



# Kombinerade bio- och solvärmesystem

## Handbok för systemutformning

Tomas Persson

SERC, Högskolan Dalarna, Borlänge

Version 2008:2 – november 2008



**CHALMERS**



EUROPEISKA UNIONEN  
Europeiska regionala  
Utvecklingsfonden



En rapport inom projektet *Integrerade system för bio- och solvärme* och *SWX energi* som finansieras av Energimyndigheten, Europeiska regionala Utvecklingsfonden, sol- och pellet-branschen, Region Gävleborg och Region Dalarna.



## **FÖRORD**

Denna handbok är framtagen inom projekten "Integrerade system för bio- och solvärme" och SWX energi och är avsedd för de företag som deltar i projektet. Syftet är att sammanställa information om hur effektiva och miljöriktiga värmesystem med sol och pellet kan konstrueras och dimensioneras. Informationen baseras på en litteraturstudie bland forskningsresultat och fokus är riktad på den information som framkommit i sol- och pelletrelaterade doktorandprojekt vid SERC, Högskolan Dalarna. Av naturliga skäl saknas slutsatser i handboken, eftersom ingen värdering och jämförelse av forskningsresultaten har gjorts i detta arbete.

Jag hoppas att denna första version av handboken kan ge inspiration och information i arbetet med systemutvecklingen så att de utvecklade systemen blir bra och kan utmana de verkliga konkurrenterna, nämligen värmepumparna.

Borlänge, september 2008  
Tomas Persson

## SAMMANFATTNING

Syftet med denna skrift är att sammanställa den kunskap som finns beträffande kombinerade pellet- och solvärmesystem för att på så sätt stödja företagen i deras systemutveckling. Denna skrift behandlar erfarenheter som gjorts inom forskning på sol och pellet och omsätter dessa i praktiska råd för systemutformning. Förslag ges på systemutformning, olika tekniska lösningar samt hur systemen bör styras.

När solvärme och pellet skall kombineras finns det många möjligheter att koppla ihop systemen. Det finns olika traditioner i olika länder, vilket gör att systemlösningarna varierar från land till land. En generell slutsats är dock att konventionella svenska pannor med inbyggd varmvattenberedning inte är lämpliga i konventionella solvärmesystem. Det ger komplicerade systemlösningar och det är svårt att åstadkomma bra skiktning i tanken.

I ett solvärmesystem är det viktigt att tanken kan laddas ur på ett sådant sätt att kraftig skiktning erhålls. Det betyder att tankens botten skall kylas ner till temperaturen på ingående kallvatten och att tankens mellersta del skall kylas till samma temperatur som radiatorreturen. Om solfångaren även vintertid kan arbeta med att förvärma kallvatten av 10 till 20°C fås en betydligt bättre verkningsgrad på solfångaren än om radiatorreturen skall förvärmas, som i bästa fall ligger på en temperaturnivå på mellan 30 och 40°C. Av denna anledning skall radiatorreturen placeras en bra bit upp från botten i ackumulatortanken och tappvattnet skall förvärmas i en slinga som börjar i tankens botten. Om det finns ett VVC-system måste systemet anslutas på ett speciellt sätt så att inte tankens skiktning störs.

En annan viktig parameter i tankens utformning är att värmeförlusterna hålls låga, detta är viktigt för att klara tappvattenlasten med solvärme även under mulna perioder under sommaren och för att hålla energianvändningen låg. I moderna hus där tanken placeras i boutrymmet blir det också en komfortfråga för att undvika övertemperaturer i rummet där tanken placeras. För att få en bra isolering måste man se till att det finns ett lufttätt skikt över hela isoleringen som dessutom sluter tätt mot röranslutningar. Ofrivillig själv-cirkulation i anslutande kretsar som kan kyla av och blanda om ackumulatortanken skall förhindras med backventiler.

Vid design av solfångarkretsen måste överhettning och stagnation kunna klaras utan glykolnedbrytning eller andra skador. Partiell förångning innebär att man låter solfångaren koka på ett kontrollerat sätt så att endast ånga blir kvar i solfångaren. Vätska samlas i ett större expansionskärl och systemet återfylls när vätskan kondenserar. Dränerande system med enbart vatten är också en möjlighet, men kräver större noggrannhet vid installationen så att sönderfrysning undviks.

Pelletkaminer (luftburna) ger god komfort och lågt elbehov i direktelvärmda hus med öppen planlösning, dvs. om värmen från kaminen kan spridas till alla rum utan att behöva passera genom mer än en dörröppning. Även i lågenergihus kan den luftburna kaminen vara lämplig. I hus med mer sluten planlösning krävs en vattenmantlad kamin med hög andel värme till vattenkretsen och ett vattenburet värmesystem. Det är viktigt att sådana system utformas korrekt för att komforten skall bli hög och elanvändningen låg. Brukarens aspekter och komfortkrav måste beaktas vid användning av kaminer, eftersom det krävs en temperaturskillnad mellan olika rum för att få värmespridning från det rum där kaminen är placerad.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INTRODUKTION .....	5
2	SOLVÄRMESYSTEM .....	7
2.1	Solfångartyper .....	7
2.2	Systemuppbyggnad .....	7
2.3	Solvärmekretsen .....	10
2.4	Akkumulatortanken .....	14
2.5	Värmeförluster från ackumulatortankar .....	16
2.6	Varmvattenberedning .....	19
2.7	VVC-krets .....	22
2.8	Legionellarisker .....	24
2.9	Dimensionering .....	24
2.10	Hur mycket energi kan man spara med solvärme? .....	30
2.11	Faktorer som påverkar solvärmeutbytet .....	34
3	PELLETPANNOR OCH SOLVÄRME .....	45
3.1	Systemuppbyggnad .....	45
3.2	Reglering av pelletpannan .....	48
3.3	Faktorer som påverkar verkningsgrad och emissioner .....	51
3.4	Generella rekommendationer .....	53
4	PELLETKAMINER OCH SOLVÄRME .....	55
4.1	Systemuppbyggnad .....	55
4.2	Reglering av pelletkaminen .....	56
4.3	Faktorer som påverkar el-besparing, verkningsgrad och emissioner .....	57
5	VATTENMANTLADE PELLETKAMINER OCH SOLVÄRME .....	60
5.1	Systemuppbyggnad .....	60
5.2	Reglering av systemet .....	61
5.3	Faktorer som påverkar el-besparing verkningsgrad och emissioner .....	65
	REFERENSER .....	67
	Bilaga 1. Simulerade hustyper .....	71



## 1 INTRODUKTION

Den rådande utvecklingen med kraftigt ökande biobränsleanvändning kommer sannolikt att skapa en framtida bristsituation och öka priset på biobränsle. Genom att kombinera biobränsleledning med solvärme kan vi hushålla med biobränsleresurserna och göra att bränslet räcker längre. I villor har pelletledningen ökat kraftigt de senaste åren [37], men det är endast i undantagsfall som systemen kombineras med solvärme.

Det är få installatörer som tillhandahåller integrerade villasystem med biobränsle och sol och det finns ingen testmetod för att dokumentera systemens funktion. Det förekommer en hel del problem för konsumenten vid installation av bio- och solvärmesystem [21]. Forskning visar att just systemutformningen är avgörande för att uppnå hög systemverkningsgrad, högt solvärmestillskott och låga kolmonoxidutsläpp [48]. Hög kolmonoxidhalt indikerar dålig förbränning.

Mycket talar för att kombinationen biobränsle och sol är ett bra alternativ. Låglastdrift av villapanor under sommarperioden medför låg pannverkningsgrad [28, 56, 67, 68] och förhållandevis stora utsläpp av kolmonoxid [50, 52]. Solvärmens möjliggör att pannan kan hållas avstängd under sommaren, vilket innebär minskade pannförluster och kraftigt minskade kolmonoxidutsläpp. Med väl utformade system kan kolmonoxidutsläppen reduceras kraftigt med solvärme [50] och besparingen i pellet kan t.o.m. bli större än solvärmestillskottet [49]. Det går då också att räkna hem investeringen för solvärmens [48].

Pellettekniken har i Sverige främst utvecklats som en egen nisch för att ersätta oljeledning. Den viktiga marknaden under 2007 [37] ger en indikation på att det finns ett utvecklingsbehov av tekniken för att kunna ta upp kampen med värmepumparna. Det innebär att system för helt andra målgrupper behöver utvecklas. Nu handlar det om elvärmda villor med betydligt lägre energibehov och där det inte finns tillgång till pannrum och andra biutrymmen. Systemen behöver förfinas så att installationsarbetet förenklas och att god funktion kan garanteras. Dessutom bör handhavande för uraskning/rengöring minskas och förenklas.

För att åstadkomma detta är utveckling av "standardiserade" paketslösningar med bio- och solvärme med en rejäl uppföljning med mätningar och utvärdering ett viktigt steg i utvecklingen. Reglersystemen behöver också utvecklas så att färre enheter behövs och så att intrimning, service och skötsel förenklas.

### *Syfte*

Syftet med denna skrift är att sammanställa den kunskap som finns beträffande kombinerade pellet- och solvärmesystem för att på så sätt stödja företagen i deras systemutveckling.

Denna skrift behandlar erfarenheter som gjorts inom forskning på sol och pellet och omsätter dessa i praktiska råd för systemutformning. Förslag ges på systemutformning, olika tekniska lösningar samt hur systemen bör styras.



## 2 SOLVÄRMESYSTEM

En solvärmeanläggning består av solfångare som omvandlar solljuset till värme, en ackumulatortank där värmen lagras samt en värmelast där den infångade solvärmens nyttiggörs. Till detta behövs pumpar, reglercentral, värmeväxlare och även expansionskärl, filter samt säkerhetsventiler. I *tappvarmvattensystem* används solfångaren enbart för att generera varmvatten. I *kombisystem* (Figur 2.1) eller *kombisolvärmesystem* som de också kallas, används solvärmens både för uppvärmning och för varmvattenberedning. Handboken kommer främst att behandla kombisystemen, då de är den vanligaste systemlösningen om man skall kombinera sol och biobränsle i samma system. Andra böcker som också beskriver solvärmesystemens funktion, uppbyggnad och dimensionering har skrivits av Andrén [4] Kovács [25] och Weiss [70].

Det finns fortfarande en stor potential att förbättra kombisolvärmesystemen. T ex visar forskningsresultat att man kan konstruera solvärmesystem som ger 30 % mer energi jämfört med dagens standardssystem, utan att för den skull öka solfångararean.

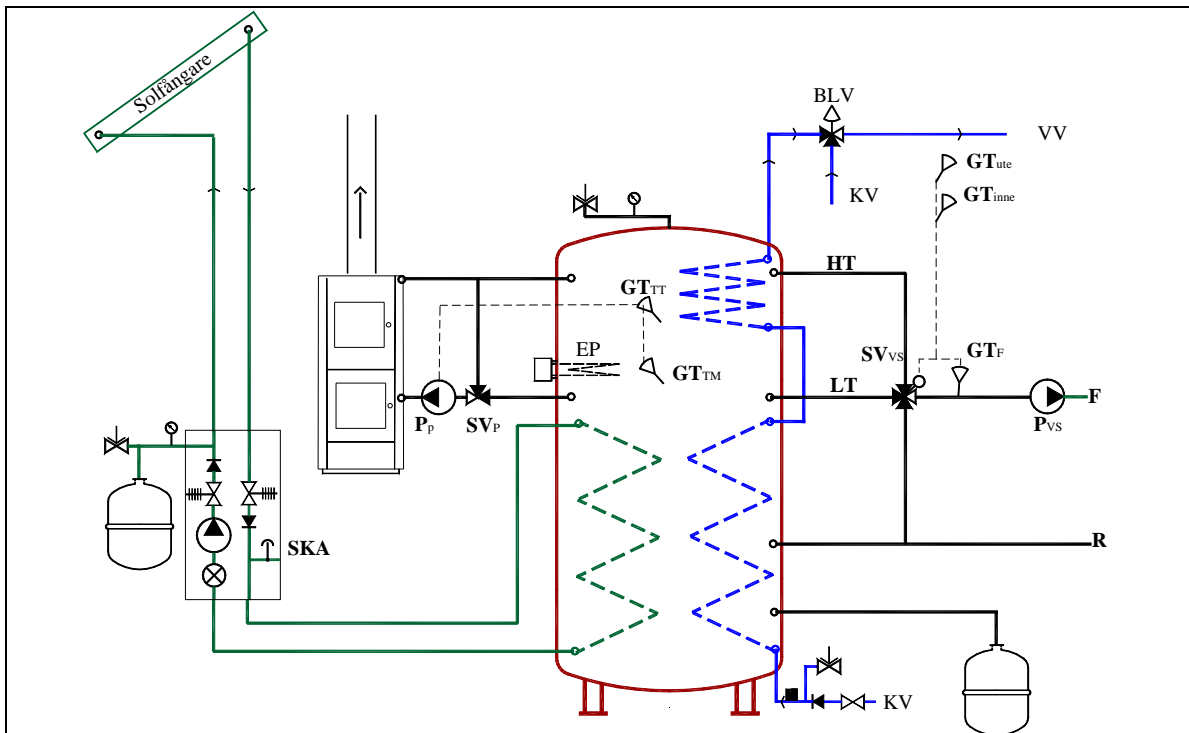
### 2.1 Solfångartyper

Den plana solfångaren med selektiv absorberator är vanligast förekommande i kombinerade pellet och solvärmesystem, men vakuumsolfångaren är på stark frammarsch. Det förekommer också solfångare med reflektorer i olika utföranden, men det är relativt ovanligt. Denna rapport avser inte att diskutera för- och nackdelar med olika solfångartyper, men solfångarens stagnationstemperatur måste beaktas vid design av överhettningsskydd för solfångarkretsen, liksom vid val av material, konstruktion och isolering.

### 2.2 Systemuppbyggnad

Kombisolvärmesystemet byggs vanligtvis kring en ackumulatortank. Principen för ett typiskt svenskt standardkombisystem visas i Figur 2.1. På hustaket finns en solfångare där värmebäraren (oftast glykolblandat vatten) hettas upp då solen skiner. Värmen från solfångaren leds till en vattenfylld ackumulatortank där värmen överförs till tanken genom ett inbyggt kamflänsrör. Tappvarmvattnet värms genom två kamflänsrör i tanken där det inkommande kallvattnet förvärms genom den nedre värmeväxlaren och eftervärms genom den övre värmeväxlaren. Med detta arrangemang får man bättre skiktning av tanken jämfört med om endast en värmeväxlare används. Bättre skiktning, dvs. kallare temperatur i botten av tanken, ger högre verkningsgrad hos solfångaren eftersom värmeförlusterna från solfångaren minskar. Bättre skiktning medför också högre temperatur i toppen av tanken och mindre behov av tillskottsenergi för t ex varmvattenberedning.

Från ackumulatortanken leds även värme till radiatorerna samtidigt som tillsatsenergin från en extern värmekälla, t ex el, olja eller vedpanna, kopplas till ackumulatortanken. Under sommarhalvåret används ofta en el-patron som tillsatsvärmekälla eftersom pannans verkningsgrad då är låg. En simuleringsstudie där pannan tillåts kallna av då den inte behövs visar att pelletbesparingen är mångdubbelt större än ökningen i elbehov [52]. Det beror på att om pannan skall kunna leverera värme måste den först värmas upp, och denna värme avgår sedan som förluster. Pannan i ett solvärmesystem skall absolut inte varmhållas hela sommaren, då det ökar systemets värmeförluster.



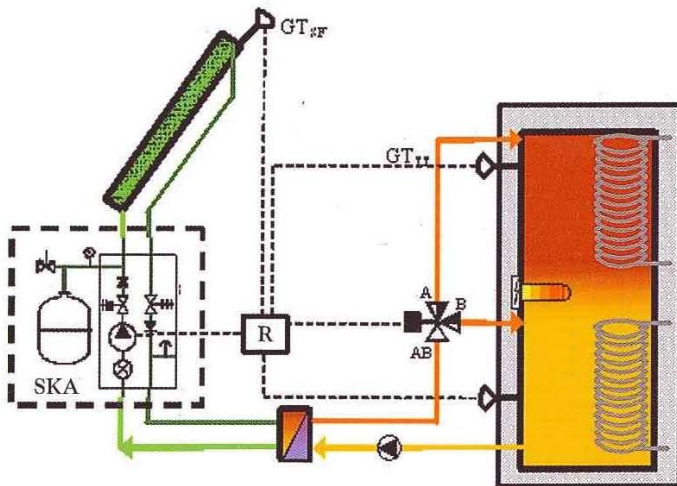
**Figur 2.1.** Exempel på uppbyggnad av ett typiskt svenskt kombisolvärmesystem. Förutom solfångarna finns en panna (t ex ved eller pellets) som levererar basvärmen under vinterhalvåret. Ofta finns även en el-patron för tillsatsvärme sommartid när pannan är avstängd.

I traditionella svenska system utan solvärme bereds tappvarmvattnet med en beredare i pannan och dessa pannor är då inte lämpliga i solvärmesystem [48].

Solfångarytan brukar variera mellan ca 7 och 20 m<sup>2</sup>, men vanligast är solfångarytor kring 10-12 m<sup>2</sup>. **En tumregel är att man bör ha 50-100 l ackumulatorvolym per m<sup>2</sup> solfångare**, vilket gör att ackumulatortankar på ca 750 l är vanliga i kombisolvärmesystem. Har man mindre volym är risken stor att tanken ofta blir fulladdad vilket gör att solfångarna utnyttjas sämre. Med för stor ackumulatortvolym ökar värmeförlusterna samtidigt som solfångarna ibland får svårt att värma tanken till önskad temperatur. Om man t ex har vedeldning med en modern keramikpanna bestäms ackumulatortvolymen av husets värmebehov och vedpannans storlek och beskaffenhet snarare än solfångarytan och då är det vanligt på tankar upp mot 2 till 3 m<sup>3</sup>

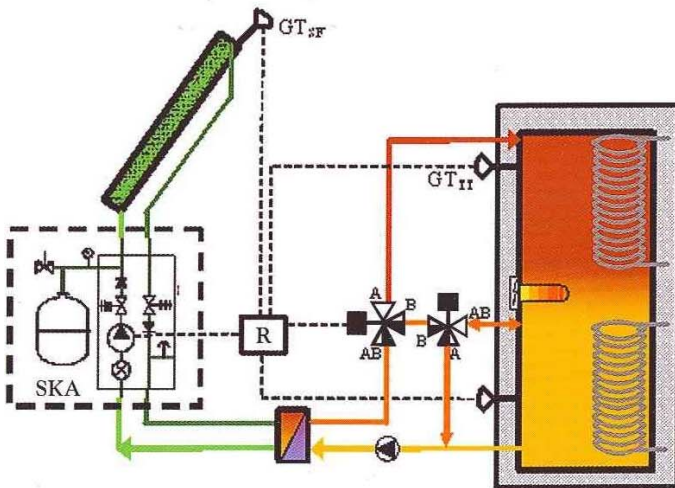
Om tanken är för stor kan man använda en slavtank som stängs av sommartid, eller andra inkopplingsalternativ för solfångaren Figur 2.2. Solfångaren arbetar då mot den övre slingan när tillräckligt hög temperatur kan uppnås och mot den undre slingan när endast låga temperaturer kan uppnås.

Denna handbok utgår från det typiskt svenska kombisystemet, vilket innebär att ackumulatortank utgör hjärtat i systemet. I andra europeiska länder ser systemen annorlunda och i många fall byggs de kring en separat varmvattenberedare med radiatorkretsen ansluten mot pannan [70]. Ett stort antal systemvarianter har analyserats i handboken av Weiss [70], men det går inte att göra några direkta jämförelser mellan systemen, eftersom olika pannor har använts i alla system. Vid SERC på Högskolan Dalarna utvecklades i samarbete med bl.a. DTU i Danmark ett mycket effektivt system baserat på solvärme och pellet/naturgas [16, 17, 20]. Systemet bestod av två 60\*60 moduler (Figur 2.3) och som alternativ kunde man också använda en vattenmantlad pelletkamin. Genom en avancerad styrning kunde maximal skiktning och högt solvärme erhållas. En separat tank värmdes upp för att klara varmvattenlasten och solvärmetanken isolerades med vakuumisolering för att spara utrymme.



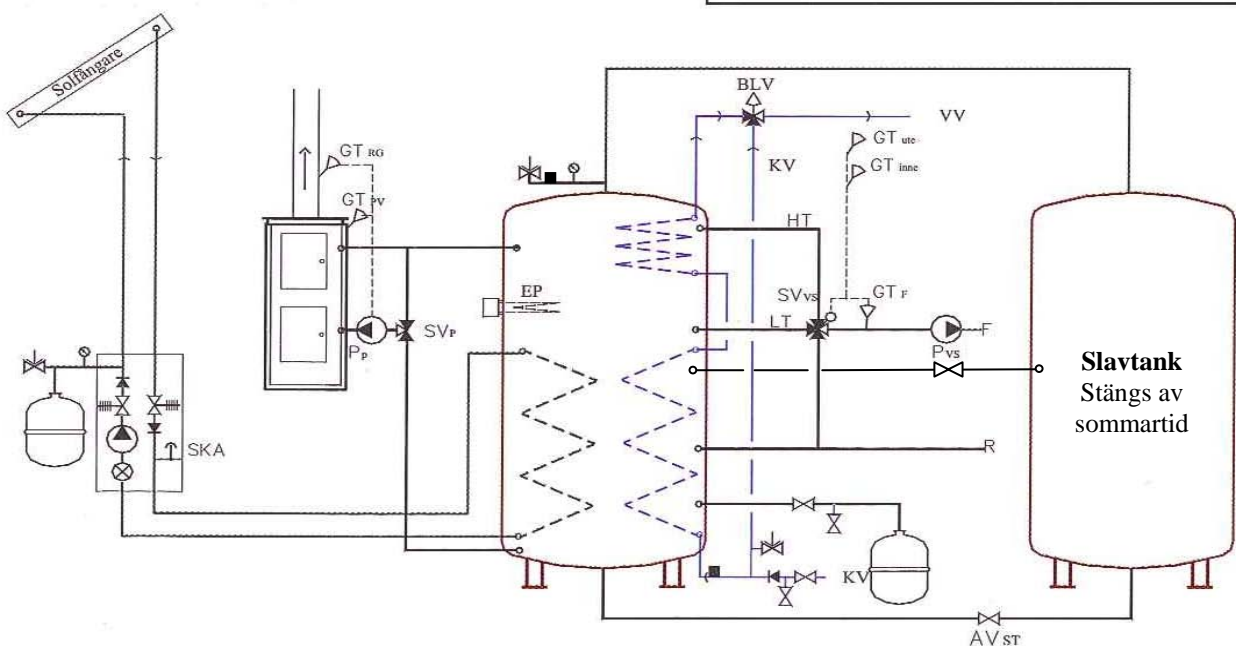
Solvärmeinkoppling via en extern plattvärmväxlare.

