

# Centrum för solenergiforskning Solar Energy Research Center

---

## LÅGTEMPERATURVÄRMESYSTEM

### -En kunskapsöversikt

*Tomas Persson*

# SERC

**EKOS**  
**Högskolan Dalarna**  
SE 781 88 Borlänge

Tel: +46 23 778700

Fax: +46 23 778701

Besöksadress/Street address:  
Forskargatan 6



HÖGSKOLAN  
Dalarna

ISSN 1401 - 7555  
ISRN DU-SERC--67--SE  
November 2000  
EKOS PUBLIKATION 2000:4



# LÅGTEMPERATURVÄRMESYSTEM

**-En kunskapsöversikt**

*Tomas Persson*

ISSN 1401 - 7555  
ISRN DU-SERC--67--SE  
November 2000  
EKOS PUBLIKATION 2000:4

## SAMMANFATTNING

Denna litteraturstudie kartlägger svensk och internationell forskning inom lågtemperaturuppvärmning. Den huvudsakliga inriktningen har varit att belysa olika typer av distributionssystem och systemkoncept. För de olika systemen har funktion, komfort och energiförbrukning undersökts. Uppvärmning med låga temperaturnivåer gynnar en effektivare användning av energikällor av lägre kvalitet som t.ex. solvärme, spillvärme och lågvärdig värme från mark och vatten.

I dagens samhälle finns ofta ingen lönsamhet i lågtemperaturtekniken, men med en framtida olje- och elbrist kan detta komma att förändras. Ett lågtemperatursystem ger större valfrihet och möjligheter vid en framtida konvertering. Lågtemperatursystemens uppgift är inte att spara energi, utan att ge möjlighet att använda energikällor av så låg kvalitet som möjligt.

### ***Golvvärme***

Svenska golvvärmesystem har främst byggts som platta på mark med underliggande isolering (tunga system) eller med kryputrymme och träbjälklag (lätta system). Betongbjälklag möjliggör användning av lägre vattentemperaturer än om golvvärmepåsar och golvskiva används i ett lätt bjälklag. Golvvärme anses totalt sett ge ett bättre inomhusklimat än radiatorsystem, men det finns också nackdelar med golvvärme.

Undersökningar tyder på att svenska småhus med golvvärmesystem förbrukar mer energi än motsvarande hus med radiatorsystem. Mätningar och enkätundersökningar tyder på att lufttemperaturen inte är lägre i husen med golvvärme. Majoriteten av forskningen om golvvärme konstaterar också att endast *marginella* temperatursänkningar av inomhusluften är möjliga utan att komforten försämras. Orsakerna till en ökad energiförbrukning för ett golvvärmesystem kan vara förlängd uppvärmningssäsong, ökade värmeförluster från golvet, dålig injustering och dålig följsamhet för utetemperaturvariationer och interna värmeöverskott. Det bör undersökas vilka orsaker som leder till de höga energiförbrukningar som uppmätts i husen.

För att minska problemen med ökad energiförbrukning ges vissa rekommendationer. Framförallt skall isolertjockleken fördubblas. Den uppvärmda golvkonstruktionen skall ha så låg värmekapacitet som möjligt för att möjliggöra snabb reglering. Reglersystemet skall injusteras omsorgsfullt och enligt vissa källor alltid förses med rumsreglering med pulserande flöde. Andra menar att tunga golvvärmesystem kan börja självsvänga med rumsreglering. God funktion genom självreglering av tunga betongkonstruktioner kan också uppnås om effektbehovet är lågt (låg ytemperatur) och om golvbeläggningens värmeledning är hög så att betongplattans temperatur alltid ligger inom komfortintervallet. En sådan konstruktion ger dock större problem med kalla golv, och kan medföra en förlängd uppvärmningssäsong. För att minska risken för kalla golvkänsla bör lätta golvkonstruktioner användas.

### ***Takvärme***

Takvärmesystem som är lämpliga för lågtemperaturuppvärmning kan utföras som s.k. Frengertak, som utgör en del av undertaket eller genom ingjutning av vattenslingor i betong bjälklaget. Genom att takvärmesystem samtidigt kan fungera som kylsystem kan takvärme vara ett ekonomiskt alternativ. Litteraturen visar att takvärmesystem i välisolerade och omöblerade rum ger en god komfort, men också att temperaturen under möbler är lägre. Det är dock oklart exakt hur kallras från fönster, ventilation och möblering påverkar komforten. Oklarheter om komforten leder nog till att takvärme främst kommer att användas i rum med huvudsakligen kylbehov eller i rum med lägre komfortkrav.

### ***Kombination av tak- och golvvärme***

Ur lågtemperatursynpunkt är system med ingjutna rörslingor i betongbjälklagen för flervåningshus ett av de intressantaste systemen. Betongstommens stora tröghet tillsammans med den stora värmeöverförande ytan möjliggör att höga värme- och kyllaster kan utjämnas över dygnet. Om byggnaden konstrueras för låga värme och kylbehov, kan framledningstemperaturen hållas inom ett mycket smalt temperaturområde och temperaturen i byggnaden regleras med självregleringseffekten. Om lufttemperaturen sjunker under betongbjälklagens temperatur avges värme från bjälklaget och om lufttemperaturen stiger över betongbjälklagets temperatur kyler stommen. Ett flertal byggnader har byggts enligt detta koncept i både Schweiz, Österrike och Sverige.

### ***Väggvärme***

Väggvärmesystem förekommer på kontinenten, men är nästan okända i Sverige. Vattenburen väggvärme byggs genom att moduler av rörslingor putsas in, eller genom att väggskivor med rörslingor används. Installationen i väggar kan vara ett alternativ till installation i golv eller tak. Väggvärme innebär att värmeförlusterna från vägen ökar. För att minska värmeförlusterna bör isolertjockleken ökas. Den bästa komforten erhålls om väggvärmerna placeras på ytterväggarna, men värmeförlusterna kan minskas genom att en del av väggvärmerna placeras på innerväggar. För att motverka kallras måste dock väggvärme appliceras under fönster.

### ***Radiatorvärme***

Radiatorsystem utförs idag som lågtemperatursystem med 55/45°C som dimensionerande temperatur. Två-rörssystem fungerar bättre som lågtemperatursystem än ettrörssystem, eftersom returtemperaturen sjunker vid interna värmeöverskott till skillnad från ettrörssystem där returtemperaturen stiger. Radiatorsystem är en väl beprövad teknik som ger god komfort, men möjliggör inte användning av extremt låga temperaturer under 45°C.

### ***Luftvärme***

Luftvärmesystem byggdes under 80-talet och början på 90-talet med återluft och varmluftsinsblåsning genom takdon. Erfarenheterna från dessa hus är inte goda, men de luftvärmesystem som är intressanta som lågtemperatursystem bygger på att rumsytorna värms av luften. I en del system tillförs luften sedan rummet och i andra system cirkulerar luften runt i ett slutet system. För lågtemperatursystem är det viktigt att beakta fläktarnas elförbrukning, då det i regel åtgår mer energi för att distribuera värme med luft än med vatten. En fördel med luftvärme jämfört med de andra systemen är att stora värmeavgivande ytor kan erhållas till låg kostnad. En nackdel är att rumsreglering är svårt att applicera.

### ***Fjärrvärme***

För att reducera temperaturnivåerna i befintliga fjärrvärmesystem är det främst sänkta returtemperaturer som kan uppnås genom att injustera undercentraler och använda returledningen för uppvärmning i lågtemperatursystem. Ett styrmedel för detta är att höja priset på den flödesberoende delen, samtidigt som energipriset sänks. Nybyggnation av närvärmesystem och sekundärfjärrvärmesystem kan dimensioneras för lågtemperaturvärme, vilket skapar möjligheter att successivt gå över till lägre temperaturnivåer i fjärrvärmesystemen.

### ***Tappvarmvatten***

Produktion av tappvarmvatten kräver de högsta temperaturerna i ett lågtemperatursystem, men kan samtidigt ge kraftig avkyllning av värmekällan, eftersom kallvattentemperaturen ligger mellan 5 och 10°C. För att minimera risken för tillväxt av legionellabakterier skall temperaturen i en förrådsberedare hållas vid 50 till 60°C. Om vattnet värms i genomströmning med plattvärmväxlare eller kamflänsrör blir vattnets uppehållstid så liten att risken för legionella är minimal, oberoende av temperaturnivån.

### ***Sol och lågtemperatursystem***

Lägre temperaturnivåer i värmesystemen ger en något högre täckningsgrad för ett vanligt kombisystem, men de energibesparingar som erhålls kan lätt ätas upp om lågtemperaturvärmesystemet förbrukar mer energi. Kombisystemens inverkan av temperaturnivån, ger dock inte hela bilden, eftersom låga temperaturer blir viktigare, ju högre andel av uppvärmningsbehovet som täcks. Andra system med enklare, billigare och större solfångare, andra reglerprinciper, annan systemuppbyggnad och annan lagringsteknik, kan uppvisa ett annat resultat och detta bör därför undersökas. Det bör också undersökas hur ett solvärmesystem skall utformas för att optimalt kunna tillgodogöra sig fördelarna med lågtemperaturvärmesystemen.

Från undersökningen om golvvärme har framkommit att en faktor som kan ha stor inverkan på ett golvvärmesystems energiförbrukning är om uppvärmningssäsongen förlängs. Om detta är vanligt förekommande kan ett bra åtgärdsförslag för hus med golvvärme och hög energiförbrukning vara att installera en solvärmeanläggning.

### ***Värmepump och lågtemperatursystem***

Värmepumpens värmefaktor höjs främst av en låg framledningstemperatur. Systemkombinationer av solvärme och värmepump kan också ge en höjd värmefaktor, men ekonomin för sådana system är i regel mindre övertygande. Av denna anledning är det viktigt att installationen av solvärmesystemet medför en låg extrakostnad där en billig och enkel solfångare används.

## **ABSTRACT**

This literature review is a survey of Swedish and international research within the field of low temperature heating. The aim has been to illustrate different types of distribution systems and system concepts. Function, comfort, and energy consumption have been investigated for the different systems. Heating with low temperatures is needed for a more efficient use of heat sources of low quality energy, for example solar heat, geothermal heat and waste heat.

In today's society there is usually not a very good profit in using low temperature technology for heating, but with a future shortage of oil or electricity this could be changed. A low temperature heating system gives more opportunities for future conversion. The task for the low temperature heating systems is the possibility of using the lowest possible temperature rather than saving energy.

### ***Floor heating***

Swedish floor heating systems have mainly been built as heavy slab on grade constructions with the insulation underneath, or as light constructions with a crawl space and a timber joist floor. The concrete slab allows a lower water temperature than a light construction with floor heating distribution plates and chipboard floors. Floor heating is considered to give a better indoor climate than radiators, but there are also disadvantages with floor heating.

Investigations indicate that Swedish single family houses with floor heating consume more energy than corresponding houses with radiator systems. Measurements and questionnaires indicate that the air temperature in houses with floor heating is not lower than in other houses. The majority of the research also shows that only *marginal* decrease of the indoor air temperature is possible. The reasons for increased energy consumption for a floor heating system could be a longer heating season, increased heat losses from the floor slab, bad adjustment of the heating system and inadequate flexibility in the heating system for sudden changes of the load. An investigation should be made of the factors that lead to the high energy consumption measured in the houses.

Some recommendations can be made to reduce the problems of increased energy consumption. Above all the insulation thickness should be doubled if floor heating is used. The heated concrete slab should be as thin as possible to improve the regulation, or the heat load should be low, so the temperature of the slab can be kept within the comfort range. This will improve the self regulation effect. The control system has to be carefully adjusted and fitted with zone regulation with pulse modulated flow. To reduce the risk for cold floors a light floor construction can be used.

### ***Ceiling heating***

Ceiling heating systems suitable for low temperature heating can be a "Frengertak" which also provides a false ceiling, or pipes in the concrete floor structure. A ceiling heating system can also be used for cooling which makes it more economical. The literature shows that ceiling heating systems in well-insulated rooms without furniture give good comfort, but also that the temperature under the furniture is lower. It is not clear exactly how down-draughts from ventilation and furniture affect the comfort in a room heated by the ceiling. Uncertainties about comfort will probably lead to ceiling heating mainly being installed in rooms with mainly cooling loads or in rooms with lower requirements for comfort.

### ***Combination of ceiling and floor heating***

Combination of ceiling and floor heating with pipes in the concrete floors is one of the most interesting low temperature heating systems, giving many advantages. The high thermal inertia of the building and the big heat transfer area makes it possible to even out high heating and cooling loads. If the building is constructed for low heating and cooling loads, the supply water temperature can be kept within a narrow temperature gap and the temperature in the building can be self regulatory. If the room air temperature is below the temperature of the concrete floor, the floor will heat the room and if the room air temperature is higher than the temperature of the floor, the room air will be cooled. Several buildings designed according to this concept have already been constructed in Switzerland, Austria and Sweden and the results show good indoor comfort and low energy consumption.

### ***Wall heating***

Wall heating systems are used on the continent, but are practically unknown in Sweden. Water-borne floor heating is constructed by putting modules of thin pipes on the block wall and covering them with plaster. An-

other technology for light wall construction uses plasterboard cladding sheets with pipes embedded in the sheets. Installation of pipes in walls can be an alternative to floor or ceiling heating. Wall heating means that the heat losses from the wall are increased, but using thicker insulation can decrease the losses. The best comfort will be achieved by using wall heating on the exterior walls, but putting some of the heating elements on the interior walls can decrease heat losses. To avoid cold downdraft from the windows, heating elements under the windows are recommended.

### ***Radiator heating***

Today radiator systems are usually built as low temperature systems with 55/45°C as dimensioning temperatures. A two pipe system is a better low temperature system than a single pipe system, because the return temperature decreases when the internal gains increase. In single pipe systems the return temperature increases when internal gains occur. Radiator systems are a well-known technology, but do not allow the use of very low temperatures.

### ***Air heating***

Air heating systems that are interesting for low temperature technology are based on heating the interior walls or floors with air. In some systems, the air is later supplied to the rooms, in others the air circulates through a closed system. For low temperature systems it is very important to pay attention to the power consumption of the fans, though distributing heat with air systems usually needs more energy than a water-borne system. An advantage of air distribution systems is that large heat transfer areas can be achieved at lower costs than for water-borne systems. A disadvantage is that zone regulation is difficult.

### ***District heating***

To reduce temperature levels in existing district heating systems, primarily the return temperature can be reduced by adjustment of the sub-centres, and the use of the return pipe for heating in low temperature systems. A means of control is to reduce the price for energy and to increase the price for flow. When constructing new local district heating systems and secondary district heating systems the sub-centres can be designed for low temperature, which increases the possibility of using low temperatures.

### ***Domestic hot water***

Production of domestic hot water needs the highest temperatures in a low temperature heating system, but it can also cool the heat source very efficiently because the cold water temperature is usually 5-10°C. To minimize the risk of the growth of legionella bacteria in the water, the temperature in water storage heaters has to be kept at 50 to 60°C. If the water is heated on flowing through a flat plate heat exchanger or a spiral tube heat exchanger, the rate of flow is high and the risk of legionella bacteria growth is low, independent of the temperature level.

### ***Solar and low temperature systems***

Lower temperature levels are favourable for solar heating systems and give a slightly higher solar fraction for an ordinary combi-system for single family houses. The small improvement can easily be diminished if the low temperature heating system has a higher energy consumption. Combi-systems do not give the complete answer, though low temperatures became more important as higher solar fractions are achieved. Other types of systems with simpler, cheaper and bigger solar collectors, other controls, other system concepts and other types of storage can give other results this ought therefore to be investigated. The design of different types of systems to utilize the low temperature heating systems should also be investigated.

The investigation of floor heating systems shows that a factor which can have great influence on the energy consumption of floor heating systems can be a longer heating season. If this occurs frequently with floor heating systems, a very good measure could be to install a solar heating system in houses with floor heating.

### ***Heat pumps and low temperature systems***

A low supply temperature mainly improves the coefficient of performance (COP) of a heat pump. Combinations of solar heating and heat pumps can also give an increased COP, but the financial benefits of such systems are less convincing. Therefore the extra installation costs of the solar heating system have to be as low as possible.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INTRODUKTION .....	8
1.1	Bakgrund .....	8
1.2	Syfte .....	9
1.3	Metod och avgränsningar .....	9
1.4	Disposition .....	10
2	VAD ÄR LÅGTEMPERATURSYSTEM? .....	11
3	BYGGNADEN SOM DISTRIBUTIONSSYSTEM .....	12
4	SÄTT ATT BEDÖMA INOMHUSKLIMAT .....	13
5	GOLVVÄRME .....	14
5.1	Introduktion .....	14
5.2	Systemtyper .....	14
5.3	Temperaturkrav .....	16
5.4	Reglering av golvvärmesystem .....	18
5.5	Komfort och energieffektivitet .....	22
6	TAKVÄRME .....	31
6.1	Introduktion .....	31
6.2	Systemtyper .....	31
6.3	Temperaturkrav .....	32
6.4	Reglering av takvärmesystem .....	33
6.5	Komfort och energieffektivitet .....	33
7	KOMBINATION AV TAK- OCH GOLVVÄRME .....	35
7.1	Introduktion .....	35
7.2	Systemtyper .....	35
7.3	Temperaturkrav .....	36
7.4	Reglering av systemen .....	37
7.5	Komfort och energieffektivitet .....	38
8	VÄGGVÄRME .....	39
8.1	Introduktion .....	39
8.2	Systemtyper .....	39
8.3	Temperaturkrav .....	41
8.4	Reglering av väggvärmesystem .....	41
8.5	Komfort och energieffektivitet .....	41
9	RADIATORVÄRME .....	42
9.1	Introduktion .....	42
9.2	Systemtyper .....	42
9.3	Temperaturkrav .....	43
9.4	Reglering av radiatorer .....	43
9.5	Komfort och energieffektivitet .....	44



10	LUFTVÄRME .....	45
10.1	Introduktion.....	45
10.2	Systemtyper.....	46
10.3	Temperaturkrav .....	48
10.4	Reglering av luftvärmesystem.....	48
10.5	Komfort och energieffektivitet.....	48
11	FJÄRRVÄRME .....	50
11.1	Introduktion.....	50
11.2	Systemtyper.....	50
11.3	Temperaturkrav .....	51
12	TAPPVARMVATTEN .....	54
12.1	Introduktion.....	54
12.2	Systemtyper.....	54
12.3	Temperaturkrav .....	56
13	SOL OCH LÅGTEMPERATURSYSTEM .....	57
13.1	Introduktion.....	57
13.2	Systemtyper.....	57
13.3	Uppvärmningssystemets inverkan på solvärmeutbytet.....	58
14	VÄRMEPUMP OCH LÅGTEMPERATURSYSTEM.....	64
14.1	Introduktion.....	64
14.2	Systemtyper.....	64
14.3	Uppvärmningssystemets inverkan på värmefaktorn .....	67
15	LITTERATURGRANSKNING.....	68
15.1	Reglering av golvvärmesystem .....	68
15.2	Komfort och energiförbrukning .....	72
15.3	Golvvärmedebatten .....	84
16	SLUTSATSER .....	86
16.1	Golvvärme.....	86
16.2	Takvärme.....	88
16.3	Kombination av tak och golvvärme .....	88
16.4	Väggvärme .....	89
16.5	Radiatorer.....	90
16.6	Luftvärme .....	90
16.7	Fjärrvärme .....	91
16.8	Tappvarmvatten.....	91
16.9	Sol och lågtemperatursystem .....	91
16.10	Värmepump och lågtemperatursystem.....	92
17	LITTERATUR .....	93

## 1 INTRODUKTION

Denna litteraturstudie kartlägger svensk och internationellt genomförd forskning inom lågtemperaturuppvärmning. Litteraturstudien ger bl.a. en överblick över olika lågtemperaturvärmesystem. Rapporten har tillkommit genom medel från Statens energimyndighet STEM.

### 1.1 Bakgrund

Ca 25 % av Sveriges energibehov används för uppvärmning av bostäder och lokaler. Av denna energi är 42 % fjärrvärme, 26 % olja, 22 % elvärme och 10 % biobränsle (AB svensk energiförsörjning 2000). I framtiden med stigande energipriser kan denna energiförsörjning komma att förändras mot användning av andra energikällor där lågtemperaturuppvärmning kan bli en viktig komponent för att trygga energiförsörjningen i framtiden.

#### *Spara energi eller exergi?*

Införande av lågtemperatursystem möjliggör användning av energikällor med lägre kvalitet, d.v.s. lägre exergi. Exergin hos en energikälla är ett mått på hur energins tillstånd skiljer sig från sin omgivning (Wall 1978). Ett system som har samma temperatur och tryck som sin omgivning befinner sig i jämvikt och har ingen exergi. De värmekällor som finns fritt runt omkring oss, som tex. solenergi och värme i vatten och mark, har låg exergi, medan bränslen och el är exempel på energikällor med högt exerginnehåll.

Ett resurssnålt värmesystem är ett system som inte använder sig av energikällor med högre exerginnehåll än nödvändigt. Lågtemperaturvärmesystemens uppgift är primärt inte att spara energi utan att spara exergi, dvs. att ge möjlighet till att använda värme av låg temperatur för husuppvärmning. Detta främjar användandet av alternativa energikällor, t ex genom att användningen av lågtemperatursystem utgör en möjlighet att förbättra verkningsgrader för dagens värmepumpar och solvärmesystem. Dagens energitillförsel sker dock huvudsakligen genom energikällor som inte förbättras av lågtemperaturteknik. Eftersom lågtemperatursystem ibland kan leda till ökad energiförbrukning kan det därför ibland vara svårt att motivera användningen av denna teknik.

#### *Dagsläget*

Moderna byggnader kräver mindre och mindre värmeenergi, men många byggnader förbrukar istället mer och mer elenergi. Den stora elanvändningen för datorer, belysning, och vitvaror tillsammans med allt bättre värmeisolering har gjort att kylbehovet ökar, medan värmebehovet minskar.

Energimyndighetens tävling ”2000-talets småhus” visar att det är möjligt att bygga hus som förbrukar totalt 8000 kWh/år, varav ca 3000 kWh per år är hushållsel (Energimyndigheten 2000 och Jahnsson 2000). En förutsättning är dock att frånluftvärmepump används. Med ett sådant system blir elbehovet för uppvärmning av värme och varmvatten endast 5000 kWh/år. Med dagens energipriser är det svårt att införa solenergi och bergvärmepumpar med god ekonomi. Av denna anledning byggs i stort sett samtliga hus med vattenburen elvärme och frånluftvärmepump idag. T.ex. har 300 hus levererade från Eksjöhus det senaste året till ca 90 % använt ett sådant värmesystem.

Energisnåla småhus tycks alltså absurt nog kunna motverka el-sparande. Det är bra att värmebehoven minskar, men minskade värmebehov leder till att det blir allt svårare att finna lönsamhet i kostsamma uppvärmningssystem. Dagens småhusbyggande med huvudsakligen vattenburen elvärme ökar ändå elförbrukningen och problemen med effekttoppar vid kall väderlek i en tid då den istället borde minska för att underlätta avvecklingen av kärnkraften.

### ***Vilka byggnader är lämpliga?***

Efter ovanstående resonemang är en befogad fråga vilka byggnader som ur ekonomisk synvinkel bäst lämpar sig för lågtemperaturteknik? Kanske är det flerbostadshus, som möjliggör gemensamhetsbesparingar och äldre byggnader med höga värmebehov. Även kontorsbyggnader och andra hus med kylbehov kan vara mycket intressanta, då man med lågtemperatursystem har stora möjligheter att ersätta både högvärdig värmeenergi för uppvärmning och el till kylmaskiner. Men för att implementera effektiv lågtemperaturteknik i byggbeståndet, krävs helhetssyn och systemtänkande.

### ***Varför börja nu?***

Val av uppvärmningssystem för dagens hus bör ses i ett betydligt längre perspektiv än val av energikälla, eftersom distributionssystemet har en betydligt högre livslängd än en panna eller värmepump. Framtida olje- och elbrist kan kraftigt komma att höja energipriset för olja och el, men även biobränsle. Vår bostadsuppvärmning kan då komma att konverteras till andra värmekällor som kräver lägre temperatur för distributionssystemen. Användning av lågtemperaturuppvärmning ger större möjligheter och valfrihet vid denna framtida konvertering. Användning av lågtemperatursystem är därför av omedelbart intresse, även om energitillförseln idag sker med elenergi.

## **1.2 Syfte**

Denna litteraturstudie ger en överblick av olika lågtemperaturvärmesystem som utvärderas eller föreslås i litteraturen. Systemprinciper, förutsättningar och problem belyses, samt en del av forskningen presenteras. Studien skall ge ökad kunskap och en överblick över olika lågtemperaturvärmesystem och systemkoncept. I rapporten hänvisas också till en stor mängd litteratur för den som vill fördjupa sig inom något speciellt område. Rapporten påvisar också områden och frågeställningar som behöver undersökas ytterligare.

## **1.3 Metod och avgränsningar**

Litteraturstudien kartlägger svensk och internationell litteratur inom lågtemperaturuppvärmning. Framst har litteratur som kan vara intressant för svenska förhållanden samlats in. Arbetet har främst inriktats mot själva distributionssystemen och inte mot energikällor och lagringsteknik. En litteraturstudie om lågtemperaturvärmelager kommer att genomföras av SERC vid Högskolan Dalarna och färdigställs under våren 2001.

Lågtemperatursystem för uppvärmning innebär ofta att man har möjlighet att integrera kylsystemen med värmesystemet och i sådana fall har även komfortkyla behandlats. För de olika värmesystemen har främst funktion, temperaturnivåer och komfort behandlats. Dessutom visas på exempel där de olika systemen byggts, testats och utvärderats.

Primärt har litteratursökning skett genom databaser och kontakter till institutioner och forskningsinstitut som tex Chalmers och KTH. Sekundärt har referenslistor i litteraturen använts. Databaser som använts är Inspec, Byggdok, Libris, Applied Science & Technology, Article first, DOE Reports Bibliographic Database, DOE Information Bridge, Science Citation Index, Elsevier Science Direct, ISI och ASCE Publications. Sökord som använts är low temperature heating, heating system, building heating och radiant heating. Dessutom har sökning utförts i ASHRARE Transactions från och med 1994 tom 2000, part 1.

### **1.4 Disposition**

I litteraturstudien redovisas olika lågtemperaturvärmesystem kapitelvis efter systemtyp. Funktion, systemkoncept, erforderliga temperaturnivåer, reglerprinciper, komfort och energieffektivitet redovisas. Enligt den klassificering som här gjorts har system där luft används som distributionsmedium klassats som luftvärmesystem, oavsett om varmluften cirkulerar i ett slutet system eller tillförs rummen.

Viss litteraturgranskning har sammanställts i kapitel 15 för att inte göra systempresentationerna alltför omfattade. Där presenteras bl.a. forskning om komfort och energiförbrukning och reglering av golvvärme.

## 2 VAD ÄR LÅGTEMPERATURSYSTEM?

Lågtemperatursystem är ett uppvärmningssystem som utnyttjar låg temperatur för att distribuera och överföra värme till en byggnad. Uppvärmning med lägre temperatur innebär att större ytor erfordras för att överföra erforderlig värmemängd. Ju lägre temperatur som erfordras, desto större blir möjligheterna vid val av energikälla.

Det är svårt att dra en temperaturgräns för vad som kan klassas som lågtemperaturteknik. Olika energikällor kräver också olika temperaturnivåer för att fungera. Värmepumpen t.ex., gynnas av lägre temperatur men börjar fungera dåligt vid temperaturer över 55°C. Radiator-system med temperaturnivå 55/45 klassas som lågtemperatursystem, men denna litteraturstudie kommer att påvisa andra typer av värmesystem som klarar sig med framledningstemperaturer under 30°C vid DUT (dimensionerande utetemperatur).

### *Energikällor*

*Solvärme* är en energikälla som kan komma att ersätta stora delar av uppvärmningsbehovet i framtiden. Idag används solvärme främst för tappvattenberedning under sommaren. När en allt större del av värmebehovet skall täckas med solenergi, blir värmesystemets temperaturnivå allt viktigare. Solvärme är en energikälla som är mycket beroende på god systemutformning för att ge ett stort värmeutbyte. Framförallt är en låg returtemperatur av intresse, då större energimängd kan utnyttjas i värmelagret och solfångarens medeltemperatur vid laddning sjunker.

*Värmepumpar* kan användas för att höja temperaturnivån hos mark, vatten och luft från en låg oanvändbar temperaturnivå till en högre användbar temperatur. Dessvärre fordras mekaniskt arbete eller högvärdig värme för att driva denna process. Ett minde temperaturlyft leder till att en mindre andel mekaniskt arbete fordras. Värmepumpar gynnas alltså framför allt av en låg framledningstemperatur, men även av en högre temperatur på värmekällan. Stora byggnadskomplex kan ha en relativt likvärdigt behov av både värme och kyla. Vid användning av värmepumpar kan byggnadens kylbehov tas direkt ur marken och den tillförda värmen återställer markvärmelagret så att inte temperaturen sjunker varje år. Sådana typer av system beskrivs av Berglund et al. (1992) och Midkiff.

*Andra energikällor* som kan användas för lågtemperaturuppvärmning är spillvärme från elproduktionsprocesser, industriprocesser och avloppsvatten, samt fjärrvärme returen. En annan tänkbar värmekälla i framtiden redovisas av Gullberg (1998). Vid användning av hybridbilar som laddar sina batterier nattetid med förbränningsmotor eller gasturbin kan spillvärme från dessa användas för värmeproduktion. Genom simuleringsarbete har det konstaterats att spillvärme från bilar som laddas skulle kunna täcka 50 % av det årliga energibehovet för en byggnad.

### 3 BYGGNADEN SOM DISTRIBUTIONSSYSTEM

#### *Lågtemperaturvärmesystem*

För att åstadkomma ett lågtemperaturvärmesystem krävs i regel att en större del av byggnadens ytor används som värmeöverförande (värmeavgivande) ytor. Genom detta faktum blir byggnaden och byggnadsstommen involverad i uppvärmningssystemet på ett helt annat sätt jämfört med traditionella radiatorvärmesystem. Byggnaden är inte längre en konstruktion som består av delkomponenter som byggnadsstomme, uppvärmningssystem, kylsystem, elsystem och ventilationssystem. Byggnaden blir med olika aspekter på lågtemperatursystem en enhet med en rad olika ingående system som skall samverka på bästa sätt. Ett lyckat koncept för lågtemperaturuppvärmning åstadkoms genom att arkitekt, bygg- el- och VVS-ingenjör samverkar. Samtliga parter bör vara insatta i hur helheten kommer att fungera och hur faktorer som rör det egna arbetsområdet påverkar de andra systemen och husets energiförbrukning. En tävling i att bygga hus med låg exergiförbrukning redovisas av Op 't Veld (1998) De vinnande förslagens systemlösningar beskrivs och ger goda exempel på vad helhetstänkande kan innebära.

#### *Kylsystem*

Genom att de interna lasterna i form av elektrisk utrustning ökat kraftigt och isolerstandarderna blivit bättre finns idag inte alls lika stora värmebehov som tidigare i t.ex. i kontorsbyggnader. Däremot har behovet av kyla blivit större och elförbrukningen för kylmaskiner är idag en stor del av många byggnaders elförbrukning. Om ett lågtemperaturvärmesystem möjliggör användning av markkyla, evaporativ kyla eller nattkyla, i stället för kompressor-kyla, kan detta vara en betydande vinst.

Då lågtemperaturvärmesystem ofta bygger på att stora ytor används för värmeöverföring och genom att en stor andel av värmeöverföringen sker med strålning är de alldeles utmärkta att använda även för komfortkyla. Om man har ett lågtemperaturvärmesystem med t.ex. väggvärme kan man också kyla med väggarna utan extra investeringskostnad.

Ett optimalt värme och kylsystem är ett system som ersätter både el till kylmaskiner och olja till uppvärmningssystemet med t.ex. markkyla, solvärme och värmepump med högsta möjliga värmefaktor. Det krävs alltså ett större systemtänkande med byggnaden som en helhet för att lyckas med energikonceptet för lågtemperatursystemen.

Byggnaden som energisystem behandlas i en rapport av Gundersen (1992) som redovisar en helhetsbild över småhus och energibehov. Både arkitektur och värmesystem behandlas med mål att påvisa goda lågenergilösningar. T.ex. förespråkas planlösningar med en central kärna som innehåller alla installationer, samt våtrum och ventilationssystem.

## 4 SÄTT ATT BEDÖMA INOMHUSKLIMAT

För att kunna ta del av bl.a. forskningen om komfort och energiförbrukningen för olika uppvärmningssystem behöver man känna till vilka faktorer som påverkar inomhusklimatet. Den komfort som upplevs i ett rum beror av en rad faktorer som på ett mycket förståeligt sätt presenteras i en artikel av Abel (1998). Förutom lufttemperatur och operativ temperatur påverkar också luftfuktighet, lufthastighet, beklädnadsnivå, mm. Nedan redogörs i korthet om de olika faktorerna som påverkar inneklimatet.

*Lufttemperaturen* (°C) är en faktor som ger ett grundläggande mått på komforten. Detta är också den parameter som mäts i de flesta regelsystem för värmeanläggningar. Men i vissa fall kan den vara klart missvisande.

*Operativ temperatur* (°C) är en fiktiv temperatur som fås genom sammanvägning av inverkan på välbefinnandet av lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen från omgivande ytor. Denna temperatur kan ge en hygglig beskrivning av inneklimatet om lufthastigheten är låg (mindre än 0,2 m/s). Andra källor anger att ingen hänsyn till lufthastigheten behöver tas när lufthastigheten understiger 0,1 m/s. (t.ex. Olesen 1994).

*Ekvivalent temperatur* (°C) är en fiktiv temperatur som fås genom sammanvägning av lufttemperaturen, strålningstemperaturerna och lufthastigheten. Hänsyn tas även till klädseln.

*PMV index* (Predicted Mean Vote) utgår från en grupp människors genomsnittliga värdering av inomhusklimatet. Indexet uttrycks med en sjustegsskala och utvecklades av Fanger genom laboriestudier på ett mycket stort antal människors upplevelse av inneklimatet (Fanger 1973). Indexet tar hänsyn till lufttemperatur, strålningstemperatur, lufthastighet, luftfuktighet, aktivitetsnivå (metabolismen), och klädsel.

*PPD-index* (%) (Predicted Percentage Dissatisfied) anger hur stor andel av människorna i en grupp som kan förväntas vara missnöjda med klimatet. PPD-indexet kan beräknas ur PMV-indexet genom ett samband framtaget av Fanger.

Under senare år har det visat sig att ytterligare faktorer påverkar hur komforten upplevs. Det har visat sig att människan anpassar sig till efter hur temperaturen ute och inne har varit under de närmast föregående dagarna. Människans uppfattning av vad som är behaglig rumstemperatur påverkas om man vistas en längre tid i en viss temperaturnivå. T.ex. är den temperaturnivå som anses behaglig högre efter en veckas värmebölja än före. Dessa nya rön kallas för *adaptiva modeller* för inomhusklimat, eftersom människans uppfattning tycks anpassa sig. Denna anpassning finns inte med i Fangers modeller.

## 5 GOLVVÄRME

### 5.1 Introduktion

Golvvärmesystemen bygger på att golvet i ett rum värms för att kompensera för övriga värmeförluster. Golvet kan värmas genom cirkulation av varmt vatten eller luft. Även elvärmda golv förekommer. Det varma golvet avger värme till rumsluften genom strålning till väggar, fönster tak och möbler, samt genom konvektion till rumsluften.

Även golvkylsystem förekommer i anläggningar där den huvudsakliga uppgiften är värmning. Där sker en betydligt mindre del av värmeöverföringen genom konvektion och en större del genom strålning till andra ytor, som i sin tur kyler rumsluften.

### 5.2 Systemtyper

#### *Lätta och tunga golvvärmesystem*

I Sverige karakteriseras byggandet främst av vattenburen golvvärme, antingen utförd som platta på mark eller med kryputrymme och träbjälklag. I betongplatta på mark förläggs vanligtvis vattenrör av plast ingjutna i plattans underkant. Plattan är isolerad på undersidan och kanterna, vanligtvis med 7 till 10 cm mineralull eller cellplast. Golvvärmesystem där värmen distribueras genom betongplattan brukar benämnas tunga eller tröga golvvärmesystem genom att golvet har hög värmeackumulering och stor termisk tröghet.

Golvvärmesystem med kryputrymme är oftast uppbyggda av träbjälklag och rören är förlagda under golvsivan i  $\Omega$ -formade aluminiumprofiler för att öka värmeavgivningen och fördela värmen över golvytan. Lätta golvvärmesystem är konstruktioner som har låg värmekapacitet, d.v.s. endast en liten värmemängd kan ackumuleras i golvet. System, där vattendistributionssystemet fungerar som golvskiva kan ge allra lägst temperaturnivåer. Ett sådant system har testats av Olesen (1994) under dynamiska förhållanden. Endast aluminiumplåt och golvbeläggning läggs ovanpå vattenslingorna.

#### *Flytande golv*

En rad andra typer av golvvärmekonstruktioner förekommer också. Bl.a. kan golvvärmesystem med platta på mark göras mindre värmetröga, genom att en del av isoleringen läggs ovanpå plattan, varpå ett flytande golv av tunn betong, parkett eller spånskiva läggs ut. Figur 5.1 nedan ger exempel på fyra olika tekniska lösningar för golvvärmesystem.

