

Nye ligninger til husholdningernes varmekonsum – varmebalance

Resumé:

Dette papir beskriver teori og idéer bag nye ligninger for husholdningernes efterspørgsel efter varme. Desuden vurderes effekten af forskellige bidrag og sammenhænge i forbindelse med husholdningernes varmekonsum. Det er målet med de nye ligninger, at de skal være nemmere at opdaterer med data fra tekniske modeller samtidig med at EMMA skal kunne køres uden at være afhængig af tekniske modeller.

KKK18n02.doc

Nøgleord: EMMA, husholdningers varmekonsum, klima

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

1 Indledning

Den nuværende modellering af husholdningernes varmeefterspørgsel er beskrevet i DGR 22.07.02.

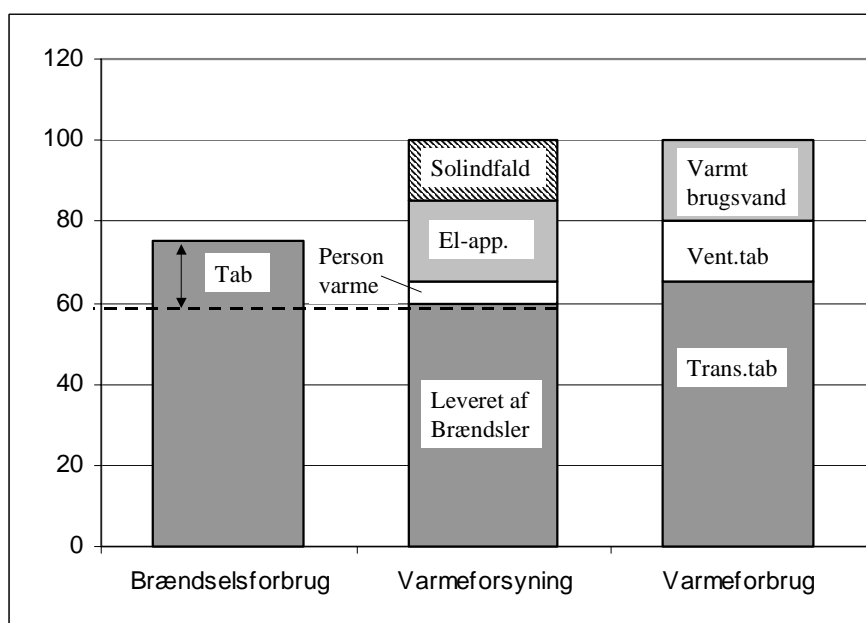
I dette papir opstilles en varmebalance for boligerne, som beskriver boligernes samlede varmetab og ikke kun den energi, der tilføres via varmesystemet.

2 Varmebalance for boligerne

I forbindelse med opstilling af nye ligninger for husholdningernes varmeforbrug, foreslås det her, at de baseres på en varmebalance for boligmassen. Med varmebalance skal forstås, at der gøres rede for alle energistrømme ind og ud af boligerne, som har indflydelse på forbruget af energi til opvarmning (inkl. varmt brugsvand).

Figur 1 illustrerer varmebalancen for en bolig og viser sammenhængen mellem den ønskede ydelse (det totale varmeforbrug) og den anvendte brændselsmængde, som er den værdi, der måles i EMMA.

Husholdninger



Figur 1 En boligs totale varmeforbrug er sammensat af transmissionstab gennem klimaskærmen, ventilationstab samt varmetab i form af varmt brugsvand. Dette forbrug dækkes dels af en række ”gratis” bidrag i form af solindstråling samt varmeafgivelse fra elapparater og personer og dels af et bidrag leveret fra boligens varmesystem. For at boligens varmesystem kan levere den ønskede varmemængde, anvendes en mængde brændsler hvoraf en del af energiindholdet i brændslet går tabt ved konverteringen til den ønskede ydelse.

Den samlede varmebalance for boligerne kan skrives op som følger:

$$Q_{tot} = Q_{trans} + Q_{vent} + Q_{vv} + Q_{sol} + Q_{el} + Q_{pers}$$

⇓

$$Q_{tot} = (1 - B) \cdot qJvc \cdot \eta_v \cdot \frac{GD}{\langle GD \rangle} + B \cdot qJvc \cdot \eta_v + Q_{sol} + Q_{el} + Q_{pers} \quad \text{Ligning 2-1}$$

⇓

$$Q_{tot} = qJvc \cdot \eta_v \cdot \left((1 - B) \cdot \frac{GD}{\langle GD \rangle} + B \right) + Q_{sol} + Q_{el} + Q_{pers}$$

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
Q_{sol}	Solens bidrag til rumopvarmning
Q_{el}	Elapparaternes bidrag til rumopvarmning
Q_{pers}	Personvarme
B	Andel af brændsel anvendt til varmt brugsvand
$GD, \langle GD \rangle$	Antal graddage på et givent år, gennemsnitligt antal graddage
η_v	Vægtet udnyttelsesgrad for brændsler
$qJvc$	Husholdningernes brændselsforbrug til opvarmning

I det følgende gennemgås de enkelte bidragsydere til opvarmning af boligerne. Deres effekt vurderes med henblik på simplificering af beskrivelsen af varmetabet.

