

Ny ligninger til husholdningernes varmekonsum - forslag til ligninger

Resumé:

På baggrund af varmebalancen for husholdninger opstillet i modelgruppepapiret KKA 18.11.02, opstilles i dette papir ligninger for husholdningernes varmekonsum til estimation af samme. Som noget nyt indgår "gratisvarme" fra elapparater i modelleringen af husholdningernes forbrug af brændsler til opvarmning.

KKA04403.doc

Nøgleord: EMMA, varme, husholdninger

Modelgruppepapirer er interne arbejdsrapporter. De konklusioner, der drages i papirerne, er ikke endelige og kan ændres ved opstillingen af nye modelversioner. Det henstilles derfor, at der kun citeres fra modelgruppepapirerne efter aftale med Danmarks Statistik.

1 Indledning

Dette papir beskriver en ny model for husholdningernes efterspørgsel efter brændsel til opvarmning. Til forskel fra den tidligere model, som kort er gennemgået i DGR 22.07.02, så er det forsøgt i højere grad at inddrage fysiske varmebalancer i forbindelse med opstilling af ligningerne.

De opstillede varmebalancer i papiret KKA 18.11.02 anvendes til at vurdere hvilke betydende fysiske faktorer, der bør indgå i modelligningerne. I selve EMMA-modellen er det ikke målet at have en detaljeret teknisk modellering. Men de anvendte økonometriske relationer skal kombinere de vigtigste fysiske sammenhænge for husholdningernes varmekonsum med adfærdsbestemte påvirkninger af samme.

Målet med de nye ligninger er at forbedre forklaringssevnen og sammenhængen mellem de økonometriske relationer og den fysiske beskrivelse af varmekonsumet.

Først lidt repetition af de opstillede varmebalancer.

Der kan opstilles en varmebalance for den samlede boligmasse i Danmark. Det totale varmebehov for boligmassen kan defineres som al varme tabt gennem klimaskærm (vægge, vinduer, tag osv.) plus al varme tabt via luftskifte (ventilation, udluftning og utætheder) plus varme hældt i kloakken i form af varmt vand.

$$Q_{tot} = Q_{trans} + Q_{vent} + Q_{vv} \quad (1)$$

Q_{tot}	Totalt varmebehov
Q_{trans}	Varmetab gennem klimaskærm (transmission)
Q_{vent}	Varmetab via ventilation (luftskifte)
Q_{vv}	Varmeforbrug i form af tappet varmt brugsvand

Dette totale varmebehov dækkes af forskellige kilder til opvarmning. Den største kilde, der samtidig er den mest iøjnefaldende (ihvertilfælde på varmeregningen), er det brændsel, som tilføres boligens varmesystem. Andre kilder, der i det daglige ikke har lige så stor bevågenhed, er, solen, varme fra mennesker i boligen og varme afgivet fra elektriske apparater i boligen. Grunden til at de andre kilder ikke har så stor bevågenhed hænger jo nok sammen med at de er gratis. Disse ”gratis” varmekilder går derfor ofte under betegnelsen ”gratis varme”.

Hvis der således opstilles en varmebalance for boligmassen, så betyder det at det totale varmebehov fra ligning (1) skal modsvares af en varmetilførsel af samme størrelse (i energienheder). Hvis boligmassens samlede varmetab er kendt, så kan den nødvendige tilførsel af varme fra boligmassens varmesystem beregnes ud fra ligning (2).

$$Q_{netto} = Q_{tot} - Q_{sol} - Q_{el} - Q_{pers} \quad (2)$$

Q_{netto}	Nettovarmeforbrug
Q_{tot}	Totalt varmebehov
Q_{sol}	Solens bidrag til rumopvarmning
Q_{el}	Elapparaternes bidrag til rumopvarmning
Q_{pers}	Personvarme

Givet det nødvendige bidrag fra boligernes varmesystem (her kaldet nettovarmeforbrug) kan beregnes, så kan der regnes tilbage til forbrugt brændsel ved at dividere med varmesystemets samlede virkningsgrad.

