

Förutsägelse av årliga energiförbrukningar från korttidsmätningar

Mats Lyberg

Ahmad Honarbakhsh

FÖRUTSÄGELSE AV ARLIGA ENERGIFÖRBRUKNINGAR
FRAN KORTTIDSMÄTNINGAR

Mats Lyberg
Ahmad Honarbakhsh

Långtidsmätningar från tre månader och uppåt har i många år använts för att bestämma termiska egenskaper och förutsäga energiförbrukning hos byggnader. Detta är inte alltid ett tillfredsställande tillvägagångssätt, då man kan ha begränsad tid eller begränsade resurser för att genomföra erforderliga mätningar. Ett alternativt eller komplementär tillvägagångssätt är att genomföra mera detaljerade korttidsmätningar av energiflöden i en byggnad.

I denna rapport presenteras resultat om förutsägelseförmågan av korttidsmätningar från 44 radhus och fyra flerfamiljshus. Mätningarna omfattade i dessa fall en eldningssäsong, eller mer, varför årsförbrukningen är känd. En genomgång görs av med vilken noggrannhet årsförbrukningar kan förutsägas utifrån korttidsmätningar av olika längd. Det påvisas att den del av energiförbrukningen som beror av utetemperaturen genom ventilations- och ledningsförluster genom byggnadsskalet, beskriven av värmeförlustfaktorn, samt den del av energiförbrukningen som beror av enbart ledningsförluster, beskriven av UA-värdet, båda med rimlig noggrannhet kan förutsägas utifrån en eller ett fåtal veckors mätningar.

I rapporten undersöks även med vilken noggrannhet varmvatten- och elförbrukning samt innetemperaturen under eldningssäsongen kan förutsägas från korttidsmätningar.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R106:1989

ISBN 91-540-5126-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

INNEHALLSFÖRTECKNING

ABSTRACT

1. INLEDNING	Sida	3
2. FÖRUTSÄGELSE AV VÄRMEFÖRLUSTFAKTOR OCH UA-VÄRDE		5
3. FÖRUTSÄGELSE AV ARLIG VARMVATTEN- OCH ELFÖRBRUKNING		14
4. FÖRUTSÄGELSE AV INNETEMPERATUR		17
5. SLUTSATSER		18
REFERENSER		19
APPENDIX 1 BESKRIVNING AV FLERFAMILJSHUSEN		20
APPENDIX 2 BESKRIVNING AV RADHUSEN		23
APPENDIX 3 LINEARITET HOS ENERGISIGNATURMODELLER		27

ABSTRACT

Long term simple measurements and data from utility records have for several years been used to predict the energy consumption of buildings. This is not always a satisfactory procedure as there may be a limited period of time available to assess the energy performance of a building. An alternative is to carry out short term detailed measurements of the energy vectors in a building.

Here is presented conclusions on the predictive power of short term measurements based on data records from 44 townhouses and 4 apartment buildings monitored during one year. It is demonstrated that the temperature dependent part of the energy consumption, the Heat Loss Factor (describing ventilative and conductive heat losses), and the effective UA-value (describing conductive losses only) of the building envelope can both be predicted with a reasonable accuracy by monitoring a building for one or a few weeks.

It is, also, investigated how accurately the annual service hot water consumption, the annual domestic electricity consumption, and the average indoor temperature of the heating season can be predicted from short term measurements.

1. INLEDNING

Enkla långtidsmätningar och data från energiverk har under ett flertal år använts för att förutsäga termiska egenskaper och energiförbrukning hos byggnader. Om man har en begränsad tid till sitt förfogande för att utvärdera energiegenskaper hos en byggnad, kanske långtidsmätningar inte är en framkomlig väg, och data från energiverk har som regel inte tillräcklig tidsupplösning. Ett alternativt eller komplementär tillvägagångssätt kan då vara att utföra mera detaljerade korttidsmätningar av energiflöden i en byggnad.

Vi har undersökt stabiliteten och noggrannheten hos förutsägelser av uppvärmningsenergi baserade på korttidsmätningar och enkla modeller med parametrar som beskriver en byggnads termiska egenskaper såsom värmeförlustfaktorn (VFF) och UA-värdet, samt av energiflödena varmvattenförbrukning och elförbrukning och slutligen den genomsnittliga innetemperaturen under eldningssäsongen.

Som mått på noggrannhet hos använd metod för förutsägelser baserade på korttidsmätningar har tagits det genomsnittliga procentuella felet i en förutsägelse av ett värde gällande för år eller eldningssäsong. Stabiliteten hos en metod bedöms genom att undersöka hur förutsagt värde varierar när korttidsdata från olika delar av eldningssäsongen utgör grund för förutsägelsen.

För en analys av förutsäggelseförmåga behövs data från några olika typer av bostadshus med olika uppvärmnings- och ventilationssystem, olika isolernivåer och olika grad av beroende av fria energitillskott som passiv solenergi och tillskott till värmebalansen från brukarberoende energiflöden som varmvatten- och elförbrukning. Att föredra är data som är detaljerade, noggranna, fullständiga och pålitliga och täcker minst en eldningssäsong. Mätningar som alstrat sådana data är inte alltför vanliga.

Vi har använt data från två undersökningar (1,2) som bedömts i tillräcklig omfattning uppfylla ovanstående krav, en omfattande mätningar på två flerbostadshus under två eldningssäsonger och en

undersökning omfattande mätningar på 44 radhus, byggnadstekniskt identiska, men med olika system för värmeåtervinning, ventilation och varmvattenframställning (se Tabell 1). I senare fallet omfattar mätningarna ett år. Vad gäller flerbostadshusen vidtogs mellan de två eldningssäsongerna sådana omfattande förändringar i driften, även inkluderande energisparkampanjer, att vi vid beräkning av metodfel betraktat data som härrörande från fyra flerbostadshus. De olika bostadshusen och mätningar beskrivs närmare i Bilaga 1 och 2.

TABELL 1

Olika system i radhusen

	1	2	3
	<u>Frånluft</u>	<u>Värmeväxlarhus</u>	<u>Värmepumphus</u>
Värmeåter- vinning	-	Värmeväxlare frånluft	(se nedan)
Ventilation	Frånluft	- - - - Från- och tilluft	- - - -
Varmvatten	Värmeväxlare från fjärrvärme	Värmeväxlare från fjärrvärme	Värmepump ansl till frånluft. Elektrisk backup och och lagring i tank.

2. FÖRUTSÄGELSE AV VÄRMEFÖRLUSTFAKTOR OCH UA-VÄRDE

För att beräkna Värmeförlustfaktorn behöver man värdet av tillförd energi som bidrar till byggnadens värmebalans, tillförd nettoenergi. Denna beräknas genom:

1. En bestämning av den totala energi som tillförts byggnaden genom uppvärmningssystemet, elektrisk utrustning och fria energitillskott som solvärme och metabolisk energi, och genom att
2. Från den totala tillförda energin subtrahera använd energi som inte bidrar till byggnadens värmebalans avseende ventilations- och ledningsförluster såsom energi använd för varmvattenframställning (ej lagring), energi använd av frånluftfläktar, passiv uppvärmning av kallvatten, etc.

