den store spredningen i forbruket innen ulike inntektsgrupper (se figur 3.15), vil en ikke ubetydelig andel husholdninger med de laveste inntektene kunne få store utgiftsøkninger ved høye strømpriser, både målt i kroner og relativt til husholdningens inntekt.

Analysen er utført på data fra Forbruksundersøkelsen 1993 og 1994. Det antas at strømprisen i 2003 var snaut 21 øre per kWh høyere enn i et normalår (mht. nedbørsforhold mv.). I analysen benyttes et lineært utgiftssystem, og det beregnes utgiftsøkninger og velferdseffekter der det tas hensyn til at husholdningene endrer elektrisitetsforbruket når elektrisitetsprisen endrer seg (se vedlegg E).

Differensiering av elektrisitetsavgiften

I Halvorsen og Nesbakken (2004) studeres en differensiering av elektrisitetsavgiften. Analysene er gjort på oppdrag fra et utvalg nedsatt av Finansdepartementet 26.09.2003, for vurdering av effekter på energiforbruket og fordelingsvirkninger av en differensiert el-avgift for husholdningene innenfor en provenynøytral ramme. Utvalget spesifiserte ulike modeller for differensiering etter størrelsen på elektrisitetsforbruket, antall husholdningsmedlemmer og temperatursoner. I tillegg til å beregne effektene av de ulike modellene for differensiering, ønsket utvalget å utrede effektene av en økning i

dagens proporsjonale avgift. Dette for å illustrere fordelingseffekter av å øke avgiftsnivået, og for å sammenligne effektene av en differensiert el-avgift med effektene av å kombinere en proporsjonal avgiftsøkning med inntektsfordelingspolitiske virkemidler.

Vi finner at en differensiering av el-avgiften i seg selv ikke bidrar til å redusere det totale elektrisitetsforbruket i husholdningssektoren, dersom man ikke samtidig øker gjennomsnittlig avgiftsnivå. Dette resultatet følger av at husholdningene antas å tilpasse seg en gjennomsnittlig avgiftsendring. Dersom en større andel av husholdningene velger å tilpasse seg marginale endringer i avgiften og ikke gjennomsnittsavgiften, vil en differensiering i seg selv kunne redusere forbruket av elektrisitet noe, men ikke like mye som en tilsvarende proporsjonal endring i avgiften. En differensiering av avgiften har positive fordelingseffekter i gjennomsnitt dersom man ønsker å tilgodese lavinntektshusholdninger, men negative fordelingseffekter dersom man ønsker å tilgodese store barnefamilier. Selv om en differensiert el-avgift gir positive effekter for lavinntektshusholdningene i gjennomsnitt, finnes det husholdninger med lav inntekt og høyt elektrisitetsforbruk som rammes svært hardt av en differensiert avgift. En økning i dagens proporsjonale avgift rammer ikke de store husholdningene i samme grad som en differensiering. Ved å kombinere en proporsjonal økning i avgiften med inntektspolitiske virkemidler, kan man oppnå en reduksjon i forbruket samtidig som man i større grad treffer de ønskede målgruppene.

3.6. Analysetema 6: Aggregeringsproblemer i husholdningenes energijetterpørsel

Politiske målsettinger er ofte rettet mot hele husholdningssektoren samtidig som virkemidlene søker å endre forbruket til den enkelte husholdning. Partielle mikromodeller fanger ikke opp viktige likevektseffekter og tilbakevirkninger gjennom energimarkedene og økonomien generelt. Det er derfor av stor politisk og forskningsmessig interesse å foreta makroøkonomiske modellanalyser av ulike politikktiltak som påvirker energiforbruket. Resultater av adferdsanalyser, hvor man søker kunnskap om heterogeniteten i energijetterpørselen, må imidlertid basere seg på informasjon om enkelthusholdninger.

Dersom ulike husholdningsgrupper har ulik adferd, er det ikke trivielt å aggregere egenskapene til etterspørselen estimert på basis av mikrodata til en total etterspørselsfunksjon for hele husholdningssektoren. Heterogenitet i adferden kan f.eks. oppstå dersom husholdninger i ulike regioner har ulikt oppvarmingsutstyr som følge av regionale variasjoner i elektrisitetsprisene, eller andelen av husholdninger i ulike grupper for adferd endres over tid. Slike endringer kan oppstå hvis f.eks. husholdningsstørrelsen reduseres over tid eller yngre generasjoner har et annet forbruksmønster enn eldre generasjoner. Forskjeller i etterspørsels-

funksjonene mellom ulike grupper av husholdninger gjør at estimerte egenskaper fra modeller for enkelt-husholdninger ikke nødvendigvis kan tolkes som egenskaper ved husholdningssektorens etterspørselsfunksjon. Heterogenitet i adferden er viktig å identifisere, fordi heterogenitet er av avgjørende betydning for hvordan egenskapene til etterspørselsfunksjonene i mikro skal aggregeres til makro. I empiriske makromodeller trenger man sammenhenger som er aggregerte for ikke å få store og lite brukervennlige modeller. Dette innebærer at man må ta stilling til aggregeringsmetoder for å bruke mikrodata til å si noe om makrosammenhenger. Temaet aggregering oppstår straks man ønsker å estimere en aggregert funksjon eller trekke slutninger om husholdningssektoren på grunnlag av opplysninger om enkelthusholdninger, enten det gjelder hele populasjonen eller et utvalg av husholdninger. Aggregering er derfor aktuelt innenfor et bredt spekter av problemstillinger.

Empirisk litteratur om energietterspørsel viser at det er forskjeller i inntekts- og priselastisiteter. Vi har også funnet systematiske forskjeller i elastisiteter basert på makrodata og mikrodata, noe som er forventet ut fra den teoretiske aggregeringslitteraturen, se Halvorsen mfl. (2001a). Forskjellene kan skyldes ulikheter i husholdningenes utnyttelse av oppvarmingsutstyr ved endringer i relative priser, ulike forventninger om framtidige priser og inntekt over tid, problemer med overføring av mikroegenskaper til makro, eller at de estimerte makrosammenhengene ikke har tatt tilstrekkelig hensyn til strukturendringer når husholdninger med ulike kjennetegn har ulik adferd i energietterspørsel.

Formålet med arbeidet i Halvorsen mfl. (2001a) har vært å skape et grunnlag for videre arbeid med aggregering ved å skaffe oss oversikt over litteraturen, få frem ideer til interessante analyseprosjekter og, på basis av litteraturen, komme med forslag til modellkonsepter for analyser av energiforbruk.

3.7. Analysetema 7: Pris- og inntektsfølsomhet i ulike husholdninger

For å vurdere effekten av ulike økonomiske virkemidler er det viktig å ha god kunnskap om sammenhengen mellom energipriser og energietterspørsel. Målet med analysen i Halvorsen mfl. (2005) er å beskrive heterogeniteten i husholdningenes energiforbruk, og da spesielt heterogeniteten i substitusjonsmulighetene mellom ulike energigoder avhengig av husholdningers muligheter til å konsumere ulike energigoder. Vi har estimert olje til kamin og olje til sentralfyr for seg. I tillegg har vi tatt hensyn til om husholdningen har mulighet til å benytte en energibærer eller ikke og om mulighetene er utnyttet. Nytt i forhold til tidligere studier er at vi har estimert en etterspørselsligning for fyringsoljer og ved. Vi ser på en korttidsmodell hvor beholdningen av oppvarmingsutstyr er gitt. Innenfor

en økonometrisk modell estimerer vi hvordan etterspørselen etter et energigode endres med priser, inntekt og bolig- og husholdningskarakteristika gitt at husholdningen velger å etterspørre godet. Blant husholdninger med mulighet for å konsumere et gode estimerer vi hvorfor noen husholdninger velger å etterspørre dette, mens andre velger null utgift til godet. På grunnlag av ligninger for elektrisitet, olje til kamin, olje til sentralfyr og ved er krysspriselastisiteter mellom de fire ulike energigodene estimert.

I analysen benytter vi en metode som tar hensyn til at mange husholdninger ikke har utgifter til ved, fyringsolje og parafin, enten fordi de ikke har oppvarmingsutstyr, eller fordi de velger ikke å utnytte alt utstyret de har. Blant husholdningene i utvalget har vel 80 prosent mulighet til å bruke ved, knapt 5 prosent har mulighet til å bruke fyringsolje og knapt 25 prosent har mulighet til å bruke parafin i oppvarmingen. Modellen vi estimerer tar også hensyn til heterogenitet i husholdningene når det gjelder ulike karakteristika ved bolig og husholdning med innflytelse på energietterspørselen (boligtype, antall husholdningsmedlemmer, kapasiteten på ulikt oppvarmingsutstyr, etc.).

Vi finner at etterspørselen etter energigoder på kort sikt (for gitt utstyrsbeholdning) er relativt følsom for endringer i egenprisen. Det har i stor grad sammenheng med mulighetene for substitusjon mot andre energigoder for en relativt stor andel av husholdningene. Vi finner også at alle energigoder er normale nødvendighetsgoder. Resultatene for krysspriselastisitetene viser at der husholdningene i gjennomsnitt har gode substitusjonsmuligheter får vi positive kryssprisindeffekter. Vi finner også asymmetri i krysspriselastisitetene, spesielt mellom elektrisitet og ved som følge av at det ikke eksisterer substitusjonsmuligheter i elektrisitetforbruket til elektriske husholdningsapparater og belysning.

Vi har også studert de husholdningene som velger ikke å benytte seg av tilgjengelig oppvarmingsutstyr. Vi finner at for de fleste energitypene er relative energipriser viktige forklaringsfaktorer for om husholdningen velger ikke å bruke utstyret. Ellers finner vi at husholdninger som velger å bruke oppvarmingsutstyr for ved eller oljer, i gjennomsnitt har lavere kapasitet på det elektriske oppvarmingsutstyret enn husholdninger som velger å ikke bruke utstyret.

3.8. Oppsummering av analysene

Våre analyser presentert i avsnitt 3 kan oppsummeres i følgende hovedpunkter når det gjelder hva som er viktig for husholdningenes energiforbruk og modellering av dette:

- Beholdningen av oppvarmingsutstyr og elektriske husholdningsapparater er viktige faktorer for å forklare nivå på, og sammensetning av, energiforbruket.

- Økningen i antall husholdninger står for om lag halvparten av veksten i norske husholdningers elektrisitetsforbruk i perioden 1976 til 1993.
- Det er stor heterogenitet i etterspørselsstrukturen, avhengig av bl.a. ulik tilpasning av utstyrsbeholdningen.
- Teoretisk aggregeringslitteratur viser at det *skal* være forskjeller i mikro- og makroelastisiteter dersom husholdningene er heterogene. I slike tilfeller beskriver ulike elastisiteter samme situasjon fra ulike vinkler.
- I empirisk litteratur er det stor variasjon i de estimerte priselastisitetene. Estimatenes avhenger av spesifiseringen av modellen når det gjelder: mikro-/makrodata, panel-/tverrsnittsdata, brutto-/nettoeffekter (spesielt for inntekt), tidspunktet for innhenting av data, ulike husholdningsgrupper (eks. høy/lav inntekt), energiforbruk versus elektrisitetsforbruk, enkeltformål versus alle formål, times- versus årsdata.
- Det er store strukturelle endringer i etterspørselen over tid (endret sammensetning av husholdninger, ulik adferd i ulike kohorter, økt inntekt, oppgradering av boligkapital som har gitt økt areal og endringer i beholdningen av ulike typer energiforbrukende utstyr, spesielt utfasing av oljebasert oppvarmingsutstyr).
- Små krysspriseffekter for "gjennomsnittshusholdningen" gjør det vanskelig å få tak på substitusjonen mellom enkelte energigoder. Krysspriseffektene er store for enkelte husholdningsgrupper og enkelte energigoder.

Pris- og inntektseffekter i husholdningenes stasjonære energiforbruk

Politiske tiltak som retter seg mot energi og miljø vil ofte være knyttet til energipriser i form av avgifter. For å si noe om effekten av ulike tiltak er det derfor behov for anslag på priselastisiteten, dvs. prosentvis endring i energiforbruket når energiprisen øker med én prosent.

Det er også interessant å finne ut hvor mye energiforbruket endrer seg når inntekten endres (inntektselastisiteten), for eksempel i studier av utvikling i energiforbruket over tid. I de ulike analysene våre har vi funnet at priselastisitetene varierer mellom 0,2 og 0,9 i tallverdi, se tabell 3.2 nedenfor og figur 3.12 i avsnitt 3.2. Tilsvarende varierer inntektselastisitetene mellom 0,1 og 0,2.

Vi har kartlagt følgende årsaker til variasjon i elastisitetene:

- Brutto- versus nettokoeffisienter: Resultatene varierer f.eks. med om boligareal er med i modellen eller ikke. Siden boligarealet øker med inntekten, vil effekten av boligareal på forbruk være inkludert i inntektseffekten dersom ikke boligareal skiller ut som egen forklaringsvariabel.
- Tidsvariasjon: Ulike anslag på ulike tidspunkter.
- Husholdningsgrupper: Høyinntekts-husholdninger reagerer for eksempel annerledes enn lavinntekts-husholdninger på pris- og inntektsendringer, på grunn av ulik sammensetning av energiforbruket til ulike formål (noen formål har mer nødvendighetspreg enn andre).
- Energi versus elektrisitet: Hvis f.eks. økt elektrisitetspris gir redusert elektrisitetsforbruk og omtrent tilsvarende økning i oljeforbruket, vil elastisiteten for total energi og elektrisitet bli svært forskjellige. Forskjellen avhenger av substitusjonsmulighetene.
- Energi til oppvarming versus totalt stasjonært energiforbruk: Forskjeller i substitusjonsmulighetene gir forskjellige anslag på energipriselastisiteten. Ved bare å se på elektrisitet vil det fortsatt være forskjeller i elastisiteten, avhengig av hva som sees på som luksustjenester (svømmebasseng) og nødvendige tjenester (romoppvarming).

Tabell 3.2. Pris- og inntektselastisiteter i våre analyser

Fokus	Referanse	Priselastisitet	Inntektselastisitet	Kommentar
Kjøp av elektriske apparater og elektrisitetsforbruk	Halvorsen og Larsen (2001a)	-0,44	0,13	Elektrisitet, alle formål. 1975-94
Valg av oppvarmingsutstyr og energiforbruk	Nesbakken (2001)	-0,21	0,06	Energi, oppvarmingsformål. 1990
Valg av oppvarmingsutstyr og energiforbruk	Nesbakken (1999)	-0,50 -0,33 (lav inntekt) -0,66 (høy inntekt)	0,01	Energi, alle stasjonære formål. 1993-95
Fordelingseffekter. Lineært utgiftssystem for energi (elektrisitet, fyringsoljer og ved)	Halvorsen og Nesbakken (2002b)	-0,55	0,05	Elektrisitet, alle formål. 1993-94
Utgifter til ulike energigoder avhengig av mulighet for å konsumere	Halvorsen, Larsen og Nesbakken (2005)	-0,65 -0,90 -0,61 -0,88	0,19 0,47 0,26 0,24	Elektrisitet, alle formål Parafin Fyringsolje Ved 1993-95

Tabell 3.3. Betydningen av ulike forklaringsfaktorer for husholdningenes energiforbruk målt ved elastisiteter

Estimert effekt på:	Elastisitet	Gjennomsnitt	Enhet	Periode estimert	Kilde
	Boligareal				
Energi, oppvarming	0,46	120	m ²	1990	Ref. 1
Energi, alle formål	0,38	135	m ²	1993-95	Ref. 2
Elektrisitet, alle formål	0,32	111	m ²	1975-94	Ref. 3
Elektrisitet, alle formål	0,26	129	m ²	1993-94	Ref. 4
	Graddager				
Energi, oppvarming	0,72	3,21	1000 graddager	1990	Ref. 1
Energi, alle formål	0,21	4,15	1000 graddager	1993-95	Ref. 2
Elektrisitet	0,14	4155	graddager	1993-94	Ref. 4
	Husholdningsstørrelse				
Elektrisitet	0,12	2,97	personer	1975-94	Ref. 3
	Enpersonhusholdning				
Elektrisitet	0,00	0,15	andel	1975-94	Ref. 3
Elektrisitet	-0,01	0,1	andel	1993-94	Ref. 4
	Blokk				
Elektrisitet	-0,01	0,07	andel	1975-94	Ref. 3
	Boligalder				
Energi, oppvarming	0,6	9,97	år	1990	Ref. 1
	Byggeår				
Elektrisitet	2,17	1953	år	1975-94	Ref. 3
	Antall barn				
Elektrisitet	0,03	1,16	barn	1993-94	Ref. 4
	Oppvaskmaskin				
Elektrisitet	0,05	0,59	andel	1993-94	Ref. 4
Elektrisitet	0,06	0,52	andel	1990	Ref. 5
Elektrisitet	0,05	0,32	andel	1975-94	Ref. 3

Ref. 1 = Nesbakken (2001), Ref. 2 = Nesbakken (1999), Ref. 3 = Halvorsen og Larsen (2001a), Ref. 4 = Halvorsen mfl. (2003), Ref. 5 = Larsen og Nesbakken (2004).

Andre faktorerens betydning for energiforbruket

I tillegg til inntekt og energipriser er ulike husholdningskarakteristika viktige for husholdningenes energiforbruk. I tabell 3.3 har vi forsøkt å få fram hvor viktige ulike variable er. Forklaringsfaktorene kan være viktige ved at en liten endring i faktoren gir stor effekt på forbruket eller ved at det har skjedd stor endring over tid i forklaringsfaktoren.

