

Energieffektivitet och termisk komfort i sex småhusområden med 130 lägenheter och olika värmesystem:

# Energieffektiva värmesystem i småhus

Den påbörjade kärnkrafts-avvecklingen har markant ökat intresset för el- och energieffektiva lösningar. Energianvändning och termisk komfort har undersökts i småhus uppförda under 1980- och 1990-talen med olika tekniska lösningar. Primärt har avsikten varit att öka kunskaperna om olika värmedistributionssystemens egenskaper samt att rangordna olika lösningar. Speciellt har golvvärme och radiatorsystem jämförts. Genom att de undersökta områdena uppförts under en tioårsperiod har även inverkan av olika byggbestämmelser och ”modesvängningar” vid husutformning kunnat studeras. Projektet, som initierats av AB Kristianstadsbyggen och Peab, har finansierats av DESS (Delegationen för Energiförsörjning i Södra Sverige) och SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond).

Skillnader i boendevanor mellan tekniskt identiska småhus kan medföra variationer i total energianvändning för hushållsel, varmvatten och värmesystem på 10 000 kWh/år, Harrysson (1988). Flera undersökningar, till exempel Harrysson (1997), visar att enbart sättet att mäta och debitera kan påverka energi- och vattenanvändningen med cirka 30 procent. Många olika tekniska lösningar, dvs kombinationer av isolering, tätningar, värme- och ventilationssystem förekommer. Även valet av teknisk lösning kan medföra stora skillnader i energianvändning och inomhusmiljö. I Boverksundersökningen, Harrysson (1994), har tio bebodda elvärmda grupphusområden med 330 småhus studerats med olika tekniska lösningar samt individuell mätning och debitering

Artikelförfattare är professor, tekn dr  
**Christer Harrysson**, Bygg- och  
Energiteknik AB, Falkenberg.



I undersökningen har energianvändning och termisk komfort undersökts i småhus uppförda under 1980- och 1990-talen med olika tekniska lösningar. (Husen på bilden ingår ej i undersökningen)

av energi- och vattenanvändningen, varvid man funnit skillnader i total energianvändning på cirka 30 procent mellan olika tekniska lösningar.

Uppgifter från SCB med flera, exempelvis Boverksundersökningen, visar att den totala energianvändningen för hushållsel, varmvatten och värmesystem i nya serieproducerade småhus i medeltal uppgår till cirka 130 kWh/m<sup>2</sup>år. Boverksundersökningen visar också att det finns energieffektiva tekniska lösningar i serieproducerade småhus, som endast behöver 90–100 kWh/m<sup>2</sup>år och som samtidigt medför god inomhusmiljö. Detta är den lägsta energinivå som idag bedöms vara tekniskt och ekonomiskt försvarbar. Den sammanfaller i stort med vad som i bästa fall nåtts i ett antal provhus, som är noggrant byggda under kontrollerade förhållanden. Målsättningen för Nuteks småhustävling var en något lägre energinivå, 80 kWh/m<sup>2</sup>år, Energimyndigheten (1999). Det finns emellertid också många energislösande områden och tekniska lösningar, till exempel ekobyar, som har mer än dubbelt så hög energianvändning som normalvärdet 130 kWh/m<sup>2</sup>år. Skärpta miljökrav, höjda energikostnader och den påbörjade kärnkrafts-avvecklingen accentuerar behovet av ökad energihushållning. Det är därför mycket angeläget att värdera och rangordna olika tekniska lösningar.

## Golvvärme och radiatorsystem

Värmedistributionssystemets utformning och förläggning kan ha avsevärd inverkan på energianvändningen. Vattenvärme med

radiatorer är ett gammalt och beprövat värmedistributionssystem, som även möjliggör användning av andra energislag än el. Ett annat värmedistributionssystem, som får allt större marknadsandel och förekommer i mer än vartannat nytt småhus, är golvvärme med vatten eller luft som värmemedium. Dyliga golvvärmesystem har vid val av energislag samma flexibilitet som vattenradiatorer. Med golvvärme bör man dessutom kunna utnyttja energikällor med lägre kvalitet, dvs lägre exergi, på ett bättre sätt genom att använda lägre värmebärartemperaturer. En intensiv debatt pågår sedan några år tillbaka huruvida radiatorer eller golvvärme är mest komfortvänligt samt kostnads- och energieffektivt.

## Syfte och omfattning

Undersökningens syfte har varit att öka kunskaperna om olika värmedistributionssystemens energieffektivitet och termiska komfort för att med högre tillförlitlighet kunna värdera och rangordna olika tekniska lösningar. Därtill har avsikten varit att ta fram ytterligare underlag för hur energianvändningen i nya småhus varierar mellan olika hushåll och tekniska lösningar. Särskilt har golvvärme och radiatorsystem jämförts.

Undersökningen omfattar bl a registrering av energi- och vattenanvändning, enkätundersökning och intervjuer med de boende samt tekniska mätningar och observationer av parametrar med betydelse för energianvändning och termisk komfort. Särskild vikt har lagts vid de boendes synpunkter genom nämnda aktiviteter. Områden med olika tekniska lösningar

och många lika lägenheter inom respektive område har studerats.

Jämförelser mellan områdena samt mellan beräknade och uppmätta värden har gjorts på medelvärdesnivå för olika parametrar som energi- och vattenanvändning med flera. Medelvärdet av uppmätt total energianvändning för respektive område har jämförts efter korrigering med hänsyn till ett antal betydelsefulla parametrar. I första hand har jämförelser gjorts mellan golvvärme och radiatorsystem. Baserat på erfarenheter från den genomförda undersökningen och i övrigt kända kunskaper har en vägledning för energieffektiva och komfortabla värmesystem utarbetats.