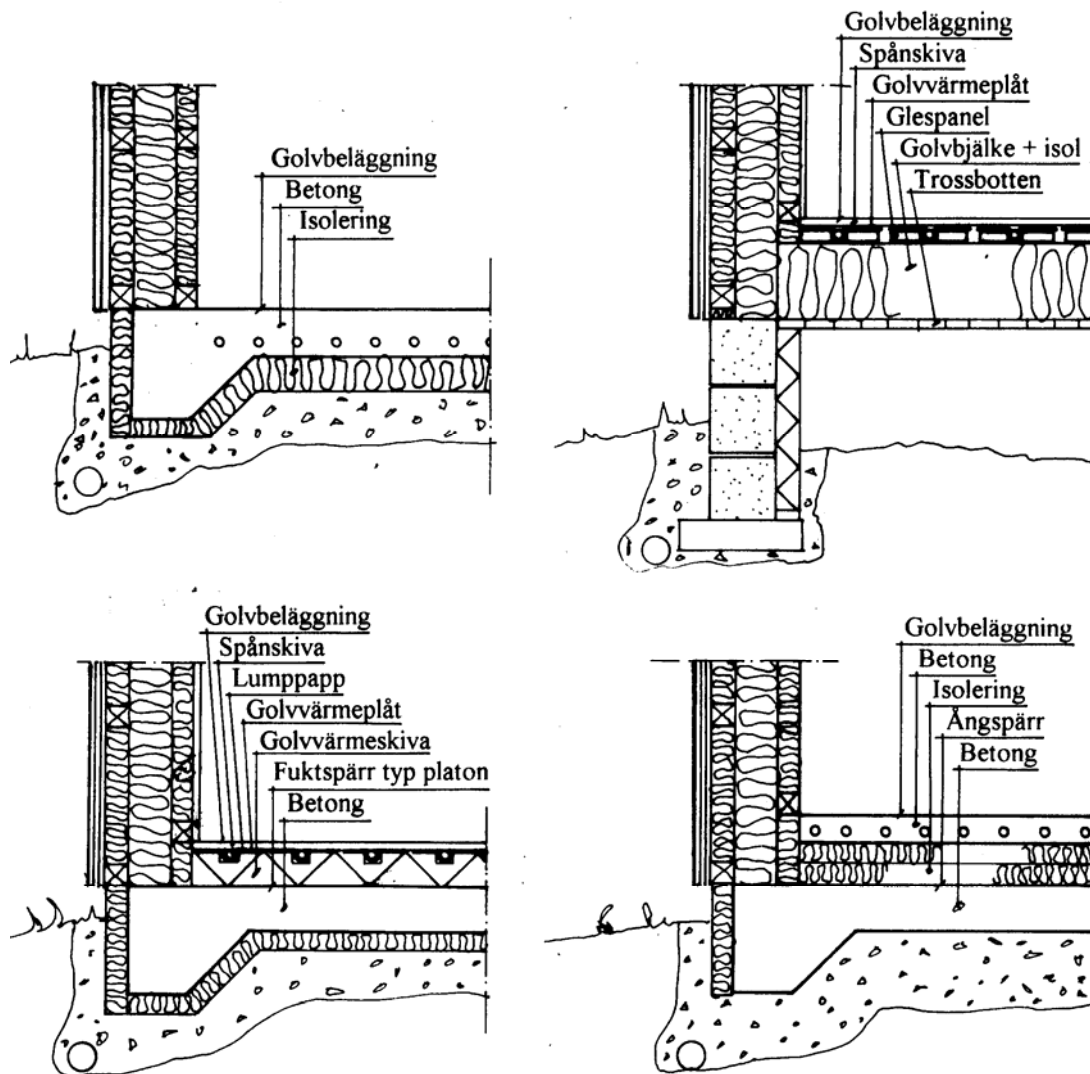
#### *Energisnålt golvvärmesystem*

Ett flytande golvvärmesystem utfört som platta på mark med en ovanliggande isolering på 100 mm och en ovanliggande betongplatta har utvärderats av Larsson (2000) genom detaljerade mätningar under ett år från 1999-05-01 tom 2000-05-01 (se kapitel 13.3). Huset är mycket energisnålt och dimensionerande effektbehov är ca  $24 \text{ W/m}^2$  vid DUT  $-24^\circ\text{C}$ . Framledningstemperaturen är ca  $30^\circ\text{C}$  vid DUT. Den tillförda energimängden till golvvärmesystemet var  $61 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{år}$ . Systemet är således intressant, speciellt med tanke på att



Gundersen (1998) beräknar förlusterna från en ouppvärmad platta på mark med 100 mm isolering till 12 kWh/m<sup>2</sup>·år. För ett lågtemperaturgolvvärmesystem beräknas förlusterna vara 19 kWh/m<sup>2</sup>·år. Systemet tycks ha mycket låga värmeförluster eller ge ett lågt värmebehov. Konstruktionen är intressant, eftersom den medför låg energiförbrukning, men samtidigt innebär konstruktionen ökade byggkostnader.

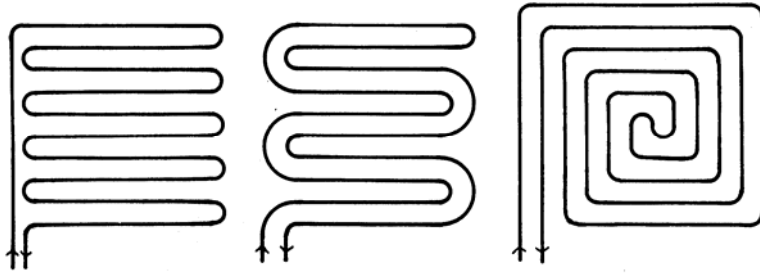
Solvärmesystem med direktkoppling till betongplattor har utvecklats i Frankrike. Letz et al. (2000) redovisar resultat för sådana system. Även IEA, Task 26 har arbetat med direktkoppling till golvvärmekretsen (Suter et al. 2000).



**Figur 5.1.** Olika typer av golvvärmekonstruktioner. Platta på mark, kryprumsbjälklag, platta på mark med flytande golv av spånskiva och platta på mark med flytande golv av betong.

### Olika förläggningmönster

Olika förläggningmönster kan väljas beroende på vilken funktion man vill uppnå. Om man önskar en något högre temperatur på golvet närmast yttervägg och fönster läggs rören sinusformade, med tilloppsledningen närmast fönster och yttervägg. Detta motverkar kallras. I rum med små fönster kan man önska en jämnare golvtemperatur och där kan såkallad snäckförläggning eller dubbelförlagd sinusformad slinga användas (se figur 5.2).



**Figur 5.2.** Tre olika förläggningsmönster för golvvärmerör. Enkelrörad sinusformad slinga, dubbelrörad sinusformad slinga och dubbelrörad snäckförläggning.

### Golvkyla

Det har under 90-talet byggts ett flertal byggnader med golvkylsystem i betongbjälklag. Resultaten visar att de kan användas som ett billigt system för att täcka mindre kylbehov i byggnader som huvudsakligen behöver värmeenergi. De möjliggör också att dimensionerande kyleffektbehov kan reduceras genom golvets värmelagrande egenskaper. För byggnader med solinstrålning mot golvet är systemen effektiva, då de bortför solvärmerna direkt när den absorberas av golvet. I lokaler där man går barfota är de mindre lämpade, p.g.a. låga golvtemperaturer sommartid.

## 5.3 Temperaturkrav

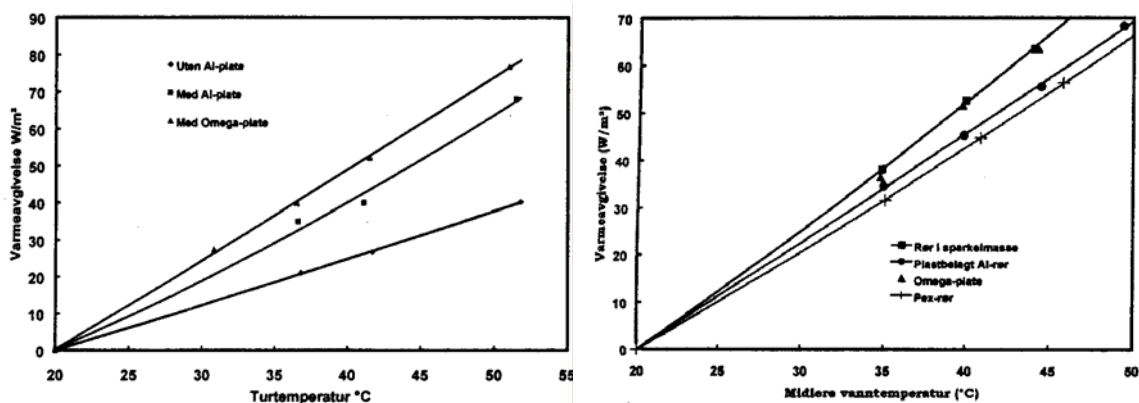
### Golvvärme

Den vattentemperatur som fordras för golvvärmesystem är kraftigt beroende av golvets konstruktion och effektbehovet per  $m^2$  golvyta. Golvvärmeslingor i betong, s.k. tunga golvvärmesystem, karakteriseras av en betydligt lägre vattentemperatur än lätta träbjälklag p.g.a. god värmeöverföring mellan värmerör och golvyta. Ofta är medelvattentemperaturer på ca 30 till 35°C vid dimensionerande utetemperatur tillräckliga. Lätta golvvärmekonstruktioner kräver ofta högre vattentemperaturer vid dimensionerande utetemperatur p.g.a. höga värmemotstånd i de bärande skivorna ovanför rören. I diagram 5.1 ges en översikt om temperaturbehov vid olika typer av lätta golvvärmesystem.

Boverket rekommenderar att golvtemperaturen inte bör överstiga 27°C (Boverket 1999). Enligt Simmonds (1994) är den totala värmeövergångskoefficienten mellan golv och rum ca  $11 \text{ W/m}^2\text{K}$  vid golvvärme. Den avgivna värmeeffekten till rummet blir alltså maximalt ca  $60\text{--}70 \text{ W/m}^2$  vid en rumstemperatur av 21°C.

Golvvärmesystem brukar dimensioneras så att ett temperaturfall på mellan 5 och 10 grader mellan framledning och retur erhålls. Betongplatta med golvvärme kräver en framledningstemperatur av ca 30 - 40°C vid DUT. Enligt ZW Energiteknik (1998) blir golvvärmesystemet billigare i installation än ett radiatorsystem, om radiatorerna skall dimensioneras för lägre temperaturer än 45°C.

Produktblad från golvvärmeproducenter brukar ge tillräcklig information för att dimensionera golvvärmesystem. Grundläggande teori för värmeöverföring i golvvärmesystem beskrivs inte i denna rapport, men en sammanfattning ges av Nyman (1997).



**Diagram 5.1.** Erforderlig vattentemperatur som funktion av värmebehov för olika golvvärme-konstruktioner. Källa: Gundersen (2000). Det vänstra diagrammet ger exempel på värmeavgivning från en lätt golvkonstruktion med 13 mm gips och 9 mm parkett. De olika kurvorna visar värmeavgivningen utan värmefördelande plåt, med 0,5 mm aluminiumplåt och för  $\Omega$ -formad aluminiumplåt. Det högra diagrammet ger exempel på värmeavgivning från en lätt golvkonstruktion med två lager 13 mm gips över värmerören. De olika kurvorna visar här olika rörtyper och förläggnings-sätt: Plastbelagda aluminiumrör i spackelmasse, plan aluminium plåt över plastbelagda aluminiumrör,  $\Omega$ -formad plåt med PEX-rör och PEX-rör i spackelmasse. Samtliga kurvor gäller för röravståndet 200 mm och rumstemperaturen 20°C.

## Golvkyla

För att uppnå komfortkriterier och undvika kondensproblem rekommenderas att golvet yttemperatur ej understiger 19°C (Olesen 1997). Enligt Simmonds (1994) är den totala värmeövergångskoefficienten mellan golv och rum ca 6 W/m<sup>2</sup>K för golvkylsystem. Enligt Michel et al. 1993 och Deli 1995 är värmeövergångskoefficienten 7 W/m<sup>2</sup>·K, varav ca 5,5 W/m<sup>2</sup> är strålning och 1,5 W/m<sup>2</sup>·K är konvektion. Dessa värmeövergångskoefficienter begränsar kyl effekten till ca 30 - 40 W/m<sup>2</sup> vid en rumstemperatur av 25°C och en golvtemperatur av 19°C.

För golvkylsystem i betong är det överförd effekt, avståndet mellan rören samt rörets och golvbeläggningens värmeledningsförmåga, som bestämmer erforderlig vattentemperatur. Olesen 1997 redovisar ett dimensioneringsunderlag för golvkylsystem. Beräkning enligt dessa ekvationer ger en kyleffekt av 26 W/m<sup>2</sup> för en fram- och returledningstemperatur av 15/17°C. Beräkningarna utfördes enligt följande förutsättningar: 25 graders rumstemperatur, 150 mm mellanrum mellan rören, en resistans hos golvbeläggningen av 0,05 m<sup>2</sup>·K/W, en betongtjocklek av 65 mm ovanför rören och en rördiameter av 17 mm. För att öka kyleffekten kan man sänka vattentemperaturen eller minska avståndet mellan rören.

I litteratur av och Olesen et al. (2000) redovisas noggrannare dimensioneringsunderlag, samt en jämförelse mellan olika dimensioneringsmetoder. Simmonds et al. (2000) beskriver dimensioneringsförfarandet för ett kylt golv i en mycket speciell flyghall med mycket stora glasytor, där man hoppas kunna bortföra stora delar av solinstrålningen, redan när den träffar golvytan.

## 5.4 Reglering av golvvärmesystem

Frågan om vad som är optimal reglering av golvvärmesystem är enligt litteraturen mycket kontroversiell. Forskning inom området har kommit till många olika slutsatser. I detta kapitel presenteras olika principer för att reglera rumstemperaturen. Därefter sammanfattas en del av forskningen inom området.

### *Självreglering*

Självreglering hos ett golvvärmesystem innebär att värmeavgivningen minskar från golvet då rumstemperaturen stiger. Ett golvvärmesystem har betydligt större självreglerande egenskaper än t.ex. ett radiatorsystem, genom att yttemperaturer och vattentemperaturer är lägre. Om golvytans temperatur är t.ex. 24°C upphör värmetillskottet då rumstemperaturen överstiger 24°C (bortsett från strålning till kallare ytor i rummet). Självregleringseffekten är således större, ju lägre temperatur värmesystemet arbetar med. Detta skapar möjlighet att i vissa fall helt utelämna rumsregleringen och enbart styra framledningstemperaturen beroende på utetemperaturer och med eventuell återkoppling från innetemperaturen

### *Framkoppling*

Reglering med framkoppling innebär att faktorer som påverkar rumstemperaturen, t.ex. utetemperatur och tillufttemperatur mäts och används för styrning av framledningstemperaturen. Denna reglerprincip innebär dock att t.ex. solinstrålning och interna laster inte beaktas.

### *Återkoppling*

Återkoppling från rumstemperaturen innebär att även rumstemperaturen mäts och används för att förskjuta framledningstemperaturen neråt om rumstemperaturen skulle vara för hög.

### *Temperaturreglering*

Temperaturreglering med trevägsventil sker oftast centralt i fastigheten för alla golvvärmekretsar med hjälp av en trevägs eller en fyrvägs blandningsventil. Framledningstemperaturen styrs vanligtvis med framkoppling från utetemperaturer enligt en förinställd kurva. Flödet genom golvet är hela tiden konstant och när inget värmebehov föreligger återcirkuleras vattnet genom golvet. Om framledningstemperaturen är för låg öppnar ventilen något och varmt vatten från pannan blandas in.

### *Flödesreglering och pulserande reglering*

Flödesreglering sker oftast i samband med rumsreglering, dvs. reglering av effekten till en enskild krets genom reglering av vattenflödet. Vattenflödet kan antingen strypas kontinuerligt eller pulseras genom av/på-reglering. För att erhålla en jämn golvtemperatur används i de flesta fall en styrning som skapar ett pulserande flöde (av/på-reglering). Ventilen är då antingen öppen eller stängd och några mellanlägen finns ej. Pulserna styrs så att tillslagen blir tätare om skillnaden mellan börvärde och ärvärde är stor (skillnad mellan inställd rumstemperatur och uppmätt rumstemperatur är stor).

Rumsreglering av tröga golvvärmesystem kan i vissa fall leda till att rumstemperaturen varierar eller svänger eftersom reaktionstiden hos golvet är trögt. Det har visat sig att risken för självsvängningar i reglerkretsen minskar om pulserande reglering används (Lood 1998). Förhållandet mellan avgiven effekt och flödet i slingan är sällan linjärt. Dessutom blir

golvtemperaturen jämnare vid pulserande reglering. Allt detta tillsammans gör att pulse-

rande flöde, där tiden mellan tillslagen beror på värmebehovet är att föredra vid rumsreglering.

Pulserande flöde kan erhållas antingen genom att använda elektronisk reglering eller genom att termostaten förses med ett elektriskt motstånd som får spänning samtidigt som ventilen öppnar. På så sätt värms termostaten upp, som tycker att det är för varmt och ventilen stänger igen.

### ***Effektreglering***

Effektreglering innebär att pannans tillförda effekt styrs efter värmebehovet. Flödet är konstant och framledningstemperaturen tillåts variera för att tillfredsställa ett visst effektbehov. En givare mäter rumstemperaturen och effekten styrs som en funktion av skillnaden mellan börvärde och uppmätt värde. För säkerhet mot överhettning är ett maxvärde för framledningstemperaturen inställd för att skydda golvvärmesystemet. Reglermetoden kan användas tillsammans med t.ex. en elpanna som styrs genom pulslängdsmodulering (Lood 1998).

### ***Nattsänkning***

Nattsänkning kan användas för att spara energi under en period då rumstemperaturen spelar mindre roll. Med tunga golvvärmesystem av betong är svårt p.g.a. att den stora massan i golvet kräver lång tid för att ändra temperatur. Om den skall tillämpas bör uppvärmningen ske med högre temperatur än vad som fordras av aktuell utetemperatur. Detta förkortar uppvärmningstiden. I värmetröga och välisolerade byggnader kan man endast göra marginella energivinster genom nattsänkning eftersom rumstemperaturen knappast hinner sjunka alls under en natt (Olesen 1994).

### ***Utnyttjande av billig nattaxa***

Istället för att försöka sänka rumstemperaturen nattetid kan tunga golvvärmesystem istället laddas med t.ex. billig nattel för att sänka värmekostnaderna. Problemet med sådana system är att komforten försämras genom att det är svårt att förutse ev. gratisvärme (solinstrålning) kommande dag. Detta kan leda till onödiga övertemperaturer som ökar energiförbrukningen och försämrar komforten.

### ***Vanliga reglersystem***

Vanliga reglersystem i praktiskt bruk innebär reglering av framledningstemperaturen med trevägsventil med framkoppling från utetemperaturen. Rumsreglering sker genom pulserande flöde med elektronisk rumstermostat, tvåvägsventil och styrdon. Tvåvägsventilen styrs med av/på reglering, så att den antingen är fullt öppen eller stängd. I vissa anläggningar används inte rumsreglering av kostnadsskäl och ibland styrs framledningstemperaturen både med framkoppling från utetemperaturen och med återkoppling från rumstemperaturen.

### ***Sammanfattning av forskningen om golvvärmerreglering***

En rad olika reglermetoder har undersökts i litteraturen, men resultaten ger ett spretigt intryck och är ibland motsägelsefulla. De reglersystem som är vanligast i Sverige är reglering av framledningstemperaturen med trevägsventil och rumsreglering med tvåvägsventil och pulserande reglering. Sådana system har inte undersökts experimentellt i någon forskning. Däremot har reglermetoden simulerats av Gibbs (1994). Ett problem med att applicera forskningen på det svenska byggbeståndet är att de internationella studierna ofta utförts med tunnare betongplattor och att regleringen ofta utförts på annat sätt än vad som

är vanligt i Sverige. Nedan sammanfattas resultaten från forskning om golvvärme. En detaljerad genomgång av litteratur om reglering av golvvärme finns i kapitel 15.1.

Leigh et al. (1994) anser att allra bäst reglering vid en betongtjocklek av 50 mm ges med proportionell effektregering genom att en pannas effekt styrs proportionellt som funktion av temperaturavvikelsen i rummet. Reglermetod är dock inte lämplig för byggnader med flera zoner och den är enbart lämplig för elpannor och möjligen också för gaspannor. I andra hand anser Leigh att temperaturregering med trevägsventil och framkoppling från utetemperaturen skall användas. Även återkoppling från innetemperaturen kan användas.

Lood (1998) har undersökt temperaturregering med trevägsventil och konstaterat att PD-reglering fungerar bra. I-delen behövs inte (Se litteratur av Lood 1998, kap. 15.1.) Lood konstaterar också att för hög förstärkning ger upphov till svängningar genom att golvet är värmetrögt.

Gibbs (1994) har simulerat olika reglersystem och anser att bästa reglering erhålls med temperaturregering med motorstyrd trevägsventil och framkoppling från utetemperaturen och återkoppling från rumstemperaturen, samt rumsreglering med zonventiler som ger pulserande flöde.

Athienitis (1994) undersöker hur nattsänkning av golvvärmesystem med 40 mm betong skall regleras och slutsatserna är att en sinusformad kurva för börvärdet för rumstemperaturen ger mindre övertemperatur och lägre energiförbrukning än en stegformad kurva då solinstrålning förekommer under dagen. I studien av Athienitis et al. (1997) konstateras att en tjockare betongplatta än nödvändigt ger högre rumstemperaturer vid solinstrålning oavsett om nattsänkning används eller inte. Nattsänkning ger också mindre energivinster ju tjockare betongplatta som används.

Athienitis et al. (2000) har undersökt effekten av solinstrålning i rum med golvvärme. En noggrann simuleringsmodell som validerats mot mätningar har använts. Till skillnad från vanliga modeller tar denna modell hänsyn till var på golvet solen infaller. Resultaten visar bl.a. att golvet ytemperatur lokalt kan stiga 8°C vid solinstrålning. Om en matta placeras på golvet försämras värmeackumuleringen i plattan så att ytemperaturen på mattan kan stiga 15°C vid solinstrålning. Stora energibesparingar kan göras om inte solinstrålningen utestängs. En ökad tjocklek av betongplattan från 5 till 10 cm ger ingen ökad energibesparing. Placering av en matta på golvet minskar drastiskt energibesparingen. Nackdelar med att tillåta solinstrålning är förhöjd rumstemperatur dagtid och för låg rumstemperatur efter solnedgången, genom att värmen har varit avslagen, och det tar en tid att värma upp plattan igen. För att erhålla riktigt god komfort måste avancerad reglering utvecklas.

Hagstedt (1978) efterlyser reglerutrustningar för värmetröga system som även tar hänsyn till hur snabbt temperaturen ändrar sig ute. Om t.ex. utetemperaturen stiger kraftigt skall framledningstemperaturen vara extra låg under en period.

Cho et al. (1997) genomför mätningar för olika typer av reglersystem och konstaterar att av/på-reglering av cirkulationspumpen med återkoppling både från rumstemperaturen och temperaturen i betongplattan eller PI-reglering av en tvåvägsventil med återkoppling från rumstemperaturen ger den bästa regleringen.

Fort (1993) Har utfört simuleringar med TRNSYS för golvvärmesystem. Genom parameterstudier har konstaterats att god injustering av ett väl fungerande reglersystem kan spara upp till 20-40 % energi. Fort rekommenderar först och främst att framledningstemperaturen

styrts med framkoppling från utetemperaturen. Om byggnaden har tillskott från solen rekommenderas också att en solgivare används som sänker framledningstemperaturen vid solinstrålning. En sådan åtgärd kan medföra att energiförbrukningen sänks med 3-8%. I byggnader med stora interna laster rekommenderas rumsreglering med termostatventil. En besparing av ca 5-12 % är möjligt med en sådan åtgärd.

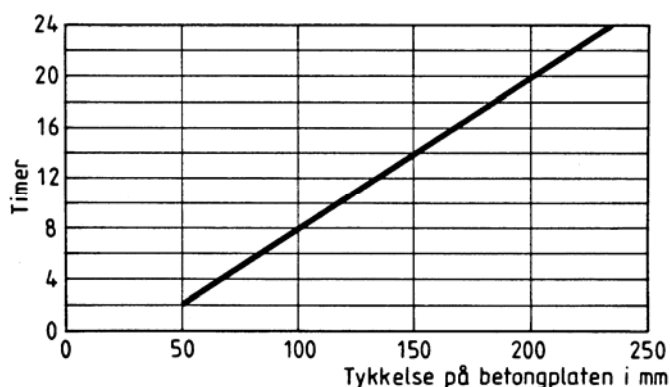
### **Reglering med gemensam shunt**

Tvåvånings småhus med platta på mark och golvvärme styr ofta framledningstemperaturen till båda systemen med samma shunt. Ett radiatorsystem eller lätt golvvärmesystem kräver högre temperaturer än golvvärmesystemet i betongplattan. Det är därför ett slöseri med temperaturnivå, som försämrar en värmepumps prestanda.

### **Tidsfördröjning vid reglering**

Diagram 5.2 nedan visar tidsförskjutningen mellan tillförd och avgiven effekt i betonggolvet som funktion av betongbjälklagets tjocklek. Diagrammet visar att tidsförskjutningen fördubblas om betongtjockleken ökas från 50 till 100 mm. Reglerfunktionen påverkas således mycket kraftigt av olika betongtjocklek. Det är därför troligt att risken för självsvängningar ökar kraftigt med ökande tjocklek hos betongplattan. Ingen av ovanstående undersökningar förutom Lood (1998) nämner några direkta problem med temperatursvängningar p.g.a. värmetrögheten i betongplattan. Hur olika betongtjocklekar påverkar regleringssystemet är relativt oklart. Ingen forskning har utförts med mål att utreda hur självsvängningar påverkas vid olika betongtjocklekar.

Vid fältmätningar har man dock konstaterat att det förekommer problem med svängningar av innetemperaturen vid kraftiga väderomslag och utetemperaturvariationer (Harrysson 1997a, Jahnsson 1997 och Jahnsson 2000). Jahnsson redovisar att några husägare har problem med att rumstemperaturen sjunker vid kraftiga utetemperatursänkningar.



**Diagram 5.2.** Tidsförskjutning mellan tillförd och avgiven effekt i betonggolvet som funktion av betongbjälklagets tjocklek. Källa: Gundersen (1992). Enligt Gundersen är beräkningen utförd för konstant effektillförsel (elkabler), Betongens värmeledningsförmåga är antagen till 1,7 W/m·K (1,2 W/m·K är ett mer realistiskt värde).

Litteraturen visar att reglering av framledningstemperaturen med trevägsventil och framkoppling från utetemperaturen är ett bra sätt att reglera golvvärmesystem. Om rumsreglering skall användas skall denna vara av pulserande slag, så att hela golvet förses med varmt

vatten av en puls. Det är dock oklart hur stor risken är för självsvängningar vid rumsreglering av tunga golvvärmesystem. I kapitel 15.1 redovisas Litteratur om reglering av golvvärme mer detaljerat.

## 5.5 Komfort och energieffektivitet

Golvvärme har under lång tid sålts med argumenten, sänkt inomhustemperatur, sänkt energiförbrukning och god komfort. Forskningsresultaten från och med sjuttioalet och fram till idag ger delvis en annan bild av golvvärmens. Litteraturen som granskats redovisas utförligare i kapitel 15.2. Nedan diskuteras och jämförs resultaten.

### *Faktorer som påverkar energiförbrukningen*

Forskningen visar entydigt att typ av uppvärmningssystem påverkar energiförbrukningen från en byggnad. Forskningen visar att det finns en rad orsaker till att energiförbrukningen mellan golvvärme och radiatorvärme för två i övrigt identiska byggnader kan variera. De viktigaste faktorerna som påverkar energiförbrukningen är:

- skillnader i reglersystemens och värmesystemens följsamhet (att tillföra rätt energimängd vid rätt tillfälle)
- skillnader i uppvärmningssäsongens längd (värmesystemens drifttid)
- skillnader i yttemperaturer, temperaturgradienter och luftrörelser påverkar önskad rumstemperatur som i sin tur påverkar, värme- och ventilationsförluster
- skillnader i rumsytornas temperatur, värmeledningsförmåga och värmekapacitet påverkar förmågan att ackumulera överskottsvärme, samt påverkar värmeförlusterna från byggnadsdelen.

### *Rumstemperaturen*

Golvvärmebranschen har hävdade att golvvärme möjliggör en sänkning av rumstemperaturen genom att golvet är varmt. Tidiga studier om komfort och energiförbrukning av Lebrun et al. (1977) visar också att rumstemperaturen kan hållas lägre med golvvärme jämfört med radiatorvärme. Men undersökningen är tvivelaktig, eftersom jämförelsen av de olika studierna görs för lika riktad operativ temperatur. Ingen hänsyn tas till lufthastigheten (se kapitel 15.2).

När Lebrun upprepar samma undersökning med en grupp människor som referens konstateras att ingen signifikant sänkning av lufttemperaturen kan göras (Lebrun et al. 1979). Även liknande undersökningar av Olesen et al. (1979) och Olesen et al. (1980) där mätningen sker med en komfortmätare visar att skillnaden i lufttemperatur mellan radiatorvärme och golvvärmesystem vid samma komfort är minimal. Även fältmätningar och enkätundersökningar av Harrysson (1997a), Norlin (1998) och NUTEK:s småhustävling (Jahnsson 2000) visar att lufttemperaturen i allmänhet inte är lägre i hus med golvvärme. Fältmätningar av Olesen (1996) i två hus visar att lufttemperatur och operativ temperatur är i stort sett lika i välisolerade hus med golvvärme, eftersom golvets yttemperatur endast är någon enstaka grad över rumstemperaturen.

Ovanstående forskning pekar alltså på att golvvärme i praktiken inte möjliggör en sänkning av rumslufttemperaturen, trots en högre operativ temperatur. Orsaken till resultatet är inte klart, men det kan bero på att problem med kallras och luftdrag längs golvet ökar vid golv-



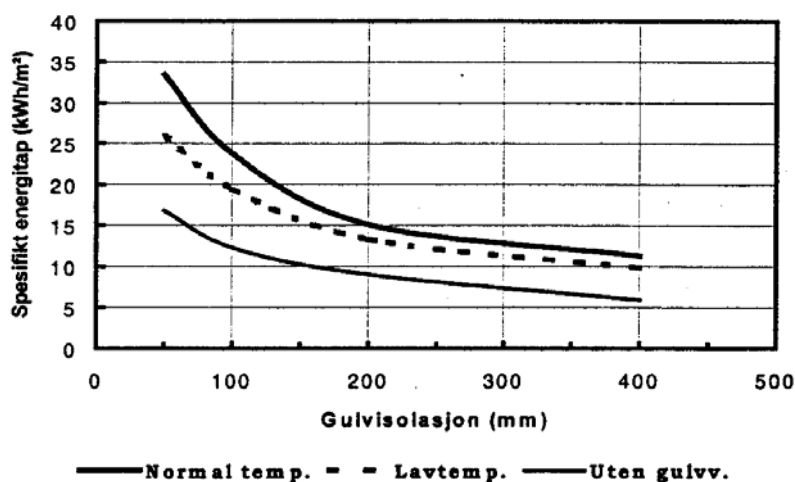
värme. Detta stöds av Peng (1996), som uppmätt lufthastigheter på ca 0,15 m/s längs golvet i ett rum med golvvärme utan ventilation.

En annan hypotes som framförts är att tröga golvvärmesystem är mer svårreglerade, vilket kan medföra att brukaren väljer en något för hög rums temperatur för att det inte skall bli för kallt vid plötsliga utetemperatursänkningar (Harrysson 2000c).

### Värmeförluster

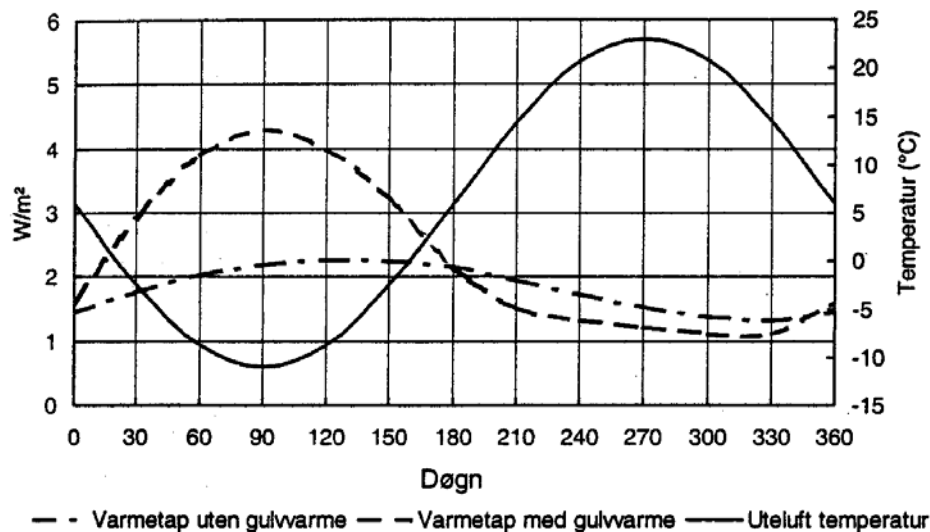
Det är uppenbart att en förhöjd temperatur hos betongplattan i ett golvvärmesystem ger ökade värmeförluster genom marken om inte isolertjockleken ökas. Värmeförlusternas storlek beror på isolertjockleken, utetemperatur, Årsmiddeltemperatur, temperaturen i betongplattan och uppvärmningssäsongens längd (värmesystemets drifttid). Enligt praxis har det ansetts vara tillräckligt att öka isolertjockleken under plattan med 2,5 cm för att kompensera mot högre värmeförluster (Ljungqvist 1997a)

Värmeförlusterna från platta på mark med och utan golvvärme har beräknats av Gundersen (1998), Roots (2000c), Lood (1998) och Harrysson (2000a). Gundersen och Harrysson redovisar sina beräkningar som värmeförlust i kWh/m<sup>2</sup>·år genom golvet för olika isolertjocklek och golvtemperatur. Roots och Lood redovisar däremot sina beräkningar som procentuell förändring av husets värmeförbrukning.



**Diagram 5.3.** Årliga värmeförluster från platta på mark beroende på underliggande isolertjocklek och temperaturnivå hos betongplattan. Beräkningen är utförd för en platta på mark med arean 100 m<sup>2</sup> för Oslo. Kurvan för "Lavtemp." innebär att temperaturen i gränsskiktet mellan betongplatta och isolering är 30°C vid dimensionerande utetemperatur. Kurvan för "Normaltemp." anger att motsvarande temperatur är 36 °C. Källa: Gundersen (1998) och (2000).

I en rapport av Gundersen (1998) presenteras beräknade värmeförluster genom golv för olika isolertjocklekar. Resultaten har enligt Gundersen tagits fram genom simuleringar av instationära förlopp med en validerad simuleringsmodell. Diagram 5.3 visar hur värmeförlusten från en platta på mark varierar beroende på isolertjocklek och temperaturnivå i plattan. Diagrammet visar t.ex. att värmeförlusterna med lågtemperaturgolvvärme ökar från 12 till 19 kWh/m<sup>2</sup>·år vid 100 mm isolering och från 16 till 25 kWh/m<sup>2</sup>·år vid en isolertjocklek av 50 mm. Diagrammet visar också att det krävs ca 200 mm isolering istället för ca 70 mm om golvvärme används i stället för radiatorer för att inte värmeförlusterna skall öka.



**Diagram 5.4.** Värmeförlusternas variation under året för en platta på mark konstruktion med 200 mm isolering. Källa: Gundersen (1998) och (2000).

Gundersen visar också på ett antal kriterier som bör uppfyllas för att ett värmesystem skall kunna utnyttja låg temperatur och samtidigt vara energieffektivt:

- Låga värmeförluster från byggnaden och ett lågt dimensionerande effektbehov.
- Användning av stora värmeöverförande ytor.
- Värmeanläggningar med låg termisk massa (låg värmekapacitet)
- Låga värmemotstånd mellan värmevatten och luften.

Harrysson (2000a) har utfört beräkningar för stationära förhållanden för en byggnad med 90  $m^2$  bottenplatta. Beräkningarna visar t.ex. att värmeförlusterna ökar med 700 kWh/år eller ca 8 kWh/ $m^2 \cdot$ år. Harryssons resultat överensstämmer väl med Gundersens.

Även Lood (1998) har undersökt värmeförluster genom golvet genom simuleringar och han beräknar att för ett fall med 100 mm betong och 100 mm isolering ökar värmebehovet med 7 % vid golvvärme, jämfört med radiatorvärme.

Roots (2000c) anger t.ex. att värmebehovet ökar med ca 9 % pga värmeförluster för golvvärme, jämfört med radiatorvärme om 100 mm isolering används. Om uppvärmningssäsongen förlängs med en månad för golvvärmesystemet blir energiförbrukningen ca 28 % högre.

Det har också visats att uppvärmningssäsongen i praktiken ofta är längre för ett golvvärmesystem (Harrysson 1997a). Brukaren upplever att golven är kalla eller är rädd för omvänd fukttransport och har därför värmesystemet i drift under längre perioder än för ett radiator-system.

Olesen et al. (1987) redovisar värmeförlusterna genom golvet vid instationära mätningar. Trots att isoleringen under golvet är mer än dubbelt så tjock som för radiatorsystemen, är värmeförlusterna från golvet större för golvvärmesystemen. Ovanstående beräkningar och

mätningar tyder på att den praxis som tillämpats med 2,5 cm tjockare isolering under plattan är helt felaktiga, när man normalt använder 70 - 100 mm isolering under plattan.

Övriga förluster som skiljer mellan olika värmesystem är ventilationsförluster och värmeförlusterna genom fönstren. Radiatorvärmesystem har högre värmeförluster genom fönstren än golvvärmesystem (Lebrun et al. 1977 och 1979, Olesen et al. 1987 och Olesen 1994). Detta beror på att radiatormen ökar värmeövergångskoefficienten och temperaturen på insidan av fönstret genom ökad turbulens. För välisolerade fönster är dock skillnaden liten. Eftersom nybyggda hus i regel har 3-glasfönster bör alltså dessa skillnader vara relativt små i de undersökta husen. Ventilationsförlusterna beror främst på rummets temperaturnivå eftersom temperaturgradienten i rummet är mycket liten för båda systemen.

### ***Kallras***

Peng (1996) har utfört en studie av kallras från ett tvåglas fönster vid golvvärme. Studien utfördes vid en utetemperatur av  $-11,5^{\circ}\text{C}$  och en golvtemperatur av  $28^{\circ}\text{C}$  och påvisar lufthastigheter längs golvet på 0,15 m/s vid 0,9 m avstånd från fönstret. Lufthastighetsmätningar av Olesen et al. (1979) och Olesen et al. (1980) ger motsvarande lufthastigheter. Tyvärr görs ingen jämförelse av luftdraget med en radiator av Peng. Inte heller görs några försök med uteluftsintag runt fönstret eller med olika fönster- och golvtemperaturer. Däremot anger Olesen att lufthastigheterna framför fönstret där den varma och kalla luftströmmen möts uppmättes till 0,13 m/s.

Ett uteluftsintag ovanför fönstret kommer förmodligen att leda till högre lufthastigheter och lägre temperaturer och därmed också större risk för komfortproblem. Golvtemperaturen på  $28^{\circ}\text{C}$  är också onormalt hög, 1 grad högre än vad som rekommenderas som högsta golvtemperatur i BBR (Boverket 1999).

Harrysson (2000b) anger kallras och drag från fönster och uteluftsintag kompenseras med högre lufttemperatur. Detta kan vara en orsak till att inte husen med golvvärme inte har lägre lufttemperatur. De mätningar som utförts visar att dragrisk förekommer både vid golv och radiatorvärme, men vid golvvärme sker draget längs golvet. Det är ur dragsynpunkt viktigt att använda fönster med låga U-värden. Även förvärmad tilluft FTX-ventilation (till och frånluft med värmeåtervinning) är ur denna synvinkel att föredra.

### ***Självregleringseffekten***

Självregleringseffekten innebär att värmeavgivningen från golvet minskar om rumstemperaturen stiger. En förhöjd rumstemperatur krävs för att värmeavgivningen skall upphöra. Golvet kan ackumulera överskottsenergi från solinstrålning direkt mot golvet, eller genom att rumstemperaturen stiger över golvets temperatur. Således är golvets yttemperatur då värmeöverskottet uppstår av central betydelse för hur väl självregleringseffekten fungerar. En byggnad med lågt dimensionerande effektbehov möjliggör en låg golvtemperatur. Detta är centralt för att självregleringseffekten skall fungera väl.