Tabell 3.3 viser betydningen av ulike forklaringsfaktorer for husholdningenes energiforbruk, slik de er estimert i våre ulike analyser. For eksempel øker estimert elektrisitetsforbruk med 2,6 og 3,2 prosent når boligarealet øker med 10 prosent (to ulike analyser). Vi ser også at graddagene er beregnet til å bety mer for energi til oppvarming enn for energi til alle formål og elektrisitet til alle formål. Elastisitetene er størst for boligareal, graddager og byggeår. Elastisiteten for hushold-

ningsstørrelse er på et lavere nivå, men er større enn for variablene enpersonhusholdning, blokk, antall barn og oppvaskmaskin.

Elastisiteter må sees i forhold til nivået på den variabelen de gjelder for. For eksempel er elastisiteten for byggeår så høy som 2,17, men med gjennomsnittlig byggeår lik 1953, utgjør én prosents økning i byggeår 19,5 år. Dermed er ikke gjennomsnittlig prosentvis økning i elektrisitetsforbruket per år mer enn drøyt fire prosent når hele boligmassen blir ett år yngre. Det tar lang tid før boligmassen blir ett år yngre, siden nye boliger utgjør en liten andel av eksisterende boliger. Elastisiteten for boligareal er 0,26 i analysen basert på Halvorsen mfl. (2003) (Ref. 4). Tolkningen av elastisiteten er at én prosents økning i boligarealet, som utgjør 1,3 m², gir en økning i elektrisitetsforbruket på 0,26 prosent.

4. Årsaker til utviklingen i energiforbruket

I de neste avsnittene vil vi studere hvordan ulike faktorer kan bidra til å forklare tre hovedtrender i den historiske utviklingen i gjennomsnittlig energiforbruk per husholdning som vi så i figur 2.3:

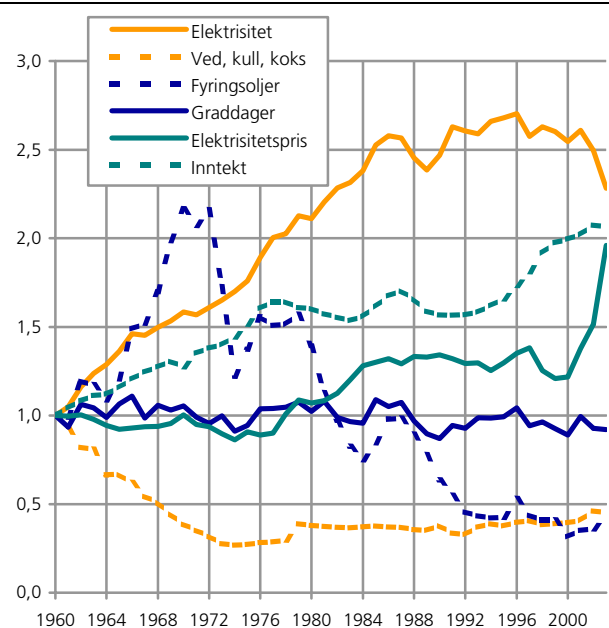
- Sammensetningen av energiforbruket har endret seg mye fra år til år og over perioden.
- Energi- og spesielt elektrisitetsforbruket har økt kraftig over perioden.
- Veksten i energi- og elektrisitetsforbruket har flatet ut i den siste delen av perioden.

Vi vil ikke foreta en tallfesting av bidraget til utviklingen i forbruket fra ulike forklaringsfaktorer, bl.a. fordi det ikke finnes informasjon om den historiske utviklingen for flere sentrale forklaringsvariable. Dette gjelder spesielt informasjon om beholdningen og kapasiteten på ulike typer oppvarmingsutstyr. Videre vil elastisiteter estimert på mikrodata generelt være forskjellige fra makroelastisiteter dersom husholdningene er heterogene i sin tilpasning når priser og inntekt endres, f.eks. som følge av politikktiltak. Se f.eks. Deaton og Muellbauer (1980) for en diskusjon av problemer med aggregering og Denton og Mountain (2004) for en diskusjon av sammenhengen mellom mikro- og makroelastisiteter. Det gjør at vi ikke uten videre kan bruke egenskapene til en etterspørselsfunksjon estimert på mikrodata til å tallfeste bidragene fra ulike faktorer til utviklingen i det aggregerte forbruket. Vi har derfor valgt kun å beskrive i hvilken retning ulike typer forklaringsvariable påvirker de tre hovedtrendene i utviklingen i energiforbruket til boligformål.

Figur 4.1 viser energiforbruk per husholdning, utetemperatur, inntekt, elektrisitetspris og årlige graddagstall for perioden 1960 - 2003. For å sammenligne vekstretter, er tallseriene omregnet til indekser på basis av samme tallmateriale som i figur 2.3 i avsnitt 2.2 og verdien i 1960. Temperaturtallene er representert ved graddagstall som er uveide gjennomsnitt av graddager for syv målestasjoner i Norge.⁵ Figur 4.1 viser at den relative variasjonen fra år til år er størst for forbruket av oljeprodukter. Gjennomsnittsforbruket av fyringsoljer steg kraftig fram til den første oljekrisen, for så å

synke frem til i dag, men med avtakende rate. Vedforbruket per husholdning ble redusert fra 1960 til midten av 1970-tallet, for deretter å øke. Vi ser videre at elektrisitetsforbruket per husholdning steg relativt jevnt frem til midten av 1980-tallet, mens veksten har stagnert på 1990-tallet. Husholdningenes realinntekter vokste relativt mye på 1960- og første halvdel av 1970-tallet, for deretter å stabilisere seg frem til midten av 1990-tallet og så øke relativt sterkt igjen. Elektrisitetsprisen har vært relativt stabil i flere perioder, men økte i en 10-års periode etter 1977. Vi ser effektene av de høye elektrisitetsprisene vintrene 1996/97 og 2002/03 og tilhørende mediefokus, i form av tydelige reduksjoner i elektrisitetsforbruket. Utetemperatur (graddager) er en viktig forklaringsfaktor for kortsiktige variasjoner i energiforbruket. På lang sikt er temperaturnivået relativt stabilt, slik at langsiktige endringer i elektrisitetsforbruk per husholdning må skyldes andre forklaringsfaktorer.

Figur 4.1. Energiforbruk per husholdning, graddager, inntekt og elektrisitetspris 1960-2003. Indeks, 1960 = 1



Kilde: Statistisk sentralbyrå og Meteorologisk institutt.

⁵ Se definisjon av graddager i avsnitt 3.

4.1. Hva har påvirket sammensetningen av energiforbruket?

Den første hovedtrenden vi så i figur 2.3 var at *sammensetningen* av energiforbruket i boliger endret seg relativt mye, både fra år til år og gjennom perioden. Elektrisitetsforbruket utgjorde om lag 35 prosent av energiforbruket i 1960, sammenlignet med nærmere 80 prosent på begynnelsen av 2000-tallet. Oljeforbrukets andel av energiforbruket sank fra om lag 40 prosent til om lag 5 prosent, mens vedforbrukets andel av energiforbruket sank fra om lag 25 prosent i 1960 til om lag 15 prosent på begynnelsen av 2000-tallet.

Flere faktorer påvirker husholdningenes mulighet for å endre sammensetningen av energiforbruket. Årsaker til at elektrisitet som andel av samlet energiforbruk økte i store deler av perioden er bl.a. at husholdningene anskaffet stadig mer elektrisk utstyr (oppvaskmaskin, tørketrommel, osv.). Se vedlegg F for en illustrasjon av utviklingen i andelen husholdninger med ulike elektriske apparater. Videre ser det ut til at endringer i energipriser, blant annet de høye oljeprisene i 1973 og 1979, har påvirket sammensetningen av energiforbruket relativt betydelig, ved at bruken av olje til boligoppvarming har sunket kraftig. Samtidig har bruk av elektrisitet i oppvarmingen økt. De lave oljeprisene i siste halvdel av 1980-tallet ga en viss økning i oljeforbruket, men ikke opp til tidligere nivåer. Forklaringen er trolig at husholdningene faset ut oljebasert oppvarmingsutstyr til fordel for elektriske ovner og vedovner etter oljeprissjokkene.

Beholdningen av oppvarmingsutstyr og kapasiteten på dette utstyret har stor betydning for hvor mye husholdningene kan tilpasse energiforbruket på kort sikt ved endringer i relative energipriser, temperatur og andre forhold. For årene 1993, 1994 og 1995 har vi informasjon om hvilke muligheter husholdningene hadde til å bruke ulike energityper og kapasiteten på utstyret for utvalg av husholdninger fra forbruksundersøkelsene. Dataene viser at om lag 85 prosent av husholdningene i dette utvalget kunne bruke mer enn én energitype til boligoppvarming. Tabell 4.1 viser at 24 prosent av husholdningene hadde mulighet til å bruke oljekamin, 4 prosent hadde mulighet til å bruke olje til sentralfyr og 80 prosent av husholdningene hadde mulighet til å bruke ved i tillegg til elektrisitet for å varme opp boligen. Tabell 4.1 viser også at husholdningene i gjennomsnitt ikke hadde nok kapasitet til å varme opp hele boligen med kun én energibærer på kalde vinterdager. Den gjennomsnittlige totale kapasiteten på oppvarmingsutstyret var imidlertid nærmere 150 prosent, dvs. at husholdningene i gjennomsnitt kunne varme opp 150 prosent av boligens areal på en kald vinterdag dersom de tok i bruk hele kapasiteten på det eksisterende oppvarmingsutstyret. Mange husholdninger hadde derfor gode muligheter til å endre sammensetningen av energiforbruket, også på kort sikt, ved endringer i relative energipriser.

Tabell 4.1. Beholdning og kapasitet på oppvarmingsutstyret for husholdninger med ulike forbruksmuligheter, 1993 - 1995

	Alle	Mulighet til olje i kamin	Mulighet til olje i sentralfyr	Mulighet til ved
Andel, %		24	4	80
Kapasitet på utstyret, % av boligen som kan varmes opp på kalde vinterdager med:				
Elektrisitet	81	78	50	81
Olje til kamin	13	61	4	14
Olje til sentralfyr	3	1	78	3
Ved	50	57	35	64
Total kapasitet	147	197	167	162

Kilde: Statistisk sentralbyrå (Forbruksundersøkelsen 1993 - 1995).

Vi har ikke konsistent informasjon om den historiske utviklingen i beholdningen av, og kapasiteten på, oppvarmingsutstyret. En utstrakt bruk av fyringsoljer og ved på 1960- og 70-tallet og relativt store variasjoner både opp og ned i forbruket fra år til år, kan imidlertid tyde på at fleksibiliteten, dvs. mulighetene for enten å redusere nivået på energiforbruket eller å substituere mellom energityper, var stor også den gang. Dermed kunne husholdningene reagere raskt på f.eks. oljeprissjokkene på 1970-tallet. Vi ser fra figur 2.3 at oljeforbruket per husholdning ble halvert fra 1972 til 1974, for så å øke med om lag 30 prosent frem til 1979, og deretter bli halvert igjen frem til 1984.

4.2. Hvorfor vokste elektrisitetsforbruket?

Den andre hovedtrenden vi så i figur 2.3 var sterk vekst i energiforbruket og elektrisitetsforbruket. I våre tidligere studier har vi analysert hvordan husholdningenes energiforbruk varierer med energipriser, inntekt og ulike karakteristika ved bolig og husholdning. Vi ønsker å utnytte denne informasjonen til å si noe om betydningen av ulike forklaringsfaktorer for utviklingen i elektrisitetsforbruket. Tabell 4.2 viser betydningen for veksten i elektrisitetsforbruket fra 1960 til 2001 av enkelte utvalgte forklaringsfaktorer hvor vi både har estimat for effekten på elektrisitetsforbruket fra tidligere studier og informasjon om historisk utvikling i faktoren for hele perioden. Andre kolonne i tabell 4.2 viser den estimerte effekten på elektrisitetsforbruket (kWh) av en endring på én enhet i forklaringsfaktoren. For eksempel er den estimerte parameteren for elektrisitetspris lik -200, dvs. at elektrisitetsforbruket er estimert til å reduseres med 200 kWh per husholdning per år ved en økning i elektrisitetsprisen på 1 øre/kWh. Tredje kolonne viser gjennomsnittlig årlig endring i faktoren gjennom perioden. Siste kolonne viser i hvilken retning elektrisitetsforbruket endrer seg ved endringer i de ulike forklaringsfaktorene. Fortegnet fremkommer ved å multiplisere parameterfortegnet med fortegnet på endringen i forklaringsfaktoren.

Tabell 4.2. Ulike forklaringsfaktors betydning for veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning per år, 1960 - 2001

Forklaringsfaktor	Estimert parameter (kWh per enhet)	Endret forklaringsfaktor (per år)	Betydning for veksten
Elektrisitetspris, 1994-øre/kWh	-200	0,3	-
Husholdningsstørrelse, personer	714	-0,02	-
Enpersonhusholdning, %-poeng	-4,6	0,5	-
Blokk, %-poeng	-28	0,01	-
Oppvaskmaskin, %-poeng	27	1,8	+
Boligareal, m ²	50	0,9	+
Bad, %-poeng	26	1,2	+
Inntekt, 1994-kroner	0,01	2954	+

Kilder: Halvorsen og Larsen (2001a), Folke- og bolig tellingen, Nasjonalregnskapet, Energi regnskapet, Forbruksundersøkelsen og Boforholdsundersøkelsen.

Tabell 4.2 viser at noen forklaringsfaktorer trakk i retning av redusert elektrisitetsforbruk, mens andre trakk i retning av økt forbruk. Økning i elektrisitetsprisen fra 1960 til 2001 ga et negativt bidrag til veksten i elektrisitetsforbruket. Andre faktorer som trakk i retning av reduksjon i elektrisitetsforbruket er redusert husholdningsstørrelse, økt andel enpersonhusholdninger og økt andel som bor i blokk. Andelen av husholdningene som hadde oppvaskmaskin økte med 1,8 prosentpoeng per år fra 1960 til 2001, noe som trakk i retning av vekst i elektrisitetsforbruket. Økning i boligarealet, inntekt og andelen av husholdningene med bad bidro alle til økt elektrisitetsforbruk.

Listen over forklaringsfaktorer for elektrisitetsforbruket i tabell 4.2 er ikke uttømmende. Andre faktorer som har gitt viktige bidrag til forbruksøkningen er for eksempel økning i andelen av husholdningene som har tørketrommel, vaskemaskin, fryseboks, kjøleskap og TV (se vedlegg F). Videre har det vært en overgang til mer bruk av elektrisitet i boligoppvarmingen. Det finnes imidlertid ikke gode, sammenlignbare data for utviklingen i ulike typer oppvarmingsutstyr og elektriske husholdningsapparater for hele perioden fra 1960 til 2001, og de er derfor ikke inkludert i tabell 4.2.

Tabell 4.3. Ulike forklaringsfaktors betydning for veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning per år, 1960 - 1990 og 1990 - 2001

Forklaringsfaktor	Estimert parameter (kWh per enhet)	Endret forklaringsfaktor per år		Betydning for veksten ¹⁾	
		1960-1990	1990-2001	1960-1990	1990-2001
Boligareal, m ²	50	1,0	0,4	++	+
Bad, %-poeng	26	1,6	0,3	++	+
Husholdningsstørrelse, personer	714	-0,03	-0,01	--	-
Blokk, %-poeng	-28	0,03	-0,1	-	+
Inntekt, 1994-kroner	0,01	2247	4882	+	++
Oppvaskmaskin, %-poeng	27	1,4	2,9	+	++
Elektrisitetspris, 1994-øre/kWh	-200	0,4	0,1	--	-
Enpersonhusholdning, %-poeng	-4,6	0,5	0,3	--	-

Kilder: Halvorsen og Larsen (2001a), Folke- og bolig tellingen, Nasjonalregnskapet, Energi regnskapet, Forbruksundersøkelsen og Boforholdsundersøkelsen.

¹⁾ + og ++ angir vekst, ++ størst vekst. - og -- angir reduksjon, -- størst reduksjon.

4.3. Hvorfor flatet elektrisitetsforbruket ut?

Den tredje hovedtrenden vi så i figur 2.3 var at veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning flatet ut fra 1985. Den gjennomsnittlige årlige veksten i elektrisitetsforbruket per husholdning var 345 kWh i perioden 1960 til 1990 og 90 kWh i perioden 1990 til 2001. For å studere hvilke faktorer som bidro til utflatingen av elektrisitetsforbruket, har vi sammenholdt utviklingen i de ulike forklaringsvariablene i periodene 1960 til 1990 og 1990 til 2001. Vi har valgt å se på perioden før og etter 1990, og ikke 1985, fordi vi har observasjoner for ulike forklaringsvariable fra Folke- og bolig tellingen i dette året. Tabell 4.3 viser, i likhet med tabell 4.2, betydningen av de ulike forklaringsfaktorene, men splittet opp i de to periodene.