Värmeförlustfaktorn (VFF) för en byggnad definieras som förhållandet mellan tillförd nettoenergi per tidsenhet och temperaturskillnad inne-ute. Om den valda tidsenheten utgör en hel eldningssäsong, är tillförd nettoenergi nära relaterad till den utetemperatur-beroende delen av den totala energiförbrukningen. För de kortare tidsintervall som används här, är detta inte nödvändigtvis sant beroende på att i den totala energiförbrukningen t.ex. energi använd för varmvattenframställning kan vara korrelerad med utemperaturen.

Om ventilations- och infiltrationsförluster är kända eller kan uppskattas, kan dessa subtraheras från tillförd nettoenergi och kvar blir den energi som skall utgöras av ledningsförluster genom byggnadsskalet. Denna energi för en vald tidsenhet, dividerad med temperaturskillnaden inne-ute under samma tidsenhet, definierar byggnadens UA-värde.

I princip kan värmeförlustfaktorn bestämmas genom flera olika metoder. Utöver nettoenergitoden beskriven ovan, skall vi också använda oss av energisignaturmetoden (3). Användningen av denna

senare metod är i dag mera vanlig än metoden med tillförd nettoenergi i analyser av byggnaders värmebalans.

Vid användning av metoden med tillförd nettoenergi, avbildas i ett diagram tillförd nettoenergi mot den ackumulerade temperaturskillnaden inne-ute, uttryckt i t.ex. graddagar. Modellen man då använder har endast en parameter, värmeförlustfaktorn VFF. Värdet av VFF erhålls genom att den identifieras med lutningen av den räta linjen genom origo i nettoenergi-graddags diagrammet (se Fig. 1). UA-värdet erhålls på ett liknande sätt.

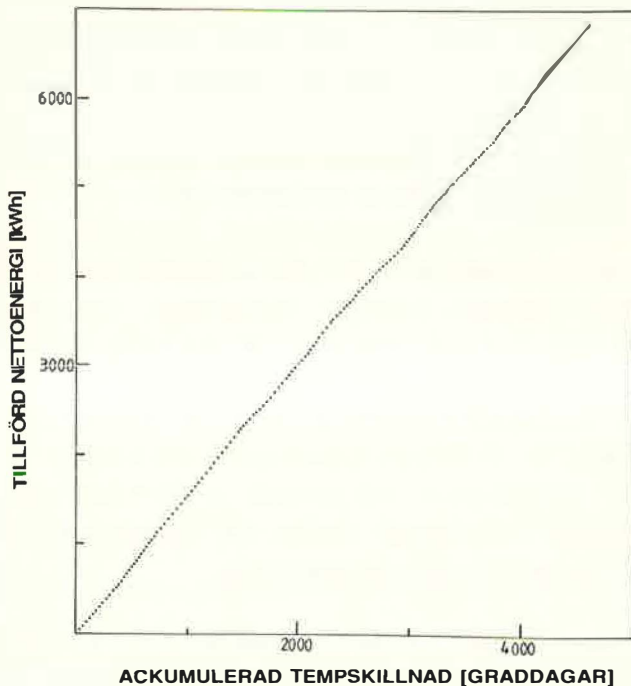


Fig. 1 Tillförd Nettoenergi mot ackumulerad inne-ute temperaturskillnad för flerf. hus # 1 (182 dagar)

Termen energisignatur syftar i allmänhet på en teknik där den genomsnittliga effekten hos uppvärmningssystemet i ett diagram plottas mot den genomsnittliga utetemperaturen, eller ibland mot temperaturskillnaden inne-ute (se Fig. 9). Genomsnittet avser ofta en period av en vecka eller en månad. Ofta ingår i den beräknade medeleffekten energiflöden andra än energi från

uppvärmningssystemet, t.ex. för byggnader med fjärrvärme- eller oljeuppvärmning energi för varmvattenframställning. En mera detaljerad beskrivning av användningen av energisignaturmetoden återfinns i t.ex. (4).

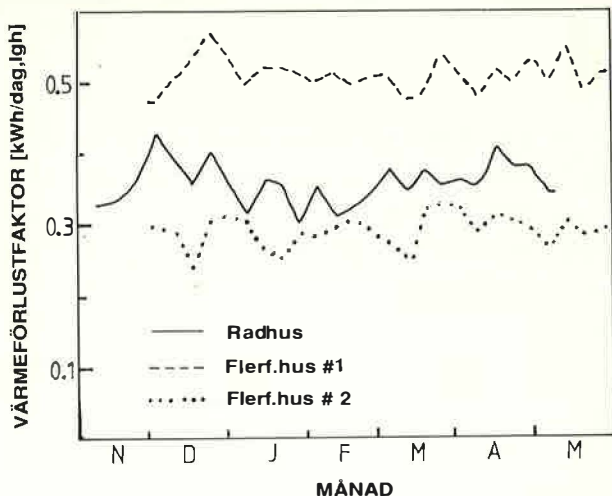


Fig. 2 Stabilitet hos Värmeförlustfaktor under eldnings-säsongen. Angivna värden är baserade på sju dagars mätningar.

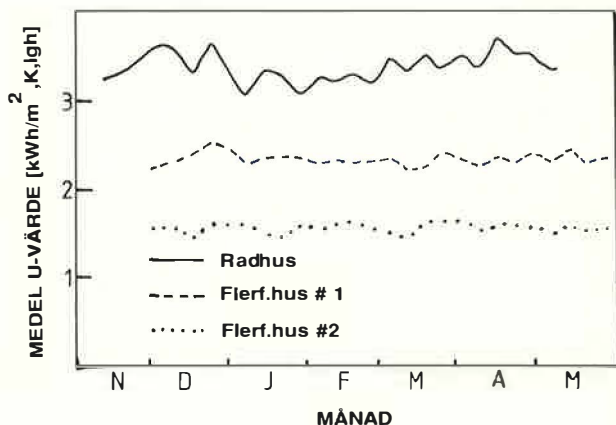


Fig. 3 Stabilitet hos medel U-värde under eldnings säsongen. Angivna värden är baserade på sju mät dagar.

Vid användning av energisignaturmetoden har vi identifierat värdet av VFF med en av de två parametrarna i energisignaturmodellen, nämligen lutningen av den räta linje som erhålles genom passning till punkterna i medeleffekt-temperaturskillnad diagrammet.

Värdet av värmeförlustfaktorn och UA-värdet bestämd genom användning av nettoenergimetoden på de studerade byggnaderna är givet i Fig. 2 och 3. Värdena i diagrammen är baserade på sjudagarsperioder. Värdena håller sig rimligt konstanta över eldningssäsongen. En mera detaljerad analys avslöjar inte heller någon allmän trend i data. Stabiliteten hos metoden med nettoenergi förefaller god.