Vidare har Fort (1993) utfört simuleringar med TRNSYS för golvvärmesystem. Genom parameterstudier har konstaterats att ökat värmemotstånd inverkar negativt på självregleringseffekten. Ett material med hög värmeledning är alltså att föredra, för att erhålla hög självregleringseffekt och därmed kunna utnyttja gratisenergi effektivare. Chen et al. (1998) har i en simuleringsstudie undersökt en 5 cm tjock betongplatta med golvvärme. Resultaten visar att energiförbrukningen ökar när golvet förses med en matta. Systemet blir trögare och betongens temperatur måste vara högre. En studie av Athienitis et al. (1997) visar att en

ökad tjocklek av betongplattan ger högre rumstemperaturer vid solinstrålning. Förmodligen gäller detta främst då betongplattans temperatur är betydligt högre än rumstemperaturen.

Av ovanstående kan vi konstatera att golvvärmens till stor del självreglerande, d.v.s. en liten temperaturhöjning hos luften leder till kraftig minskning av tillförd effekt. Motsvarande effekt hos ett radiatorsystem är minimal. För att ett radiatorsystem skall kunna utnyttja gratisvärme effektivt krävs att termostatventilen har korrekt inställning, något som inte alltid är fallet. Ett radiatorsystem med betongplatta kan dock utnyttja golvets självreglerande effekt effektivare, eftersom plattan är kallare då värmeöverskottet uppstår och kan därför ta upp mer av överskottsenergin.

### *Tunga och lätta byggnader*

Harrysson (1988) redovisar hur tjocka material som medverkar till värmelagring under en periodlängd av 24 h. Om ett tjockare material används påverkar det inte värmelagringen. Där kan man se att maximalt ca 150 mm betong, 90 mm lättbetong och 60 mm trä kan utnyttjas för värmelagring för att utjämna dygnsvariationer. Högre termisk massa hos byggnader har ansetts ge en lägre energiförbrukning och det finns flera undersökningar som stödjer detta, bl.a. Isakson et al. (1984) och Norén et al. (1999). Men dessa undersökningar har inte gjorts för golvvärmesystem utan för byggnader där den värmarlagrande stommen inte varit övertempererad.

Den tröga byggnadsdelen överför värme från tidpunkter med värmeöverskott till tider med värmeunderskott genom absorbering och avgivning av värme. För att detta skall fungera krävs att den tunga byggnadsdelens temperatur hela tiden ligger inom rumstemperaturen. Av denna anledning har ett golvvärmesystem mindre möjligheter än en platta utan värme att utnyttja denna massa för lagring av överskottsvärme, då temperaturen på plattan oftast är högre än önskad rumstemperatur.

I Olesen (1994) görs en undersökning av komfort och energiförbrukning vid dynamiska förlopp. Dessa resultat visar att både golvvärmesystem och radiatorsystem reglerar inomhustemperaturen bra både m.a.p. varierande utetemperatur och varierande interna laster. Dessa försök har enbart gjorts vid relativt små och kortvariga interna laster som uppgått till högst ca 30% av aktuellt värmebehov. Genom höjning av lufttemperaturen med enbart 1°C minskar värmeavgivningen med ca 30%. Det är då självklart att golvvärme reglerar lika bra som ett radiatorsystem under sådana förhållanden. Det är vanligt att gratisvärmens från sol, människor och elektrisk utrustning vida överstiger värmebehovet. Några försök med högre värmelaster eller stora stegändringar av utetemperaturen redovisas inte av Olesen. Frågan kvarstår alltså hur systemen fungerar vid betydligt större värmeöverskott på t.ex. 100 till 150% av aktuellt värmebehov.

Fältnätningar av Harrysson (1997a) och Olesen (1996) tycks inte vara helt motstridiga om man ser på mätdata (kapitel 15.2). Däremot drar Harrysson och Olesen olika slutsatser av sina undersökningar. Harryssons mätningar visar att rumstemperaturen kan variera ca 3°C vid kraftiga stegändringar av utetemperaturen. Det är dock oklart om en del av denna temperaturökning orsakas av solinstrålning. Olesen konstaterar dock att rumstemperaturen till 95% håller sig inom ett intervall 2,5°C och det betraktas som ett gott resultat av Olesen.

Det råder en rad osäkerheter om förutsättningarna för de olika byggnaderna, främst när det gäller betongplattornas tjocklek, interna laster, solinstrålning och typ av regleringssystem. I föregående kapitel konstaterades ju att betongplattans tjocklek har mycket stor inverkan på

tidskonstanten (Gundersen 1992) och att tjockare betongplattor ger ökande rumstemperatur vid solinstrålning (Athienitis et al. 1997). Vidare har det konstaterats att ett dåligt inreglerat golvvärmesystem kan ge kraftigt förhöjd energiförbrukning (Fort 1993). Mycket tyder också på att kraftiga utetemperaturändringar kan ge förhöjd eller sänkt innetemperatur för tunga golvvärmesystem (Harrysson 1997a Jahnsson 1997 och Jahnsson 2000).

#### *Inverkan av golvets ytemperatur*

Det finns många okända data om husen där fältmätningar utförts av Olesen (1996) och Harrysson (1997a). Att förklara varför husen som Harrysson undersökt har högre energiförbrukning och större rumstemperatursvängningar är därför svårt. Men det finns uppenbarligen en klar skillnad mellan husen när det gäller golvets ytemperatur. Och utetemperaturvariationerna i Olesens mätningar varierar golvtemperaturen mellan 19,9 och 22,3°C för ett av husen (se tabell 15.2). För det andra huset varierar golvtemperaturen mellan 22,0 och 24,2°C. Utetemperaturen varierar ca 18°C under mätperioden.

I Harryssons mätningar varierar golvets temperatur mellan ca 21 och 26°C (se tabell 15.4). Utetemperaturen varierar ca 20°C. Att golvets ytemperatur varierar mer i Harryssons mätningar kan vara en förklaring till att dessa hus har en högre energiförbrukning. Golvtemperaturen är ibland betydligt högre än komfortgränsen och det betyder att självregleringseffekten är sämre och att energiförlusterna nedåt ökar.

Ovanstående tyder alltså på att golvets temperatur helst alltid bör hållas inom komfortgränsen om golvet är värmetrögt. För att uppnå detta bör inte effektbehovet vid DUT vara högre än ca 20 till 30 W/m. Detta innebär att golvets övertemperatur blir högst 2 till 3°C. Och kan då alltid hållas inom komfortgränsen.

#### ***Låg investeringskostnad –högt driftskostnad.***

Golvvärmedebatten blossade upp i diverse energitidskrifter, efter att Harrysson presenterat alarmerande mätresultat om onormalt hög energiförbrukning i hus med golvvärme. Många ställde upp till golvvärmens försvar, men inga hållbara tekniska argument som motsäger Harryssons slutsatser framkom. Däremot framskyntar en intressant förklaring till varför golvvärmen har kunnat bli en energislösare i de nybyggda husen. Problemen med byggbranschen tycks vara att konkurrensen är så stor att nödvändiga åtgärder för att göra golvvärmen energieffektiv ofta prutas bort i kampen om att kunna lämna det lägsta priset. Eftersom beställaren oftast är okunnig i dessa frågor och själv också vill ha det lägsta priset är det lätt hänt att en lägre investeringskostnad lätt byts mot högre driftskostnader. Dessutom är den kvalitetsansvarige ofta en person från den anlitate byggfirman och det säger sig själv att en sådan konstruktion inte fungerar.

Det kan alltså konstateras att dagens friare byggregler och införande av en kvalitetsansvarig har varit mycket olycklig för ett energieffektivt villabyggande eftersom det har givit upphov till lågprislösningar på bekostnad av ökade driftskostnader. En stor del av orsaken till att golvvärmehusen som byggts slukar energi får alltså läggas på byggnormens nya utformning, där friheten är stor att göra som man själv vill.

### *Litteraturstudie av Eijdens et al. (2000)*

En alldeles färsk litteraturstudie av Eijdens et al. (2000) behandlar komfort och energiförbrukning för olika lågtemperaturvärmesystem. Studien är baserad huvudsakligen på icke engelsk litteratur. Generellt anser man att golvvärme liksom väggvärme ger upphov till bättre komfort än radiatorsystem. Golvvärme anses möjliggöra en lägre rumstemperatur, vilket sänker ventilationsförlusterna, men dessa slutsatser baseras på teoretiskt resonemang om den riktade operativa temperaturen. Energiförlusterna från golvvärmesystem bygger på litteraturstudier och anses vara ca 5 % av värmeförlusten för en välisolerad konstruktion. Totalt sett anser man att mycket tyder på att värmebehovet minskar med golvvärme jämfört med radiatorer (lägre inomhustemperatur, mindre ventilationsförluster, mindre distributionsförluster, självregleringseffekten, mm). Det konstateras också att det finns väldigt lite litteratur som behandlar detta.

### *Varför tycks golvvärme förbruka mer energi?*

Mätningar av Harrysson 1997a och Norlin 1998 tyder på att golvvärmesystem byggda på 90-talet i allmänhet tycks förbruka mer energi än motsvarande radiatorsystem. Det har pekats ut många olika tänkbara orsaker till varför hus med golvvärme kan förbruka mer energi. Att reda ut hur stor inverkan de olika faktorerna kan ha på energiförbrukningen är en viktig fråga, dels för att veta vilka åtgärder som bör vidtas i de befintliga husen, dels för att ta reda på vilka förändringar som bör göras i framtiden. Nedan sammanfattas resultaten från litteraturstudien:

- Golvvärme bedöms som helhet vara mycket komfortabel, men komfortproblem i form av drag kan ibland uppstå nära fönster och uteluftsintag.
- Golvvärme tycks inte möjliggöra någon sänkning av lufttemperaturen i praktiken. Mätning av riktad operativ temperatur ger inte ett fullgott mått på likartad komfort mellan golvvärme och radiatorvärme. Även lufthastighetsmätningar måste tillämpas.
- Ur energi och komfortsynpunkt är det olämpligt att bygga hus med platta på mark i bostäder, eftersom golvkonstruktioner med hög värmeledning ofta ger upplevelse av kalla och hårda golv. Om de förses med golvvärme finns risk för ökad uppvärmningssäsong och därmed ökad energiförbrukning och problem med för hög eller låg rumstemperatur under några timmar vid en kraftig stegändring av utetemperaturen. Kalla golv kan också uppträda i rum där man önskar en lägre temperatur, genom att hela värmebehovet täcks av de andra rummen. För att minska problemen med kalla golv kan lätta kryprumsbjälklag eller flytande golv av spån eller trä användas. En nackdel med dessa konstruktioner är att de kräver högre framledningstemperatur.
- Golvets yttemperatur och värmeledningsförmåga har stor betydelse för självregleringseffekten. För hög självregleringseffekt skall temperaturen ligga så nära rumstemperaturen som möjligt och golvet skall ha hög värmeledning, så att låga temperaturfall genom golvet erhålls. Detta står i motsats till önskemålen om låg värmeledning hos golvet för att minska risken för kalla golvkänsla.
- Hus med golvvärme tycks kunna ge högre energiförbrukning än motsvarande hus med radiatorer. Det finns många tänkbara faktorer till varför dagens golvvärmesystem kan förbruka mer energi än radiatorvärme som t.ex. ökade förluster från golvet, förlängd uppvärmningssäsong, sämre reglerförmåga, dåligt injusterade värme- och regleringssystem

och minskat gratisvärmeutnyttjande. Dessa orsakers relativa inverkan på energiförbrukningen är i dagens läge oklar. Inverkan på energiförbrukningen av olika tröghet hos golvvärmesystemen är dåligt undersökt.

- För att golvvärmesystemen skall förbruka mindre energi bör därför först och främst isoleringen under plattan och i kantbalken ökas kraftigt. Vidare förespråkas att golvvärmesystemen görs mindre värmetröga och att rumsreglering används. Vissa källor hävdar dock att rumsreglering av mycket tröga golvvärmesystem kan leda till temperatursvängningar.
- Tunnga golvvärmesystem kan i vissa fall ge förhöjd rumstemperatur om utetemperaturen stiger kraftigt eller sänkt rumstemperatur vid utetemperatursänkningar. Effekten uppträder kraftigare i system med ett högt dimensionerande värmeeffektbehov (hög golvtemperatur) och i system med tjocka betongplattor.
- Golvvärme har mindre förluster genom fönster än radiatorvärme p.g.a. lägre värmeövergångskoefficient på insidan. Skillnaderna mellan systemen minskar för bättre fönster.
- Dagens friare byggregler och införande av en kvalitetsansvarig har varit olycklig för villabyggnaden, som givit upphov till lågprislösningar på bekostnad av ökade driftskostnader. Den kvalitetsansvarige är ofta byggaren själv.
- Golvvärme, dåliga fönster och F-ventilation kan ge upphov till kallras och dragproblem längs golvet. Tillräcklig komfort i en dåligt isolerad byggnad kan inte nås med enbart golvvärme utan kallrasskydd under fönstren.
- Nattsänkning för tröga golvvärmesystem ger ingen större energibesparing, då rumstemperaturen inte hinner sjunka så mycket under en natt. En sinusformad kurva för önskad rumstemperatur kan vara bra för att öka utnyttjandet av passiv solenergi under förutsättning att betongplattan inte är alltför tjock.

### ***Systemförbättringar***

Denna litteraturgranskning ger en rad tänkbara orsaker till att energiförbrukningen är högre för golvvärmesystem. De olika tänkbara faktorernas storlek och relativa innebörd för olika typer av golvvärmesystem är idag inte kända. Med tanke på den stora energiökning som uppmätts i moderna golvvärmesystem, bör dessa tänkbara orsaker tas på allvar och förbättringar av systemen komma till stånd så fort som möjligt.

För att minska värmeförlusterna från golvet bör alltså isoleringen under plattan och i kantbalken ökas kraftigt. Vidare förespråkar Harrysson och Gundersen att värmesystemen skall ha mindre massa så att de blir mer snabbreglerade. Detta kan ske genom att den uppvärmda betongplattan görs mycket tunn eller att en lätt golvkonstruktion används. Ett problem med lätta golvvärmesystem är att de i regel har större värmemotstånd mellan värmevatten och rum och därför ofta kräver högre temperaturnivåer än slingor i betong. Därigenom blir värmeförlusterna genom golvet större. Även självregleringseffekten blir sämre, men för en lätt golvkonstruktion kan rumsreglering lättare kompensera för detta.

En direkt olämplig golvkonstruktion ur energisynpunkt är ett betonggolv som förses med golvbeläggning med högt värmemotstånd som t.ex. textila mattor eller parkett. Betongplattans temperatur måste höjas, värmeförlusterna ökar, självregleringseffekten minskar och systemet görs än mera svårreglerat.

Ett annat sätt att lösa problemen med värmetröghet är att minska det dimensionerande värmebehovet till omkring  $20 \text{ W/m}^2$ . Detta medför att plattans temperatur aldrig överstiger  $23^\circ\text{C}$  vid en rumstemperatur av  $21^\circ\text{C}$  (Värmeövergångskoefficienten är ca  $10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Plattans temperatur ligger då alltid inom komfortintervallet och självregleringseffekten blir mycket hög. Ett liknande golvvärmesystem som har ett mycket lågt effektbehov och arbetar med mycket låga temperaturer har utvärderats av Larsson (2000) (se kapitel 13.3). Problemet med kalla golv känsla kan däremot bli större med ett sådant system.

### *Solvärme?*

Om det visar sig att Harryssons mätningar av energiförbrukningen är representativa för hela småhusbeståndet med golvvärme i Sverige och att förlängd uppvärmningssäsong är en av huvudorsakerna till den ökade energiförbrukningen, kan installation av ett solvärmesystem vara en lämplig åtgärd. Om golvvärmesystemen förbrukar mer energi för uppvärmning, speciellt under vår, sommar och höst p.g.a. längre uppvärmningssäsong och sämre gratisvärmeutnyttjande sammanfaller en stor del av energiförbrukningen med hög tillgång på sol.



## 6 TAKVÄRME

### 6.1 Introduktion

Takvärme är en uppvärmningsform som liksom golvvärme utnyttjar stora ytor för att överföra värme. Därvid kan värmeöverföringen ske med låg temperatur. Takvärmesystemen avger 70-80 % av värmen som värmestrålning till golv, väggar och inventarier. Övrigt avges som konvektion och ledning till luften, som medför att en slags värmekudde bildas under taket. Den konvektiva delen kan ökas genom ventilationssystemets inverkan.

Takvärme har aldrig blivit riktigt accepterad och används nästan inte alls i bostäder. Något större användning av takvärme förekommer i industrihallar och kontor. Orsaken kan delvis vara ett känslomässigt motstånd mot att värmen inte skall komma uppifrån. Takvärme har främst använts i stora industrihallar och i kontorsbyggnader. I kontorsbyggnader används ibland takvärme, eftersom samma tak även kan användas för kylning.

### 6.2 Systemtyper

#### *Frengertak*

Vattenburen takvärme utgörs idag i regel som en del av undertaket. En typisk konstruktionsprincip är då att hänga upp rör i taket och sedan snäppa fast strålningsplåtar mellan rören. För att minska värmeförlusterna uppåt läggs isolering på ovansidan. Denna typ av undertaks konstruktion brukar kallas Frengertak. (Karlsmyr 1990).

#### *Värmestrips*

En annan typ av taksystem är användning av flänsförsedda vattenrör, s.k. värmestrips. Dessa har en hög flänsverkningsgrad, vilket innebär att värmen fördelar sig effektivt över fläns-ytan och möjliggör överföring av höga effekter. Dessa stripps brukar monteras i färdiga kassetter med isolering på ovansidan Dessa kan bilda en del av undertaket eller monteras frihängande i industrihallar.

#### *Takkassetter*

En ny produkt som utvecklats och blivit mycket vanlig i kontorsrum på senare år är takkassetter avsedda att förse kontorsrum med både takvärme, ventilation och kyla. Kassetten har strålningsvärme, tilluftsdon och konvektorkyla inbyggda i samma enhet (Karlsmyr 1990).

#### *Betongbjälklag*

En annan princip som använts i bl.a. ”the Dow-Building” i Schweiz för att kyla kontorslokaler, är betongbjälklag (tak) med ingjutna rörslingor (Zimmermann et al. 1998a). Genom betongtakets stora massa kan upp till 67 % av byggnadens kylbehov ersättas med nattkyla från uteluften. Dessutom reduceras toppeffekterna kraftigt av systemets massa. Kyleffekten ligger på ca 35 W/m<sup>2</sup> under en tid av ca 8 h. Sommartid kyls betongbjälklagen (taken) nat-tetid till ca 19°C i fläktbatterier eller kyltorn. Elenergi förbrukas enbart till cirkulationspumpar och fläktar, vilket gör att systemet producerar ca 6 kWh kyla på 1 kWh el. I jämförelse med en kompressorkylanläggning, som producerar ca 2,7 kWh kyla på 1 kWh el är det en stor energibesparing. Problem som upptäckts med systemet är att det kräver mycket

god injustering för att fungera optimalt. För att konceptet skall fungera effektivt krävs också att värmelasterna minskas genom solavskärmning och genom energieffektiv belysning. Kylning med betongbjälklag behandlas också av Meierhans (1993) och (1996).

### **Industritak**

Ett förslag med takvärme i industrihallar kommer från Jansson et al. (1976) och Jilar et al. (1979), som utfört en studie av hur plåttak i industribyggnader kan användas för att värma med låg temperatur. Enligt förslaget kan värmerör förläggas i ett trapetskorrugerat plåttak. Därigenom kan man erhålla ett stort värmetak med relativt låg temperatur för uppvärmning.

En rad olika typer av värmerör undersöktes, varpå det konstaterades att värmeavgivningen och därmed vattentemperaturen kan förbättras genom en förbättrad kontakt mellan rör och plåttak. Då värmeöverföring mellan rör och takplåt till stor del sker med strålning är omålad metalliska rör med låg emittans olämpliga. Extra isolering av taket krävs och köldbryggor i takkonstruktionen bör minskas. En rationell montering anses vara nödvändig för att minimera byggkostnader.

## **6.3 Temperaturkrav**

De temperaturnivåer som erfordras för takvärmesystemen beror på effektbehov, uppvärmd takyta och flänsverkningsgrad. För att kunna använda låg temperatur måste ytan vara stor. Den maximala taktemperatur som kan godtas, minskar om takhöjden minskar. Enligt Kollmar (1954) kan höga taktemperaturer i rum med låga takhöjder leda till obehag genom att temperaturupplevelsen blir ojämn. Om en yta av ca  $11\text{m}^2$  är uppvärmd och takhöjden är 2,14 m får taktemperaturen vara högst  $25,5^\circ\text{C}$ . Vid en takhöjd av 2,74 m får temperaturen vara högst  $29^\circ\text{C}$ .

I en litteraturstudie av Merkell (1990) redovisas ekvationer för att beräkna värmeövergångskoefficienten vid takvärme. Det som påverkar värmeövergångskoefficienten är rummets dimensioner, lufttemperatur, yttemperaturer på värmda och ovärmda ytor, ytornas emittans och luftförelser orsakade av t.ex. ventilationsdon.

De system som är lämpligast i lågtemperatursammanhang skall ha en låg kostnad per  $\text{m}^2$ , eftersom stora ytor krävs. System med låga kostnader kännetecknas av Frengertaket, som ersätter ett traditionellt undertak, betongbjälklag och industritaket, som endas kräver extra förläggning av rör. Industritaket medför att en medelvattentemperatur av ca  $46^\circ\text{C}$  är tillräcklig för att hålla en temperatur av  $+20^\circ\text{C}$  i lokalen vid en utetemperatur av  $-25^\circ\text{C}$ . Både Värmestripps och Takkassetter har hög kostnad per ytenhet. Genom hög flänsverkningsgrad är de avsedda att användas för överföring av höga effekter på relativt små ytor. Detta medför att höga vattentemperaturer fordras.

För att reducera kostnader används så små ytor som möjligt, vilket då resulterar i att det krävs höga vattentemperaturer. Om takhöjden är hög används temperaturer på ca  $80^\circ\text{C}$ . I regel är det inte lönsamt att öka ytan för att klara värmebehovet med en lägre framledningstemperatur. Andra konstruktioner som möjliggör användning av större ytor till samma kostnad är därför nödvändiga. Användning av billigare lösningar eller genom att kombinera olika funktioner i samma installation möjliggör användning av lägre temperatur.

I de fall taket används för både kylning och värmning är det ofta kylfallet som blir dimensionerande, eftersom alltför låga temperaturer kan ge upphov till kondens. I sådana anläggningar kan det därför vara möjligt att uppnå lägre framledningstemperaturer utan ökade installationskostnader.

## 6.4 Reglering av takvärmesystem

Ingen forskning om reglering av takvärmesystem har påträffats, men reglering av system med liten massa kan ske på samma sätt som för ett radiatorsystem eller golvvärmesystem. I regel används styrning av framledningstemperaturen med trevägsventil genom framkoppling från utetemperaturen. Reglering av tunga system av betong medför samma problem som reglering av tröga golvvärmesystem. Trögheten möjliggör dock att värme kan lagras och effektoppar jämnas ut, tex kan frikyla från natten lagras i bjälklaget

## 6.5 Komfort och energieffektivitet

I takvärme överförs värmen huvudsakligen genom strålning till golv och väggar. Därefter överförs värmen med konvektion till luften. Golvtemperaturen är därför högre i rum med takvärme än i rum med radiatorer. Vid användning av takkyla sker överföringen med både strålning och konvektion. Konvektionen från ett takkylsystem kan ge dragkänsla, då kall luft strömmar nedåt i omgångar. Luften närmast taket kyls tills en viss mängd kyld luft ”hängar under taket”. Plötsligt släpper luften från taket och kall luft faller ner i rummets vistelsezon. Därefter byggs ett nytt kallt luftskikt upp närmast taket.

I en mätstudie som presenteras av Johansson et al. (1984) och Johansson (1994) konstateras att rumsuppvärmning med takvärme i ett dåligt isolerat och *omöblerat rum utan ventilation* medför en jämnare temperaturfördelning i rummet. Med takvärme erhålls en högre temperatur på golv och väggar. En noggrannare beskrivning av testförfarandet ges i kap 15.2.

Värmeförlusterna genom fönstret blir mindre med takvärme, men förlusterna genom tak och golv blir större. Energiförbrukningen i rummet blir lika vid lika operativ temperatur, men högre om lika lufttemperatur skall upprätthållas. Ventilationsförlusterna kan öka kraftigt vid takvärme om frånluften tas ut vid tak. Mätningar av Lebrun et al. (1977) och Johansson (1984) visar att det bildas en varmluftkudde närmast taket. Frånluften bör därför bortföras på en lägre nivå.

Kallraseffekten blir ytterligare förstärkt om uteluftsintag placeras på ytterväggen och om möbler hindrar takvärmens att värma golvet. Man kan misstänka att kallraseffekter kan ge obehag genom en ökad lufthastighet längs golvet. Rimligtvis bör de också bli större än för golvvärme. Adamson et al. (1971) har också uppmätt betydligt lägre golvtemperaturer under möbler.

Studier av takvärme har också utförts av Lebrun et al. (1977), Lebrun et al. (1979) och Olesen et al. (1979) och (1980). Slutsatserna från dessa undersökningar är att takvärme ger god komfort i välisolerade byggnader, däremot studerades inte inverkan av möblering, vilket Johansson konstaterat ha en stor inverkan.

Huvudproblemen för en bred introduktion av takvärmerna är misstankar om att det blir kallare under bord och möbler. I undersökningen konstateras att möbler och annan inredning påverkar värmefördelningen i rummet påtagligt. Inga mätningar görs med både uteluftsventilation och möblering i rummet. Inte heller görs några lufthastighetsmätningar. Frågan om tillräcklig komfort kan uppnås i vanliga bostäder med takvärme med uteluftsintag ovanför fönstren får därför anses vara obesvarad. Takvärme har aldrig slagit igenom, just eftersom man misstänkt att det kan bli golvkallt under möbler. Takvärme lär komma att bli en sällsynt förekomst även i fortsättningen, tills man kunnat klargöra om det krävs inskränkningar i möblering i en normalt isolerad byggnad. Takvärme är dock lämpligt i rum, där den huvudsakliga uppgiften är att kyla, i rum utan möbler och i rum med lägre komfortkrav.

För att klargöra takvärmens komfort bör alltså försök utföras med olika möbleringslösningar och ventilationsprinciper. Lufttemperatur och lufthastighet längs golvet bör särskilt undersökas.

## 7 KOMBINATION AV TAK- OCH GOLVVÄRME

### 7.1 Introduktion

Kombination av tak och golvvärme är särskilt lämpligt i flervåningshus, då samma installation i betongbjälklaget utgör golvvärme i våningen ovanför och takvärme i våningen under. Om vattenslingor installeras i varje betongbjälklag utan isolering erhålls ett system med både tak och golvvärme. Genom den ökade värmeöverförande ytan kan framledningstemperaturerna hållas lägre än om bara golvvärme används. Dessutom lämpar sig systemet också mycket bra som kylsystem. Sådana kombinerade kyl och värmesystem har getts samlingsnamnet ”Concrete Core Conditioning (CCC)”. Systemen utförs ofta med extra tjocka betongplattor för att uppnå en hög tidskonstant. Bland systemens stora fördelar är att effektbehovet för kyla reduceras och jämnas ut över hela dygnet tack vare byggnadens stora massa. Kylbehovet kan också förskjuts till natten och ersättas med nattkyla.

#### *Ett konkurrenskraftigt system*

Kombination med både tak och golvvärme skapar möjlighet att värma och kyla med temperaturer mycket nära den önskade rumstemperaturen. Byggnader med betongstomme och vattenburen golv och takvärme har visat sig vara ett både prisvärt och energieffektivt system för klimatconditionering av kontorsbyggnader och skolor. Det finns redan ett flertal byggnader i Europa med denna typ av värmesystem, bl.a. Östra Tornskolan i Lund, Malmö Högskola, Nämndemansgården i Blentarp, Vikingaskolan i Lund, Sarinaport, i Fribourg, Schweiz, Schäublin, en administrationsbyggnad i Delémont, Schweiz och ett konstgalleri i Bregenz, Österrike. I Sarinaport-byggnaden uppges både energiförbrukningen och byggkostnaden vara lägre än för konventionella byggnader med motsvarande komfort (Zimmermann et al. 1998b).

Systemkonceptet för de svenska byggnaderna går under namnet Clima floor och systemet för de Schweiziska husen kallas BATISO (Bâtiment isotherme). Systemen skiljer sig något från varandra, men principen är den samma. Klimatconditionering med betongbjälklag beskrivs utförligt av Meierhans (1998) och Koschenz et al. (2000).

### 7.2 Systemtyper

Genom att placera värmeslingor ingjutna i golv, mellanbjälklag och tak kan samma system användas för både uppvärmning och kylning eftersom både tak och golv används för värmning och kylning.

Systemet ersätter konventionella klimatsystem med separata värme- och kylsystem och rumsreglering av värme och kyla i sekvens. En stor potential finns i framförallt kontorsbyggnader, eftersom dessa system är komplicerade och energislösande. Energi krävs för både värme och kyla hela året. Ofta arbetar systemen samtidigt, eftersom värmebehov föreligger i vissa rum, samtidigt som det finns kylbehov i andra rum.

Systemet bygger alltså på att en tung betongstomme används som absorberar eller avger värme, beroende på rumstemperaturen. Det cirkulerande vattensystemet håller en praktiskt taget konstant temperatur och arbetar kontinuerligt för att utjämna temperaturskillnader i betongstommen, genom omfördelning av värme mellan olika rum och genom att tillföra eller bortföra värme. Betongbjälklagets temperatur skall alltid ligga inom komfortintervallet, så att det samtidigt kan fungera både som kyl- och värmeelement.

Om rumstemperaturen sjunker under betongbjälklagets temperatur kommer tak och golv att avge värme och om lufttemperaturen är högre kommer tak och golv att uppta värme. Om ett rum i byggnaden har kylbehov och ett annat rum har värmebehov kommer värme att kunna överföras med det cirkulerande vattnet från det ena rummet till det andra helt utan energitillskott (bortsett från cirkulationspumpen).

En förutsättning för att kunna använda konceptet är att man accepterar temperaturvariationer på mellan 20 och 25°C. För att principen skall fungera bra, krävs att byggnaden har små värme- och kylbehov. Byggnaden skall därför avskärmas från solinstrålning, så att inte kylbehovet blir för stort. Byggnaden skall också vara välisolerad och inte ha för stora fönsterytor. Lokaler med stora interna tillskott från personer, datorer och belysning kräver dock extra kylutrustning för att bibehålla komforten.

För att ytterligare minska värmeförluster och kallras skulle t.ex. frånluftsfönster kunna användas. För att minska interna laster kan frånluftslampor eller frånluftshuvar över datorer användas. Även lokal kylning av t.ex. datorutrustning kan vara en intressant teknik i dessa byggnader (Zimmermann 1999).

### *Småhus med systemkonceptet*

I en bok från IEA (1995) redovisas på sid. 31-32 systemlösningen av ett småhus som liknar detta systemkoncept. Huset är uppfört i Japan och har två våningar med golvbjälklag, mellanbjälklag och vindsbjälklag konditionerade med detta system. I detta hus används fasändringsmaterial i bjälklagen för att öka bjälklagens ackumulerande förmåga. Värme tillförs från solfångare och värmepump. Även en svensk husbåt i tre våningar som byggts för att demonstrera en uthållig energiteknik använder tekniken, dock utan fasomvandling i bjälklagen (Askensten 1999).

## **7.3 Temperaturkrav**

Temperaturnivåerna i system med CCC är lägre än om enbart tak- eller golvvärme används. Genom extra åtgärder mot både värmeförluster och interna värmeöverskott kan framledningstemperaturen hållas mycket nära rumstemperaturen. En målsättning är att hålla betongplattan vid en temperatur strax ovanför rumstemperaturen vintertid och något under önskad rumstemperatur sommartid.

I Sarinaport varierar framledningstemperaturen från ca 20°C under sommaren till som mest 26°C vid DUT (dimensionerande utetemperatur). Framledningstemperaturen i de svenska systemen uppges som mest vara ca 30°C. En framledningstemperatur på 30°C vid dimensionerande utetemperatur innebär att plattan får en yttemperatur på ca 23°C.

Koschenez et al. (1996 och 1999) redovisar ett dimensioneringsunderlag för byggnader och rekommenderar att värmeflödet till betongbjälklagen inte får hindras av undertak och mat-

tor. Vidare måste en ökande rumstemperatur under vistelsetiden i byggnaden accepteras (inom komfortgränsen). Med en högre strålningsandel utnyttjas bättre bjälklagens värme-lagrande egenskaper. Det är alltså viktigare att eliminera konvektiva värmeunderskott och värmeöverskott än strålningskällor. Ett ventilationssystem måste användas för att bortföra en viss del av konvektivt värmeöverskott. Grundläggande teoretiska beräkningar för dimensionering. I en bok av Koschenz et al. (2000) redovisas i detalj hur byggnader med CCC bör dimensioneras.

## 7.4 Reglering av systemen

En optimalt utformad byggnad för denna uppvärmningsmetod har så låga interna laster och värmeförluster, samt hög värmetröghet att byggnaden kan värmas och kylas med en framledningstemperatur som är näst intill konstant under hela året. (Feustel, H. E. 1998). Beroende på hur väl värme- och kylaster kan elimineras måste framledningstemperaturen varieras. Men variation av vattnets temperatur görs huvudsakligen för att bibehålla plattan vid en konstant temperatur.

Framledningstemperaturen regleras beroende på utetemperaturen och är i vissa anläggningar ca 20°C sommartid och ca 25°C vid dimensionerande utetemperatur. Om värmeförlusterna är små och den värmeöverförande ytan är tillräckligt stor kan betongplattans temperatur alltid hållas inom komfortintervallet, oberoende av utetemperaturen. Detta är mycket viktigt för att uppnå goda självreglerande egenskaper, som för detta system kan bli högre än för ett vanligt golvvärmesystem. Denna självreglerande effekt, tillsammans med den stora termiska trögheten kan vara en av orsakerna till att energibehovet för värmning och kylning är lågt för dessa system. En annan orsak är troligen att byggnadens tröghet gör att värmeöverskott dagtid kan utnyttjas under nätterna och överföras mellan rum med värmeöverskott resp värmebehov.

Reglermetoder för sådana system redovisas av Koschens et al. (2000) Grundprincipen är alltså att systemets framledningstemperatur regleras med framkoppling från utetemperaturen eller på medeltemperaturen under den senaste perioden. Det svenska Clima floor systemet kyls ofta av nattkyla sommartid. Då sker kylningen under kortare tid, vilket leder till att en lägre temperatur erfordras.

Olika reglerprinciper för systemet simuleras av Hauser et al (2000). Simuleringsprogrammet HAUSer används för att undersöka hur komforten påverkas för en byggnad med resp. utan kylning genom konditionering av betongbjälklaget. Väderdata som används är från Würzburg i Tyskland. Resultaten visar att rumstemperaturen stiger över 25°C ca 1300 h/år med kylsystem och lätta innerväggar. Utan kylning överstiger inomhustemperaturen 25°C ca 4000 h/år. Om tunga innerväggar används, överstiger rumstemperaturen 25°C endast ca 1000 h/år med kylsystem. Resultaten visar att komforten ökar drastiskt, genom att höga rumstemperaturer blir mindre frekvent.

Weber et al. (2000) har utfört beräkningar av exergiförluster för en ny kontors byggnad som skall byggas i Frankfurt, Tyskland. Olika framledningstemperaturer och olika tidskonstanter (termisk massa) simulerades. Simuleringarna visar bl.a. att exergiförlusterna är som minst vid en viss tidskonstant och att energibehovet minskar med ökad tidskonstant.

## 7.5 Komfort och energieffektivitet

Det totala energibehovet för byggnader med BATISO konceptet är endast hälften av energiförbrukningen i konventionella byggnader med motsvarande komfort.

Cirkulationspumpen drar dock något mer energi än för vanliga system, beroende på att ett högt flöde krävs. För BATISO-systemet är cirkulationspumpens elförbrukning ca 1,4 kWh/m<sup>2</sup>år (Zimmermann 1998b).

Det svenska konceptet innebär att byggnadens bjälklag kyls nattetid genom att vattnet cirkuleras i kylmedelskylare bestående av fläkt och luft/vattenbatteri (Energihuset Syd AB & VVS Gruppen AB 2000). Enligt uppgift från företaget uppskattar man att energibehovet för komfortkyla kan minskas med upp till 95% om kyla tillförs nattetid som frikyla.



## 8 VÄGGVÄRME

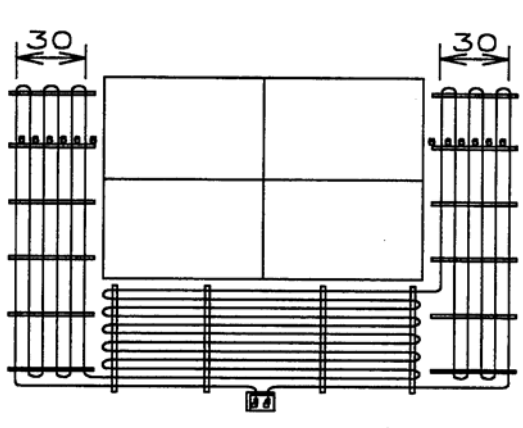
### 8.1 Introduktion

Vattenburna väggvärmesystem används på kontinenten i bl.a. Tyskland där det finns ett flertal företag som säljer olika system. I Sverige förekommer praktiskt taget ingen väggvärme. Väggvärme avger precis som golvvärme strålningsvärme av låg temperatur och anses därför vara mycket komfortabel. Forskning och utvärdering av väggvärmesystem i den internationella litteraturen har varit mycket sparsam. I detta kapitel redovisas därför huvudsakligen olika väggvärmekoncept från tillverkarna på kontinenten.

### 8.2 Systemtyper

#### *Inmurade moduler av rörslingar*

Då murade väggar är vanliga i Tyskland är inmurade väggvärmerör en vanlig typ av väggvärmesystem. Rören kan förläggas i putsen på väggens insida. Det finns både moduler av kopparrör och av plaströr för inputsning, vilka saluförs av bl.a. Hexatherm. Plaströrsmodulerna kan antingen bestå av grövre rör med större mellanrum eller av tunna plaströr (5-6 mm) med ett mellanrum på ca 5 cm.



*Figur 8.1. Moduler av plaströr kan monteras enligt detta mönster för att sedan putsas över. Källa: HEXATHERM Energietechnik Ges.m.b.H. (1998).*

#### *Väggskivor av gips med plaströr*

För träväggar och andra lätta konstruktioner säljs väggskivor av gips, med urfrästa spår och överpacklade plaströr. Olika rördimensioner och mellanrum mellan rören förekommer. Ovan nämnda system medför att läckage lätt kan uppstå vid uppsättning av tavlor och hyllor, om inte hyresgästen känner till rören. En metod för att hitta värmerörerna är att slå på värmen för fullt, varefter man sprayar vatten på väggen. Där vattnet torkar först antas värmerörerna ligga.