Solfångaren startas med botten-temperaturen som referens ( $GT_{sf} > GT_{tb}$ ). När  $GT_{sf} > GT_{tt}$  laddas tankens övre del (reglerventil AB-A). När solen inte räcker till eller när angiven topp-temperatur har uppnåtts, laddas tankens nedre del (reglerventil AB-B). Denna inkoppling ger en förbättrad skiktning i tanken. Det är viktigt att primär- och sekundärpumpen ger ungefär samma flöde. Temperaturhöjningen över värmväxlaren bör vid solsken vara minst 20 grader för att snabbt ge värme till tankens topp.

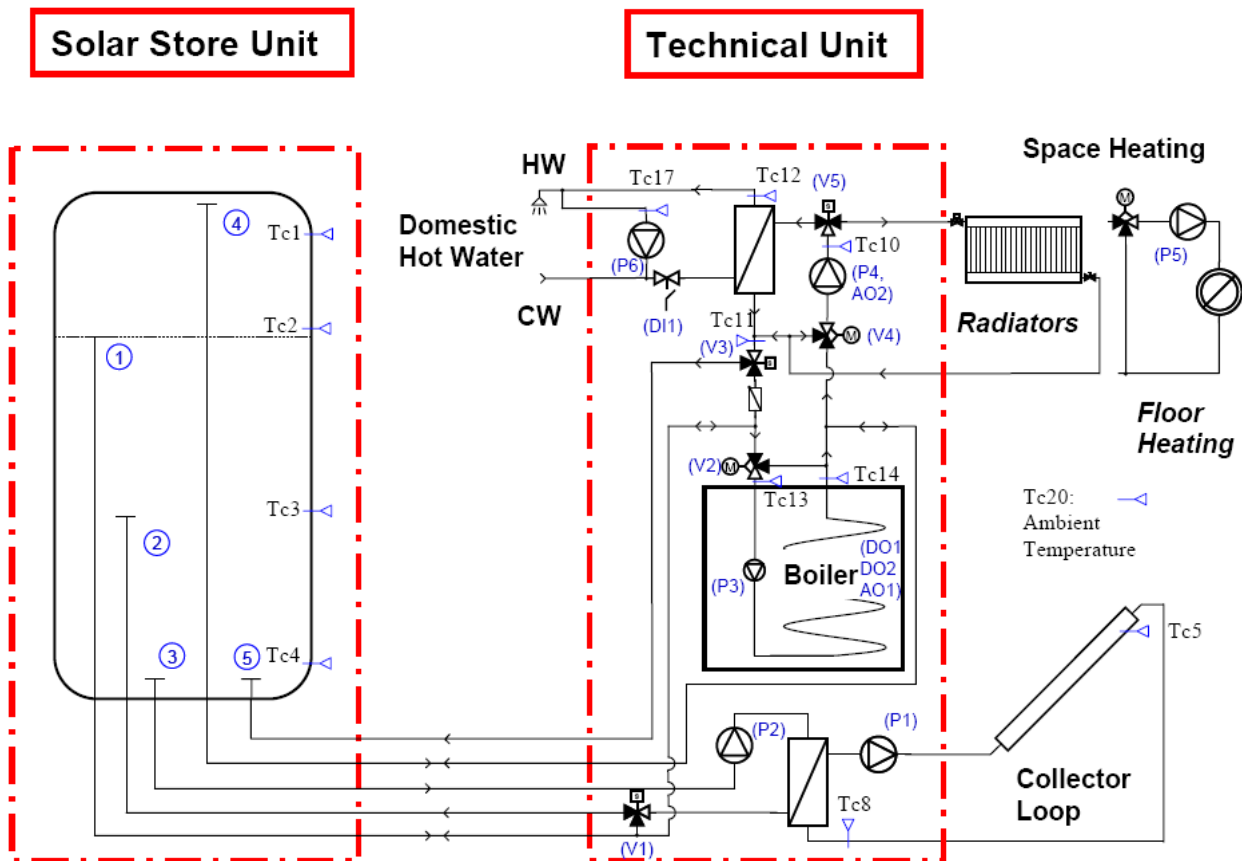


Solvärmeinkoppling via extern plattvärmväxlare plus två elektriskt styrda ventiler.

Tanken laddas i första hand i övre delen, båda ventilerna står på AB-A. En snabb uppvärmning av tanktoppen medför att elpatronen kopplas ifrån på ett tidigt stadium. När solen inte räcker till eller när angiven topp-temperatur har uppnåtts, laddas tankens nedre del (reglerventilerna AB-B). Denna inkoppling rekommenderas speciellt när en befintlig tank är "för stor" ( $> 100 \text{ l/m}^2$  solfångare) eftersom en traditionell solvärmeinkoppling skulle medföra stor tröghet. Stora tankar återfinns i anläggningar med vedpanna.



Figur 2.2. Olika sätt att ansluta solvärmeckretsen då tanken är för stor (större än  $100 \text{ liter/m}^2$ ) [33].



Figur 2.3. REBUS-systemet som utvecklades i ett nordiskt samarbete vid bl.a. SERC, Högskolan Dalarna och DTU, Danmark [20].

## 2.3 Solvärmekretsen

Ofta använder man **hög-flöde** genom solfångarna vilket innebär flöden i storleksordningen 40 till 50 l/h per m<sup>2</sup> solfångare. Detta passar en kompakt och lågt placerad värmeväxlare. Om **låg-flöde** används i solkretsen, vilket innebär flöden ned till ca 10 l/h per m<sup>2</sup> solfångare medför detta en högre inloppstemperatur till tanken. I så fall ska solvärmeväxlaren sträckas ut över en större del av tankens höjd (se Figur 2.2, där höjdskillnaden mellan inlopp och utlopp är över halva tankens höjd). På detta sätt kan energibesparingen ökas något beroende på att ökad höjd på spiralen ger bättre skiktning i tanken och därmed lägre inloppstemperatur till solfångarna [34]. Det är dock viktigt att kamflänsrörets inlopp inte är ovanför den temperaturgivare i akkumulatortanken som används för att styra tillsatsvärmens. Mätningar och simuleringar [34, 35] visar att ett lägre solfångarflöde kan ge en högre energibesparing, men detta förutsätter att alla övriga kretsar och komponenter inkopplas och styrs på ett optimalt sätt.

Lägre flöde i solkretsen har även fördelen att mindre rördimensioner till och från solfångarna kan användas, vilket innebär en kostnadsbesparing. Samtidigt minskar värmeförlusterna från rören om klenare rör kan användas. Vid användning av externa plattvärmväxlare bör vätskeflödet vara ungefär lika stort på båda sidor av värmväxlaren. För att kunna justera in detta krävs injusteringsventiler och termometrar.

Om solvärme ska installeras i ett befintligt värmesystem med ackumulatortank kan det vara aktuellt med en **extern solvärmeväxlare** (plattvärmeväxlare) om inbyggt kamflänsrör saknas i tanken. Nackdelar med extern värmeväxlare är att det behövs en extra pump på sekundärsidan vilket drar extra elenergi och att värmeförlusterna från solvärmekretsen blir högre.

### *Överhettning av solvärmesystemet*

Ett problem med kombisolvärmesystem är att de periodvis producerar mer värme än vad som behövs under sommaren. De reglerenheter för solfångarkretsen som idag används är i allmänhet inställda på att stänga av pumpen i solfångarkretsen om ackumulatortanken blir fylld med värme, vilket ofta definieras av att temperatur i tankens botten når 95°C. Då solfångarpumpen stängs av kommer solfångaren att fortsätta värmas upp tills den når sin **stagnationstemperatur** vilket är den temperatur då värmeförlusterna från solfångaren är lika stora som den solstrålning som absorberats av solfångaren. Då dagens solfångare är konstruerade för att ha små värmeförluster blir stagnationstemperaturen hög, ofta upp mot 200°C. Samtidigt som temperaturen ökar så ökar trycket i solfångarkretsen. Stagnation kan också inträffa även om tanken inte är laddad, t ex vid ett elavbrott då pumpen som cirkulerar vätskan i solfångaren stannar. Solfångaren, rör och isolering måste alltså vara konstruerade för att klara solfångarens stagnationstemperatur.

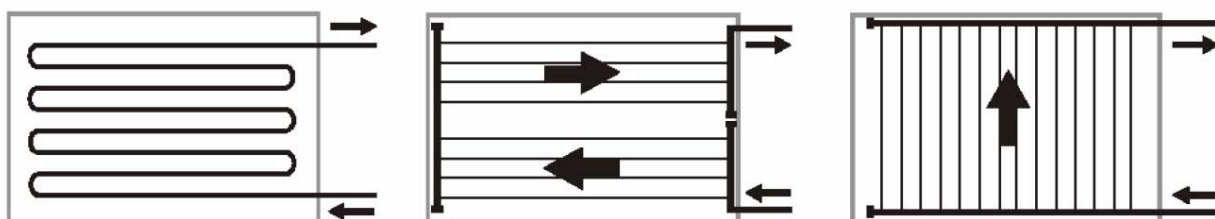
### *Högt tryck*

Solvärmesystemen måste alltid vara konstruerade för att klara av att hamna i stagnation. Den teknik som har varit dominerande i Sverige tidigare bygger på att trycket i solfångarkretsen tillåts öka upp till 9 bar, vilket förhindrar kokning upp till ca 180°C. Detta sätt att hantera situationer med överhettning av solvärmesystemet har flera brister. Den **värmebärare** som pumpas runt i solfångarkretsen är oftast en blandning av vatten och glykol för att förhindra sönderfrysning under vinterhalvåret och den skadas av hög temperatur. Det finns olika tillsatser (korrosionsinhibitorer) i glykolen för att förhindra korrosion i systemet och glykolen och korrosionsinhibitorerna bryts ner av höga temperaturer, och denna **glykolnedbrytning** leder till utfällningar, vilket kan sätta igen pump och filter i solfångarkretsen, samtidigt som frysskyddet och korrosionsskyddet försämras. Därför kan det vara nödvändigt att vätskan i solfångarkretsen byts ut efter ett antal år. Det är också en fördel att använda en glykol som är framtagen speciellt för solvärmesystem – de har betydligt längre livslängd än andra typer av glykoler som optimerats för bilkylare.

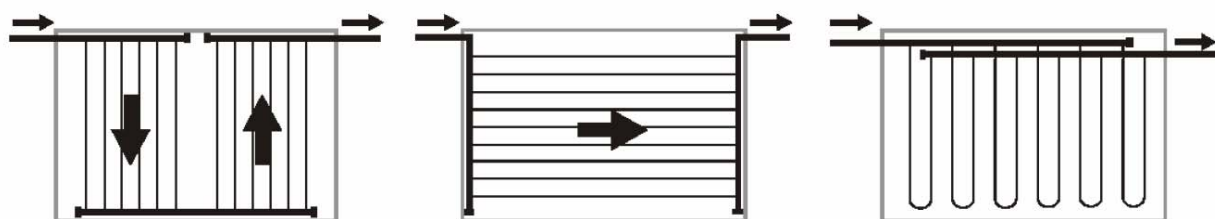
### *Partiell förångning*

I resten av Europa används ofta andra tekniker som t.ex. dränering eller partiell förångning [41] och dessa lösningar utsätter inte solvärmesystemet och värmebäraren för samma påfrestningar i form av höga tryck och höga temperaturer. Den allra vanligaste metoden i Europa för att undvika överhettning är ”**partiell förångning**” av värmebäraren [41]. Uppbyggnaden av ett system för denna teknik illustreras i Figur 2.6. Solfångarna kopplas in så att inkommande ledning (kall ledning) ansluts nedtill på solfångaren och utgående ledning (varm ledning) ansluts till toppen. Vätskan får aldrig strömma nedåt i solfångaren utan samma krav som skulle gälla för en dränerande solfångare skall också tillämpas vid partiell förångning.

Exempel på Solfångare med **goda** tömningsegenskaper för partiell förångning redovisas i Figur 2.4 och Solfångare med **dåliga** tömningsegenskaper för partiell förångning redovisas i Figur 2.5. Då solfångarna hamnar i stagnation kommer vätskan i solfångarna att börja koka vid ca 120°C och ånga samlas i toppen av solfångarna och vätskan trycks ned i ett expansionskärl inomhus. Solfångaren bör vara helt fylld med ånga vid en temperatur av ca 150°C. Då solfångarna svalnar kommer ångan i solfångarna att kondensera, varpå vätskan i expansionskärlet åter strömmar upp i solfångaren. För att detta skall fungera är det viktigt att pumpen inte är i drift eller tillåts starta när solfångarna är fyllda med ånga, dvs. vid temperaturer över 120°C.



Figur 2.4. Solfångare med *goda* tömningsegenskaper för partiell förångning [23].

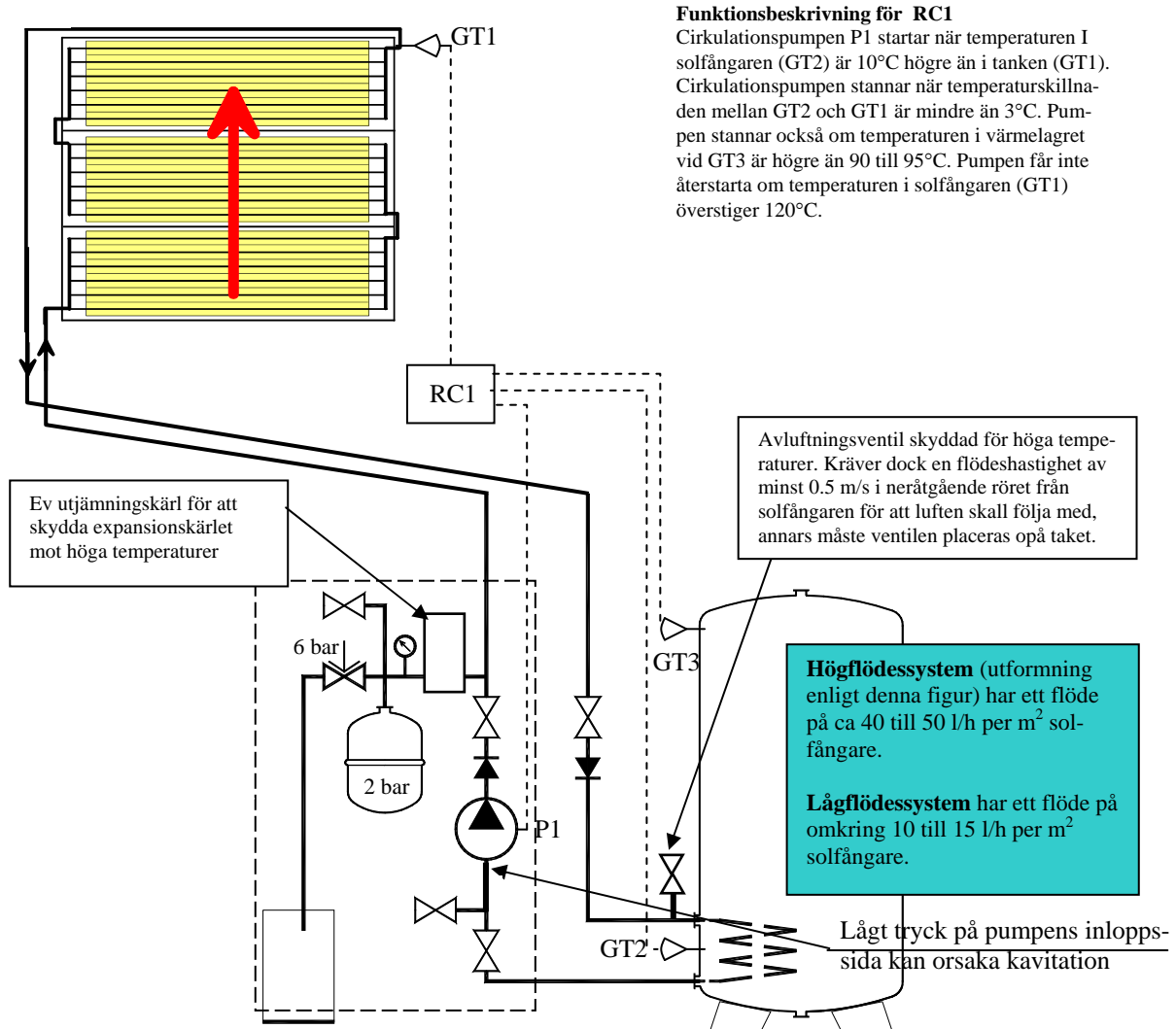


Figur 2.5. Solfångare med *dåliga* tömningsegenskaper för partiell förångning [23].

Det är viktigt att använda en glykol som är avsedd för ändamålet och som klarar förångning utan att lämna några fasta partiklar kvar i solfångaren. Solfångarna, kopplingarna mellan modulerna och även armatur med pump och expansionskärl måste vara anpassade för partiell förångning och det är viktigt att alla komponenter som utsätts för den heta ångan/vätskan klarar de höga temperaturerna. Fördelarna är dock uppenbara; vid stagnation är det bara en ytterst liten del av värmebäraren som utsätts för höga temperaturer, nämligen den ånga som finns kvar i solfångaren under stagnation. Nedbrytningen av glykolen blir därmed mycket långsammare än vid tillämpning av högt tryck för att förhindra kokning. För dimensionering av system med partiell förångning hänvisas till avsnitt 2.9 på sidan 24.

### Dränerande system

I vissa länder är det vanligt med **dränerande system**, vilket innebär att solfångaren töms på vätska då den inte är i drift, d v s då solfångarpumpen stannar. Metoden kan användas både för skydd mot stagnation och frysning, vilket medför att vanligt vatten kan användas i solfångarkretsen. Det finns då också möjlighet att undvika den värmeväxlare som normalt används i solfångarkretsen. Metoden är vanlig i t ex Holland och Norge och erfarenheter därifrån visar att det har utvecklats tillförlitlig teknik. Det krävs noggranna installationer för att tekniken ska fungera och dränering skall säkerställas utan risk för sönderfrysning. I allmänhet krävs det utbildade och erfarna installatörer för att rördragningen ska bli utförd på ett korrekt sätt. Det finns en informationsbroschyr med systemskisser på dränerande system från Energikonsulterna i Sverige AB [2].



**Figur 2.6.** Principen med partiell förångning. Vid stagnation bildas ånga i övre delen av solfångarna vilket trycker ut vätskan som samlas i ett expansionskärl. Därmed förhindras att värmebäraren i solfångaren utsätts för höga temperaturer [41].

### Aktiv kylning

Ett annat sätt att hantera överhettningssituationer är genom **aktiv kylning**, vilket förekommer bl.a. i Schweiz och var tidigare vanligt i mellanstora system i Sverige. I dessa system kyls solfångarna ner ackumulatortanken under natten, dvs. solfångarpumpen slås inte av när solen går ner, om tanken är full eller i det närmaste fulladdad. Detta gör att stagnation pga. att tanken är fulladdad minskar avsevärt. Ifall solfångarna hamnar i stagnation pga. elavbrott eller pumphaveri så löser en säkerhetsventil ut om trycket blir för högt och man får då lov att återfylla systemet. Nackdelen med detta system är att systemet kan koka vid strömavbrott eller pumphaveri, men tekniken kan användas som ett komplement till partiell förångning för att minska tiden i stagnation.

**Termiska oljor**

Genom att använda olja i värmekretsen som har en högre kokpunkt vid atmosfärstryck kan man också förhindra kokning. Det är dock ovanligt och det finns nackdelar som t.ex. låg värmekapacitet och hög viskositet samt ett högt pris.

**Reglering av solvärmekretsen**

Reglersystemets uppgift är att styra solfångarpumpen så att största möjliga energimängd samlas in till tanken och att tanken inte överhettas. Vid tillämpning av partiell förångning (Figur 2.6) skall regulatören även tillse att cirkulationspumpen inte startar då solfångaren är fylld med ånga. Reglersystemet för ett system med partiell förångning bör vara utformat på följande sätt med beteckningar enligt Figur 2.6:

Cirkulationspumpen P1 startar när temperaturen i solfångaren (GT1) är 10°C högre än i tanken (GT2). Cirkulationspumpen stannar när temperaturskillnaden mellan GT1 och GT2 är mindre än 3°C. Pumpen stannar också om temperaturen i tankens topp (GT3) är högre än 90°C. Pumpen får sedan inte återstarta om temperaturen i solfångaren (GT2) överstiger 120°C.