$$qJ_{vc} = \frac{Q_{netto}}{\eta_v}$$

$$\Downarrow$$

$$qJ_{vc} = \frac{Q_{tot} - Q_{sol} - Q_{el} - Q_{pers}}{\eta_v} \quad (3)$$

Q_{tot}	Totalt varmebehov
Q_{sol}	Solens bidrag til rumopvarmning
Q_{el}	Elapparaternes bidrag til rumopvarmning
Q_{pers}	Personvarme
η_v	Vægtet udnyttelsesgrad for brændsler
qJ_{vc}	Husholdningernes brændselsforbrug til opvarmning (eksisterende EMMA-variabel)

For at simplificere udtrykket antages bidraget til rumopvarmning fra solen (Q_{sol}) og personer i bygninger (Q_{pers}) at kunne beskrives som konstante over tid. Dermed ligger variationen i det totale varmebehov Q_{tot} og i elforbruget Q_{el} .

2 Fysisk og adfærsbetinget forbrug

De fysiske udtryk for boligmassens varmebalance præsenteret i KKA181102 kan siges, dog på et noget aggregeret niveau, at dække alle forhold, som har indflydelse på varmeforbruget. Dette betyder at adfærdsændringer, der har indflydelse på varmeforbruget vil kunne beskrives via en eller flere af de variabler, der indgår i de fysiske relationer. Har man f.eks. en idé om at lavere energipriser får folk til at bruge mere varme i boligerne, så betyder dette jf. de fysiske relationer at de lavere priser får folk til at tage længere og varmere bade, at de hæver den gennemsnitlige indendørstemperatur, at de lufter mere ud eller at der efterisoleres i mindre grad. Det sidste eksempel med efterisolering kan give anledning til problemer med fortolkningen, da efterisolering er en blanding af et teknisk indgreb og ændret adfærd. Den ændrede adfærd kommer til udtryk ved at folk vælger at investere mere eller mindre i efterisolering afhængigt af de mødte varmepriser. Den tekniske del er udførelsen af selve efterisoleringen.

Mere om fortolkning af ligningerne i afsnit 4.

3 Forslag til ligninger for husholdningernes varmeforbrug

Estimationen af husholdningernes nye ligninger for varmeforbrug foretages på det vi her har valgt at kalde ”opvarmningsbehovet”, som dækker over energiindholdet i det brændsel, q_{Jvc} , der anvendes i husholdningerne (til rumvarme og varmt brugsvand) samt bidraget til rumvarmen fra elektriske apparater.

Hvis vi kigger på varmebalanceligningen (3), så fremgår det, at bidrag fra solindstråling og personvarme ligeledes burde indgå i ligningen. Solindfald og personvarme kan dog med god ret antages som konstante størrelser, og er derfor ikke interessante i forbindelse med estimationen.

Til ligningerne anvendes en almindelig fejlkorrektions model, hvor det effektivitetskorrigerede opvarmningsbehov antages at afhænge det samlede boligareal og en relativ pris på brændsler til opvarmning.

Selve fordelingen af brændselsforbruget på specifikke brændsler (olie, kul, naturgas, el og fjernvarme) foretages som i den gamle model via eksogene fordelingsnøgler.

Opvarmningsbehovet, Ω , defineres således:

$$\Omega \equiv q_{Jvc} \cdot KLIMA + \lambda \cdot q_{Jexvc} \quad (4)$$

q_{Jvc} Brændselsforbrug

$KLIMA$ Variabel, der korrigerer for graddage

λ Andel af el til andet end opvarmning, der bidrager til rumopvarmning

q_{Jexvc} Forbrug af el til andet end opvarmning

Andelen af el til andet end opvarmning, der bidrager til rumopvarmning, er beregnet således:

$$\lambda = 0,75 \cdot \frac{227}{365} \quad (1.5)$$

Dette er baseret på en gennemsnitlig varmesæson på 227 dage om året og at 75% af varmen afgivet fra elapparaterne nyttegøres som rumvarme.

$KLIMA$ -variablen indeholder en korrektion for antallet af graddage. Den tager hensyn til hvor stor en del af brændselsforbruget, der går til rumvarme og som dermed skal klimakorrigeres.