### ***Hus med uppvärmd hjärtvägg***

Ljungqvist et al. (1998) beskriver ett välisolerat småhus med en värmande hjärtvägg med mycket hög värmekapacitet. Hjärtväggen är konstruerad av två lager tegelsten med sand i mellanrummet. I sandfyllningen är samtliga rörinstallationer förlagda. Vanliga golvvärmerör är förlagda i hjärtväggen för värmedistribution. På så sätt fungerar innerväggen i varje rum som värmekälla. Övriga väggar är av lätt konstruktion. Ytterväggar är välisolerade så att maximala effektbehovet understiger  $40 \text{ W/m}^2$ . Huset har använts under en uppvärmningssäsong och resultaten tyder på att värmebehovet för uppvärmning ligger under  $40 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{år}$ .

### ***LOWTE systemet***

Platell (1993) och Platell (1998) beskriver LOWTE systemet som är ett helt systemkoncept för uppvärmning av fastigheter med potential att täcka hela byggnadens värme- och kylbehov med enbart solenergi eller spillvärme. Systemet består av tre olika huvudkomponenter som är säsongslager (värme och kyla), solfångare/spillvärmeproducent och värme- eller kylavgivande väggar.

### ***Säsongslager***

Säsongslagret utgörs av många djupa borrhål i marken. (lera eller berggrund). Värme tillförs och bortförs från lagret med vatten som värmebärare. Lagret laddas sommartid med solvärme eller t.ex. spillvärme från en kylmaskin. Värmen överförs med speciella LOWTE-rör som ger bättre värmeöverföring än vanliga U-rörsvärmväxlare. Vid laddning av markvärmelagret tillförs det varma vattnet genom många tunna kapillärrör av koppar och avger värmen till marken. Den kalla returledningen från botten av värmelagret går isolerad upp genom borrhålet så att det övre varmaste skiktet i marken inte avkyls. Värmväxlarna möjliggör således temperaturskiktning i höjddled i marken vilket resulterar i lägre temperaturer i botten av lagret och lägre värmeförluster nedåt. Problem med värmelagring i mark är att värmeförlusterna blir procentuellt sett mycket stora om inte stora värmelager byggs. Den låga temperatur som detta lager förutsätts arbeta med innebär att möjligheterna ökar att bygga mindre värmelager.

### ***Solfångare***

Oglasade solfångare är betydligt billigare än glasade men kan inte leverera höga temperaturer. Däremot kan oglasade solfångare leverera stora mängder energi vid låga temperaturer till låga kostnader. Som ett alternativ till solvärme kan spillvärme också användas för laddning av markvärmelagret.

### ***Husets klimatsköld***

I yttervägg är två luftspalter placerade innanför isoleringen. I nedre delen av luftspalten finns en värmväxlare som överför värme från värmelagret genom en värmväxlare av plast. I den inre luftspalten strömmar uppvärmd luft nerifrån och upp och värmen avges till rumsluften. I den yttre luftspalten strömmar luften nedåt igen, varpå den åter värms i värmväxlaren. Om det finns fönster i väggen används 2 + 2-glas. Mellan de två inre fönstren strömmar luften uppåt och mellan de två yttre fönstren strömmar luften nedåt. Det varma vattnet från lagret sägs inte behöva vara mer än  $20\text{-}25^\circ\text{C}$ . Vattnet som leds tillbaka till värmelagret är betydligt kallare. Vid låg utetemperatur kan det bli under  $10^\circ\text{C}$ .

Systemet har inte realiserats än, men arbete pågår vid KTH, Stockholm med att skapa en simuleringsmodell för väggkonstruktionen (Schmidt et al. 2000).

### 8.3 Temperaturkrav

Väggvärmesystemens temperaturkrav beror bl.a. på värmebehov, uppvärmd yta och typ av väggvärmesystem. För de vattenburna väggvärmesystemen används normalt inte alla tillgängliga ytor för att reducera på kostnaderna.

Värmeövergångskoefficienten varierar något mellan olika system. Den totala värmeövergångskoefficienten mellan värmevatten och rum varierar mellan olika typer av väggvärmesystem beroende på rörmaterial och röravstånd. Nedanstående värden ger några exempel på värmeövergångskoefficienter som anges av tillverkarna. För gipsskivor med rör anges värmeövergångskoefficienten till ca  $7,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  vid en medelvattentemperatur större än  $35^\circ\text{C}$  (HEXATHERM Energietechnik Ges.m.b.H. 1998).

För inputsade rör är värmeövergångskoefficienten något högre ca  $8 - 8,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  vid en medelvattentemperatur större än  $35^\circ\text{C}$ . Systemet från SERA Wandheizung (1998) med Inputsningsbara kopparrörsmattor har en värmeövergångskoefficient på  $\alpha = 3,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  vid  $T_{\text{rum}} = 20^\circ\text{C}$  och  $T_{\text{fluid}} = 38^\circ\text{C}$ .

SUN POWER Energiesysteme (1998) tillhandahåller moduler med slingor av plaströr (DN 10 mm) med samlingsrör upptill och nedtill (DN 20 mm) för inputsning. Enligt produkt-diagram är värmeövergångskoefficienten  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$  då framledningstemperaturen är ca  $40^\circ\text{C}$ . Vid  $26$  graders framledningstemperatur är värmeövergångskoefficienten  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 8.4 Reglering av väggvärmesystem

Ingen forskning om reglering av väggvärmesystem har påträffats, men reglering av väggvärmesystem utan större massa kan ske på samma sätt som för ett radiatorsystem eller golvvärmesystem, d.v.s. styrning av framledningstemperaturen genom framkoppling från utetemperatur. Rumsreglering kan ske med termostatventil, men för väggvärmesystem applicerade på värmetroga murverk bör troligtvis rumsreglering med pulserande flöde användas (se kap 5 och 15.1).

### 8.5 Komfort och energieffektivitet

Montering av väggvärmesystem påverkar kraftigt energiförlusterna från väggen, speciellt om så höga framledningstemperaturer som  $35-40^\circ\text{C}$  används. Någon litteratur som behandlar värmeförlusterna från väggvärmesystem har inte funnits. Det är emellertid självklart att högre framledningstemperaturer medför att tjockare isolering krävs för att inte värmeförlusterna skall öka. Lägre vattentemperaturer kräver dock att den värmeöverförande ytan istället måste ökas, vilket också ökar värmeförlusterna. Om en sänkt framledningstemperatur på bekostnad av att en större ytterväggs yta används leder till ökade eller minskade värmeförluster är oklart.

För att minska värmeförlusterna är det effektivast att placera väggvärmerna huvudsakligen på innerväggar och kanske bara använda värmeslingor på ytterväggar under fönster och en bit längst ner på ytterväggen för att minska kallras. Komforten blir något sämre med värmeslingor på innerväggen, men värmeförlusterna minskar avsevärt.

## 9 RADIATORVÄRME

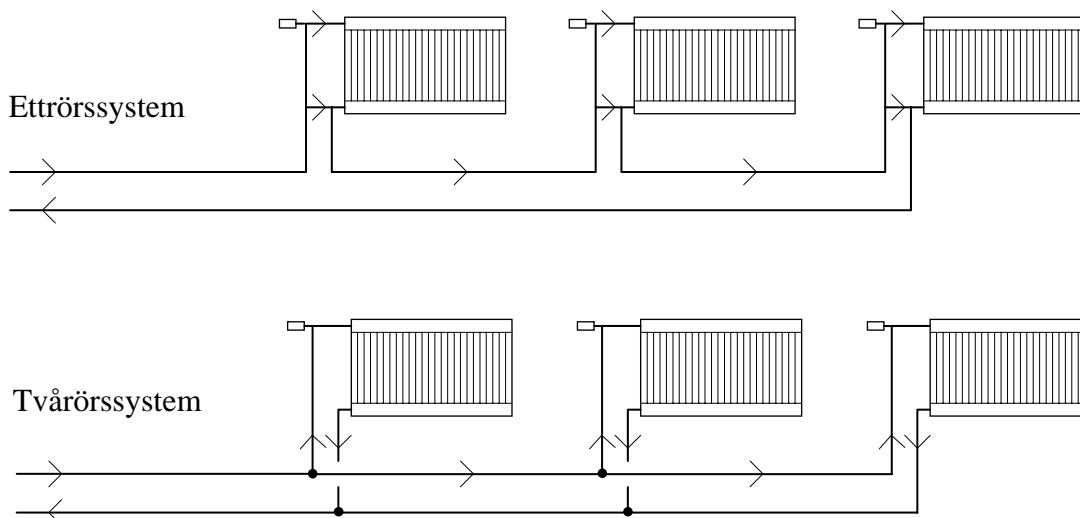
### 9.1 Introduktion

Radiatorer är ett traditionellt och väl beprövat värmesystem som avger energi både med strålning och konvektion, till skillnad från konvektorer som avger värme huvudsakligen genom konvektion. Radiatorn placeras traditionellt under fönster för att fånga upp kallras. Före energikrisen användes höga temperaturer, vanligtvis 80/60 system. Under 80-talet har det skett en övergång till lågtemperatursystem med huvudsakligen 55/45 system. Maximal framledningstemperatur vid DUT enligt SBN 80 fick vara högst 55°C (Statens planverk 1980) Detta har möjliggjorts genom användning av större radiatorytor, samtidigt som effektkraven minskade.

### 9.2 Systemtyper

#### *Radiatorer*

De två huvudtyperna av radiatorsystem är *ettrörssystem* och *tvårörssystem*. Figur 9.1 nedan illustrerar funktionen. Ettrörssystem innebär att flera radiatorer kopplas i serie. Detta ger förenklad rördragning, speciellt för dold rörförläggning, då rören kan dras från radiator till radiator utan skarvar och T-rör. En del av flödet i kretsen leds förbi radiatorn och en del av flödet leds genom radiatorn och kyls. Nästa radiator i kretsen erhåller därför en lägre inloppstemperatur. Det maximala antalet radiatorer i en krets är därför i praktiken begränsat. Ettrörssystemen var vanligare under 70-talet, men har minskat i användning på senare tid. Tvårörssystemen har samtliga radiatorer kopplade parallellt. Detta medför att alla radiatorer erhåller samma inloppstemperatur.



Figur 9.1. Ettrörssystem och tvårörssystem.

#### *Konvektorer*

Konvektorer avger huvuddelen av energin som konvektion och utförs oftast med flänsar. Konvektorerna kan vara fläktförstärkta för att öka värmeavgivningen. Konvektorer kan på samma sätt som radiatorer göras större för att möjliggöra sänkta temperaturnivåer.

Angelino (1990) har undersökt hur en konvektor för lågtemperaturuppvärmning skall utformas för bästa värmeöverföring. Slutsatserna från studien är att stigkrafterna kan göras starkare genom placering av en konvektor i botten av en vertikal kanal och därigenom utnyttja skorstensverkan. En fläkt på ca 10 W kan användas för att öka värmeavgivningen med 50 % vid en inloppstemperatur på 40°C. Enligt en undersökning av Eriksson (1999) är emellertid konvektorsystemen betydligt dyrare i installation. Det finns då varken prismässiga eller komfortmässiga argument för att använda konvektorer.

### 9.3 Temperaturkrav

För att radiatorsystemen inte skall omöjliggöra användning av värmepumpar begränsades framledningstemperaturen i nya byggnader till maximalt 55°C från och med SBN 80 (Boverket 1980). Ytterligare sänkt temperaturnivå är möjlig att uppnå. Eriksson et al. (1999) har jämfört kostnaden för radiatorer med kostnaden för lätta golvvärmesystem med strålningsplåtar och konstaterat att radiatorer är billigast för framledningstemperaturer ner till ca 40°C. Platta på mark med golvvärme är dock en billigare golvvärme konstruktion.

Ettrörssystemen är svårare att utföra som lågtemperatursystem, eftersom inloppstemperaturen sjunker efter varje radiator. En annan anledning till att värmesystemen är mindre lämpade för lågtemperaturanvändning är att när termostatventilen stänger leds allt vatten förbi fram till nästa radiator. Detta leder till att flödet inte påverkas nämnvärt och att returtemperaturen stiger då termostatventilerna stänger. Avkylningen av vattnet minskar och returtemperaturen i systemet stiger vid värmeöverskott i rummet. I ett tvårörssystem är förhållandet det omvända. När termostatventilen stänger minskar flödet över radiatoren och returtemperaturen sjunker.

Teori som beskriver radiatorers och konvektorers värmeöverföring beskrivs inte här, men redovisas relativt detaljerat av Nyman (1997). Även prisjämförelser görs med målsättningen att urskilja vilka modeller som är kostnadseffektivast.

### 9.4 Reglering av radiatorer

Radiatorsystem regleras i regel med utekompenserad framledningstemperatur styrd av trevägsventil och varje radiator är vanligtvis försedd med en termostatventil eller ratt för handreglering. Det finns också möjlighet att förse radiatorer med elektroniskt styrd ventil och koppla denna till en rumstermostat. Detta är lämpligt då man vill reglera radiatoren i sekvens med ett kyl- eller VAV-system. (Variabelt luftflöde).

Traditionella radiatortermostater medför dock en del problem. Ofta ställs radiatortermostater upp på maximal temperatur vid låg utetemperatur. Detta gör att de sedan inte stänger direkt vid tillfälliga värmeöverskott i rummet. Om det finns flera radiatorer i samma rum är det svårt att få termostatventilerna att stänga samtidigt vid värmeöverskott. Ett knep för att förenkla injustering och handhavande av system med många radiatorer i samma rum kan vara att koppla alla radiatorer i ett rum i serie och endast förse en av dem med termostatventil, men det innebär att risken för kallras ökar vid de sist inkopplade radiatorerna.

## 9.5 Komfort och energieffektivitet

Radiatorsystem är väl utprovade och har använts under lång tid. Komforten som förknippas med radiatorsystem är välkänd för de flesta. Nedan redovisas komforten för radiatorsystem. Radiatorer placeras vanligtvis under fönster och förhindrar effektivt kallras från fönster och uteluftintag att nå golvet. Mätningar av bl.a. Olesen visar att där kallraset från fönstret möter varmluften från radiatoren bildas en luftström rakt inåt i rummet. Hastigheter på 0,13 m/s uppmättes (Olesen et al. 1979 och 1980).

*Temperaturgradienten* i rum med radiatorer är i regel liten (t.ex. Olesen et al. 1980). Dock kan temperaturgradienterna bli mycket stora, om radiatoren placeras mot innervägg och fönstret är dåligt isolerat.

För att ett radiatorsystem skall ge god komfort och vara energisnålt krävs att värmesystemet *injusteras* så att samtliga radiatorer alltid har tillgång till erforderligt flöde. Dessutom måste termostatventilen vara korrekt inställd, så att den stänger vid värmeöverskott och stigande rumstemperatur. Problem att hitta *rätt termostatinställning* förekommer, speciellt i rum som har flera radiatorer och termostatventiler. Noggrann injustering och maxbegränsning av rumstermostaterna är därför viktigt.

## 10 LUFTVÄRME

### 10.1 Introduktion

Luftburen värme innebär att erforderligt värmebehov tillförs med luft som värmebärare. Enligt den klassificering som här gjorts är samtliga hus där luft ingår i distributionssystemet klassade som luftvärmesystem oavsett om varmluften cirkulerar i ett slutet system eller tillförs rummen. Det är annars svårt att dra gränsen mellan luftvärme och andra system.

Genom användning av luftvärmesystem har man velat minska installationskostnader genom samordning mellan värme- och ventilationssystem. Genom användning av ett luftburet distributionssystem behöver ett vattenburet distributionssystem inte installeras. Eftersom luften har betydligt mindre värmekapacitet än vatten och för att inte tillufttemperaturen skall bli för hög, krävs ofta att större luftflöden än ventilationsflödet används. Detta har då medfört att återluft ofta använts. På senare tid har man också börjat använda luftvärmade ytor för att öka den överförda värmeeffekten utan att behöva tillgripa återluft.

Traditionella luftvärmesystemen karakteriseras av att värmen huvudsakligen avges genom konvektion. Varmluftinblåsning i tak, vägg eller under fönster förekommer, speciellt har takinblåsning använts i Sverige. Luftvärmesystemen har hittills inte visat lysande resultat beträffande komfort och energiförbrukning. USA har lång historia av luftvärmesystem, men de erfarenheter som man har av systemen i USA har inte undersökts i denna studie.

#### ***Kort historik***

Under 80-talet och fram till 1994 har ca 30 000 småhus med luftvärmesystem byggts i Sverige. Systemen utfördes vanligtvis med tilluftsdon i tak. Frånluft från, vardagsrum eller hall sögs ut vid golvnivå, filterades, värmdes och blandades upp med uteluft för att åter tillföras rummen som återluft. Frånluft i kök och badrum evakuerades på vanligt sätt och värmeväxlades mot uteluften för att sedan släppas ut.

Enligt Harrysson et al. (1992) och Harrysson et al. (1993) har ca 20 % av de luftvärmade husen uppvisat s.k. *sjukahussymptom*, som för en del av de boende inneburit bl.a. andnöd, irritation i ögonen, sömnsvårigheter, halsirritationer och astmatiska besvär. I husen har man konstaterat problem med att reglera innetemperaturen, dammlukt, lågfrekvent buller, kalla golv och luftdrag. I några hus har man dessutom konstaterat abnorm dammbildning, föroreningar i luften och gulnande tak.

Det är inte klart exakt vad som orsakar sjukahussymptomerna. Mätningar visar att jonkoncentrationerna inomhus är betydligt lägre än utomhus och att stora mängder partiklar förekommer i luften. Åtgärder har vidtagits genom användning av finfilter, elektrofilter och jonapparater. I några enstaka fall har höga halter klor och kisel uppmätts runt tilluftsdonen. Kisel finns i mineralull som förekommer i invändig isolering av ventilationskanaler och klor avges från vissa mattor och tapeter. Ett riktigt olyckligt exempel på luftvärme redovisas av Gunnel Almart i Borås tidning (Almart 1990). Erfarenheterna från Bo 92 i Örebro visar bl.a. att de luftvärmade husen fick kompletteras med radiatorer för att bli beboeliga. (Harrysson 1999c).

Luftvärme har under 80-talet gett upphov till en hel del hälsoproblem, dålig komfort och hög energiförbrukning, som gjorde att kraven skärptes i BBR94. Då förbjöds återluft i sovrum och i rum för vila. Kraven har åter igen luckrats upp i BBR99.

En djupare undersökning av argumenten för och emot luftvärme har inte kunnat utföras inom ramen för detta arbete. Litteratur av både förespråkare och motståndare till luftvärme, samt erfarenheter från USA, som har lång tradition av luftvärme bör gås igenom för att kartlägga problemen. Varningssignalerna från de sjuka luftvärmda husen måste dock tas på allvar, så att fler problemhus inte byggs.

## 10.2 Systemtyper

De systemtyper som främst är av intresse för lågtemperaturtekniken kännetecknas av att golv eller andra ytor värms av luften så att komforten ökas och så att effektbehovet till rumsluften minskar. Jóhannesson (1998) redovisar konstruktionen för tre luftvärmda hus i Rösckär utanför Stockholm. Husen fungerar som forskningsobjekt där parametrar som påverkar temperaturnivån för uppvärmning skall studeras. Den gemensamma nämnaren för husen är att samtliga har en s.k. varmgrund, d.v.s. att luften i kryputrymmet värms och att kryputrymmet är isolerat.

### 1. Bergehamn huset

Huset har ett varmt kryputrymme och värms av luft från kryputrymmet som cirkulerar upp genom luftspalter i väggar och tak. Luften sugas sedan tillbaka till kryputrymmet utan att komma i kontakt med rumsluften. Temperaturen i huset regleras genom att värme tillförs kryputrymmet. Detta systemkoncept medför att huset värms av både golv, vägg och tak. Värmetillskottet till rummen skall enbart täcka värmeförluster från fönster och ventilation. Värmeförlusterna genom väggar och tak kommer dock att öka genom den temperaturhöjning som erhålls. Ett problem är att tryckfall, elförbrukning och risk för luftläckage ökar med ökat flöde. En intressant reglerstrategi skulle kunna vara att ställa in ett grundflöde och en maximal temperatur i kryputrymmet. Om inte detta räcker till höjs luftflödet.

### 2. IEA Task XIII huset

I detta hus används ett uppvärmt kryputrymme som avger värme till bostaden genom golvet. Bostaden värms också genom att luften från kryputrymmet tillförs bostaden vid golvsockeln. Frånluften evakueras på traditionellt sätt genom kök och badrum och värmeväxlas mot uteluften som tillförs kryputrymmet.

### 3. Leca huset

Detta hus har en varmgrund precis som tidigare redovisade hus. Skillnaden är att ingen luftcirkulation förekommer mellan kryputrymmet och bostaden. Endast varm luft under golvet värmer bostaden.

Lowte konceptet liknar delvis system 1 ovan, när det gäller värmedistribution i väggarna. Då det bygger på både ett vattenburet och ett slutet luftburet system, presenteras systemet i kap 8.2.

### Småhus i Rösckär

I en rapport från IEA (1995) redovisas ett småhus från Rösckär, Stockholm. Husets betongplatta innehåller värmerör för golvvärme, ventilationskanaler som förvärmer uteluften och



ledning för att förvärma kallvatten. En annan innovation i detta hus är de reflekterande fönsterluckorna, som kan manövreras med en elektrisk motor. De kan ställas i olika lägen för att erhålla tre olika funktioner. Nattetid kan de stängas för att isolera fönstret och minska värmeförlusterna från fönstren. Dagtid kan de ställas dels så att de ökar solinstrålningen eller så att de skärmar av solinstrålning.

#### *RESARO systemet*

RESARO systemet bygger på luftcirkulation av varm luft genom golven i ett prefabricerat betongbjälklag. Frånluft från t.ex. hallen blandas med uteluft och värms i ett varmluftaggregat. Därefter leds luften ut i betongbjälklaget i mellanrummet mellan två betongplattor. Luften släpps sedan upp vid golvlisen. Frånluft evakueras från sovrum och badrum. Uteluft kan vintertid tas in genom isoleringen på vindsbjälklaget. På detta sätt återvinns värmeförlusterna genom vindsbjälklaget samtidigt som luften filtreras.

#### *Thermo Net*

Åström (1998) redovisar ett nytt koncept för luftbehandling som möjliggör användning av betydligt lägre temperaturer för eftervärmning av ventilationsluft. Systemkonceptet kallas Thermo Net. Aggregatet har vätskekopplad värmeåtervinning, med ”extra stora” värmebatterier. Batteriet på tilluftsiden används för värmeåtervinning, förvärmning eller kylning. Två värmebatterier och en värmeväxlare för återvinning reduceras till en enda komponent som sköter alla funktioner. Detta minskar tryckfallet på tilluftsiden, som sänker energibehovet till fläkten. Eftervärmning av tilluften kan ske med mycket lägre temperatur än konventionellt med värme från returen som lämnar fastigheten eller med fjärrvärmereturen. För att kyla tilluften sommartid används i första hand befuktning i frånluften som ev. förstärks med annan kyla.

#### *Luftburen solvärme*

Solvärmesystem med luftsolångare bygger generellt på att solvärme distribueras, lagras och avges från väggar eller bjälklag. En god överblick över sådana system ges av Hastings (1999).

#### *Luftsolvärmehus i Järnbrott*

Ombyggnaden och utvärderingen av ett äldre flerfamiljshus i Järnbrott, Göteborg beskrivs av Gustén et al. (1992). Huset är byggt med lättbetongväggar och tilläggsisolerades samt försågs med luftsolångare på taket. Mellan den gamla väggen och den nya isoleringen lämnades en luftspalt så att luft kunde cirkulera genom solångaren och innanför tilläggsisoleringen. De gamla väggarna var av lättbetong och därigenom mycket lämpliga att ta upp värme under dagen och avge under natten. Huset var utrustat med ett vattenburet radiatorsystem som injusterades och försågs med termostatventiler.

Sommartid används luftsolångarna till att förvärma tappvarmvatten i en luft/vätske värmeväxlare. Några omkringliggande hus tilläggsisolerades på samma sätt utan att förses med luftsolångare. Dessa hus användes som referens vid utvärderingen. Systemet visade sig vara mycket effektivt och reducerade energiförbrukningen för uppvärmning med 40 % jämfört med referenshusen som enbart tilläggsisolerades. Dessutom erhöles förvärmning av tappvarmvatten sommartid.

Systemet möjliggör kraftig energibesparing genom användning av solvärme vid tilläggsisolering och takrenovering av byggnader. Systemet möjliggör användning av värme med mycket låg temperatur. Luftspalten blir ju kallare än inomhusluften och därför ger en höjning av lufttemperaturen i spalten med endast några få grader direkt minskade värmeförluster. Eftersom värmen tillförs på utsidan av lättbetongväggen, tar det några timmar innan värmen avges på insidan. Om väggen har lämplig tjocklek, kommer huvuddelen av värmen att avges till rumsluften under natten, trots att den tillfördes under dagen. Denna s.k. dubbelskiktsteknik som kan användas vid renovering av framförallt flerbostadshus beskrivs närmare i Nordström (1999).

### 10.3 Temperaturkrav

Temperaturnivåerna beror på luftflödet, husets värmebehov, sätt att tillföra luften, mm. *Bergehamn huset* har golv, väggar och tak uppvärmda, vilket betyder att endast värmeförluster genom fönster och ventilationsförluster måste kompenseras. Den erforderliga yttemperaturen på de värmeavgivande ytorna kan därför vara låg. Om även fönster och ventilationsluft värms behöver ingen värme tillföras rummet. Den cirkulerande luften skall då vara något kallare än rumsluften för att kompensera för interna laster. Hela den tillförda värmeenergin avges då direkt som värmeförluster genom klimatskärmen. Genom att hela den omslutande byggnadsarean är uppvärmd kan man värma med lägre temperatur än rumstemperaturen.

### 10.4 Reglering av luftvärmesystem

Ovanstående beskrivna luftvärmesystem kan i regel inte rumsregleras. Användning av låga temperaturer för värmning (20 - 25°C) medför hög självregleringseffekt och är därför att föredra. Reglering med framkoppling från utetemperaturen och återkoppling från en eller flera centralt placerade rumsgivare bör därför vara ett lämpligt styrsystem (ingen referens).

### 10.5 Komfort och energieffektivitet

Forskning om termisk komfort och energiförbrukning för luftvärmesystem har utförts under 70 och 80-talet av bl.a. Olesen et al. 1979 och Lebrun et al. 1977, men resultaten är inte applicerbara, varken för de system som byggdes under 80-talet eller de system som är aktuella för lågtemperaturuppvärmning då inblåsningsförhållandena inte är desamma. Dock görs en undersökning av Johansson (1993) där luftvärmesystemen med takinblåsning studeras. Det konstateras att denna typ av luftvärmesystem till stor del fungerar som ett takvärmesystem. Komforten anses vara god med denna typ av luftvärmesystem, men eftersom undersökningen görs för ett omöblerat rum och Johansson et al. (1984) konstaterat att möbler inverkar på temperaturen närmast golvet kan inte undersökningen anses ge en fullt realistisk bild av komforten. Praktiska erfarenheter från 80-talshusen med luftvärme visar också att luftvärmesystemen i många fall hade brister i komforten.

De luftvärmesystem som presenterats i detta kapitel eliminerar problemen med stor temperaturgradient. Luftvärmesystem möjliggör värmning med stora ytor till relativt låg kostnad.

Dessvärre är rumsreglering är inte möjlig i dessa system. Detta kan leda till minskat utnyttjande av överskottsenergi och sämre komfort. Även problem med ökade värmeförluster från golvet på samma sätt som för golvvärmesystem kan uppstå.

I lågtemperatursammanhang då man inte avser att använda elvärme, måste energibehovet till fläktar och pumpar för att distribuera värmen beaktas. Distribution av värme med luftburna system förbrukar i regel mer elenergi än transport av motsvarande värmemängd med vatten.

Erfarenheter från USA visar att en stor del av den energi som används för att värma och kyla byggnader med luftburna system används för att distribuera all den luft som behövs. Vattenburna kylsystem kan transportera den erforderliga kylmängden med betydligt mindre drivenergi. Egenskaperna hos luft och vatten beträffande värmekapacitet, densitet och viskositet är sådana att energibehovet för att transportera den erforderliga energimängden med ett vattenburet system teoretiskt endast uppgår till 5 % av den energimängd som är nödvändig i luftvärmesystem (Feustel 1995).

## 11 FJÄRRVÄRME

### 11.1 Introduktion

Fjärrvärmesystem är vattenburen värme som distribueras till olika abonnenter i en tätort. I *abonmentcentralerna* värmeväxlas vattnet till tappvarmvattnet och till husets lokala värmedistributionssystem. Anledningen till värmeväxlingen är att man vill ha kontroll på om den egna anläggningen börjar läcka och att fjärrvärmevattnet ofta har högre syrehalt genom att färskt vatten ständigt fylls på i fjärrvärmenätet för att kompensera för små läckage och avdunstning.

Lågtemperaturfjärrvärme innebär att framlednings- och returledningstemperaturer hålls lägre än i vanliga fjärrvärmesystem. Temperaturnivåerna i traditionella nät varierar mellan olika fjärrvärmenät beroende på ålder och de anslutna anläggningarnas prestanda. Vintertid är framledningstemperaturer på ca 110°C och returtemperaturer på 50-60°C vanliga (se diagram 11.1).

Eftersom cirkulationsflödet begränsas av rördimension och erforderligt pumptryck måste en viss temperaturskillnad mellan framledning och returledning upprätthållas för att kunna leverera erforderlig energimängd. Om abonnenterna kyler dåligt blir returtemperaturen hög och då måste också framledningstemperaturen höjas. Nyckeln till sänkta fjärrvärmesystemtemperaturer är alltså låga returtemperaturer. Sänkta fjärrvärmesystemtemperaturer medför många fördelar som t.ex. lägre distributionsförluster och högre elutbyte i ångkraftvärmeverk.

### 11.2 Systemtyper

#### *Fjärrvärme*

Fjärrvärmesystem förekommer bl.a. som stora nät som försörjer en hel stad. Ofta matas dessa med energi från flera olika fjärrvärmeverk. Abonmentcentraler utförs med 1- 2- eller 3-stegskoppling. Av de tre varianterna ger trestegskopplingen den lägsta returtemperaturen. Idag är tvåstegskopplingen vanligast, medan ettstegskopplingen främst används för villor.

Laurén (1997) redovisar ett systemförslag från Kurt Johnsson vid Huddinge bostäder för att sänka fjärrvärmereturtemperaturen i en undercentral. Genom en ny kopplingsteknik där samtliga värmeväxlare kopplades i serie, kunde medel flödet sänkas med 40 % och returtemperaturerna sänktes med 30%. Kopplingsprincipen har rönt stort intresse hos Södertörns Fjärrvärme. Exakt hur det fungerar är oklart då ritning och text ej överensstämmer. Undercentralen har en värmepump som tidigare arbetade parallellt med fjärrvärmesystemet.

#### *Närvärme*

Närvärmesystem är betydligt mindre ”fjärrvärmesystem” som försörjer tex ett bostadsområde eller en grupp av hus. När ett bostadsområde med närvärme byggs kan man från början välja temperaturnivå i nätet.

Vejsig (1995) beskriver *Skotteparken*, ett bostadsområde med närvärmesystem, i Ballerup utanför Köpenhamn. Närvärmen försörjer 100 lägenheter där 6 solfångare på tillsammans 600 m<sup>2</sup> och en anläggning för samtidig el och värmeproduktion svarar för energiförsörj-

ningen. Närvärmesystemets konstruktion är synnerligen intressant för detta system, då det utnyttjar ett slags pulserande flöde för att reducera kulvertförlusterna. Det finns sex lokalt placerade ackumulatortankar på totalt 30 m<sup>3</sup>. Om någon av de lokala ackumulatorerna behöver värme från närvärmenätet fylls samtliga ackumulatorer av en puls av varmt vatten. När laddningen avbryts leds kallt returvattnet in i framledningen för att minimera värmeförlusterna. Enligt uppgift minskar värmeförlusterna i kulvertsystemet med 65% genom detta reglerförfarande. Total energiförbrukning var 77kWh/m<sup>2</sup> år 1995. Konventionella hus förbrukar ca 180 kWh/m<sup>2</sup>·år.

### ***Sekundärfjärrvärme***

Eriksson et al. (1999) redovisar också sk sekundärfjärrvärme. Detta innebär att ett lokalt nät, tex ett villaområde matas med fjärrvärme i en undercentral. Eftersom värmeväxling redan har skett sker enbart värmeväxling mot tappvarmvattnet i husens abonnentcentral.

### ***Fjärrvärmeretur som värmekälla***

Ett sätt att kunna öka effektuttaget i befintliga fjärrvärmesystem utan åtgärder kan åstadkommas genom att nya fastigheter till största delen utnyttjar fjärrvärmereturen till uppvärmning. Genom att ansluta två ledningar till fjärrvärmereturen, en uppströms, och en nedströms kan fjärrvärmereturen utnyttjas för uppvärmning och förvärmning av tappvatten. För ev. spets med hög temperatur kan primärledningen användas.

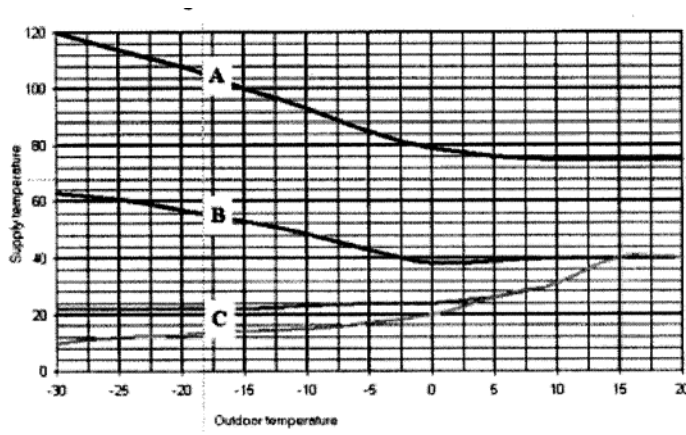
Värmesystem som är speciellt lämpade för denna inkoppling är Clima floor-systemet och BATISO-konceptet som presenterades i kapitel 7. Med en väl tilltagen värmeväxlare är fjärrvärmereturtemperaturer på ca 35-40°C tillräckliga för att täcka hela värmebehovet. En sådan form av uppvärmning ökar ju inte alls flödet i fjärrvärmenätet då hela värmebehovet tas ur returledningen. Nya byggnader kan anslutas utan förstärkning av fjärrvärmenätet. Även traditionella golvvärmesystem bör kunna kopplas på fjärrvärmereturen, men då krävs fjärrvärmetemperaturer på 40-50°C, eller spetsvärme med framledningen. Termo Net-systemet är ett ventilationsaggregat som är speciellt framtaget för att kunna använda fjärrvärmereturen för eftervärmning av ventilationsluften (se kapitel 10.2.).

Teknik som kan använda fjärrvärme returen för att värma hus och ventilationsluft finns redan framtagen. Helt avgörande för om denna teknik kommer att börja användas är fjärrvärmesystemens prissättningspolicy. Ett styrmedel för att sänka returtemperaturerna i abonnentcentralerna är att i taxan lägga en flödesberoende del. Detta ger en morot för abonnenten att hålla låga returtemperaturer.

## **11.3 Temperaturkrav**

Temperaturnivån i ett fjärrvärmenät bestäms av hur väl fjärrvärmevattnet kyls i abonnentcentralerna. Om många abonnentcentraler kyler dåligt blir returtemperaturen i fjärrvärmenätet hög. Eftersom flödet är begränsat av rördimensioner och pumpar måste även framledningstemperaturen hållas hög för att en tillräcklig värmemängd skall kunna överföras. Nyc-keln till sänkta fjärrvärmetemperaturer ligger därför i abonnentcentralen.

I dagens fjärrvärmesystem är framledningstemperaturerna ofta över 100°C och returtemperaturerna ofta över 50°C. Diagram 11.1 nedan visar hur fram- och returledningstemperaturerna kan variera i ett fjärrvärmenät. Av diagrammet framgår att returtemperaturen stiger vid sjunkande utomhustemperatur.



**Diagram 11.1.** Typisk framledningstemperatur (A) och returtemperatur (B) i ett fjärrvärmenät som funktion av utetemperaturen. Källa: Åström (1998).

Borås fjärrvärmenät hade extremt hög temperaturnivå 1987. Efter olika åtgärder sänktes medel temperaturen med ca 12°C fram till 1993. Det är således möjligt att sänka temperaturerna med mindre åtgärder om fjärrvärmeföretaget prioriterar dessa frågor. Lägre temperaturer i fjärrvärmenäten ger följande fördelar (Gummérus et al. 1994):

- Sänkta distributionsförluster
- Högre elutbyte i ångkraftvärmeverk
- Bättre värmefaktor hos värmepumpar
- Om returtemperaturen kan sänkas med bibehållen framledningstemperatur kan fler anslutningar göras utan nätförstärkning.
- Högre värmefaktor hos värmepumpar
- Ökat värmeutbyte vid rökgaskondensering och eldning av bibränslen
- Ökad verkningsgrad hos solfångare

Johansson et al. (1983) visar också att det finns möjligheter att sänka returtemperaturen i befintliga fjärrvärmenäten genom att arbeta med injustering. Genom att gamla hus tilläggs-isoleras och görs energisnålare kan det i vissa abonnentcentraler finnas möjligheter för att sänka returtemperaturen, då värmeväxlarna blir något överdimensionerade. Endast mindre sänkningar av framledningstemperaturen kan ske, då den sämst dimensionerade kunden måste kunna tillgodose sitt energibehov. Byte till större värmeväxlare för abonnenter är annars nödvändiga.

Jensen (1980) undersöker vilka problem som kan uppstå när en undercentral skall dimensioneras för lågtemperaturfjärrvärme. Det konstateras att dimensionerande för lågtemperatursystem är tappvarmvattennormen. Högre tappvarmvattentemperatur än 45°C kan inte erhållas under höga tappningar.

Haurballe et al. (1991) redovisar goda resultat från ett fjärrvärmeverk i *Herning*, där temperaturerna har sänkts under traditionella nivåer. Bl.a. rapporteras högre elproduktion.

Eriksson (1999) har utfört en studie av värmesystem till en villa och hur investeringskostnaden påverkas av dimensionerande temperaturnivåer. Radiatorer 45/35, fläktkonvektor 45/35, golvvärme 40/30 och golvvärme 35/25 har studerats och jämförts, dels genom simuleringar med TRNSYS, dels ur kostnadssynpunkt. Resultaten visar att det finns förutsättningar att satsa på sekundära fjärrvärmenät (70/30) vid nyproduktion av villaområden. Sekundära fjärrvärmenät kräver enbart värmeväxling med tappvattnet i huset. Man konstaterar att kostnaden för lågtemperatursystem i småhus stiger med ca 2500-3500 kr per grads sänkning under 60°C vid nyproduktion. Det konstateras också att kostnaden ligger hos konsumenten och vinsten hos energiföretagen. Det krävs därför en taxa relaterad till exerginivån för att intressera kunden för lågtemperaturvärme (Eriksson et al. 1999).