En funktion för att minska stagnationen kan vara att stoppa pumpen P1 redan vid en tanktemperatur på 85°C och sedan köra pumpen intermittent så att solfångartemperaturen inte överstiger 120°C. Nattetid kan sedan tanken kylas ned till ca 65°C för att minska risken för kokning dagen därpå.

**2.4 Ackumulatortanken**

Det finns en oändlig möjlighet till hur ackumulatortanken kan varieras, men ett urval baserade på interna kamflänsrör och tank i tank-lösningar redovisas i Figur 2.7. Figuren avbildar tankar på 330 liter som då kan klämmas in i en 60\*60 modul och värmas av en pelletpanna eller vattenmantlad kamin. I en så pass liten tank är det svårt att klara dimensionerande tappvattenvolym utan att för stor andel av tanken behöver hållas uppvärmd, varför en slinga på ca 17 meters längd bör monteras i övre delen av tanken i ACK2. I små ackumulatortankar kan det därför vara befogat att använda en tappvattenautomat, eftersom den uppvärmda volymen då kan minskas med bibehållen varmvattenkomfort [9, 44, 53] (se "tappvattenautomat" i avsnitt 2.6).

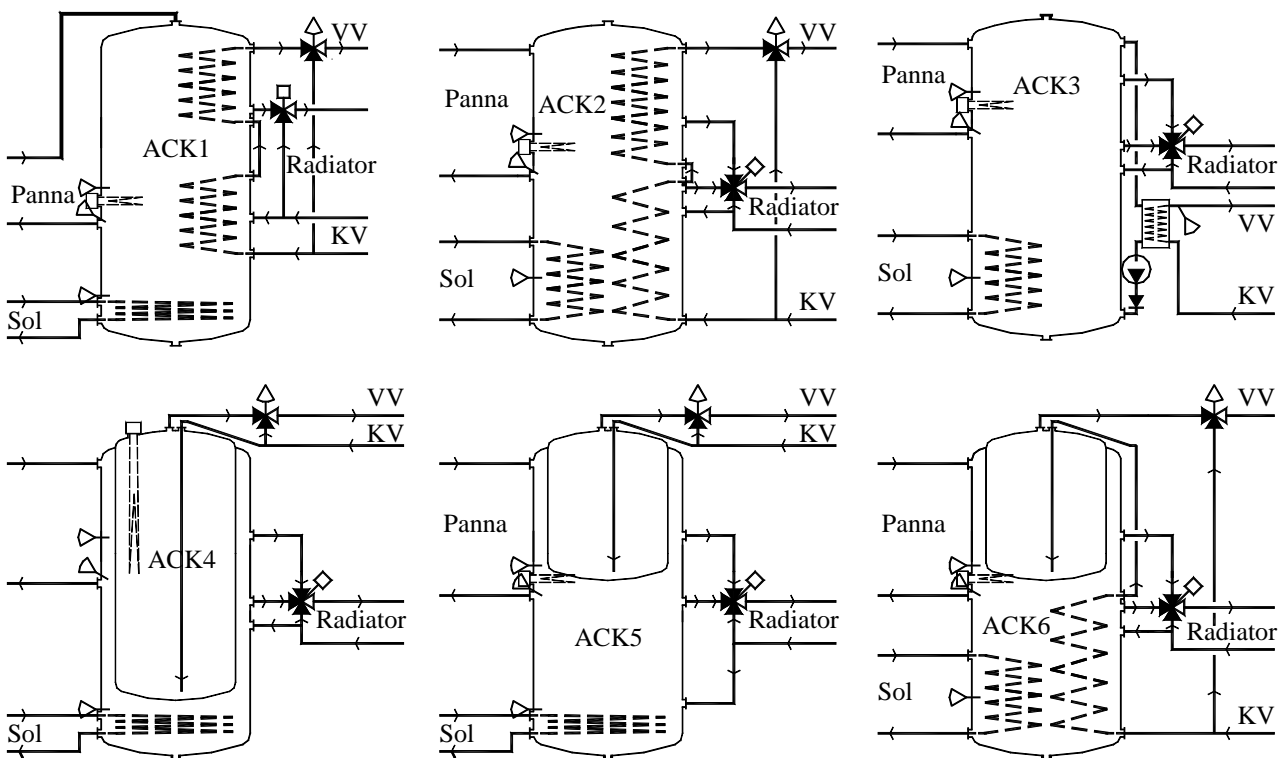
**Metod för optimering av tankkonstruktionen**

Vid SERC, Högskolan Dalarna har man forskat kring hur ackumulatortankens utformning påverkar solvärmeutbytet [5, 7, 31, 32, 43, 44, 53]. Resultaten visar att tankens utformning är en nyckelkomponent och att den utformas korrekt är en förutsättning för att solvärmesystemet skall bli effektivt. Metoden som använts har varit att mäta olika typer av ackumulatortankar och att bygga datormodeller som kalibreras mot mätningarna för att modellen så exakt som möjligt skall kunna beräkna tankens funktion. I simuleringsprogrammet TRNSYS finns ett stort antal färdiga delkomponenter så att en modell av ett komplett hus med värmesystem och solfångare kan simuleras. Genom att simulera systemet för ett år och genom att justera tankmodellens parametrar kan man undersöka hur tanken kan förbättras så att solvärmestillskottet ökar och värmebehovet från pannan minskar.

### Tankutformning

Figur 2.7 visar sex ackumulatortankar med olika metoder för varmvattenberedning. Sättet att bereda varmvatten har en dominerande inverkan på solvärmeutbytet, eftersom den primära uppgiften för ett solvärmesystem i Sverige blir att täcka varmvattenlasten. Konfiguration ACK1 och ACK5 fungerar mindre bra och tillvararar ca 20 % mindre solvärme än de övriga konfigurationerna [46]. Det har förutsatts att el-patronen i alla tankar med förrådsberedare måste hålla en temperatur av minst 60°C för att uppfylla kraven i BBR [10] avseende legionellatillväxt. I konfiguration ACK1 beror det mindre solvärmeutbytet på att förvärmningsslingan för tappvarmvatten inte startar i tankens botten och att den övre slingan för varmvatten är så kort att en mycket stor del av tanken måste vara uppvärmd till en hög temperatur för att klara varmvattenkomforten. ACK5 ger ett mindre utbyte än de övriga beroende på att förvärmning som kyler tankens botten saknas.

Om solfångaren kan arbeta med att förvärma kallvatten av 10 till 20°C fås en betydligt bättre verkningsgrad på solfångaren än om radiator returen skall förvärmas, som i bästa fall ligger på en temperaturnivå mellan 30 och 40°C. Av denna anledning skall radiator returen placeras en bra bit upp från botten i ackumulatortanken och förvärmningsslingan för varmvatten börja i tankens botten.



**Figur 2.7.** Olika utformning av ackumulatortankar. Konfiguration I ACK1 och ACK5 är inte varmvattenberedningen optimalt utformad, vilket ger ca 20 % mindre solvärmetillskott än de övriga konfigurationerna [46] (se avsnitt 2.6 om tappvattenkretsen). Dessa ritningar har förenklats kraftigt och saknar erforderlig säkerhetsutrustning och backventiler.

Det är alltså viktigt att tappvattnet bereds så att detta kyler tankens botten. Om solfångaren under vinterhalvåret kan arbeta med att förvärma kallvatten av 10 till 20°C, fås en betydligt bättre verkningsgrad på solfångaren än om radiatorreturen skall förvärmas, som i bästa fall ligger på en temperaturnivå på mellan 30 och 40°C. Även under vinterhalvåret är solvärmens primära uppgift att förvärma tappvarmvattnet, eftersom man ändå oftast behöver tillskott från värmepanna eller en elpatron. Av denna anledning skall radiatorreturen placeras en bra bit upp från botten i ackumulatortanken (se Figur 2.7) [31]. Den bivalenta shunten på radiatorkretsen gör det möjligt att i första hand utnyttja enbart solvärmtd vatten och i andra hand spetsa med värme från det elvärmda området.

## 2.5 Värmeförluster från ackumulatortankar

Värmeförluster från ackumulatortankar och pannor kan lätt bli mycket stora, tom lika stora som värmetillskottet från solvärmesystemet. Fyra olika ved- och solvärmesystem utvärderades av SP [27] och de årliga värmeförlusterna uppskattades till mellan 1700 och 3600 kWh per år. Det är kanske acceptabelt i ett vedeldat system och förlusterna hjälper till att torka veden i pannrummet, men förluster av denna storlek i ett pellet- och solvärmesystem är helt oacceptabelt. Då kan det tom vara befogat att ifrågasätta om det inte är bättre med enbart pelleteldning i en panna, utan ackumulatortank och solvärme. Konvektionsrörelser i isolering och röranslutningar har visat sig kunna vara de dominerande värmeförlusterna från en ackumulatortank [65]. Under sådana förutsättningar blir faktiskt isolertjockleken av underordnad betydelse.

En simuleringsstudie [49, 52] av ett system med pelletpanna och solvärmtd ackumulatortank i jämförelse med enbart pelletpanna visar att besparingen i pellet med solvärme kan bli både större och mindre än solvärmtd tillskottet. Det är då framförallt förhållandet mellan pannans och tankens värmeförlustkoefficient som påverkar hur stor pelletbesparingen blir. Med en dåligt isolerad panna och en välisolerad tank, kan besparingen med solvärme bli betydligt större än solvärmtd tillskottet, något som även bekräftas av andra undersökningar [28, 67, 68].

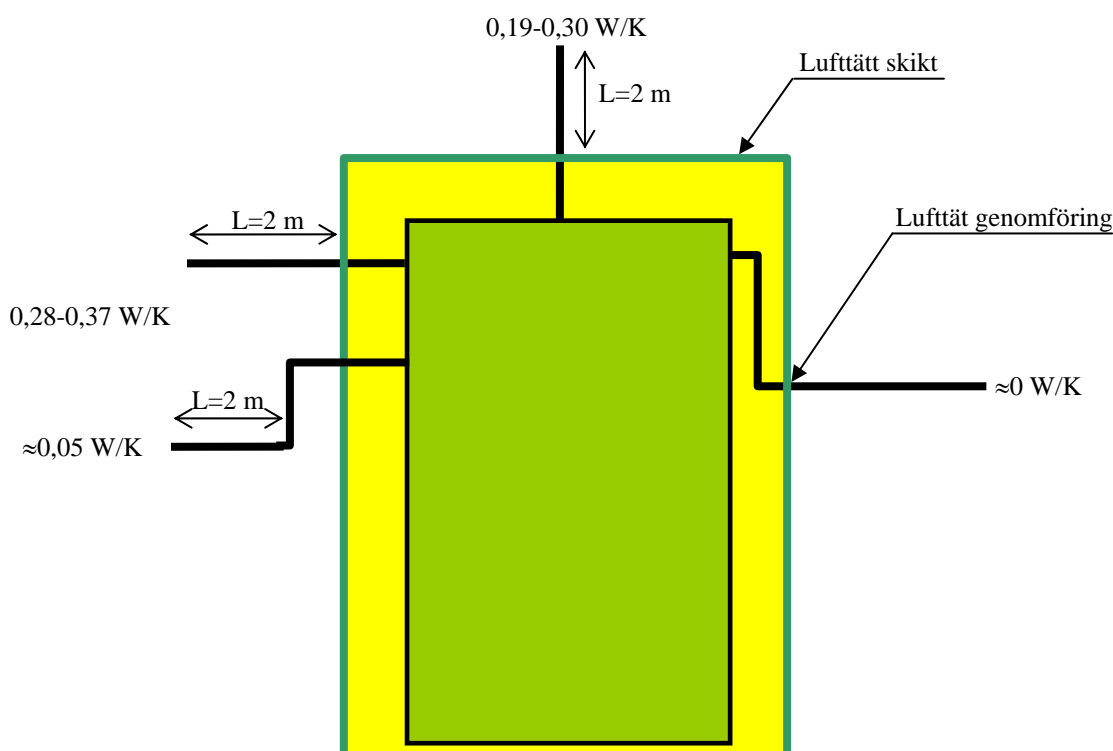
### **För en effektiv solvärmtd tank kan följande generella råd ges:**

Inkommande tappvatten skall kyla av tankens nedre del och radiatorreturen som har en något högre temperatur skall anslutas i tankens mitt. Pannan/el-patronen skall värma tankens övre del och värma en tillräcklig volym för att tillfredställa varmvattenbehovet.

Förutom själva isolertjockleken (som faktiskt kan vara av underordnad betydelse) finns det många källor till värmeförluster från en ackumulatortank. Genom att densiteten ökar med sjunkande temperatur hos vattnet kan vatten börja strömma från tankens topp, genom anslutande rör och tillbaka in i tanken. Ofrivillig själv-cirkulation i anslutande kretsar kyler av och blandar om ackumulatortanken och detta bör förhindras med backventiler. Där flödesriktningen är samma som själv-cirkulationsriktningen, vilket är fallet i t.ex. tappvattenautomaten (konfiguration ACK3 i Figur 2.7) måste en backventil med tillräckligt högt öppningstryck monteras. Drivtrycket pga. densitetsskillnader vid en temperaturskillnad på 70°C motsvarar ca 7 cm vattenpelare i en 2 m hög tank. Mätningar [53] och simuleringar [9, 44] visar att en stor del av energibesparingen med en tappvattenautomat kan ätas upp om det förekommer själv-cirkulation. Det är alltså viktigt att en backventil med tillräcklig fjäderkraft monteras i alla anslutande ledningar där cirkulation pga. densitetsskillnader kan förekomma.

**En välisolerad ackumulatortank** uppnås genom att själv-cirkulation i anslutande kretsar förhindras med hjälp av backventiler och genom att anbringa ett lufttätt skikt utanpå isoleringen. Värmeförluster från rören som bryter genom isolerskiktet kan minskas genom att rören böjs av neråt innan eller strax efter de bryter igenom isolerskiktet.

Ett rör som leds rakt genom isolerskiktet (2 m långt med isolering) ger en förlustkoefficient på mellan ca 0,19 och 0,33 W/K för ett 1-tummsrör och mellan 0,30 och 0,39 W/K för ett 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-tummsrör [29]. En annan referens anger ca 0,15 W/K per rör genomförelse [58]. En röranslutning med en värmeförlustkoefficient på 0,3 W/K och en temperaturskillnad på 40°C ger en extra värmeförlust på 12W eller ca 100 kWh/år om det normalt inte är någon vattenströmning genom röret. Ett kombisystem har ca 10 anslutningar till tanken och det är bara radiatorkretsen som har kontinuerlig cirkulation vintertid. Genom att böja av rörledningen nedåt utanför isolerskiktet kan värmeförlustkoefficienten minskas till ca en sjättedel [29]. Genom att böja av röret nedåt i isolerskiktet bör värmeförluster från röret helt kunna elimineras. En sammanställning av olika värmeförlustkoefficienter redovisas i Figur 2.8.



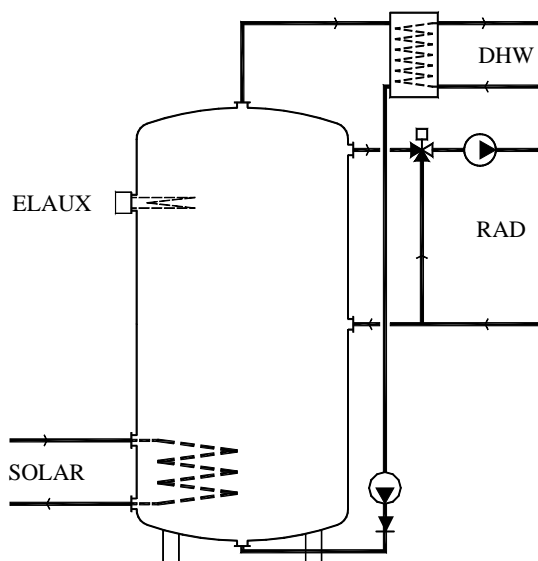
**Figur 2.8.** Värmeförluster från rör genomförelser (avser rör utan vattenflöde)[29].

Akkumulatortanken/varmvattenberedaren bör vara välisolerad för att solvärmens skall kunna lagras från soliga till molniga dagar och för att minska behovet av tillsatsvärme under resten av året. För att åstadkomma en välisolerad tank måste isoleringen vara lufttät, eller ytterst vara täckt av ett lufttätt skikt. Rör genomförelser måste beaktas, både för att de kan punktera lufttäteten och för att värmebryggor skapas. Värme transporteras både via rörväggen och via konvektion genom vattenrörelser fram och tillbaka i röret.

Mätningar vid SP visar att en 900 liters ackumulatortank med 10 cm mineralull och tätskikt, samt rör genomföringar rakt igenom isoleringen har en värmeförlustkoefficient på ca 6 W/K. En 750 liters tank isolerad med 15 cm skumgummi och ett obrutet tätskikt samt där alla rör böjs av ner till golvet under isoleringen får en värmeförlustkoefficient på ca 2,6 W/K (mätningar vid SERC). En extremt välisolerad 750 liters tank med 30 cm frigolitkulor och ett lufttätt skikt ytterst där alla rör dras ner till golvet under isoleringen får en värmeförlustkoefficient på ca 1,5 W/K. Multipliceras koefficienten med temperaturskillnaden mellan tankvatten och rummet på 40°C blir förlusteffekterna mellan 60 och 240 W, vilket motsvarar årliga värmeförluster på mellan 500 och 2100 kWh. Isoleringens utförande får alltså stor inverkan på de årliga värmeförlusterna.

Den uppmätta värmeförlusten från en isolerad tank kan vara upp till 5 gånger så stor som en teoretisk beräkning av tanken skulle ge [65]. Konvektion och luftcirkulation under och genom isoleringen uppges stå för en tredjedel av de "extra" förlusterna och resterande del kommer från värmeledning och konvektionsrörelser i rör som ansluter uppåt och åt sidan mot tanken [65]. Inverkan av rör genomföringar som bryter genom isoleringen utan att först böjas av nedåt har uppmätts ge ett tillägg på ca 0,14 W/K per röranslutning [58].

En tappvattenautomat (Figur 2.9) kan öka solvärmeutbytet något jämfört med interna kamflänsrör, men det är viktigt att inte självcirkulation kan uppstå på primärsidan. En backventil med tillräcklig fjäderkraft måste därför monteras i primärledningen. En två meter hög tank ger upphov till en maximal drivkraft motsvarande ca 0,053 m vattenpelare (520 Pa) pga. densitetsskillnader mellan vattnat i tanken och vattnet i röret



**Figur 2.9.** Tappvattenautomat (utan reglerutrustning). Observera att backventilen efter pumpen skall ha tillräcklig fjäderkraft för att blockera den drivkraft som kan uppkomma genom densitetsskillnader.

### Omblandning vid anslutningar

Det är viktigt att **inlopp till tanken** har tillräckligt stor diameter så att omrörningen i tanken minimeras. En god regel är att röranslutningarna till tanken bör ha en sådan diameter så att flödes hastigheten är mindre än ca 3 cm/s för att undvika omrörning av tanken. Undvik att använda inlopp i topp eller botten utan täckplatta som bromsar vattenpelaren [59]. Detta kan dock vara svårt att uppfylla i

praktiken utan att använda speciella diffusorer. Vid ett ganska normalt radiatorflöde av 20 l/min på värmereturen skulle en inre rördiameter på hela 120 mm krävas! För att nå ner till 3cm/s inloppshastighet, måste därför en annan lösning tillgripas med t.ex. en sköld eller ett perforerat rör inne i tanken som fördelar returen på stor inloppsyta för att nå ner till 3cm/s.

## 2.6 Varmvattenberedning

Även om kombisolvärmesystem ska leverera värme både till tappvarmvatten och till uppvärmning så är det väsentligen tappvarmvattnet som bestämmer den lägsta temperaturen i tanken, eftersom det kalla vattnet som ska bli varmvatten är betydligt kallare än vattnet i radiatorkretsen. Sättet att bereda tappvarmvatten påverkar därför tankens skiktning kraftigt, och därmed solfångarens inloppstemperatur och utbyte.

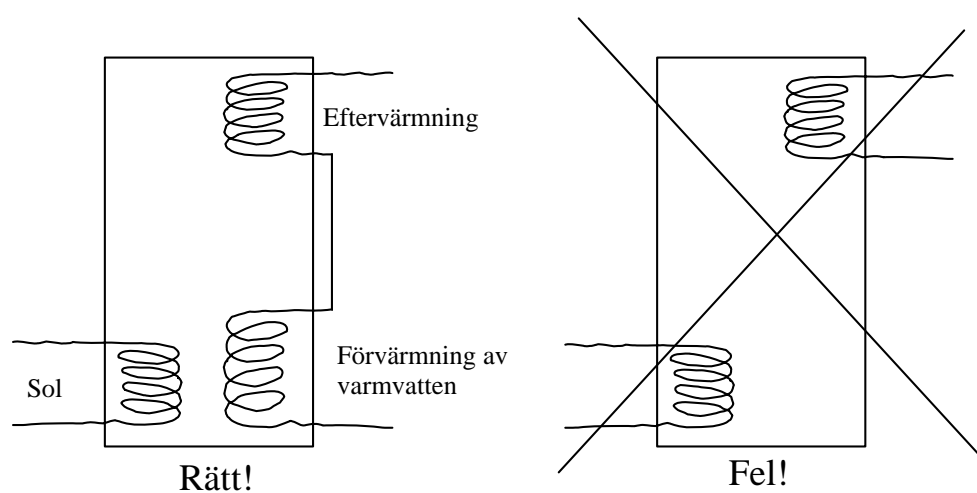
### *Kamflänsrör*

I de flesta svenska solvärmesystem används inbyggda spirallindade **kamflänsrör** som värmeväxlare för överföring av solvärme till tanken. Ett exempel på ett kamflänsrör visas i Figur 2.10.