2.1 Nettovarmeforbrug for husholdninger

Nettovarmeforbruget er den mængde energi, der aktivt skal tilføres boligerne fra varmesystemet for at opretholde den ønskede indetemperatur samt varmtvandsforbrug. I tekstrammen herunder er det illustreret hvordan nettovarmeforbruget skal forstås – desuden er der under overskrifterne med stikod angivet de effekter og parametre, der er nødvendige for at forklarer fænomenerne.

Varmetab og Varmt vand	!	Gratisvarme	=	Nettovarmeforbrug
Isoleringsstandard		Solindstråling		Energiforbrug til :
Indetemperatur		Personvarme		Rumvarme og
Udetemperatur		El-apparater		Varmt brugsvand
Ventilation				
Varmt brugsvand				

Et udtryk for Nettovarmeforbruget kan dermed opstilles:

$$Q_{netto} = Q_{tot} - Q_{sol} - Q_{el} - Q_{pers} \quad \text{Ligning 2-2}$$

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

Det er vanskeligt, hvis ikke umuligt, at skaffe data vedrørende fordelingen af husholdningernes nettovarmeforbrug på rumvarme og varmt brugsvand. Opdelingen er dog nødvendig for at kunne indføre en række af de korrektioner, til den samlede ligning for varmeefterspørgsel, som det formodes vil give en bedre forklaring af husholdningernes varmeforbrug.

Denne fordeling på rumvarme og varmt brugsvand må derfor beregnes på baggrund af antagelser om det gennemsnitlige forbrug af varmt vand per person. Der kan også regnes den anden vej rundt: Hvis der antages en fordeling af det registrerede brændselsforbrug på rumvarme og varmt vand, så kan varmtvandsforbruget beregnes per person (sådan er det i EMMA i dag). Den sidstnævnte løsning foreslås anvendt i forbindelse med estimationen af en adfærdsrelation.

2.2 Rumvarmeforbrug

Rumvarmeforbrug defineres her som den del af nettovarmeforbruget, der ikke anvendes til varmt brugsvand. Rumvarmeforbruget er dermed den energimængde, der aktivt (via opvarmningssystemet) skal tilføres boligmassen for at opretholde den ønskede indetemperatur. Den tilførte rumvarme tabes fra bygningerne via ventilation og ved transmission gennem klimaskærmen¹.

2.3 Varmtvandsforbrug

For at kunne vurdere hvor stor en del af nettovarmeforbruget, der skal klimakorrigeres er det nødvendigt at kende energiforbruget til opvarmning af det varme brugsvand, da dette forbrug ikke varierer med klimaet. I den nuværende version af EMMA (EMMA02b) antages energiforbruget til varmt brugsvand at udgøre 27% af husholdningernes brændselsforbrug til opvarmning.

Beregning af brændselsforbrug til varmt brugsvand ved simpel fordeling:

$$Q_{vv} = B \cdot q_{Jvc} \cdot \eta_{vv} \quad \text{Ligning 2-3}$$

Q_{vv}	Varmtvandsforbrug målt i energienheder, TJ/år
B	Andel af brændsel anvendt til varmt brugsvand
η_{vv}	Virkningsgrad varmt brugsvandssystem. Ikke nyttgjort tab fra varmtvandsbeholder mm.
q_{Jvc}	Husholdningernes brændselsforbrug til opvarmning (eksisterende EMMA-variabel)

Varmtvandsforbruget kan også beregnes teoretisk under antagelse af et forbrug af et antal liter varmt vand per person.

$$Q_{vv} = VV \cdot U \cdot \rho_{vand} \cdot C_{p_{vand}} \cdot \Delta T \quad \text{Ligning 2-4}$$

Q_{vv}	Varmtvandsforbrug målt i energienheder, TJ/år
VV	Antaget varmtvandsforbrug per person, liter/person-år
U	Befolkningstal (ADAM-variabel)
D_{vand}	Vands massefylde (fysisk konstant)
$C_{p_{vand}}$	Vands varmekapacitet (fysisk konstant)
ΔT	Temperaturforøgelsen af vandværksvand til ønsket temperatur i varmtvandsbeholder, °C.