Det er brændselsforbruget, q_{Jvc} , der eksisterer historiske data for. Derfor beregnes en tidsserie for opvarmningsbehovet, Ω , på grundlag af ligning (4) til basis for estimationen.

På langt sigt antages følgende sammenhæng for det ønskede opvarmningsbehov, Ω^* :

$$\log(\Omega^* \cdot dtqjvc) = \alpha \cdot \log(khm2) + \beta \cdot \left(\frac{pqjvc / dtqjvc}{pcp4xhv} \right), \quad (6)$$

$$\text{hvor } dtqjvc = \exp(\omega_1 \cdot t + \omega_2 \cdot t^2), \quad t = 1, 2, \dots$$

$dtqjvc$	Trendled
$khm2$	Boligareal, 1000 m ²
$pqjvc$	Husholdningernes varmepris, kr./TJ
$pcp4xhv$	Prisudtryk for samlet privat forbrug ekskl. boligydelse, mio. kr.
t	Tidsvariabel, $t = 1$ i 1975

Ovenstående relation for opvarmningsbehovet på langt sigt kan omskrives til:

$$\log(\Omega^*) = \kappa + \alpha \cdot \log(khm2) + \beta \cdot \log\left(\frac{pqjvc}{pcp4xhv}\right) - (1 + \beta) \cdot \log(dtqjvc) \quad (7)$$

Kortsigtsrelationen er defineret, som følger:

$$\begin{aligned} D \log(\Omega^*) = & \delta_0 \cdot \alpha \cdot D \log(khm2) + \delta_1 \cdot \beta \cdot D \log\left(\frac{pqjvc}{pcp4xhv}\right) \\ & - \gamma \cdot (1 + \beta) \cdot dtqjvc - \gamma \cdot \left[\log(\Omega_{-1}) - \log((\Omega^*)_{-1}) \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Systemet er estimeret på relationerne (7) og (8) og estimationsresultatet er beskrevet i afsnittet om estimationsresultater.

4 Fortolkning af ligninger

I dette afsnit gennemgås kort de vigtigste ingredienser i ligningerne samt en beskrivelse og fortolkning af deres bidrag og effekt.

4.1 Boligareal

Boligarealet har en direkte indflydelse på varmeforbruget. Flere opvarmede kvadratmeter giver større varmeforbrug. I de eksisterende ligninger (EM-MA02b) antages effekten af boligarealet at være én til én. Dvs. øges boligareal-

let med 1% så øges varmekonsumet ligeledes med 1%. I den foreslåede model er det forsøgt at estimere en parameter på arealet. Dette faldt dog ikke heldigt ud hvorfor det er valgt at fastholde samme effekt som i EMMA02b.

4.2 Pris

Prisledet giver anledning til en reaktion på prisen, der i dette ligningssystem fortolkes som en ren adfærdsmæssig reaktion. Stiger prisen på varme ifht. øvrige forbrugsgoder, så reagerer forbrugerne ved at sænke varmekonsumet inden for de ikke-tekniske muligheder, de råder over. Det forbrugerne kan foretage sig er dermed at sænke indetemperaturen, sænke luftskiftet eller tage færre og kortere varme bade.

4.3 Elforbrug til andet end opvarmning

Elforbruget i husholdningerne til andet end opvarmning bidrager direkte til opvarmningen i fyringssæsonen, da al el tilført el-apparaterne ender som varme i det rum, de er placeret. At vi inkluderer dette led i relationen, betyder dermed at et ændret elforbrug får indflydelse på energikonsumet til opvarmning. Størrelsesordenen af denne effekt er vurderet i KKA 18.11.02.

I den foreslåede ligning indgår husholdningernes elforbrug med en andel af el til andet end opvarmning q_{Jexvc} . Som noget nyt dannes q_{Jexvc} på baggrund af et forbrug af el til opvarmning givet fra Elmodel bolig frem for tidligere som følge af en antagelse om, at 21% af husholdningernes elforbrug anvendes til opvarmning.