Tabell 4.3 viser at boligarealet økte med 1 m² per år fra 1960 til 1990, og med 0,4 m² per år fra 1990 til 2001. En reduksjon i veksten i boligarealet bidro dermed til å redusere veksten i elektrisitetsforbruket etter 1990. Tilsvarende førte en reduksjon i veksten i andelen husholdninger med bad, fra 1,6 prosentpoeng til 0,3 prosentpoeng, til redusert vekst i elektrisitetsforbruket. Disse to forklaringsfaktorene bidro til redusert vekst i elektrisitetsforbruket, mens de andre forklaringsfaktorene i tabell 4.3 bidro til økt vekst i elektrisitetsforbruket. En økning i andelen husholdninger med oppvaskmaskin trakk i retning av en sterkere økning i elektrisitetsforbruket i den andre perioden enn i den første perioden, forutsatt lik teknologi i de to periodene. Oppvaskmaskiner er imidlertid blitt mer energieffektive i løpet av perioden (se Halvorsen og Larsen 2001b og Larsen og Nesbakken 2005a og b), noe som bidrar til å svekke det positive bidraget. En sterkere økning i elektrisitetsprisen i den første enn i den siste perioden bidro til en lavere forbruksreduksjon i siste periode. Videre ga mer enn en dobling av inntektsveksten økt vekst i elektrisitetsforbruket i den siste perioden. Utviklingen i andelen enpersonhusholdninger og andelen husholdninger i blokk trakk i retning av lavere reduksjon i forbruket.

De fleste av forklaringsfaktorene vist i tabell 4.3 bidrar til sterkere vekst i elektrisitetsforbruket i siste periode sammenlignet med første periode. Dette betyr at andre faktorer enn de som er vist i tabell 4.3 har bidratt til utflatingen. Vi vet fra tidligere studier at i tillegg til de forklaringsfaktorer for elektrisitetsforbruket som er vist i tabell 4.2 og 4.3 er faktorer som for eksempel relative energipriser, oppvarmingsutstyr og andre elektriske husholdningsapparater enn oppvaskmaskin viktige for å forklare elektrisitetsforbruket. Vi har dessverre ikke informasjon om beholdning av elektriske apparater for hele perioden vi studerer, men vi har informasjon om enkelte apparater for enkelte perioder (se figuren i vedlegg F). På 1960-tallet var det en svært sterk vekst i andelen husholdninger med elektriske apparater som kjøleskap, komfyr, vaskemaskin, støvsuger, fjernsynsapparat og dypfryser. Dette trekker i retning av at veksten i elektrisitetsforbruket på 1960-tallet i større grad enn senere var drevet av vekst i bruk av elektrisitet til husholdningsapparater. Veksten på 1970-tallet og første halvdel av 1980-tallet ser ut til å være drevet mye av overgang fra olje til elektrisitet i oppvarmingen (se bl.a. figur 2.3). På 1990-tallet ser det ut til at valg av energitype til oppvarming har vært noenlunde stabilt. Da hadde også de fleste husholdningene de vanlige husholdningsapparatene. Andelen av husholdningene med tørketrommel og oppvaskmaskin økte imidlertid relativt mye på 1990-tallet (jf. Larsen og Nesbakken, 2005a), noe som isolert sett trakk i retning av økt elektrisitetsforbruk. Veksten i elektrisitetsforbruket til apparater flatet likevel ut på grunn av lavere vekst i andelen husholdninger som hadde de mest vanlige apparatene, samtidig som apparatene ble mer energieffektive. Det var også noe høyere utetemperatur på 1990-tallet enn tidligere, og dette bidro til utflatingen av elektrisitetsforbruket.

4.4. Tilpasning til større svingninger i elektrisitetsprisen

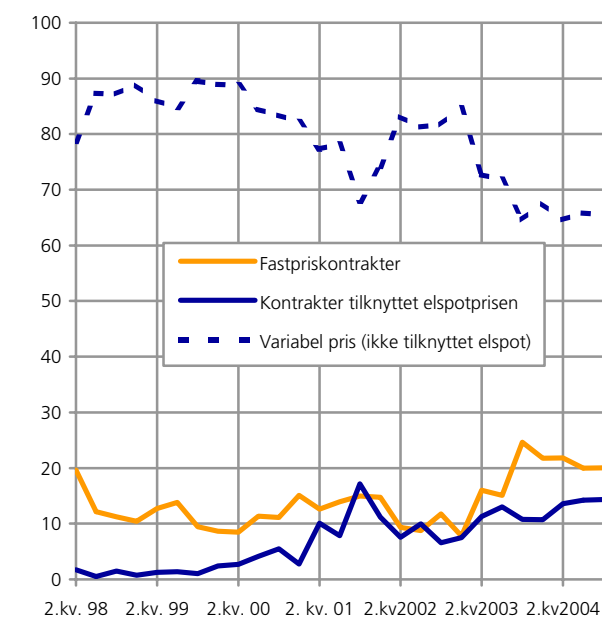
Dereguleringen av elektrisitetsmarkedet i 1991 innebærer at husholdningene må tilpasse seg større svingninger i elektrisitetsprisen enn de har vært vant til. Elektrisitetsprisen består av et kraftledd (kraftprisen), et overføringsledd og avgifter. Avgiftene består av forbruksavgift (9,88 øre per kWh per 1.1.2005), samt merverdiavgift på alle tre ledd (25 prosent). Det er hovedsakelig kraftprisen som forårsaker kortsiktig prisvariasjon. Etter liberaliseringen av kraftmarkedet i 1991 bestemmes kraftprisen på grunnlag av tilbud og etterspørsel i kraftmarkedet. Kraftprisen vil fungere som rasjoneringsmekanisme i perioder med knapphet på kraft (f.eks. på grunn av lite vann i magasinene). I tørre og kalde perioder vil kraftprisen kunne bli svært høy. Kraftprisen var rekordlav sommeren 2002 pga. mye vann i magasinene og rekordhøy vinteren 2002/2003 etter en svært nedbørsfattig høst og vinter.

Husholdningene vil tilpasse seg de økte svingningene i kraftprisen på ulike måter. Noen husholdninger vil

foretrekke å inngå fastpriskontrakt, og dermed binde kraftprisen i en gitt periode. For husholdninger som har fastpriskontrakt vil ikke elektrisitetsprisen gi innstament til å redusere elektrisitetsforbruket, i motsetning til husholdninger som står overfor markedspris. Figur 4.2 viser andelen av elektrisitetsforbruket i husholdningssektoren som er solgt på ulike kontrakter.

Figuren antyder at det har vært en overgang til økt bruk av fastpriskontrakter etter vinteren 2002/2003.⁶ Noen husholdninger vil finne det lønnsomt å ta i bruk oppvarmingsutstyr de har stående, men som de vanligvis ikke bruker. Andre vil finne det lønnsomt å investere i oppvarmingsutstyr som gir mulighet for å bruke andre energikilder enn elektrisitet. På landsbasis hadde 31 prosent bare ett system for oppvarming i 2001, dvs. at de bare kunne bruke én energikilde til oppvarming (Folke- og boligtellingsen 2001). Tilsvarende andel for Oslo var 56 prosent, mens Stavanger, Bergen og Trondheim hadde en andel på om lag 40 prosent. Det var dermed i de store byene at husholdningene hadde minst utstyrsfleksibilitet når det gjelder energiforbruket.⁷

Figur 4.2 Andel av solgt kvantum til husholdninger på ulike kontrakter, 2. kvartal 1998 - 4. kvartal 2004. Prosent



Kilde: Statistisk sentralbyrå, Energistatistikk.

⁶ For en oversikt over andelen av husholdningene på ulike kontrakter i 2002/03 samt en sammenligning av priser, se Bye (2003).

⁷ Hvordan husholdningene tilpasser seg økte strømpriser vil vi studere nærmere i nært forestående prosjekter.

5. Oppsummering

I denne rapporten har vi tatt utgangspunkt i statistikk for totalt stasjonært energiforbruk i hele husholdningssektoren og gjennomsnittlig stasjonært energiforbruk per husholdning for perioden 1960 til 2003. Energiforbruket er også fordelt på ulike energibærere. Totalt stasjonært energiforbruk og elektrisitetsforbruk vokste kraftig fra 1960 til 2003. Samlet stasjonært energiforbruk per husholdning har vært stabilt siden slutten av 1970-tallet, mens elektrisitetsforbruket har vært stabilt siden midten av 1980-tallet. Videre har det vært en sterk omstrukturering i husholdningenes energiforbruk på 1960- og 1970/80-tallet, ved at elektrisitetsforbruk til ulike formål og sammensetningen av energiforbruket til oppvarming har endret seg mye.

På 1960-tallet, og til dels også på 1970-tallet, var det en sterk vekst i andelen husholdninger med elektriske apparater som kjøleskap, komfyr, vaskemaskin, støvsuger, fjernsynsapparat og dypfryser. Videre skjedde det på 1960-tallet en sterk endring i sammensetningen av energiforbruket. Oljeforbruket mer enn fordoblet seg fra om lag 3300 kWh per husholdning (nyttiggjort) til om lag 7000 kWh per husholdning, mens vedforbruket per husholdning mer enn halverte seg (fra 5600 til 2200 nyttiggjorte kWh). Dette kan tyde på at den sterke veksten i elektrisitetsforbruket og energiforbruket på 1960-tallet i stor grad skyldes økt elektrisitetsforbruk til elektriske apparater. På 1970-tallet var bildet et litt annet. Da var det en relativt sterk nedgang i oljeforbruket, om lag undret vedforbruk og sterk vekst i elektrisitetsforbruket. Veksten i elektrisitetsforbruket på 1970-tallet ser ut til å skyldes både vekst i forbruk til husholdningsapparater og til oppvarming (overgang fra olje til elektrisitet). På 1990-tallet og begynnelsen av 2000-tallet var det relativt små omstruktureringer i sammensetningen av energiforbruket. Den sterke veksten i elektrisitetsforbruk til apparater som vi så på 1960-tallet er redusert, og overgangen fra å benytte oljer til å benytte elektrisitet som vi så på 1970- og 80-tallet er redusert. Høyere utetemperaturer i fyringsseksjonen på 1990- og 2000-tallet sammenlignet med de foregående tiår, bidrar også til å forklare lavere nivå på elektrisitetsforbruket.

En økning i antall husholdninger har vært en viktig årsak til veksten i energiforbruket i husholdningssektoren. En utflating av veksten i elektrisitetsforbruket fra midten av 1980-tallet sammenlignet med veksten de foregående år skyldes utflating i veksten i antall husholdninger og i elektrisitetsforbruket per husholdning.

En utflating av veksten i boligareal, i andelen av husholdningene som hadde bad og høyere utetemperatur bidro til å flate ut veksten i elektrisitetsforbruket på 1990-tallet. Veksten i elektrisitetsforbruket til apparater flatet ut fordi de fleste husholdningene hadde skaffet seg de mest vanlige apparatene og fordi apparatene var blitt mer energieffektive. Videre har det ikke kommet nye typer apparater som trekker elektrisitetsforbruket per husholdning opp i betydelig grad.

Vi finner også at husholdningene reagerer relativt raskt på prisendringer. Det skyldes bl.a. at mange husholdninger har mulighet for å bytte mellom ulike energikilder i oppvarmingen, selv på kort sikt. Vi kan dermed ikke se bort fra mulighetene for nye omstruktureringer, avhengig av politiske rammebetingelser, utviklingen i relative energipriser og introduksjon av nye teknologier.

6. Videre arbeid

Vi planlegger et relativt omfattende forskerprosjekt for å analysere en rekke problemstillinger knyttet til husholdningenes energibruk. Hovedformålet med prosjektet er å studere potensialet for energisparing i norske husholdninger. Vi vil analysere effekter av politikktiltak som tar sikte på å redusere energiforbruket og oppmuntre til investeringer i nytt og mer energieffektivt utstyr. Innenfor prosjektet vil vi studere hvordan ulike husholdninger responderer på politikktiltak. Vi vil også utvikle en metode for å aggregere individuelle husholdningers etterspørsel, slik at vi kan studere husholdningssektorens samlede respons på politikktiltak. Denne metoden kan brukes til å tallfeste bidragene fra ulike faktorer til utviklingen i forbruket. Problemstillingene og analysene er nærmere beskrevet i prosjektbeskrivelsen gjengitt i vedlegg G.

Referanser

- Baker, P., R. Blundell og J. Micklewright (1989): "Modelling household energy expenditures using micro-data", *The Economic Journal*, **99**, 720-738.
- Bartels, R. og D. G. Fiebig (2000): "Residential End-Use Electricity Demand: Results from a Designed Experiment", *Energy Journal* **21**(2), 51-81.
- Bernard, J. T., D. Bolduc og D. Bélanger (1996): "Quebec residential electricity demand: a microeconomic approach", *Canadian Journal of Economics*, **XXIX**(1), 92-113.
- Branch, E. R. (1993): "Short run income elasticity of demand for residential using consumer expenditure survey data", *The Energy Journal*, **14**(4), 111-121.
- Bye, T. (2003): "A Nordic energy market under stress", *Economic Survey* 4/2003, Statistisk sentralbyrå.
- Bøeng, A. C. og R. Nesbakken (1999): "Energibruk til stasjonære og mobile formål per husholdning 1993, 1994 og 1995. Gjennomsnittstall basert på forbruksundersøkelsen", Rapport 99/22, Statistisk sentralbyrå.
- Bøeng, A. C. (2005): "Energibruk i husholdninger i Norge. Utvikling fra 1930 til 2004", kommer i serien Rapport, Statistisk sentralbyrå.
- Cornwell, A. og J. Creedy (1997): "Measuring the Welfare Effects of Tax Changes Using the LES: An Application to a Carbon Tax", *Empirical Economics* **22**, pp. 589-613.
- Deaton A. og J. Muellbauer (1980): "*Economics and consumer behavior*", Cambridge University Press: Cambridge.
- Dennerlein, R. K. H. (1987): "Residential Demand for Electrical Appliances and Electricity in Federal Republic of Germany", *The Energy Journal*, **8**(1), 60-86.
- Denton F. og D. C. Mountain (2004): "Aggregation effects on price and expenditure elasticities in a quadratic almost ideal demand system", *Canadian Journal of Economics*, **37**: 613-628
- Dubin, J. A. og D. L. McFadden (1984): "An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption", *Econometrica*, **52**(2), 345-362.
- Fiebig, D. G., R. Bartels og D. J. Aigner (1991): "A Random Coefficient Approach to the Estimation of Residential End-Use Load Profiles", *Journal of Econometrics* **50**(3), 297-327.
- Garbacz, C. (1983): "A model of residential demand for electricity using a national household sample", *Energy Economics*, **5**(2), 124-128.
- Halvorsen, B. (1999a): "Dokumentasjon av analysefiler til prosjektet 'Fleksibel energibruk i husholdningene'. Forbruksundersøkelsen 1974 - 1995", Notater 99/22, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. (1999b): "Dokumentasjon av analysefiler til prosjektet 'Fleksibel energibruk i husholdningene'. Prisdatabaser for varer og tjenester (1975 - 1994), husholdningstariffer for elektrisitet (1975 - 1996) og temperaturdata (1957 - 1996)", Notater 99/21, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og M. I. Hansen (1999): "Dokumentasjon av utdrag fra skattestatistikken 1974 - 1994 for kobling mot forbruksundersøkelsen", Notater 99/75, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og B.M. Larsen (1999): "Hvilke faktorer har betydning for veksten i husholdningenes elektrisitetsforbruk?", *Økonomiske analyser* 5/99, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og B. M. Larsen (2001a): "The Flexibility of Household Electricity Demand over Time", *Resource and Energy Economics* **23**(1), 1-18.

- Halvorsen, B. og B. M. Larsen (2001b): "Norwegian residential electricity demand. A microeconomic assessment of the growth from 1976 to 1993", *Energy Policy*, **29**(3), 227-236.
- Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken (1999): "Energibruk i husholdningene 1974 - 1995. En dokumentasjon av mikrodata etablert for økonometriske formål innenfor prosjektet Fleksibel energibruk i husholdningene", Rapporten 99/8, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken (2001a): "Hvordan utnytte resultater fra mikroøkonometriske analyser av husholdningenes energiforbruk i makromodeller? En diskusjon av teoretisk og empirisk litteratur om aggregering", Rapporten 2001/2, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken (2001b): "Fordelingseffekter av elektrisitetsavgift belyst ved ulike fordelingsbegreper", Rapporten 2001/23, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken (2003): "Possibility for hedging from price increases in residential energy demand", Discussion Papers 347, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken (2005): "Pris- og inntektsfølsomhet i ulike husholdningers etterspørsel etter elektrisitet, fyringsoljer og ved", Rapporten 2005/8, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og R. Nesbakken (2000): "Fordelingseffekter av økt elektrisitetsavgift for husholdningene". Notater 2000/16, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og R. Nesbakken (2002a): "Distributional Effects of Household Electricity Taxation", Documents 2002/12, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og R. Nesbakken (2002b): "A conflict of interests in electricity taxation? A micro econometric analysis of household behaviour", Discussion Papers 338, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og R. Nesbakken (2003a): "Hvilke husholdninger rammes av høye strømpriser? En fordelingsanalyse på mikrodata", Rapporten 2003/20, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og R. Nesbakken (2003b): "Hvilke husholdninger ble rammet av vinterens høye strømpriser?", Økonomiske analyser 5/2003, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B. og R. Nesbakken (2004): "Effekter på energiforbruk og fordeling av å differensiere el-avgiften for husholdningene", Vedlegg 2 i NOU 2004:8: Differensiert el-avgift for husholdninger.
- Halvorsen, B. og K. R. Wangen (1999): "Dokumentasjon av utdrag fra skattestatistikken 1975 - 1985 for kobling mot forbruksundersøkelsen", Notater 99/20, Statistisk sentralbyrå.
- Larsen, B. M. og R. Nesbakken (2003): "How to quantify household electricity end-use consumption", Discussion Papers 346, Statistisk sentralbyrå.
- Larsen, B. M. and R. Nesbakken (2004): "Household electricity end-use consumption: Results from econometric and engineering models", *Energy Economics* **26**(2), 179-200.
- Larsen, B. M. og R. Nesbakken (2005a): "Formålsfordeling av husholdningenes elektrisitetsforbruk i 2001. Sammenligning av formålsfordelingen i 1990 og 2001". Rapporten 2005/18, Statistisk sentralbyrå.
- Larsen, B. M. og R. Nesbakken (2005b): "Formålsfordeling av husholdningenes elektrisitetsforbruk i 1990 og 2001". Økonomiske analyser 2005/4, Statistisk sentralbyrå.
- Ljones, A., R. Nesbakken, S. Sandbakken og A. Aaheim (1992): "Energibruk i husholdningene. Energiundersøkelsen 1990", Rapporten 92/2, Statistisk sentralbyrå.
- Morss, M. F. og J. L. Small (1989): "Deriving Electricity Demand Elasticities from a Simulation Model", *The Energy Journal*, **10**(3), 51-76.
- Nesbakken, R. (1999): "Price sensitivity of residential energy consumption in Norway", *Energy Economics* **21**, 493-515.
- Nesbakken, R. (2001): "Energy Consumption for Space Heating: A Discrete-Continuous Approach", *Scandinavian Journal of Economics* **103**(1), 165-184.
- Parti, M. og C. Parti (1980): "The total and appliance-specific conditional demand for electricity in the household sector", *The Bell Journal of Economics*, **11**(1), 309-321.
- Skjerpen, T. (2002): "Husholdningenes tilpasning", kapittel 5 i P. Boug mfl. (red.): *MODAG – en makroøkonomisk modell for norsk økonomi*, Sosiale og økonomiske studier 108, Statistisk sentralbyrå. SØS 108.
- Statistisk sentralbyrå (1996): "Forbruksundersøkelsen 1992-1994, NOS C 317", Statistisk sentralbyrå.