## 12 TAPPVARMVATTEN

### 12.1 Introduktion

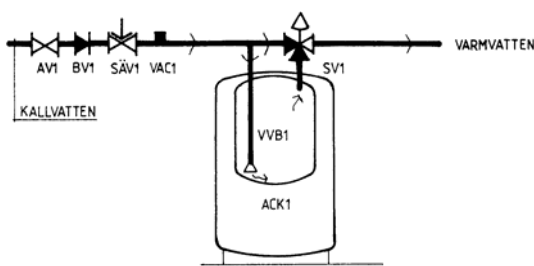
Produktion av tappvarmvatten kräver ofta högst temperatur i en byggnad med lågtemperaturuppvärmning, men kan samtidigt ge kraftig avkylning av värmekällan, eftersom kallvattentemperaturen ligger mellan 5 och 10°C. I mindre anläggningar behövs ett lager av varmvatten för att överbygga de relativt korta, men effektkrävande perioderna av varmvattentappningar. Effektbehovet i ett småhus kan uppgå till ca 30 kW vid en tappning. Enligt Byggreglerna (Boverket 1999) skall en lägsta temperatur av 45°C erhållas vid tappstället. Detta betyder i princip att varmvattnet måste levereras vid 50°C för att kompensera för rörlingsförluster. Ett annat argument för att upprätthålla en hög varmvattentemperatur är att risk för tillväxt av legionellabakterier föreligger vid lägre varmvattentemperaturer.

#### *Legionella*

Legionellabakterier förekommer naturligt i vatten nästan överallt. Om vattnet lagras vid en temperatur lägre än 50°C kan bakterietillväxten bli stor. För att smittas krävs att små vattendroppar med bakterien inandas och hamnar i lungorna. Bakterien kan inte följa med i vattenånga, utan det krävs små vattendroppar (aerosoler) för att sprida bakterien. Det är därför vanligt att smitta sprids via duschvatten, då små vattendroppar bildas som lätt kan inandas. Det är i regel inte farligt att dricka vatten med legionellabakterier. Legionellabakterien kan bl.a. ge upphov till den sk legionärssjukan som kan leda till döden. Speciellt angrips äldre och sjuka personer av bakterien. Enligt nya rön kan också inandning av köldmediepåverkad sur inandningsluft öka risken att bli smittad (Wahlgren 1999). Det har upptäckts ett samband mellan läckande kylanläggningar och smitta. Något som också anses dämpa legionellatillväxten är kopparrör och varmvattenberedare av koppar. Plaströr och rostfria beredare kan därför medföra en högre smittorisk.

### 12.2 Systemtyper

Ett vanligt sätt att bereda varmvatten är i en varmvattenberedare. Beredaren används för att jämna ut de stora effektbehov som föreligger vid en tappning. Beredarens storlek väljs så att en tillräcklig varmvattenvolym kan tappas, utan mellanrum. Beredaren kan sedan värmas med en relativt låg effekt under lång tid. En varmvattenberedare med tank i tank konstruktion visas i figur 12.1 nedan.



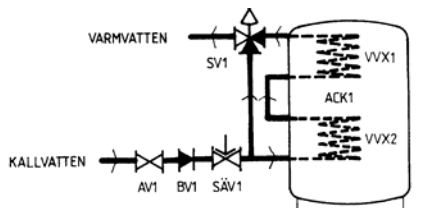
**Figur 12.1.** Varmvattenberedning i varmvattenberedare i en ackumulatortank för solvärme. Källa: Persson et al. (1996).



Varmvatten kan också beredas i genomströmning. Detta betyder att vattnet värms samtidigt som det förbrukas av ett annat medium i en värmeväxlare med mycket liten volym. Man kan således lagra värmevatten i ackumulatortank och värma tappvattnet i en värmeväxlare vid tappningar. Det finns två metoder för detta:

### **Kamflänsrör**

Kamflänsrör i en ackumulatortank är en metod för att bereda varmvatten som är mycket vanlig i svenska solvärmesystem för småhus (se figur 12.2). Kamflänsrör är spiralformade rör med flänsar som monteras i ackumulatortanken. För att uppnå god skiktning i ackumulatortanken måste kamflänsrör monteras både i tankens topp och botten.

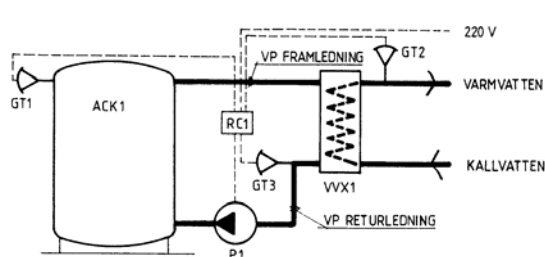


**Figur 12.2.** Tappvattenberedning med kamflänsrör i en ackumulatortank.

Källa: Persson et al. (1996).

### **Tappvattenautomaten**

Tappvattenautomaten är en teknik, som bl.a. används av det tyska solvärmeföretaget Solvis. I tappvattenautomaten värms vattnet i en plattvärmeväxlare enligt figur 12.3 nedan. Varmvattentemperaturen regleras genom en varvtalsstyrd pump på primärsidan. Systemet med tappvattenautomat har visat sig vara mycket effektivt i solvärmeanläggningar, då tankens skiktning förbättras avsevärt (Persson et al. 1996 och Lorenz et al. 1997). Orsaken till detta är att vattnet på primärsidan kyls ned till mellan 15 och 20°C av det inkommande kallvattnet och sedan tillförs tankens toppen utan turbulens och omblandning. Minimal mängd primärvatten används för att producera varmvatten.



**Figur 12.3.** Varmvattenberedning med tappvattenautomat kopplad till en ackumulatortank.

Källa: Persson et al. (1996).

### **Förvärmning av tappvarmvatten**

Förvärmning av tappvarmvatten med gråvatten sägs kunna ge ett tillskott av 30 till 50 % av energin för produktion av varmvatten beroende på kallvattentemperatur och förbruksmönster (Gundersen 1994). Värmeväxlaren som redovisas placeras under golvet och utformas så att kallt avloppsvatten passerar utan att blanda sig med varmare vatten. Varmare avloppsvatten stiger upp och lagras. Vidare är värmeväxlaren utrustad med spolrör för rengöring på primärsidan. För att minska legionellarisken är det viktigt att minsta möjliga mängd av tappvattnet lagras i värmeväxlaren. Ett system med förvärmning av tappvarmvatten med gråvatten har provats i ett av husen till Energimyndighetens tävling ”2000-talets småhus”.

Erfarenheterna därifrån visar att endast några hundra kWh per år sparades jämfört med beräkningarna som visade på en besparing på 2000 kWh/år (Jahnsson 2000). Orsaker till detta anges inte. Det borde dock finnas större erfarenheter från Norge med sådana system.

### *Desinficering med UV-bestrålning*

Om man upptäckt problem med legionellabakterier i en anläggning kan användning av ultraviolett strålning för desinfektering av vattnet kan vara en tänkbar metod. Liu et al. (1994) beskriver försök utförda med metoden. Problem som upptäckts är bl.a. att beläggningar uppstår på lamporna och att UV-bestrålning måste ske nära tappstället. En metod med desinficering, UV-bestrålning och filtrering visade sig kunna förhindra legionellatillväxt under fyra månader i anläggningen.

### *Andra åtgärder mot legionella.*

I en Artikel av Frederiksen (1990) efterlyses att varmvattenberedarna skall göras öppningsbara så att de kan inspekteras och rengöras. Dessutom är de nya snålspolande duschmunstyckena farligare än högflödesduschar menar han, eftersom de sprider mer små vattendroppar som lättare inandas. För att minska risken för smitta bör alltså så lite vattenaerosoler som möjligt bildas av duschmunstyckena.

## 12.3 Temperaturkrav

Legionella bakterien växer optimalt vid kroppstemperatur. Vid 50 – 60°C dör bakterierna efter några timmar. Vid temperaturer på 60 – 70°C dör bakterierna efter några minuter. För att minska risken för legionella bör alltså vattnet ha så kort uppehållstid i beredaren som möjligt och temperaturnivån vara så hög som möjligt. Lagring av varmvattnet vid 40 – 50°C under lång tid ger uppenbart stor risk för legionellatillväxt.

Hög säkerhet mot legionella kan erhållas genom att varmvattnet bereds i genomströmning eller genom att en tillräckligt hög temperatur på det lagrade varmvattnet erhålls. Om en varmvattenberedare används måste det lagrade vattnet hållas vid en tillräckligt hög temperatur så att legionella undviks. Det brukar rekommenderas att vattnet skall värmas till minst 60°C en gång per dygn (Gundersen 2000)

I system med varmvattenberedning i genomströmning (tappvattenautomater och kamflänsrör) finns endast en mycket liten vattenvolym i rör och värmväxlare, vilket leder till att omsättningstiden för vattnet blir liten. Temperaturkravet för det producerade varmvattnet blir då huvudsakligen ett komfortkrav. Enligt normen skall man garanteras en lägsta temperatur av 45°C vid tappstället, men många föredrar en högre temperatur.

För varmvattenberedning i genomströmning är den temperaturnivå som krävs på primärsidan beroende på tappflödet, önskad varmvattentemperatur, och värmväxlarens storlek. Det handlar om mycket stora effekter vid varmvattenvärmning och det därför krävs stora värmväxlare för att inte temperaturtappet mellan det värmande vattnet och tappvarmvattnet skall bli för stort. I de testade tappvattenautomaterna för villabruk (Persson et al. 1996) var temperaturtappet ca 10°C vid ett flöde av 12 l/min för en av tappvattenautomaterna. För att upprätthålla 50 graders varmvattentemperatur vid detta flöde krävs således en temperatur i ackumulatortanken på 60°C, d.v.s. samma temperatur som bör hållas i en varmvattenberedare för att vara säker mot legionellatillväxt.

## 13 SOL OCH LÅGTEMPERATURSYSTEM

### 13.1 Introduktion

För vanliga villasolvärmesystem finns ett par undersökningar om lågtemperaturvärme-systemens inverkan på solvärmeutbytet. Det finns mycket få undersökningar om hur olika typer av uppvärmningssystem påverkar solvärmeutbytet i en solvärmeanläggning. Det anses dock vara så att solvärmesystem, gynnas av lågtemperaturuppvärmning. I detta kapitel presenteras först några vanligt förekommande solvärmesystem och därefter redovisas några studier som beskriver hur solvärmesystemens täckningsgrad påverkas av olika typer av uppvärmningssystem.

### 13.2 Systemtyper

Solvärmesystem i Sverige byggs som *villasolvärmesystem*, *solvärmesystem för större byggnader* och *solvärme för fjärrvärme- och närvärmesystem*. Större system har ibland försetts med årslagring av värme. Villasystem utförs antingen som rena tappvattensystem, eller som kombisystem som ger energi till både tappvarmvatten och en del av värmebehovet. Solvärmesystem för större fastigheter kan utformas på i princip samma sätt, men det finns större möjligheter att långtidslagra solvärme i t.ex. mark eller bergrum. Solvärmesystem för fjärrvärme kopplas i första hand på fjärrvärmesystemets returledning och förvärmer inkommande returvatten. Beroende på hur stor andel av energin som solfångarna kan ge, kan dygnslagring av energin i stora vattencisterner eller säsongslagring i berget förekomma.

*Storskaligt lågtemperatursystem med årslagring.*

Nordell (1998) och Lundin et al. (1998) beskriver ett system för 100 enfamiljshus i Danderyd som föreslås värmas med solvärme och el. Husen skall byggas med golvvärme, med en framledningstemperatur av 30°C vid DUT. Solvärmen kommer att årslagras i ett borrhålsvärmelager i berg, där temperaturen kommer att variera mellan 30 och 45°C under året. Detta betyder att tappvattnet endast förvärms med solvärme. Eftervärmning kommer att ske med el. Enligt beräkningar kommer ca 60 % av det årliga energibehovet kunna täckas med solvärme. Resten tillförs med el.

Systemet är nu under byggnation, men det är troligt att vissa förändringar har gjorts jämfört med de ursprungliga planerna. Projektet är intressant eftersom det visar att en stor del av energibehovet kan täckas av solen. Men systemet belyser åter igen problemet med att användning av kostsamma uppvärmningssystem inte lönar sig vid små energibehov. Därför används elvärme som tillsatsenergi. Det kvarvarande energibehovet är för litet för att värmepump eller biobränsle skall vara ett ekonomiskt alternativ.

### 13.3 Uppvärmningssystemets inverkan på solvärmeutbytet

#### *Kommande Lic-avhandling av Lorenz (2000)*

I en kommande lic-avhandling av Lorenz (2000) behandlar han i ett kapitel hur energibehovet för ett solvärmesystem för småhus påverkas av olika temperaturnivåer på uppvärmningssystemet. Lorenz har simulerat ett traditionellt villasolvärmesystem (kombisystem) med el-patron och tillsammans med olika uppvärmningssystem. Det simulerade systemet har dubbla kamflänsrör för varmvattenberedningen och ett kamflänsrör för solkretsen monterade enligt figur 12.2. Olika temperaturnivåer och inkopplingsprinciper för värmesystemet har studerats genom att utföra årssimuleringar och jämföra energiförbrukningen med TRNSYS. Vid alla variationer har värmeförbrukningen alltid varit densamma timme för timme. Simuleringarna tar alltså inte hänsyn till att energiförbrukning och lastens fördelning över dygnet kan variera för olika värmesystem.

#### *Inkopplingshöjd*

Normalt kopplas radiatorsystemets framledning in på tankens topp och returledningen kopplas in till botten. Lorenz har varierat returledningens temperatur och inloppshöjd till tanken. Slutsatsen är att en hög inkopplingshöjd för radiatorreturen (strax under elpatronen) främjar utbytet på vintern, medan en låg inloppshöjd är att föredra vår och höst. Totalt sett en hög inkopplingshöjd att föredra, eftersom vinsten under vintern är större än förlusten vår och höst.

#### *Framledningstemperaturen*

I ett vanligt radiatorsystem påverkar inte framledningstemperaturen solvärmeutbytet så länge inte temperaturen på el-patronen måste ökas för att tillgodose temperaturkravet. Orsaken till detta är att framledningen är inkopplad i tankens topp och att framledningen shuntas ned till rätt temperatur. Om framledningstemperaturen ökas blir istället flödet och returtemperaturen lägre för att samma värmeeffekt skall avges. Det betyder att för ett radiatorsystem, inkopplat på traditionellt sätt till en ackumulatortank erhålls högst solvärmeutbyte om framledningstemperaturen injusteras, så att den vid dimensionerande utetemperatur är så hög som möjligt. Detta gör att returtemperaturen blir så låg som möjligt.

#### *Bivalent shunt*

För ett traditionellt inkopplat värmesystem i ett kombisystem är det alltså enbart värmesystemets returtemperatur som påverkar solvärmeutbytet. Genom användning av en bivalent shunt, är det möjligt att ta vatten från den solvärmda delen av tanken under el-patronen och vid behov blanda in elvärt vatten från tankens topp. En sådan koppling möjliggör en besparing av ca 125 kWh/år för ett vanligt 55/45 radiatorsystem. Den bivalenta shunten ger ett högre flöde tillbaks till tanken än en vanlig shuntventil vilket leder till att returledningen bör kopplas in på en högre nivå för att inte omblandning i tankens botten skall ske. Energi-besparingen för den bivalenta shunten blir större för ett lågtemperaturvärmesystem. Genom användning av den bivalenta shunten inverkar också framledningstemperaturen på täckningsgraden.

#### *Returtemperaturen*

Returtemperaturen påverkar täckningsgraden i samtliga system. Sänkning av dimensionerande returtemperatur från 55 till 25°C kan ge en besparing av 200 till 250 kWh/år för en villa som årligen förbrukar 8000 kWh värme och 3100 kWh varmvatten.

**Examensarbete av Neumann (1996)**

I arbetet undersöks ett svenskt och ett tyskt enfamiljshus hjälp av dynamiska simuleringar genomförda för solvärmesystem med både radiator- och golvvärmesystem. Simuleringarna utfördes med TRNSYS. Byggnadernas vägg, golv och takkonstruktion matades in i programmet. Husets uppvärmningssystem, ackumulatortank och solfångare modellerades och årssimuleringar med väderdata för Göteborg för det svenska huset och väderdata för Würzburg för det tyska huset.

Det svenska huset var av en mycket lätt konstruktion, byggt av lösvirke med kryprumsgrund av träbjälklag. U-värden för byggnadsstommen var för vägg =  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , tak =  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kryprum =  $0,198 \text{ W/m}^2\text{K}$  och fönster =  $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Golvvärmesystemet var utfört med rör förlagda i strålningsplåtar under spånskiva med en framledningstemperatur på ca  $45^\circ\text{C}$  vid DUT  $-16^\circ\text{C}$ . Temperaturreglering skedde genom utekompenserad framledningstemperatur och med rumstermostater med PI-reglering som stryper flödet vid internt värmeöverskott. Rumstemperaturen reglerades på den riktade operativa temperaturen. I det fall byggnaden simulerades med ett radiatorsystem var byggnaden oförändrad i övrigt. Radiatorsystemet var ett traditionellt lågtemperatur tvårörs radiatorsystem ( $55/45$  vid DUT  $-16^\circ\text{C}$ ) som reglerades med utekompenserad framledningstemperatur och rumstermostater, även dessa med PI-reglering som känner den operativa temperaturen. Ventilationen angavs som en kontinuerlig infiltration av uteluft med  $0,5$  oms/h.

Solvärmesystemet består av en solfångare på  $10 \text{ m}^2$  med  $23^\circ$  lutning inkopplad till en ackumulatortank på  $0,75 \text{ m}^3$  med yttre plattvärmeväxlare. Varmvattenproduktionen sker med två seriekopplade kamflänsrör för varmvattenproduktion. De är inkopplade på en relativ höjd från botten mellan  $1\%$  och  $25\%$  resp mellan  $77\%$  och  $95\%$ . Värmesystemets framledning är inkopplad på en relativ höjd av  $80\%$ . Radiatorns returledning är inkopplad på en relativ höjd av  $30\%$ . Tillsatsvärme värmer den övre delen av tanken till  $60^\circ\text{C}$ .

Det tyska huset var ett betydligt tyngre hus byggt av murade väggar med utvändigt isolering. Golvet var delvis kryprumsgrund av dubbla betongplattor med mellanliggande isolering, delvis platta på mark med dubbla betongskikt. Det övre betongskiktet har en tjocklek av  $50 \text{ mm}$ . U-värden för byggnadsstommen är för vägg =  $0,345 \text{ W/m}^2\text{K}$ , tak =  $0,266 \text{ W/m}^2\text{K}$ , platta =  $0,282 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kryprum =  $0,417 \text{ W/m}^2\text{K}$  och fönster =  $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Golvvärmesystemet var utfört med rör förlagda i den övre betongplattan med en framledningstemperatur på ca  $45^\circ\text{C}$  vid DUT  $-12^\circ\text{C}$ . Temperaturreglering skedde genom utekompenserad framledningstemperatur och med rumstermostater med PI-reglering som stryper flödet vid internt värmeöverskott. Rumstemperaturen reglerades på den riktade operativa temperaturen. I det fall byggnaden simulerades med ett radiatorsystem var byggnaden oförändrad i övrigt. Radiatorsystemet var ett traditionellt radiatorsystem ( $70/55$  vid DUT  $-12^\circ\text{C}$ ) som reglerades med utekompenserad framledningstemperatur och rumstermostater med PI-reglering som känner den operativa temperaturen. Ventilationen angavs som en kontinuerlig infiltration av uteluft med  $0,5$  oms/h.

Solvärmesystemet består av en solfångare på  $10 \text{ m}^2$  med  $29^\circ$  lutning inkopplad till en ackumulatortank på  $0,75 \text{ m}^3$  med yttre plattvärmeväxlare. Varmvattenproduktion sker i en yttre plattvärmeväxlare (sk tappvattenautomat) Värmesystemets framledning är inkopplad på en relativ höjd av  $80\%$ . Radiatorns returledning är inkopplad på en relativ höjd av  $30\%$ . Tillsatsvärme håller den övre delen av tanken vid minst  $60^\circ\text{C}$ .

### *Förenklingar i modellen*

Bland de största förenklingarna som gjorts i simuleringsmodellen kan nämnas att färre antal zoner än rum har använts. Lufttemperaturen betraktas vara samma överallt inom zonen. Temperaturen under golvet är hela tiden konstant 10°C. Rumstermostaterna skiljer sig från verkliga genom att PI-reglering används för radiatortermostaten istället för enbart P-reglering. Även golvvärmetermostaten skiljer sig från en verklig golvvärmetermostat.

### *Resultat*

Resultat och slutsatser från studien redovisas mer utförligt av Neumann et al. (1996) och Neumann et al (1998). De ökade solvärmestillskott som kan tillgodogöras med denna typ av solvärmesystem genom sänkta temperaturnivåer är små (endast 100 kWh för det svenska huset). Med den typ av kopplingsprincip som använts utnyttjas dock inte den sänkta framledningstemperatur som erhålls med golvvärmen. Endast den sänkta returtemperaturen utnyttjas. Tillloppstemperaturen till radiatorsystemets shuntventil är alltid minst ca 60°C, eftersom den är inkopplad ovanför el-patronen. Framledningens temperatur har då ingen som helst betydelse, så länge den inte överstiger 60°C. För att få full nytta av ett lågtemperaturvärmesystem bör inkopplingen till tanken alltså anpassas till det aktuella värmesystemet t.ex. genom användning av en bivalent shunt

Byggnadssimuleringarna visar att värmeförlusterna ökar från golvet vid användning av golvvärme, medan ventilations och transmissionsförlusterna minskar något p.g.a. den lägre lufttemperaturen. (Lika operativ temperatur har antagits för byggnaderna) Totalt sett ger golvvärmesystemet ett ökat energibehov med ca 2,5 % jämfört med radiatorsystemet både för det tyska huset och för det svenska huset. Om det tyska huset placeras i svenskt klimat blir dock golvvärmesystemet något energisnålare. Detta förklaras med att den lägre luft och väggtemperaturen hos golvvärmesystemet har större positiv inverkan för ett sämre isolerat hus i ett kallare klimat.

Genom att beakta resultaten som redovisats i kapitel 5, som tyder på kraftigt ökade energibehov för vissa golvvärmesystem, jämfört med motsvarande hus med radiatorvärme, kan golvvärmesystemens komplexitet påvisas. Den simulerade energiökning som beräknats med TRNSYS måste därför tas med stor försiktighet. Det finns många faktorer som inte kan beaktas fullt ut med TRNSYS. Den beräknade lastprofilen ger troligen en god approximation, förutsatt att uppvärmningssäsongen är lika för golvvärme och radiatorer, men den absoluta energiförbrukningen kan ifrågasättas.

Vidare är de simulerade golvvärme systemen mindre värmetröga än de svenska husen med platta på mark. Dessa hus har ju påvisat en energiförbrukning som är betydligt större än den som simuleras här. Å andra sidan kräver ett sådant system lägre temperaturnivå än de system som simulerats i denna studie.

Då denna studie påvisar att det normalt inte föreligger lägre temperatur i hus med golvvärme, hade en jämförelse av resultaten under antagandet av lika lufttemperatur också varit intressant.

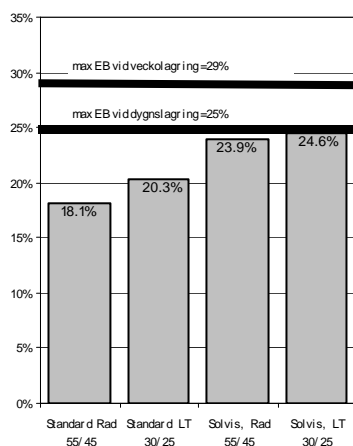
**Solvärmepotential för kombisystem.**

En intern simuleringsstudie av Persson (1999) har utförts för att testa inverkan av temperaturnivå, lagerstorlek och solfångarstorlek på solvärmeutbytet för ett villasolvärmesystem. Vidare skulle undersökningen påvisa var den teoretiskt maximala täckningsgraden ligger för ett villasolvärmesystem med en viss lastprofil.

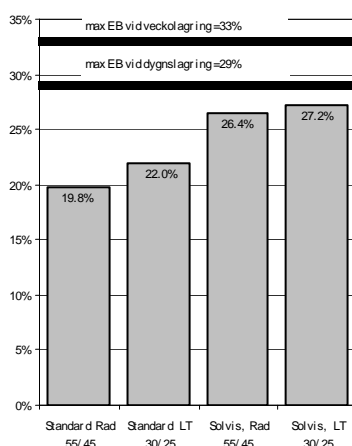
Simuleringar med TRNSYS utfördes för en enkelglasad selektiv solfångare med olika inloppstemperaturer och ett högt flöde. De energimängder som insamlades av en solfångare på 20 m<sup>2</sup> med en lutning av 70° med en konstant inloppstemperatur beräknades och fördelades över dygnet. Därefter jämfördes den insamlade energimängden med energibehovet under antagande av dygnslagring eller veckolagring. Värmebehovet för uppvärmning är 8800 kWh/år och Tappvarmvattenlasten är 3150 kWh/år. Under sommaren antogs att hela varmvattenlasten täcks med solenergi och under vintern antogs att tappvattnet endast kunde värmas från 5°C upp till solfångarens inloppstemperatur.

Beräkningarna visar att den teoretiska täckningsgraden för ett optimalt villasolvärmesystem med dygnslagring kan ökas från 29 % till 34 % om solfångarens inloppstemperatur sänks från 35°C till 20°C. Om veckolagring istället tillämpas ökar soltäckningsgraden från 40 % till 47 %.

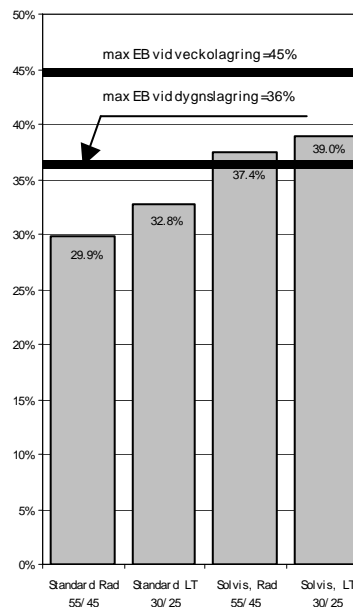
**Energibesparing för kombisystem 750l**  
10 m<sup>2</sup> solfångare med lutning 30gr



**Energibesparing för kombisystem 750l**  
10 m<sup>2</sup> solfångare med lutning 70gr



**Energibesparing för kombisystem 1500l**  
20 m<sup>2</sup> solfångare med lutning 70gr



**Diagram 13.1.** Jämförelse av täckningsgrad mellan villasolvärmesystem med radiatorvärmesystem och ett lågtemperaturvärmesystem med samma värmelast. Det vänstra diagrammet visar simuleringsresultat för villasolvärmesystem med 10 m<sup>2</sup> solfångare med 30 graders lutning. Två olika solvärmesystem (Standard och Solvis) och två värmesystem med olika temperaturnivåer redovisas. Det mellersta diagrammet visar samma system med en högre lutning på solfångaren. Det högra diagrammet visar likvärdiga system med fördubblad lagerstorlek och fördubblad solfångarstorlek. Den maximala teoretiska täckningsgraden redovisas som svarta linjer för två olika lagringsstorlekar. Källa: Persson. (1999).

Beräkningarna visar också att ökad lagerstorlek höjer solvärmestillskottet under vår och höst. Under vintermånaderna ger det ingen påverkan, eftersom den insamlade solenergin

under ett dygn i regel understiger dagsbehovet av energi. Sänkning av temperaturnivån höjer däremot täckningsgraden under både höst vinter och vår. Diagram 13.1 visar en jämförelse av den teoretiska täckningsgraden med en verklig systemsimulering för ett standard system samt för ett av de bästa systemen på marknaden. Framledningstemperaturen påverkar dock inte täckningsgraden, eftersom framledningen är kopplad till tanken ovanför el-patronen med en vanlig trevägsventil.

Diagram 13.1 visar att dagens bästa system ligger mycket nära den teoretiskt möjliga gränsen. Lågtemperatursystemen ger större inverkan hos standardsystemet, men det kan bero på att Solvis system har en skiktad inladdning av värme returen. Skiktningen i tanken störs därför mindre av höga returtemperaturer. En annan anledning kan vara att Solvis system ligger närmare den teoretiska gränsen från början. Det finns då mindre utrymme för att en förbättring skall göra någon nytta.

Om en billigare solfångare med lägre effektivitet används är det troligt att lågtemperaturvärmesystemet får större inverkan. Andra systemkoncept som är skraddarsydda för lågtemperaturuppvärmning kan också komma att ge helt andra resultat än ett traditionellt kombisystem. Frågan om sol och lågtemperaturvärmesystem är en lämplig kombination är därför inte entydigt besvarade av ovanstående undersökningar.

### ***Reglering av ett golvvärmsystem kopplade till solfångare***

Reglersystemet för ett solvärmsystem med golvvärme föreslås kunna förbättras genom att pumpen slås av och på till golvvärmsystemet (Rekstad et al. 1998 och Rekstad et al. 1999). Framledningstemperaturen styrs inte i systemet utan tillåts variera med temperaturen i tanken. Ingen rumsreglering rekommenderas, eftersom detta sägs kunna leda till temperatursvängningar. Cirkulationspumpens drifttid skall varieras beroende på utetemperatur, framledningstemperaturen och ev. också beroende på solinstrålningen. En fördel är att pumpens elförbrukning minskar. Dessutom kan den motorstyrda ventilen utelämnas.

Pulsrerande reglering i kombination med en solvärmeanläggning innebär att cirkulationspumpen slås på i intervaller, där drifttiden för intervallet bestäms av temperaturen i ackumulatortanken, utetemperatur, och solinstrålning. Genom detta förfarande använder man den temperatur i ackumulatortanken som finns tillgänglig. Om temperaturen är hög blir pumpens drifttid kort. Vid låg temperatur i tanken blir drifttiden högre. Genom detta förfarande säkerställer man att returtemperaturen blir den lägsta möjliga. Enligt Lorenz (2000) är en låg returtemperatur från värmesystemet viktigare än en låg framledningstemperatur.

### ***Ett lyckat solvärmsystem med golvvärme?***

Ett flytande golvvärmsystem har utvärderats genom detaljerade mätningar under ett år från 1999-05-01 tom 2000-05-01 (Larsson 2000). Golvet är utfört som platta på mark med en ovanliggande isolering på 100 mm och överst en betongplatta med en tjocklek av 70 till 100 mm. Huset är mycket energisnålt och dimensionerande effektbehov är ca  $24 \text{ W/m}^2$  vid DUT  $-24^\circ\text{C}$ . Framledningstemperaturen är ca  $30^\circ\text{C}$  vid DUT. Den tillförda energimängden till golvvärmsystemet var  $61 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{år}$ . Husets totala värmebehov var  $4370 \text{ kWh}$  till golvvärmsystemet och  $1397 \text{ kWh}$  till tappvarmvattnet. Dessutom fanns en vattenmantlad vedspis som användes för att ladda ackumulatortanken. Tillförd energi från denna till rummet bedöms vara ca  $250 \text{ kWh}$  under perioden.



Huset har en solvärmeanläggning på 10 m<sup>2</sup> och ett system som möjliggör inlagring av solenergin direkt till golvet eller till en ackumulatortank. I första hand förses golvvärmesystemet med värme för att uppnå önskad framledningstemperatur. En värmväxlare används mellan sol och golvvärmesystemet. Om rumstemperaturen överstiger 25°C avbryts laddningen till golvvärmesystemet. Om ett överskott uppstår vid laddningen av golvet, laddas även ackumulatortanken. Ackumulatortanken har tre kamflänsrör, varav det översta används för att förse radiatorsystemet med värme från ackumulatortanken. Det mellersta används för förvärmning av tappvarmvatten till en elektrisk varmvattenberedare och det understa kamflänsröret används för laddning av tanken från solfångaren.

Solvärmesystemet insamlade 2652 kWh under mätperioden. Detta innebar att ca 46 % av energibehovet täcktes av solvärme. Systemet med värmelagring i betongplattan är intressant, eftersom värmelagringen sker vid låg temperatur och ingen ackumulatortank erfordras. Dessvärre kan det innebära att oönskade temperatursvängningar i rummet uppstår, och detta försämrar komforten. Ju större temperaturvariation av inneluften som accepteras, desto större blir solvärmeutbytet. För att minska olägenheterna med stora temperatursvängningar, kan fasändringsmaterial gjutas in i plattan, med en väl vald smälttemperatur i förhållande till framledningstemperaturen. Enligt Larsson (2000) kan värmekapaciteten hos golvet ökas nio gånger.

Solvärmesystem med koppling till betongplattor har utvecklats i Frankrike. Letz et al. (2000) redovisar resultat för sådana system. Även IEA, Task 26 har arbetat med direktkoppling till golvvärmekretsen (Suter et al. 2000).

### ***Lågtemperatursystem med dränerande solfångare av plast***

En lågpris solfångare har tagits fram för att möjliggöra användning av större solfångarytor och på så sätt erhålla högre täckningsgrader (Rekstad et al. (2000). Simulering och praktiska mätningar visar att ett lågtemperaturvärmesystem tillsammans med denna solfångare ger ungefär samma täckningsgrad som en högeffektiv solfångare ansluten till ett distributionssystem med hög temperatur.

Solfångaren är en enkel polymer solfångare med en täckning av tvåskikt polykarbonat och en absorbator av plast med de inre kanalerna fyllda med keramikkulor. Detta för att skapa turbulens och erhålla god värmeöverföring med solfångarytan. Solfångaren avses att kylas med vatten som dräneras tillbaka till tanken när pumpen stannar.

## 14 VÄRMEPUMP OCH LÅGTEMPERATURSYSTEM

### 14.1 Introduktion

Värmepumpen består av fyra huvudkomponenter. I *förångaren* överförs värme från värmekällan till köldmediet vid låg temperatur. Detta gör att köldmediet förångas. Därefter komprimeras ångan i en *kompressor* till ett högre tryck, varpå en högre temperaturnivå erhålls. Därefter kondenseras ångan i *kondensorn* vid en hög temperatur och värme överförs från köldmediet till värmesystemet. Slutligen strömmar vätskan tillbaka till förångaren via en *strypventil*.

Det är allmänt vedertaget att lägre temperaturer på värmepumpens kondensorsida ger en högre värmefaktor (COP) hos värmepumpen. Värmefaktorn är ett mått på hur mycket värme som kan erhållas i förhållande till den tillförda el effekten.

### 14.2 Systemtyper

Värmepumpar har blivit mycket populärt i småhus på senare år. I äldre hus med något högre värmebehov dominerar bergvärmepumpar eller ytjordvärmepumpar. Under 80-talet användes också en hel del uteluftvärmepumpar, men nackdelen med dessa är att de ger mindre och mindre energi, ju kallare det blir. I nybyggda hus används nästan uteslutande frånluftvärmepumpar.

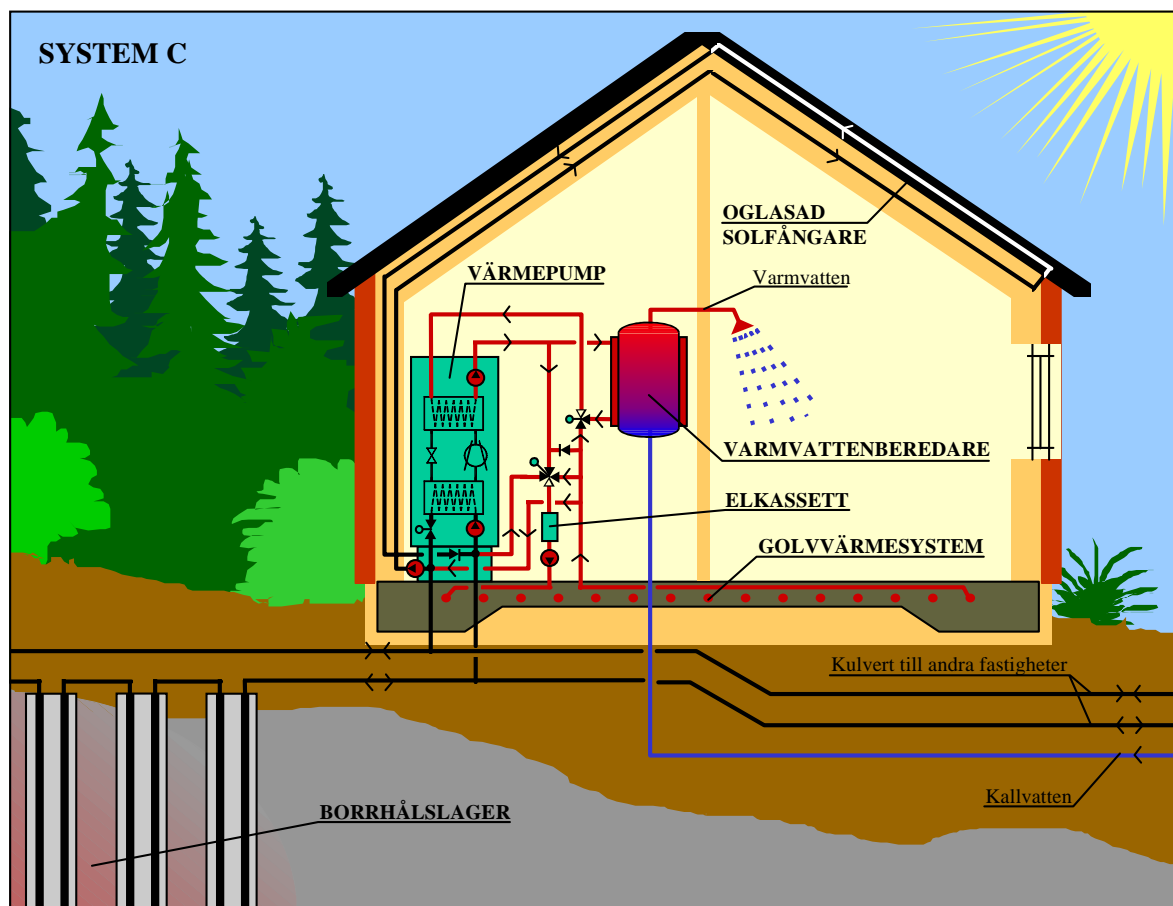
Värmepumpar förekommer också i flerfamiljshus och större byggnader. I fjärrvärmesystem förekommer de som värmeproducenter för att t.ex. höja temperaturen på spillvärme från industrier. Värmepumpar i kombination med solfångare har inte ansetts vara lönsamt, då värmepumpen redan ersätter en stor del av energibehovet. Det har dock visat sig att värmepumpar i kombination med solvärme som värmer tappvarmvatten är en god kombination rent tekniskt Gundersen (2000). Speciellt om värmesystemet är utfört som lågtemperaturvärmesystem ersätter solvärmens en stor del av den energi som kräver högst temperatur och där värmepumpen har som sämst värmefaktor. Ett solvärmesystem som enbart värmer tappvarmvatten kan tillgodose ca halva varmvattenbehovet.