¹ "Klimaskærmen" er en byggeteknisk samlet betegnelse for en bygnings grænseflader mod klimaet og jorden. Dvs. det dækker både vægge, gulv, vinduer, tag mm.

2.4 Brændselsforbrug

I den nye skitse vil brændselssammensætningen stadig holdes eksogen, da de enkelte husholdninger ligger under for kommunernes varmeplanlægning og derfor som en gennemsnitsbetragtning ikke selv vælger opvarmningsform. Der eksisterer områder, hvor der hverken er planlagt fjernvarme eller naturgas, hvor der reelt vil være en mulighed for at vælge mellem oliefyr, biomasse eller elvarme. Det opvarmede areal i disse områder udgør kun en lille del af det samlede opvarmede areal i Danmark og det er derfor valgt at holde brændselssammensætningen eksogen.

Udnyttelsesgrad af energiindholdet i de anvendte brændsler til levering af den ønskede ydelse. Afhængig af hvilken type brændsel, der anvendes er der stor forskel på denne udnyttelsesgrad. Nedenstående tabel viser nogle bud på, hvad udnyttelsesgraden er i dag for de anvendte brændsler.

År 2002	Variabelnavn	Andel	Udnyttelsesgrad
El til opvarmning	bqJecv*qJvc	bqJecv	$\eta_{el} = 97\%$
Kul til opvarmning	qJsc	bqJscv	$\eta_s = 80\%$
Olie til opvarmning	qJfc	residual	$\eta_f = 85\%$
Gas til opvarmning	qJgc	bqJgcv	$\eta_g = 90\%$
Fjernvarme til opvarmning	qJhc	bqJhcv	$\eta_h = 95\%$
Biomasse til opvarmning	qJbc	bqJbcv	$\eta_b = 60\%$

Brændselsforbruget kan dermed beregnes på grundlag af nettovarmeforbruget, som via en vægtet udnyttelsesgrad omregnes til brændselsforbrug i TJ.

$$qJvc = \frac{Q_{netto}}{\eta_v} \quad \text{Ligning 2-5}$$

$qJvc$ Husholdningernes brændselsforbrug til opvarmning (eksisterende EMMA-variabel)

Q_{netto} Nettovarmeforbrug

η_v Vægtet udnyttelsesgrad for brændsler

Den vægtede udnyttelsesgrad kan beregnes som:

$$\eta_v = bqJecv \cdot \eta_{el} + bqJscv \cdot \eta_s + residual \cdot \eta_f + bqJgcv \cdot \eta_g + bqJhcv \cdot \eta_h + bqJbcv \cdot \eta_b \quad \text{Ligning 2-6}$$

η_v Vægtet udnyttelsesgrad for brændsler

$bqJ\{i\}cv$ Husholdningernes andel af brændsel {i} af det samlede brændselsforbrug til opvarmning ($qJvc$), i = e (elvarme), s (kul), f (olie), g (naturgas), h (fjernvarme), b (biomasse)

$H_{\{i\}}$ Udnyttelsesgrad for brændsel {i}, i = el (elvarme), s (kul), f (olie), g (naturgas), h (fjernvarme), b (biomasse)

2.5 Klimaafhængigt varmeforbrug

Den del af forbruget, der reagerer på klimatiske forhold (dvs. forskellen mellem udetemperaturen og den ønskede indetemperatur), er varmeforbruget som følge af varmetab gennem klimaskærmen samt ventilationstab. Tab af varme via varmtvandsforbrug er ikke afhængig af variationer i klimaet.

Til at korrigere for variationer i klimaet fra år til år, anvendes de såkaldte graddage (GD). GD kan opgøres på forskellig vis, men er kort sagt et udtryk for forskellen mellem middeludetemperatur og indetemperaturen i boligerne. Forskel i opgørelse af GD findes bl.a. i hvorvidt udetemperaturen måles i sol eller skygge, samt hvornår varmesæsonen antages at begynde (dvs. i hvilken periode GD tælles). Hvilken type GD, der anvendes er dog ikke så vigtigt, da det i ligningerne skal indgå som relative ændringer i forhold til et gennemsnitligt antal GD. Danmarks Statistik opdaterer ikke længere GD, hvorfor data må hentes fra DMI eller TI.