Strømsheim Wold, I. (1998): "Modellering av husholdningenes transportkonsum for en analyse av grønne skatter. Muligheter og problemer innenfor rammen av en nyttetremodell", Notater 98/98, Statistisk sentralbyrå.

Aasness, J. og B. Holtmark (1993): "Consumer Demand in a General Equilibrium Model for Environmental Analysis", Discussion Papers 105, Statistisk sentralbyrå.

Modell for husholdningenes etterspørsel etter elektrisitet

Forbruk av energi gir ikke husholdningene nytte i seg selv, men brukes sammen med diverse utstyr for å tilveiebringe varer og tjenester som f.eks. varme måltider, rent tøy, varmt vann og høy innetemperatur. I modellen antar vi at husholdningenes nytte avhenger både av varer og tjenester produsert av husholdningen og en rekke andre goder som husholdningen konsumerer direkte. Husholdningens produksjon av en gitt tjeneste er en funksjon av energiforbruket til produksjonen, samt det nødvendige utstyret. Husholdningens beholdning av utstyr avhenger av beholdningen i foregående periode samt investeringer i nytt utstyr.

I modellen forutsetter vi at husholdningene bestemmer forbruket av elektrisitet og den ønskede beholdningen av utstyr på en slik måte at nåverdien av kostnadene forbundet med produksjonen av tjenester blir lavest mulig. Produksjonskostnaden fra dette minimeringsproblemet vil avhenge av prisen på elektrisitet og utstyr, og gir husholdningenes etterspørsel etter elektrisitet og investeringer i utstyr for ulike nivåer på produksjonen. For å finne det ønskede nivået på husholdningsproduksjonen og konsumet av goder som ikke inngår i produksjonen av tjenester, antar vi at husholdningene maksimerer sin nytte gitt husholdningens konsummuligheter. En husholdnings konsummuligheter avhenger av husholdningens inntekt, prisen på goder som konsumeres direkte og enhetskostnaden forbundet med husholdningens produksjon av tjenester fra kostnadsminimeringsproblemet. Enhetskostnaden er definert som kostnaden per produsert enhet ved produksjon av det ønskede nivået av tjenesten.

Utstyrsbeholdningen er gitt på kort sikt, men elektrisitetsprisen vil i denne modellen kunne påvirke den langsiktige beholdningen via investeringer i nytt utstyr. En endring i elektrisitetsprisen vil dermed kunne gi to ulike effekter på elektrisitetsforbruket; en direkte (kortsiktig) effekt og en indirekte (langsiktig) effekt via investeringer i nye elektriske husholdningsapparater.

Halvorsen og Larsen (2001a) gir en nærmere beskrivelse av husholdningenes tilpasning og den økonometriske spesifiseringen av problemet.

Estimeringsresultater for perioden 1976-93

Estimeringene er gjennomført i to trinn. I første trinn bestemmes kjøp av elektrisk utstyr som en funksjon av blant annet priser på husholdningsapparater og elektrisitet. Elektrisitetsforbruket bestemmes så i annet trinn som en funksjon av de anslåtte verdiene fra første trinn, elektrisitetsprisen samt variable som tar hensyn til kjennetegn ved husholdningen. På den måten er vi i stand til å identifisere både den kortsiktige- og langsiktige effekten av en endring i elektrisitetsprisen på husholdningenes forbruk av elektrisitet.

Resultatene fra den økonometriske analysen basert på en sammenstilling av data for hele perioden 1975-94 er vist i tabell A1. Forklaringsvariablene bak elektrisitetsforbruket er vist i første kolonne, den estimerte effekten av de ulike variablene på elektrisitetsforbruket (koeffisientverdiene) er vist i andre kolonne, og t-verdiene er vist i tredje kolonne av tabell A1. Tabellen viser hvordan ulike faktorer påvirker elektrisitetsforbruket, målt som et gjennomsnitt over perioden 1976-93.

Tabell A1. Estimert elektrisitetsforbruk i husholdningene, 1976-93. kWh⁸

Variabel	Koeffisient	t-verdi
Konstantledd	-31212	-8,56
Elektrisitetspris, gjennomsnitt over to år (1994-øre/kWh)	-200	-16,91
Parafinpris (1994-øre/liter)	10	1,76
Fyringsoljepris (1994-øre/liter)	-13	-2,22
Husholdningens årlige pensjonsgivende inntekt (10 000 1994-kr)	79	16,85
Pensjonsgivende inntekt for nyetablerte husholdninger (10 000 1994-kr) ^a	-48	-6,89
Pensjonsgivende inntekt for husholdninger med lav inntekt (10 000 1994-kr) ^b	3744	12,81
Predikert kjøp av husholdningsapparater:		
Fryser	-519	-0,87
Kjøleskap	459	0,48
Vaskemaskin	1174	2,09
Oppvaskmaskin	418	0,76
Komfyr	-2103	-1,56
Dagens beholdning av husholdningsapparater:		
Fryser	102	0,79
Kjøleskap	571	3,58
Vaskemaskin	1213	5,77
Oppvaskmaskin	2706	17,69
Komfyr	885	2,65
Sentralfyr	-4500	-25,36
Blokk	-2839	-10,07
Byggeår for bolig	19	10,19
Boligen har bad	2574	9,39
Netto boligareal (m ²)	50	34,87
Enpersonhusholdning	-462	-2,20
Antall husholdningsmedlemmer	714	12,45
Flyttet til nåværende bopel inneværende år	-1775	-4,80
Fri elektrisitet	-3347	-4,58
Dummy for tilleggsutvalg	-1345	-3,15
Temperatur (graddager*100)	9	1,00
Trend	345	9,60
Justert R ²	0,35	

^a Nyetablerte husholdninger er husholdninger som har flyttet til nåværende bolig i løpet av de siste tre årene, og hvor hovedbidragsyteren til husholdningens inntekt er under 35 år.

^b Husholdninger hvor årlig elektrisitetsutgift overstiger 40 prosent av årlig brutto husholdningsinntekt.

Vi ser at elektrisitetsforbruket øker med husholdningsinntekten, med antall husholdningsmedlemmer og med boligarealet, mens det avtar med elektrisitetsprisen og

⁸ En estimator er signifikant på 10 prosent nivå dersom t-verdien overstiger tallverdien av 1,645, og på 5 prosent nivå dersom t-verdien overstiger tallverdien av 1,96.

boligens alder. Det siste kan blant annet ha sammenheng med at kapasiteten på det elektriske anlegget er større i nye boliger, og at eldre boliger i større grad er utstyrt med alternativer til elektrisk oppvarming. Det er også av relativt stor betydning for elektrisitetsforbruket om husholdningen har sentralfyr eller ikke, om boligen har bad og om husholdningen bor i blokkleilighet eller ikke. For eksempel reduseres estimert elektrisitetsforbruk ved at en husholdning bor i blokk med om lag 2 800 kWh pr. år sammenlignet med andre husholdninger, alt annet likt. Vi ser også at elektrisitetsforbruket øker med *beholdningen* av elektrisk utstyr, og at denne beholdningen av elektriske apparater har relativt stor betydning for elektrisitetsforbruket.

Estimeringsresultatene viser hovedsakelig signifikante effekter med unntak av beholdningen av fryser og kjøp av fryser, kjøleskap, oppvaskmaskin og komfyrer. Videre gir *kjøp* av komfyr og fryser en reduksjon i elektrisitetsforbruket, mens kjøp av andre elektriske husholdningsartikler gir en økning. En årsak til de negative koeffisientene er at elektriske artikler i mange tilfeller kjøpes for å erstatte gammelt utstyr. For mange utstyrstyper har det over tid skjedd tekniske endringer slik at utstyret har blitt mer energieffektivt. Anskaffelse av nytt utstyr påvirker dermed elektrisitetsforbruket både via endret beholdning av utstyr og via mer energieffektivt utstyr. I denne estimeringen har vi ikke nok informasjon til å skille disse effektene fra hverandre.

Det finnes enkelte trekk ved utviklingen i elektrisitetsforbruket som skyldes at vi baserer anslagene våre på et utvalg av husholdninger, samt at informasjonen om enkelte sentrale variable ikke er fullstendig. I estimeringene har vi forsøkt å korrigere for slike effekter. For det første har vi ikke informasjon om beholdningen av oppvarmingsutstyr. For å korrigere elektrisitetsforbruket for bruk av elektrisitet til oppvarming har vi inkludert enkelte karakteristika ved boligen, som f.eks. om husholdningen har sentralvarmeanlegg. Langtidseffektene av en endret elektrisitetspris inneholder derfor kun effekter via beholdningen av elektriske husholdningsapparater og ikke effekter via endringer i beholdningen av oppvarmingsutstyr. Vi har korrigert inntektseffekten for at noen husholdninger har svært høy budsjettandel til elektrisitet. Årsaken til de høye budsjettandelene er at vi i estimeringene bruker et inntektsbegrep (pensjonsgivende inntekt) som ikke inkluderer pensjoner, barnebidrag, trygd osv. Vi har videre korrigert estimeringene for husholdninger som har flyttet inn i løpet av det siste året. Årsaken er at informasjonen om elektrisitetsutgift er ufullstendig for disse husholdningene. Til slutt har vi korrigert for at forbruksundersøkelsen i enkelte år har trukket ut spesielle tilleggsutvalg av husholdninger.

Modell for valg og utnyttning av oppvarmingsutstyr

The Discrete-continuous Choice Model

The main modelling idea in this paper is that the demand for *space heating* equipment and its intensity of use are related decisions made by the households. The main aim is to analyse the household's total energy consumption for space heating (see Nesbakken, 2001). Consumption of each fuel type is not taken into consideration.

The choice of heating technology is related to new houses. The household in the model chooses between mixed heating systems, which means that the household, for instance, may choose to combine an electric heater and another type of heating equipment. The household chooses among the following *four mutually exclusive heating technologies*, which are grouped by fuel use:⁹

- *Electricity* (electric heaters)
- *Electricity and oil* (electric heaters combined with stoves for oil/kerosene)
- *Electricity and wood* (electric heaters combined with wood stoves)
- *Electricity, oil and wood* (electric heaters combined with stoves for oil/kerosene and stoves for wood)

The heating technology observed in 1990 is assumed to be the same as the technology purchased when the house was built. Of course, all available heating equipment that was initially purchased is not necessarily used in 1990. What is essential to understand about the discrete-continuous choice model applied in this paper is that the choice of heating system for each household is made at one point in time between 1971 and 1990, while for all households the intensity of use is related to 1990.

Figure B1 is an illustration of the model used to analyse the choice of heating technology and the household energy consumption for space heating. According to economic theory, the demand for energy is expected to increase with income, and to be inversely related to the energy price of fuel types used by the chosen heating technologies. The discrete choice is an investment decision, and the hypothesis is that the probability of choosing a given heating technology is higher the lower the total costs related to this choice are.

A discrete-continuous choice model is used because we assume there is a relationship between the heating technology and the utilisation of this technology. Our model includes observable variables, which may influence both the discrete and the continuous choice. In

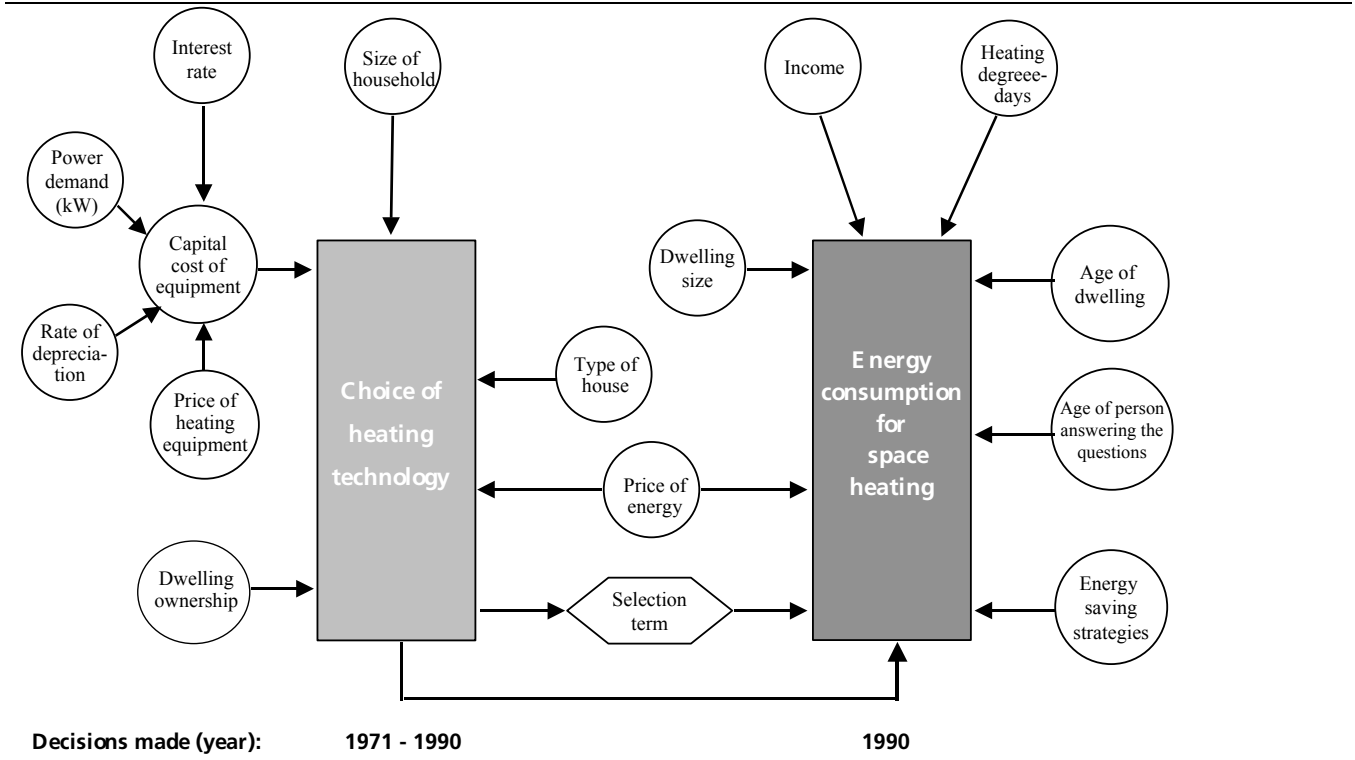
addition, there may be unobservable characteristics related to the household's preferences for choice of heating technologies and space heating services, which are correlated (denoted selection term in Figure B1). The null hypothesis in this paper is that unobserved factors influencing the choice of heating system are independent of unobserved factors influencing the intensity of use.

When modelling energy consumption, one should consider the fact that a lot of households do not explicitly choose the heating equipment themselves. Households first select the dwelling they want to buy or rent. This choice, however, may be affected by the kind of heating equipment that is already installed. Furthermore, it can be argued that even though the heating equipment is chosen by the builder of the house, he tries to choose the kind of equipment which the buyer of the dwelling wants.

Another problem with the assumption that the household makes the heating choice itself, is that the household which utilises the heating equipment in 1990 may not be the same as the household who first moved into the house. Figure B1 shows that household size is the only variable in the discrete part of the model which may differ across households living in the same dwelling at different points in time. However, it can be argued that this characteristic of the household may be nearly the same for households living in a dwelling of the same size and in the same type of house. Unobserved characteristics of the household may also be different for the household who moved in when the house was built and households moving in later. If the unobserved characteristics related to the preferences for indoor temperature differ across households living in the same dwelling, the selection term will probably not be significant. This will be tested in the estimations.