4.4 Klima

"Klima"-variablen i EMMA er en funktion af antallet af graddage per år. Årsagen til at det ikke direkte er antallet af graddage, der indgår, er, at det ikke er hele varmekonsumet, som varierer med udetemperaturen. Brug af varmt brugsvand antages at være helt uafhængig af udetemperaturen og dermed af antallet af graddage på et år. I beregningen af "Klima" indgår derfor en vægtning af hvor stor en del af brændslet, der anvendes til opvarmning af det varmebrugsvand. Denne andel antages historisk at være 27%, men i fremskrivninger kan andelen tænkes ændret. F.eks. vil en gennemgribende efterisolering af den danske bygningsmasse betyde at andelen af brændsel anvendt til opvarmning af varmt brugsvand vil udgøre en relativt større andel og at der derfor vil være en mindre del af brændselsforbruget, der skal korrigeres mht. antallet af graddage.

$$KLIMA = (1 - B) \cdot \frac{GD}{\langle GD \rangle} + B \quad (9)$$

GD	Antal graddage på et år
$\langle GD \rangle$	Gennemsnitligt antal graddage per år i estimationsperioden
B	Andel af brændsel, der anvendes til varmt brugsvand

Det skal dog bemærkes at "Klima"-korrektionen kun har relevans i fremskrivninger såfremt den afviger fra normalen. Det vil sige, det har indflydelse i fremskrivninger, hvor der antages klimaændringer over tiden.

I EMMA02b-versionen indgår KLIMA-variablen som en ren eksogen variabel. For at give mulighed for at forskyde forholdet mellem brændselsforbrug, der skal korrigeres for klimaændringer og brændselsforbrug der ikke skal – foreslås det at inkludere ligningen for KLIMA i modellen. Dermed bliver KLIMA endogen og der indføres en ny eksogen variabel, som styrer forholdet, nemlig andelen af brændselsforbruget, der går til opvarmning af varmt brugsvand, B.

4.5 Trend-led

Trend-leddet i ligningen fanger variationer over tid, der ikke forklares af de øvrige variabler. Fortolkningsmæssigt vil dette bl.a. dække ændring i teknisk effektivitet og andet.

Tolkningsmuligheder for trend-led:

- Forbedret virkningsgrad grundet brændsel og/eller teknologiskift
- Mindre varmetab som følge af bedre isolering
- Ændring i luftskifte
- Eventuelle variationer i gratisvarme-bidragene Q_{sol} og Q_{pers} , som ved estimationen antages konstante over tid
- Tekniske vandbesparelser
- Ændret varmtvandsforbrug grundet adfærd.

5 Estimationsresultater

I nedenstående tabel er estimationsresultaterne angivet.

Parameter	Fortolkning	Estimat	Spredning
κ	Konstantled	-0,842366	0,181575
α	Langsigtseffekt, khm^2	1	bundet
β	Priselasticitet, langt sigt	! 0,355483	0,072017
γ	Tilpasningshastighed	0,669854	0,199725
δ_0	Førsteårseffekt, khm^2	1	bundet
δ_1	Priseffekt, første år	0,470866	0,198649
ω_1	Trendparameter, t	0,042329	0,010211
ω_2	Trendparameter, t^2	! 0,000965415	0,000373136
δ_1, β	Priselasticitet, første år	0,167385	–