**Figur 2.10.** Exempel på ett spirallindat kamflänsrör i en ackumulatortank. Detta kamflänsrör är den övre värmeväxlaren för tappvarmvattenberedning. Den värmeväxlare som används för solfångarkretsen ser likadana ut men sitter i nedre delen av ackumulatortanken. Denna typ av värmeväxlare kallas också för värmebatteri [57].

I den traditionella kombitanken som dominerar de svenska solvärmesystemen används två värmväxlare gjorda av kamflänsrör i serie för att värma tappvarmvatten. Den undre värmväxlaren används för att förvärma det inkommande kallvattnet. Den andra tappvattenväxlaren placeras i den uppvärmda volymen högst upp i tanken och används för att slutvärma tappvarmvattnet. Detta sätt att värma tappvarmvattnet motiveras utifrån att det utnyttjar solvärmens effektivt. Även om väderförhållandena är mindre gynnsamma kan solfångaren ofta producera värme med lägre temperaturer vilket kan användas för förvärmning av tappvarmvattnet. För att tankens botten skall kylas effektivt måste därför förvärmningsslingan börja i tankens botten. Radiatorkretsens returledning som ju har betydligt högre temperatur än kallvattnet skall därför anslutas en bit upp i tanken (se Figur 2.1 på sidan 8).



**Figur 2.11.** Om interna kamflänsrörsvärmväxlare används för tappvattenberedning ska det alltid finnas två stycken och inte enbart en. En av värmväxlarna placeras i toppen och en med inloppet nära botten av ackumulatortanken som gärna kan sträckas ut över en större del av tanken [57].

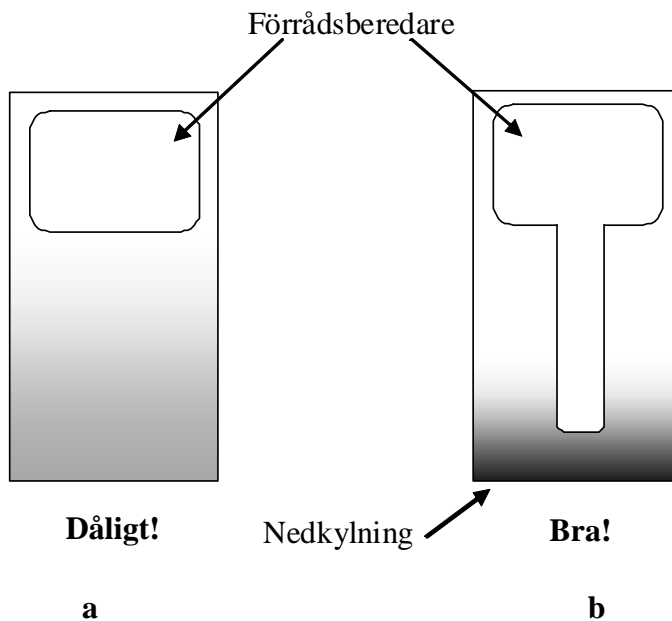
Studier visar att energibesparingen kan öka om förvärmningsslingan placeras nära botten av tanken, d v s i jämnhöjd med solvärmeslingan, istället för ovanför solvärmeslingan [31, 34]. Orsaken är att förvärmningsslingan arbetar mot en mindre volym och därmed kylvärmer ner tanken där solvärmeslingan finns. Förvärmningsslingan kan med fördel sträckas ut i den undre delen av tanken, och då kan även solvärmeslingan sträckas ut i höjddet samtidigt som solfångarflödet reduceras något.

### Förrådsberedare

Tappvarmvattnet kan även värmas i en **förrådsberedare** som är placerad inuti ackumulatortanken, s.k. ”tank i tank”. Ur solvärmesynpunkt har förrådsberedaren både fördelar och nackdelar jämfört med kamflänsrör. Eftersom vattnet i förrådsberedaren får samma temperatur som det omgivande vattnet i ackumulatortanken betyder detta att man kan ha en relativt låg termostattinställning på tillsatsvärmens och ändå täcka varmvattenlasten. Å andra sidan om man följer rekommendationerna i Boverkets byggregler [10] (se avsnitt 2.8 på sidan 24) som anger att vattnet i förrådsberedaren bör vara minst 60°C för att undvika legionellatillväxt [64] så får man inte åtnjuta dessa fördelar med låg el-patroninställning.

En förrådsberedare som är placerad i tankens topp ger inte avkylning av tankens botten och därmed inte någon bra skiktning i tanken. Ska förrådsberedare användas i solvärmesystem bör man därför vidta åtgärder så att skiktningen förbättras. Ett exempel är att använda förrådsberedare som når

långt ner i tanken (se Figur 2.12), vilket är en vanlig teknik på den europeiska kontinenten eller att använda ett kamflänsrör som förvärmningsslinga (se ACK6 i Figur 2.7 på sidan 15).



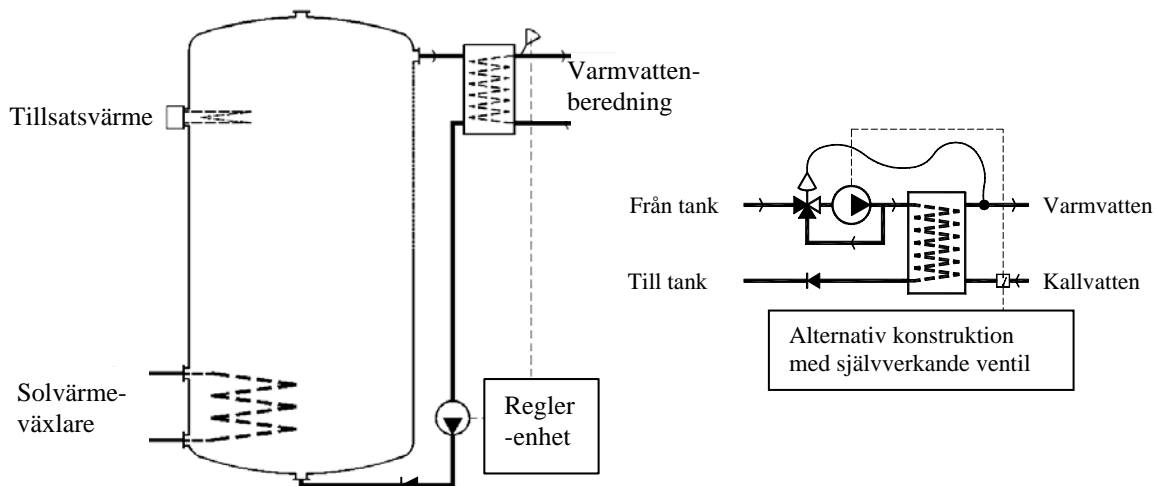
**Figur 2.12.** a) Förrådsberedare nära toppen av ackumulatortanken ger nedkylning av hela volymen nedanför beredaren. b) Genom att sträcka ut förrådsberedaren neråt kyls botten av ackumulatortanken först och skiktningen av tanken förbättras [57].

### Tappvattenautomat

En **tappvattenautomat** (TVA) är en extern plattvärmväxlare som kopplas till ackumulatortanken enligt Figur 2.13. En pump på värmväxlarens primärsida (tanksida) pumpar varmt vatten från tankens topp till tankens botten. Flödet på primärsidan regleras så att önskad varmvattentemperatur uppnås på sekundärsidan (till användaren). En bra fungerande tappvattenautomat för en ackumulatortank skall vara så konstruerad att returen till tankbotten på värmväxlarens primärsida är så kall som möjligt. Samtidigt bör flödet vara så lågt som möjligt för att omröringen av tanken ska bli minimal.

Mätningar och beräkningar [8, 44, 53] har visat att tappvattenautomater har stor potential att förbättra villasolvärmesystemens prestanda, vilket kan innebära ökade energibesparingar med över 15 % jämfört med traditionell tappvattenberedning med kamflänsrör. För att dessa goda resultat skall kunna uppnås måste styrningen vara utformad så att låg returtemperatur till tanken alltid uppnås och att värmväxlaren har tillräcklig värmeöverföring så att inte temperaturtappet blir för stort mellan varmvatten och tank. Dessutom är det mycket viktigt att det inte uppstår självциркуlation i kretsen som leder till omblandning i tanken och kontinuerliga värmeförluster från värmväxlare och rör [44, 53]. I de fall självциркуlation förekommer som kyls och blandar om ackumulatortanken kan energibesparingen jämfört med kamflänsrör minskas kraftigt [44]. Denna självциркуlation måste blockeras med en magnetventil eller backventil med kraftig fjäderkraft. Drivtrycket som uppkommer pga. densitetsskillnader i en 2 meter hög tank med temperaturskillnaden  $70^{\circ}\text{C}$  mellan tank och tappvattenautomat blir ca 520 Pa, vilket motsvarar 0,053 meter vattenpelare.

Låg returtemperatur till tanken, och därmed även lågt flöde in i tanken, kan uppnås med hjälp av en varvtalsstyrd pump eller en självverkande ventil (se Figur 2.13) som styrs beroende på varmvattentemperaturen. Värmeväxlaren bör ha en hög värmeöverföringskapacitet (2500 – 3000 W/K). Tappvattenautomater avsedda att ersätta trasiga varmvattenberedare i värmepannor är inte lämpliga för solvärmesystem, då dessa är vara konstruerade för att ge hög returtemperatur till pannan [53]. Prestanda för olika typer av tappvattenautomater har undersökts i [8, 44, 53] och ett par väl fungerande lösningar redovisas i Figur 2.13. Möjligen får man se upp med användning av tappvattenautomater i kalkhaltiga tappvatten utan att använda en shuntventil som begränsar temperaturen in i värmeväxlaren till högst ca 60 till 65°C.



Figur 2.13. Exempel på tappvattenautomater som är lämpliga att koppla till ackumulatortankar.

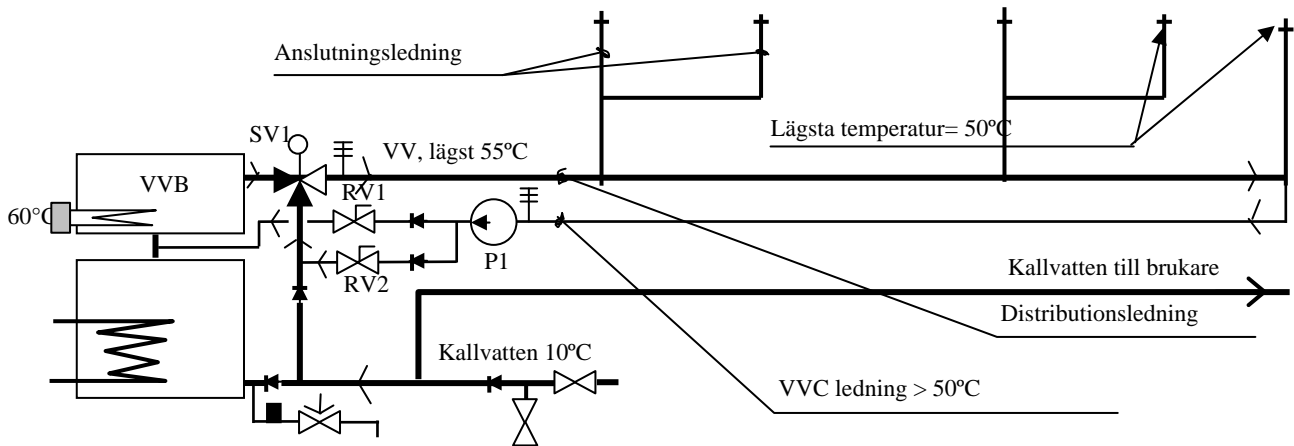
## 2.7 VVC-krets

Varmvattencirkulationssystem (VVC-system) används för att minska väntetiden för varmvatten i hus med långa avstånd mellan varmvattenberedare och tappkranar. Systemen ökar värmeförluster från distributionssystemet, men minskar väntetiden för varmvatten och spar därför på vattnet. Om VVC-kretsen inte ansluts korrekt mot solvärmesystemet kan skiktningen i tanken förstöras och solvärmeutbytet minska kraftigt. Det är mycket viktigt att varmvattencirkulationsledningen ansluts till solvärmesystemet så att inte skiktningen förstörs i ackumulatortanken eller i varmvattenberedaren.

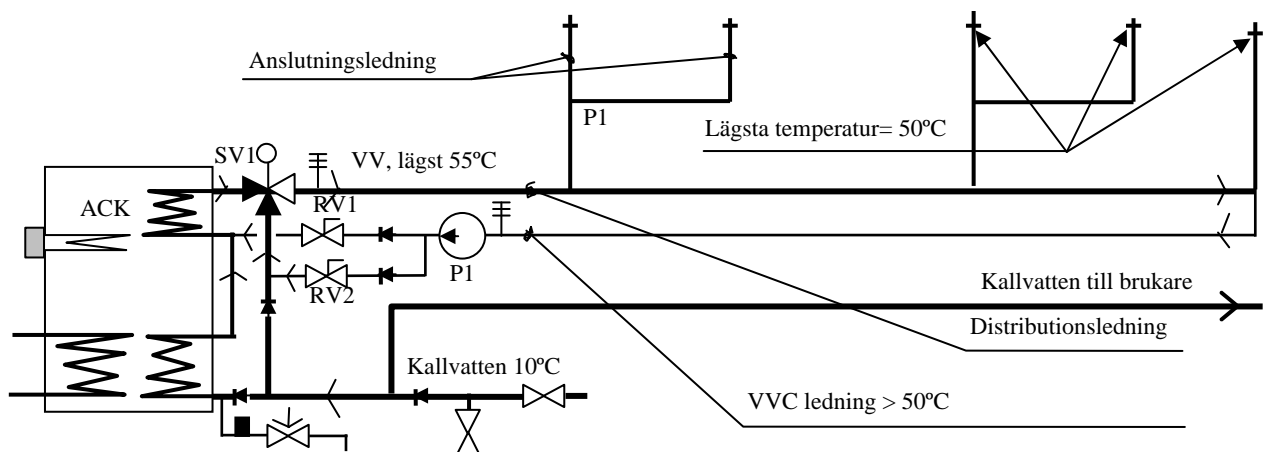
Figur 2.14 till Figur 2.16 visar hur VVC-kretsen bör anslutas beroende på typ av varmvattenberedningssystem. Cirkulationsledningen ansluts till tanken strax under tillsatsvärmekällan. Kallvattenledningen ansluts i tankens nedre del för att erhålla effektiv avkylning av tankens botten. Backventiler förhindrar att vattnet kan gå fel väg vid tappning samt förhindrar självcirkulation. Injusteringsventilerna RV1 och RV2 används i större system för att reglera in utgående varmvattentemperatur och VVC-flöde under normaldrift. I lite större system har blandningsventilen SV1 dålig auktoritet för att reglera enbart VVC-flödet.

I Figur 2.16 visas hur VVC-kretsen kan anslutas till en tappvattenautomat. Cirkulationspumpen P2 varvtalsstyrs så att varmvattentemperaturen vid GT1 upprätthålls. Givaren FV1 indikerar när varmvattentappning föreligger och då körs pumpen kontinuerligt. Övrig tid körs pumpen kortvarigt så att varmvattentemperaturen upprätthålls. Trevägsventilen SV2 styr så att returvattnet tillförs högt upp i

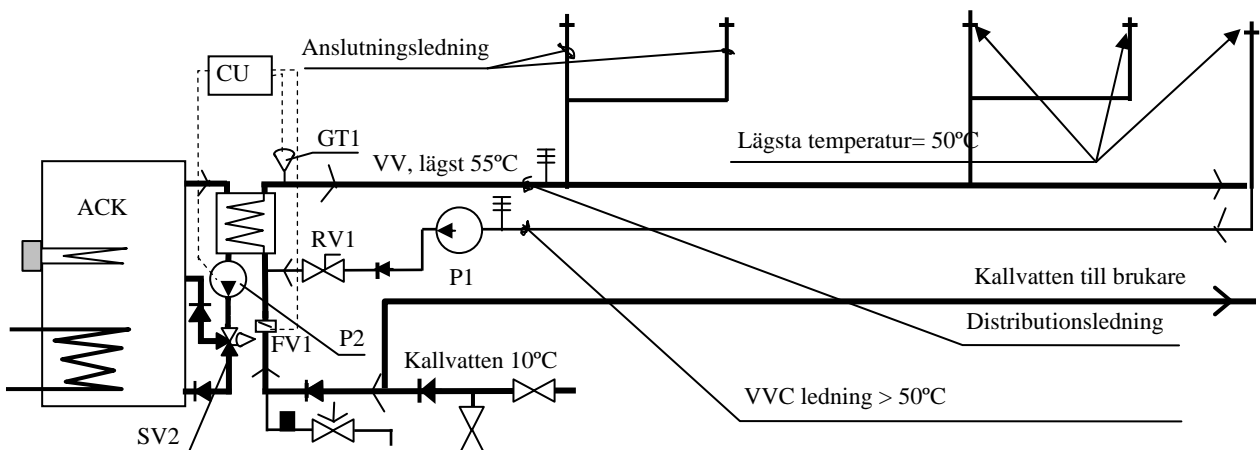
tanken då returtemperaturen är hög (då inga tappningar förekommer och VVC-returen bestämmer temperaturen). SV2 styr returvattnet till tankens botten då tappningar förekommer och returtemperaturen är låg.



Figur 2.14. Varmvattencirkulationskrets ansluten till solvärmd varmvattenberedare.



Figur 2.15. Varmvattencirkulationskrets ansluten till solvärmd ackumulatortank med interna kamflänsrör.



Figur 2.16. Varmvattencirkulationskrets ansluten till solvärmd ackumulatortank med tappvattenautomat.

### *Värmeförluster från VVC-system och andra rörledningar*

Värmeförlusterna från ett VVC-system kan bli stora och måste tas i beaktande vid en solvärmertil-lämpning. Värmeförlusterna ökar värmelasten och kan kompenseras med större solfångaryta.

## 2.8 Legionellarisker

Vid dimensionering och injustering av solvärmesystem finns det en del byggregler att beakta. Enligt Boverkets byggregler [10] **bör** temperaturen i varmvattenberedare med stillastående vatten inte understiga 60°C. Installationen skall utformas så en vattentemperatur på lägst 50°C kan uppnås vid tappstället och högst vara 60°C. Vid varmvattencirkulationssystem får temperaturen inte understiga 50°C i någon del av systemet. Anledningen till detta är risken för tillväxt av bakterier, framförallt **legionella**, i varmvattenberedaren och vattenledningarna samt risk för skällning. Legionellabakterien finns i vanligt vatten och växer som bäst i stillastående vatten som har temperaturer kring 25-40°C [64]. Vid temperaturer över 55°C dör bakterien. Vid temperaturen 55°C dör bakterien på ca 3 timmar, medan det tar 10 minuter om vattentemperaturen är 60 - 65°C. Bakterien är farlig vid inandning via små vattendroppar. Därför är det vid dusch och t.ex. bad i bubbelpol med legionellasmittat vatten som risken för smitta är störst. Smitta av legionellabakterien kan orsaka en allvarlig lungsjukdom med t o m dödlig utgång.

Enligt Boverkets byggregler [10] **bör** temperaturen i varmvattenberedare med stillastående vatten inte understiga 60°C. Installationen skall utformas så en vattentemperatur på lägst 50°C och högst 60°C uppnås vid tappstället. Vid varmvattencirkulationssystem får temperaturen inte understiga 50°C i någon del av systemet.

I Sverige rapporteras årligen några fall av legionellasmitta, [64] och det har t ex gällt fall där varmvattentemperaturen satts lågt för att spara energi. Oftast handlar det om större system för servicehus, sjukhus och simhallar samt bubbelbad och kyltorn. Det är personer med redan nedsatt immunförsvar som drabbas lättast. För att smittas måste man andas in små vattendroppar med bakterien. Bakterien kan inte följa med i vattenånga vid avdunstning [64]. Det finns inga rapporterade fall av legionellasmitta där det ansetts att låg temperatur pga. solvärme varit orsaken. Men för att vara på den säkra sidan krävs det att solvärmesystemen utformas så att legionellatillväxt förhindras. Man ska därför inte lockas att sätta tappvarmvattentemperaturen eller el-patronens termostat alltför lågt för att öka solvärmeutbytet.