⁹ Central heating is excluded because cost data are missing. About 11 per cent of the households in 1990 had central heating.

Figure B1. Flow diagram for the variables in the model



The Theoretical Model

Energy consumption and heating equipment may be viewed as input in the household's production of the space heating service. The utility of the household is assumed to depend on this space heating service and not the energy consumption as such. Furthermore, the household utility depends on consumption of other goods, observable characteristics of the household and the dwelling, unobservable characteristics of the household and unobservable characteristics of the heating equipment.

The indirect utility function for heating system j , which follows from inserting the optimal energy consumption given system j into the utility function, depends on income, prices and space heating cost (deflated by the CPI), as well as other exogenous variables from the optimisation problem.

The specified indirect utility function, which depends on the average energy price related to heating system j , income net of space heating costs, observed household characteristics and unobserved characteristics related to the household's preferences for indoor temperature and heating systems, is given by

$$(B1) \quad V_j = \left[Z_1' \gamma_j + \beta(Y - I_j - \tilde{P}_j^{t_0} \tilde{X}) + \alpha \bar{P}_j^{t_1} + Z_2' \lambda + H_j \frac{\alpha}{\beta} + \tilde{\eta} \right] \exp(-\beta P_j) + \varepsilon_j,$$

where Z_1' is a vector-variable describing the dwelling and household characteristics, including household size, ownership of the dwelling and type of house.

$Z_1' \gamma_j$ allows the choice of heating system to depend on household characteristics that can be observed. Both the annualised capital costs related to the selected heating system (I_j) and the expected energy costs related to this system at t_0 ($\tilde{P}_j^{t_0} \tilde{X}$) may influence the choice of heating system in this model.

The indirect utility function is assumed to be valid at both t_0 and t_1 , and thus income will be adjusted with heating system costs dependent on whether we focus on utility at t_0 or t_1 . At t_0 the total space heating cost of heating technology j (including both annualised capital cost and expected energy cost) is subtracted from gross income (Y) to give income conditional on the choice of heating technology. This conditional income will give higher utility for the household the lower the total cost is. At the point in time when the household utilises the chosen heating system (t_1) expected energy costs are not subtracted from income, because at t_1 the household decides its energy consumption due to the energy price $\bar{P}_j^{t_1}$, which is no longer uncertain. Due to studying effects on each household's total energy consumption, the average energy price is used in the model. The possible choices consist of combinations of heating equipment, which are grouped by fuel use. Accordingly, the energy price of heating system j is an average

of prices of fuels, which may be used in this technology (electricity, oil/kerosene and wood).

$Z_2'\lambda$ accounts for observed dwelling and household characteristics which affect energy consumption. These are dwelling size, heating degree-days, age of the dwelling, age of the person answering the questions of the survey, temperature regulation and other energy saving strategies.

$\tilde{\eta}$ and ε_j represent unobserved characteristics related to the household's preferences for indoor temperature and heating systems, respectively. ε_j is assumed to be known to the household. $\tilde{\eta}$ is an expected value of the variable η which captures both factors which are known to the household and uncertain factors related to the energy demand. Examples of this type of uncertainty are the outdoor temperature in the future and uncertainty with respect to attitudes to energy saving behaviour, which may change over time. At t_1 η is known to the household.

$H_j\alpha/\beta$ is a technical term which is included in (B1) to give an explicit form of the energy demand (X_{hj}) when using Roy's identity. α, β, γ and λ are parameters to be estimated.

The Econometric Model

Let π_j be the probability of choosing heating system j , i.e.,

$$(B2) \pi_j = \Pr\{V_j = \max_k V_k\}.$$

The random variables $\varepsilon_j, j=1, \dots, J$, are assumed to be identically and independently extreme value distributed. Thus, there is assumed independence between different choices of heating technology. We allow $\tilde{\eta}$ and ε_j to be stochastically dependent. The correlation between unobserved characteristics related to the household's preferences for heating system and indoor temperature can be explained by an example. For instance, an environmentally concerned household may choose the technology which is supposed to give the lowest CO₂ emissions, and given this heating system the household prefers a low energy consumption. Thus, in this example the heating system choice and energy use may give rise to a positive correlation between $\tilde{\eta}$ and ε_j . Unconditional on the heating system choice η is distributed with expectation zero and constant variance.

Equation (B2) and the assumption of ε_j being extreme value distributed yield (see McFadden, 1973)

$$(B3) \pi_j = \frac{\exp[(Z_1'\gamma_j - \beta I_j - \beta \tilde{P}_j^{t_0} \tilde{X}) \exp(-\beta P_1)]}{\sum_{k=1}^K \exp[(Z_1'\gamma_k - \beta I_k - \beta \tilde{P}_k^{t_0} \tilde{X}) \exp(-\beta P_1)]},$$

which means that the heating system choice at t_0 is given by a generalised version of the multinomial logit model.

By using Roy's identity on (B1) total energy consumption conditional on the choice of heating system j at t_1 (1990) is given by

$$(B4) X_j = Z_1'\gamma_j + \beta(Y - I_j) + \alpha \bar{P}_j^{t_1} + Z_2'\lambda + \eta.$$

Recall that when we look at the intensity of use, the variable η is no longer uncertain to the household. η in equation (B4) only includes factors which are known to the household. For instance, when the household has purchased a heating system and we analyse the utilisation of the system at some point in time, the household knows the outdoor temperature for certain. Dubin and McFadden (1984) show that the expectation of η conditional on the choice of heating system j is different from zero. Thus, when accounting for the possible selection bias associated with the fact that $E[\eta|j] \neq 0$, it can be shown that the energy demand function to be estimated is given by

$$(B5) \left[X_j = Z_1'\gamma_j + \beta(Y - I_j) + \alpha \bar{P}_j^{t_1} + Z_2'\lambda - \left[\sigma_j \log \pi_j - \sum_{k \neq j} \sigma_k m_k \right] + \mu_j \right],$$

where $\sigma_k = \sigma \rho_k, m_k = \pi_k \log \pi_k / (1 - \pi_k), \mu_j$ is a random variable with zero conditional expectation given that heating system j is chosen, and ρ_j is the correlation between η and ε_j . The energy demand function is conditional on the choice of heating system j .

The parameter β is a link between the discrete and the continuous parts of the model, because this parameter is common to the *observable* variables income and space heating costs. Furthermore, the first term in (B5) shows that the energy consumption conditional on the choice of heating system j depends on observed variables and parameters concerning the choice of heating technology. The selection term $-\left[\sigma_j \log \pi_j - \sum_{k \neq j} \sigma_k m_k \right]$, however, captures the effect of the correlation between *unobservable* characteristics concerning the heating choice and *unobservable* characteristics concerning the utilisation of the chosen heating technology.

Modell for formålsfordeling av elektrisitetsforbruket

Vi har benyttet en metode beskrevet i blant annet Parti og Parti (1980), Fiebig mfl. (1991) og Bartels og Fiebig (2000) for å estimere hvor stor del av elektrisitetsforbruket som benyttes til ulike typer elektrisk utstyr (se Larsen og Nesbakken, 2005a). Metoden utnytter forskjeller i beholdning av elektrisk utstyr mellom husholdninger. Denne økonometriske prosedyren blir kalt betinget etterspørselsanalyse (CDA: Conditional Demand Analysis). Husholdninger som besitter en type elektrisk utstyr sammenlignes med husholdninger som ikke har denne utstyrstypen, og forskjeller i elektrisitetsforbruk kan tilskrives denne utstyrstypen.

Det er svært liten grad av direkte målinger av elektrisitetsforbruket for de enkelte utstyrstyper i husholdninger. For å kunne benytte CDA-modellen trenger en imidlertid kun måling av husholdningens totale elektrisitetsforbruk, samt informasjon om husholdningens beholdning av elektrisk utstyr og andre relevante demografiske og økonomiske data.

Økonometrisk modell

Anta at årlig elektrisitetsforbruk til utstyr j ($j=1, 2, \dots, J$) for husholdning i ($i=1, \dots, N$), x_{ij} , er observert gjennom direkte måling. Da kunne følgende ligning vært benyttet for å estimere formålsfordelingen av elektrisitetsforbruket:

$$(C1) \quad x_{ij} = \gamma_j + \sum_{m=1}^M \rho_{jm} (C_{im} - \bar{C}_{jm}) + \varepsilon_{ij}.$$

Variablene C_{im} ($m=1, 2, \dots, M$) representerer økonomiske og demografiske variable som kjennetegner husholdningen og boligen og som er viktige for elektrisitetsforbruket, f.eks. boligareal, husholdningsstørrelse, inntekt og elektrisitetspris. \bar{C}_{jm} er gjennomsnittsverdier for de økonomiske og demografiske variable, γ_j og ρ_{jm} er ukjente parametre, og ε_{ij} er et stokastisk restledd. Parameteren γ_j representerer elektrisitetsforbruk til utstyr j for "gjennomsnittshusholdningen" eller gitt at ingen økonomiske eller demografiske variable er relevante for elektrisitetsforbruket til utstyr j (dvs. $\rho_{jm} = 0$ for alle m).

Vi har ikke data for elektrisitetsforbruk til ulike utstyrstyper i den enkelte husholdning, og ligning (1) kan derfor ikke estimeres. Vi har imidlertid data for samlet årlig elektrisitetsforbruk i et utvalg av husholdninger. Ved å summere elektrisitetsforbruket over alle formål j i ligning (C1) får vi samlet elektrisitetsforbruk i husholdning i (x_i). Vi må da ta hensyn til at ikke alle husholdninger har alt utstyr, og at ikke alle formål lar

seg spesifisere. D_{ij} er en dummyvariabel med verdi én dersom husholdning i har utstyr j og verdi null dersom husholdningen ikke har utstyr j . Av totalt J mulige utstyrstyper er S de utstyrstyper som lar seg spesifisere, dvs. $j=1, 2, \dots, S, \dots, J$, og $S < J$. Husholdning i sitt samlede elektrisitetsforbruk er da gitt ved:

$$(C2) \quad x_i \equiv \sum_{j=1}^J x_{ij} D_{ij} \equiv \sum_{j=1}^S x_{ij} D_{ij} + \sum_{j=S+1}^J x_{ij} D_{ij} = \sum_{j=S+1}^J \gamma_j D_{ij} + \sum_{j=1}^S \gamma_j D_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \rho_{jm} (C_{im} - \bar{C}_{jm}) D_{ij} + u_i,$$

hvor u_i er et stokastisk restledd med formen:

$$(C3) \quad \sum_{j=1}^J \varepsilon_{ij} D_{ij} = u_i.$$

De økonomiske og demografiske variable inngår på en slik måte at de justerer elektrisitetsforbruket til utstyr j , dvs. de inngår som interaksjoner med variablene for elektrisk utstyr. For eksempel vil en interaksjon mellom oppvaskmaskin (j =oppvaskmaskin) og husholdningsstørrelse (m =antall personer i husholdningen) fange opp betydningen av at elektrisitetsforbruket til oppvaskmaskin varierer med husholdningsstørrelse. Interaksjonsvariablene mellom utstyr og andre variable kan beregnes på ulike måter, avhengig av formålet med estimeringene. Vi har beregnet interaksjonene som avviker fra gjennomsnittsverdiene for de ulike økonomiske og demografiske variable for de H_j husholdninger som besitter det aktuelle utstyret, dvs.

$$\bar{C}_{jm} = \frac{1}{H_j} \sum_{i=1}^N C_{im} D_{ij}.$$

Uttrykket $\sum_{m=1}^M \rho_{jm} (C_{im} - \bar{C}_{jm}) D_{ij}$

er dermed å tolke som en justering av elektrisitetsforbruket til utstyr j som følge av avvik fra gjennomsnittsverdien for ulike demografiske og økonomiske variable.

I ligning (C2) er $\sum_{j=S+1}^J \gamma_j D_{ij}$ uspesifisert elektrisitets-

forbruk. Interaksjonene gjelder for alle J fordi det uspesifiserte elektrisitetsforbruket kan avhenge av økonomiske og demografiske variable på samme måte som det spesifiserte elektrisitetsforbruket. Vi har forutsatt at koeffisientene foran dummyvariablene og interaksjonsvariablene er konstante, dvs. at de ikke varierer mellom husholdninger. Vi forutsetter også at det uspesifiserte elektrisitetsforbruket ikke varierer mellom

husholdninger, dvs. $\sum_{j=S+1}^J \gamma_j D_{ij} = x_0$.

For de spesifiserte utstyrstypene indikerer dummyene kun om utstyret finnes eller ikke, og de varierer ikke med størrelse, kapasitet eller antall. Vi tar imidlertid hensyn til slike variasjoner gjennom interaksjoner mellom utstyrsvARIABLE og økonomiske og demografiske variable.

Restleddet u_i forutsettes å ha forventning lik null, og vi åpner for muligheten for ikke-konstant varians (heteroskedastisitet). Det er vanlig å stå overfor heteroskedastisitet i estimeringen av formålsfordelt elektrisitetsforbruk. Restleddet i estimeringene (u_i i ligning C2) vil kunne variere systematisk med forklaringsfaktorene. Som følge av strukturen i ligning (C3), vil u_i typisk være heteroskedastisk. Det skyldes at jo større for eksempel boligareal og beholdning av elektriske husholdningsapparater, jo større mulighet for større variasjon i elektrisitetsforbruket mellom husholdninger fordi bruken av utstyret kan variere mer. Dermed vil også avviket mellom estimert og observert elektrisitetsforbruk kunne øke med størrelsen på utstyrsholdningen.

Multikollinearitet (korrelasjon mellom høyresidevariablene) er et annet potensielt problem innenfor denne modellen. Problemer med multikollinearitet vil kunne gi seg utslag i estimeringene ved at vi ikke får spesifisert utstyr som svært mange (eller svært få) husholdninger har, eller ved at estimatene blir ustabile. Interaksjonsvariablene mellom utstyr og økonomiske og demografiske variable er viktige å ha med for at estimatene for elektrisitetsforbruk til elektriske apparater skal bli forventningsrette. Hvis interaksjonsvariablene blir utelatt, kan estimatene bli skjeve som følge av at utelatte variable er korrelert med utstyrsvARIABLE (multikollinearitet).

Siden CDA-modellen fokuserer på bruk av elektrisk utstyr gitt beholdningen av elektrisk utstyr, forutsettes det at dummyvariablene for om husholdningen har eller ikke har de ulike utstyrstypene er eksogene. På kort sikt kan dette være en rimelig forutsetning. Studier viser også at skjevheter som følge av å se bort fra mulig endogenitet er små, jf. Fiebig mfl. (1991).

Beregning av elektrisitetsforbruk til ulike utstyrstyper

Fra ligning (C2) har vi at elektrisitetsforbruket for husholdning i er en funksjon av utstyrsholdning samt interaksjoner mellom utstyrsholdningen og økonomiske og demografiske variable. Vår økonomiske betingede etterspørselsfunksjon for elektrisitet for husholdning i er gitt ved:

$$(C4) \quad x_i = x_0 + \sum_{j=1}^S \gamma_j D_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \rho_{jm} (C_{im} - \bar{C}_{jm}) D_{ij} + u_i,$$

hvor x_0 , γ_j og ρ_{jm} er parametre som skal estimeres.

Første ledd i ligning (C4) er konstantleddet i estimeringen og er å tolke som elektrisitetsforbruk som ikke er spesifisert. Annet ledd i ligningen inneholder gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk (γ_j) til de ulike utstyrstypene j som husholdning i besitter, dvs. for utstyr der dummyvariablen D_{ij} har verdi én.

Av ligning (C4) følger at forventet elektrisitetsforbruk til utstyr k for husholdning i er lik:

$$(C5) \quad x_{ik} = \gamma_k D_{ik} + \sum_{m=1}^M \rho_{km} (C_{im} - \bar{C}_{km}) D_{ik},$$

dvs. lik null for husholdninger som ikke har utstyret ($D_{ik} = 0$) og lik $\gamma_k + \sum_{m=1}^M \rho_{km} (C_{im} - \bar{C}_{km})$ for husholdninger som har utstyret ($D_{ik} = 1$).

Predikert forventet elektrisitetsforbruk til utstyr k for "gjennomsnittshusholdningen" (x_k^P) blir da :

$$(C6) \quad x_k^P = \hat{\gamma}_k \bar{D}_k + \sum_{m=1}^M \hat{\rho}_{km} (C_m - \bar{C}_{km}) D_k,$$

hvor parametre med symbolet $\hat{\cdot}$ indikerer estimert parameter og $\bar{D}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_{ik}$, dvs. gjennomsnittlig verdi for dummyvariablen D_{ik} for husholdningene i utvalget. $(C_m - \bar{C}_{km}) D_k$ er gjennomsnittsverdien for $(C_{im} - \bar{C}_{km}) D_{ik}$ over alle husholdningene (N). Dette kan illustreres med et eksempel der D_{ik} representerer oppvaskmaskin og C_{im} er husholdningsstørrelse. Husholdningene som ikke har oppvaskmaskin, får interaksjonsvariabel lik null fordi $D_{ik} = 0$. Husholdninger som har oppvaskmaskin ($D_{ik} = 1$) får en verdi på interaksjonsvariablen som er lik antall personer i husholdningen fratrukket gjennomsnittlig husholdningsstørrelse blant husholdninger med oppvaskmaskin. Gjennomsnittet blant alle husholdningene blir dermed beregnet på grunnlag av observasjoner som er lik null og lik det nevnte avviket.