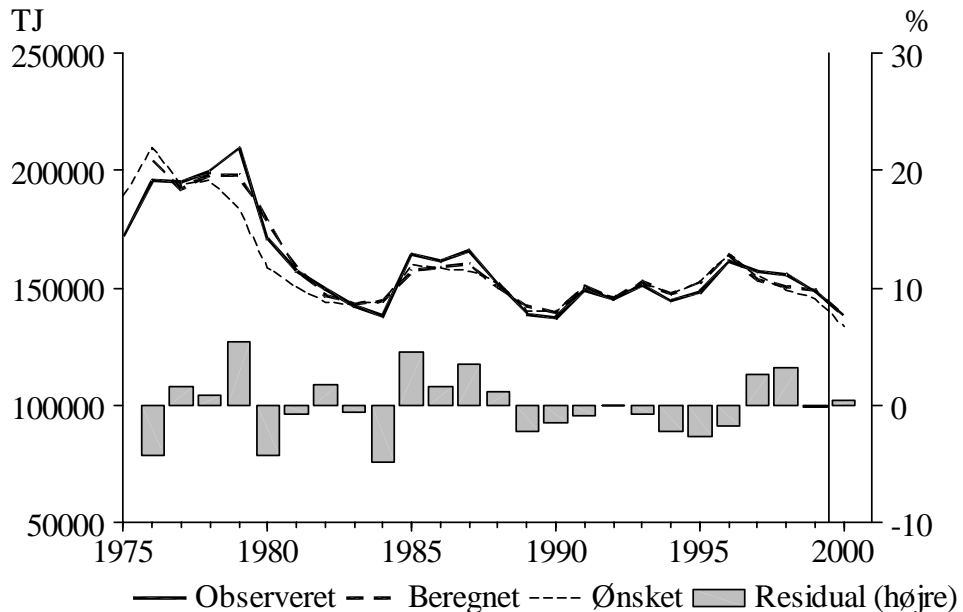
Estimationsperiode: 1975-1999 $s=0,029009$ $R^2=0,70$ $DW=1,98$ $LR=4,32\odot$

Parametrene til boligarealet, α og δ_0 , er bundet til 1, da fri estimation giver urealistiske størrelser af disse parametre. Denne restriktion kan ikke afvises af et LR-test ved et 5%-signifikansniveau. De statistiske egenskaber ved

estimationen er fine, og parameterestimaternes størrelsesorden er i overensstemmelse med forventningerne.

Figur 1 viser den historiske forklaringssevne af **brændselforbruget**, $qJvc$. Det ses, at forklaringssevne er ganske tilfredsstillende.

Figur 1 Historisk forklaringssevne, $qJvc$



Anm.: Trenden er for det foreløbige år fremskrevet med vækstraten i sidste estimationsår.

6 Implementering

Ved implementering af den nye model for husholdningernes varmeforbrug, skal ligning (7) og (8) indgå som estimerede relationer. Forbruget af brændsler til opvarmning, $qJvc$, som er den økonomiske og emissionsmæssige interessante variabel, beregnes derefter som:

$$qJvc = \frac{\Omega - \lambda \cdot qJexvc}{KLIMA} \quad (10)$$

Desuden skal ligningen for KLIMA-variablen (ligning (9)) også indgå i formelfilen for at give mulighed for at fremskrive en udvikling i det årlige antal grad-dage samt at justere den andel af brændslet, som går til opvarmning af varmt brugsvand.