## Tekniska uppgifter för områdena

Undersökningen omfattar markbostäder i sex av AB Kristianstadsbyggens småhusområden med totalt 130 lägenheter och olika tekniska lösningar, *tabell 1*. Områdena har mellan 12 och 62 lägenheter. Bostadshusen är huvudsakligen i ett plan och grundlagda som platta på mark med underliggande isolering. Husen är belägna i Kristianstadstrakten, har byggts av olika trähus- och entreprenadföretag och är uppförda mellan mitten på 1980- och 1990-talen med olika byggkonstruktion, värme och ventilation. Av de sex områdena har fyra golvvärme och två radiator-system. Husen har frånlufts- eller frånlufts-/tilluftsventilation. Områdena 2 och 4 har ventilationsvärmexlare. Områdena 1–4 har individuellt registrerad energiförsörjning (elmätning i varje lägenhet). Områdena 5 och 6 har kollektivt uppmätt fjärrvärmeenergi för varmvatten och värmesystem (värmemängdsmätning i områdescentral inkluderande kulvertförluster) och individuell mätning av hushållsel (elmätning i varje lägenhet). Fastighetsel och vattenanvändning har registrerats kollektivt i samtliga områden.

## Energi- och vattenanvändning

### Uppmätta värden

Den specifika uppmätta totala energianvändningen (kvoten mellan områdets uppmätta totala energianvändning och bostadsytan) för hushållsel, varmvatten och värmesystem uppgår för de sex studerade områdena i medeltal till 156 kWh/m<sup>2</sup>år med variationer i områdenas medelvärden mellan 120 och 206 kWh/m<sup>2</sup>år, *tabell 2* och *figur 1*. Områdena 1–4, som har individuell mätning av den totala energianvändningen (elmätning i varje lägenhet), har medelvärdet 131 kWh/m<sup>2</sup>år. Respektive områdes medelvärde ligger mellan 120 och 145 kWh/m<sup>2</sup>år. Område 5 och 6 med kollektiv mätning av energi för varmvatten och värmesystem (värmemängdsmätning i områdescentral inkluderande kulvertförluster) har medelvärdet 206 respektive 205 kWh/m<sup>2</sup>år för den specifika uppmätta totala energianvändningen inkluderande hushållsel, varm-

Område	Byggår	Bostadsyta m <sup>2</sup>	Antal lgh totalt	Isolertjocklek mm (mineralull/cellplast där inget annat sägs)			Ventilation F FTX	Värme *Vatten *Luft *Golv *Rad	Ind/Koll mätn	Anm stomme
				golv	väggar	tak				
1	1986	747	12	70	150	270	F	Vatten Rad	Ind	lätt träregel
2	1990	1022	12	70	245	560	FTX	Vatten Rad	Ind	lätt träregel
3	1991	1495	19	200	300 lättbtg	400 lösull	F	Luft Golv	Ind	tung/lättbetong (ytter-)väggar
4	1992	1682	13	200	300 lättbtg	200 lösull 200 lättbtg	FTX	Luft Golv	Ind	tung/lättbetong väggar och tak
5	1997	1490	12	200	195	400	F	Vatten Golv	Koll	lätt träregel 100 betongplatta
6	totalt	5089	62	200	195	400	F	Vatten Golv	Koll	lätt träregel 200 betongplatta
	etapp 1 1993	2992	35							
	etapp 2 1996	2097	27							

*Tabell 1: Tekniska uppgifter för de sex områdena. Fastighetsel och vattenanvändning har registrerats kollektivt medan hushållsel uppmätts individuellt. F = frånluftsventilation, FTX = frånlufts-/tilluftsventilation med ventilationsvärmexlare, Ind = individuell mätning av total energianvändning för hushållsel, varmvatten och värmesystem (elmätning i varje lägenhet), Koll = kollektiv mätning av energianvändning för varmvatten och värmesystem (värmemängdsmätning i områdescentral inkluderande kulvertförluster) samt individuell mätning av hushållsel (elmätning i varje lägenhet).*

vatten och värmesystem. Hushållselen (elmätning i varje lägenhet) har i medeltal uppmätts till cirka 50 kWh/m<sup>2</sup>år. Fastighetselen för områdena 2–6 har i medeltal uppmätts till 16,6 kWh/m<sup>2</sup>år och medelvärdet för respektive område ligger mellan 9,7 och 22,2 kWh/m<sup>2</sup>år. Inklusive fastighetsel uppgår den specifika uppmätta totala energianvändningen i medeltal till 170 kWh/m<sup>2</sup>år, med variationer i medelvärdet för respektive område mellan 125 och 229 kWh/m<sup>2</sup>år. Områdena 1–4 har medelvärdet 142 kWh/m<sup>2</sup>år med variationer mellan 125 och 155 kWh/m<sup>2</sup>år för re-

spektive områdes medelvärde. Område 5 och 6 har medelvärdet 229 respektive 221 kWh/m<sup>2</sup>år.

Uppmätt vattenanvändning per lägenhet uppgår i medeltal till 112 m<sup>3</sup>/år med variationer mellan 62 och 190 m<sup>3</sup>/år, specifikt (räknat per m<sup>2</sup> bostadsyta) 1,48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>år med variationer mellan 0,97 och 2,32 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>år, tabellerna 2 och 3. Områdena 1–4 har i medeltal per lägenhet vattenanvändningen 89 m<sup>3</sup>/år med variationer mellan 62 och 129 m<sup>3</sup>/år, specifikt 1,20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>år med variationer mellan 0,97 och 1,55 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>år samt områdena 5 och 6 124

Område	Isolertjocklek mm cellplast el min.ull			Vent	Värme	Reglering	Energislag	Mätning	Spec total energianv exkl fastel kWh/m <sup>2</sup> år	Spec total vattenanv m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> år	Spec total energianv inkl fastel kWh/m <sup>2</sup> år
	golv	väggar	tak								
1	70	150	270	F	R	rad t	el	ind	125	0,97	125
2	70	245	560	FTX	R	rad t	el	ind	134	1,28	152
3	200	300 lbtg	400 lösull	F	G	en centr term	el luft	ind	120	0,98	137
4	200	300 lbtg	200 min ull+ 200 lbtg	FTX	G	en centr term	el luft	ind	145	1,55	155
5	200	195	400	F	G	rumst	fjv	koll*	206	1,78	229
6	200	195	400	F	G	rumst	fjv	koll*	205	2,32	221
Mv									156	1,48	170

\*Individuell mätning av hushållsel.