I formålsfordelingen i ligning (C6) benyttes parameterestimer ($\hat{\gamma}_k$ og $\hat{\rho}_{km}$) fra estimeringen av en modell for gjennomsnittshusholdningen, samtidig som vi benytter gjennomsnittsverdier for dummyvariable og interaksjonsvariable, der interaksjonene beregnes som avvik fra gjennomsnittsverdiene. Vi foretar formålsfordelingen for gjennomsnittsverdier for alle variable, og da blir leddet $\sum_{m=1}^M \hat{\rho}_{km} (C_m - \bar{C}_{km}) D_k$ i ligning (C6) lik null. Predikert forventet elektrisitetsforbruk til utstyr k for "gjennomsnittshusholdningen" kan dermed bereg-

nes som gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk til utstyr k for husholdninger som besitter utstyr k multiplisert med andelen av husholdningene som har utstyr k :

$$(C7) \quad x_k^P = \hat{\gamma}_k \bar{D}_k$$

Koeffisienten γ_k er å tolke som forskjellen i elektrisitetsforbruk (målt i kWh per år) mellom en typisk ("gjennomsnittlig") husholdning som har utstyr k og en typisk husholdning som ikke har dette utstyret, dvs. elektrisitetsforbruket til en typisk husholdning som har utstyr k . For å få et anslag på elektrisitetsforbruket i gjennomsnitt til utstyr k for alle husholdningene (enten de har eller ikke har utstyret), multipliserer vi med gjennomsnittet av dummyvariabelen (\bar{D}_k).

I tillegg til elektrisitetsforbruk som er beregnet eksplisitt for de utstyrstypene som inkluderes i den økonomiske modellen (ligning C4), kommer elektrisitetsforbruk til andre typer elektriske apparater. Dette forbruket er representert ved konstantleddet x_0 , og tolkningen er gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk til alle de $J - S$ utstyrstyper som ikke er inkludert eksplisitt i den økonomiske modellen for "gjennomsnittshusholdningen". Det er mange apparater vi ikke har datagrunnlag til å estimere spesifikt. I tillegg vil det være vanskelig å estimere elektrisitetsforbruket til apparater som svært få eller svært mange husholdninger har. Anslaget på forbruket til uspesifisert utstyr er gitt ved:

$$(C8) \quad x_{div}^P = \hat{x}_0 .$$

Formålsfordelingen utføres for gjennomsnittlige verdier på variablene. Dette sikrer at estimert elektrisitetsforbruk til de ulike spesifiserte utstyrstyper (formål) og uspesifisert elektrisitetsforbruk summerer seg til gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk i utvalget (fordi forventningen til restleddet og forventningen til interaksjonene begge er null). Ut fra dette og ligning (C7) gjelder følgende oppsummeringsbetingelse for elektrisitetsforbruket:

$$(C9) \quad x^P = \hat{x}_0 + \sum_{j=1}^S x_j^P = \hat{x}_0 + \sum_{j=1}^S \hat{\gamma}_j \bar{D}_j = \bar{x} ,$$

hvor x^P er predikert forventet samlet elektrisitetsforbruk, og gjennomsnittlig observert elektrisitetsforbruk $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ er beregnet for alle husholdningene i utvalget.

Fra ligning (C7) og (C8) følger gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk målt i kWh til de typer utstyr som er spesifisert i modellen samt det uspesifiserte elektrisitetsforbruket. Vi ønsker også å beregne den *prosentvise*

fordelingen av gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk på ulike utstyrstyper. Andelen av elektrisitetsforbruket til utstyr k beregnes som gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk til utstyr k dividert med gjennomsnittlig totalt elektrisitetsforbruk:

$$(C10) \quad a_k^P = \frac{x_k^P}{\bar{x}} \quad \text{og}$$

$$(C11) \quad a_{div} = \frac{\hat{x}_0}{\bar{x}} .$$

Siden dekomponert forbruk summerer seg til samlet forbruk (for "gjennomsnittshusholdningen"), vil også andelen i ligning (C10) og (C11) summere seg til 1.

Etterspørselsfunksjonen (C4) estimeres ved hjelp av programvaren SAS og vanlig minste kvadraters metode (Ordinary Least Squares, OLS). Vi har også benyttet OLS korrigert for heteroskedastisitet for å teste betydningen av heteroskedastisitet for resultatene.

Mål på inntektsulikhet

Et ulikhetsmål er en statistisk observator som måler graden av avvik fra lik inntektsfordeling. Med lik inntektsfordeling mener vi da en fordeling hvor alle husholdninger har samme inntekt. Ulikhetsmål benyttes i analyser av inntektsfordeling i stedet for eller i tillegg til observatorer som median, gjennomsnitt og standardavvik fordi begrepet likhet er sentralt for den politiske og velferdsmessige vurdering av en inntektsfordeling. Ulikhetsmålet skal karakterisere hele inntektsfordelingen i ett eneste tall.

Vanlige krav til et ulikhetsmål er

- Overføringskriteriet: En overføring av 1 krone fra en husholdning med høy inntekt til en husholdning med lav inntekt skal redusere ulikhetsmålet.
- Skalainvarians: Hvis inntekten til samtlige husholdninger endres proporsjonalt, skal ulikhetsmålet ikke endres.
- Anonymitetskriteriet: Ulikhetsmålet skal være upåvirket av hvem som mottar en bestemt inntekt.
- Lorenzdominans: Hvis Lorenzkurven til en inntektsfordeling ligger helt innenfor Lorenzkurven til en annen fordeling, skal ulikhetsmålet være lavest for den første fordelingen.

Ulikhetsmålene Gini-koeffisienten og A-koeffisienten oppfyller disse kriteriene. Disse koeffisientene uttrykker den gjennomsnittlige prosentvise inntektsforskjellen blant husholdningene i utvalget. Gini-koeffisienten og A-koeffisienten varierer begge mellom 0 og 1, og jo høyere verdi de har, jo større er ulikheten.¹⁰ Ved analyser av inntektsfordeling anvendes ofte flere ulikhetsmål samtidig, fordi ulikhetsmålene vektlegger ulike deler av fordelingen forskjellig. Gini-koeffisienten er mest følsom for endringer i den sentrale delen av fordelingen, mens A-koeffisienten legger mer vekt på nedre del av inntektsfordelingen (de 25 prosent laveste inntektene). Dette betyr at A-koeffisienten reagerer sterkest på endringer i inntektsfordelingen som berører de laveste inntektene.

Gini-koeffisienten kan defineres med utgangspunkt i *Lorenzkurven*. Lorenzkurven viser andel av inntekten (langs vertikal akse) og andel av husholdningene (langs horisontal akse), dvs. hvor stor andel av inntekten en viss andel av husholdningene har. Så lenge det finnes minst to husholdninger med ulik inntekt, vil Lorenzkurven ligge under likhetskurven (den rette linjen mellom origo og punktet 1,1). Våre resultater (se Halvorsen mfl., 2001b) viser at Lorenzkurvene ikke krysser hverandre, og vi kan dermed med sikkerhet si at det ene inntektsbegrepet viser større ulikhet enn det andre. Pensjonsgivende inntekt minus skatt er det inn-

tektsbegrepet som viser størst ulikhet, mens alminnelig inntekt minus skatt viser minst ulikhet. Pensjonsgivende inntekt før skatt gir mindre ulikhet enn pensjonsgivende inntekt etter skatt, noe som kan skyldes dårlig samsvar mellom utlignet skatt og pensjonsgivende inntekt. Gini-koeffisienten defineres ut fra forholdstallet for arealet mellom likhetskurven og likhetskurven og arealet mellom likhetskurven og aksene, dvs. $Gini = A / (A + B) \equiv A / 0,5$.

¹⁰ Dersom negative inntekter forekommer kan Gini-koeffisienten bli større enn 1.

Beregning av utgiftsøkning og kompenserende variasjon

Vi ønsker å beregne anslag på utgiftsøkningen og den kompenserende variasjonen (CV) som følge av økte elektrisitetspriser. For å beregne dette trenger vi estimater på egenskapene til husholdningenes elektrisetterspørsel, og spesielt effektene av økte priser på husholdningenes elektrisitetsforbruk. Analysen er basert på en metode utviklet av Cornwell og Creedy (1997), hvor estimater fra et lineært utgiftssystem (LES) benyttes for å beregne forbruksendringer og husholdningenes CV som følge av en prisøkning.¹¹

Det lineære utgiftssystemet

I estimeringene fokuserer vi på forbruket av energigoder, og forutsetter at husholdningene ikke endrer arbeidstilbudet eller forbruket av andre goder enn energigoder som følge av prisøkningen. Det innebærer at vi forutsetter separabilitet i konsumet av energivarer og andre goder. Vi fokuserer på tre energikilder; elektrisitet ($f=1$), parafin og fyringsolje ($f=2$) og ved ($f=3$). Vi forutsetter videre at husholdningenes utgifter til energi kan beskrives ved en Stone-Geary funksjon, som gir et LES system for utgiftene til de tre energivarene, gitt ved:

$$(E1) \quad E_f = \gamma_f p_f + \beta_f \left(E - \sum_{m=1}^3 \gamma_m p_m \right) + \nu_f,$$

hvor E_f er husholdningens utgifter til energikilde f , E er husholdningens samlede energiutgifter, p_f er prisen på energikilde f og ν_f er et stokastisk restledd, som er antatt å være identisk og uavhengig fordelt med null forventning og konstant varians. Sammensetningen av husholdningenes energiforbruk vil kunne variere med ulike husholdningskarakteristika som; antall husholdningsmedlemmer, typen av oppvarmingsutstyr, beholdningen av elektriske husholdningsapparater og artikler, boligareal, eller lignende. I denne analysen er disse effektene på energiutgiftene tatt hensyn til ved at koeffisientene i utgiftsfunksjonene (γ_f og β_f) er funksjoner av ulike karakteristika ved husholdningen. Det gjør at prisfølsomheten (γ_f) og budsjetteffekten (β_f) antas å være lineære funksjoner av slike karakteristika, gitt ved:

$$(E2) \quad \begin{aligned} \gamma_f &= \gamma_f^0 + \gamma_f^Y Y + \sum_{k=1}^K \gamma_f^k D_k & \text{og} \\ \beta_f &= \beta_f^0 + \beta_f^Y Y \end{aligned}$$

hvor D_k angir ulike karakteristika ved husholdningen og boligen og Y er husholdningens alminnelige inntekt etter skatt.

Siden den totale energiutgiften (E) er endogen for husholdningene, har vi estimert et instrument for denne variabelen for å unngå simultanitetsproblemer på grunn av korrelasjon mellom restleddet og en høyresidevariabel. Dette instrumentet er gitt ved:

$$(E3) \quad E = \sum_{f=1}^3 F_f p_f = a_0 + a_1 Y + \sum_{c=1}^C a_{2c} K_c + \varepsilon,$$

Vi forutsetter at instrumentet for det totale energibudsjettet er en lineær funksjon av husholdningens alminnelige inntekt etter skatt, ulike karakteristika ved husholdningen (K_c) og et stokastisk restledd (ε) som antas å ha de samme egenskapene som restleddene i utgiftsfunksjonene. Dette instrumentet estimeres ved hjelp av minste kvadraters metode. Prediksjonene for det totale energibudsjettet fra denne estimeringen brukes i estimeringen av utgiftssystemet i (E1) og (E2), som igjen estimeres i en Maximum Likelihood estimering ved hjelp av MINIMIZE prosedyren i Limdep.

Hvordan måle utgiftsøkningen og den kompenserende variasjonen?

Fra (E1) finner vi at den deriverte av elektrisitetsutgiften med hensyn på elektrisitetsprisen er gitt ved:

$$\frac{\partial E_1}{\partial p_1} = (1 - \beta_1) \gamma_1. \text{ Dersom vi løser dette med hensyn på}$$

den marginale effekten på elektrisitetsforbruket av en prisendring, samtidig som vi bruker at

$$\frac{\partial E_1}{\partial p_1} = \frac{\partial F_1}{\partial p_1} p_1 + F_1, \text{ får vi følgende:}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial p_1} = \frac{(1 - \beta_1) \gamma_1 - F_1}{p_1}. \text{ Den predikerte endringen i}$$

husholdningenes elektrisitetsetterspørsel som følge av prisøkningen ($\Delta \hat{F}_1$) beregnes som den estimerte marginale kvantumsendringen ($\partial \hat{F}_1 / \partial p_1$) multiplisert med prisøkningen (Δp_1), gitt ved:

$$(E4) \quad \Delta \hat{F}_1 = \frac{(1 - \hat{\beta}_1) \hat{\gamma}_1 - F_1}{\hat{p}_1} \Delta p_1,$$

For å beregne $\hat{\beta}_1$ og $\hat{\gamma}_1$, og derigjennom endringen i elektrisitetsforbruket, bruker vi LES-estimaterne fra en simultan estimering av det lineære utgiftssystemet i (E1) og (E2).

¹¹ Se også Halvorsen og Nesbakken (2002b) for en nærmere beskrivelse.

Siden husholdningene kan endre forbruket som følge av prisøkningen, vil utgiftsøkningen ved økt pris være gitt ved prisøkningen multiplisert med nytt forbruk:

$$(E5) \quad \Delta E_1 = \Delta p_1 (F_1 + \Delta \hat{F}_1),$$

hvor $F_1 + \Delta \hat{F}_1$ er forbruket av strøm etter en forbruksendring.

Husholdningens CV beregnes ved hjelp av metoden foreslått av Cornwell and Creedy (1997). Vi bruker egenskapene til LES-systemet for å beregne den kompensierende variasjonen av en prisøkning, gitt ved:

$$(E6) \quad CV = A^0 \left[\frac{A^1}{A^0} + \frac{B^1}{B^0} \left(\frac{E^0}{A^0} - 1 \right) \right] - E^0$$

hvor

(E7)

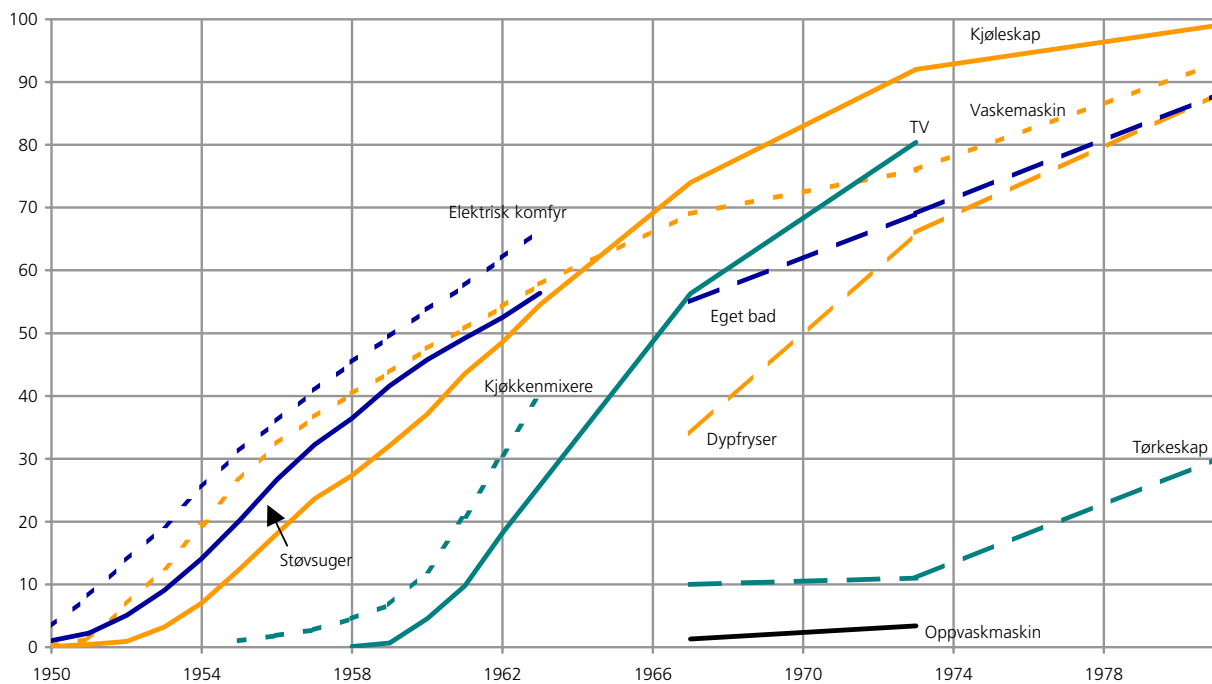
$$A^0 = \sum_{f=1}^3 p_f \hat{\gamma}_f, \quad A^1 = (p_1 + \Delta p_1) \hat{\gamma}_1 + \sum_{f=2}^3 p_f \hat{\gamma}_f,$$

$$B^0 = \prod_{f=1}^3 \left(\frac{p_f}{\hat{\beta}_f} \right)^{\hat{\beta}_f} \quad \text{og} \quad B^1 = \left(\frac{(p_1 + \Delta p_1)}{\hat{\beta}_1} \right)^{\hat{\beta}_1} \cdot \prod_{f=2}^3 \left(\frac{p_f}{\hat{\beta}_f} \right)^{\hat{\beta}_f}$$

Vi angir situasjonen før prisøkningen med toppskrift 0 og situasjonen etter prisøkningen med toppskrift 1. E angir samlet energiutgift, og Δp_1 angir prisøkningen på elektrisitet. $\hat{\beta}_f$ og $\hat{\gamma}_f$ er beregnet ved hjelp av de estimerte parametrene og gjennomsnittsverdiene av alle karakteristika ved boligen og husholdningen. På den måten finner vi en gjennomsnittlig CV for husholdningene av den økte elektrisitetsprisen.