#### *System med värmepump och solvärme*

En internrapport av Lorenz et al. (1999) beskriver en simuleringsförstudie om solvärmesystem med värmepump. I rapporten redovisas simuleringsresultat för tre olika systemförslag med värmepump. Ett system med bergvärmepump för ett hus med fyra lägenheter med ett energibehov på 26500 kWh/år för uppvärmning och 11500 kWh/år för tappvarmvatten ger enligt simuleringen en årsvärmefaktor på mellan 2,3 och 2,7. Husen har ett golvvärmesystem med en dimensionerande temperaturer på 32/27°C. Om samma system förses med en större varmvattenberedare och en glasad solfångare på 20m<sup>2</sup> erhålls en värmefaktor över året på mellan 3,4 och 3,7.

Det tredje systemet innebär att ett bostads område kopplas samman med ett centralt placerat bergvärmelager via ett kulvertsystem enligt figur 14.1 nedan. Total energiförbrukning för området är 356000 kWh/år för uppvärmning och 117000 kWh/år för tappvatten. På varje hustak förläggs oglasade plåttaksolfångare. En ny typ av plåttaksolfångare med gummislang utvecklas just nu vid SERC, Högskolan Dalarna. Solfångarna levererar värme

direkt till värmepump eller värmesystem eller ut på kulvertnätet och lagras i berget om värmeöverskott uppstår. Simuleringsresultatet för systemet tyder på att en värmefaktor på mellan 4,0 och 4,5 kan erhållas.



**Figur 14.1.** Figuren visar en schematisk bild över ett systemförslag med bergvärmelager och oglasade solfångare placerade på hustaken. En värmepump är placerad i varje fastighet som bereder varmvatten och värme, men energin tas från ett gemensamt årsvärmelager. Det kulvertsystem som förbinder fastigheterna med borrhålslaget används för att ladda lagret från de oglasade solfångarna och för att hämta energi till värmepumpar och uppvärmningssystem. Funktion: Den oglasade solfångaren värmer borrhålslaget då solfångaren har en högre temperatur än lagret. Golvvärmsystemet förses med värme, i första hand direkt från solfångaren eller borrhålsvärmelaget. Om temperaturen i lagret är för låg uppgraderas den till rätt nivå med värmepumpen. Om önskad framledningstemperatur inte uppnås med värmepumpen sker eftervärmning med elkassetten. När temperaturen i varmvattenberedaren är för låg kopplar värmepumpen över till att bereda varmvatten. Under dessa perioder levererar inte värmepumpen energi till uppvärmningssystemet. Källa: Lorenz et al. (1999).

### Värmepump med vatten som köldmedium

Ett systemförslag till en effektiv värmepump för sjövattnuppvärmning presenteras av Wallin et al. (1998). Värmepumpen skall använda sjövattnet, grundvattnet eller älvvattnet med en temperatur av  $+4^{\circ}\text{C}$  som värmekälla. Vattnet leds in i ett kärl (förångaren) med ett undertryck av ca 1 kPa. Detta får vattnet att koka. Ångan komprimeras med en kompressor till 4 kPa. Detta får temperaturen på ångan att stiga till ca  $25^{\circ}\text{C}$ . Den varma ångan leds

genom ett golvvärmesystem där den kondenserar. Kondensatet passerar en strypventil och strömmar tillbaka till förångaren. I förångaren pumpas vattnet tillbaka till värmekällan eller (älven) med en temperatur av  $+1^{\circ}\text{C}$ . Denna pump tillser också att korrekt undertryck i förångaren upprätthålls. En värmepump av denna typ som levererar 20 kW vid ovan angivna drifttemperaturer bör enligt Wallin kunna få en värmefaktor på mellan 6 och 9.

Enligt Aqua Turbo, ett företag i Tyskland som bygger kompressorer och kylmaskiner för vattenånga är det möjligt att bygga sådana system, men enligt företaget krävs en effekt av mer än 600 kW. Enligt Aqua Turbo är en värmefaktor på ca 5 ett rimligt mål.

### ***System för reducering av energi- och effektbehov i kalla klimat***

#### *Klimatbur*

Ett innovativt systemkoncept för att minska dimensionerande effektbehov för byggnader i kalla klimat redovisas av Svenre (1987). Systemet som beskrivs har även uppförts i några exemplar. Systemkonceptet innebär att luftspalten under takteglet förses med slangar och en tunn isolering ovanpå. Ett markvärmelager anläggs och förbinds med slangarna i taket. Om en temperaturskillnad uppstår mellan slangarna på taket och markvärmelagret cirkuleras vätskan i systemet och värmen överförs från markvärmelagret till taket. Systemet innebär också att uteluft kan tas in och förvärmas av slangarna under taket. Kylning kan erhållas sommartid om luften tas in samma väg. När utetemperaturen är högre än temperaturen i markvärmelagret värms lagret genom cirkulationen. Systemet kan även kombineras med värmepump och det är en stor fördel om byggnadens omslutande rörsystem kan användas som solfångare för att återställa temperaturen i värmelagret under perioder med högre utetemperatur.

Saastamoinen (1994) beskriver också konceptet för att minska dimensionerande effektbehov. Konceptet bygger på att grundvatten, sjövattnet eller värme från marken kan användas för att konditionera byggnadens yttertor för att minska energi och effektbehovet. Byggnadens väggar och kanske också fönster kan ytterst förses med en luftspalt eller med värmeöverförande slangar som gör att byggnadens förluster inte blir större än vid en utetemperatur av  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ .

Systemet innebär att värmeanläggningens dimensionerande effekt kan halveras vid DUT lägre än  $-20^{\circ}\text{C}$ . Detta kan leda till avsevärda besparingar och möjliggöra användning av lägre temperaturer på den traditionella värmeanläggningen, då dess storlek kan halveras. Energiförbehovet minskar dock inte i motsvarande grad, eftersom det är relativt få dagar som är riktigt kalla.

Distributionssystemet på utsidan av huset föreslås kunna utföras genom slangar i betong, rör med flänsar av plåt eller med en luftspalt. Eventuell värmeväxling med värmekällan kan ske genom billiga värmeväxlare av plast.

### 14.3 Uppvärmningssystemets inverkan på värmefaktorn

Nyman (1997) redovisar principiellt hur värmefaktorn kan variera för olika framledningstemperaturer, då värmekällans temperatur är  $-12^{\circ}\text{C}$ . Vid en framledningstemperatur av  $55^{\circ}\text{C}$  är värmefaktorn ca 2,5, d.v.s. av en kWh el levereras 2,5 kWh värme. Vid en framledningstemperatur av  $30^{\circ}\text{C}$  är värmefaktorn ca 4,2.

Värmepumpar för villasystem är konstruerade så att de först och främst arbetar för att täcka varmvattenlasten. Om inte värmepumpen räcker till används spetsvärme med el i värmekretsen. Detta är logiskt om värmepumpen är ansluten till ett radiatorsystem med högre temperaturnivå än varmvattnet. Det är däremot inte lämpligt om värmesystemet är ett lågtemperatursystem. Då är det bättre om spetsvärme med el tillförs varmvattnet som då kräver högst temperatur.

Temperaturnivån på ett värmesystem påverkar vilken temperaturnivå där tillsatsenergi börjar krävas för en viss värmepump. Om ett lågtemperaturvärmesystem används tillsammans med en värmepump blir värmepumpens avgivna effekt högre än om ett system med högre temperatur används. Forsén et al. (1999) redovisar hur temperaturnivån på uppvärmningssystemet påverkar den tillförda effekten och därmed vid vilken utetemperatur behovet av tillsatsenergi startar. Forsén beskriver också problemen med värmesystem med för hög temperatur. Värmepumpar har en maximal kondenserings temperatur som ej kan överstigas. För villavärmepumpar brukar den ligga på ca  $60^{\circ}\text{C}$ . Det betyder att värmepumpen inte kan avge någon värme vid temperaturer över  $60^{\circ}\text{C}$ . Om ett värmesystem har högre temperaturnivå än ca  $55^{\circ}\text{C}$ , måste spetsning med el ske under de perioder då framledningstemperaturen är för hög.

Sakellari et al. (2000) har undersökt hur olika temperaturnivåer påverkar en värmepump. Det konstateras att det inte går att optimera en delkomponent i taget för ett värmepumpsystem, eftersom systemet hänger ihop i en komplex kedja och alla delkomponenter påverkar varandras funktion.

## 15 LITTERATURGRANSKNING

### 15.1 Reglering av golvvärmesystem

#### *Forskning om golvvärmereglering*

En rad studier rörande golvvärmereglering utfördes under slutet av 80-talet. Bl.a. Friedlander (1986) och Adelman (1988) rekommenderar reglering av framledningstemperaturen genom motorstyrd trevägsventil med framkoppling från utetemperaturen. Adelman menar att termostatventiler inte är lämpliga för att reglera golvvärmesystem. Fort (1987) föreslår tvärtom användning av termostatventiler. MacCluer (1989) föreslår proportionell effektregering genom att effekten styrs proportionellt som funktion av temperaturavvikelsen i rummet. Vid reglering av framledningstemperaturen kommer den tillförda effekten att vara kraftigt beroende av aktuell returtemperatur, eftersom temperaturskillnaden är liten mellan framledning och returledning, genom effektregering tillförs hela tiden rätt effekt beroende på utetemperaturen.

Det kan konstateras att stora delar av forskningen om golvvärmereglering i högsta grad har varit kontroversiell. Nedan redovisas lite nyare forskning mer detaljerat.

#### *Litteratur av Leigh et al. (1994)*

Leigh et al. (1994) jämför olika typer av regler-system för golvvärme med betongbjälklag genom mätningar i testrum. Betongbjälklaget var 51mm tjockt och var förlagt på 203 mm isolering av polystyren. Två identiska testrum byggdes med en av väggarna angränsade mot en yttervägg. Utomhusklimatet var således verkligt utomhusklimat, vilket innebar att väderförhållanden aldrig kunde återskapas. Rummen var utrustade med ett frånluftssystem och uteluft tillfördes testrummen via uteluftintag.

De olika reglerprinciper som studerades var:

1. Proportionell effektregering genom att en pannas effekt styrs proportionellt som funktion av temperaturavvikelsen i rummet.
2. Reglering av framledningstemperaturen genom motorstyrd trevägsventil med framkoppling från utetemperaturen.
3. Reglering av framledningstemperaturen genom en motorstyrd trevägsventil med framkoppling från utetemperaturen och genom återkoppling från inomhustemperaturen.
4. Reglering av effekten med en tvåvägsventil och pulserande flöde med konstant framledningstemperatur. Ventilens öppningstid styrs av utetemperaturen.

För att möjliggöra jämförelser, trots varierande uteklimat jämfördes samtliga regler-system med reglerprincip 1. Slutsatserna från försöken visar att reglerprincip 1 ger den bästa komforten. Dock är den inte lämplig för annat än vattenburen elvärme och möjligtvis för kondenserande gaspannor. I andra hand rekommenderas reglerprincip 2 eller 3.

#### *Litteratur av Lood (1998)*

Lood (1998) jämför olika typer av golvvärmereglering för betonggolvet och optimerar denna reglering genom att välja rätt parametrar för P och I-reglering. Arbetet utförs både genom simulering och mätning i ett testrum med golvvärmesystem av betong.

*P-regulatorn* eller proportionella regulatorn har en utsignal som är proportionell mot reglerfelet. Den parameter som kan varieras är dess förstärkning, dvs hur kraftfullt den skall reagera på en viss avvikelse. En hög förstärkning kan göra att systemet börjar självsvänga. För att få en noggrann reglering utan risk för självsvängning kan P-regulatorn kompletteras med en integrerande del. *PI-regulatorns* integrerande del gör att ett konstant reglerfel regleras bort. Det behövs således inte en hög förstärkning för att få en noggrann reglering. Även en deriverande del kan införas till en *PD* eller *PID-regulator*. D-delen försöker förutsäga det framtida reglerfelet och därigenom snabba på regleringen.

De reglerprinciper som studerats är:

1. Temperaturreglering med trevägsventil med framkoppling från utetemperaturen
2. Temperaturreglering med trevägsventil med återkoppling från innetemperatur.
3. Temperaturreglering med trevägsventil med både framkoppling från utetemperatur och återkoppling från innetemperatur

Slutsatsen från dessa undersökningar är att en PD-reglering tillsammans med både fram och återkoppling ger god reglering. Reglerfelet blir litet, vilket innebär att I-delen inte behövs. Även enbart återkoppling från inomhustemperaturen fungerar också bra.

Det är problematiskt med golvvärmesystemets tröghet, då golvet avger värme lång tid efter att vattenflödet stoppats. Denna tröghet leder också till att för hög förstärkning ger svängningar i regleringen.

Dessutom undersöks hur reglering av tröga golvvärmesystem skall ske vid användning av nattlagring. Golvets värmekapacitet skall användas för att lagra billigare el under nattaxa för att sedan täcka behovet under dagen. Slutsatsen från detta är att det för att uppnå lägsta möjliga energikostnad krävs bl.a. att byggnadens tidskonstant, och maximala effekt är optimalt anpassade till varandra. En nackdel med dessa system är att de är extra känsliga för oväntade värmeöverskott, eftersom värmen tillförs i förväg.

Även Lood (1998) har undersökt värmeförluster genom golvet genom simuleringar och han beräknar att för ett fall med 100 mm betong och 100 mm isolering ökar värmeförlusterna med 7% vid golvvärme jämfört med radiatorvärme (troligen menar Lood 7% av totala värmebehovet).

### ***Litteratur av Gibbs (1994)***

Gibbs (1994) jämför tre olika typer av reglersystem för golvvärme i betongbjälklag. En enkel datormodell skapades för att beskriva golvvärmesystemen. Modellen förutsätter att värmeövergångskoefficienten på ytan är stor jämfört med värmeledningen i betongplattan. Betongplattan som simulerades hade en tjocklek av 10cm. Två olika utetemperaturkurvor testades. Den ena kurvan följde en sinusform, som varierade mellan 0°C och -10°C. Den andra kurvan bestod av en stegändring av utetemperaturen som varierade från 0°C till -10°C.

System 1 har konstant framledningstemperatur och rumsreglering med zonventiler som ger ett pulserande flöde. Pulsernas längd bestäms av rumstemperaturens avvikelse från börvärdet om proportionell reglering används. Om en integrerande del införs i termostaten blir den dyrare men ger en exaktare rumstemperatur. Fördelarna med system 1 är att det är relativt enkelt och billigt samt att det ger möjlighet till rumsreglering. Ingen injustering

krävs och reglerkomforten är tillräckligt god. Nackdelarna är bl.a. att för hög framledningstemperatur leder till att golvet blir ojämnt varmt, eftersom pulserna blir väldigt korta och varmt vatten endast tillförs första delen av slingan. Golvvärmerören kan också åldras fortare av många kraftiga temperatursvängningar. Energiförbrukningen kan bli hög om fönster öppnas om sommaren. Om inte tillräcklig temperatur uppnås avges full effekt oberoende av rådande utetemperatur.

System 2 har variabel framledningstemperatur styrd av utetemperaturen med återkoppling från innetemperaturen. Innetemperaturen har endast en begränsad inverkan på framledningstemperaturen. Med detta system är ingen zonreglering är möjlig. Fördelarna är främst att golvtemperaturen blir jämn och att skador genom att en för hög framledningstemperatur undviks. Den främsta nackdelen är att rumsreglering saknas, men i hus med öppen planlösning är detta mindre viktigt. Noggrann inreglering är nödvändig för att uppnå korrekt värmefördelning mellan rummen.

System 3 är en kombination av system 1 och 2 med variabel framledningstemperatur med framkoppling från utetemperaturen och återkoppling från rumstemperaturen i en av zoner. Rumsreglering sker med zonventiler som ger ett pulserande flöde. Fördelar med systemet är att systemet har individuell rumsreglering och att oanvända rum enkelt kan hållas på en lägre temperatur. Reglerfunktionen är också bättre för denna reglerprincip om enbart återkoppling från rumstemperaturen används. Om däremot framkoppling från utetemperaturen, återkoppling från rumstemperaturen och rumsreglering med zonventiler som ger pulserande flöde används blir regleringen som allra bäst.

### ***Litteratur av Hagstedt (1978)***

Hagstedt (1978) efterlyser reglerutrustningar för värmetröga system som även tar hänsyn till hur snabbt temperaturen ändrar sig ute. Om t.ex. utetemperaturen sjunker snabbt skall extra hög framledningstemperatur användas under en tid. Om däremot ute temperaturen är konstant skall framledningstemperaturen regleras enligt kurvan.

Hagstedt menar också att reglering med rumstermostatstyrd blandningsventil inte fungerar för tröga golvvärmesystem. Reglersystemet kan komma i självsvängning med stora temperatursvängningar som följd. Om termostaten öppnar tar det timmar innan termostaten reagerar. Då kan golvet ha hunnit bli för varmt och efterföljande timmar är rummstemperaturen för hög trots att termostaten är helt stängd. Samma beskrivning ges av Rekstad et al. (1999). Dessvärre är det ingen som har påvisat självsvängning i någon undersökning.

### ***Litteratur av Athienitis (1994)***

Athienitis (1994) optimerar en kontrollstrategi för ett golvvärmesystem där solinstrålning förekommer. Athienitis arbetar med både mätningar på ett testrum och simuleringar. Systemet som undersöks har elvärmekablar förlagda i sand med en ovanliggande 40 mm tjock betongplatta. Systemet förutsätts arbeta med nattsänkning. Athienitis slutsatser är att en sinusformad kurva för börvärdet för rumstemperaturen ger mindre övertemperatur och lägre energiförbrukning än en stegformad kurva då solinstrålning förekommer under dagen.



**Litteratur av Athienitis et al. (1997)**

Studien av Athienitis et al (1997) innefattar en numerisk simulering av golvvärmesystem med olika termisk massa. Simuleringar utförs för att testa och optimera olika typer av profiler för börvärdet. De profiler som jämförs är:

1. Konstant temperatur av 22°C.
2. Stegprofil med 22°C mellan 06.00 och 20.00 och övrig tid en temperatur på 16°C.
3. En sinusformad kurva med maxtemperaturen 22°C kl. 15.00 och minimitemperaturen 16°C kl. 03.00.

Slutsatserna från undersökningen är att nattsänkning med en försiktig uppvärmning under förmiddagen är effektivast för att förhindra hög rumstemperatur vid kraftig solinstrålning. En tjockare betongplatta än nödvändigt ger högre rumstemperaturer vid solinstrålning oavsett vilken typ av börvärdeskurva som används. Nattsänkning ger också mindre energivinster vid tjockare betongplatta.

**Litteratur av Cho et al. (1997)**

Cho et al. (1997) gör mätningar och jämför fyra olika regler-system för ett golvvärmesystem med en 100 mm tjock betongplatta. De reglerprinciper som testades var:

1. Av/på-reglering av cirkulationspumpen med återkoppling från rumstemperaturen.
2. PI-reglering av en tvåvägsventil med återkoppling från rumstemperaturen.
3. Av/på-reglering av cirkulationspumpen med återkoppling från temperaturen i plattan.
4. Av/på-reglering av cirkulationspumpen med återkoppling både från rumstemperaturen och temperaturen i betongplattan.

Resultaten visar att Rumstemperaturen varierar med ca 3°C vid reglerprincip 1. Reglerprincip 3 ger då en jämnare rumstemperatur. För reglerprincip 2 och 4 erhålls den bästa regleringen.

**Litteratur av Simmonds (1994)**

Simmonds (1994) undersöker hur ett golvvärmesystem kan regleras om det används för både värmning och kylning. Undersökningen görs med simuleringssmodellen ROOM för ett museum i Nederländerna. Förutom ett visst termiskt klimat skall även rätt fuktnivå hållas i byggnaden.

Byggnaden har en mycket tjock betongstomme och inga fönster. Väggarna är av 300 mm betong och 70 mm isolering. På utsidan finns ytterligare ett betongskikt på 250 mm. Taket består av 400 mm betong och en isolerande takbeläggning,. Golvbjälklagen består av 60 mm betong med ovala plaströr, ett isolerskikt på 10 mm och underst ett 400 mm tjockt betongskikt. Den aktiva delen av betonggolvet är alltså inte särskilt stor. Enligt Simmonds hade golvet en svarstid på endast ca 15 min.

Genom simuleringar undersöktes olika lastfall. För att bedöma inomhusklimatet användes Fangers metod från 1971 (the predicted mean vote). En relativt god funktion uppnåddes genom följande reglerstrategi: Vattentemperaturen styrs så att den vid kylbehov erhåller en konstant golvtemperatur av 19°C. Detta för att en lägre temperatur kan skapa obehag och känsla av kalla golv. Övrig tid styrdes vattentemperaturen så att en rumstemperatur av ca 17°C erhöles under vintern och ca 19°C under sommaren.

### *Övrig litteratur*

Studier om golvvärmereglering har också utförts av MacCluer (1990) och (1991), av Athienitis (1991), Athienitis et al. (1993) och (1994), av Leigh (1991), Ling et al. (1990) samt av Zaheer-Uddin et al. (1997).

## **15.2 Komfort och energiförbrukning**

Forskning om golvvärmesystemens komfort och energiförbrukning bedrevs flitigt under 70-talet. Efter några alarmerande rapporter om att golvvärmesystem drar mer energi än radiatorvärmesystem har forskningen åter intensifierats. Nedan redovisas några av studierna som gjorts från 70-talet och fram till idag.

### *Litteratur av Lebrun et al. (1977)*

I en undersökning av Lebrun et al. (1977) har mätningar av komfort och energiförbrukning utförts i ett klimatrum för bl.a. golvvärme, takvärme, luftvärme och radiatorer. Rummets ena vägg med fönster angränsar mot ett kylt utrymme och utfördes både välisolerad (tvåglasfönster) och med mindre isolering (ettglasfönster). De övriga väggarna är välisolerade och anses vara adiabatiska.

Den simulerade utetemperaturen hölls vid  $-3^{\circ}\text{C}$  och lufthastigheten längs fönstrets utsida var 3,5 m/s. Rummet hade uteluftsintag runt fönstret och luftflödet varierades för att se inverkan av detta. Inga möbler finns i rummet. Rummet värmdes till stationära förhållanden och tills samma riktade operativa temperatur erhöles för de olika uppvärmningsalternativen. Den riktade operativa temperaturen definierades som medelvärdet av lufttemperaturen och de omgivande ytornas temperatur. Mätningen av riktad operativ temperatur gjordes mitt i rummet 0,7 m över golvet. Energiförbrukningen registrerades för olika värmesystem under stationära förhållanden vid samma riktade operativa temperatur. Mätningen av energiförbrukningen avsåg värmeförluster genom ytterväggen och ventilationsförlusterna och inte värmeförluster genom golvet.

Komforten för de olika uppvärmningsalternativen presenteras som temperaturgradienter i rummet. *Radiatorvärme* och *golvvärme* ger båda en mycket liten temperaturgradient i rummet, men golvvärmesystemet uppnår samma riktade operativa temperatur som radiator-systemet vid en lägre lufttemperatur p.g.a. det varma golvet. Värmebehovet är 5 till 10 % lägre för golvvärmesystemet jämfört med radiatorsystemet. Genom den lägre lufttemperaturen är ventilationsförlusterna ca 2 till 4 % lägre för golvvärme. Undersökningen visar också att skillnaderna i värmebehov ökar om yttervägg och fönster är dåligt isolerade och blir mycket små för en välisolerad byggnad.

Takvärme uppvisar en temperaturgradient på ca  $2^{\circ}\text{C}$  i vistelsezonen och det bildas en tydlig varmluftkudde i taket. Genom detta kan ventilationsförlusterna bli mycket stora om frånluften tas ut nära taket. Luftvärmesystemen visar sig ge minst temperaturgradient vid inblåsning under fönstret, men bakkantsinblåsning ger också hyggligt resultat.

**Litteratur av Lebrun et al. (1979)**

I en undersökning av Lebrun et al. (1979) har vi kanske de mest värdefulla undersökningarna angående komforten, då man i detta projekt använt riktiga människor för att utvärdera komforten. Fortsatta undersökningar har gjorts i testkammaren som beskrivits ovan (Lebrun et al 1977). Denna gång presenteras resultaten som *andelen missnöjda* beräknade enligt Fangers modell för komfort (se kap 4). För att validera ekvationen gjordes också komfortförsök med 16 personer som var för sig fick sitta i rummet och bedöma komforten för de olika värmesystemen.

Resultaten visar att komfortupplevelsen i rummen stämmer väl överens med den beräknade komforten av *andelen missnöjda*. Även följande slutsatser dras av projektet. För en välisolerad byggnad är strålningsvärme (tak och golvvärme) lika komfortabel som de andra systemen, däremot tillåts ingen signifikant sänkning av lufttemperaturen. Detta resultat skiljer sig från Lebruns tidigare resultat. Vidare konstateras att tillräcklig komfort i en dåligt isolerad byggnad endast erhålls med radiatorer placerade under fönstren eller med luftvärme.

**Litteratur av Caluwaerts et al. (1980)**

Caluwaerts et al. (1980) beskriver delvis försöken gjorda av Lebrun et al. 1977 och försök gjorda i en annan klimatkammare där man hade möjlighet att kyla både väggar och tak för att kunna simulera hörnrum. I den senare klimatkammaren testades golvvärme, radiatorer och varmluft med inblåsning vid innervägg och under fönster. Inga förluster från golvet beaktades. Temperaturprofilerna i rummen visar att golvvärme, radiatorer och luftvärme med inblåsning under fönster ger små temperaturgradienter.

Slutsatsen från studierna är att strålningsvärme som golvvärme och takvärme i en välisolerad byggnad uppfyller komfortkraven och möjliggör små energibesparingar. I en mycket välisolerad byggnad ger alla system god komfort och de olika systemens inverkan på energiförbrukningen är minimal

**Litteratur av Johansson et al. (1984)**

Johansson et al. (1984) beskriver mätningar av komfort och energiförbrukning utförda för takvärmesystem och radiatorsystem (oljefylld el-radiator). Försöken utförs i en klimatkammare där golv tak och två väggar kylde. Klimatskärmen var relativt dåligt isolerad med enbart 50 mm cellplast i vissa tester. Mätningar utförs både för stationära och för instationära fall. Vid stationära fall var utetemperaturen  $-15^{\circ}\text{C}$  och vid instationära fall varierades antingen innetemperaturen eller utetemperaturen. En av väggarna hade ett fönster och uteluftsintag. Försök gjordes för båda värmesystemen med och utan möblering med soffa och bord, samt med och utan ventilation. Även golvets isoleringsgrad varierades. Mätning görs av energiförbrukning, yttemperaturer, lufttemperaturer i många punkter, och operativ temperatur. Inga lufthastighetsmätningar utförs.

Resultaten redovisas bl.a. som lufttemperaturmätningar i många punkter. Slutsatserna från undersökningen är bl.a. att takvärme i ett omöblerat rum utan ventilation gav en jämnare temperaturfördelning såväl vertikalt som horisontellt (även bakre vägg och golv var kyllda med uteluft, vilket är till nackdel för radiatorn). Takvärme ger också högre yttemperaturer på väggar och golv jämfört med radiatorvärme. Möbler och annan inredning påverkar värmefördelningen i rummet påtagligt. Vid takvärme, utan ventilation och med möbler framför fönstret erhålls en temperatursänkning med  $1-2^{\circ}\text{C}$  under möblerna. Uteluftintag ovanför fönstret påverkar också temperaturgradienten och ger en lufttemperatursänkning av ca  $1^{\circ}\text{C}$  vid golvet framför fönstret. Inga mätningar görs för takvärme i kombination med

både ventilation och möblering. Detta är synd eftersom ventilationen och möblering kan förväntas skapa låga temperaturer under möblerna. Om man måste man inskränka möbleringsfriheten vid fönstren i rum med takvärme och uteluftsintag får anses vara obesvarad av denna undersökning. Energiförbrukningen utan ventilation var större för takvärme vid lika lufttemperatur och lägre vid lika operativ temperatur.

***Litteratur av Olesen et al. (1979) och Olesen et al. (1980)***

I litteratur av Olesen et al. (1979) och Olesen et al. (1980) beskrivs liknande mätningar som Lebrun et al (1977) gjort av energiförbrukning och komfort i ett rum med olika värmesystem. Testrummet är uppbyggt på liknande sätt. Innerväggar och golv har U-värden mellan 0,2 och 0,25 W/m<sup>2</sup>·K. Ytterväggen hade U-värdet 0,35W/m<sup>2</sup>·K och fönstret 3,8 W/m<sup>2</sup>·K. Ventilationen var också utförd på liknande sätt med uteluftsintag runt hela fönstret och frånluftsuttag ovanför dörren på motstående vägg. Luftombytet var 0, 0,4 och 0,8 oms/h och utetemperaturen var -5°C och +4°C. Inga möbler förekommer i rummet. Värmeförlusterna genom ytterväggen bedöms vara 90 % av de totala värmeförlusterna från rummet.

Rummet värmdes tills samma komfort registrerades för samtliga värmesystem i en punkt 0,6 m över golvet och 1 m från ytterväggen. För komfortmätningen användes en s.k. komfortmätare. Instrumentet mäter den ekvivalenta temperaturen (en viktning av lufttemperatur riktad operativ temperatur och lufthastighet). Genom att ställa in beklädnadsnivå, aktivitetsnivå och luftfuktighet ger instrumentet ett värde på komforten för en medelperson. Instrumentet viktar de olika klimatfaktorerna enligt Fangers metod (Fanger 1973).

I denna undersökning konstaterar man att *skillnaden i energiförbrukning mellan radiatorvärme och golvvärmesystemet vid samma komfort är minimal*. Lufthastighetsmätningarna visar att radiatorsystemet har högre lufthastighet än golvvärme på 1,2 m höjd nära fönstret. Där kallrasen från fönstret möter varmluften från radiatoren bildas en luftström rakt inåt i rummet. Hastigheter på 0,13 m/s uppmättes. Golvvärmesystemet uppvisar däremot högre lufthastigheter än radiatorvärme längs golvet (0,14 m/s uppmättes). Dessutom konstaterar man att detta resultat enbart gäller för stationära fall och för verkliga ickestationära fall kan värmesystemets reglerförmåga resultera i helt andra skillnader mellan systemen.

***Litteratur av Olesen et al. (1987) och Olesen (1994)***

I litteratur av Olesen et al. (1987) och Olesen (1994) beskrivs mätningar utförda av instationära förlopp i ett testrum. Mätningarna utfördes för två olika golvvärmesystem och ett radiatorsystem med en kyld yttervägg och kyld undersida på golvet. Rummets yttervägg har ett U-värde på 0,3 W/m<sup>2</sup>K och ett fönster på 2,64 m<sup>2</sup> har U-värdet 3 W/m<sup>2</sup>K. Rummets innerväggar har U-värdet 0,2W/m<sup>2</sup>·K. Utomhusklimatet simulerades med en kyld aluminiumplåt på ytterväggens utsida och utetemperaturen varierades mellan -7 och -13°C. Ventilation sker genom infiltration av uteluft runt fönster och genom takets bakkant med 0,5 omsättningar per timme.

Solinstrålning simulerades med en värmefilm på golvet med som mest 250W under ca 3 h per dygn. Även övriga interna laster simulerades med denna film som en effekt av 200 W under totalt 5 h per dygn. Att simulera personvärme med en värmefilm på golvet är en grov förenkling, eftersom en stor del av personvärmens leds direkt till golvet som ackumulerar värmen. För värmekällor som t.ex. människor, datorer och lampor avges värmen som konvektion och strålning. De interna lasternas effekt motsvarar ca 30 % av rummets effektbehov.

Radiatorsystem A är uppbyggt som ett traditionellt tvårörs lågtemperatur radiatorsystem med dimensionerande temperaturer 55/45°C (760 W) vid DUT -14°C. För radiatorsystemet är golvet uppbyggt av golvmatta av okänd typ, 48 mm betong, 27 mm isolering och betong som är kyld till en temperatur av 10°C. Regleringen skedde med utekompenserad framledningstemperatur och termostatventil på radiatorn.

Golvvärmesystem B Är uppbyggt av golvmatta, 70 mm betong, 30+27 mm isolering och underliggande betong kyld till 10°C. Dimensionerande temperatur är 40/30°C. Regleringen skedde med utekompenserad medelvattentemperatur, d.v.s. medelvärdet av fram- och returledningstemperaturen. Rumstermostat placerad 1 m från ytterväggen på 1,5 m höjd användes för att reglera flödet beroende på rumstemperaturen.

Golvvärmesystem C är uppbyggt av golvmatta, 2 mm värmefördelande material, 5 mm golvvärmesystem av plast, 30+27 mm isolering och underliggande betong kyld till 10°C. Dimensionerande temperatur är 30/25°C. Regleringen skedde med utekompenserad medelvattentemperatur precis som i golvvärmesystem B. Rumstermostat för rumsreglering användes inte i detta fall.

Komforten i rummen mättes med en s.k. komfortmätare som användes i tidigare försök av Olesen. Rummens värmesystem injusterades så att komfortkraven uppfylldes så gott som möjligt mellan kl. 06.00 och 22.00 i en punkt belägen 1 m från ytterväggen. Nattsänkning tillämpades för samtliga värmesystem.

### *Resultat*

Resultaten visar att alla system reglerar inomhustemperaturen bra både med avseende på varierande utetemperatur och varierande interna laster. Även system C utan rumsreglering kan hantera de ökande värmeöverskotten. Förklaringen till detta är den låga drifttemperaturen för golvvärmesystemen och de relativt kortvariga värmeöverskotten. Detta ger utrymme till självregleringseffekter hos systemet. En ökning av lufttemperaturen med en grad kommer omedelbart att sänka den avgivna värmeeffekten med ca 30 %. Självregleringseffekten hos golvvärmesystem med låga drifttemperaturer fungerar därför bra vid relativt låga värmeöverskott. För radiatortermostaten krävs också en temperaturhöjning på minst 1°C för att den skall strypa värmeförbrukningen. Det är synd att inte försöken görs med högre svängningar i utetemperatur och med större värmetillskott så att temperaturförloppet då självregleringseffekten inte är tillräcklig också kunde dokumenteras. Med dagens energisnålare byggnader blir det allt vanligare att gratisvärme från sol, människor och elektrisk utrustning vida överstiger värmebehovet.

Det uppmätta Energibehovet för de olika systemen uppgår till 12,3 kWh /dygn för radiator-system A, 14,1 kWh/dygn för golvvärmesystem B och 12,5 kWh/dygn för golvvärmesystem C. Skillnaden i energibehov kan förklaras bl.a. med att nattsänkningen inte ger någon större effekt för golvvärmesystem B med betong, då det är alldeles för trögt.

Lufttemperatur och ventilationsförlusterna är densamma för alla system. *Ingen lägre lufttemperatur kunde hållas i golvvärmesystemet.* Värmeförlusterna genom fönstren är högre för radiatorvärmesystemet och värmeförlusterna genom golvet är större för golvvärmesystemen.

Observera att denna undersökning görs för relativt låga interna laster. Endast ca 30 % av effektbehovet tillförs som interna laster och dessa kompenseras effektivt av självreglerings-effekten. Undersökningen säger därför lite om hur energiförbrukningen påverkas vid stora interna laster som överstiger energiförbrukningen. Notera också att förlusterna genom golvet är högre för golvvärmesystemen trots att isolertjockleken mer än fördubblats.

### **Fältnätningar av Olesen (1996)**

Olesen (1996) beskriver fältnätningar utförda i två villor med golvvärme och betongbjälklag. Klimatet där husen är placerade har en årsmedeltemperatur av ca +5°C. Detaljerade mätningar utfördes under en period av 3-4 veckor under februari och mars. Operativ temperatur, lufttemperatur golvtemperatur, lufthastigheter, framlednings- och returledningstemperaturer, ventilation och utetemperatur mättes. Dessutom uppmättes värmeförbrukningen under några säsonger, varefter värmebehovet framräknades.

Det är oklart exakt hur värmesystemet reglerades, men det anges att framledningstemperaturen för båda husen är mellan 30 och 31°C och returledningstemperaturen är ca 25 till 26°C vid en utetemperatur av ca +5°C. En del av mättiden användes också nattsänkning i hus A. Det förekommer också solinstrålning och personvärme, men det är oklart hur mycket.

**Tabell 15.1.** Byggnadsdelarnas  $U$ -värden, husens dimensionerande effektbehov och uppmätt energiförbrukning för uppvärmning.

Hus	$U_{\text{vägg}}$ W/m <sup>2</sup> ·K	$U_{\text{tak}}$ W/m <sup>2</sup> ·K	$U_{\text{golv}}$ W/m <sup>2</sup> ·K	$U_{\text{fönster}}$ W/m <sup>2</sup> ·K	Dim. Effekt- behov W/m <sup>2</sup>	Energi- behov, uppv. kWh/m <sup>2</sup> ·år	Mät- säsong	Venti- lation Typ
A	0,18	0,15	0,25 <sup>1)</sup>	1,50	32	55	93/94	?
B	0,19	0,30	0,45	1,30	28	67	93/94	FTX

<sup>1)</sup> Motsvarar ca 70 mm isolering under plattan

**Tabell 15.2.** Uppmätta temperaturer för de två husen. Rumstemperaturer gäller vardagsrummet.

Hus		Ute	Framledning	Returledning	golv	Luft, temperatur	Operativ temperatur
A	Min	-2,5	22,4	21,7	19,9	17,2	19,0
	Medel	5,1	31,6	27,1	21,0	20,7	20,8
	Max	14,1	46,2	40,6	22,3	24,1	24,3
B	Min	-10,0	22,6	21,6	22,0	19,5	21,0
	Medel	±0,0	30,8	25,1	23,1	22,0	22,2
	Max	8,8	39,5	29,4	24,2	23,6	23,8

Båda husen sägs uppvisa relativt god reglerförmåga. Inom 95 % av tiden är rumstemperaturen inom ett intervall av 2,4°C för hus A. Tabell 15.2 visar medelvärden av uppmätta temperaturer i husen. Även min och maxtemperaturer visas. Lägsta uppmätta rumstemperatur kan bero på vädring. Golvtemperaturen ligger i medel ca 0,9°C över rumstemperaturen för hus B och endast 0,3°C för hus A. Notera också att skillnaden mellan operativ temperatur och lufttemperatur är liten. Lufthastighetsmätningarna redovisas inte.