*Tabell 2: Sammanställning av tekniska uppgifter för husen i de sex områdena jämte specifik uppmätt total energianvändning exklusive respektive inklusive fastighetsel samt vattenanvändning. R = vattenradiatorer, G = golvvärme. Uppmätt energianvändning: ind = individuell mätning av energiförsörjning (elmätning i varje lägenhet) för total energianvändning inkluderande hushållsel, varmvatten och värmesystem, koll = kollektiv mätning av energi för varmvatten och värmesystem (värmemängdsmätning i områdescentral inkluderande kulvertförluster) samt individuell mätning av hushållsel (elmätning i varje lägenhet). Fastighetsel och vattenanvändning har uppmätts kollektivt i respektive område.*

Område	Vattenanvändning	
	m <sup>3</sup> /lgh år	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> år
1	62	0,97
2	85	1,28
3	79	0,98
4	129	1,55
5	124	1,78
6	190	2,32
Mv	112	1,48
Mv 1 - 4	89	1,20

Tabell 3: Uppgifter om uppmätt vattenanvändning per lägenhet och specifik uppmätt vattenanvändning.

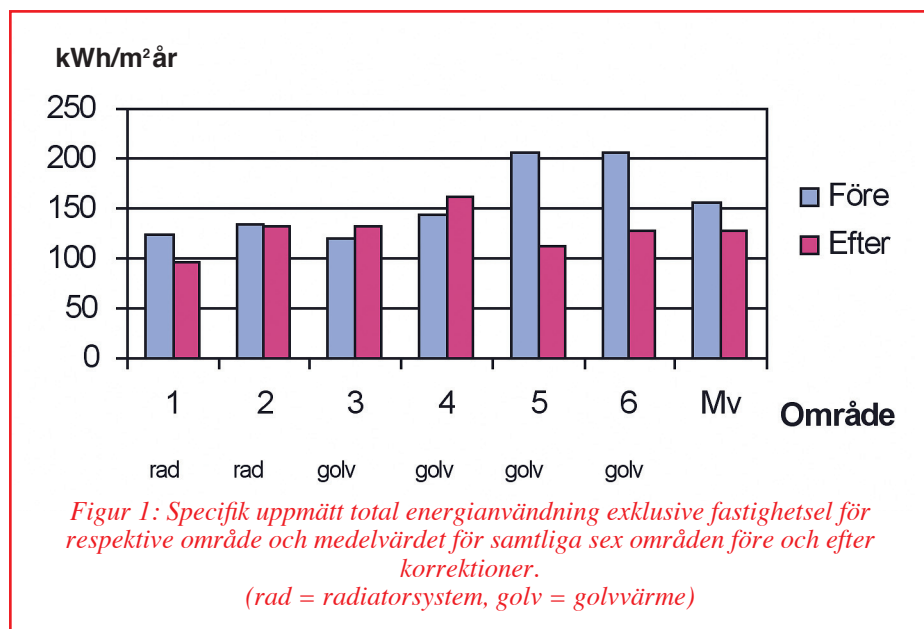
respektive 190 m<sup>3</sup>/år, specifikt 1,78 respektive 2,32 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>år. I Boverksundersökningen, Harrysson (1994), som omfattar 330 gruppbyggda småhus har vattenanvändningen per småhus i medeltal uppmätts till 160 m<sup>3</sup>/år eller 1,28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>år. De studerade husen i nämnda undersökning har i medeltal bostadsytan 125 m<sup>2</sup>.

## Korrekationer

Områdena har jämförts sinsemellan, med litteraturuppgifter och med beräknade värden, varför uppmätt energi- och vattenanvändning korrigerats med hänsyn till helår, bostadsyta, isolerstandard, donmätt frånluftsventilation, eventuell värmeåtervinning, innetemperatur, vattenanvändning, distributions- och reglerförluster, placering av elpanna/basenhets, individuell eller kollektiv mätning, kulvertförluster, eventuell uppvärmning av sidobyggnad och fastighetsel.

Den korrigerade specifika uppmätta totala energianvändningen (för hushållsel, varmvatten och värmesystem) exklusive fastighetsel, på "byggnadernas nivå", uppgår för de sex områdena i medeltal till 127 kWh/m<sup>2</sup>år med variationer mellan 96 och 162 kWh/m<sup>2</sup>år för de olika områdenas medelvärden, figur 1. Medelvärdet överensstämmer väl med det riktvärde på 130 kWh/m<sup>2</sup> som anges av SCB och Boverksundersökningen. Motsvarande värden för de båda områdena med radiatorsystem är i medeltal 115 kWh/m<sup>2</sup>år med variationer mellan 96 och 133 kWh/m<sup>2</sup>år. Fyra områden med golvvärme har medelvärdet 134 kWh/m<sup>2</sup>år och variationer mellan 112 och 162 kWh/m<sup>2</sup>år. Energi- och vattenuppgifterna avser 1999. Normalåret har drygt fem procent fler gradtimmar än 1999. Korrekationerna till helår bedöms ha medfört en osäkerhet i energiuppgifterna på högst plus/minus fem procent.