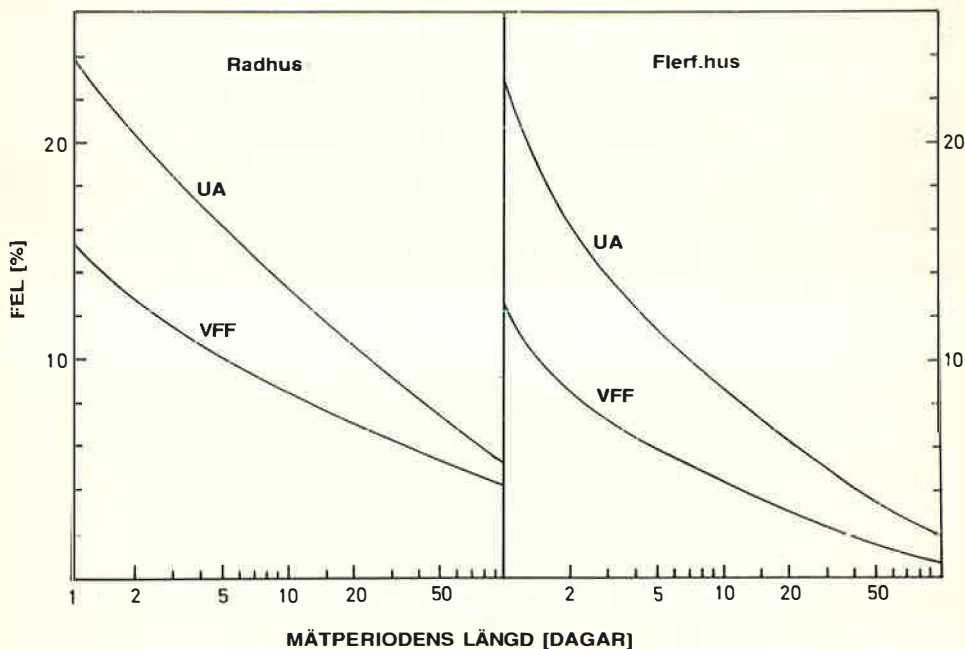


Fig. 4 Medelfel (en standardavvikelse) av förutsagd årlig Värmeförlustfaktor och UA-värde från korttidsmätningar för ett radhus (vänster) och ett flerf.hus (höger).

Det genomsnittliga felet vid en förutsägelse av VFF- eller UA-värdet under en eldningssäsong för ett enskilt radhus eller flerbostadshus, grundat på en korttidsmätning, visas i Fig. 4. För ett radhus kan eldningssäsongvärdet på VFF med data från en veckas mätningar förutsägas med en noggrannhet bättre än 10% och

UA-värdet med en noggrannhet bättre än 15%. Motsvarande värden för ett flerbostadshus är respektive 5% och 10%.

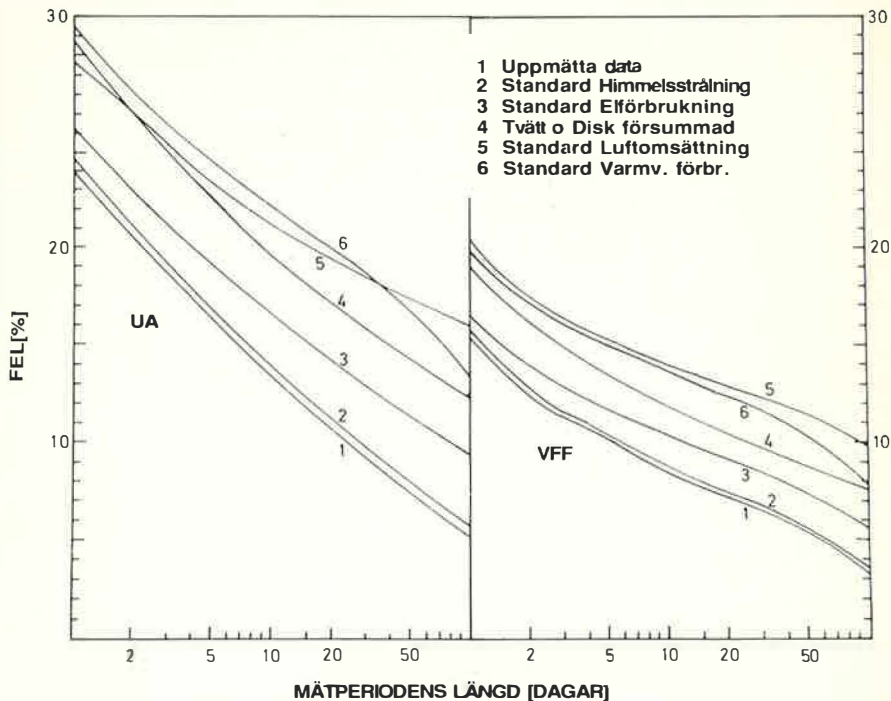


Fig. 5 Inverkan på storlek av fel i förutsagd årlig Värmeförlustfaktor och UA-värde om värdet av ett energiflöde åt gången ersätts med ett standardvärde.

Resultatet av att ersätta ett uppmätt energiflöde för radhus med ett teoretiskt antaget värde visas i Fig. 5. Bortsett från soltillskottet, vilket är litet för dessa radhus (se App. 1), kan användningen av ett, ävenså rimligt, antaget värde öka felet i Vff-värdet med 2 till 6%. Antagna värden har utgjorts av medelvärden för hus av denna typ (el- och varmvattenförbrukning), normvärden (ventilation) eller teoretiskt beräknat värde (instrålning).

Felet vid en förutsägelse av VFF- eller UA-värdet för de tre grupperna av radhus med olika installationer är ganska lika om man betraktar mätperioder längre än en vecka. Felen visas i Fig. 6. Det erhållna VFF- och UA-värdet för en eldningsssäsong ges i Tabell 2. UA-värdet för de olika grupperna överensstämmer ganska väl med varandra och med det UA-värde som kan beräknas från konstruktionsdata. Detta värde är mellan 1.85 och 1.95 kWh/dag,K. Osäkerheten i detta värde orsakas främst av viss osäkerhet rörande det exakta U-värdet för fönster och osäkerhet beträffande markens värmeledningsförmåga.

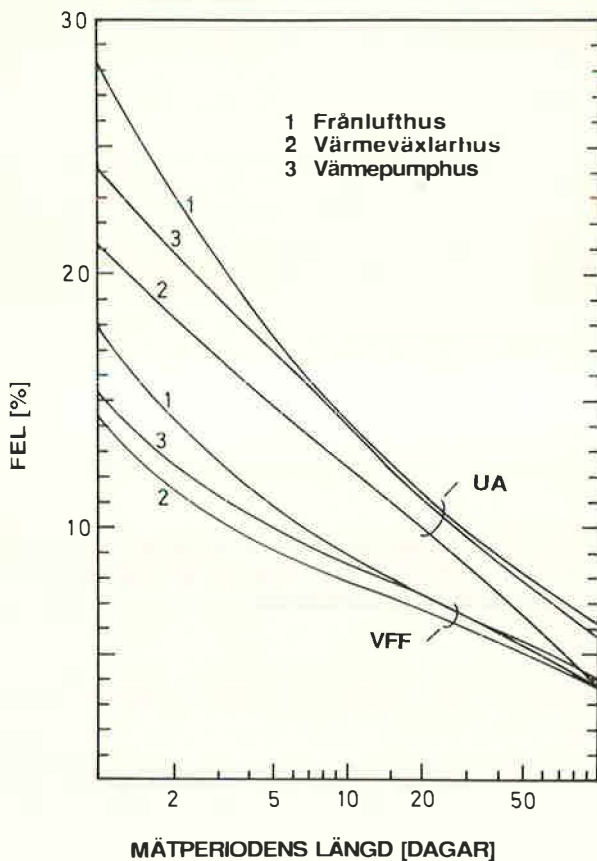


Fig. 6 Medelfel (en standardavvikelse) av förutsagd årlig Värmeförlustfaktor och UA-värde från kortidsmätningar för radhus med olika värmeåtervinnings-, ventilations- och varmvattensystem.