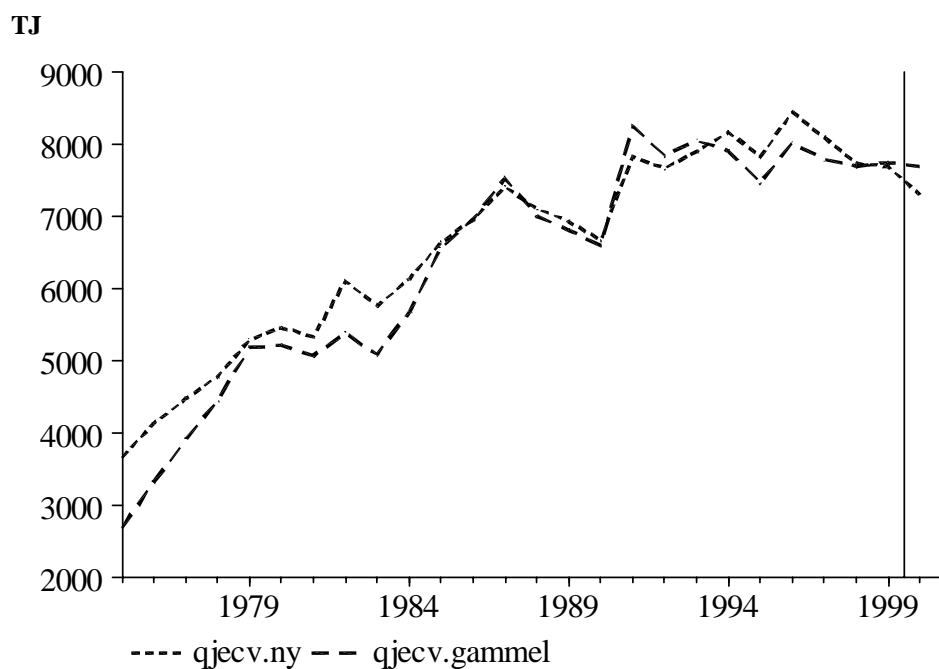
6.1 Data

På datasiden betyder den nye model, at der kommer et par ekstra variabler i EMMA's databank. Det drejer sig om følgende variabler:

- Graddage (kommer fra Statistikbanken)
- Andel af brændsel, q_{Jvc} , som går til opvarmning af varmt brugsvand (er historisk sat til 27%)
- Beregnede værdier for opvarmningsbehovet, Ω

At andelen af el til opvarmning er taget fra Elmodel bolig betyder en mindre ændring i de historiske værdier, som det ses i figur 2.

Figur 2 El til opvarmning.



6.2 Nomenklatur

I nedenstående tabel viser forslag til navngivning

Tabel 2. Forslag til navngivning af nye/ændrede variabler

	Forslag
Ω^* , ønsket opvarmningsbehov	q_{Jzvcw}
Ω , opvarmningsbehov	q_{Jzvc}
B, andel af brændsel, q_{Jvc} , der går til opvarmning af varmt brugsvand	Vvand
q_{Jexvc} , elforbrug til andet end opvarmning	q_{Jexvc}
Klima, klimakorrektion af energiforbrug til rumopvarmning	Klima
GD, antal graddage på et normalår	Graddag
Pcp4xhv, pris på samlet privatforbrug	Pcp4xhv (ADAM)

6.3 Forslag til ligninger

```

() -----
() -----STOKATISKE RELATIONER-----
() -----

() VARMEFORBRUG

FRML_SJRD LOG(QJZVCW)=-0.842366+1.00000*LOG(KHM2)-
0.355483*LOG(PQJVC/PCP4XHV)
      -(1-0.355483)*LOG(DTQJZVC) $

FRML_SJRD DLOG(QJZVC)=1.00000*1.00000*DLOG(KHM2)
+0.470866*(-0.355483)*DLOG(PQJVC/PCP4XHV)
-0.669854*(1-0.355483)*DLOG(DTQJZVC)
-0.669854*(LOG(QJZVC(-1))-LOG(QJZVCW(-1))) $

() -----
() -----IKKE STOKATISKE RELATIONER-----
() -----

FRML_DJRD KLIMA = 1/(((1-VVAND)*GRADDAG)/3216 + VVAND ) $

FRML_GJRD QJVC = (QJZVC-((227*0.75)/365)*QJEXVC)/KLIMA $

FRML_GJRD PQJVC = BQJECV*PQJEC + BQJGCV*PQJGC + BQJHCV*PQJHC
      + BQJSCV*PQJSC + BQJFCV*PQJFC + BQJBCV*PQJBC $

FRML_G QJGC = BQJGCV*QJVC $
FRML_G QJHC = BQJHCV*QJVC $
FRML_G QJSC = BQJSCV*QJVC $
FRML_G QJBC = BQJBCV*QJVC $
FRML_G QJEVC = BQJECV*QJVC $
FRML_G QJFC = (1-BQJECV-BQJGCV-BQJHCV-BQJSCV-BQJBCV)*QJVC $

FRML_GJ_D OFCG = KFCG*QJTC $
FRML_GJ_ ofCe = kfce*qJvec $

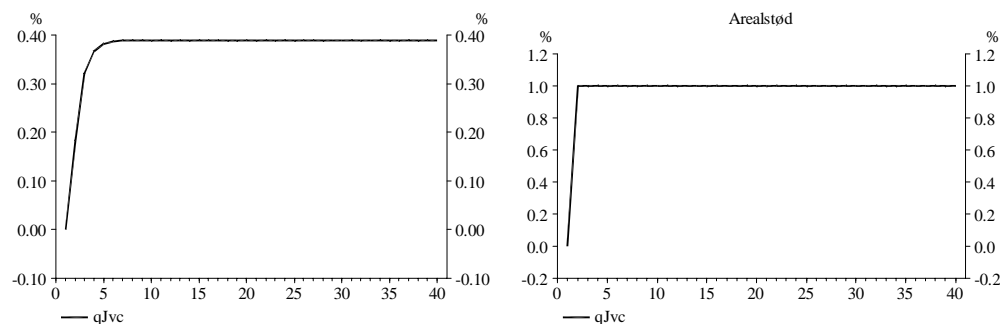
FRML_GJRD QJOC = QJGC + QJHC + QJSC + QJFC + QJBC $
FRML_GJRD PQJOC = ( PQJGC*QJGC+PQJHC*QJHC+PQJSC*QJSC
      +PQJBC*QJBC+PQJFC*QJFC)
      /QJOC $