## 2.9 Dimensionering

### *Systemstorlek*

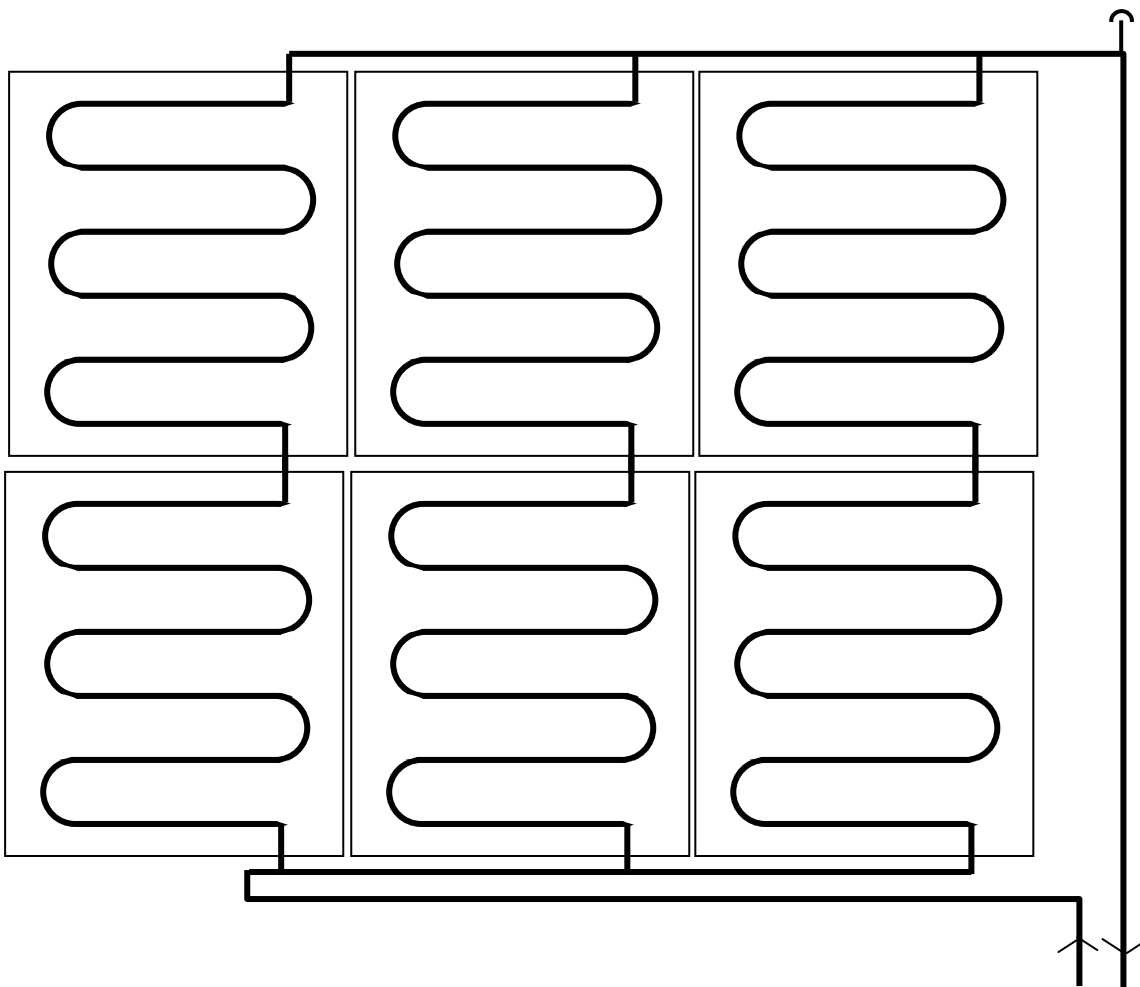
För dimensionering av systemstorlek för mindre villasystem finns några schablonmetoder och enkla dimensioneringsdiagram redovisade av Kovacs [26]. En tumregel som brukar ge ungefär rätt storlek i bostäder är ca 2-3 m<sup>2</sup> solfångare per person och 50 till 100 liter ackumulatorvolym per m<sup>2</sup> solfång-

are [26] För lite större system kan man också utgå från lasten och använda tumregler eller använda något simuleringsprogram. Dimensionering av kombisystem behandlas också inom Task-26 arbetet [69].

Solvärmekretsen måste dimensioneras så att rörledning, solfångare och pumpar får rätt storlek. Oftast vill man använda klena rör för att minska värmeförluster och materialkostnader vilket ger relativt höga tryckfall och låga flöden, vilket i sin tur ökar elbehovet till cirkulationspumpen. Det är ont om pumpar som har hög verkningsgrad vid låga flöden och höga tryckfall [41] och tryckfallet blir därför ofta begränsande vid dimensioneringen. För tryckfallsdimensionering hänvisas till VVS-handboken med tryckfallsnomogram [71] eller liknande resurs.

En faktor som påverkar tryckfallet mycket kraftigt är valet av antal solfångare i *serie* resp. *parallellt*. Vid seriekoppling av paneler blir ofta tryckfallet mycket högt, eftersom både flödet och rörlängden ökar. Man måste ju utgå från samma yt-relaterade flöde i båda fallen (se Figur 2.6 för tumregler för flödesbestämning). Om alla paneler kopplas i serie blir flödet genom varje solfångarmodul blir lika med totalflödet i solfångarkretsen.

Tänk också på att göra solfångarkretsen självjusterande vid parallellkoppling av solfångare. Solfångarna i Figur 2.17 har monterats så att samtliga parallella stråk genom solfångaren får samma tryckfall och därmed samma flöde.



**Figur 2.17.** Sex solfångare varav två st. kopplade i serie och tre st. parallellt. Rördragningen är utförd så att flödet i de tre parallella stråken balanseras automatiskt.

### **Beredskapsvolym**

Effektbehovet vid maximal varmvattentappning är betydligt högre än effekten på en villapanna, eller el-patron. Av denna anledning måste det finnas ett värmelager för att klara varmvattentappningen. Den uppvärmda vattenvolym som krävs är beroende av lastens storlek, varmvattenberedningsmetod, temperaturen på värmelagret och pannans eller el-patronens effekt. Temperaturen på Beredskapsvolymen bör vara så låg som möjligt, men för att undvika legionella bör temperaturen i en förrådsberedare vara minst 60°C enligt BBR [10].

Beredskapsvolymen avser den minsta uppvärmda volym som tillfredställer dimensionerande varmvattentappning. Temperaturen på beredskapsvolymen bör hållas så låg som möjligt med hänsyn till varmvattenkomfort och legionellarisker. Volymen beräknas eller utprovas utifrån husets dimensionerande varmvattenlast. BBR:s rekommendation för ett enbostadshus redovisas i faktarutan nedan, men det verkliga behovet i ett hus varierar kraftigt beroende på brukarnas vanor och hur sanitetsutrymmena är utrustade.

**I BBR [10] finns följande rekommendation på varmvattenberedarens kapacitet: "En vattenvärmare som bara betjänar ett enbostadshus bör vara dimensionerad för att under en tid av högst 6 timmar kunna värma 10-gradigt kallvatten så att två tappningar om vardera 140 l vatten av 40 °C blandat kall- och varmvatten kan erhållas inom en timme."**

**I varmvattenberedare med genomströmning måste temperaturen vara högre än den temperatur man önskar tappa, eftersom man tappar temperatur över värmeväxlaren.** BBR [10] anger att varmvatteninstallationen skall konstrueras så att tapptemperaturen blir minst 50°C. För att kunna ha en temperaturinställning på tillsatsvärmekällan av högst 60°C bör då genomströmningsberedaren (plattvärmväxlare och kamflänsrör) dimensioneras så att ett temperaturtapp av högst 10°C uppnås vid dimensionerande tappflöde. Med kamflänsrör sjunker dock temperaturen gradvis under tappningen, men detta accepteras av BBR [10], så länge inte temperaturen understiger 40°C vid slutet av tappningen. Att teoretiskt dimensionera ett sådant system är dock ganska svårt, eftersom många olika parametrar inverkar. Även förvärmningsslingan påverkar detta och det är svårt att veta vilka temperaturer som förekommer i tankens botten.

För ett givet system finns det en **konflikt mellan solvärmeutbyte och varmvattenkomfort**. Vill man öka varmvattenkomforten genom att kunna tappa en större energimängd på kort tid, kan detta göras antingen genom att öka den värmda volymen för varmvattnet eller öka dess temperatur. Ökas den värmda volymen minskas den soluppvärmda volymen i nedre delen av tanken. Detta medför att tanken ofta blir fulladdad tidigt, samtidigt som solfångaren producerar ”onyttig” överskottsvärme. Ökas temperaturen på den uppvärmda volymen så måste solfångarna producera värme av högre temperatur för att ersätta tillskottsvärme. I båda fallen minskar alltså solvärmeutbytet.

Även högre flöden i varmvattenkretsen leder till minskat solvärmeutbyte, även om mängden energi som tappas är lika. Detta gäller om varmvattnet bereds i genomströmningsvärmväxlare, dvs. med kamflänsrör eller med en tappvattenautomat. Vill man t ex kunna tappa upp ett badkar med högt flöde (ca 18 liter/minut) så måste vattentemperaturen i tankens överdel vara högre än om man tappar med ett lägre flöde, eftersom varmvattentemperaturen sjunker med ökat flöde. 10° högre temperaturinställning på tillsatsvärmern kan exempelvis medföra en minskning av energibesparingen med upp till 25 % [31]. Detta beror på att solfångarna måste arbeta vid en högre temperatur samtidigt

som tankförlusterna ökar. Det är viktigt att påpeka att siffrorna ovan enbart är ett exempel, i ett visst system är temperaturförlusten starkt beroende av värmeväxlarnas typ och storlek.

Erforderlig beredskapsvolym kommer att variera beroende på vilken varmvattenberedningsmetod som tillämpas (se avsnitt 2.6) och på värmeväxlarens värmeöverföringsförmåga. I kombisystem där tappvarmvattnet bereds i genomströmning i en värmeväxlare måste värmeväxlarens värmeöverföringskapacitet vara tillräckligt stor så att inte temperaturfallet vid tappning blir för stort. För ett kamflänsrör är det så att temperaturen i tanken sjunker gradvis under en tappning och det är därför slutet av tappningen som blir dimensionerande. Vid en beräkning måste man således utgå från temperaturen i tanken vid slutet av den dimensionerande varmvattentappningen och för detta tillfälle kontrollera att värmeöverföringen är tillräcklig för det dimensionerande flödet.

För varmvattenberedare finns inget temperaturtapp i någon värmeväxlare och det går att räkna direkt på energiinnehållet i den lagrade volymen ner till kallvattentemperaturen. Den energi som elpatronen eller pannan tillför under tappningen kan också räknas med. Försäljare av varmvattenberedare har också dimensioneringstabeller framtagna för att bestämma beredskapsvolymen beroende på elpatronens effekt och antal duschande personer eller antal lägenheter. Temperaturen brukar dock antas vara 70 eller 80°C, vilket är för hög för solvärme, så volymen måste räknas om efter den aktuella temperaturen på ca 60 till 65°C. Energiinnehållet i en viss vattenvolym beräknas enligt:

$$W = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot (T_{start} - T_{stop}) \quad (\text{ekv 2.1})$$

där

$\rho$  = densitet (kg/m<sup>3</sup>)  $\rho \approx 4180$  J/kg, C° för vatten

$c_p$  = värmekapaciteten (J/kg, C°)  $c_p \approx 4180$  J/kg, C° för vatten

$W$  = Energiändring (J) (1 kWh = 3 600 000 J)

$V$  = Volym (m<sup>3</sup>)

$T_{start}$  = Medeltemperaturen vid tappningens start (K), (°C)

$T_{stop}$  = Medeltemperaturen vid tappningens stop (K), (°C)

Energitillförsel från en elpatron eller panna under en viss tid beräknas enligt

$$W = P \cdot t \quad (\text{ekv 2.2})$$

där

$W$  = Energi (J)

$P$  = Effekt, (W)

$t$  = tid (s)

Vanligtvis kan man uppnå den minsta beredskapsvolymen i system med en varmvattenberedare (avsnitt 2.6), där ingen värmeväxling vid tappningen krävs och där det kalla vattnet fylls på i botten. Med tappvattenautomaten skapas också en god skiktning och volymutnyttjandet blir nästan lika effektivt som med varmvattenberedaren, däremot värms tappvattnet samtidigt som det förbrukas, vilket innebär ett temperaturtapp mellan det lagrade vattnet och varmvattnet.

### Överhettningsskydd för solvärmekretsen

För dimensionering av överhettningsskydd finns det i princip fem olika metoder som kan användas (se avsnitt 2.3). För villasolvärmsystem är partiell förångning att rekommendera då det minskar

nedbrytningen av glykolen och det inte finns risk för sönderfrysning vid dålig installation. Nackdelen är att expansionskärlet blir större, eftersom det måste dimensioneras för att klara hela solfångarens volym samt övrig expansion. Kärlovolymer  $V_{exp}$  beräknas enligt:

$$V_{exp} = \left( \frac{a \cdot V_{syst}}{100} + V_{solf} \right) \cdot \frac{p_2 + 1}{(p_2 - p_1)} \quad (\text{ekv 2.3})$$

Där:

$V_{exp}$  är expansionskärlets volym

$a$  är expansionen i % som kan sättas till 12 %,

$V_{syst}$  är totala systemvolymen inklusive solfångarens volym

$V_{solf}$  är volymen i solfångaren.

$p_1$  är förtrycket i expansionskärlet, dvs. ungefär det tryck då kokningen skall påbörjas.

$p_2$  är övertrycket i expansionskärlet då solfångaren skall vara fylld med ånga (bar)

För att bestämma trycken  $p_1$  och  $p_2$  måste hänsyn tas till vilka solfångartemperaturer som kokning skall påbörjas och avslutas vid. Man måste också ta hänsyn till höjdskillnaden mellan expansionskärlet och solfångaren, då varje meter ger en tryckdifferens på ca 0,1 bar. Trycket i expansionskärlet då kokning startar, bestäms med Figur 2.18 som visar sambandet mellan kokpunkt och totaltryck (ångtryck). Antas att kokning skall starta vid 120°C motsvarar detta ångtrycket  $p_{\dot{a},1} = 1,7$  bar enligt Figur 2.18. Solfångaren bör vara helt fylld med ånga vid 150°C vilket motsvarar. Ångtrycket  $p_{\dot{a},2} = 4,3$  bar enligt Figur 2.18.

Övertycket i expansionskärlet måste då beräknas med hänsyn till atmosfärstrycket (1 bar) och höjdskillnaden  $\Delta H$  enligt:

$$p_1 = p_{\dot{a},1} + \Delta H \cdot 0,1 - 1 \quad (\text{ekv 2.4})$$

$$p_2 = p_{\dot{a},2} + \Delta H \cdot 0,1 - 1 \quad (\text{ekv 2.5})$$

Där:

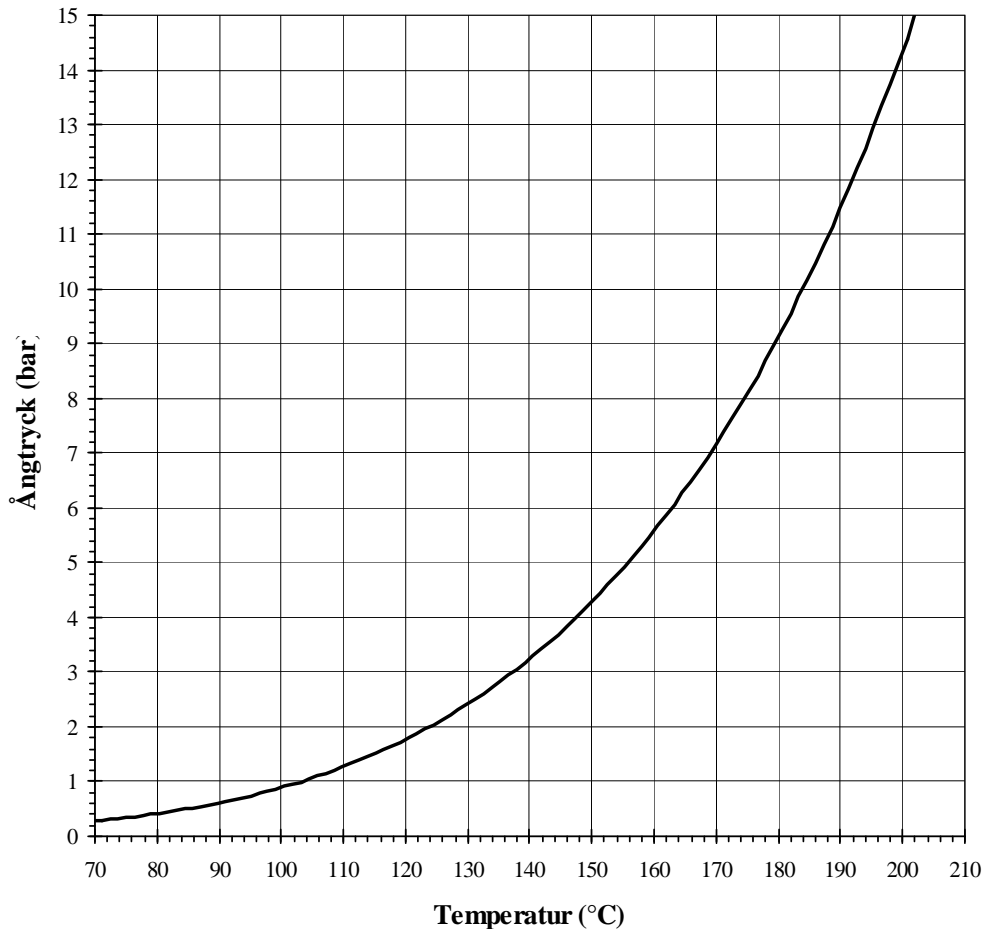
$p_{\dot{a},1}$  är ångtrycket i solfångaren då kokning skall starta (bar)

$p_{\dot{a},2}$  är ångtrycket i solfångaren då kokning skall starta (bar)

$\Delta H$  är höjdskillnaden mellan expansionskärl och solfångare i m (Så länge solfångaren är högre placerad än expansionskärlet är värdet för  $\Delta H$  större än 0).

Insättning av ekvation (2) och (3) i (1) ger efter förenkling:

$$V_{exp} = \left( \frac{a \cdot V_{syst}}{100} + V_{solf} \right) \cdot \frac{p_{\dot{a},2} + \Delta H \cdot 0,1}{p_{\dot{a},2} - p_{\dot{a},1}} \quad (\text{ekv 2.6})$$



**Figur 2.18.** Ångtrycket som funktion av temperaturen för propylenglykol [1]. D.v.s. kokpunktens beroende av totaltrycket.

### Värmeväxlare och rörledning

Värmeväxlarna måste dimensioneras så att de erhåller en lämplig storlek i förhållande till den värmeeffekt som kan förväntas. Solvärmesväxlarens överförda effekt  $P$  kan beräknas om man känner solfångarens verkningsgrad och yta och antar en högsta solinstrålning på t.ex.  $1000 \text{ W/m}^2$ .

$$P = \eta \cdot E_t \cdot A \quad (\text{ekv 2.7})$$

där

$P$  värmeeffekt (W)

$\eta$  verkningsgrad (-)

$A$  solfångarens area (apertur yta) ( $\text{m}^2$ )

$E_t$  Solinstrålningen vinkelrätt mot ytan ( $\text{W/m}^2$ )

Temperaturhöjningen över solfångaren som också blir temperatursänkningen över värmeväxlaren behöver också beräknas för att kunna beställa värmeväxlaren. Ett lågflödessystem ger större temperaturökning över solfångaren och därmed behöver värmeväxlaren vara "längre" för att klara att överföra den stora temperaturhöjningen till tanken. Temperaturhöjningen  $T_{fo} - T_{fi}$  kan beräknas enligt

$$(T_{fo} - T_{fi}) = \frac{P}{\rho \cdot c_p \cdot \dot{V}} \quad (\text{ekv 2.8})$$

där

$\dot{V}$  volymflöde genom solfångaren ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

$\rho$  densitet vätska ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$c_p$  värmekapacitet vätska ( $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )

$T_{fi}$  inloppstemperatur solfångare (K), ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{fo}$  utloppstemperatur solfångare (K), ( $^{\circ}\text{C}$ )

Återstår då att bestämma vilket temperaturtapp som kan accepteras och detta blir ju en ekonomisk fråga. Ett temperaturtapp över värmeväxlaren i solfångarkretsen på ca 5 till 8 $^{\circ}\text{C}$  är ett rimligt värde.

Vid användning av kamflänsrör bör kontrolleras att tillräcklig värmeöverföring erhålls med den aktuella värmeväxlaren. Värmeöverföringen i ett kamflänsrör är dock kraftigt beroende på temperatur och flöde, eftersom det påverkar viskositeten, som i sin tur påverkar turbulens och värmeöverföring. Tabell 2.1 visar ungefärliga värmeövergångskoefficienter per meter kamflänsrör som har identifierats från mätningar [6, 7]. Genom att multiplicera värmeövergångskoefficienten från Tabell 2.1 med kamflänsrörets längd och temperaturskillnaden mellan vattnet i tanken fås den överförda värmeeffekten.

**Tabell 2.1**

*Ungefärliga värmeöverföringskoefficienter för kamflänsrör med innerdiameter på ca 20 mm beroende på användning och placering.*

Placering	Användning	Flöde (kg/h)	Värmeövergångskoefficient (W/(m·K))
Tankens nedre del	Solvärmväxlare	120	40
Tankens nedre del	Tappvattenvärmväxlare	300	70
Tankens övre del	Tappvattenvärmväxlare	300	100

## 2.10 Hur mycket energi kan man spara med solvärme?

Att ge ett entydigt svar på hur mycket energi man sparar med ett solvärmesystem är inte möjligt, eftersom det beror på många faktorer, t.ex. solvärmesystemets storlek, husets värmebehov, varmvattenförbrukning, Brukarnas beteende, typ av tillsatsvärme samt systemets utformning och driftegenskaper. Med den typ av kombisolvärmesystem med 10  $\text{m}^2$  solfångare som beskrivits kan man minska behovet av värmeenergi producerat av andra energikällor med ca 2000 – 4000 kWh årligen. Den lägre siffran gäller för moderna småhus med litet värmebehov (för uppvärmning och tappvarmvatten) kring 10 000 kWh årligen. Den högre siffran gäller för äldre småhus med typiska årsvärmebehov över 20 000 kWh. Besparingen kan dock bli mycket större om man har en panna med dålig verkningsgrad som kan stängas av helt under sommaren eller om pannan ersätts med en ny [28, 52, 68]. Detsamma gäller om familjen i och med solvärmeinstallationen ökar sitt energimedvetande och anpassar förbrukningen till solvärmertilgången. I vanliga småhus ligger solvärmertilskottet kring 10-20% av årsvärmebehovet men det varierar kraftigt beroende på såväl storleken av solvärmesystemet som värmebehovet i huset och i lågenergihus där varmvattenlasten utgör en större del av värmebehovet kan det bli betydligt högre.