TABELL 2

Värmeförlustfaktor och UA-värde för radhusen [kWh/K.dag]

	VVF	UA-värde
Frånluftus	3.00+-0.34	1.80+-0.32
Värmeväxlarhus	3.35+-0.38	1.96+-0.24
Värmepumphus	3.32+-0.40	1.92+-0.25
Samtliga hus	3.26+-0.39	1.91+-0.26

Stabiliteten hos energisignaturmetoden visas i Fig. 7, där stabiliteten hos energisignaturmodellens parametrar A och B jämförs med stabiliteten hos VVF beräknad med nettoenergimetoden. Parametrarna A och B definieras av sambandet $P=A*\Delta T+B$, där P är medeleffekten för den tid varje datapunkt representerar och ΔT är motsvarande temperaturskillnad.

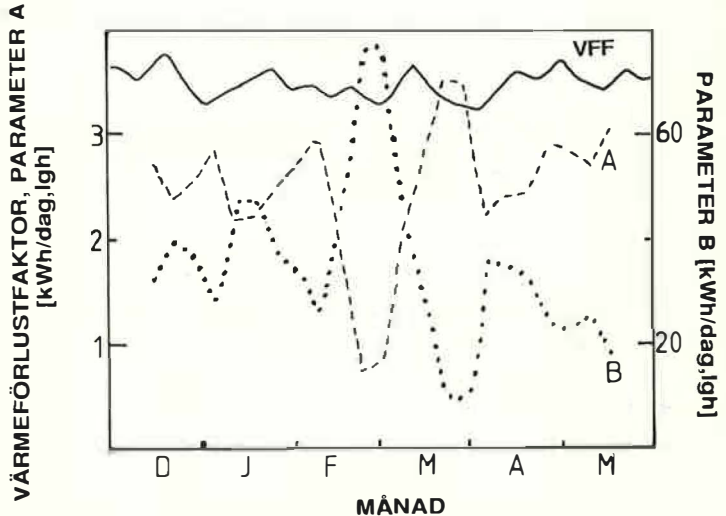


Fig. 7 Stabilitet av beräknad Värmeförlustfaktor (VVF) jämförd med stabilitet av energisignaturparametrar A och B. Angivna värden är baserade på 7 mättdagar (VVF) respektive 28 mättdagar (energisignatur). Data för flerf.hus # 1.

Samma data ligger till grund för beräkningar med båda modellerna, dock med skillnaden att värdet av VVF beräknats från 7 dagars mätningar, medan parametrarna A och B beräknats med 28 dagars data som grund. Anledningen är att felet med energisignaturmetoden blir alltför groteska för så korta perioder som en vecka. Parameter A är den parameter som närmast skall motsvara värmeförlustfaktorn.

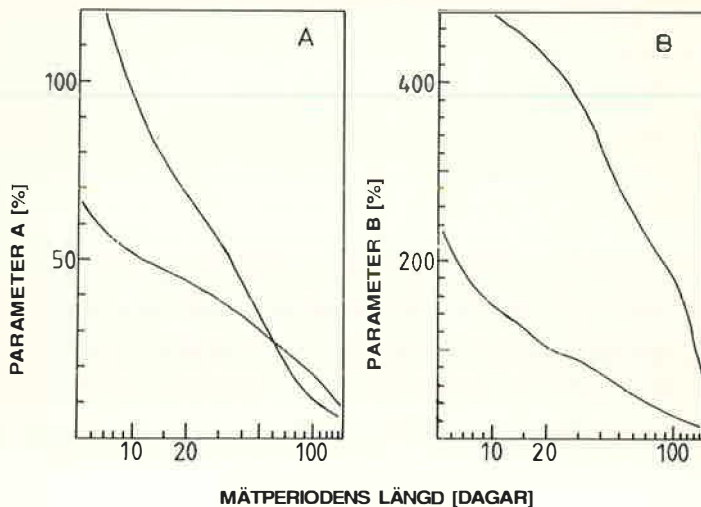


Fig. 8 Medelfel (en standardavvikelse) i förutsägelse av årligt värde av energisignaturparametrar A (vänster) och B (höger) från kortidsmätningar.

Det finns uppenbarligen en hög grad av avhängighet mellan parametrarna A och B i energisignaturmodellen. Med de skalor som använts i Fig. 7, får man närmast intrycket att de är varandras spegelbilder. Denna instabilitet gör också att felet i förutsägelsen av parametrarnas årsmedelvärde blir mycket stort. Felet för mätperioder av olika längd visas i Fig. 8. Felet är större än 10% även för en mätperiod av tre månader. Orsaken är främst att datapunkterna i ett energisignaturdiagram ofta inte faller på en rät linje som modellen förutsätter. Detta är väl känt (se App. 3), men kan vara mycket svårt att upptäcka med blotta ögat p.g.av den stora spridningen av datapunkter. I Fig. 9 visas detta genom

en beräkning av ett 28-dagars glidande medelvärde av medel-effekten vilken avbildas tillsammans med veckomedelvärden av effekten för flerbostadshus 2.

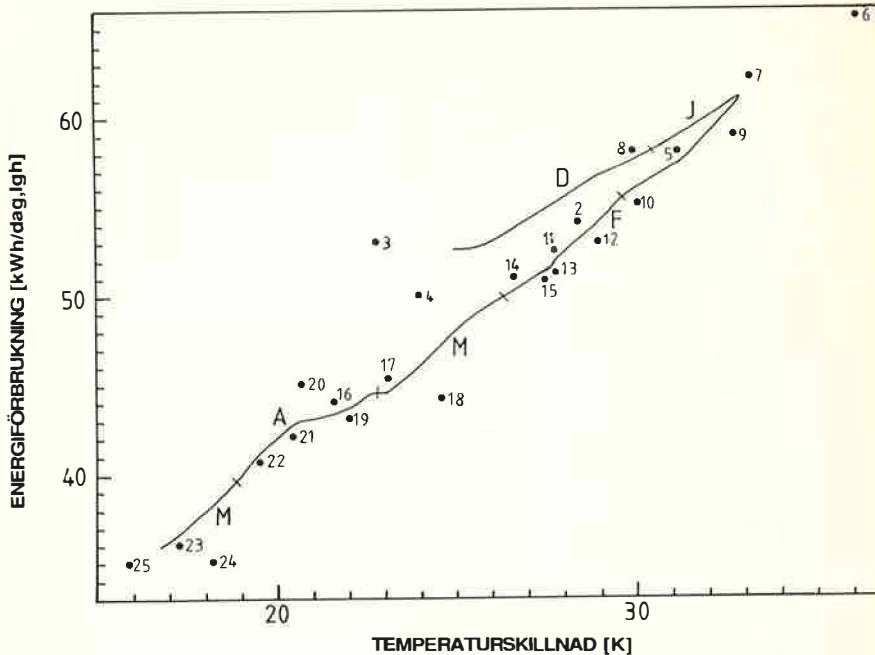


Fig. 9 Energisignatur för flerf.hus # 2. Prickar med tillhörande tal representerar veckomedelvärden och veckonr i mätperioden. Fulldragen linje är ett glidande 28-dagars medelvärde där bokstäver anger månad. Kurvan avslöjar att data inte ligger på en rät linje som antas för energisignaturen.