Hushållselen har i medeltal per område uppmätts till cirka 50 kWh/m<sup>2</sup>år samt fastighetselen till 14 kWh/m<sup>2</sup>år med variationer mellan 10 och 23 kWh/m<sup>2</sup>år. Inklusive fastighetsel är den korrigerade specifika uppmätta totala energianvändningen i medeltal 141 kWh/m<sup>2</sup>år med variationer mellan 96 och 172 kWh/m<sup>2</sup>år. Uppmätt vattenanvändning uppgår i medeltal per lägenhet till 112 m<sup>3</sup>/år med variationer



Figur 1: Specifik uppmätt total energianvändning exklusive fastighetsel för respektive område och medelvärdet för samtliga sex områden före och efter korrekationer.

(rad = radiatorsystem, golv = golvvärme)

mellan 62 och 190 m<sup>3</sup>/år samt specifikt till 1,48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>år med variationer mellan 0,97 och 2,32 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>år.

De fyra områdena med golvvärme uppvisar i medeltal cirka 15 procent högre korrigerad specifik uppmätt total energianvändning exklusive fastighetsel än medelvärdet för de båda områdena med radiatorsystem, tabell 4. Områdena 3 och 4 med luftburen golvvärme har i medeltal energiökningen cirka 30 procent samt områdena 5 och 6 med vattenburen golvvärme cirka fem procent. Kollektiv mätning av energianvändningen för varmvatten och värmesystem i områdena 5 och 6 har därvid beräknats medföra en energiökning på drygt 25 procent och kulvertförlusterna inom respektive område 20 procent. Detta baseras på antagandet att den totala energianvändningen exklusive fastighetsel ökar med 20 respektive 15 procent.

Områdena 5 och 6 med vattenburen golvvärme har, jämfört med övriga områden, även korrigerats för inverkan av kollektiv energimätning för varmvatten och värmesystem samt för kulvertförluster. Antagandet att kulvertförlusterna ökar den totala energianvändningen exklusive

fastighetsel med 20 procent och aktuella kulvertlängder medför värmeförlusteffekter på 28 respektive 15 W/m kulvert i område 5 respektive 6. Bedömning av kulvertförluster utan hänsyn till kulvertlängder och bostadsyta kan, som framgår, ge stora skillnader i värmeförluster per löpmeter kulvert. Antas 15 W/m gälla i båda områdena leder detta till att korrigerad specifik uppmätt total energianvändning i medeltal ökar med ytterligare sex procent. Om den kollektiva energimätningen antas öka den totala energianvändningen exklusive fastighetsel med tio procent, i stället för 20 procent, ökar den korrigerade specifika uppmätta totala energianvändningen i de båda områdena med vattenburen golvvärme med ytterligare 13 procent.

Sammanfattningsvis, med valda förutsättningar, har områdena 3–6 med golvvärme i medeltal cirka 15–25 procent högre total energianvändning exklusive fastighetsel jämfört med medelvärdet för områdena 1 och 2, vilka har radiatorsystem. Intervallet beror på olika antaganden för att beakta inverkan av kollektiv energimätning för varmvatten och värmesystem samt på kulvertförluster.

Område	Urspr antaganden		Kulvertförl 15 W/m Ökning		Kollektiv energimätning 10 % i st f 20 % Ökning		Summa	
	Korr spec uppm tot energianv exkl fastel kWh/m <sup>2</sup> år	Rel %	kWh/m <sup>2</sup> år	Proc %	kWh/m <sup>2</sup> år	Proc %	Korr spec uppm tot energianv exkl fastel kWh/m <sup>2</sup> år	Rel %
1	96							
2	133							
Mv 1 + 2	115	100						
3	132							
4	162							
Mv 3 + 4	147	130						
5	112		14		15			
6	128				15			
Mv 5 + 6	120	105	7	6	15	13	142	124

Tabell 4: Känslighetsanalys för korrigerad specifik uppmätt total energianvändning exklusive fastighetsel på "byggnadernas nivå". Ursprungliga antaganden avser 15 procent ökning på grund av kulvertförluster och 20 procent ökning för kollektiv energimätning av varmvatten och värmesystem. Beräkningar har dessutom gjorts för ändrade antaganden: Kulvertförluster motsvarande 15 W/m kulvert även i område 5 och att kollektiv energimätning i områdena 5 och 6 medför tio procent ökning av den totala energianvändningen exklusive fastighetsel.

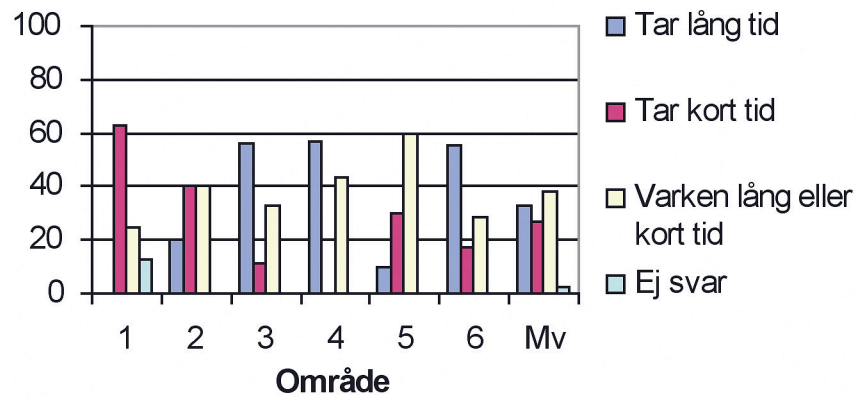
Sambandsanalys, baserad på okorrigerade medelvärden för respektive område, har gjorts av det parvisa beroendet mellan parametrarna specifik uppmätt total energianvändning, specifik uppmätt vattenanvändning, uppmätt vattenanvändning per lägenhet och antalet personer (vuxna och barn) per lägenhet. Starka beroenden med korrelationskoefficienter 0,7–0,9 har konstaterats utom mellan specifik uppmätt total energianvändning och antal personer (vuxna och barn) per lägenhet, där det råder ett svagt beroende med korrelationskoefficient cirka 0,5. Det svaga beroendet kan förklaras med att den totala energianvändningen sannolikt i högre grad påverkas av andra parametrar till exempel de boendes beteende eller transmissions- och ventilationsförluster inkluderande eventuella kulvertförluster.