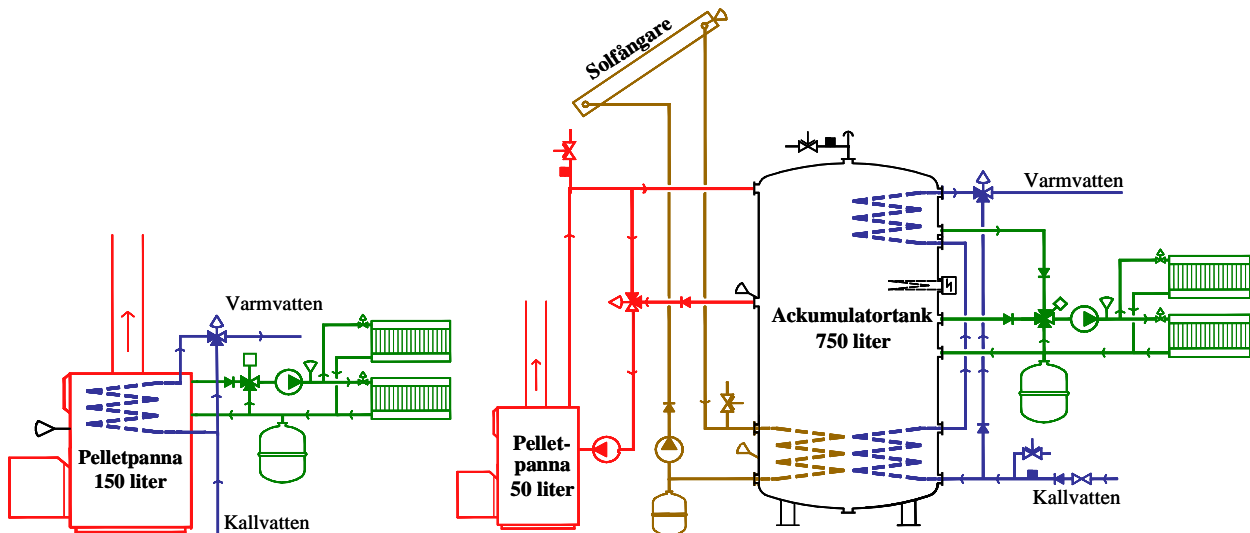
### ***EB och EBG***

Det finns olika sätt att beskriva prestanda för ett solvärmesystem och beroende på vilket sätt man beskriver det kan man få skenbart olika svar. Då man köper solfångare får man ofta uppgift om **sol-fångarens utbyte**, d v s hur mycket värme av viss temperatur som  $1 \text{ m}^2$  solfångare kan producera under ett normalår. Denna siffra är bra för att kunna *jämföra olika solfångare* men ger inte alltid en bra bild av hur mycket solfångaren ger i ett system eftersom dess arbetstemperatur varierar kraftigt under året och dessutom varierar drifttemperaturen mellan olika system. Den faktiska energibesparingen (**EB**) med ett solvärmesystem är hur mycket mindre tillsatsenergi, räknat i kWh, som behöver köpas jämfört med ett referenssystem utan solfångare. *Solfångarens utbyte* enligt definitionen ovan är bara en av flera parametrar som bestämmer detta. *Energibesparingsgrad (EBG)* anger hur många procent mindre tillsatsenergi som används i ett värmesystem med solvärme jämfört med ett referenssystem. *EB* och *EBG* siffror är bra för att kunna *jämföra olika system*, utifrån de studier som gjorts och förutsätter att lastprofilen är identisk före och efter konverteringen.

Tittar man på hur mycket värme solfångarna levererar vid en viss driftstemperatur under ett normalår, så som SP klassificerar solfångarna kan man få ett högre värde än vad solfångarna levererar i en verklig anläggning. Detta beror på att solfångarens arbetstemperatur varierar kraftigt. Dessutom går inte hela produktionen till att ersätta andra energikällor i värmesystemet. Under sommaren kan det finnas ”överkapacitet” i solvärmesystemet. Då blir tanken extra varm med åtföljande ökade förluster, alltså en del av solfångarens produktion leder till ökade förluster och inte till nytta.

Det finns studier som visar att många som har installerat solvärmesystem erfar en betydligt större besparing i *inköpt energi* än de siffror vi anger i denna handbok [28, 67, 68]. En anledning kan vara att man kan stänga av pannor under sommaren då de fungerar som sämst. En annan anledning kan vara att hushållets energianvändning minskats eller förskjutits mot tillfällen då det finns solvärme tillgängligt eftersom energimedvetenheten har ökat i och med installationen.

En simuleringsstudie av hur mycket energi man kan spara för ett sol- och pelletsystem jämfört med ett referenssystem (Figur 2.19) har genomförts av [52] och resultaten visar att besparingen för en anläggning på  $10 \text{ m}^2$  plan solfångare ligger på mellan 3350 och 7660 kWh pellet per år (Figur 2.20). Själva solvärmestillskottet ligger på drygt 3000 kWh/år. Elbehovet ökar med ca 300 kWh/år för elpatronen och extra cirkulationspumpar. Besparingen i pellet är större än nyttiggjord solvärme. CO-utsläppen (kolmonoxid, indikator för dålig förbränning) kunde reduceras från 60 till ca 30 kg/år. De stora variationerna beror på pannans effektivitet och utsläppskaraktistik, tankens isolerstandard och systemutformningen. Resultaten gäller under antagandet att inga värmeförluster från panna och ackumulatortank kan nyttiggöras. Energibalansen för de olika varianterna illustreras i Figur 2.20. och systemkoncepten redovisas i Figur 2.19.

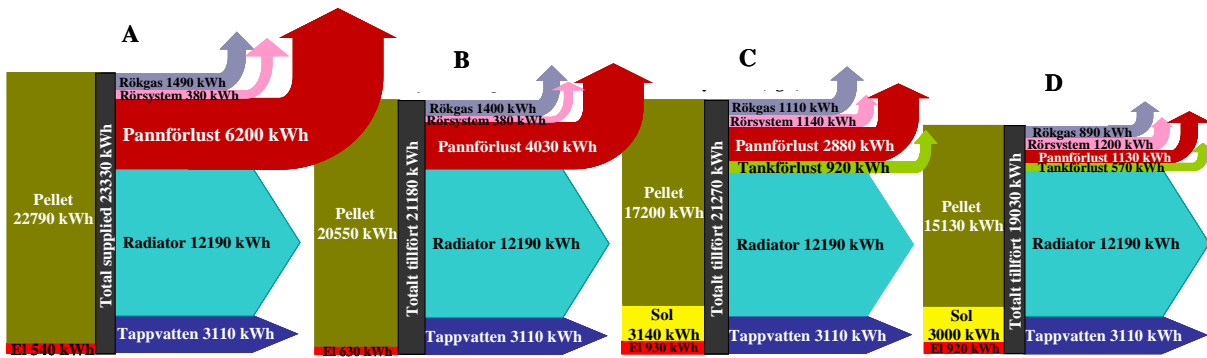


Figur 2.19. Pelletsvärmesystem med- resp. utan solvärme.

Systemtyperna i Figur 2.19 har jämförts med systemsimuleringar för ett års drift i Stockholmsklimat med en värmelast på 12200 kW h/år och en varmvattenlast på 3100 kW h/år. Solvärmesystemet har 10 m<sup>2</sup> solfångare och en ackumulatortank på 750 liter. Pelletpannan har inte någon integrerad varmvattenberedare, utan så liten vatten volym som möjligt (50 liter). Pelletpannan värmer den övre delen av tanken där också en el-patron är placerad som användas som tillskott sommartid istället för pannan.

Förklaringen till dessa resultat är att den simulerade pelletpannan har höga värmeförluster och låg verkningsgrad sommartid när värmebehovet är litet. Genom att pannan är avstängd sommartid och att varmvattnet bereds i en välisolerad solvärmd ackumulatortank, så kan man uppnå stora besparingar som tom är större än solvärmets tillskottet. Det skall dock påpekas att ett system med en dåligt isolerad ackumulatortank eller där pannan varmhålls hela sommaren får betydligt högre värmeförluster vilket kan äta upp hela besparingen från solvärmens.

Det bästa systemet (variant D i Figur 2.20) är ett möjligt framtida system, där pannvattenvolymer minskats ytterligare, pannan och ackumulatortanken har mycket bra isolering och självdragsförlusterna genom skorstenen hade minskats. Dessutom simulerades en modulerande brännarstyrning (steglös effektreglering), som gav en något högre pannverkningsgrad genom att pannan huvudsakligen gick på lägre effekt och därmed erhöles lägre rökgastemperatur. Observera att resultaten inte är generaliserbara, eftersom de bygger på en panna med en viss karakteristik. CO-emissionerna halveras i det närmaste och detta beror på att den simulerade pannan har relativt stora start och stoppsläpp och antalet start och stop minskades mycket kraftigt i detta fall.



**Figur 2.20.** Simulerad årlig energibalans för fyra olika systemvarianter [49]. Energiinnehållet i tillförd pellet, elbehov till pumpar och el-patron samt solvärme till tanken redovisas som tillförd energi. Värmebehov till radiatorkrets och tappvatten är konstant, men värmeförluster till skorsten och pannrum varierar. System A och B är ett system utan solvärme (se Figur 2.19) med enda skillnaden att pannan i A har 50 % sämre värmeisolering jämfört med pannan i B. System C och D är systemet med solvärme från Figur 2.19. Pannorna i System C och D har samma värmeförlustkoefficient. I D redovisas ett system med förbättrad värmeisolering hos tank och panna, minskad pannvattenvolym till 10 liter, 70 % lägre självdragsförluster samt modulerande brännarstyrning.

Även om värmen som produceras i ett kombisolvärmesystem används till både tappvarmvattenberedning och uppvärmning så används oftast huvuddelen av den producerade solvärmens till tappvarmvattenproduktion. Detta beror helt enkelt på att den största delen av solvärmens produceras under sommarhalvåret då värmebehovet är litet. I ett vanligt dimensionerat kombisolvärmesystem kan solvärmens stå för över 90 % av energibehovet under sommarmånaderna (juni-augusti), mellan motsvarande siffror för vintermånaderna december-februari kan vara så låg som 1 %. Under höst- och vårmånaderna står solvärmens ofta för ca 25-30% av värmebehovet [31].

### Energibehov för drift och tillverkning av anläggningen

Pumpar kräver el och skall man göra en rättvis energibalans för solvärmesystem måste man ta hänsyn till den extra elenergi som krävs i och med inkopplingen av solvärme i systemet. I ett typiskt svenskt solvärmesystem, likt det i Figur 2.1 på sidan 8, behövs en extra pump för solfångarkretsen och en extra pump som överför värme från pannan. Om pumpen i solfångarkretsen har en elektrisk effekt på ca 60W och med 1500 timmars drifttid årligen för solfångarna behövs det ca 90 kWh el för att driva systemet. Simuleringsresultat visar att elförbrukningen till pumpar och el-patronen under sommaren ökar elbehovet med ca 300 kWh per år jämfört med att ha en traditionell värmepanna. [49, 52]. Detta motsvarar i storleksordningen 10 % av solvärmestillskottet.

De pumpar som används i solvärmesystem är ofta kraftigt överdimensionerade vad avser flödeskapacitet, vilket till viss del beror på att det inte utvecklats speciella pumpar som är anpassade för solvärmesystem. Som jämförelse är den hydrauliska effekt som krävs för att cirkulera vätska i en solfångarkrets ofta i storleksordningen 2-3W, vilket är ca 4 % av den eleffekt som en normal cirkula

### Livscykelperspektiv

I ett livscykelperspektiv måste även den energi och det material som behövs för att tillverka, installera och skrota (återanvända) solvärmesystemet tas med i beräkningen. Även om detta är något som användaren ofta är omedveten om, så är det viktigt för solvärmens ställning som en miljövänlig energikälla att den totala energiåtgången under solvärmesystemets livslängd är låg. Inom det internationella samarbetet inom IEA har man räknat på flera olika kombisolvärmesystem och samtliga system visar på energiåterbetalningstider på mindre än två år [70]. Med andra ord så producerar solvärmesystemet mer energi under de första två åren än vad som används för att tillverka det. Be-

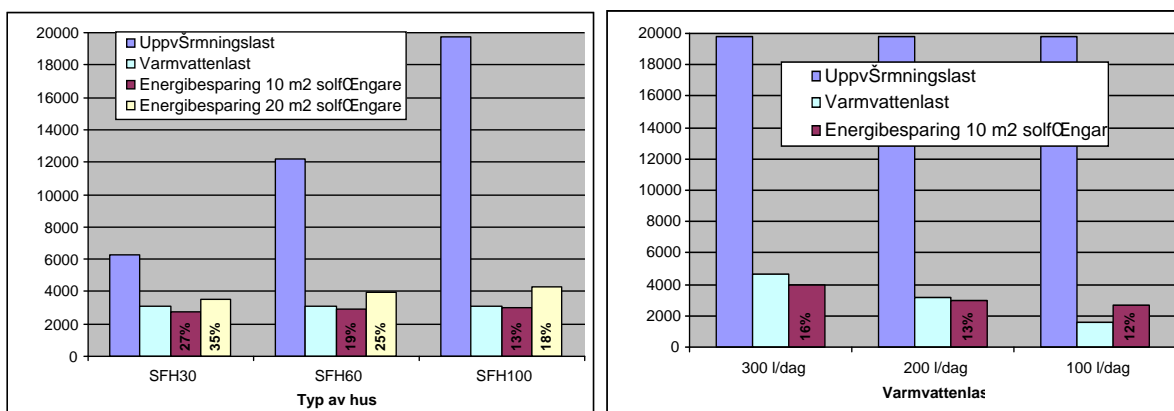
räkningarna visar också att de svenska kombisolvärmesystemen har bland de lägsta energiåterbetalningstid, bl.a. för att vi i Sverige har traditionen att använda materialsnåla produkter.

## 2.11 Faktorer som påverkar solvärmeutbytet

Hur olika konstruktionslösningar påverkar systemets prestanda har i många olika studier undersökts med ett detaljerat beräkningsprogram, TRNSYS [24], som har ”kalibrerats” mot laboratoriemätningar. Nedan redovisas en del av dessa resultat. För att beräkna energibesparingen har vi jämfört tillsatsenergin för solvärmesystemet med det som krävs av ett motsvarande konventionellt system utan solfångare men med samma typ av tillsatsenergi.

### Värme- och varmvattenlast

Figur 2.21 visar hur energibesparingen för ett optimerat solvärmesystem i Stockholm varierar med husets uppvärmnings- och varmvattenlast. SFH100, SFH60 och SFH30 är hus av samma storlek (130 m<sup>2</sup>) men med olika bra isolering. SFH100 motsvarar ett hus från 70-talet medan SFH30 är något bättre än det som dagens byggnormer kräver [10]. Resultaten visar att energibesparingen (EB) är c:a 3000 kWh för ett system med 10 m<sup>2</sup> solfångare och att det varierar förvånansvärt lite mellan de olika husen trots en faktor 2,5 skillnad i totallast. Variationen är dock större för ett system med 20 m<sup>2</sup> solfångare. Om man tittar på hur stor andel energi man kan spara, dvs. energibesparingsgrad (EBG) angett i siffror i staplarna, ser man att det ökar kraftigt med minskad uppvärmningslast.



**Figur 2.21.** Vänstra bilden: Energibesparingen för hus med olika stor värmelast. Högra bilden: Energibesparing för hus med olika stor tappvarmvattenlast. Siffrorna i staplarna anger energibesparingsgraden.

Varmvattenlasten är en av de viktigaste parametrarna som påverkar solvärmeutbytet då det är endast denna som utgör sommarlasten om man inte använder värme till golv i badrum, handdukstork eller källare (högra bilden i Figur 2.21). Med en högre förbrukning (300 liter/dag) uppnår man c:a 4000 kWh i EB.

Enligt Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut kommer solfångarna i exemplet ovan att producera 362 kWh/m<sup>2</sup> och år om solfångarnas medeltemperatur är 50°C. Används denna siffra för att beräkna årsproduktionen får man 3600 kWh värme årligen för 10 m<sup>2</sup> solfångare. Detta uppnås enbart i våra exempel om man har den högre varmvattenförbrukningen.

I Figur 2.22 redovisas simuleringsresultat för ett kaminsystem med olika tankkonfigurationer, olika solfångaryta och olika tappvattenlast i hustyp H4 (bilaga 1). Simuleringsresultaten visar att solvärmetillskottet kan ökas från 1 720 kWh till 2 990 kWh/år genom ökad tankstorlek och fördubblad solfångaryta. Resultaten visar också att en ökad varmvattenlast har liten inverkan på solvärmetillskottet för en systemstorlek på 5 m<sup>2</sup> solfångare och en ackumulatortank på 330 liter. Däremot blir påverkan av tappvattenlasten på solvärmetillskottet större för systemet med 10 m<sup>2</sup> solfångare och 750 l ackumulatorvolym.

	Varmvatten 3100 kWh	Varmvatten 5100 kWh
<p><b>S14</b> 5 m<sup>2</sup> <b>ACK</b> 330 liter</p>	Sol 7% 1720 kWh  Pellet 81% 19060 kWh η = 82%  El 12% 2740 kWh	Sol 8% 1930 kWh  Pellet 77% 19750 kWh η = 82%  El 15% 3910 kWh
<p><b>S14</b> 7.5 m<sup>2</sup> <b>ACK</b> 330 liter</p>	Sol 9% 2190 kWh  Pellet 80% 18810 kWh η = 82%  El 11% 2540 kWh	Sol 10% 2480 kWh  Pellet 76% 19530 kWh η = 82%  El 14% 3604 kWh
<p><b>S14</b> 10 m<sup>2</sup> <b>ACK</b> 750 liter</p> <p><b>K3</b></p>	Sol 12% 2990 kWh  Pellet 81% 19070 kWh η = 83%  El 7% 1590 kWh	Sol 14% 3530 kWh  Pellet 78% 19930 kWh η = 83%  El 8% 2190 kWh

Figur 2.22. Simuleringsresultat för olika systemstorlekar och varmvattenlast [46].

### Solfångarens temperaturnivå

Med ett bra utformat solvärmesystem kan nyttan av solfångarinstallationen vara betydligt större jämfört med ett dåligt utformat solvärmesystem. Ett optimalt solvärmesystem måste utformas utifrån varje enskilt hus och hushålls förutsättningar och det är därför omöjligt att ange ett optimalt solvärmesystem som passar för alla installationer. Om man bortser från solfångarna ("öklad solfångararea ger högre solvärmeutbyte") och värmelasten ("ökat energibehov under sommaren ger högre solvärmeutbyte") så finns dock vissa principer för att få stort solvärmeutbytet som är gemensamma för alla solvärmeinstallationer och det är att kunna fånga in användbar värme vid så låg solfångartemperatur som möjligt.

**”Ju högre temperatur solfångaren arbetar vid, desto mindre värme levererar den.”**

Den värme som genereras då solstrålningen absorberas i solfångaren kommer antingen att värma vätskan i solfångaren eller försvinna till omgivningen i form av värmeförluster. Värmeförlusterna är temperaturberoende, så ju högre temperatur solfångaren har, desto större blir värmeförlusterna och ju mindre del av solstrålningen kan omvandlas till användbar värme. Vill man att solfångaren ska leverera mycket energi ska man därför låta den arbeta vid så låg temperatur som möjligt.

### *Värmesystemets dimensionerande temperatur*

En studie [31] av hur solvärmeutbytet påverkas av radiatorsystemets temperaturnivå visar att det är viktigare med låg returtemperatur än låg framledningstemperatur. Detta beror på att vattnet från det uppvärmda området ändå shuntas ner till önskad framledningstemperatur i shuntventilen. Enligt simuleringsstudien som gjordes för ett kombisystem med 10 m<sup>2</sup> solfångare och en värmelast på totalt 11110 kWh, varav 3160 kWh tappvarmvatten kan en sänkning av dimensionerande returtemperatur ge en energibesparing på mellan ca 100 och 250 kWh/år.

### *Skiktning*

I en skiktad ackumulatortank bibehåller man varmt vatten i övre delen och kallt vatten i nedre delen utan att områden med olika temperatur blandas. Om innehållet i en skiktad tank blandas kommer energiinnehållet (medeltemperaturen) att vara densamma medan möjligheten att utnyttja energin försämras. En skiktad tank kan lättare klara de temperaturkrav som finns, t ex för tappvarmvattenberedning vilket gör att andra externa energikällor inte behöver tillföra värme med hög temperatur lika ofta. Samtidigt ger den blandade tanken högre temperatur i botten och därmed högre inloppstemperatur till solfångarna jämfört med om tanken är skiktad. Med ökad inloppstemperatur ökar solfångarens medeltemperatur under drift vilket ökar värmeförlusterna från både solfångarna och rörsystemet mellan tanken och solfångarna.

**”En bra skiktad tank förbättrar solvärmeutbytet.”**

Eftersom värmeutbytet från en solfångare är temperaturberoende är det ofördelaktigt att först generera värme vid en hög temperaturnivå och sedan blanda ner den till lägre temperatur vid användandet. Detta sker t ex i en radiatorshunt eller i en vanlig blandningsventil för tappvarmvatten. Av samma anledning är det fördelaktigt att använda sig av en så låg temperatur som möjligt för att klara värmebehovet. Egentligen är ju sluttemperaturbehovet bara 20°C luft för värmesystemet. Vidare bör solfångarna ges möjlighet att ladda tanken (i den övre delen) med den temperatur som krävs för varmvatten och helst inte med en högre temperatur. Detta håller solfångarens temperatur, och därmed dess värmeförluster, nere.