3. FÖRUTSÄGELSE AV ARLIG VARMTATTEN- OCH ELFÖRBRUKNING

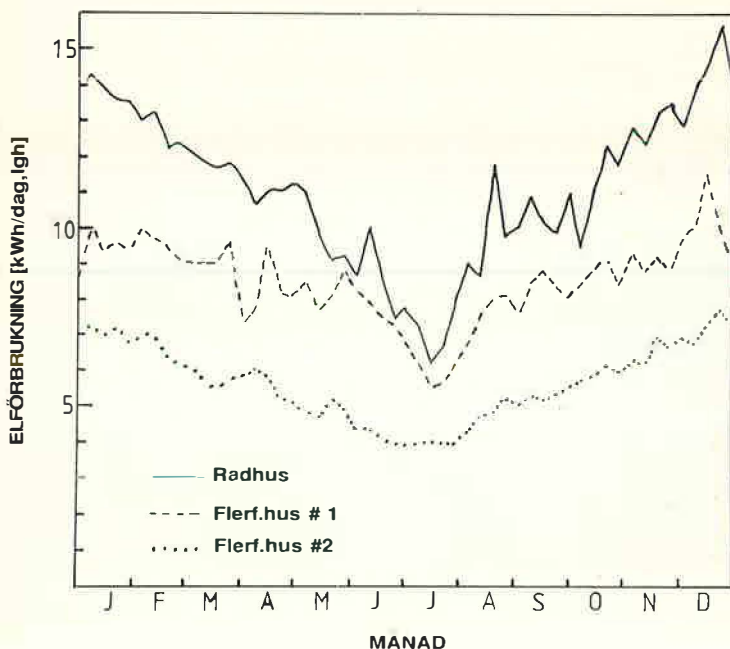


Fig. 10 Förbrukning av hushållsel (veckomedelvärden).

Förbrukningen av el och varmvatten varierar, i likhet med för andra bostadshus, avsevärt under årets lopp för de studerade byggnaderna (se Fig. 10 och 11). Variationen i varmvattenförbrukning är ungefär vad man skulle vänta, med ungefär en tredjedel av variationen orsakad av temperaturvariationer på det lokala kallvattnet under året. Variationen i elförbrukning är stor, men inte onormalt stor för de latituder där byggnaderna är belägna, en stor del av variationen förklaras normalt av skillnader under året i användning av el för belysning och mindre antal hemmavarande under sommaren.

På grund av de stora säsongsvariationerna är det inte möjligt att använda mätdata annat än från valda delar av året för att förutsäga årsförbrukningen. Man kan t.ex. inskränka sig till att

använda data från månader då medelförbrukningen ligger nära årsmedelförbrukningen. Detta betyder inte att man behöver känna till årsvariationen i förväg. Oftast har byggnader som är av ungefär samma typ och belägna i samma land eller klimatzon en likartad årsvariation, även om medelförbrukningens storlek kan variera mycket från en byggnad till en annan. För de byggnader som studeras här, har månaderna mars och oktober en medelförbrukning av el som ligger nära årsmedelförbrukningen. För varmvattenförbrukningen är motsvarande perioder april-maj och november månad.

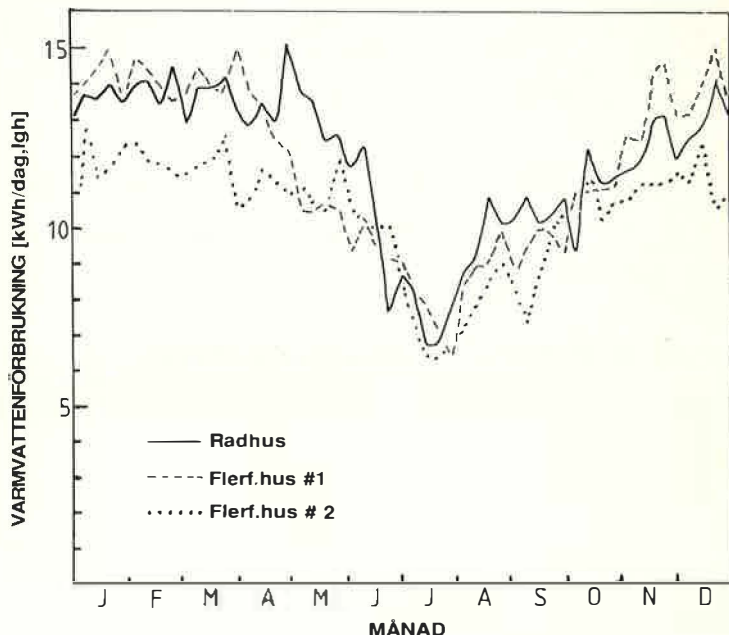


Fig. 11 Förbrukning av varmvatten (veckomedelvärden)

Genom att använda data från sju dagar av dessa månader, kan den årliga elförbrukningen förutsägas med en noggrannhet bättre än 10% för ett flerbostadshus och omkring 15% för ett radhus. Motsvarande värden för varmvattenförbrukning är ungefär desamma som för elförbrukning. För ett radhus sjunker medelfelet markant om mätperioden utsträcks till två veckor eller mera. Felen för olika längd av mätperioden visas i Fig. 12.

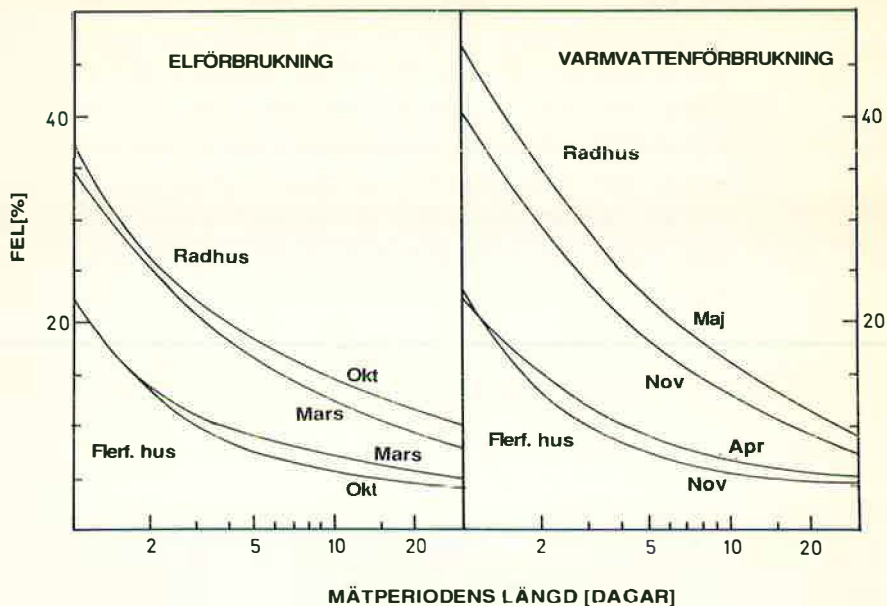


Fig. 12 Medelfel (en standardavvikelse) i förutspådd årsförbrukning av el (vänster) och varmvatten (höger) från korttidsmätningar under månader med medelförbrukning nära årsmedelförbrukning.