**Fältnätningar av Harrysson (1997a)**

I en undersökning av Harrysson (1997a) redovisas energiförbrukningen för 41 olika hus i Varberg med både radiator- och golvvärme och för 17 hus i Älmhult med enbart golvvärme. Av husen i Varberg har 29 st. vattenradiatorer och kryprumsbjälklag, 2 av husen har vattenburen golvvärme och kryprumsbjälklag och 12 av husen har vattenburen golvvärme och platta på mark. Samtliga hus i Varberg har uppvärmning med naturgas och FTX-ventilation. Samtliga 17 hus i Älmhult har vattenburen golvvärme och platta på mark med underliggande isolering som är antingen 70 mm eller 100 mm tjock. Husen har frånluftsventilation, samt frånluftsvärmepump för varmvatten och rumsuppvärmning. Värmesystemen i samtliga hus med golvvärme har reglering av framledningstemperaturen med framkoppling från utetemperaturen. Rumstermostater används i samtliga rum.

Total energiförbrukning för husen har registrerats under perioden maj 95 till maj 96. För att komma fram till en ”ekvivalent energiförbrukning” har värdena korrigerats, beroende på skillnader i de olika husen. Hänsyn har tagits till gaspannornas verkningsgrad genom en korrigering av energiförbrukningen med en antagen verkningsgrad på 90 %. Eftersom husen antingen har FTX-ventilation eller frånluftsvärmepump har antagits att frånluftsvärmepumpen spar 40 kWh/m<sup>2</sup>·år mer än vad FTX-ventilationen gör. Efter korrigering för dessa faktorer är energiförbrukningen för husen med golvvärme ca 25 % större än för husen med radiatorvärme. Tabell 15.3 nedan visar uppmätt total energiförbrukning för de olika hustyperna. Vattenförbrukningen är i medeltal större för husen med radiatorer och boytan är större för husen med golvvärme. Efter korrigering av dessa faktorer är energiförbrukningen ca 30 % högre.

**Tabell 15.3.** Uppmätt total energiförbrukning i de olika hustyperna. Den uppmätta energiförbrukningen i Älmhult är 139 kWh/m<sup>2</sup> år, men efter korrigering för frånluftsvärmepumpens ökade energibesparing jämfört med FTX-ventilationen är den 179 kWh/m<sup>2</sup>·år.

	Total energiförbrukning med korrigering för gaspannor eller frånluftsvärmepump (kWh/m <sup>2</sup> år)
Varberg, Radiatorer 29 st (Naturgas och FTX)	144
Varberg, Golvvärme 12 st (Naturgas och FTX)	180
Älmhult, Golvvärme 17 st (Frånluftsvärmepump)	179

En enkätundersökning har utförts för de olika husen. Komforten som helhet upplevs av brukarna vara bäst i hus med golvvärme (gäller brukarna i både golvvärmehusen och radiatorhusen). Vissa faktorer upplevs dock vara negativa med golvvärme. Husen med golvvärme har i de flesta fall upplevts reagera trögt vid kraftiga utetemperatursvängningar. Störst är problemen när utetemperaturen stiger kraftigt, då det ibland blir för varmt inne. Dessa problem är mindre i de radiatorvärmda husen. De boende i 87 % av husen golvvärme i Älmhult uppger att de har komfortproblem nära uteluftsdonen. Husen med radiatorer har i samtliga fall förvärmad tilluft, så att en jämförelse om problemen även förekommer i radiatorvärmda hus kan inte ges av denna undersökning. Även problemen med för hög rumstemperatur vid solinstrålning tycks vara större i husen med golvvärme. Av resultaten framgår också att 42 % av husen med golvvärme i Varberg och 25 % av husen i Älmhult har värmesystemet i drift sommartid. Motsvarande siffra för de radiatorvärmda husen är 14%.

Undersökningen visar bl.a. att den totala energiförbrukningen av värme, varmvatten och hushållsel är 25 till 30 procent högre i husen med golvvärme, beroende på hur korrigering för systemskillnader genomförs. Korrigeringen för frånluftsvärmepumparnas energibesparing har relativt stor inverkan, eftersom alla hus med frånluftsvärmepumpar har golvvärme. Om ingen korrigering görs för frånluftsvärmepumpens energibesparing blir den uppmätta energiförbrukningen i golvvärmehusen i Älmhult lika stor som energiförbrukningen i radiatorhusen i Varberg. Med andra ord tycks värmepumpens energibesparing ätas upp av golvvärmehusens ökade energiförbrukning.

### Korttidsmätningar

Utförligare korttidsmätningar under januari och februari har utförts för två hus med radiatorsystem och 4 hus med golvvärme och platta på mark. Husen uppmäts två åt gången för några dagar i sträck. Utetemperatur, medeltemperatur av framledning och returledning, och rumstemperatur redovisas i diagram. Från dessa mätningar är det svårt att dra slutsatser beträffande värmesystemens reglerfunktion, då golvvärmehusen och radiatorvärmehusen inte mäts samtidigt vid samma väderleksförhållanden och eftersom solinstrålning och interna laster är okända. Däremot kan man konstatera att rumstemperaturen i några av husen svänger ca 3°C vid kraftiga utetemperaturvariationer i golvvärmehusen. Då radiatorvärmesystemen inte utsätts för några kraftiga utetemperaturvariationer kan ingen jämförelse av reglerfunktionen göras.

**Tabell 15.4.** Högsta och lägsta temperaturer samt medeltemperatur för de fyra husen med golvvärme under en mätperiod på fyra dygn. Hus G1 och G2 har FTX-ventilation och G3 och G4 har frånluftsvärmepump.

Hus		Ute	Medelvatten- temperatur	golv	Luft
G1	Min	-20	22,0	22,8	20,4
	Medel	-6,3	31,9	24,7	21,4
	Max	±0	38,5	26,8	23,6
G2	Min	-20	23,3	21,0	20,4
	Medel	-6,3	25,8	23,6	21,4
	Max	±0	29,0	26,0	23,0
G3	Min	-21	29,0	22,7	20,3
	Medel	-8,0	32,5	24,0	21,2
	Max	±0	36,5	25,3	22,4
G4	Min	-21	25,0	21,0	19,2
	Medel	-7,2	28,4	22,5	20,0
	Max	+3	33,0	24,0	20,8

Högsta och lägsta temperatur samt medeltemperaturer för husen med golvvärme och radiatorer redovisas i tabell 15.4 och 15.5. Tabellerna visar olika temperaturdata från mätningar under två dygn av 4 hus med golvvärme och två hus med radiatorer. Husen anses tillhöra medelförbrukarna i området. Samtliga hus med golvvärme är av typen platta på mark. Det är svårt att dra några generella slutsatser från dessa data, men några saker förtjänar att poängteras. Olesens mätningar har pågått under flera veckor, medan Harrysson enbart redovisar data från fyra dygn. Olesens mätningar påvisar lika stora innetemperaturvariationer som Harrysson. Trots detta drar Olesen slutsatsen att regleringen fungerar bra och



Harryssons slutsats är att regleringen inte fungerar bra. Harryssons mätningar visar dock att rumstemperaturen kan stiga 3°C vid stigande utetemperatur, men det är svårt att veta om det också beror på solinstrålning.

**Tabell 15.5.** *Högsta och lägsta temperaturer samt medelvärden för de båda husen med radiatorvärme under en mätperiod på fyra dygn. Medelvärdena är beräknade från diagram. Husen har FTX-ventilation.*

Hus		Ute	Medelvatten-temperatur	golv	Luft
R1	Min	-14	35,0	19,0 <sup>1)</sup>	20,7
	Medel	-6,5	-	-	21,3
	Max	±0	45,0	21,0	25,0 <sup>2)</sup>
R2	Min	-15	36,0	18,3	19,8
	Medel	-6,5	-	-	20,3
	Max	±0	41,0	19,3	21,2

<sup>1)</sup> Lägre temperatur uppmättes p.g.a. vädring vid ett tillfälle.

<sup>2)</sup> Denna temperatur uppmättes efter vädring vid ett tillfälle.

Det är också stora skillnader i framledningstemperatur och golvtemperatur för relativt likvärdiga hus. Detta talar för att det kan vara olika orsaker som inverkar på energiförbrukningen. Det är en stor skillnad mellan olika framledningstemperaturer, trots att golvytans temperatur inte skiljer så mycket. Orsaken kan vara olika värmelast och olika intern last. Om Harryssons värden från tabell 15.4 jämförs med Olesens mätningar som redovisas i tabell 15.2 finns inte så stora skillnader mellan systemen. Harryssons mätningar påvisar att golvets temperatur är högre än för Olesen. Detta är förklarligt eftersom utetemperaturen är lägre. En hypotes om att golvets temperaturnivå är av stor betydelse för självregleringseffekten och temperatursvingarna går varken att bekräfta eller dementera utan uttömligare undersökningar.

#### *Orsaker till ökad energiförbrukning*

Harrysson (2000a, b och c) ger en rad tänkbara orsaker till att golvvärmsystem kan ge högre energiförbrukning än radiatorsystem:

- Högre temperatur i betongplattan leder till högre värmeförluster. Det är svårt att skapa en god kantbalksisolering.
- Inneluftstemperaturen är inte lägre i de golvvärmda husen.
- Kallras från fönster och uteluftsdon kan ge större problem med drag, vid golvvärmsystem, eftersom det inte finns någon radiator under fönstren. Detta motverkas med högre rumstemperatur.
- Förlängd uppvärmningssäsong med golvvärme. Golvvärmsystem är ofta i drift sommartid för att kalla golv skall undvikas eller för att minska risken för omvänd fukttransport.

- Golvvärmesystemets tröghet gör att stora innetemperaturvariationer kan förekomma vid kraftiga svängningar i utetemperaturen.
- Tungta golvvärmesystem ger ökad risk för hög inomhustemperatur vid tillskott av gratisvärme. Orsaken är att golvet, genom att det redan är varmare än rumsluften inte kan ackumulera överskottsvärme vid t.ex. solinstrålning, utan istället fortsätter att avge värme tills rumstemperaturen är lika hög som golvtemperaturen, vilket kan leda till högre rumstemperaturer vid internlast.
- Svårighet att sänka rumstemperaturen individuellt mellan olika rum utan att golvet blir kallt.

### *Kommentarer:*

Man kan misstänka att de största orsakerna till skillnad i energiförbrukning beror på högre värmeförluster genom golvet vid golvvärme och att uppvärmningssäsongen är längre för golvvärmesystemen. Det är också troligt att en stor del av skillnaden kan bero på skillnader i brukarvanor, fönsterorientering, solinstrålning, skillnader i byggkonstruktion, mm. Beträffande övriga tänkbara orsaker, som t.ex. lägre utnyttjande av gratisvärme och sämre reglerfunktion är det omöjligt att kvantitativt bedöma dess inverkan från dessa studier. Det finns också en rad okända parametrar som t.ex. antal familjemedlemmar, brukarvanor, fönsterarea och läge, utnyttjande av solinstrålning, mm. Det kan ifrågasättas om antalet hus är tillräckligt stort för att helt eliminera variationer p.g.a. dessa faktorer.

Harrysson har skrivit en rad artiklar under den pågående golvvärmedebatten där han utvecklar sina resultat från undersökningen i Varberg och Älmhult. I Harrysson (1997b) presenteras resultaten från undersökningen.

### *Debattartiklar av Harrysson (1997c)*

Harrysson (1997c) redovisar nya studier av 76 parhus (Trönninge Äng) utanför Varberg med 22 cm isolering i betongplattan. Där uppger Harrysson att den totala energiförbrukningen är 15 % högre än för motsvarande radiatorvärmdda hus. Dessa resultat stödjer alltså Harryssons tidigare resultat om att golvvärmehusen har högre energianvändning. Inte heller en extra tjock isolering under betongplattan tycks kunna eliminera värmeförlusterna.

I en artikel av Harrysson (1997d) fortsätter debatten och ett diagram redovisas hur totala energiförbrukningen varierar i Trönninge Äng. Dessa hus har frånluftsvärmepump för varmvatten och värmeförbrukning. I kommande artiklar (Harrysson 1998a och 1998b) rullar sedan debatten vidare.

I ytterligare 5 artiklar av Harrysson försöker han att nå ut med sina slutsatser genom diverse argumentation (Harrysson 1999a, 1999b, 1999c, 2000a, 2000b och 2000c). Harrysson konstaterar bl.a. att klagomålen på kalla golv är vanliga för konstruktionen platta på mark och att detta är en av orsakerna till att många väljer golvvärmesystem. Det är oftast hög värmeavledning från foten till golvet och inte låg golvtemperatur som orsakar problemet. Om ett golv med hög värmeavgivning används t.ex. golvklinker, måste golvets temperatur vara högre för att inte orsaka komfortproblem. Ett annat sätt att åtgärda komfortproblemet är att ha ett golv med lägre värmeledning och lägre värmekapacitet. Då måste någon form av lätt golvkonstruktion användas.

Harrysson skriver också att golvvärmesystemens energiökning inte kan elimineras helt genom ökad isolering i plattan. För att kunna utnyttja gratisvärmerna på ett effektivt sätt måste systemen även göras mer snabbreglerande och alltid förses med rumsreglering.

I Harrysson (2000a) redovisas värmeförlustberäkningar för plattan för stationära förlopp. Med Beräkningarna visar Harrysson bl.a. att värmeförlusterna från en platta på mark med golvvärme ökar kraftigt om t.ex. ett 22 mm brädgolv läggs ovanpå betongplattan. Värme-motståndet hos parketten kräver att vattentemperaturen och betongplattans temperatur ökas vilket leder till ökade värmeförluster på ca 30-40 procent vid konstant isolertjocklek under plattan.

I en artikel av Harrysson 2000c föreslås ett antal förbättringsåtgärder som avser att minska energiförbrukningen för golvvärmesystemen. Bl.a. föreslås fördubblad isolering under plattan, förbättrad kantisolering, minst 50 mm isolering ovanpå plattan och ett lätt övergolv av trä eller spånskiva samt rumsreglering och styrning av framledningstemperaturen med framkoppling från utetemperaturen. Dessa åtgärder medför en ökad byggkostnad av ca 50 000 kr, men Harrysson bedömer att huvuddelen av problemen med ökad energiförbrukning då är lösta.

#### *Litteratur av Norlin (1998)*

Detta examensarbete sammanställer data från 61 hus med vattenburen värme i Märsta. 27 av husen har vattenburen golvvärme som energikälla och 34 av husen har vattenburen radiatorvärme. Husen med radiatorvärme består av radhus, parhus och friliggande villor och stod inflyttningsklart hösten 1994. Samtliga friliggande villor och parhusen har ett kallgarage i anslutning till byggnaden. Husens grundkonstruktion är av typen platta på mark och isolerad med 120 mm cellplast i yttre randfältet och 100 mm cellplast i inre randfältet. Ytterväggarna har 170+45 mm isolering och vindsbjälklaget är isolerat med 400 mm lösullsisolering. Radiatorsystemet är av typen tvårörssystem med termostatventiler och styrning av framledningstemperaturen med framkoppling från utetemperaturen. Samtliga hus har frånluftsventilation med uteluftsintag bakom radiatoren. Husen har vanliga treglasfönster och andelen fönster och dörrar är 0,17 m<sup>2</sup> per m<sup>2</sup> boyta. Uppgift om fönsterorientering saknas.

Husen med golvvärme består enbart av friliggande villor och stod inflyttningsklart december 1996. Samtliga hus har ett kallgarage i anslutning till byggnaden. Husens grundkonstruktion är av typen platta på mark och isolerad med 100 mm cellplast i yttre randfältet och 70 mm cellplast i inre randfältet. Ytterväggarna har 170+45 mm isolering och vindsbjälklaget är isolerat med 500 mm lösullsisolering. Golvvärmesystemet har styrning av framledningstemperaturen med framkoppling från utetemperaturen, men ingen rumsreglering. Samtliga hus har frånluftsventilation med uteluftsintag via spaltventiler vid fönstren. Husen har vanliga treglasfönster och andelen fönster och dörrar är 0,15 m<sup>2</sup> per m<sup>2</sup> boyta. Uppgift om fönsterorientering saknas.

Genom att kontrollera den totala elförbrukningen för husen konstaterades att de golvvärmda husen i genomsnitt hade 37,5 % högre total energianvändning. För de golvvärmda husen var den genomsnittliga energiförbrukningen 223 kWh/m<sup>2</sup>·år och för de radiatorvärmda husen var den 163 kWh/m<sup>2</sup>·år. Enligt statistiska centralbyrån är den genomsnittliga energiförbrukningen endast 130 kWh/m<sup>2</sup>·år för småhus byggda på 90-talet.

Att husen med golvvärme har högre energibehov kan delvis förklaras genom att husen har tunnare golvisolering än för radiatorvärmehusen och en något större fönsterarea. Till skillnad från de radiatorvärmda husen är samtliga golvvärmda hus friliggande, och ingen rumsreglering används. Dessutom uppger de boende i golvvärmehusen att de har högre rumstemperatur än de boende i radiatorvärmda husen, i medeltal 20,3°C mot 19,5°C för de radiatorvärmda husen. Eftersom det finns så många anledningar till varför de golvvärmda husen har högre energiförbrukning kan det inte direkt dras några slutsatser om skillnader i värmesystemens energiförbrukning. För att kunna göra detta måste korrigeringar av energiförbrukningen göras för att ta hänsyn till de största skillnaderna. Några sådana korrigeringar har inte utförts.

### ***Litteratur av Peng (1996)***

Peng (1996) har undersökt hur kallrasen från ett fönster i ett rum med golvvärme påverkar komforten på golvet under ett fönster. Experimentet utfördes i en klimatkammare med takhöjden 2,8 m. vid stationärt tillstånd med en fönstertemperatur på 12,3°C (utetemperatur = -11,5°C), en golvtemperatur på ca 28°C och en rumslufttemperatur på ca 20,2°C. Som referens utfördes också experimentet utan att värmen var påslagen. Ingen ventilation förekommer. Fönsteryta och fönsterhöjd är inte angiven, men enligt figuren är fönstret ca 1,5 m högt. Lufthastighet, turbulensintensitet och lufttemperatur uppmättes i många punkter längs fönstret och golvet nedanför fönstret.

Vid en jämförelse av mätningarna med och utan golvvärme, visar resultaten att lufthastigheten längs golvet minskar med golvvärme, men att golvvärmen endast har en försumbar inverkan på luftströmningen längs fönstret. De högsta lufthastigheterna på ca 0,16 m/s uppmäts 40 cm från ytterväggen, ca 20 mm från golvet. Mätningarna visar också att 90 cm från ytterväggen är hastigheten fortfarande 0,15 m/s.

Dessa lufthastigheter är så pass höga att de för anses kunna inverka på komforten. Lufthastigheter under 0,1 m/s anses inte inverka på komforten och lufthastigheter under 0,2 m/s anses ha liten inverkan på komforten. Dessutom undersöks inte vad som händer om det finns ett uteluftsintag ovanför fönstret. Det troliga är då att lufthastigheterna ökas ytterligare och att lufttemperaturen kan bli besvärande låg närmast fönstret.

### ***Litteratur av Roots (1998)***

I litteratur av Roots (1998) presenteras en undersökning om värmeförluster från en grund genom beräkningar med simuleringsprogrammet HEAT2. Beräkningarna har utförts vid stationära förlopp för en villa med platta på mark med radiatorer och med golvvärme. Genom arbetet har man bl.a. kommit till följande slutsatser:

- Monteringsdjupet av värmeslingan i betongplattan i en grund som utföres som platta på mark har ingen större påverkan på andelen värme som tillförs rummet, resp. bortförs genom marken.
- Värmeförlusten från grunden ökar med ca 12 % vid golvvärme jämfört med radiatorvärme, om isolertjockleken är 50 mm.

**Litteratur av Roots (2000a)**

I litteratur av Roots (2000a) presenteras en fortsättning på ovannämnda studie, genom simuleringar under icke stationära förhållanden. De förenklingar som gjorts är att bl.a. att byggnadens väggar inte antas ha någon värmekapacitet. Reglersystemets funktion har inte heller beaktats i simuleringarna. Följande slutsatser har dragits:

- Svarstiden för ett golvvärmesystem, d.v.s. den tid det tar tills erforderlig värmeeffekt avges till inomhusluften är enbart en funktion av betongplattans tjocklek och tillförd värmeeffekt.
- Skillnaden mellan den beräknade värmeförlusten vid dynamiska, resp. stationära förlopp, beror på reglersystemets funktion. Om reglersystemet medför att medeltemperaturen i plattan ökar, så ökar också värmeförlusterna.

**Artikel av Roots et al. (2000b)**

I en artikel av Roots et al. (2000b) presenteras ytterligare slutsatser från undersökningen som beskrivits ovan. Bl.a. presenteras tre viktiga faktorer som påverkar golvvärmesystemets energiförbrukning. Dessa är rumstemperaturen, golvet isolertjocklek och uppvärmningssäsongens längd.

Ett diagram över hur de totala värmeförlusterna påverkas av isolertjocklek och rumstemperatur redovisas. I diagrammet jämförs energiförlusterna i ett hus med en viss temperatur och isolertjocklek för både radiatoruppvärmning och golvvärme. Jämförelsen förutsätter att samma isolertjocklek i golvet används för både radiatorvärme och golvvärme.

Ur diagrammet kan utläsas att energibehovet med golvvärme alltid blir högre om inte rumstemperaturen sänks. Om 100 mm isolering används ökar värmeförbrukningen med ca 9 % vid golvvärme. En annan viktig faktor som påverkar energiförbrukningen är uppvärmningssäsongens längd. Golvvärmesystem i kallare klimat kan ha svårare att ge någon energibesparing än i varmare klimat p.g.a. ökande förluster genom golvet. Detta betyder att energiförbrukningen i ett golvvärmesystem ökar kraftigt om värmesystemet är i drift längre än för vanliga radiatorvärmesystem för att undvika kalla golv känsla. Enligt simuleringen blir energiökningen för uppvärmning av ett småhus med 100 mm isolering hela 28 % om golvvärmesystemet är i drift 1 månad längre än för motsvarande hus med radiatorsystem. Observera att detta gäller under förutsättning isolertjockleken är konstant 100 mm för båda värmesystemen.

**Artikel av Roots et al. (2000c)**

I en artikel av Roots et al. (2000c) behandlas förutom tidigare redovisade resultat, även fuktproblematiken med golvvärme. Det konstateras att fukt transporteras genom fuktdiffusion från den varma marken under golvet mot fallande temperatur. Detta innebär att fuktnivån kan bli hög i omgivande byggnader och i källarväggar i källare med golvvärme. Även s.k. omvänd fukttransport kan orsakas av golvvärme. Det innebär att när golvvärmen slås av på våren kan plattan bli kallare än den underliggande marken. Detta kan medföra fukttransport från marken till plattan. Detta problem kan reduceras genom att grunden isoleras väl. Dessutom redovisas en ekvation för att beräkna energibesparingen som kan erhållas med golvvärme utgående från uppvärmningssäsongens längd, sänkning av rumstemperaturen, årsmedeldifferens av inne och utetemperatur och den s.k. isolerverkningsgraden. Isolerverkningsgraden beror bl.a. på isolertjockleken och har beräknats i tidigare studier av Roots (1998).

I del två av projektet skall ett nybyggt hus med golvvärme studeras (Lööf 1999). Under plattan har man 300 mm cellplast och runt huset speciella kantelement. Varje rum är zonreglerat med rumstermostat. Beräknad energiförbrukning för huset är 96 kWh/m<sup>2</sup>·år.

### 15.3 Golvvärmedebatten

Komfort och energiförbrukning för golvvärmesystem har debatterats flitigt i tidskrifter och energitidningar under slutet av 90-talet. Golvvärmesystemens ”slagord” som sänkt energiförbrukning, god komfort och sänkt lufttemperatur har ifrågasatts. Orsaken till debatten var tre undersökningar utförda under 90-talet som konstaterade en kraftigt förhöjd energiförbrukning i hus med golvvärme jämfört med radiatorvärmde hus (Gundersen 1992, Harrysson 1997a och Norlin 1998).

Golvvärmedebatten har förts i diverse energitidskrifter som VVS-forum och Energi & miljö. Debatten har förts mellan Christer Harrysson (golvvärmekritisk) och andra debattörer som förespråkade golvvärmen. Huvudfrågan har varit energiförbrukning, men även komforten har debatterats. Harrysson har i en rad artiklar presenterat sina mätresultat som visar kraftigt höjd energiförbrukning och förklaringar till varför golvvärmesystemen förbrukar mer energi (Harryssons artiklar redovisas i föregående kapitel).

#### *Artikel av Hansson (1997)*

I debatten har många ställt upp till golvvärmens försvar. Hansson (1997) skriver att det är systemlösningens fel, inte golvvärmens fel att energiförbrukningen är hög. I tider med allt fler totalentreprenader är priserna pressade i botten. Detta kan leda till att den absolut billigaste systemlösningen väljs, att ett bra styr- och reglersystem prutas bort och att isoleringen blir dåligt utförd. I BBR har alla detaljkrav tagits bort. Det är idag upp till villaägaren att utse en kvalitetsansvarig som skall se till att anläggningen blir riktigt utförd. Ofta är den kvalitetsansvarige installatören själv och det säger sig själv att detta inte fungerar.

#### *Artikel av Åström (1997)*

Åström anser att en del av Harryssons förklaringar till den ökade energiförbrukningen är skrämselfpropaganda, däribland att golvvärme är ett värmetrögt system, att golvvärme har högre värmeförluster genom golvet och att värmeavgivning vid fönster och väggventiler är otillräcklig. Åström anser vidare att den förlängda uppvärmningssäsongen till stor del förklarar den ökade energiförbrukningen.

#### *Artiklar av Ljungqvist (1997a och b)*

Ljungqvist anser att golvvärmesystemen inte generellt kan dömas ut av Harryssons bristfälliga resultat. Enligt Ljungqvist har erfarenhet och beräkningar visat att golvvärme i genomsnitt kräver en tilläggsisolering på 2,5 cm för att eliminera ökade värmeförluster. Wirsbo anser sig ha svårt att få gehör från byggarna att isolertjockleken under plattan skall ökas. Branschen vill snarare ytterligare sänka byggkostnaderna och riksdag och regering har klart uttalat sig att byggkostnaderna skall sänkas. Detta skapar just problem med ökade energikostnader. Ljungqvist anser också att skillnaden i ventilationssystemen kan förklara skillnaden i energiförbrukning. Den värmetröghet som Harrysson anser kunna skapa kraftiga temperatursvängningar i inomhusluften anser Ljungqvist kunna vara en nackdel, men temperatursvängningarna kan inte bli så stora, eftersom en utetemperaturändring av 3 till 4°C kräver en kompensering av golvtemperaturen på mindre än 1°C. Dessutom anser Ljungqvist att värmetröga komponenter i en byggnad ger möjlighet till energibesparing.

**Artiklar av Kronvall (1998a och b)**

Kronvall anser att det är vanskligt att dra så generella slutsatser på ett så litet urval byggnader. Undersökningen visar endast att det är stor skillnad mellan olika hus och hushåll när det gäller energianvändningen menar Kronvall. Energianvändningen har ingenting att göra med sättet att tillföra värme. Det handlar istället om skillnader i husens isolertekniska standard, fönsterareor och orientering, lufttäthet, ventilationsluftflödet, hur reglerutrustningen varit inställd, eldningssäsongen, verkningsgrad hos FTX-aggregat, gaspannor och värmepump, mikroklimat kring huset, användning av kaminer, varmvattenförbrukning, familjestorlek, energimedvetenhet, beteende och inomhustemperatur, mm.

**Nytt forskningsprojekt**

Golvvärmedebatten har skapat stor uppmärksamhet i ämnet och lett till att ett nytt forskningsprojekt startats för att ge svar på om golvvärme kan byggas energisnålt, komfortabelt och ekonomiskt. (Löf 1999). Vissa resultat har redan presenterats av Roots (se föregående kapitel). I skrivandets stund har en villa färdigställts där mätningar av temperaturer under grunden skall genomföras.

**Artikel av Lönn (2000)**

Hans Lönn kritiserar det nya golvvärmeprojektet i en artikel för att det fokuserat endast på värmeförlusterna genom plattan och inte på golvvärmesystemet som ett helt system (Lönn 2000). Enligt Harrysson är ju ökade förluster genom golvplattan endast en av många orsaker till att golvvärmesystemen har högre energiförbrukning i hans mätningar. Andra faktorer som värmetröghet och reglerförlopp påverkar också. Lönn efterlyser forskning om golvvärme som ett helt system, forskning där isoleringen läggs ovanpå betongplattan och där man sedan lägger rören ovanpå isoleringen. Han vill också se forskning om hur man bäst fördelar isoleringen mellan vägg golv och tak för att minimera värmeförlusterna. Kanske skall förhållandet mellan isoleringen vara helt olika radiatorvärmda hus (Optimal fördelning av isolering har studerats av Kalema (1998) med simuleringsprogrammet OPTIX. Om modellen kan ta hänsyn till förhöjd temperatur i betongplattan vid ett golvvärmesystem är oklart.).

**Dansk golvvärmedebatt?**

I Danmark börjar man också misstänka att hus med golvvärme kan förbruka avsevärt mycket mer energi än hus med vattenradiatorer (Skjøth 1999). Uppgifterna kommer från tre olika fjärrvärmeverk som har uppmätt 40 % högre total energiförbrukning i nya hus med golvvärme, jämfört med äldre bebyggelse med radiatorer. Man har visserligen konstaterat att husen med golvvärme ofta har större fönsterareor, men resultaten är så alarmerande att man startat ett forskningsprojekt för att utreda saken. En dansk golvvärmedebatt kanske också är att vänta?

## 16 SLUTSATSER

### 16.1 Golvvärme

Svenska golvvärmesystem har främst byggts som platta på mark med underliggande isolering (tunga system) eller ibland med kryputrymme och träbjälklag (lätta system). Användning av betongbjälklag medför att lägre vattentemperaturer kan användas än om strålningsplåtar och golvskena används. System, där vattendistributionssystemet fungerar som golvskena kan möjliggöra allra lägst temperaturnivå, men dessa system förekommer inte i Sverige.

I småhus med två våningar och platta på mark används ibland golvvärme på bottenvåningen och radiatorer på övervåningen. Ofta styrs framledningstemperaturen till båda systemen med samma shunt. Ett radiatorsystem eller lätt golvvärmesystem kräver högre temperaturer än ett golvvärmesystem i betong. Detta medför att golvvärmesystemet arbetar med för hög temperaturnivå, vilket försvårar reglerförloppet och ökar risken för svängningar. Det är dessutom ett slöseri med temperaturnivå, som ger sämre prestanda för värmepumpar och solvärmesystem.

Forskningen visar att uppvärmningssystemets typ påverkar energiförbrukningen för en byggnad. Orsaker som påverkar energiförbrukningen är skillnader i reglerens system och värmesystemens följsamhet, gratisvärmeutnyttjande, uppvärmningssäsongens längd, rumsytornas yttemperatur, värmeförluster, ventilationsförluster mm. Skillnader i yttemperaturer, temperaturgradienter och luftströmmar påverkar önskad rumstemperatur som i sin tur påverkar, värme- och ventilationsförluster. Skillnader i rumsytornas temperatur, värmeledningsförmåga och värmekapacitet påverkar förmågan att ackumulera överskottsvärme, och påverkar värmeförlusterna från byggnadsdelen.

Svenska hus med golvvärme tycks förbruka betydligt mer energi än motsvarande hus med radiatorvärme. Litteraturstudien har påvisat att golvvärme totalt sett anses ge ett bättre inomhusklimat än radiatorsystem, men en rad nackdelar kan konstateras. Golvvärme tycks inte möjliggöra någon sänkning av lufttemperaturen i praktiken. Orsaken kan vara att dåligt isolerade hus kräver högre lufttemperatur för att kompensera för kallras och drag från fönster och uteluftsintag. I välisolerade byggnader är golvtemperaturen endast någon enstaka grad varmare än rumsluften. Någon större skillnad mellan operativ temperatur och lufttemperatur föreligger då inte.

Platta på mark kan ge upplevelse av kalla golv p.g.a. hög värmeavledning från foten. Risken är då stor att golvvärmesystemet hålls i drift längre, med kraftigt ökade energiförluster som följd. Tröga golvvärmesystem medför också att reglerförloppet försämras. Problem med varierande innetemperatur vid kraftiga utetemperatursvängningar kan uppkomma.

Upplevelse av kalla golv för en platta på markkonstruktion kan minimeras genom att använda en golvbeläggning med dålig värmeledning. En sådan konstruktion är dock olämplig ur energisynpunkt, eftersom betongplattans temperatur måste höjas och systemet görs då än mera svårreglerat. Dessutom ökar värmeförlusterna mot marken.



För att motverka övertemperaturer i tröga golvvärmesystem vid interna värmeöverskott krävs hög självregleringseffekt. Detta kan åstadkommas genom att rumsytornas temperatur hålls inom komfortgränsen och då krävs att dimensionerande effektbehov är lågt.

Övriga anledningar till att golvvärme kan ge ökad energiförbrukning är ökade värmeförluster från golvet, förlängd uppvärmningssäsong, sämre reglerförmåga, dåligt injusterade värme- och reglersystem och minskat gratisvärmeutnyttjande.

Det är idag svårt att kvantifiera hur stor inverkan de olika ovan nämnda faktorerna har på energiförbrukningen. I en del hus är det troligt att en förlängd uppvärmningssäsong är huvudorsaken, medan det i andra system kan vara problem med reglersystemet och en alldeles för tunn isolering under betongplattan.

### ***Åtgärdsförslag***

Det har framförts en rad åtgärdsförslag som bör beaktas vid nybyggnation. Förutom värmeförlusterna mot marken är det idag inte känt hur stor inverkan de olika faktorerna har. Åtgärdsförslagen som framförts är inte grundade på forskningsresultat utan snarare logiskt resonemang. Men i väntan på forskningsresultat bör förslagen följas för att minimera uppkomsten av ovannämnda olägenheter. Framförallt bör isolertjockleken i golvet ökas. Beräkningar tyder på att isolertjockleken minst skall fördubblas för att erhålla samma värmeförluster som ett radiatorsystem. Men ökad isolering hjälper inte helt för att motverka ökande värmeförluster. För att minska temperatursvängningarna vid värmeöverskott och kraftiga utetemperatursvängningar krävs andra åtgärder.

Golvvärmesystemen bör antingen utföras som en lätt konstruktion eller med en tunn betongplatta, så att värmeavgivningen snabbt kan stoppas, eller ha så låga effektbehov att golvet yttemperaturer alltid ligger inom komfortintervallet på 20-23°C. Användning av betongplatta löser dock inte problemet med kalla golv känsla. Reglersystemet bör förses med utekompenserad framledningstemperatur och rumsreglering (rumsreglering av tröga golvvärmesystem rekommenderas inte av vissa källor). Stor omsorg skall också läggas på injustering av värmesystemet.

### ***Förslag till fortsatt forskning***

Denna studie har påvisat att många golvvärmesystem tycks förbruka betydligt mer energi än motsvarande radiatorsystem. Det går inte att kvantifiera hur stor inverkan på energiförbrukningen de olika tänkbara orsakerna har för en viss byggnad. Det är troligt att orsakerna till hög energiförbrukning varierar från system till system. Med tanke på det stora antalet byggnader med golvvärme i Sverige bör detta utredas noggrant. Förmodligen är detaljerade mätningar och analys av olika byggnader den bästa metoden. Dessutom bör parameterstudier i en validerad simuleringsmodell utföras för att utreda de olika faktorernas inverkan

I de befintliga husen kan det vara svårt att hitta lämpliga åtgärder, speciellt eftersom det är osäkert vad som har störst orsak till den höga förbrukningen. En noggrann injustering av värmesystemet kan ge besparingar. En annan tänkbar åtgärd kan vara att för se husen med solvärmesystem. Om en stor del av energiökningen beror på förlängd uppvärmningssäsong, bör detta vara en alldeles utmärkt åtgärd eftersom energiförbrukningen sammanfaller med tillgången på sol.

## 16.2 Takvärme

Takvärmesystem har aldrig riktigt accepterats av branschen och har inte introducerats på samma sätt som luftvärmesystemen. Misstankar om att det kan bli golvkallt under bord och möbler har gjort att man inte vill använda sig av systemen. Studier av takvärmesystem har till största delen utförts för omöblerade rum och då visar de på att en god komfort kan erhållas med takvärme om rummet är välisolerat. I det fall där möblering förekommit har det konstaterats att en temperatursänkning av 1-2°C kan uppstå under möbler. Eftersom inga försök med både ventilation och möblering utförts, lär takvärme komma att bli en sällsynt företeelse även i fortsättningen, tills man kunnat klargöra om det krävs inskränkningar i möblering i en normalt isolerad byggnad.

För kontor med huvudsakligen kylbehov dagtid, kan takvärme däremot vara ett fullgott alternativ, som förenklar installationsarbetet och möjliggör användning av lågtemperaturvärme. Vid värmning av industrihallar, kan ökade värmeförluster komma att bli ett problem, som gör att t.ex. luftvärme eller fläktkonvektorer är ett intressantare alternativ ur lågtemperatursynpunkt.

Takvärmesystem som är lämpliga för lågtemperaturuppvärmning bygger t.ex. på att man ersätter undertakets funktion med ett s.k. Frengertak, som används för värmning och kylning. Ett annat sätt att skapa stora ytor till låga kostnader, kan vara ingjutning av rör i betong bjälklaget, eller montering av rör eller slangar på plåttak.

## 16.3 Kombination av tak och golvvärme

Kontorsbyggnader med kombination av tak och golvvärme med vattenrör i betongbjälklagen har byggts på ett flertal ställen i Europa. Erfarenheterna från dessa är mycket goda när det gäller komfort, installationskostnader och energiförbrukning. Systemet medför att kyl- och värmeeffektbehov kan reduceras och utjämnas över dygnet. Även frikyla nattetid kan användas, då byggnaden har extra tjocka betongplattor som gör byggnaden mycket värmetrög.

För god funktion krävs att dimensionerande värme och kylbehov hålls på en låg nivå så att betongbjälklagets temperatur hela tiden hålls inom komfortintervallet, både vid maximalt kylbehov och vid maximalt värmebehov. Systemet bygger helt på självreglering. Detta innebär att bjälklagen tar upp värme om rumstemperaturen stiger över bjälklagets temperatur och att värme avges från bjälklaget om lufttemperaturen sjunker under bjälklagets temperatur. Bjälklagen konditioneras hela tiden genom cirkulation av vatten med näst intill konstant temperatur.

Fördelarna med systemet är att ingen rumsreglering av värme och kyla i sekvens är nödvändig. Energiförbrukningen är låg och uppvärmning kan ske med mycket låg temperatur vilket möjliggör användning av fjärrvärmeretur eller spillvärme från t.ex. kylmaskiner.

**Fördelar:**

- Låg Energiförbrukning.
- Låg underhållskostnad.
- Låg investeringskostnad.
- God komfort.
- Öppningsbara fönster kan användas utan att energiförbrukningen påverkas nämnvärt.