### Enkätundersökning

Enkäten består bland annat av 26 frågor. Svaren har sammanställts och redovisas områdesvis respektive som medelvärdet för samtliga sex studerade områden. Svarsfrekvensen för samtliga sex områden är 65 procent, *tabell 5*, vilket är 12 procentenheter högre än i ELIB-undersökningen, *Andersson (1991)* och sju procentenheter högre än i Boverksundersökningen, *Harrysson (1994)*. Svarsprocenten är högst i område 2 och 5 samt lägst i 3 och 4. Av svaren framgår bland annat att antalet boende per lägenhet i medeltal är 1,40 vuxna och 0,38 barn, *tabell 6*. De svarande i områdena 1 och 2 har inga barn.

Av svaren, *tabell 6*, framgår vidare att de boende är flest per lägenhet i område 6 och 4 med i medeltal 1,78 vuxna och 0,83 barn respektive 1,43 vuxna och 0,57 barn.

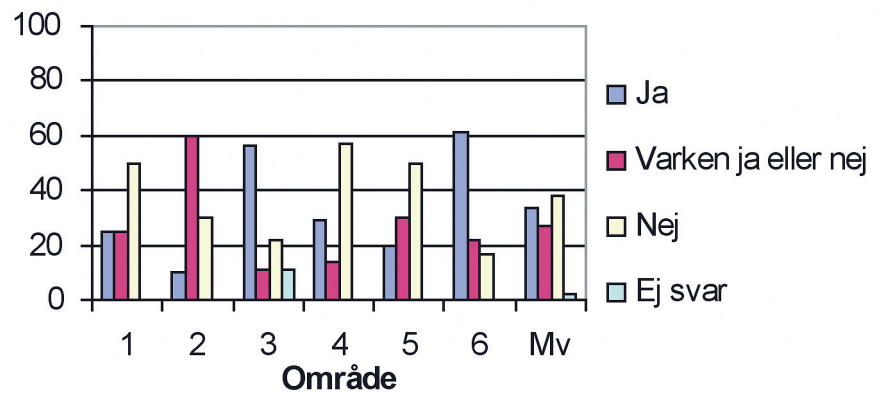
### Frekvens %



Figur 2: Svar till fråga 2:

Går det snabbt att ändra inomtemperaturen när Du så önskar?

### Frekvens %



Figur 3: Svar till fråga 10:

Upplever Du att det drar kallt från Dina friskluftsventiler?

Område	Totalt antal lägenheter	Svar från lägenheter					Medelålder år	
		antal	%	vuxna antal	barn antal	barn/vuxna %	Vuxna	Barn
1	12	8	67	10	0	0	80	
2	12	10	83	12	0	0	67	
3	19	9	47	11	6	55	68	11
4	13	7	54	10	4	40	51	7
5	12	10	83	15	2	13	62	1
6	27	18	67	32	15	47	51	11
Summa/ Medelvärde	95	62	65	15	4,5	26	63	7

Tabell 5: Uppgifter om antal lägenheter och enkätsvar i respektive område samt om antal och ålder hos vuxna och barn.

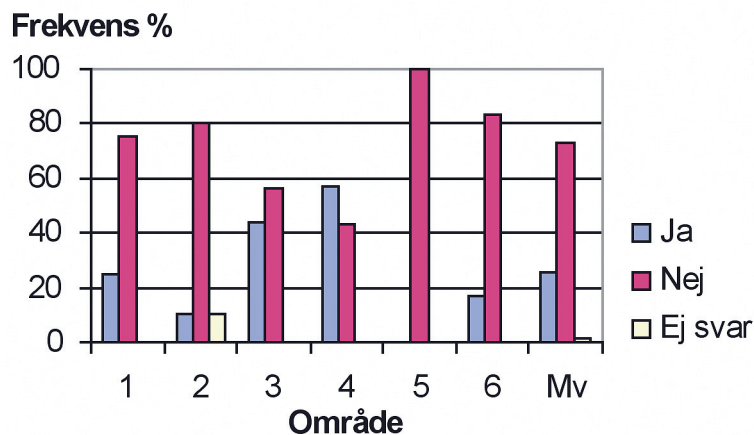
Område	Antal boende baserat på enkätsvaren		Tekniska mätningar i 6 lgh per område Bostadsyta m <sup>2</sup>	Mv av donmätta frånluftsflöden i vilka tekn mättn gjorts	
	vuxna	barn		l/s	l/s m <sup>2</sup>
1	1,25	0	62,0	11,5	0,185
2	1,20	0	64,0	20,0	0,313
3	1,22	0,67	66,0	19,2	0,291
4	1,43	0,57	78,5	22,2	0,282
5	1,50	0,20	75,0	22,3	0,297
6	1,78	0,83	75,0	24,2	0,282
Mv	1,40	0,38	70,1	19,9	0,275

Tabell 6: Uppgifter för respektive område om antal boende, vuxna respektive barn, baserat på enkätsvaren samt bostadsyta och uppmätta frånluftsflöden i de sex lägenheter tekniska mätningar gjorts. Normkravet för ventilation är bland annat 0,35 l/s m<sup>2</sup>.

De vuxnas ålder är högst i område 1, 2 och 3 samt lägst i 4 och 6, *tabell 5*. I medeltal är de vuxna 63 år och barnen sju år.