4. FÖRUTSÄGELSE AV INNETEMPERATUR

Den genomsnittliga innetemperaturen under eldningssäsongen kan förutsägas utifrån korttidsdata från olika delar av denna. Resultaten visas i Fig. 13. Med en mätperiod av en vecka, kan den genomsnittliga innetemperaturen i ett flerbostadshus förutsägas med en noggrannhet av 0.5 K. Motsvarande siffra för ett radhus är 0.8 K.

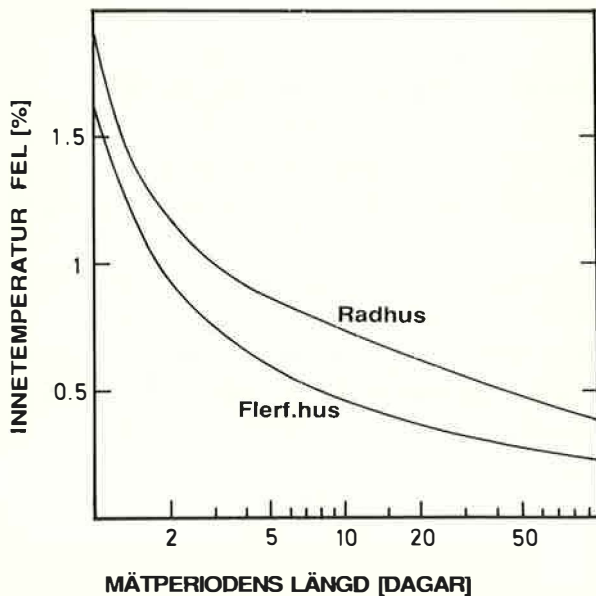


Fig. 13 Medelfel i förutsagd innetemperatur under eldningsäsongen från kortidsmätningar.

5. SLUTSATSER

Det har visats att med mätningar från en vecka som underlag och med nettoenergimetoden, kan Värmeförlustfaktorn för ett flerbostadshus bestämmas med en noggrannhet bättre än 5% och för ett radhus 10%. Motsvarande noggrannheter för UA-värdet är 10% och 15%. Nettoenergimetoden ger förutsägelser som är stabila och inte beroende av inder vilken del av eldningssäsongen mätningarna utförts. Energisignaturmetoden är alltför instabil för att användas på korttidsmätningar, mätperioden bör omfatta en hel eldningssäsong.

Med data från valda delar av året kan den årliga varmvattenförbrukningen från en veckas mätningar förutsägas med en noggrannhet bättre än 15% för ett radhus och 7% för ett flerfamiljshus. Motsvarande noggrannheter för elförbrukning är ungefärligen desamma.

Innetemperaturen under eldningssäsongen kan förutsägas från en veckas mätningar med en noggrannhet bättre än 0.5 K för ett flerbostadshus och 0.8 K för ett radhus. I vissa fall kan noggrannheten förbättras något, i andra fall obetydligt, om mätperioden förlängs, se Tabell 3 och Fig 4, 12 och 13.

TABELL 3

Medelfel vid korttidsmätningar på byggnader

<u>Mättid</u>	<u>Värmeförlustfaktor</u>	<u>UA-värde</u>	<u>Varmvattenförbrukning</u>	<u>Elförbrukning</u>	<u>Innetemperatur</u>
Flerf.hus:					
1 vecka	5 %	10 %	7 %	7 %	0.5 K
2veckor	4	7	6	6	0.4
3veckor	3	6	5	5	0.35
Radhus:					
1 vecka	9 %	15 %	15 %	16 %	0.8 K
2 veckor	8	12	12	12	0.65
3 veckor	7	10	10	11	0.60

REFERENSER

1. Adamsson B., Hämler J. och Mandorff S.: Energibesparing, Rapport R23:1975, Statens Råd för Byggnadsforskning 1975.
2. Svensson A., Blomqvist C. och Mellin A.: Värmeåtervinning ur ventilationsluft, Rapport M85:10, Statens Institut för Byggnadsforskning, 1985
3. Korsgaard V.: Wärmeersparnisse durch bessere Wärmedämmung an Einfamilienwohnhäusern, Gesundheits-Ingenieur, Heft 8, p. 238-242, 1960,
4. Lyberg M.D. [Ed.]: Source Book for Energy Auditors, International Energy Agency (IEA) Energy Conservation Report, Document D11:1987, Statens Råd för Byggnadsforskning, 1987
5. Lyberg M.D. and Fracastoro G.V.: An Overview of the Guiding Principles Concerning Design of Experiments, Instrumentation and Measuring Techniques, Proc. of the Nat'l Workshop on Field Data Acquisition for Building and Equipment Energy-Use Monitoring, Dallas, Texas Oct. 16-18 1986, U.S. Department of Energy, 1986.

Som underlag har använts mätdata från två mätprojekt (1) vardera omfattande flerfamiljshus med tre våningar, varav nedersta våningen är en souterrainvåning. Mätningarna omfattade två eldnings säsonger. Data för installationer och isolernivå återfinns i Tabell 4.

TABELL 4

Data för flerfamiljshusen

	Byggnad 1	Byggnad 2
Antal lgh	36	30
Uppvärmd golvyta (m ²)	2760	2167
Ytterväggar yta (m ²)	1190	1000
Ytterväggar U-värde (W/K,m ²)	0.37	0.27
Innertak yta (m ²)	1185	860
Innertak U-värde (W/K,m ²)	0.25	0.17
Källaryta (m ²)	1185	860
Källaryta U-värde (W/K,m ²)	0.25	0.25
Källarvägg yta (m ²)	280	200
Källarvägg U-value (W/K,m ²)	0.50	0.50
Fönster och dörrar, yta (m ²)	386	230
Fönster och dörrar U-värde(W/K,m ²)	2.50	2.50
Ventilationssystem	- - - Från och tilluft - - -	
Frånluftsflöde (m ³ /h) (år 1)	5910	3490
Tilluftsflöde (m ³ /h) (år 1)	4120	3360
Uppvärmningssystem	- - - - Fjärrvärme - - - -	
		Vvx frånluft
		- - -Förvärmning av tilluft-
Varmvattenframställning	Vvx fjärrvärme	Elektr. med tank
Tvättmaskiner	19	9
Diskmaskiner	3	-
Torkskåp	-	alla

Mellan mätningarna vidtogs förändringar avseende driften av uppvärmnings-, ventilations- och varmvattensystem som påtagligt förändrade byggnadernas värmebalans. Vi har därför vid beräkning av noggrannhet behandlat data som stammande från fyra separata byggnader. Företagna mätningar återfinns i Tabell 5

TABELL 5

Företagna mätningar i flerfamiljshuset

Utomhus

Utetemperatur

Vindhastighet

Instrålning mot horisontalplan (Byggnad 1)

Inomhus

Innetemperatur (ett flertal lgh)

Kallvattentemperatur

Värmedistribution: Flöde, fram- och returtemperatur

Varmvatten: Framledd energi

Varmvattencirkulation: Energi (Byggnad 1)

Ventilation: Från- och tillufttemp., energi

förvärmning, energiåtervinning vv

Elförbrukning

De maximala mätfelen uppskattades till: temperaturer 0.5 K, total värme 5%, varmvattenenergi 5%, ventilation (ventilationsförluster och energi för förvärmning av tilluft) 10%. Byggnadernas energibalans för hela eldningssäsongen och för månaderna december och april återfinns i Fig. 14.