Beholdning av elektriske apparater 1950 - 1981

Figur F1. Andelen av husholdningene som har ulike elektriske apparater og eget bad. Prosent



Kilder: 1950 - 1963: Samfunnsøkonomiske studier nr. 12, tabell 40. 1967 - 1981: http://www.ssb.no/emner/historisk_statistikk/tabeller/13-13-4t.txt. Forbruksundersøkelsene 1967 og 1973 (NOS A334 og NOS A 705).

Prosjektbeskrivelse

I det følgende gjengis prosjektbeskrivelsen for søknad sendt NFRs RENERGI-program 1. september 2005.

Potential for energy savings in Norwegian households

Effects of energy policies on consumption and investments

1. Principal objective and sub-goals

The principal objective of this project is to examine the potential for energy savings in Norwegian households. We will analyze the efficiency of various energy policies aimed at reducing energy consumption and encouraging investments in new and more efficient equipment. The first sub-goal is to increase the knowledge of how different households respond to energy policy instruments. The second sub-goal is to develop methods for aggregation of individual demand, in order to analyze the residential sector's response to policy instruments.

2. Introduction

The residential sector is one of the largest energy demanding sectors in Norway, as it comprises approximately one third of total electricity consumption. Thus, the success of policies aiming to promote energy savings and pollution control, such as energy and environmental taxes, depends strongly on the energy demand response of the residential sector. The potential for energy savings in the residential sector depends on how the individual households respond to such policy instruments.

The development of total residential energy consumption depends on the development in a number of factors, such as relative energy prices, income, stock of heating equipment and electric appliances, net floor space, etc. A good understanding of how changes in the distribution of the main driving forces affect the development in residential energy consumption the last decades is important in order to analyze how these factors affect the potential for energy savings and the efficiency of various policy instruments.

Norwegian households use approximately 50 percent of residential energy consumption for space heating (Larsen and Nesbakken, 2005), and they are very heterogeneous with respect to their choice of heating equipment. Some use only electricity for space heating, whereas others may use electricity, paraffin, fuel oil and firewood in combination (Halvorsen et al., 2005a). Substitution possibilities in the short run depend on the available equipment and the capacity of this equipment. In the long run, substitution possibilities may change by investments in new equipment. Studies of investments in new heating equipment are important to increase the knowledge of long-term effects of policy changes.

Introduction of automatic electricity meter reading technology and the use of time-differentiated tariffs may also affect the flexibility of residential energy consumption, and change residential energy consumption patterns. Thus, analyses of how this technology affect residential demand will shed light on the future potential for energy savings in Norwegian residences.

Policy instruments often aim at changing individual behavior, whereas the criterion for achieving the political goal is related to the aggregate of the individual responses. To study effects on energy savings, we need to aggregate all households' demand responses. Households differ in their attitude towards, and possibilities for, energy savings. These differences make households react differently to price and income changes, and thus to policy changes. This heterogeneity in energy consumption behavior may cause problems with aggregation over households, and further studies are needed on how to aggregate effects for individual households to the residential sector in a consistent way.

In this project we will analyze these important issues to give a better understanding of how different policies affect residential energy consumption patterns and household energy savings. The project consists of two main parts: econometric analyses of household energy demand based on micro data and analyses of aggregate demand response. The data are described in section 3, the micro econometric analyses are described in section 4 and the analyses of aggregate energy demand are described in section 5.

The project is a collaborative research program with researchers from Statistics Norway, the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) and Enova SF. It includes participants with engineering and economic background. The project aims to finance a doctoral fellowship in addition to three master students. The doctoral fellowship will focus on problems with aggregation of household energy consumption. We also plan to organize an international workshop to sum up international research efforts on problems concerning aggregation.

3. Data

To analyze household energy consumption, we will use data from different sources. Our main data source is Statistics Norway's Survey of Consumer Expenditure (SCE) for 1993 - 1995, 2001 and 2004, which is supplemented with a survey on residential energy consumption and heating equipment. We will also supplement the SCE for 2006 with energy questions. The SCE for 1993 - 1995 and 2001 are prepared for analyses, and the data from the SCE for 2004 and 2006 will be prepared within the project. The preparation includes merging individual energy prices from the Norwegian Competition Authority and outdoor temperature information from the Norwegian Meteorological Institute to the SCE data. We will also use data from Statistics Norway's Survey of Living Conditions (SLC) for 1998 - 2002, data from the project "End-user flexibility by efficient use of Information and Communication Technology (ICT)" and data from a survey undertaken by the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) during the summer of 2003. Analyses of aggregate data will be based on statistics from the Norwegian Energy and National Accounts and the Norwegian Population and Housing Census (PHC) for 2001. These data sets give us a unique opportunity to analyze a large variety of aspects concerning household energy consumption.

In the Norwegian SCE, approximately 2,000 individuals are drawn annually from the Norwegian public and interviewed in person (see Statistics Norway, 1996). The data include information about expenditure and acquired quantity of paraffin, fuel oil, firewood (both free and purchased wood) and electricity for the last 12 months prior to the interview, ownership of durables and various household and dwelling characteristics. The supplementary questions of the SCE also contain information about the electricity supplier, chosen electricity tariff, stock and capacity of heating equipment and some information about the energy saving efforts.

In the SLC for the period 1998 to 2002, a recurring sample of 2,000 households reported their annual consumption of firewood, paraffin, fuel oil and electricity, stock of heating equipment and changes in this stock (see Normann, 2004). Households who moved into new houses or changed some of their heating equipment reported their heating equipment investment cost. The data set includes information about income, household size, house type and other demographic variables.

The objective of the project "End-user flexibility by efficient use of ICT" was to develop, test and evaluate different price schemes as well as systems of automatic meter reading and direct load control. In the ICT project, more than 10,000 households installed automatic meter reading technology. The hourly metering of electricity consumption started in 2002 and is still going on. The data set also contains information about attitudes towards energy savings and environmental concerns, as well as household and dwelling characteristics. This panel data set is documented in Ericson (2005) and Graabak and Feilberg (2004).

In the NVE survey, approximately 1,000 households were asked to what extent the unusually high electricity prices during the winter 2002/2003 affected their plans of investments in new heating equipment, their choice of energy supplier, if they undertook any special energy economizing efforts and their attitude towards energy saving campaigns launched by NVE during that winter. These data are described in Magnussen and Havskjold (2003).

4. Analyses of household behavior

In the first part of the project, we will study individual household demand response. First, we study how policy instruments affect investments in new heating equipment and how households respond to time-differentiated tariffs. We will also study how differences in relative energy prices affect household energy demand, for example how the high electricity prices during the winter of 2002/2003 affected the households' energy demand, investments in new heating equipment and choice of energy supplier and tariff. We further plan to study electricity consumption related to different end-uses, such as space heating, lighting and electric appliances. We will use different sources of micro data to conduct econometric analyses of household energy demand (see section 3). Different econometric procedures will be applied, depending on the problem in question, e.g. procedures for panel data (fixed and random effects models) and cross-section data, such as discrete choice models (see e.g. Greene, 2003).

4.1 Investments in new heating equipment

The stock of heating equipment determines the households' substitution possibilities between energy carriers in

the short run. The effects of energy policies, e.g. energy taxes, depend on the substitution possibilities. In the long run the household may change its substitution possibilities by investing in new heating technology as a response to changes in relative energy prices. Energy policy may thus alter residential energy consumption both in the short run, for a given heating technology, and in the long run as the households change their heating technologies.

We will study the households' investments in heating equipment to get a better understanding of what affects their choice of heating portfolio. In a previous study based on *cross-sectional data* and average investment costs, we studied choice of heating system in new houses (Nesbakken, 2001). In this project we will use *panel data* from the Norwegian SLC, covering the period 1998 to 2002, making it possible to study changes in heating equipment in individual households. The SLC gives information about the investment cost for new heating equipment for those households making investments. We will analyze the household decision to invest in heating equipment, applying discrete choice theory (McFadden, 2001). Different panel data estimation methods will be discussed, e.g. fixed effects model and random effect model (see Heckman, 1981, Butler and Moffit, 1982, Chamberlain, 1984 and Keane, 1994).

4.2 Introduction of automatic meter reading and time-differentiated tariffs

Fluctuations of demand during the day and capacity constraints in distribution and power supply cause variations in marginal costs of distributing electricity to consumers. Households do not face the actual cost of their consumption at particular points in time during the day, because electricity prices are constant for long periods. Installation of automatic meter reading in households makes it possible to use time-differentiated distribution and power tariffs, in order to obtain a better match between the prices consumers pay for electricity and the marginal costs.

Some households will choose time-differentiated tariffs whereas others will choose a standard tariff. By using procedures for estimation of panel data on data from the ICT project, we will analyze how the households' choices between time-differentiated and standard tariffs depend on dwelling type, stock of heating equipment and attitudes towards energy saving and environmental questions (Train et al., 1987 and Baladi et al., 1998). This will provide information on the benefit for households of choosing time-differentiated as compared to standard tariffs. Such information may be useful for the electric utilities when assessing the profitability of providing automatic meter reading and time-differentiated tariffs to households.

In addition to supply electricity at a price closer to the cost, time-differentiated tariffs may reduce total electricity consumption. Results in an extensive survey from Faraqui and Malko (1983) and Patric (1990) indicate that there exists an energy saving potential of using time-differentiated tariffs, in addition to shifting consumption from peak periods to off-peak periods. This may be because time-differentiated tariffs increase the households' awareness with respect to how, when and at what prices their electricity is consumed. We will analyze the energy saving potential in different household segments of time-differentiated pricing using data from the ICT project.

Automatic meter reading will affect social welfare through its effect on the consumer and producer surpluses. Cost-benefit analyses of automatic meter reading and time-differentiated distribution tariffs are discussed in Aigner (1984). We will conduct a cost-benefit analysis of the ICT project for the society as a whole. Grande and Graabak (2004) have conducted a cost-benefit analysis using the same ICT data, but they focus mainly on the costs and benefits for the electric utilities. Cost-benefit analyses of automatic meter reading and time-differentiated tariffs often ignore welfare implications for households, since these are difficult to measure. To evaluate the net welfare effects for the households, we will calculate both the uncompensated and the compensated consumer surplus using the duality properties of the demand function (see e.g. Mas-Colell et al., 1995 or Deaton and Muellbauer, 1980 for a discussion).

4.3 Response to extreme electricity prices

Our previous analyses of residential energy consumption are based on data from years with normal variations in relative energy prices. After the liberalization of the Nordic electricity market, the volatility of household electricity prices has increased. One example is the high electricity prices during the winter season of 2002/2003 after an extremely dry fall.

The high prices that winter got considerable attention in the media, and the government urged households to reduce their electricity consumption. We will analyze if this attention and the requests affected the response of household consumers. That is, did the households reduce their electricity consumption more than they would have done without this media attention and these requests? We will estimate the price response in household electricity consumption using data from three different sources. First, we will use information from the SCE in 2001 and 2004 to estimate the demand functions for each year and test if the price responses before and after the winter of

2002/2003 differ significantly. This will be the topic of a master thesis.

Second, data from the survey undertaken by NVE the summer of 2003 contain information that can be used to separate the behavior resulting from high electricity prices from the behavior in periods when the electricity price is low. We will use these data to see whether the households undertook additional energy saving efforts as a response to the high prices and governmental campaign this winter. We will also analyze if the situation affected their choice of energy supplier and their plans to invest in new heating equipment, including equipment for renewable energy carriers such as heating pumps and pellet ovens. We will also study how these decisions vary across households with different attitudes towards public energy saving campaigns. This will be the topic of a second master thesis.

Finally, we will use the panel data set from the project "End-user flexibility by efficient use of ICT" to analyze the households' response to the high electricity prices during the winter 2002/2003. Statistics on media coverage in this period will be used to see if any particular media coverage had a significant effect on the households' price response, and how this media effect varies across household groups, depending on e.g. the substitution possibilities embedded in their heating portfolio.

4.4 Distribution of household electricity consumption on different end-uses

Information about the distribution of energy consumption on different end-uses (space and water heating, lighting, cooling, cooking, etc.) is important when considering the potential for energy savings, since the potential varies between end-uses. Previously, we have analyzed household electricity end-use consumption by the use of conditional demand analysis (see Bartels and Fiebig, 2000 and Parti and Parti, 1980) on data for 1990 and 2001 (see Larsen and Nesbakken, 2004 and 2005). These were years with very different outdoor temperatures and energy prices, and the distribution of electricity consumption on different end-uses differs significantly for these years. This indicates that the distribution of electricity consumption varies in the short run. To study more long-term trends in end-use electricity consumption we need data for more years. We will incorporate questions in the SCE for 2006 designed for estimating electricity end-use consumption. An analysis of these data, and comparison with results from 1990 and 2001, will be the topic of a third master thesis.

4.5 Does the type of data affect the estimated demand response?

In this project, we will estimate household energy demand functions based on observations of residential consumption both on an hourly basis (ICT data) and on an annual basis (SCE and SLC data). We also estimate demand functions based on a panel (ICT and SLC data) and a cross section of households (SCE). The question is whether the type of data affects the estimated properties of residential energy demand.

Elasticities estimated on hourly data give lower price elasticities than do elasticities based on annual data. There may be several reasons for this. One reason is that it is difficult for the household to respond to stochastic short-term fluctuations in a price. Thus, consumers adapt to the overall price level rather than to random price fluctuations. Another reason is that aggregation over time may in itself affect the elasticity. We will use the panel data to shed light on the effect on the estimated elasticities of aggregation over time; e.g. estimated elasticities of hourly or daily versus monthly or annual consumption.

If the standard assumptions about the distribution of the stochastic term are fulfilled, the results from estimating on cross-sectional data have a behavioral interpretation. However, it is an empirical question whether this is in fact the case. We will test whether elasticities based on cross-sectional data are significantly different from elasticities based on panel data. We will use the panel data set from the ICT project, and estimate the elasticities using both the time dimension (within variation) and the cross-sectional dimension (between variation). See e.g. Greene (2003) or Baltagi (2002) for a discussion of panel data procedures. If the results differ significantly, we have to be careful when interpreting and using results from analyses based on cross-sectional data.

5. Aggregation of individual behavior

The second part of the project comprises of analyses of aggregating individual behavior. Although the theoretical properties of aggregation are investigated in the literature (see e.g. the work of Gorman in Blackorby and Shorrocks, 1995, Muellbauer, 1975, 1976 and Lau, 1982), little is known about its implications for the interpretation of results from empirical analyses. Our aim is to obtain a better understanding of the aggregation problem and to develop methods for aggregation of individual demand response. This will also increase the insight of why estimated elasticities from micro and macro analyses seem to differ systematically (Halvorsen et al., 2001), and help to find guidelines on how and when to use the different elasticities to calculate effects of policies.

5.1 Can we use micro elasticities to predict aggregate demand response?

The literature on aggregation mainly focuses on the existence of an aggregate demand function, whether it may be given a behavioral interpretation and when it may be given welfare implications (Deaton and Muellbauer, 1980 and Mas-Colell et al., 1995). The main findings are that, if households are too heterogeneous in their response to price and income change, we can neither give the macro function a behavioral interpretation nor a welfare interpretation and it may not be meaningful to assume the existence of an aggregate demand as a function of aggregate income. However, few authors discuss if it is appropriate to use estimated properties of micro demand functions to predict aggregate demand response (hereafter referred to as the reverse aggregation problem).

The criteria for reverse aggregation may be even more restrictive than the criteria for giving the aggregate demand function a welfare interpretation. This is because the demand response for "the mean household" must equal the mean of the individual demand responses, not only with respect to income change but also with respect to price change, in order to avoid problems with reverse aggregation. If households are heterogeneous in their demand response, the criteria for reverse aggregation are not likely to be fulfilled. Our aim is to formulate testable hypotheses for reverse aggregation. To test these hypotheses, we will estimate individual demand functions for each household using the SCE data, allowing the households to have individual preferences with respect to price and income change.

We will also use a micro simulation model to calculate the aggregate demand response from an increase in the electricity tax as the sum of all individual demand responses. The micro simulation model is based on econometrically estimated demand functions of electricity, firewood, paraffin and fuel oil for a sample of nearly 3500 households from the Norwegian survey of consumer expenditure (see Halvorsen et al. 2005a). The model takes into account that households differ with respect to stock and capacity of the available heating equipment, electrical appliances, income, household size and other characteristics of the household and residence. It describes the substitution possibilities between energy carriers within each individual household and describes the choice of corner solutions, as zero expenditure is common both for fuel oils and wood. Corner solution is defined as zero consumption given the opportunity to consume a good. We will compare elasticities aggregated by use of the micro simulation model with elasticities from estimations on micro data. This analysis enables us to compare and quantify the potential bias when ignoring problems with reverse aggregation.

5.2 Analyses based on macro data

The estimated elasticities from estimations based on micro and macro data seem to differ systematically (see e.g. Halvorsen et al., 2001). From a theoretical point of view, we expect elasticities to vary when households have heterogeneous preferences. In the literature, the differences in elasticities due to aggregation of micro elasticities have been theoretically discussed (see e.g. Deaton, 1980, Denton and Mountain, 2004). However, the differences following from aggregating micro elasticities and estimating on macro data are usually not discussed in the literature.