Av *figur 2* framgår att procentuellt sett fler i hus med golvvärme jämfört med radiatorer upplever att det tar lång tid att ändra inomtemperaturen. Beroende på golvvärmesystemens injustering och rörens/slingornas förläggning upplever man att det är mycket eller lite varmare vid golvet i lägenheter med golvvärme jämfört med radiatorer. Svaren företer stora variationer mellan områdena.

Lägenheterna i områdena 3 och 4, vilka har luftburen golvvärme och en centralt placerad termostat per lägenhet, upplevs som sämst av de svarande när det gäller återgång till normal rumstemperatur efter vädring eller öppen ytterdörr under kalla vinterförhållanden. I områdena 3 och 4 upplever de svarande större inomtemperaturvariationer än i områdena 5 och 6, vilka har rumstermostater och vattenburen golvvärme. Område 6 har fler klagomål på stora inomtemperaturvariationer än område 5, troligen beroende på att golvet har större värmeförbehållning och består av 20 cm betongplatta mot 10 cm i område 5. Jämnast inomtemperatur upplever de svarande i områdena 1 och 2, vilka har radiatorer.



Figur 4: Svar till fråga 13:  
Upplever Du några ljudstörningar från Ditt värmesystem?

I hus med golvvärme jämfört med radiatorer upplever procentuellt fler av de boende att det känns kallare framför fönstren på grund av kallras och strålningsdrag. Stora variationer i klagomålsfrekvens föreligger mellan områdena, sannolikt beroende på skillnader i injustering, förläggning m m. Det drar kallt från friskluftsventilerna i lägenheter med såväl frånluftsventilation som frånlufts-/tillluftsventilation, figur 3 på sidan 48. Procentuellt sett fler klagar i lägenheter med frånluftsventilation jämfört med frånlufts-/tillluftsventilation samt vid golvvärme jämfört med radiatorer. I medeltal 30 procent stänger sina friskluftsventiler, såväl utelufts- som tilluftsdon. Högre frekvens uteluftsdon stängs än tilluftsdon.

Varannan av de svarande i områdena 3 och 4 med luftburen golvvärme upplever ljudstörningar mot i medeltal cirka var femte för samtliga sex områden, figur 4.

I områdena 5 och 6 med vattenburen golvvärme är värmesystemet i drift hela året genom områdesvis central styrning. Med rumstermostaterna kan dock de boende reglera och stänga av respektive slinga. I områdena 3 och 4 har cirka 30 procent av de svarande värmedistributionsystemet i drift hela året, i områdena 1 och 2 35 respektive tio procent. Svaren på denna fråga måste behandlas med för-

siktighet. I vissa lägenheter har frågan missuppfattats såtillvida att man trots den avser om varmvattnet värms hela året i elpannan eller i särskild varmvattenberedare.

De svarande i områdena 3–6 med golvvärme har, jämfört med områdena 1 och 2 med radiatorer, procentuellt fler klagomål på högre driftkostnader än förväntat. Frågan är mindre relevant för områdena 5 och 6 som har kollektiv mätning av energitillförseln för värme och varmvatten. Cirka 40–60 procent av de svarande i områdena 3 och 4 med luftburen golvvärme är missnöjda ur ekonomisk, komfort- och funktionsmässig synvinkel. Cirka 40–70 procent av de svarande i områdena 3 och 4 anser inte att värmesystemet är energisnålt, medan motsvarande siffror för områdena 1 och 2 med radiatorer är 20–40 procent. I områdena 3 och 4 anser 30–40 procent av de svarande att andra system ger högre komfort inne och i områdena 1 och 2 10–20 procent. I stort sett ingen av de svarande kan tänka sig betala mer för att få högre komfort inne respektive för att få ett mer miljövänligt värmesystem.

### Tekniska mätningar

Bostadsytan, för de sex lägenheter i respektive område i vilka tekniska mätningar gjorts, uppgår i medeltal till 70,1 m<sup>2</sup>

med variationer mellan 62,0 och 78,5 m<sup>2</sup>, tabell 6. Uppmätta frånluftsflöden är i medeltal 19,9 l/s med variationer mellan 11,5 och 24,2 l/s. Motsvarande specifika värden är 0,275 l/s m<sup>2</sup> med variationer mellan 0,185 och 0,313 l/s m<sup>2</sup>, värden som ska jämföras med normkravet 0,35 l/s m<sup>2</sup>. Den oavsiktliga ventilationen har inte registrerats. Den relativa fuktigheten inne har i medeltal uppmätts till 35 procent med variationer för områdenas respektive medelvärde mellan 32 och 45 procent.

nneluftstemperaturen i de sex områdena har i medeltal uppmätts till 22,3 °C med variationer i områdenas respektive medelvärde mellan 21,1 och 23,1 °C, tabell 7. I stort sett samma innetemperatur, 22,1 respektive 21,9 °C, har i medeltal uppmätts i de båda områdena 1 och 2 med termostatstyrda radiatorer som i de båda områdena 3 och 4 med luftburen golvvärme styrd av en centralt placerad termostat i varje lägenhet, 21,1 respektive 22,4 °C. I de båda områdena 5 och 6 med vattenburen golvvärme styrd med rumstermostater har i medeltal uppmätts 23,1 °C för respektive område. Golvvärme ska ha rumstermostater inte bara för att man ska kunna begränsa värmetillförseln, utnyttja gratisvärmets bättre utan även för att möjliggöra temperaturskillnader mellan utrymmena beroende på hur de används vid olika tidpunkter. Enbart en centralt placerad termostat ger ofta upphov till klagomål, eftersom termostatens placering då är av stor betydelse för komforten inne och för energianvändningen.