**Nackdelar:**

- En stigande rumstemperatur inom komfortintervallet under arbetsdagen måste accepteras.
- Rumsreglering kan inte ske utan kompletterande värme eller kylutrustning.
- Höga värme- och kylaster måste undvikas, vilket kan inverka på den arkitekturiska utformningen. Speciell teknik kan användas för att eliminera värme och kylaster, t.ex. frånluftfönster, frånluftlampor eller lokal kylning av elektronisk utrustning.
- Rum med höga interna värmelaster måste förses med kompletterande kylanläggning
- Rum med stora värmebehov, t.ex. rum med stora fönster måste förses med kompletterande värmeanläggning.

**16.4 Vägghvärme**

Vattenburna väggvärmesystem förekommer på kontinenten i bl.a. Tyskland och används som ett alternativ till golvvärme. I Sverige är systemen mycket ovanliga. Anledningar till att använda väggvärme kan vara att det är komfortabelt och att det efter installation inte är synbart för ögat. Installation kan vara lämplig i samband med invändig tilläggsisolering eller renovering. Ett användningsområde är historiska byggnader, där de kan putsas in i väggarna och sedan inte är synliga. Vägghkonstruktionen hålls torrare om den är försedd med värme. Nackdel med systemet är att det är stor risk för läckage vid borring i väggen och uppsättning av tavlor och att värmeförlusterna ökar. För att minska värmeförlusterna är det effektivast att placera väggvärmens huvudsakligen på innerväggar och kanske bara använda värmeslingor på ytterväggar under fönster och en bit längst ner på ytterväggen för att minska kallras. Om rören putsas in på murade väggar erhålls ett relativt värmeförtrögt system som kan ge samma problem med reglering som golvvärmesystem.

En annan typ av väggvärmesystem är LOWTE-systemet, som har en billig plastvärmväxlare i en luftspalt i ytterväggens nederkant. Luft i en spalt värms av cirkulerande vatten och stiger uppåt längs väggskivans innersida och mellan de två inre fönsterglasen. I vägens överkant vänder luften och passerar nedåt i en yttre luftspalt mellan de två yttre fönsterglasen. Systemet har en klar fördel mot vattenburna väggvärmesystem, eftersom en betydligt mindre läckage risk föreligger. Dessutom kan även fönstren värmas, vilket betyder att erforderlig temperaturnivå på väggarna är lägre. Systemet är ännu inte en kommersiell produkt.

Ett annat väggvärmesystem för att reducera dimensionerande effektbehov i kalla klimat bygger på att konditionera klimatskärmens ytteryta med värme från berggrund eller sjöar. På detta sätt blir värmeförlusterna från byggnaden aldrig större än för en utetemperatur av  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ .

## 16.5 Radiatorer

Ettrörssystem är mindre lämpade som lågtemperatursystem än tvårörssystem, genom att tilloppstemperaturen sjunker för varje radiator och returtemperaturen stiger vid interna värmeöverskott. Konvektorer kan användas för lågtemperaturapplikationer, men kostnaden blir i regel högre.

För att radiatorsystem skall ge god komfort krävs att systemet är väl injusterat så att alla radiatorer har tillgång till erforderligt flöde. Termostatventilerna måste också vara korrekt inställda för att stänga vid värmeöverskott. Radiatorer placerade under fönster ger i allmänhet liten temperaturgradient mellan golv och tak. Dock bildas en inåtgående luftström där kallraset från fönster och uteluftsintag möter varmluften från radiatorn. Om radiatorn placeras på innervägg kan temperaturgradienten i rummet bli mycket stor.

Radiatorsystem är intressanta ur lågtemperatursynpunkt, främst med tanke på att det är en väl beprövad teknik med liten komplexitet, där det finns stor erfarenhet av både installation och injustering. Livslängden är hög och det är liten risk att komforten blir dålig med ett radiator system. Nackdelen är att det inte går att använda lika låga temperaturer som för system där byggnadsytorna används.

## 16.6 Luftvärme

Luftvärmesystem har byggts under 80- och början på 90-talet. Dock förekom en rad komfortproblem och även hälsoproblem med dessa typer av system. Luftvärmesystemen baserades på återluft och varmluftsinsblåsning vid tak. Detta gav problem med kalla golv, buller, reglering och luftdrag. Dessutom fanns problem med sjuka hus symptom i några av husen.

De system som är intressanta ur lågtemperatur synpunkt bygger på att rummets ytor värms av den cirkulerande luften. Detta bör eliminera komfortproblem som drag och kalla golv. I en del system tillförs luften rummet och det kan då finnas risk att samma sjukahussymptom som upptäckts i 80-talshusen även kan uppkomma här. I en del system cirkulerar luften i ett slutet system och överför värme till golv, väggar och ibland även fönster eller tak. I dessa system bör problemen med både komfort och sjuka hus vara lösta. Däremot kvarstår problemen med rumsreglering.

Vid användning av luftsystem för lågtemperaturändamål måste fläktarnas energibehov beaktas. Distribution av värme med ett luftburet system drar i allmänhet mer energi än med ett vattenburet system.

Luftsystem är intressant ur lågtemperatursynpunkt, främst eftersom det möjliggör att stora rumsytor kan värmas med relativt låga kostnader utan risk för vattenläckage. Detta möjliggör användning av mycket låga temperaturer.

## 16.7 Fjärrvärme

Anledningar till att använda lägre temperatur på fjärrvärmenäten kan vara lägre värmeförluster, bättre verkningsgrad på kondenserande pannor, högre elutbyte, effektivare utnyttjande av sol och värmepumpar.

Då temperaturskillnaden mellan framledning och returledning måste upprätthållas för att kunna överföra en tillräcklig energimängd är nyckeln till sänkta fjärrvärmemetemperaturer en sänkt returtemperatur. I befintliga fjärrvärmenät kan detta erhållas genom injustering av undercentraler där energibesparingar uppnåtts, utbyte till större värmeväxlare vid renovering samt användning av fjärrvärmereturen i byggnader med lågtemperaturvärmesystem. Ett styrmedel för detta är att höja priset på den flödesberoende delen, samtidigt som energipriset sänks, eftersom vinsten ligger hos fjärrvärmeföretagen och kostnaden hos abonnenten.

Nybyggda närvärmesystem och sekundärfjärrvärmesystem erbjuder större möjligheter att införa lågtemperatursystem, då samtliga byggnader kan anpassas för detta. I mindre närvärmesystem med värmelager hos abonnenten, kan pulserande flöda med avkylningspuls användas. Värmeförlusterna kan reduceras mycket kraftigt med en sådan åtgärd, eftersom tiden som kulverten håller en hög temperatur minskas kraftigt.

## 16.8 Tappvarmvatten

Produktion av tappvarmvatten kräver de högsta temperaturerna i ett lågtemperatursystem, men kan samtidigt ge kraftig avkylning av värmekällan, eftersom kallvattentemperaturen ligger mellan 5 och 10°C. För att minimera risken för tillväxt av legionellabakterier skall temperaturen i en varmvattenberedare hållas över 50°C, eller värmas till minst 60°C en gång per dygn. Om vattnet värms i genomströmning med plattvärmväxlare eller kamflänsrör blir vattnets uppehållstid liten så att risken för legionella minskar så att enbart komfortkravet blir dimensionerande. Dessa typer av varmvattenberedning kräver minst 60°C på primärsidan för att kunna leverera varmvatten med en temperatur av 45-50°C. Plattvärmväxlaren har dock en stor möjlighet att kunna leverera mycket låga returtemperaturer på 15-20°C om de förses med en bra reglercentral.

## 16.9 Sol och lågtemperatursystem

De litteraturstudier som undersökt hur lågtemperaturvärmesystem påverkar solvärmesystem har utförts genom simulering av traditionella villasolvärmesystem kopplade till lågtemperaturvärmesystem. Undersökningarna visar att energibesparingspotentialen är mycket liten om traditionella kombisystem kopplas till lågtemperaturuppvärmning. Den inbesparade energin kan lätt ätas upp av ev. ökad energiförbrukning hos lågtemperaturvärmesystemen. Kombisystemens inverkan av temperaturnivån, ger dock inte hela bilden, eftersom låga temperaturer blir viktigare, ju högre andel av uppvärmningsbehovet som täcks. Då kombisystemen endast täcker en liten del av värmebehovet, kommer endast en liten del av nyttan med lågtemperaturvärme att synliggöras.

Andra system med enklare, billigare och större solfångare, andra reglerprinciper, annan systemuppbyggnad och annan lagringsteknik kan uppvisa ett annat resultat och detta bör därför undersökas. Vidare kan en ändrad förbrukningsprofil för t.ex. golvvärmesystem påverka täckningsgraden. Om det visar sig att Harryssons mätningar av energiförbrukningen är representativa för golvvärmehusen i Sverige och att en förlängd uppvärmnings-säsong är en huvudorsak till den ökade energiförbrukningen, kan installation av ett solvärmesystem vara en lämplig åtgärd i dessa typer av hus. Solvärmesystem skulle kunna komma att åtgärda problemen med hög energiförbrukning i befintliga hus med golvvärme.

Undersökningarna visar också att principen för att koppla in värmesystemet i ett solvärmesystem påverkar täckningsgraden. T.ex. erhålls ingen energibesparing av låg framledningstemperatur om värmesystemet kopplas in på traditionellt sätt till ackumulatortanken. Däremot påverkar sänkt returtemperatur täckningsgraden.

En ny injustering av framledningstemperatur och flöden i värmesystemet bör göras när solvärmesystem installeras i befintliga anläggningar. Beroende på om solvärme eller värmepump används, är optimal injustering olika. Solvärmesystem med traditionell inkoppling av framledningen gynnas av låg returtemperatur, medan en värmepump gynnas av låg framledningstemperatur. Ett 60/40 radiatorsystem är att föredra i sådana solvärmeanläggningar, medan ett 55/45 system är bättre för en värmepump.

Ett golvvärmesystem med dubbla betongplattor och en mellanliggande isolering på 100 mm har visat sig ge mycket goda resultat i drift tillsammans med en solvärmeanläggning. Solvärmens kunde laddas direkt mot golvet. Husets framledningstemperatur är som högst ca 30°C. Den tillförda energimängden till golvvärmesystemet var 39 kWh/m<sup>2</sup>·år. Solvärmesystemets täckningsgrad var för året hela 46 %. Rätt utformad tycks golvvärme och solvärme kunna bli en mycket bra kombination.

### **16.10 Värmepump och lågtemperatursystem**

En värmepump gynnas främst av låg framledningstemperatur, till skillnad från solvärmesystem som främst gynnas av en låg returtemperatur. Värmefaktorn ökar från 2,5 till 4,2 om framledningstemperaturen sänks från 55°C till 30°C. Vad det kan innebära för ett system under ett års drift har inte kunnat klargöras i denna studie.

Kombinerade system med både värmepump och solfångare ger en möjlighet att höja värmefaktorn för värmepumpsystem. Men det kan vara svårt att få ekonomi i ett sådant system, eftersom energikostnaden redan är relativt låg med värmepump. Av denna anledning är det mycket viktigt att solvärmesystemet medför en låg extra kostnad. Ett system som tekniskt fungerar mycket bra är kombination av värmepump, lågtemperaturvärmesystem och solvärt tappvattensystem. Den del av energiproduktionen med högst temperatur, där värmepumpen har dålig värmefaktor ersätts då till ca 50 % direkt med solenergi. En annan tänkbar kombination är att använda billiga oglasade solfångare för att höja temperaturen på värmekällan och därmed höja värmefaktorn.

## 17 LITTERATUR

1. AB svensk energiförsörjning (2000) *Energifakta*.
2. Abel (1998) Så påverkas klimatupplevelsen. *Energi & miljö* 3/98.
3. Adamson, B. & Lövestedt, B. (1971) *Takvärme, Temperaturfördelning och behaglighet*. Stockholm: Byggforskningen R12:1971.
4. Adelman, D. (1988). Some control strategies for radiant floor heating. *Radiant Times*. March 1988. s. 4-5. CA: Hydronic Radiant Heating Association.
5. Almart, A. (1990) Drömhuset blev en mardröm. *Borås Tidning*, Måndagen den 28 maj 1990, s. 6.
6. Angelino, G. (1990) Low-temperature convectors for space heating. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers/Part A, Journal of Power and Energy*.
7. Askensten, Å. (1999). Ekobostad på vattnet. *VVS-forum*, nr 10, Oktober 1999.
8. Athienitis, A. K. & Shou, J. (1991) Control of radiant heating based on the operative temperature. *ASHRAE Transactions* 97(2) s. 787-794.
9. Athienitis, A. K. & Chen, T. (1993) Experimental and theoretical investigation of floor heating with thermal storage. *ASHRAE Transactions* 99(1) s. 1049-1057.
10. Athienitis, A. K. (1994) Numerical Model of Floor Heating System. *ASHRAE transactions* 1994, Vol. 100, Part 1.
11. Athienitis, A. K. (1997) Investigation of Thermal Performance of Passive Solar Building with Floor Radiant Heating. *Solar Energy* Vol. 61, No. 5, s. 337-345, 1997.
12. Athienitis, A. K. & Chen, T. (1997) Numerical Study of Thermostat Setpoint Profiles for Floor Radiant Heating and the Effect of Thermal Mass. *ASHRE transactions* 1997, Part 1. s. 939-949.
13. Athienitis, A. K. & Chen, T. (2000) The Effect of Solar Radiation on Dynamic Thermal Performance of Floor Heating Systems. *Solar Energy* Vol. 69, No. 3, s. 229-237, 2000.
14. Berglund, S. & Olsson, U. (1992) *Uppvärmning och kylning med lågtempererat vatten, Förutsättningar Erfarenheter Möjligheter*. Stockholm: Byggforskningsrådet.
15. Boverket (1999) *BBR Byggregler BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. BFS 1998:38*.
16. Caluwaerts, P., Lebrun, J. & Marret, D. (1980) Wärmeverluste mit unterschiedlichen Heizungssystemen. 2 *Internationaler Velta-Kongreß, St. Christoph/Tirol, 1980*.

17. Chen, Y. & Athienitis, A. K. (1998). A three-Dimensional Numerical Investigation of the Effect of Cover Materials on Heat Transfer in Floor Heating Systems. *ASHRE transactions* 1998, Part 2. s. 1350-1355.
18. Cho, S-H. & Zaheer-uddin, M. (1997) Temperature Regulation of Radiant Floor Heating Systems Using Two-Parameter On-Off Control: An Experimental Study. *ASHRE transactions* 1997, Part 1. s. 966-980.
19. Deli, I. (1995) *Het gebruik van vloerwarmingssystemen voor koelig*. Diplomarbeit, TU Eindhoven.
20. Eijdem, H., Op 't Veld, P. & Boerstra, A. (2000) *Literature review: Side Effects of Low Exergy Emission Systems*. International Energy Agency, Energy, IEA. Conservation in Buildings and Community Systems, ECBCS, Annex 37, March 2000.
21. Energihuset Syd AB & VVS Gruppen AB (2000) Produktblad om *Clima floor* systemet.
22. Energimyndigheten (2000) *8000 kWh per år är ingen utopi. 2000-talets småhus kapar energinotan med två tredjedelar*. Energimyndigheten. Kan laddas ner från nätet på <http://www.stem.se/>
23. Eriksson, L., Dahm, J. & Zinko, H. (1999) *Användning av Lågtemperaturfjärrvärme*. Nyköping: ZW Energiteknik AB.
24. Fanger, P. O. (1973) *Thermal Comfort*. McGraw-Hill Book Co., Hew York, 1973, 244p.
25. Feustel, H. E. & Stetiu, C. (1995) Hydronic Radiant Cooling Preliminary Assessment. *Energy and Buildings* 22 (1995) s.193-205.
26. Feustel, H. E. (1998) Hydronic Thermal Conditioning of buildings by means of constant supply water temperature. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
27. Forsén, E. & Granryd, E. (1999) Design Criteria for Small Heat Pumps. 20<sup>th</sup> *International Congress of Refrigeration, IIR/IIF*, Sydney, 1999.
28. Fort, K. (1987). Untersuchung des dynamische Verhaltens von Fußbodenheizungen. *Klima Daelte Heizung* 15(12) s. 549-552.
29. Fort, K. (1993) *Optimaler betrieb von Fußbodenheizungen*. Forschungsbericht Bundesamt für Energiewirtschaft, Zürich.
30. Frederiksen, S. (1990) Lågtemperatur grogrund för legionella. *VVS-forum*, nr12, december 1990.
31. Friedlander, M. (1986) Premium heating with radiant slabs. *Solar Age Magazine*, April 1986, s 66-71.



32. Gibbs, D. R. (1994) Control of Multizone Hydronic Radiant Floor Heating Systems. *ASHRE transactions* 1994, Vol 100, Part 1, s. 1003-1010.
33. Gullberg, M. (1998). Heating Buildings with Excess Heat from Vehicles. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
34. Gummérus, P. & Werner, S. (1994) Låg temperaturnivå ger effektiv fjärrvärme. *VVF-nytt* 1994 nr 6, s. 14-15.
35. Gundersen, P. (1992) *Miljövennlige rimelige lavenergiboliger*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt, Prosjektrapport 105.
36. Gundersen, P. (1994) *Infiltrasjon og varmegjenvinning av grått avløpsvann fra bolig- og fritidshus*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt NBI Byggforskserien. Byggdetaljer A 515.455.
37. Gundersen, P. (1998) Energy Efficient Heating Plants Using Low-Temperature Water-Borne Heat. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
38. Gundersen, P. (2000) *Energiflexible varmeanlegg. Energieffektiv vannbåren lavtemperaturvarme*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt, Prosjektrapport 270.
39. Gustén, J. & Jagemar, L. (1992) *Hybridsolvärmehus i Göteborg, Mätning och utvärdering*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för Installations-teknik.
40. Hagstedt, B. (1978) Styrutrustningar för lågtemperatursystem. Stockholm: *VVS Special 1: 1978*. s. 65-70, Förlags AB VVS.
41. Hansson, L. (1997) Golvvärmen har kommit för att stanna. *VVS-forum*, nr 8, augusti 1997.
42. Harrysson, C. (1988) *Småhusets energiomsättning. Analys med särskild hänsyn till ingående delposters variationer*. Göteborg: Publikation 88:2, Avd. för byggnadskonstruktion, Chalmers tekniska högskola.
43. Harrysson, C. & Ljung, L. (1992) Luftvärme -Emissioner och föroreningar. *VVS-forum*, nr 10, oktober 1992. s 98, 100 och 102.
44. Harrysson, C. & Ljung, L. (1993) Observation of Air Heating Systems in Field Investigations. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Symposium. Building Physics in the Nordic Countries, Volume 2* Copenhagen, September 13-15, 1993.
45. Harrysson, C. (1997a) *Golvvärme eller radiatorsystem I småhus. Värdering genom praktiska mätningar enligt förlustfaktormetoden, registrering av el-, gas-, och vattenanvändning samt enkätundersökning*. Falkenberg: Bygg och energiteknik AB.

46. Harrysson, C. (1997b) Effektivt värmesystem minskar energianvändningen med 30 procent. *VVS-forum*, nr 5, maj 1997, s. 26-29.
47. Harrysson, C. (1997c) Golvvärmeundersökningen ger fabrikanterna kalla fötter. *VVS-forum*, nr 8, augusti 1997, s. 38-39.
48. Harrysson, C. (1997d) Golvvärme är i konflikt med regeringens energisparmål. *VVS-forum*, nr 10, oktober 1997, s. 33-34.
49. Harrysson, C. (1998a) Professor Christer Harrysson svarar på kritiken: "Vetenskaplig" kritik med bumerangeffekt. *Energi & miljö* 3/98.
50. Harrysson, C. (1998b) Harryssons slutreplik i golvvärmedebatten: Kritik blottar kunskapsbrist. *VVS-forum*, nr 5, maj 1998, s. 34-35.
51. Harrysson, C. (1999a) Erfarenheter av olika sätt att bygga: Innemiljö och energianvändning i småhus. *Bygg & teknik* 1999 nr 5, s. 41-44.
52. Harrysson, C. (1999b) Finns energisnåla golvvärmekonstruktioner? - Christer Harrysson reflekterar över Bromöllahuset. *VVS-forum* 1999 nr 10, s. 29-31.
53. Harrysson, C. (1999c) "Luftvärme", rapport från 1994 åter aktuell. *Byggnadskontakt* 1/9, s. 4.
54. Harrysson, C. (2000a) Energieffektiva golvvärmekonstruktioner kräver såväl minskad värmetröghet som ökad isolering. *Bygg & teknik* nr 4/00.
55. Harrysson, C. (2000b) Idéer till energieffektiv golvvärme. *Energimagasinet* nr 4, 2000, Årgång 21.
56. Harrysson, C. (2000c) Golvvärme behöver inte bli en energislösare. *VVS-forum* nr 9, September 2000.
57. Hastings, S. R. (1999) *Solar Air Systems, Built Examples*. IEA, Solar Heating and Cooling Programme. James & James (Science Publishers) Ltd.
58. Haurballe, B., Aadstrup, B. & Hammer, F. (1991) Low temperature district heating in Herning - demonstration shows promising results. Budapest: *Unical Congress*, 1991, VOL 1
59. Hauser, G., Kempkes, C. & Olesen, B. W. (2000), Computer Simulation of Hydronic Heating/Cooling System with Embedded Pipes. *ASHRAE Transactions* 2000, Part 1.
60. HEXATHERM Energietechnik Ges.m.b.H. (1998) Produktblad.
61. IEA (1995) *Solar Low Energy Houses of IEA Task 13*. Solar Heating & Cooling Programme, International Energy Agency, IEA.

62. Isakson, P. & Kellner, J. (1984) *En jämförelse mellan en lätt byggnad med aktiv värmelagring och en tung byggnad*. Stockholm: Byggeforskningsrådet.
63. Jahnsson, S. (1997) *2000- talets småhus. Resultat av etapp 1, granskning och utvärdering under vintern 96/97*. Energimyndigheten
64. Jahnsson, S. (2000) *Energieffektiva småhus för 2000- talet*. Eksjö: Energidoktorn Konsult HB. Kan laddas ner från <http://www.stem.se/>
65. Jansson, T. & Larsson, T. (1976) *Rapport beträffande möjligheterna att utnyttja lågvärdig värme för uppvärmning med tak av korrugerad plåt och varmvattenrör*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. Avd för installationsteknik
66. Jensen, A. (1980) Lågtemperatur i en undercentral för fjärrvärme. *VVS 1980* nr 11, s 97-98, 100-102, 105-106.
67. Jilar, T. & Larsson, T. (1979) Low Temperature Heating of Factory Roofs. *Building Research and Practice*, September/October 1979.
68. Jóhannesson, G. (1998) Systems for Low Temperature Space Heating. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
69. Johansson, B. & Öhman, T. (1983) *Sänkning av fjärrvärmtemperaturer*. Byggeforskningsrådet, R55:1983.
70. Johansson, C. & Pettersson, B. (1984) *Takvärme – energiförbrukning och inomhusklimat*. Byggeforskningsrådet, R12:1984.
71. Johansson, C. (1993) *Termisk komfort i småhus -Luftburen värme eller radiatorer*, Dokument D20:1993, Licenciatuppsats vid Installationsteknik, CTH, Göteborg.
72. Johansson, C. (1994) *Energiförluster i småhus vid givna kriterier för termisk komfort. Metodik för utvärdering av olika typer av uppvärmning*. Borås: Sveriges provnings- och forskningsinstitut SP, rapport 1994:12.
73. Kalema, T. (1998) Optimisation of the Thermal Insulation of a Building Envelope – the Optix Program. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
74. Karlsmyr, M. (1990) Takvärmesystemen allt bättre och effektivare, trots misstro. *Energi & miljö* 2/90.
75. Kollmar, A. (1954) Welche Deckentemperatur ist bei der Strahlungsheizung Zulässig? *Gesundheitsingenieur* 1954 s. 22-29.
76. Koschenz, M. & Dorer, V. (1996) Design of Air Systems with Concrete Slab Cooling. *5<sup>th</sup> international Conference on Air Distribution in Rooms, ROOMVENT '96* July 17-19.

77. Koschenz, M. & Dorer, V. (1999) Interaction of an Air System With Concrete Core Conditioning. *Energy and Buildings* 30, 1999 s. 139-145.
78. Koschenz, M. & Lehmann, B. (2000) *Thermoaktive Bauteilsysteme tabs*. Dübendorf: EMPA. Überlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf.
79. Kronvall, J (1998a) Golvvärme kontra radiatorer: En felaktig undersökning om energianvändning. *Energi & miljö* 2/98.
80. Kronvall, J. (1998b) Kronvalls slutreplik i golvvärmedebatten: Råsopar är bara halmstrån. *VVS-forum* nr 5, maj 1998, s 34.
81. Larsson, S. (2000) *Solvärme i lågtemperatursystem*. Vattenfall Utveckling AB, Ny Energi- & Miljöteknik.
82. Laurén, K. (1997) Regelbrott sparar fjärrvärme. *Energimagasinet* 6: 97.
83. Lebrun, J. J. & Marret, D. J. (1977) Heat Losses of Buildings with Different Heating Systems. *International Conference on Energy Use Management*, Vol. 1. Tuscon, Arizona. Oct 24-28, 1977.
84. Lebrun, J. J. & Marret, D. J. (1979) Thermal Comfort and Energy Consumption in Winter Conditions –Continuation of the Experimental Study. New York: *ASHRE transactions* 1979, II, Vol 85.
85. Leigh, S. B. (1991). An Experimental Study of the Control of Radiant Floor Heating Systems. *ASHRAE transactions* 1991, s. 800-808.
86. Leigh, S. B. & MacCluer, C. R. (1994) A Comparative Study of Proportional Flux-modulation and Various Types of Temperature- Modulation Approaches for Radiant Floor Heating System Control. *ASHRE transactions* 1994, Volume 100, Part 1, s. 1040-1053.
87. Letz, T. & Papillon, P. (2000) *An original French combisystem: Direct solar floor principles and in-situ monitored results*. Clipsol, French agency for Environment and Energy management.
88. Liu, Z., Stout, J. E., Tedesco, L., Boldin, R. N., Hwang, C. C. & Yu, V. L. (1994) Ultraviolet Light Irradiation of Potable Water for Legionella Colonization in a Hospital Water Distribution System. *ASHRE transactions* 1994, Volume 100, Part 1, s. 153-159.
89. Ljungqvist, J. (1997a) Orimligt påstående om golvvärmeförluster. *VVS-forum*, nr 8, augusti 1997, s. 34-36.
90. Ljungqvist, J. (1997b) Vi håller huvudet kallt. *VVS-forum*, nr 10, oktober 1997, s. 33-34.

91. Ljungqvist, J. & Bergsten, R. (1998) Internal low temperature heated wall in a well insulated one family house. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
92. Lood, A. (1998) *Datorreglerad golvvärme*. Rapport TABK-98/1019. Lund: Byggnade och arkitektur, Lunds Tekniska Högskola.
93. Lorenz, K., Persson, T. & Bales, C. (1997) Comparison of External DHW Load Side Heat Exchange Units for Small Solar Storage Systems. *North Sun 97*. June 9-11 Espoo-Otaniemi, Finland. s. 161-168.
94. Lorenz, K., Tepe, R. & Persson, T. (1999) *Beskrivning av uppvärmningssystem med solfångare och värmepump*. Internrapport vid Centrum för solenergiforskning, SERC, Högskolan Dalarna.
95. Lorenz, K. (2000) Värmesystemets inverkan på solvärmeutbytet. Kapitel ur kommande Lic-avhandling. Borlänge: SERC, Centrum för solenergiforskning, Högskolan Dalarna.
96. Lundin, S-E. Nordell, B. Hellström, G. Dalenbäck, J-O. Sjöstedt, S. & Brinck, B. (1998). *Solvärme och säsongslagring med borrhål i berg och lågtemperatursystem för bostadsområde i Anneberg, Danderyd. (2. uppl) Förprojektering 1998-03-31*. Uppsala: Bjerking ingenjörbyrå AB.
97. Lönn, H. (2000) Tre års golvvärmeforskning –bondfångeri? *VVS-forum*, nr 1, januari 2000.
98. Lööf, J. (1999) Golvvärme i skånehus: Unik undersökning ska räta ut frågetecknen. *VVS-forum*, nr 9, september 1999.
99. MacCluer, C. R. (1989). The Control of radiant slab. *ASHRAE Journal*, September 1989, s. 28-33.
100. MacCluer, C. R. (1990). Analysis and Simulations of Outdoor Reset Control of Radiant Slab Heating Systems. *ASHRAE transactions* 1990, s. 1283-1287.
101. Meierhans, R. A. (1993) Slab Cooling and Earth Coupling, *ASHRAE Transactions* 1993, 99(2)
102. Meierhans, R. A. (1996) Room Air Conditioning by means of Overnight Cooling of the Concrete Ceiling. *ASHRAE Transactions* 1996 Part 1, s. 693-697.
103. Meierhans, R. A. (1998) *Neuartige Kühlung von Bürogebäuden - Kombination passiver und aktiver Kühlung*. NEFF Projekt 464. Dübendorf: EMPA. Überlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf.
104. Merckell, A-L. (1990) *Luftströmmar och temperaturprofiler i rum med varma golv eller tak –en litteraturstudie*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning BFR. Anslagsrapport 890817.

105. Michel, E. & Isoardi, J.-P. (1993) Cooling Floor. *Proceedings of Clima 2000*, London.
106. Midkiff, K. C., Gelinas, K. R. & Brett, C. E. (1995) Seasonal Thermal Storage in an Aquifer for Building Air Conditioning. *Solar Engineering – Vol. 1*, ASME 1995.
107. Neumann, C. (1996). *Small Combined Solar Systems. Influence of Different Heating Systems and Building Types on the Thermal Performance*. Examensarbete E129:1996, Institutionen för installationsteknik, Chalmers tekniska högskola.
108. Neumann, C., Dahm, J. & Zinko, H. (1996) *Solvärme och golvvärme – en ideal kombination*. Nyköping: ZW Eneriteknik.
109. Neumann, C., Dahm, J. & Zinko, H. (1998) Distribution av solvärme i småhus. Små skillnader mellan golv- och radiatorvärme. *Energimagasinet Nr.5 1998, Årgång 19*. s. 52-57. Teknikförlaget Facktidnings TFAB, Halmstad
110. Nordell, B. (1998) Solar Heated high temperature Seasonal Heat Store for Low Temperature Heating of 100 Single-family Houses. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
111. Nordström, C. (1999) *Möjligheter för miljonprogrammet*. Svensk byggtjänst.
112. Norén, A., Akander, J. Isfält, E. & Söderström, O. (1999) *The effect of Thermal Inertia on Energy Requirement in a Swedish Building – Results Obtained with Three Calculation Models*. Stockholm: Department of Building Sciences, Royal Institute of Technology.
113. Norlin, C. (1998) *Uppvärmning av småhus. Jämförelse mellan golvvärme och radiatorvärme*. Uppsala Universitet, Byggnadsingenjörsprogrammet, Examensarbete 10 poäng, Uppsala.
114. Nyman, H. (1997). *Lågtemperatursystem för värmedistribution med värmepump – en inledande studie*. Stockholm: Internrapport vid Inst. för energiteknik, Avd. för Tillämpad termodynamik och kylteknik, KTH.
115. Olesen, B. W. & Kjerulf-Jensen, P. (1979) Energy consumption in a room heated by different methods. *Proc. Of Second International CIB Symposium on Energy Conservation in the Built Environment, Copenhagen, 1979*.
116. Olesen, B. W., Mortensen, E., Thorshauge, J. & Berg-Munch, B. (1980) Thermal Comfort in a Room Heated by Different Methods. New York: *ASHRE transactions*, 86:1, 1980.
117. Olesen, B. W. & Zöllner, G. (1987) Experimentelle Untersuchung zum Energieverbrauch unterschiedlicher vergleichbarer thermischer Behaglichkeit. *Internationaler Velta Kongress*, 4-7 April 1987.

118. Olesen, B. W. (1994) Comparative Experimental Study of Performance of Radiant Floor Heating System Under Dynamic Conditions. *ASHRE transactions* 1994, Vol 100, Part 1.
119. Olesen, B. W. (1996) Indoor climate measurements in two low-energy houses. *International Congress ONDOL '96*, SAREK, Seoul, 1996.
120. Olesen, B. W. (1997) Possibilities and Limitations of Radiant Floor Cooling. *ASHRE transactions* 1997 Part 1, s 42-48.
121. Olesen B. W., Michel, E., Bonnefoi, F. & De Carli, M. (2000) Heat Exchange Coefficient Between Floor Surface and Space by Floor Cooling-Theory or a Question of Definition. *ASHRE transactions* 2000, Part 1. s 6894-694.
122. Op 't Veld, P.J.M. (1998) The Dutch Exergy House Design Competition. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
123. Peng, S. (1996) Investigation of draft due to cold window in a climate chamber. *Indoor Air '96*, Nagoya, Japan.
124. Persson, T. Lorenz, K. & Bales, C. (1996) *Provning av tappvattenautomater kopplade till ackumulatortank*. Borlänge: Centrum för solenergiforskning SERC, Högskolan Dalarna.
125. Persson, T. (1999) *Solvärmepotential för kombisystem och inverkan av temperaturnivåer och lagerstorlek*. Internstudie. Borlänge: Centrum för solenergiforskning SERC, Högskolan Dalarna.
126. Platell, O. B. (1993) *Energisystemen i morgondagens ekologiska samhälle. Teknisk och ekonomisk analys*. Byggforskningsrådet R45: 1993.
127. Platell, O. B. (1998) LOWTE (LOW Temperature Energy) for cost effective utilizing of waste heat and solar energy. (Stockholm) *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
128. Rekstad, J. Bjerke, B & Meir, M. (1998) *Combined Solar Heating Systems*. Norway: SolarNor.
129. Rekstad, J., Skjelland, I., Mehr, M. & Bjerke, B. (1999) *Vannbåren gulvvarme og energiøkonomi. Riktig regulering og temperaturstyring er avgjørende*. Oslo: Solar-Nor AS, 1999 - 1. opplag.
130. Rekstad, J., Henden, L., Imenes, A.G., Ingebretsen, F., Mehr, M. Bjerke, B. & Peter, M. (2000) *Effective Solar Energy Utilisation –More dependent on System Design than Solar Collector Efficiency*. Department of Physics, University of Oslo, Norway.

131. Roots, P. (1998) *Värmeförlust från en grund som utföres med golvvärme*. Gävle: Högskolan i Gävle.
132. Roots, P. (2000a) *Värmeförlust från en grund vid ickestationärt förhållande*. Gävle: Högskolan i Gävle.
133. Roots, P. & Hagentoft, C-E. (2000b) Golvvärme kan ge både lägre och högre energianvändning. *Energimagasinet* 5/00.
134. Roots, P. & Hagentoft, C-E. (2000c) Grundläggande fakta om golvvärme. *Bygg & Teknik* nr 6/2000.
135. Saastamoinen, J. (1994) Heating Energy Reduction of Buildings in Cold Climates. Finland: Technical Research Centre of Finland, VTT. *Energy and buildings* Volume 21, Issue 3 1994.
136. Sakellari, D. & Lundqvist, P. (2000) Towards Energy-use Optimisation of a Domestic Heating System Based on a Heat Pump. *Proceedings of ASME-ZSITS International Thermal Science Seminar*, June 11-14, 2000, Bled, Slovenia
137. Schmidt, D. & Jóhannesson, G. (2000) *Efficient Modelling of Hybrid Building Components*. Stockholm: KTH, The Royal Institute of Technology, Division of Building Technology.
138. SERA Wandheizung (1998) Produktblad.
139. Simmonds, P. (1994) Control Strategies for Combined Heating and Cooling Radiant Systems. *ASHRE transactions* 1994, Vol 100, Part 1.
140. Simmonds, P., Holst, S., Reuss, S. & Gaw, W. (2000) Using Radiant Cooled Floors to Condition Large Spaces and Maintain Comfort Conditions. *ASHRE transactions* 2000, Part 1. s. 695-701.
141. Skjøth, P. (1999) Gulvvarme slår hul i økonomien. Kolding, Danmark: *Dagblade* 28.09.1999.
142. Statens planverk (1980) *SBN 80, Statens planverks författningssamling 1980:1*
143. SUN POWER Energiesysteme (1998) Produktblad.
144. Suter, J-M., Letz, T., Weiss, W. & Inäbnit, J. (2000) *Solar Combisystems in Austria, Denmark, Finland, France, Germany, Sweden, Switzerland, the Netherlands, and the USA, Overview 2000. IEA SHC – TASK 26*. Büro n+1, Bern, Switzerland. Available at: [//members.aon.at/~steinhub/t26bro/index.html](http://members.aon.at/~steinhub/t26bro/index.html)
145. Svenre, T. (1987) Klimaburen –värmer, kyler, isolerar. *VVS & energi* 7-8/87.
146. Wahlgren, N-E. (1999) Nya Teorier om legionella –köldmediepåverkad sur inandningsluft bäddar för legionellaangrepp. *VVS-Forum*, nr 11, november 1999.



147. Wall, G. (1978) Energiräkenskap med exergi. Stockholm: VVS *Special* 1: 1978 sid 8-12, Förlags AB VVS.
148. Wallin, O. & Jóhannesson, G. (1998) Innovative concepts. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
149. Weber, T. Schmidt, D. & Jóhannesson, G. (2000) *Concrete Core Cooling and Heating – a Case Study about Exergy Analysis on Building Components*. Stockholm: KTH, The Royal Institute of Technology, Division of Building Technology.
150. Vejsig, P. (1995) *Totalenergiløsninger i Skotteparken, Egebjerggård i Ballerup*. Cenergia Energy Consultants. Energistyrelsen, Ballerup.
151. Zaheer-Uddin, M., Zhengh, G. R. & Cho, S-H. (1997) Optimal operation of an embedded-piping floor heating system with control input constraints. *Energy Conversion and Management*, Volume 38, Issue 7, May 1997, s. 713-725.
152. Zimmermann, M. & Meierhans, R. (1998a) The “Dow-Building“ Headquarters DOW EUROPE Horgen/Switzerland. Concrete core Cooling –Active Load Shift To Cooler Night Hours. *Case Studies of Low Energy Cooling Technologies*. International Energy Agency, Annex 28 – Low energy Cooling.
153. Zimmermann, M. & Cornu, C. (1998b) The Sarinaport Office Building Fribourg, Switzerland. Slab Cooling and Heating (Water). *Case Studies of Low Energy Cooling Technologies*. International Energy Agency, Annex 28 – Low energy Cooling.
154. Zimmermann, M. (1999) *Rationelle Energienutzung in Gebäuden, Handbuch der passiven Kühlung*. Dübendorf: EMPA ZEN, ISBN 3-905594-06-4.
155. ZW Energiteknik AB (1998) *Fjärrvärme med låga temperaturer kräver nytt taxesytem*. Nyköping: Informationsblad från ZW Energiteknik AB nr 6, december 1998.
156. Åström, H. (1998) Thermo Net – A Significant Advance in Energy Technology. Stockholm: *IEA Future Buildings Forum, Low Temperature Heating Systems in Buildings – Workshop*. Available at: <http://www.bim.kth.se/fbf/>
157. Åström, M. (1997) Skrämselpropaganda om golvvärme. *VVS-forum*, nr 6/7, juni/juli 1997.