```

7 Multiplikatorforsøg i isoleret model

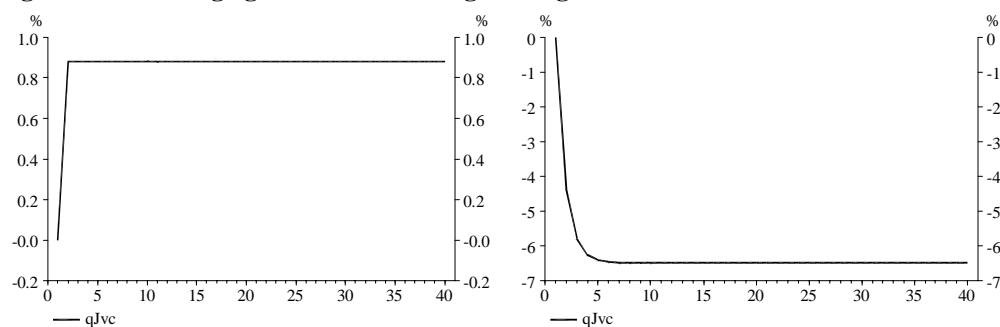
Der er gennemført en række multiplikatorforsøg til aftestning af modellens egenskaber. I figur 3 til venstre er kørt forsøg med en varmepris, der falder med 1%. Dette resulterer i et øget brændselsforbrug på godt 0,4%. På grafen til højre er det opvarmede areal hævet 1%, hvilket som ventet giver anledning til 1% stigning i brændselsforbruget, q_{Jvc} .

Figur 3 Pris og arealstød



I figur 4 til venstre er elforbruget til andet end opvarmning antaget at falde med 10%. Dette giver anledning til en stigning i brændselsforbruget til opvarmning, som følge af en mindre bidrag til opvarmningen fra elapparaterne. Til højre i figur 4 viser grafen udviklingen i brændselsforbruget til opvarmning med en 10% øgning af varmeeffektiviteten. Dvs. det svarer til at husene er blevet isoleret således af varmetabet fra husene falder 10%. Dette giver et fald på godt 6,5% i brændselsforbruget.

Figur 4 Elforbrug og forbedret isolering af boligerne



Alt i alt reagerer modellen som forventet.

8 Konklusion

De nye ligninger har en ganske god forklaringsevne på historiske data. De har desuden den fordel at der tages hensyn til opvarmningsbidraget fra elapparater, hvis omfang og forbrug modelleres i ligningerne for husholdningernes elforbrug, se papiret KKA 12.06.03..

Det foreslås derfor at de præsenterede ligninger inkluderes i EMMA-modellen.

9 Referencer

- KKA 18.11.02 Kenneth Karlsson: *Nye ligninger til husholdningernes varmekonsum – varmebalance.*
- KKA 12.06.03 Kenneth Karlsson, Erik Bjørsted: *Nye ligninger til husholdningernes efterspørgsel efter el.*
- DGR 22.07.02 Dorte Grinderslev, Kenneth Karlsson: *Husholdningernes el- og varmeefterspørgsel, skitser.*