Åtskilliga klagomål har framförts på kalla golv vid konstruktionen platta på mark med underliggande isolering, när man inte har golvvärme. Orsaken är i regel hög värmeavledning från foten till golvet jämte drag/kallras från fönster och uteluftsdon. Problemet kan vid nyproduktion avhjälpas eller reduceras genom att värmerör/elkablar dras i golvet längs ytterväggarna eller genom att viss del av isoleringen placeras på golvets översida. Med sistnämnda alternativ minskar även klagomålen på att golvet känns hårt. En annan åtgärd är ett rätt projekterat, väl utfört, energisnålt och komfortabelt golv-

Område	Vent. system	Frånluftslöde l/s	Typ av frisk-luftsventil	Innelufts-temp °C	Innelufts-temp Intervall °C	Utelufts-temp °C	Utelufts-temp Intervall °C	Väderlekstyp (siffror= antalet hus)
1	F	11,5	spaltventiler	22,1	20,0 - 23,6	4,3	2,8 - 6,5	mulet 6
2	FTX	20,0	tilluftsdon	21,9	21,1 - 24,8	8,1	5,9 - 11,1	mulet 5 klart 1
3	F	19,2	spaltventiler	21,1	19,4 - 23,2	5,3	4,1 - 7,5	mulet 6
4	FTX	22,2	tilluftsdon	22,4	21,5 - 24,6	5,6	2,5 - 7,5	mulet 3 klart 3
5	F	22,3	Fresh med termostat, vid sidan av fönster	23,1	22,0 - 24,1	11,6	7,5 - 15,4	mulet 2 klart 4
6	F	24,2	PAX TL 100 med termostat, sidan av fönster	23,1	22,3 - 23,8	6,5	4,2 - 11,8	mulet 1 halvklart 1 klart 4
Mv		19,9		22,3		6,9		

Tabell 7: Några resultat, huvudsakligen från de tekniska mätningarna. Angivna värden avser medelvärdet för sex lägenheter per område, där inget annat sägs.

värmesystem med god isolering och liten värmetröghet.

I de golvvärmda områdena har uppmätta högre yttemperaturer på golvet än 27 °C vid utetemperaturer mellan cirka 5 och 10 °C. Detta kan bero på att golvvärmesystemet underdimensionerats, delvis lagts för ytligt eller att värmeavgivningen i en del utrymmen begränsats på grund av golvmaterial med stort värmemotstånd eller skadade/deformerade varmluftskanaler med reducerade luftflöden. Sistnämnda båda förhållanden medför att värme-mediatemperaturen då måste höjas för att upprätthålla normal innetemperatur. Klagomålen på ljudstörningar från värmeagregaten i golvet vid luftburen golvvärme är relativt många.

Luft rörelser från uteluftsdonen ger ofta obehag och gör att man måste höja lufttemperaturen för att få tillräckligt hög komfort inne. Uteluftsdonen bör placeras över fönster under vilket det finns radiator. I de golvvärmda lägenheterna bör uteluftsdonen placeras vid sidan av fönstren för att inte förstärka inverkan av kallras och strålningsdrag från dessa.

Tilluftstemperaturen nära ventilationsdonen har i de båda områdena med frånlufts-/tilluftsventilation i medeltal uppmätts till 20,0 respektive 18,5 °C. Likväl förekommer klagomål på drag från tilluftsdonen. Det är även viktigt att hålla nere tilluftstemperaturen, som styrs med

en centralt placerad termostat i tilluften, så att inte lägenheten primärt värms med ventilationssystemet. I lägenheterna med nämnda typ av ventilationssystem har konstaterats betydande smutsavsättningar runt tilluftsdonen samt ovanligt mycket damm inne på golvet och inredning samt i ventilationssystemen.

### Vägledning

Erforderliga kunskaper måste finnas hos projektörer, leverantörer och installatörer för att ge beställare och konsumenter tillräcklig teknisk och ekonomisk trygghet. Samspelet byggnad – installationer (värme, ventilation, reglersystem) – brukare måste därvid beaktas på en så hög systemnivå som möjligt såväl under projektering, byggande som förvaltning. Baserat på uppgifter i litteraturen och praktiska erfarenheter från den genomförda undersökningen har en vägledning utarbetats med rekommendationer för hur man åstadkommer energieffektiva och komfortabla värmesystem.

Vägledningen omfattar dels en allmän beskrivning med råd, dels för ett antal parametrar en tabellarisk teknisk och ekonomisk jämförelse mellan golvvärme och radiatorsystem. För att underlätta samverkan över skrågränserna mellan bygg, VVS och el har ett verktyg utvecklats i form av en checklista att användas vid projektering, byggande och förvaltning.

Två vanliga konstruktionsprinciper för källarlösa småhus har behandlats: Platta på mark med underliggande isolering samt kryprumsbjälklag med träkonstruktion. Renodlade system med golvvärme eller radiatorer har studerats. Påpekas bör att det finns intressanta kombinationer av golvvärme och radiatorer, *Harrysson* (2000).

### Vem/vad bestämmer valet av värmesystem och utformningen av detta?

Tekniskt sett har golvmaterial och grundläggningssätt stort inflytande på valet av värmesystem. Från komfortsynpunkt rekommenderas golvvärme i första hand tillsammans med klinkergolv eller dylikt och radiatorsystem i kombination med bräd- eller parkettgolv. Golvvärme rekommenderas även vid bräd- eller parkettgolv. Av ekonomiska skäl bör golvvärme i första hand väljas ihop med platta på mark och radiatorsystem vid kryprumsbjälklag av träkonstruktion.

Även rena marknadsföringsargument avgör ofta valet av värmesystem. Vid byggandet av styckehus bestäms värmesystemet oftast av trähus-/byggföretaget eller av byggherren (enskild konsument). För gruppvis görs valet i regel av en kvalificerad byggherre/beställare eller av entreprenadföretaget.