**”Låt värmesystemet arbeta vid lägsta möjliga temperaturnivå.”**

Finns det en komponent i systemet som motverkar en skiktad temperaturfördelning i tanken, så kan fördelarna av andra komponenter inte träda fram. Även om exempelvis en tappvattenautomat bygger upp en fin skiktning i tanken vid tappningen med bottentemperaturer på ca 15°C, så har man

ingen nytta av detta om radiatorreturen kopplas i tankens botten och flödet i värmesystemet är stort. Detta rör istället om och blandar tanken om kopplingen mellan radiatorretur och ackumulatortank är illa utformad.

**”Alla komponenter i värmesystemet ska sträva efter skiktning.”**

### ***Tillsatsvärme och buffertvolym***

Den volym i tankens övre del som värms upp av tillsatsenergi skall vara så liten och ha så låg temperatur som möjligt för att uppnå högt solfångarutbyte. Är den uppvärmda volymen liten, finns det mer utrymme att lagra solvärme i nedre delen av tanken. Har den uppvärmda volymen högst upp i tanken dessutom en låg temperatur, d v s en låg termostatinställning på tillsatsvärmen, kommer solvärmen snabbare att kunna ladda upp tanken till denna temperatur och förhindrar att tillsatsenergin behöver träda in, men för låg temperaturinställning (under 60°C) kan leda till problem med Legionellabakterier (se avsnitt 2.8 på sidan 24) eller att varmvattnet inte räcker till dusch och bad. Ökad varmvattenkapacitet kräver antingen större uppvärmd volym, eller högre temperatur i tankens övre del, vilka båda försämrar solvärmeutbytet.

**”Ökad varmvattenkapacitet ger lägre solvärmeutbyte”**

Förbränningspannor har ofta låg verkningsgrad under sommaren [10, 28, 52, 68]. Detta beror på att pannans driftstid är relativt kort samtidigt som pannan ofta har ganska stor vattenvolym. Då pannan hinner svalna genom värmeförluster mellan drifttillfällena innebär detta stor energiförbrukning i förhållande till den mängd energi som lämnas till varmvatten och värmesystemet energiförsörjning. Simuleringsresultat visar att det är möjligt att spara 200 kWh pellet genom att istället tillföra 60 kWh el till el-patronen [52]. Ur kostnadssynpunkt kan det därför bra om pannan stängs av under sommaren och att tillsatsvärmen istället kommer från en el-patron monterad i toppen av ackumulatortanken.

Om tillsatsenergin kommer från en *vedpanna* beror solvärmeutbytet dessutom på hur man eldar. Om man företrädesvis eldar på kvällen kommer ofta ackumulatortanken att ha kylts av en del under natten, vilket gör att botten på tanken, och därmed inloppstemperaturen till solfångarna, är låg då solfångarna startar dagen därpå. Om man däremot eldar på morgonen och fyller hela ackumulatortanken med varmt vatten kommer solfångarnas inloppstemperatur att vara hög från start. Det senare reducerar utbytet från solfångarna vilket i värsta fall kan bidra till kraftigt minskat solvärmeutbyte.

### ***Akkumulatortankens utformning***

Ökad **akkumulatorvolym** ger upp till en viss gräns högre energibesparing då det är lättare att spara solvärme från perioder med hög solinstrålning och låg värmelast. Å andra sidan ökar värmeförlusterna från ackumulatortanken med ökad volym (om isoleringstjockleken är konstant). Ökas akkumulatorvolymen till över 100 liter per m<sup>2</sup> solfångare är ökningen i energibesparing marginell och kan knappast motiveras av ekonomiska skäl och ökas volymen till över 150 l/m<sup>2</sup> kan energibesparingen t o m minska p.g.a. ökade tankförluster [31]. Om akkumulatorvolymen minskas till under 50-60 liter/m<sup>2</sup> solfångare så minskar även energibesparingen kraftigt, p.g.a. att en liten akkumulatorvo-

lym snabbt blir fullt uppvärmd under soliga dagar varpå pumpen stängs av och solfångaren går i stagnation.

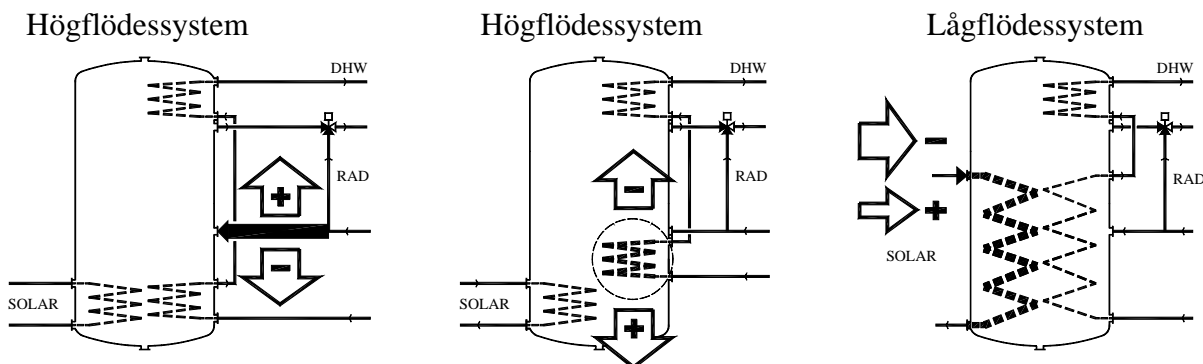
Med ny teknik som vakuumisolering och fyrkantiga ackumulatortankar som effektivt utnyttjar golvytan, samt utrustning som ger god skiktningen i tanken finns det möjlighet att öka solvärmestillskottet ytterligare, även med begränsningen att tanken får uppta en golvyta av högst 60· 60 cm [62, 66].

Även tankens isoleringsstandard påverkar energibesparingen och en tankisolering kring 10-12 cm brukar vara vanlig. Dålig isolering ökar värmeförlusterna och kan därför äta upp stora delar av energibesparingen med solvärmesystemet. Som ett räkneexempel kan nämnas att en minskning av isolertjockleken från 12 cm mineralull till 6 cm minskar energibesparingen med ca 25 %, medan en ökning av isolertjockleken till 20 cm istället ökar energibesparingen med 10 %. I detta fall antas att värmeförlusterna inte kommer huset till godo och minskar uppvärmningsförloppet. I detta fall kan 20 cm isolering av tanken vara ekonomiskt lönsamt.

I detta sammanhang är det viktigt att påpeka att värmeledning och framförallt självcirkulation i röranslutningarna till tanken kan ge stora värmeförluster, även om tanken i övrigt är välisolerad (se avsnitt 2.4). För att undvika detta kan rören förses med ett vattenlås i form av en nedgående böj på röret intill tanken innan röret går ut ur isoleringen. Höga förluster kan också uppstå genom konvektionsrörelser i isoleringen. Ytterst bör därför ett lufttätt skikt finnas som tätas vid alla rör genomföringar. Värmeförlusterna är viktiga att beakta i solvärmesystem eftersom tanken ofta kan nå höga temperaturer under solrika dagar och man vill kunna lagra detta så länge som möjligt. Dessutom kan en dåligt isolerad solvärmes tank placerad inne i huset leda till övervärmning av huset sommartid och sämre värmekomfort i huset. Om tanken är placerad i bostadsutrymmet kommer en del av värmeförlusterna att kunna tillgodoräknas husets uppvärmning under uppvärmningssäsongen. En förändring av tankens isoleringstjocklek blir då mindre kritisk, men inga studier har gjort som detaljerat undersöker detta.

### Metoder som ökar solvärmeutbytet

Systemsimuleringar visar att skiktningen och därmed solvärmeutbytet kan ökas genom att flytta värmeväxlare och röranslutningar. Tre olika förbättringsförslag redovisas i Figur 2.23. Värmeväxlaren som förvärmer vatten skall alltid börja i tankens botten och, eftersom kallvattnet är källan till de lägsta temperaturerna. Radiatorreturen som håller en högre temperatur skall placeras i tankens mitt. Därigenom hålls tankens botten väl nedkyld vilket ger låg arbetstemperatur och hög verkningsgrad på solfångaren.

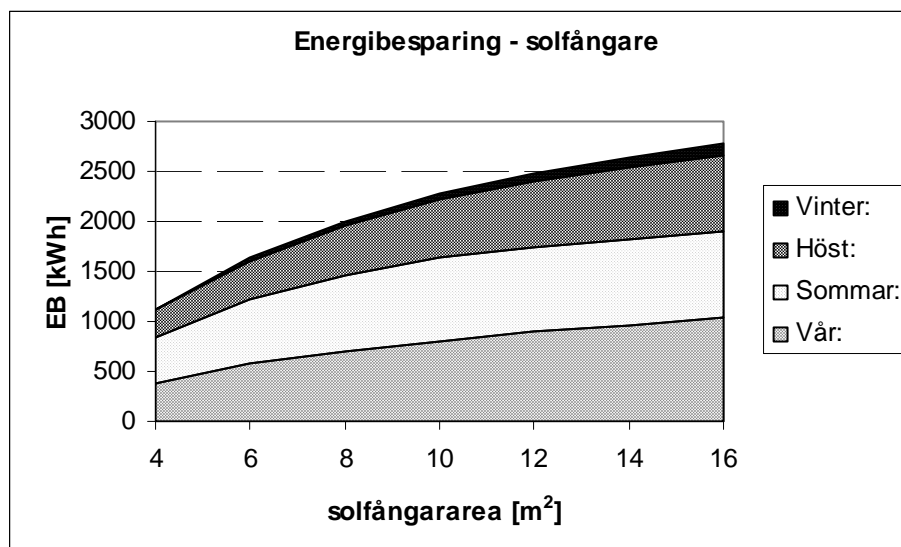


**Figur 2.23.** Radiatorreturens inkopplingshöjd, Förvärmningsslingans placering och solvärmeväxlarens flöde och utsträckthet påverkar skiktningen i tanken och därmed solvärmeutbytet.

Radiatorreturen skall anslutas en bit upp i tanken och ovanför inkommande kallvatten, eftersom temperaturen varierar mellan 25°C och 55°C. Störst möjlighet att kyla tankens botten har kallvattenet, som vanligtvis håller en temperatur på mellan 5 och 15°C.

### Solfångararea

Ökad **sol­fångararea** ger ökad energibesparing. Ju större sol­fångararean är, desto mindre marginell nytta har man dock av den ökade sol­fångarytan. Med andra ord; *fördubblar man sol­fångararean så fördubblar man inte energibesparingen*. Orsaken är att upp till en viss sol­fångaryta så genereras lika mycket nyttig (användbar) värme som ackumulatortanken kan lagra och systemet förbruka. Ökas sol­fångarytan ytterligare så uppstår allt oftare perioder där sol­fångarna tvingas arbeta vid högre temperaturer mot lagret. Ett exempel på detta visas i figur 6 som visar hur stor energibesparingen blir i ett hus med måttlig värme- och varmvattenlast vid olika sol­fångararea. Vi ser att då sol­fångararean ökas till mer än 8 m<sup>2</sup> så är det framförallt energibesparingen höst och vår som påverkas, medan den energibesparing man får sommartid är i det närmaste konstant för sol­fångare över 10 m<sup>2</sup>. Ökas sol­fångararean över 12 m<sup>2</sup> är marginalnyttan av de extra sol­fångarna mindre än 100 kWh/m<sup>2</sup> och år. Men det kan vara intressant med större sol­fångararea om varmvattenlasten är hög sommartid.



**Figur 2.24.** Energibesparing i kWh/år för ett hus med årlig värmelast på 8000 kWh och varmvattenlast på 3100 kWh, som funktion av sol­fångarstorlek fördelad på de fyra årstiderna. Solfångarna är av typ "Lesol 3" [31].

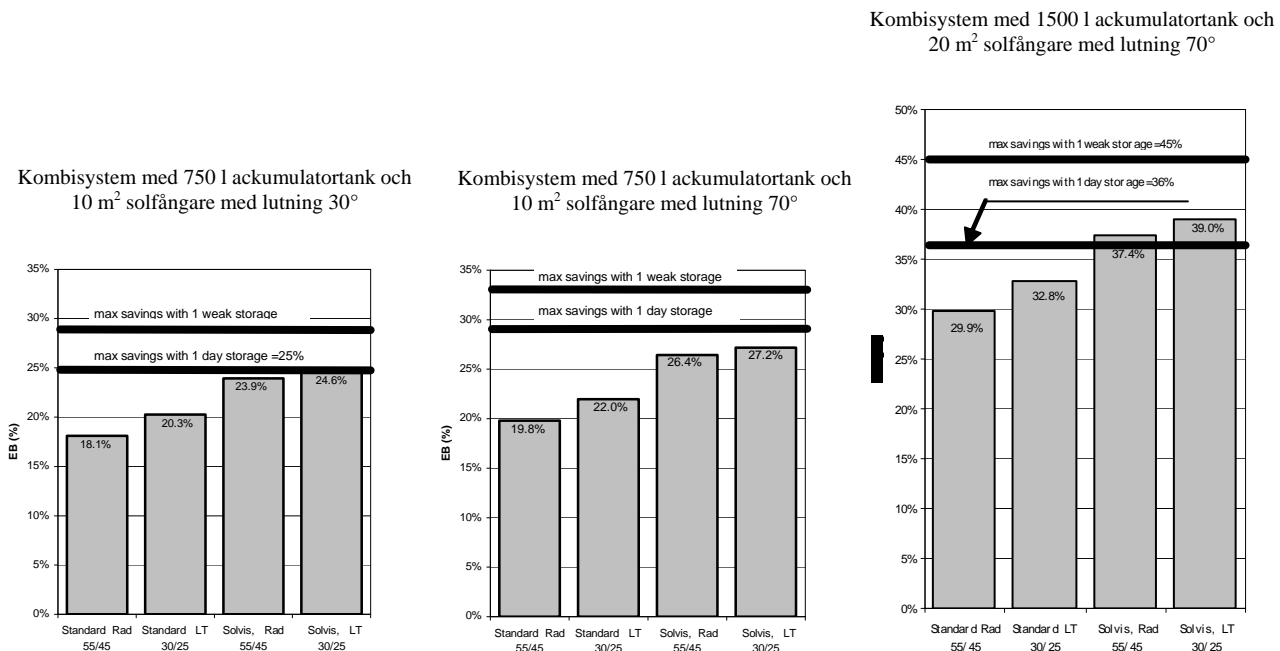
### Solfångarlutning

Weiss [70] redovisar inverkan av sol­fångarlutning och orientering för ett kombisystem med central-europeiskt klimat. Det konstateras att sol­fångarnas orientering kan avvika upp till 30° från söder och att lutningen kan variera mellan 30° och 75° utan att sol­värmestillskottet minskar med mer än 10 % jämfört med optimal sol­fångarorientering. Kovács [25] redovisar korrektionsfaktorer för hur icke optimal sol­fångarriktning skall kompenseras med större sol­fångaryta.

### Solfångarlutning, systemdesign och tankstorlek

Forskningen har visat att ackumulatortanken är en nyckelkomponent som har stor inverkan på sol­värmeutbytet [31]. Med en dåligt utformad ackumulatortank hjälper det inte att sol­fångaren är extra effektiv. Hur sol­värmesystemets energibesparing påverkas av olika faktorer visas i Figur 2.25 ned-

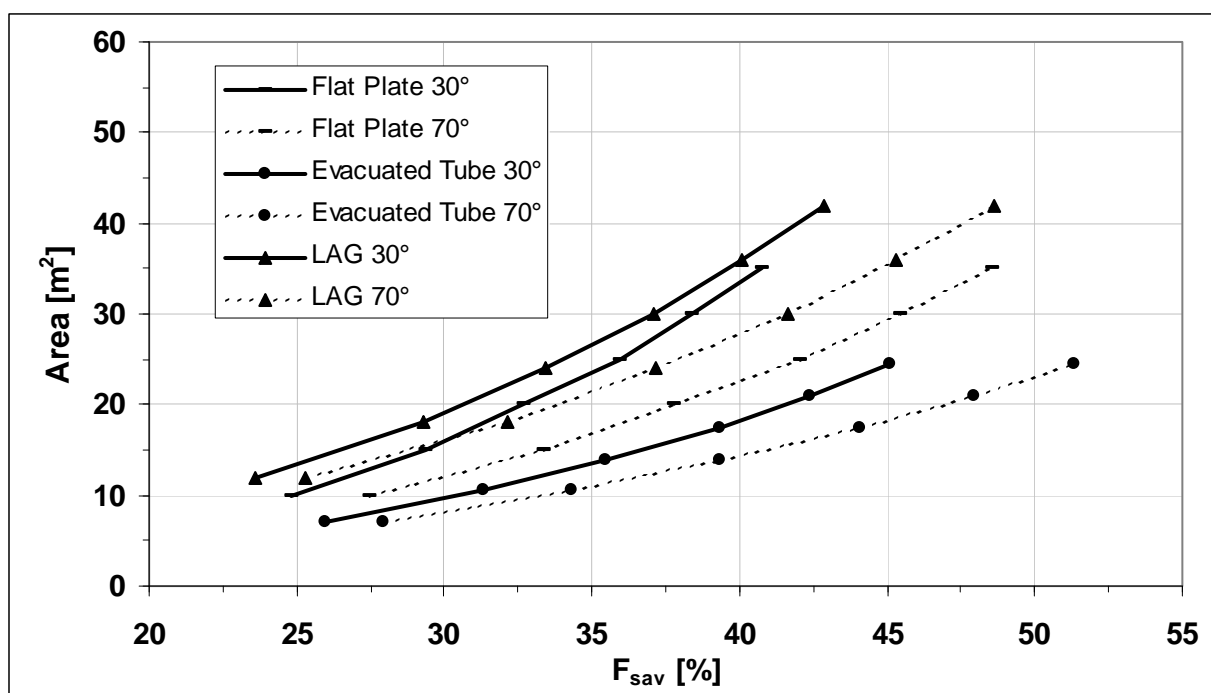
an. Samma solfångare, värme och varmvattenlast har använts i samtliga simuleringar. Simuleringarna visar att solvärmebidraget kan ökas från 18,1% till 23,9% bara genom att förbättra systemdesignen. Genom att både förbättra systemdesignen, fördubbla solfångarytan och tankvolym samt öka solfångarlutningen till 70° kan solvärmebidraget nästan fördubblas jämfört med standardsystemet.



**Figur 2.25.** Simulerad energibesparing för solvärmesystem i Stockholm med två olika tankkonfigurationer, två olika systemstorlekar, två olika värmelasttemperaturer och två olika solfångarlutningar. Värmelasten är totalt 11110 kWh, varav 7950 kWh värmebehov och tappvattenlasten är 3160 kWh. Standardsystemet är en typisk 3-slingorstank. Solvis-tanken är en mer avancerad tank med skiktad inlagring och lågt flöde i solfångarkretsen. Teoretisk sparpotential med olika lagringstid redovisas som linjer. Den vänstra figuren visar resultat för system med 750 l tank och 10 m<sup>2</sup> solfångare med lutning 30°. Figuren i mitten visar resultat för system med 750 l tank och 10 m<sup>2</sup> solfångare med lutning 70°. Figuren till höger visar resultat för system med 1500 l tank och 20 m<sup>2</sup> solfångare med lutning 70°.

### Solfångartyp

Energibesparingen är också starkt beroende av **solfångartyp**, vilket ges exempel på i Figur 2.26. Figuren visar hur stor solfångarearea som krävs för att en viss andel av årsvärmebehovet ska täckas av solvärme. Två olika solfångare och två olika solfångarlutningar jämförs. Om energibesparingsgraden med solvärme ska vara 25 % och vakuumsolfångare används, så behövs ca 2/3 av den yta som krävs jämfört med om man istället använder plana solfångare för att nå samma energibesparing. Ska däremot energibesparingsgraden vara 45 % behövs bara drygt halva ytan med vakuumsolfångare, jämfört med plana solfångare. Skillnaden beror på att vakuumsolfångarna har låga värmeförluster, vilket gör att de dels har större årsproduktion jämfört med plana solfångare, dels är mindre känsliga för ackumulatortankens temperatur och uttemperaturen, vilket gör att vakuumsolfångaren fungerar bättre under vinterhalvåret.



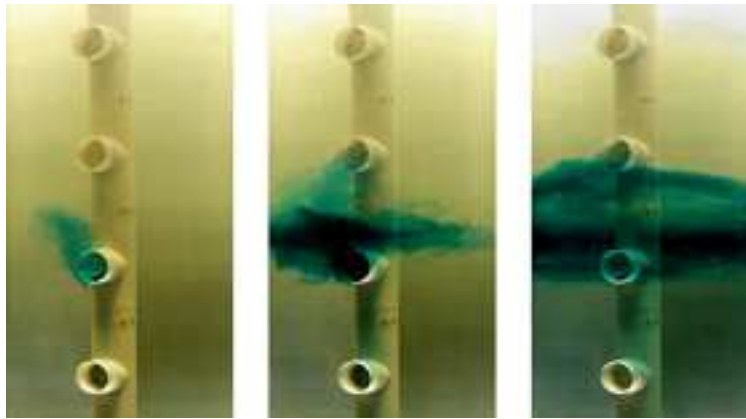
*Figur 2.26. Jämförelse mellan olika solfångartyper för hur stor solfångaryta som krävs för att nå en viss energibesparingsgrad. Exemplet bygger på ett hus i Stockholm med årlig värmelast på 8000 kWh och varmvattenlast på 3100 kWh och där ackumulatortanken har hög skiktning. För varje solfångare visas beräkningar för 30 och 70 graders solfångarlutning. Solfångarna antas vara riktade mot söder [31].*

### Uppvärmningssystemet

Radiatorretsens temperatur påverkar solvärmeutbytet genom att **låg returtemperatur** främjar ackumulatortankens skiktning. Simuleringar [31] visar t ex att det går att öka utbytet från solvärmesystemet med storleksordningen 10 % om värmesystemet dimensioneras med 25°C returtemperatur jämfört med 45°C returtemperatur vilket är vanligt för radiatorsystem idag. Framledningstemperaturen har mycket mindre påverkan på energibesparingen förutsatt att man jämför värmesystem som avger samma effekt. Det är dock inte självklart att man kan jämföra t ex golvvärmesystem med radiatorsystem då värmeförlusterna från huset i dessa fall kan vara olika, varför resultatet bör tolkas med viss försiktighet.