Med ovanstående fel och proportioner på energiflöden enligt Fig. 14, kan felet i uppskattat värde av värmeförlustfaktor p.g.av mätfel uppskattas till 6% och felet i UA-värde till 11%, vilka är att uppfatta som maximala fel.

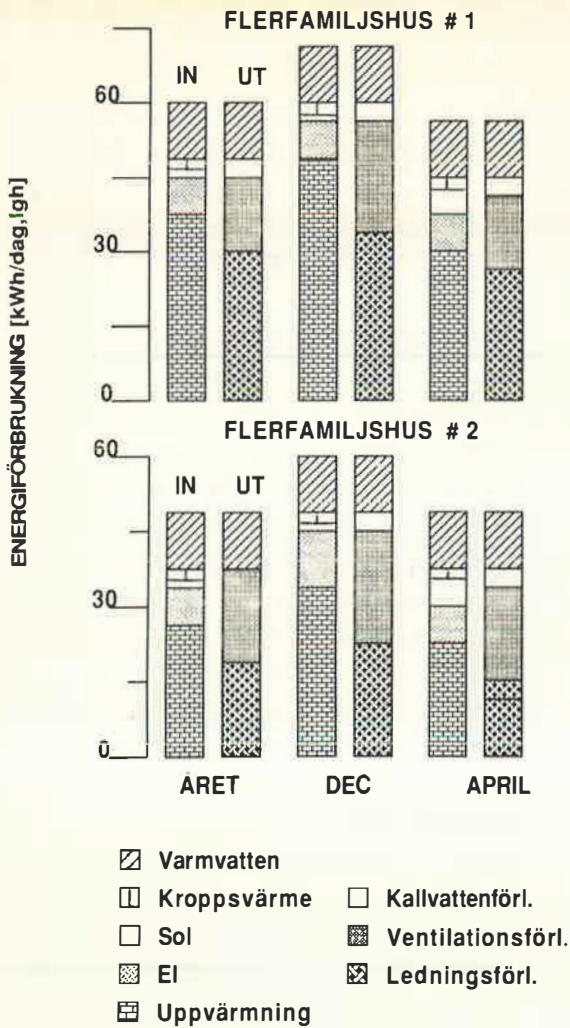


Fig. 14 Energibalans för de studerade flerfamiljshusen för april, december och för eldningsårssongen

APPENDIX 2 BESKRIVNING AV RADHUSEN

Data består av mätningar företagna på 44 tvåvånings radhus (2) som är nominellt lika utom vad gäller orientering och installationer för värmeåtervinning, ventilation och varmvattenframställning. Alla husen är anslutna till fjärrvärme.

Den första gruppen av hus (Frånluftshuset) har frånluftssystem och varmvattenframställning med värmeväxlare från fjärrvärme. Den andra gruppen av hus (värmeväxlarhusen) har från- och tilluftssystem med värmeväxlare och varmvattensystem som första gruppen. Den tredje gruppen av hus (värmepumphuset) har från- och tilluftssystem där en värmepump är anknuten till frånluften för framställning av varmvatten med lagring i tank. Dessutom finns elektrisk varmvattenberedare som backup. Installations- och byggnadstekniska data för husen återfinns i Tabell 6.

TABELL 6
Data för radhusen

	Area (m ²)	U-värde (W/K,m ²)
Uppvärmd golvyta	130	
Ytterväggar	73	0.25
Vindsbjälklag	69	0.17
Golvbjälklag	69	0.30
Fönster (treglas) och dörrar	16	1.9
Ventilationssystem (Design värden)		
Frånluftflöde (m ³ /h)	150	
Tilluftflöde (m ³ /h)	135	
Tvättmaskin	alla	
Diskmaskin	60%	
Torkskåp eller tumlare	alla	

En översikt över företagna mätningar återfinns i Tabell 7. Utöver dessa mätningar bestämdes ventilationsflöden för olika varvtal 3 eller 4 gånger för varje hus under mätperioden. Med hjälp av inställning på varvtalet, som mättes kontinuerligt, kan ventilationsflödet beräknas för varje tidpunkt under mätningarna. En svårighet här utgör de filterbyten eller filterrengöringar som företagits av de boende och ej av mätpersonalen. Dessa åtgärder kan ändra flöden under några veckor. Flertalet filterrengöringar verkställdes dock av mätpersonalen och flödena uppmättes härvid såväl före som efter åtgärd. Vid dessa mättillfällen utfrågades också de boende om tidpunkter för eventuella filterrengöringar sedan föregående mättillfälle.

TABELL 7

Mätningar företagna i radhusen

Utomhus

Utetemperatur (2)

Vindhastighet

Instrålning mot vertikalplan (S, Ö och V)

Inomhus

Innetemperatur (uppe och nere)

Uppvärmning: flöde, framlednings- och returtemperatur

Varmvattenförbrukning: energi

Ventilation: frånluftstemp., avluftstemp (grupp 2, 3)

tilluftstemp (grupp 2), gångtid för

fläktar, varvtal, forcerad ventilation,

Elförbrukning

Värmeväxlare: energi för avfrostning

Värmepump: gångtid för kompressor (grupp 3)

El för varmvatten: gångtid (grupp 3)

Intervjuer med de boende gav upplysningar om antalet boende och ålder, antal hemmavarande under dagtid, antal tillfällen per vecka då tvätt- eller diskmaskin användes. Med hjälp av dessa uppgifter har en uppskattning gjorts av energiförbrukning för tvätt och disk samt metabolisk energi.

Ursprungliga mätningar företogs som fyra timmars medelvärden. Här har endast dygnsmedelvärden använts.

Tillförd nettoenergi beräknades genom att först beräkna totalt tillförd energi från fjärrvärme, el, soltillskott genom fönster, den (uppskattade) metaboliska energin och energitillskott från lagring av varmvatten (grupp 3).

Från denna totala energi har sedan subtraherats energi för varmvattenberedning, energi förbrukad av frånluftfläktar, kompressorer och avfrostning (grupp 2), och (uppskattad) energiförbrukning för tvätt och disk. Denna senare uppskattning har grundats på uppgiven frekvens av användning och riktvärden på energiåtgång vid varje tillfälle.

Av de 14 husen i grupp 1, 15 i grupp 2 och 15 i grupp 3, har värdena från fyra hus inte använts vid beräkning av värmeförlustfaktor och UA-värde. Samtliga hus i detta bortfall tillhörde grupp 1. Anledningen var att husen i denna grupp ursprungligen var identiska med husen i grupp 2 men att tilluftfläkten avstängts. Vissa begåvade boende ansåg dock detta vara onödigt vid några, särskilt kalla, tillfällen och använde sig av värmeväxlaren. Mätprogrammet medgav inte att dessa hus vid dessa tillfällen kunde behandlas som grupp 2 hus, och de uteslöts därför.

Energibalansen för radhusen för hela eldningssäsongen samt för månaderna december och april finns redovisad som stapeldiagram i Fig. 15.