### Ökade byggkostnader kan ge minskade driftkostnader

Flera undersökningar av vanliga golvvärmesystem med platta på mark och cirka 100 mm underliggande isolering visar sammanfattningsvis på följande orsaker till hög energianvändning, se till exempel *Gundersen* (1992), *Harrysson* (1995, 1997) och *Norlin* (1998);

- dålig isolering av plattan,
- dålig kantisolering,
- stor värmetröghet på grund av ingjutna värmerör och isolering under betongplattan,
- onoggrann reglering av framledningstemperaturen. Rumsreglering saknas,
- längre uppvärmningssäsong.

Tabell 8: Ökning av byggkostnad och total energianvändning för olika lösningar. Uppgifterna avser nybyggnad av ett 90 m<sup>2</sup> stort golvbjälklag och avser konsumentpriser inklusive moms och täckningsbidrag.

Lösning	Byggkostnad ökning x 1 000 kr	Total energianvändning för hushållsel, varmvatten och värmesystem Procentuell ökning %
Platta på mark med 100 mm cellplastisolering under. Vattenradiatorer	Referens	Referens
D:o med golvvärme	0–15	30
D:o med golvvärme 200 mm cellplastsolering	5–20	15–25
D:o med golvvärme 300 mm cellplastisolering	10–25	10
D:o med golvvärme 300 mm cellplastisolering, varav 50 mm över plattan, värmefördelade plåtar	35–55	0?
D:o med golvvärme 300 mm cellplastisolering, varav 50 mm över plattan, värmefördelade plåtar 1–2 °C lägre inneluftstemperatur	35–55	0
Kryprumsbjälklag av trä med 200 mm mineralullsisolering radiatorer	15	
D:o med golvvärme och värmefördelade plåtar	45–55	

Kritiken har på senare år påverkat utformningen av många nya hus med golvvärme genom åtgärder som;

- förbättrad kantisolering,
- ökad isolering under plattan till 200 mm,
- framledningstemperaturen utetemperatur styrs,
- värmesystemet förses med rumstermostater.

Uppgifter om kostnader och energianvändning för olika lösningar och företag varierar kraftigt. I tabell 8 ges därför för olika lösningar uppgifter om ökning av byggkostnad och total energianvändning inom ett intervall. Kostnadsuppgifterna, som är marknadsanpassade, inkluderar moms och täckningsbidrag.

De senaste årens intensiva energi- och golvvärmedebatt har bland annat fokuserat på driftkostnaderna. Flera exper-

ter anser att lösningar med 100 mm cellplastisolering under betongplattan ger cirka 30 procent eller cirka 5 000 kWh/år i högre total energianvändning för hushållsel, varmvatten och värmesystem. Ökningen kan helt eller delvis reduceras beroende på vilka åtgärder som vidtas, tabell 8, som är en bearbetning från Harrysson (2000). Uppgiften om energiökning med 15–25 procent vid 200 mm isolering under plattan baseras på det nu genomförda projektet och Harrysson (2000). Vidare bedöms 300 mm, varav 50 mm ovanpå plattan, värmefördelade plåtar och 1–2 °C lägre inneluftstemperatur i stort sett eliminera energiökningen. Till en ökad byggkostnad av cirka 55 000 kronor per bjälklag om cirka 90 m<sup>2</sup> kan således energiökningen om cirka 30 procent eller cirka 5 000 kWh/år elimineras.

## Referenser

Andersson, K m fl (1991). *Inomhusklimatet i 3 000 svenska bostadshus. ELIB-rapport nr 3*. Statens institut för byggnadsforskning, Rapport TN:26, Gävle.

Energimyndigheten (1999). *8 000 kWh per år är ingen utopi*. Eskilstuna.

Gundersen, P (1992). *Miljövennlige rimelige lavenergiboliger*. NBI, Prosjektrapport 105 – 1992, Oslo.

Gundersen, P (2001). *Nyanser i gulvvarmedebatten*. Bygg & teknik 2/01, Stockholm.

Harrysson, C (1988). *Småhusets energisättning. Analys med särskild hänsyn till inverkan av delposters variationer*. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Doktorsavhandling, Publikation 88:2, Göteborg.

Harrysson, C (1994). *Innemiljö och energianvändning i småhus med elvärme. Enkätundersökning och mätningar i 330 gruppbyggda småhus med olika systemlösningar*. Boverket, Rapport 1994:8, Stockholm.

Harrysson, C (1995). *Uppvärmningssystem. Innemiljö, energianvändning och kostnader. En sammanfattning* (Större delen av rapporten är publicerad i Energi & Miljö nr 7–8 och 9, 1995). Bygg- och Energiteknik AB, Falkenberg.

Harrysson, C (1997). *Golvvärme eller radiatorer i småhus. Värdering genom praktiska mätningar enligt förlustfaktormetoden, registrering av el-, gas- och vattenanvändning samt enkätundersökning*. Bygg- och Energiteknik AB, Falkenberg.

Harrysson, C (1999). *Erfarenheter av olika sätt att bygga: Innemiljö och energianvändning i småhus*. Bygg & teknik 5/99, Stockholm.

Harrysson, C (2000). *Energieffektiva golvvärmekonstruktioner kräver såväl minskad värmeförlust som ökad isolering*. Bygg & teknik 4/00, Stockholm.

Jahnsson, S (1997). *2000-talets småhus. Resultat av etapp 1. Granskning och utvärdering under vintern 96/97*. Energimyndigheten, Eskilstuna.

Jahnsson, S (1998). *2000-talets småhus. Resultat av etapp 2. Granskning och utvärdering under vintern 97/98*. Energimyndigheten, Eskilstuna.

Norlin, C (1998). *Uppvärmning av småhus. Jämförelse mellan golvvärme och radiatorvärme*. Uppsala universitet, Byggnadsingenjörsprogrammet, Examensarbete 10 poäng, Uppsala.