2.6 Varmetab via transmission gennem klimaskærm

Det største varmetab fra boligerne udgøres i dag af transmission gennem klimaskærmen. Transmissionstabet størrelse afhænger af klimaskærmens isolerende egenskaber (varmetabskoefficient) samt forskellen på inde- og udetemperatur repræsenteret med antallet af GD. For hele den danske boligmasse kan varmetab via varmetransmission skrives op som følger:

$$Q_{trans} = K \cdot khm2 \cdot GD$$

Eller for fremskrivninger:

Ligning 2-7

$$Q_{trans} = K \cdot khm2 \cdot [GD_{20} - n_{fd20} \cdot (20^{\circ}C - T_i)]$$

Q_{trans}	Varmetab gennem klimaskærm (transmission).
K	Varmetabskoefficient for boligmassen.
$khm2$	Boligmassens areal, $1000m^2$.
GD	Antal graddage.
GD_{20}	Antal graddage ved ønsket indetemperatur på $20^{\circ}C$.
n_{fd20}	Antal dage i fyringssæsonen ved ønsket indetemperatur på $20^{\circ}C$.
T_i	Ønsket indetemperatur, $^{\circ}C$.

Varmetabskoefficienten beregnes på grundlag af arealer for boligmassens klimaskærm (BBR) samt antagelser om isoleringsstandard.

I forbindelse med fremskrivninger kan der være behov for at ændre/variere indetemperaturen. Derfor er der her vist en ligning, hvor der kan indføres ændringer i forhold til standardforudsætningerne, dvs. standard graddage per år og antallet af dage i en gennemsnitlig varmesæson. Ændringen kan foretages

ved at antallet i standardgraddage ændres ifht. afvigelse fra standard indetemperaturen (her sat til 20°C).

2.7 Varmetab via ventilation

Ventilationstabet kan deles op i to bidrag:

1. Der er luftskifte i bygningerne som følge af utætheder i konstruktionen – dette luftskifte må antages at være uafhængigt af brugeradfærd.
2. Luftskifte som følge af mekanisk ventilation og "manuel" udluftning – dette luftskifte er afhængigt af brugeradfærd.

I de følgende ligninger skelnes der dog ikke mellem disse to former for ventilation

$$Q_{vent} = C_{p_{luft}} \cdot \rho_{luft} \cdot V \cdot GD$$

$$V = h \cdot khm2 \cdot N \cdot t$$

$$t = n_{fd} \cdot 24(\text{timer} / \text{døgn}), (\text{timer} / \text{år})$$

Ligning 2-8

Eller for fremskrivninger:

$$Q_{vent} = C_{p_{luft}} \cdot \rho_{luft} \cdot V \cdot [GD_{20} - n_{fd20} \cdot (T_{20} - T_i)]$$

Q_{vent}	Varmetab gennem klimaskærm (transmission).
$C_{p_{luft}}$	Lufts varmekapacitet (fysisk konstant).
D_{luft}	lufts massefylde (fysisk konstant).
V	Volumen af udskiftet luft, m ³ /år.
H	Gennemsnitlig bolighøjde, m.
n_{fd}	Antal dage i fyringssæsonen.
$khm2$	Boligmassens areal, 1000m ² .
N	Antal gange luften I boligerne skiftes per time.
GD	Antal graddage.
GD_{20}	Antal graddage ved ønsket indetemperatur på 20°C.
n_{fd20}	Antal dage i fyringssæsonen ved ønsket indetemperatur på 20°C.
T_i	Ønsket indetemperatur, °C.

2.8 Elforbrugets bidrag til rumopvarmning

Husholdningernes elforbrug (til andet end opvarmning) giver et bidrag til rumopvarmningen, da hele elforbruget omsættes til varme i de elforbrugende apparater. Elforbrug uden for klimaskærmen som f.eks. oplysning af

udearealer, ventilationsmotorer på loftet mm. bidrager naturligvis ikke til rumopvarmning.

Udnyttelsen af varmebidraget varierer over året og er f.eks. 0% uden for varmesæsonen, mens bidraget kan udnyttes 100% i den kolde periode.

Der er derfor to forhold, som bestemmer hvor stor en del af husholdningernes elforbrug, der bidrager positivt til rumopvarmning og dermed reducerer nettovarmeforbruget og brændselsbehovet til opvarmning.