Med antagna mätfel enligt App. 1 och proportioner på energiflöden enligt Fig. 15 erhålles ett fel i uppskattat värde av värmeförlustfaktor p.g.av mätfel av 6%. Motsvarande för UA-värde är 10 %.

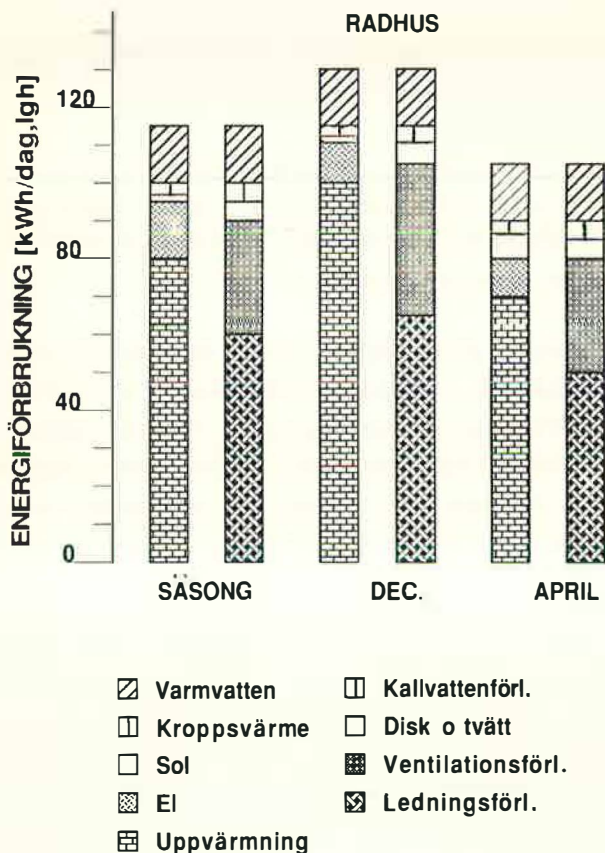


Fig. 15 Energibalans för de studerade radhusen för april, december och för eldningssäsongen

Den i Sektion 2 konstaterade icke-lineariteten i diagram där medeleffekt för en byggnad avbildats mot temperaturskillnad inneute förekommer som regel om i medeleffekten ingår energitermer som t.ex. har en årscykel liknande utetemperatur men med en annan fas. Storleken av icke-lineariteten beror givetvis av storleken på dessa termer, exempel på större sådana termer är soltillskott och el- eller varmvattenförbrukning. Andra exempel utgör vindhastighet, marktemperatur, fukthalt i isolering, etc. Ofta är det tillräckligt med en fasskillnad på några veckor för att åstadkomma en märkbar icke-linearitet. En förenklad beskrivning görs nedan med antagandet att samtliga termer är sinusformade.

Tag energisignaturmodellen till

$$P = A \cdot T_e + B$$

där A och B är modellparametrarna, P medeleffekten och T_e utetemperaturen. Denna enkla modell är framgångsrik så länge som samtliga energiflöden som ingår i medeleffekten, även om de inte är direkt relaterade till utetemperaturen, under året varierar på ett sätt liknande denna.

Låt utetemperaturen vara given av:

$$T_e = B_e + A_e \sin(\omega t)$$

där t är tiden och ω är en frekvens motsvarande en period av ett år. Det resulterande bidraget till byggnadens energibalans från många andra energiflöden kan beskrivas av:

$$P_1 = \sum_i [B_i + A_i \sin(\omega t + \delta_i)]$$

där δ_i är en fas relativt utetemperaturen och summationen utförs över alla energiflöden med index i. Varje summa av denna form kan skrivas som ett uttryck:

$$P_1 = B_0 + A_0 \sin(\omega t + \delta_0)$$

där parametrarna A_0 , B_0 , and δ_0 beror av samtliga parametrar A_i , B_i , och δ_i . Detta uttryck kan emellertid skrivas som:

$$P_1 = B_0 + A_0 \cos(\delta_0) \sin(\omega t) + A_0 \sin(\delta_0) \cos(\omega t) =$$

$$C_0 + C_1 T_e + A_0 \sin(\delta_0) \cos(\omega t) \quad (1)$$

där C_0 och C_1 är konstanter och ingår i två termer som tillsammans är identiska med den enklare energisignaturmodellen. Låt den temperaturberoende delen av värmeförluster genom byggnadsskalet ges av

$$P_2 = D_0 + D_1 T$$

Det är uppenbart att om den resulterande fasen, δ_0 , eller konstanten A_0 , är liten kan den sista termen i (1) försummas och modellen

$$P = P_1 + P_2 = B + AT_e$$

ger en god beskrivning av en byggnads energiförbrukning om vecko- eller månadsmedelvärden används. Detta är fallet även om det förekommer flera energiflöden som inte är direkt relaterade till utetemperaturen, även om i detta fall tolkningen av parametrarna A och B kan bli högst osäker i termer av fysikaliska egenskaper hos en byggnad som värmeförlustfaktor eller UA-värde. Enligt denna enkla beskrivning ovan gör den tredje termen i (1) att data inte förväntas falla på en rät linje utan istället på en ellips. Ett exempel på detta finns i Fig. 16.

Andra komplikationer kan uppträda t.ex. för hus med självdragsventilation där medeleffekten utan vind är proportionell mot inne-ute temperaturskillnaden upphöjd till 3/2 och ett än mera komplicerat beroende av temperaturskillnad och vindstyrka kan förekomma om båda dessa faktorer ger ett märkbart bidrag till energibalansen.

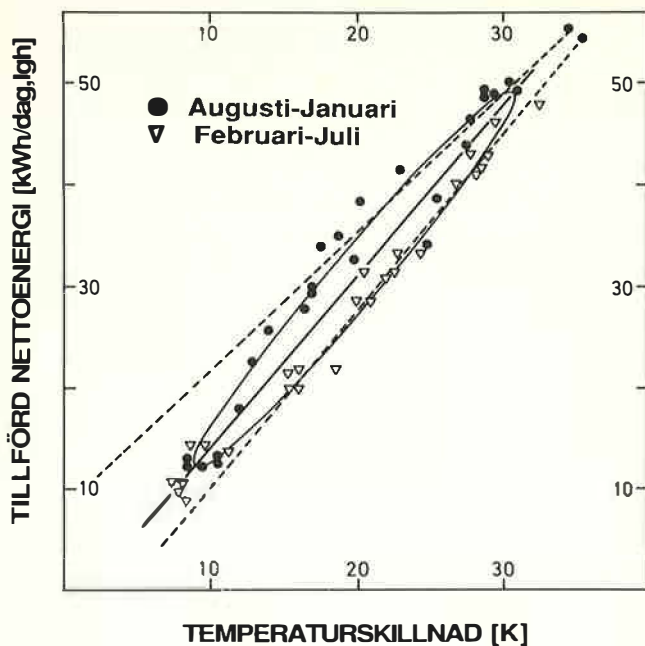


Fig. 16 Nettoenergi mot temperaturskillnad för ett flerfamiljshus (veckovärden). Fassetillnaden är omkring fjorton dagar. Fulldragen linje är bästa anpassning till data för hela eldningssäsongen, streckade linjer bästa anpassning till första respektive andra halvan av eldningssäsongen.