An alternative to sum up individual demand response using a micro simulation model, is to correct the estimation on macro data for changes in the distribution of key variables over time (e.g. income, net floor space, number of household members, electric household appliances and heating portfolio) using the approach in Stoker (1986) and Buse (1994). We will estimate an aggregate electricity demand function corrected for such distributional effects, using macro data from the Energy Accounts and National Accounts together with information on distribution of important variables for energy consumption from the SCE 1975 - 2004 and the PHC. The estimated elasticities will be compared to the elasticities resulting from aggregating individual behavior in the micro simulation model. The macro estimation may also be used to predict the past and possible future development in household electricity consumption.

5.3 Past growth of and future development in household energy consumption

We have observed an increase in residential energy consumption from 1960 to 1970, while energy consumption seems to stabilize after that. This stabilization started later for the consumption of electricity, where we saw the same pattern from the mid 1980's (Bøeng, 2005). The question is, what caused this growth and stabilization in residential energy consumption and how will energy consumption develop in the future.

During the last decade, we have conducted several analyses of residential energy consumption financed, among others, by the Norwegian Research Council (summarized in Halvorsen et al., 2005b). We will use this research to determine the most important driving forces in household energy consumption, such as relative energy prices, income, stock of heating equipment, etc. The development in these factors will determine the composition of and development in residential energy consumption.

Our aim is to analyze how changes in the distribution of the main driving forces have affected residential energy consumption in the past. As it is likely that we will experience problems with reverse aggregation, since households are very heterogeneous in their demand responses, we cannot use information from micro econometric analyses only to quantify the different contributions to the development in energy consumption. Thus, we will use the micro simulation model discussed in section 5.1 to quantify the contribution from various driving forces in the past development of household energy consumption. Since the estimated demand functions in the micro simulation model describe how the different driving forces affect demand, it is an ideal tool for analyzing how changes in the distribution of these variables affect the development of household energy consumption. However, we do not have historical information about the development in main driving forces for each individual household. Nor is it practical or meaningful to assume scenarios for future development in the driving forces for each household. We will thus develop an aggregate version of the model, using elements from a method for aggregation of elasticities proposed by Denton and Mountain (2004), to aggregate the demand responses in household groups with identical demand functions. Aggregating and developing the micro simulation model for consistently decomposing the partial effects of different driving forces will require some theoretical work. These analyses will also provide vital information to shed light on the potential for energy savings in the household sector.

We will use the aggregated version of the simulation model to simulate possible paths of development in future energy consumption depending on different scenarios for the development in the driving forces. In the present forecasts from Statistics Norway's CGE model, MSG, households' use of electricity increases significantly, following the general private consumption growth. In light of the fact that Norwegian households' electricity consumption has leveled out over the last decades, this may indicate that MSG put too much weight on the general rise of income. In order to evaluate the predictions from MSG, we will compare these forecasts to the predictions from the micro simulation model and macro estimation (see section 5.2).

References

- Aigner, D. J. (1984): 'Welfare econometrics of peak-load pricing for electricity', *Journal of Econometrics* **26**(1-2), 1-252.
- Baladi, S. M., J. A. Herriges and T. J. Sweeney (1998): 'Residential response to voluntary time-of-use electricity rates', *Resource and Energy Economics*, **20**, 225-244.
- Baltagi, B. H. (2002): *Econometric Analysis of Panel Data*, John Wiley & Sons Ltd, Shichester, England.
- Bartels, R. and D. G. Fiebig (2000): 'Residential End-Use Electricity Demand: Results from a Designed Experiment', *Energy Journal* **21**(2), 51-81.
- Blackorby, C. and A. F. Shorrocks (1995): *Separability and aggregation. Collected works of W. M. Gorman Volume 1*, Clarendon Press, Oxford.
- Buse A. (1994): 'Evaluating the Linearized Almost Ideal Demand System', *Amer. J. Agr. Econ.* **76**.
- Butler, J. S. and R. Moffit (1982): 'A computationally efficient quadrature procedure for the one factor multinomial probit model', *Econometrica* **50**, 761-764.
- Bøeng A. C. (2005): 'Energibruk i husholdninger i Norge. Utvikling fra 1930 til 2003'. *Forthcoming in Rapporter*, Statistisk sentralbyrå.
- Chamberlain, G. (1984): 'Panel data', Chapter 22 in Z. Griliches and M. Intrilligator, eds., *Handbook of Econometrics* (North-Holland, Amsterdam), 1247-1318.
- Deaton A. and J. Muellbauer (1980): *Economics and consumer behavior*, Cambridge University Press: Cambridge.
- Denton F. and D.C. Mountain (2004): 'Aggregation effects on price and expenditure elasticities in a quadratic almost ideal demand system', *Canadian Journal of Economics* **37**: 613-628.
- Ericson, T. (2005): 'Time-differentiated pricing and direct load control of residential electricity consumption'. *Forthcoming in Discussion Papers*, Statistics Norway.

- Faraqui, A. and J. R. Malko (1983): 'The residential demand for electricity by time-of-use: a survey of twelve experiments with peak load pricing', *Energy* **8**(10): 781-795
- Graabak, I. and N. Feilberg (2004): 'Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT. Analyseresultater', TR A5980, SINTEF Energiforskning.
- Grande, O. S. and I. Graabak (2004): 'Forbrukerfleksibilitet ved effektiv bruk av IKT. Kost/nytte-vurderinger og anbefalinger', TR A5979, SINTEF Energiforskning.
- Greene, W. H. (2003): '*Econometric analysis. Fifth edition*', Prentice Hall, New Jersey.
- Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken (2001): 'Hvordan utnytte resultater fra mikroøkonometriske analyser av husholdningenes energiforbruk i makromodeller? En diskusjon av teoretisk og empirisk litteratur om aggregering', *Rapporter 2001/2*, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken (2005a): 'Pris- og inntektsfølsomhet i ulike husholdningers etterspørsel etter elektrisitet, fyringsoljer og ved', *Rapporter 2005/8*, Statistisk sentralbyrå.
- Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken (2005b): 'Norske husholdningers energiforbruk til stasjonære formål 1960 - 2003. En diskusjon basert på noen analyser i Statistisk sentralbyrå', *forthoming in Rapporter*, Statistisk sentralbyrå.
- Heckmann, J. J., (1981): 'Statistical models for discrete panel data', in C.F. Manski and D. McFadden, eds., *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications* (MIT Press, Cambridge), 114-178.
- Kean, M. (1994): 'A computationally practical simulation estimator for panel data', *Econometrica* **62**, 95-116.
- Larsen, B. M. and R. Nesbakken (2004): 'Household electricity end-use consumption: Results from econometric and engineering models', *Energy Economics* **26**(2), 179-200.
- Larsen, B. M. og R. Nesbakken (2005): 'Formålsfordeling av husholdningenes elektrisitetsforbruk i 2001. Sammenligning av formålsfordelingen i 1990 og 2001', *Rapporter 2005/18*, Statistisk sentralbyrå.
- Lau, L. J. (1982): 'A note on the fundamental theorem of exact aggregation', *Economic Letters*, **9**.
- Magnussen, I. and M. Havskjold (2003): 'Forbruksutvikling 2002/2003', *Rapport nr 9/2003*, Norges vassdrags- og elektrisitetsdirektorat.
- Mas-Colell, A., M. D. Whinston and J. R. Green (1995): '*Microeconomic Theory*', Oxford University Press, New York.
- McFadden, D. (2001): 'Economic Choices', *The American Economic Review*, **91**, 351-378.
- Muellbauer, J. (1975): 'Aggregation, Income Distribution and Consumer Demand', *Review of Economic Studies*, **42**, 525-543.
- Muellbauer, J. (1976): 'Community Preferences and the Representative Consumer', *Econometrica*, **44**(5), 979-999.
- Nesbakken, R. (2001): 'Energy Consumption for Space Heating: A Discrete-Continuous Approach', *Scandinavian Journal of Economics*, **103**(1), 165-184.
- Normann, T. M. (2004): 'Samordnet levekårsundersøkelse 2002 - panelundersøkelsen. Dokumenta-sjonsrapport', *Notater 2004/55*, Statistisk sentralbyrå.
- Parti, M. and C. Parti (1980): 'The Total and Appliance-specific Conditional Demand for Electricity in the Household Sector', *The Bell Journal of Economics* **11**(1), 309-21.
- Patric, R. H. (1990): 'Rate structure effects and regression parameter instability across time-of-use electricity pricing experiments', *Resources and Energy* **12**:179-195.

Statistics Norway (1996): 'Survey of Consumer Expenditure 1992 - 1994', *Official Statistics of Norway C317*, Statistics Norway.

Stoker, T. M. (1986): 'Simple tests of distributional effects on macroeconomic equations', *Journal of Political Economy*, **94**(4), 763-795.

Train, K. E., D. L. McFadden and A. A. Goett (1987): 'Consumer attitudes and Voluntary Rate Schedules for Public Utilities', *The Review of Economics and Statistics* **69** (3): 383-391.

Tidligere utgitt på emneområdet

Previously issued on the subject

Norges offisielle statistikk (NOS)

- C 317 Forbruksundersøkelsen 1992-1994.
 C703: Energistatistikk 2000.
 C 188: Historisk statistikk 1994.
 C691: Elektrisitetsstatistikk 1999.
 D 316: Folke- og bolig telling 2001. Hele landet.
 C 524: Folke- og bolig telling 1990. Dokumentasjon og hovedtall.

Notater

- 1993/5: Aaheim, A. Og R. Nesbakken: Data om husholdningers stasjonære energibruk.
 1998/98: Strømsheim Wold, I.: Modellering av husholdningenes transportkonsum for en analyse av grønne skatter. Muligheter og problemer innenfor rammen av en nyttetremodell.
 1999/20: Halvorsen, B. og K. R. Wangen: Dokumentasjon av utdrag fra skattestatistikken 1975 - 1985 for kobling mot forbruksundersøkelsen.
 1999/21: Halvorsen, B.: Dokumentasjon av analysefiler til prosjektet 'Fleksibel energibruk i husholdningene'. Prisdatabaser for varer og tjenester (1975 - 1994), husholdningstariffer for elektrisitet (1975 - 1996) og temperaturdata (1957 - 1996).
 1999/22: Halvorsen, B.: Dokumentasjon av analysefiler til prosjektet 'Fleksibel energibruk i husholdningene'. Forbruksundersøkelsen 1974 - 1995
 1999/75: Halvorsen, B. og M. I. Hansen: Dokumentasjon av utdrag fra skattestatistikken 1974 - 1994 for kobling mot forbruksundersøkelsen
 2001/20: Forbruksundersøkelsen 1996-1998.

Rapporter (RAPP)

- 1992/2: Ljones, A., R. Nesbakken, S. Sandbakken og A. Aaheim: Energibruk i husholdningene. Energiundersøkelsen 1990.
 1999/22: Bøeng, A. C. og R. Nesbakken: Energibruk til stasjonære og mobile formål per husholdning 1993, 1994 og 1995. Gjennomsnittstall basert på forbruksundersøkelsen.
 1999/8: Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken: Energibruk i husholdningene 1974 - 1995. En dokumentasjon av mikrodata etablert for økonomiske formål innenfor prosjektet 'Fleksibel energibruk i husholdningene'.
 2001/2: Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken: Hvordan utnytte resultater fra mikro-

økonometriske analyser av husholdningenes energiforbruk i makro-modeller? En diskusjon av teoretisk og empirisk litteratur om aggregering.

- 2001/23: Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken: Fordelingseffekter av elektrisitetsavgift belyst ved ulike fordelingsbegreper.
 2003/20: Halvorsen, B. og R. Nesbakken: Hvilke husholdninger rammes av høye strømpriser? En fordelingsanalyse på mikrodata.
 2005/8: Halvorsen, B., B. M. Larsen og R. Nesbakken: Pris- og inntektsfølsomhet i ulike husholdningers etterspørsel etter elektrisitet, fyringsoljer og ved.
 2005/18: Larsen, B. M. og R. Nesbakken: Formålsfordeling av husholdningenes elektrisitetsforbruk i 2001. Sammenligning av formålsfordelingen i 1990 og 2001.

Sosiale og økonomiske studier (SØS)

- 108: Skjerpen, T. (2002): Husholdningenes tilpasning, kapittel 5 i P. Boug mfl. (red.): MODAG – en makroøkonomisk modell for norsk økonomi.

Økonomiske analyser (ØA)

- 1993/9: Aasness, J.: Fordelingsvirkninger av barnetrygd og matmoms – en analyse basert på LOTTE-KONSUM.
 1999/5: Halvorsen, B. og B.M. Larsen: Hvilke faktorer har betydning for veksten i husholdningenes elektrisitetsforbruk?
 2003/5: Halvorsen, B. og R. Nesbakken: Hvilke husholdninger ble rammet av vinterens høye strømpriser?
 2005/4: Larsen, B. M. og R. Nesbakken: Formålsfordeling av husholdningenes elektrisitetsforbruk i 1990 og 2001.
 2005/5: Halvorsen B., B.M. Larsen og R. Nesbakken: Lys og varme gjennom 43 år: Energiforbruket i norske boliger fra 1960 til 2003.

De sist utgitte publikasjonene i serien Rapporter*Recent publications in the series Reports*

- 2005/12: Å. Cappelen, F. Foyn, T. Hægeland, K.A. Kjesbu, J. Møen, G. Petterson og A. Raknerud: Årsrapport for skatteFUNN-evalueringen - 2004. 2005. 40s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6780-3
- 2005/13 M. Greaker, P. Løkkevik og M. Aasgaard Walle: Utviklingen i den norske nasjonalformuen fra 1985- til 2004. Et eksempel på bærekraftig utvikling? 2005 44s. 155 kr inkl.mva. ISBN 82-537-6789-7
- 2005/14 D. Ellingsen og V. Sky: Virksomheter som ofre for økonomisk kriminalitet. 2005. 33s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6805-2
- 2005/15 O.F. Vaage: Tid til arbeid. Arbeidstid blant ulike grupper og i ulike tidsperioder, belyst gjennom tidsbruksundersøkelsene 1971-2000. 2005. 33s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6807-9
- 2005/16 J. Epland: Veier inn i og ut av fattigdom: Inntektsmobilitet blant lavinntektsushold. 2005. 36s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6812-5
- 2005/17 A. Thomassen: Byggekostnadsindeks for veganlegg. Kostnadsundersøkelsen. Vekter og representantvarer 2004. 2005. 45s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6813-3
- 2005/18 B.M. Larsen og R. Nesbakken: Formålsfordeling av husholdningenes elektrisitetsforbruk i 2001. Sammenligning av formålsfordelingen i 1990 og 2001. 41s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6816-8
- 2005/19 B.Olsen og M. Thi Van: Funksjonshemmede på arbeidsmarkedet. Rapport fra tilleggsundersøkelse til Arbeidskraftundersøkelsen (AKU) 4. kvartal 2004. 2005. 71s. 180 kt inkl. mva. ISBN 82-537-6818-4
- 2005/20 F.R. Aune, T. Bye og P. V Hansen: Et felles norsk-svensk elsertifikatmarked. 2005. 36s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6828-1
- 2005/21 J. Lyngstad, R. Kjeldstad og E. Nymoen: Foreldreøkonomi etter brudd. Omsorgsforeldres og samværsforeldres økonomiske situasjon 2002. 2005. 164s. 260 kr inkl.mva. ISBN 82-537-6834-6
- 2005/22 R.H. Kitterød: Når mor og far bor hver for seg. Ansvar og omsorg for barna før og etter bidragsreformen. 2005. 104s. 210 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6836-2
- 2005/23 M. Rønsen: Kontantstøttens langsiktige effekter på mødres og fedres arbeidstilbud. 2005. 39s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6838-9
- 2005/24 K. Gabrielsen: Climate change and the future Nordic electricity market - Supply, demand, trade and transmission. 2005. 57s. 180 kr inkl. Mva. ISBN 82-537-6847-8
- 2005/25 A. Langørgen, T. A. Galloway, M. Mogstad og R. Aaberge: Sammenlikning av simultane og partielle analyser av kommunenes økonomiske atferd. 2005. 44s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6849-4
- 2005/26: F. Brunvoll, J. Monsrud, M. Steinnes og A.W. Wethal: Samferdsel og miljø. Utvalgte indikatorer for samferdselssektoren. 2005. 107s. 210 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6851-6
- 2005/27: B.K. Wold, M. Kanyuka, E. Rauan, M. Yute, M. Mkwemba, S. Opdahl and R. Johannesen: Tracking Resource and Policy Impact in Malawi. Incorporating Malawi Poverty Reduction Strategy Paper Indicators, Millennium Development Goals & Poverty Monitoring Across Sectors. 2005. 85s. 180 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6857-5
- 2005/28: B. Hoem (ed.): The Norwegian Emission Inventory. Documentation of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range transboundary air pollutants. 159s. 260 kr inkl. mva. ISBN 82-537-6859-1
- 2005/29: P. Schøning, J.B.M. Apuuli, E. Menyha and E.S.K. Muwanga-Zake: Handheld GPS Equipment for Agricultural Statistics Surveys. Experiments on area-measurements done during fieldwork for the Uganda Pilot Census of Agriculture, 2003. 2005. 23s. 155kr inkl. mva. ISBN 82-537-6864-8
- 2005/30: B. Olsen and M. T. Van: Funksjonshemmede på arbeidsmarkedet. Rapport fra tilleggsundersøkelse til Arbeidskraftundersøkelsen (AKU) 2. kvartal 2005. 2005. 55s. 180 kr. Inkl. mva. ISBN 82-537-6866-4