1. Hvor stor en del af elforbruget er over året placeret på tidspunkter, hvor der er et opvarmningsbehov
2. Hvor stor en del af husholdningernes elforbrug ligger inden for klimaskærmen

En generel antagelse er at 75% af elforbruget i boliger bliver nyttegjort som rumvarme i fyringssæsonen.

$$Q_{el} = 0,75 \cdot qJec \cdot \frac{n_{fd}}{365}$$

Ligning 2-9

2.9 Solindstrålingens bidrag til rumopvarmning

Solindstrålingens bidrag til rumopvarmning er afhængig af vinduesarealer samt orienteringen af vinduerne i forhold til verdenshjørnerne.

På baggrund af foreskrifter fra "By og Byg" (tidligere SBI) kan bidraget fra solindstråling beregnes måned for måned over året. Det antages desuden at vinduernes orientering er fordelt ligeligt mellem de fire verdenshjørner.

Bidraget fra solindstråling er i størrelsesorden ca. 5,5 W/m² bolig. Dvs. Beregnet på et år:

$$Q_s = 5,5 \text{ W/m}^2 \text{ bolig} \cdot \text{antal timer i varmesæsonen} \cdot \text{km}^2$$

Eksempel med data fra år 2000:

$$\begin{aligned} Q_s &= 5,5 \text{ W/m}^2 \text{ bolig} \cdot 230 \text{ døgn} \cdot 24 \text{ timer} \cdot 271.301.000 \text{ m}^2 = 8.237 \text{ GWh/år} \\ &= \underline{29.652 \text{ TJ/år}} \end{aligned}$$

2.10 Personvarmebidrag

Hver person, der opholder sig i et lokale med opvarmningsbehov, bidrager positivt til opvarmningen ved afgivelse af kropsvarme. I gennemsnit leverer en person 54 W. Denne effekt nyttiggøres kun til rumopvarmning i boligerne, når personen opholder sig i boligen i varmesæsonen.

Bidraget fra personvarme i husholdningerne kan dermed beregnes som følger:

$Q_p = 54W \cdot \text{dage i fyringssæson} \cdot \text{opholdstid i egen bolig} \cdot \text{befolkningstallet}$

med de anførte antagelser giver dette f.eks. for år 2000:

$$Q_p = 54W \cdot 230 \text{ døgn} \cdot 12 \text{ timer} \cdot 5,337 \text{ mill.} = 795 \text{ GWh/år} = \underline{2.864 \text{ TJ/år}}$$

2.11 Adfærdsafhængige forbrugsparametre

I forbindelse med husholdningernes efterspørgsel efter varme må nogle af de i varmebalancen indgående faktorer bestemmes i adfærdsrelationer. De parametre, i beregningen af varmekonsumet, som her antages at være adfærdsbestemte, er følgende:

- Den valgte indetemperatur
- Luftsifte i boligen
- Antal liter varmt vand, der forbruges per person.

Forklarende variabler i adfærdsrelationerne forventes at være:

- Energifriser
- Privatforbrug

2.12 Beregning af brændselsforbrug til opvarmning

Beregning af selve brændselsforbruget til opvarmning er den variabel, der i ADAM-EMMA sammenhænge er interessant, da der er her omkostningerne og emissionerne er knyttet til. På baggrund af de opstillede udtryk i dette papir kan brændselsforbruget dermed beregnes som følger:

$$q_{Jvc} = \frac{Q_{tot} - Q_{sol} - Q_{el} - Q_{pers}}{\eta_v \cdot [(1 - B) \cdot KLIMA + B]} \quad \text{Ligning 2-10}$$

Q_{tot}	Totalt varmebehov
Q_{sol}	Solens bidrag til rumopvarmning
Q_{el}	Elapparaternes bidrag til rumopvarmning
Q_{pers}	Personvarme
B	Andel af brændsel anvendt til varmt brugsvand
$KLIMA$	Korrektion for variation i klimaet
η_v	Vægtet udnyttelsesgrad for brændsler
q_{Jvc}	Husholdningernes brændselsforbrug til opvarmning (eksisterende EMMA-variabel)

3 Fremtidigt arbejde

Dette papir er det første i rækken af papirer, der beskriver forhold vedrørende nye ligninger for husholdningernes efterspørgsel efter brændsler til opvarmning. Papiret bliver fulgt op af nærmere beskrivelser af datagrundlag, modelskitse og estimation.

4 Konklusion

Papiret giver et summarisk overblik over forhold det kan være relevante at inddrage i modelleringen af husholdningernes efterspørgsel efter varme. Der gives ingen anbefalinger eller foreslås deciderede ligninger til estimation. Dette vil først komme i senere papirer.

5 Referencer

DGR 22.07.02 Dorte Grinderslev, Kenneth Karlsson: *Husholdningernes el- og varmeefterspørgsel, skitser.*