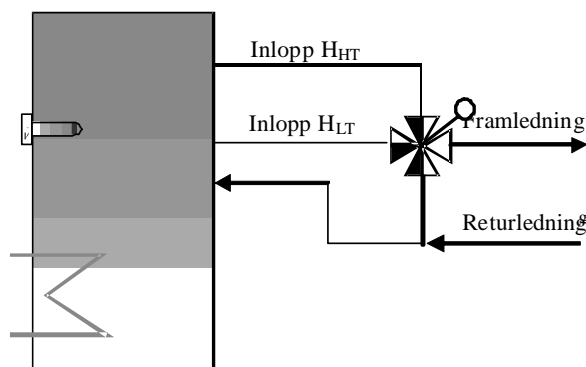
Även **radiatorinkopplingens höjd** i ackumulatortanken påverkar energibesparingen, om än i mindre utsträckning än returtemperaturen. Från en traditionell ackumulatortank hämtas värme till ett radiatorsystem via en shuntventil. Hetvattenporten på shuntventilen brukar kopplas till ackumulatortankens topp, medan returledningen kopplas till tankens botten. En högt placerad radiatorretur<sup>1</sup> främjar solvärmeutbytet under vinterperioden men försämrar utbytet något under vår och höst. Kan man ordna så att inkopplingshöjden är variabel så att returvattnet alltid hamnar på den temperaturnivå i tanken som motsvarar den aktuella returtemperaturen, så kan utbytet från solvärmeanläggningen öka i storleksordningen 3-4%. Ett exempel på variabel inkoppling är ett skiktfordelningsrör som visas i Figur 2.27. Ett skiktfordelningsrör kopplat till en extern solvärmeväxlare kan också främja solvärmeutbytet.

<sup>1</sup> Med högt placerad radiatorretur menas här på mitten eller strax ovanför mitten av tanken. Det är dock viktigt att radiatorreturen placeras under tillsatsvärmens inkoppling eller ovanför förvärmningsslingan för tappvarmvatten.



**Figur 2.27.** Ett skiktfordelningsrör som fördelar returvattnet från radiatorkretsen på olika nivåer i ackumulatortanken. Varje öppning i röret täcks av ett temperaturkänsligt membran som öppnar sig vid en bestämd temperatur. Då radiatorvattnet tillförs röret nerifrån stiger det till den öppning, där temperaturen är densamma genom vilken radiatorvattnet tillförs tanken. Bilden visar ett försök med inladdning av färgat vatten i en genomskinlig ackumulatortank. Vattnet lägger sig på rätt nivå och omrörningen i tanken är liten [70]. Bilden kommer från Solvis.

Ytterligare ett sätt att öka energibesparingen genom att modifiera radiatorkretsen är att använda en *bivalent shunt* (Figur 2.28), vilken ersätter den ordinarie 3-vägs radiatorshunten. Den bivalenta shunten blandar framledningstemperaturen från tre portar. I första hand används returvattnet blandat med lågtemperaturporten ( $H_{LT}$ ) som kopplas till tanken under el-patronen/pannan där solvärmt vatten kan hämtas. Inblandning från högtemperaturporten ( $H_{HT}$ ) som kopplas till tankens topp, sker om temperaturen inte blir tillräckligt hög från det solvärmda området och då är returporten helt stängd. Detta gör att solvärmestillskottet kan öka ytterligare något hundratal kWh/år [31, 34].



**Figur 2.28.** System med bivalent (fyrvägs) shunt på ackumulatortanken [31].

### Sammanlagringseffekter

Då flera förändringar görs samtidigt är det inte alltid säkert att effekterna av de olika förändringarna kan adderas rakt av. Ibland kan olika typer av förändringar delvis motverka varandra, vilket gör att summan i energibesparing blir mindre än summan av de enskilda förändringarnas bidrag. I andra

fall kan flera olika förändringar istället förstärka varandra så att summan i energibesparing blir större än vad man först kan tro genom att summera de enskilda förändringarnas bidrag.

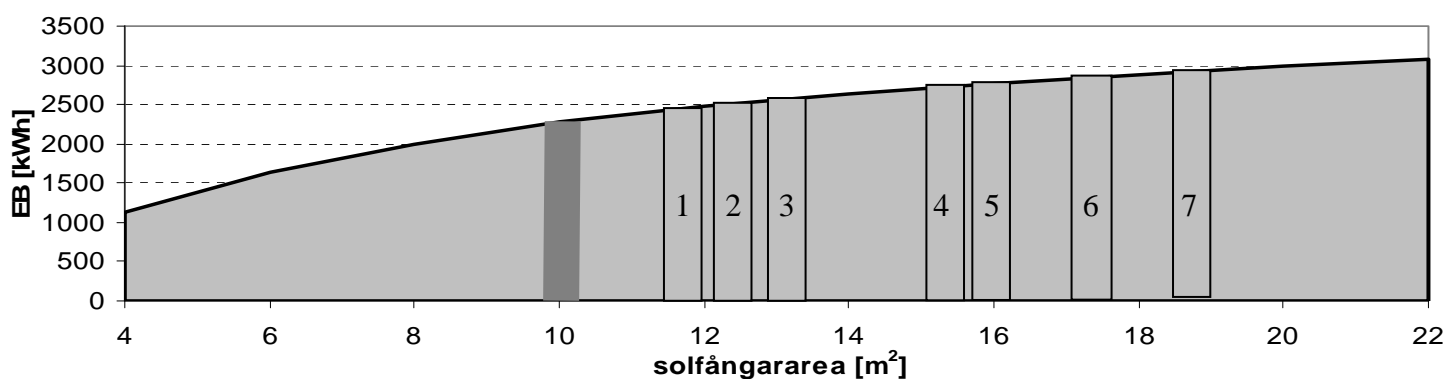
I Figur 2.29 visas exempel på hur stora energitillskotten från solvärmen kan bli för några olika systemkombinationer. Beräkningarna utgår från ett nybyggt småhus med årlig värmelast på ca 11 000 kWh och 10 m<sup>2</sup> solfångare. I figuren jämförs energitillskotten för olika åtgärder med hur stor solfångararea som krävs för att få samma energitillskott med standardsystemet. Totalt ger de olika åtgärderna som redovisas i Tabell 2.2 ett ökat solvärmestillskott på 25 %. Om samma energitillskott skall uppnås genom att öka solfångararean måste denna ökas med 90 % (från 10 till 19 m<sup>2</sup>). Detta är ett talande exempel för hur viktigt det är att ackumulatortanken är optimalt utformad.

Observera att om referenssystemet istället var försett med en extern panna (t ex olja eller biobränsle) skulle energibesparingen av köpt energi bli större, eftersom pannas verkningsgrad är lägre än en el-patröns lokala verkningsgrad (ej kraftverk och överföringsförluster inkluderade).

**Tabell 2.2**

*Ökning i årlig energibesparing för några olika åtgärder som effektiviserar en solvärmesystem [31].*

System	Ökning i årlig energibesparing (%)
1. Som referenssystemet, men utdragna värmeväxlare i tankens nedre del och lägre flöde i solfångarkretsen	6
2. Som system 1 men med en hög returinkoppling på värmesystemet	9
3. Som system 2 men med installation av en bivalent shunt på radiatorsystemet	12
4. Extern plattvärmeväxlare för tappvattenberedning.	18
5. Som system 4 men med utdragen värmeväxlare och lägre flöde i solfångarkretsen	20
6. Som system 4, men extern plattvärmeväxlare i solkretsen. Högt flöde (0,8 l/m <sup>2</sup> ,minut) i solkretsen.	22
7. Som system 6 men med lågt flöde (0,2 l/m <sup>2</sup> ,minut) i solkretsen.	25



**Figur 2.29.** Illustration över hur mycket solfångaryta som behövs i referenssystemet för att energibesparingen skall bli densamma som erhålls med hjälp av olika systemförbättringar. Systemförbättringarna beskrivs i Tabell 2.2. Tankstorlek och lastprofil är den samma [31].

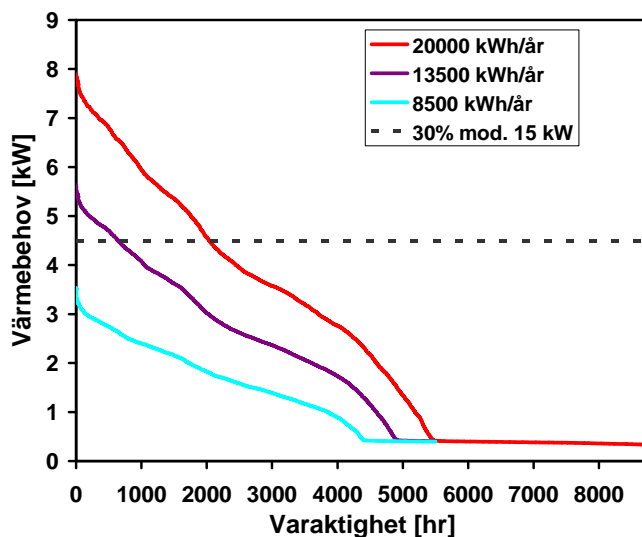


### 3 PELLETPANNOR OCH SOLVÄRME

Pelleteldning kombinerad med solvärme kan vara en effektiv kombination, där de olika energislagen kompletterar varandras svagheter till en effektiv kombination. Sommartid innebär pelleteldning i regel dålig verkningsgrad och relativt höga emissioner när endast varmvattenlasten skall täckas [15, 19, 48]. Sommartid kan då ersättas med solvärme. Vintertid ger dock solvärmens ett marginellt tillskott men då fungerar pelleteldningen som bäst med relativt få starter och stop, långa drifttider och högre verkningsgrad.

#### *Effektbehov beroende på uppvärmningsbehov*

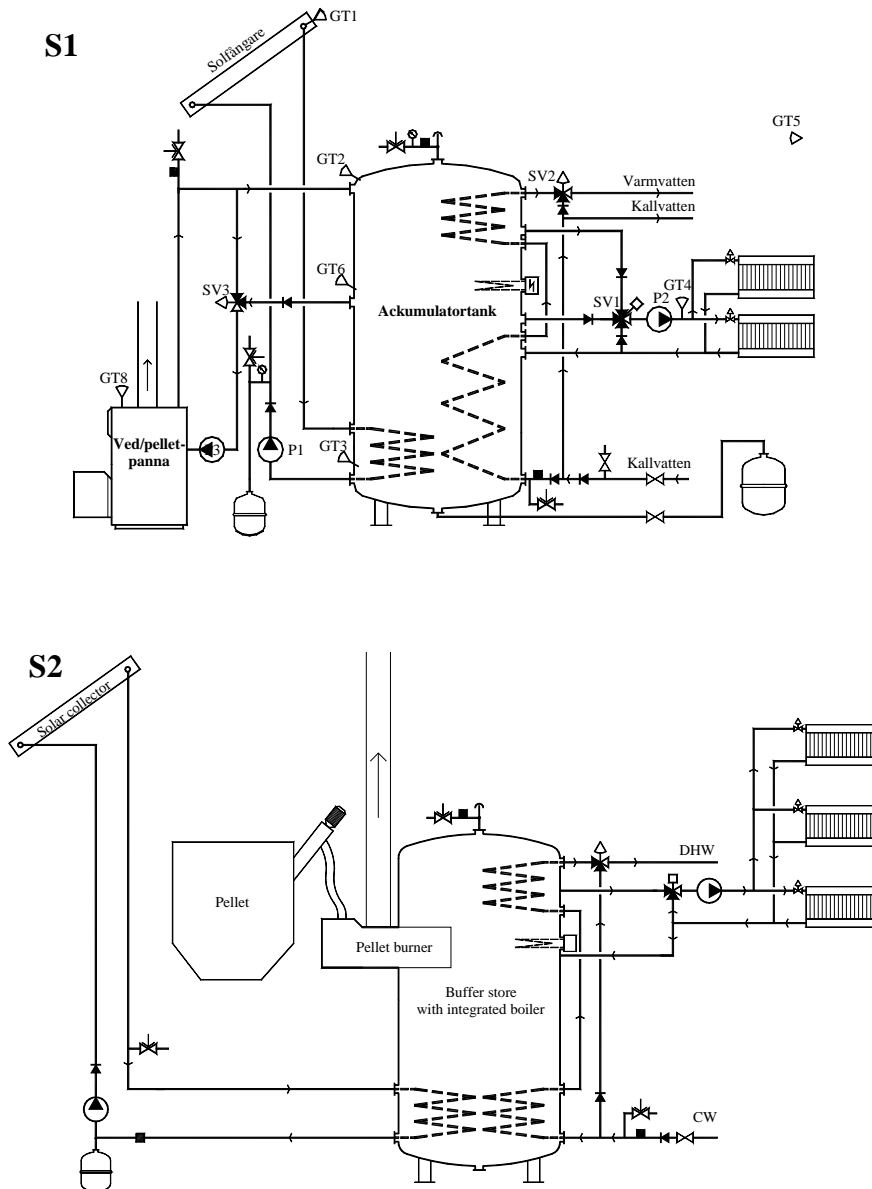
Dimensionerande effektbehov är beroende av husets isolerstandard och kan uppskattas utifrån husets uppvärmningsbehov samt antal gradtimmar och dimensionerande utetemperatur för orten. En beräkning av effektbehovet för tre hus med olika isolerstandard i Stockholm redovisas i Figur 3.1. Resultaten visar att effektbehovet är ganska litet och att en brännare på ca 10 kW är mer än tillräckligt för de flesta småhus. Dock krävs ackumulering för att klara tappvarmvattenlaster då effektuttaget lätt uppgår till mellan 30 och 40 kW.



**Figur 3.1.** Effektbehov som funktion av värmebehovet för hus i Stockholm med olika värmebehov. En tappvarmvattenlast på ca 3100 kWh är utjämnad som en konstant medeleffekt över hela året.

#### 3.1 Systemuppbyggnad

Det finns näst intill oändligt antal möjligheter att utforma integrerade system för bio- och solvärme. Ett stort antal lösningar som kan vara lämpliga i det svenska byggnadsbeståndet har presenterats av Lennermo [30] och Persson [46]. I denna handbok berörs endast ett urval av systemen. Ytterligare systemlösningar som är vanliga i Europa har presenterats av Weiss [70].



Figur 3.2. Två olika principer för att kombinera pelleteldning och solvärme [48].

### Pannor med inbyggd varmvattenberedning

Att kombinera solvärme och pannor med inbyggd varmvattenberedning bör i möjligaste mån undvikas, då det blir mer komplicerade lösningar med risk för större värmeförluster och reglerproblematik. Problemen med systemlösningen är flera. Det kan vara svårt att hitta en vettig lösning så att pannan kan stängas av sommartid. Man får då värmeförluster från både pannan och tanken hela sommaren. Det andra problemet är att skiktningen i tanken kan bli dålig. Överflyttningen av solvärme från ackumulatortanken gör också att utnyttjandet av solvärme för uppvärmning blir lågt, samt att det minskar möjligheterna att bibehålla god skiktning i ackumulatortanken. Traditionella pannor där varmvatten- och radiatorkrets är inkopplad till panna är därför olämpliga i kombination med solvärmesystem och skapar problem vid systemdesignen. Om det finns en marknad för sådana system (t.ex. för att kunna komplettera med solvärme till redan befintliga anläggningar) kan detta inkluderas i ett senare skede i handboken.

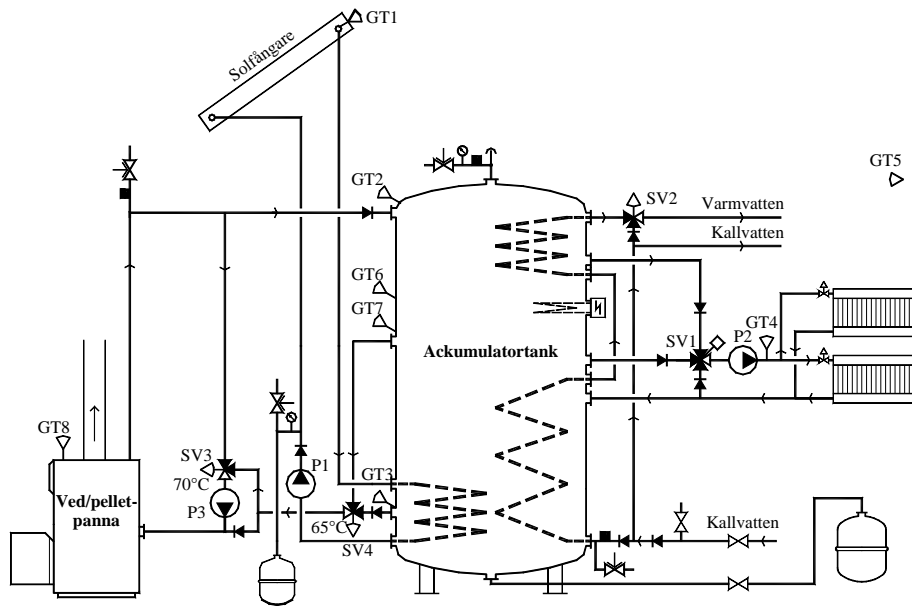
### ***Pannor utan varmvattenberedning***

System S1 i Figur 3.2 visar en panna med liten vattenvolym, utan varmvattenberedning och utan radiatorinkoppling. Pannan är istället kopplad mot ackumulatortankens övre del och pannan används som tillsatsvärmekälla. Det betyder att pannan kan vara avstängd då solvärmen ensamt klarar uppvärmningen, vilket minskar värmeförlusterna från pannan sommartid. Pannan skall inte kopplas med en anslutning till tankens botten, då detta leder till att tankens nedre del kommer att värmas av pannan. Detta gäller oavsett på vilken höjd som givaren placeras, eftersom vattnet som finns i tankens topp då pannan och pumpen startar flyttas neråt mot tankens botten. I det fall pelleteldning kombineras med vedeldning eller enbart vedeldning kan en specialkoppling enligt Figur 3.3 tillämpas. Med en sådan koppling kommer den övre delen av tanken att laddas först, utan att tankens undre del påverkas. När temperaturen vid SV1 är högre än ca 65°C kommer reglerventilen att blanda in vatten även från tankens nedre del så att hela tanken börja laddas. Därigenom bevaras skiktningen i tanken om man enbart eldar pellet eller om man inte värmer hela tanken när man eldar ved.

Reglersystemet måste stänga av pannan och cirkulationspumpen när solvärmesystemet ensamt klarar uppvärmningen. Pannan måste därför styras på temperaturgivare i ackumulatortanken [52]. Cirkulationspumpen bör endast vara i drift då pannan är varmare än tanken och kan därför inte styras på enbart en temperaturgivare i pannan. Då kommer inte pumpen att stanna efter att pannan varit i drift, eftersom cirkulationen genom tanken håller pannan varm. Då kan tanken istället komma att kylas av pannan. En tidsstyrning som kör cirkulationspumpen en stund efter att brännaren stoppats är ett enkelt sätt att ta tillvara en del av restvärmen i pannan jämfört med att använda en differens-termostat.

När det gäller den uppvärmda volymen i tanken är ju grundförutsättningen att varmvattenlasten kan tillfredställas när den uppvärmda volymen är som minst, dvs. alldeles innan pannan startar. Genom att ha en hög stopptemperatur och lågt placerad utloppsledning till pannan minskar antalet start och stop för brännaren, men samtidigt minskar solvärmeutbytet. Någon heltäckande optimering av uppvärmd volym har ännu inte gjorts, men en simuleringsstudie [52] visar att tankens värmeförluster tillsammans med minskat solvärmebidrag gör att den totala pelletförbrukningen ökar med större uppvärmd tankvolym. Dock minskar CO-emissionerna, eftersom antalet start och stop minskas. Studien visade också att det i detta fall var lönsamt att helt stänga av pelletpannan sommartid och istället använda elvärme som tillsatsvärme. För att leverera en enda kilowattimme till tanken sommartid måste ju pannan först värmas upp, vilket innebär att många kWh slösas bort. För utformningen av ackumulatortanken i övrigt hänvisas till avsnitt 2.4 på sidan 14.

På den europeiska marknaden är varmvattenberedningen vanligtvis inte inbyggd i pannan. Här är det vanligt med separata varmvattenberedare med laddvärmeväxlare. Radiatorkretsen är ansluten direkt till pannan. Varianter på sådana system med solvärmd varmvattenberedare är också möjliga och ett stort antal varianter på denna typ av system redovisas i Task 26- arbetet [69] och i en dansk undersökning om kombinerade solvärme- och bibränslesystem [11]. Det är emellertid svårt att dra några slutsatser vilka systemvarianter som är de bästa, eftersom inte samma pannor har använts i de olika systemen vid simuleringsarbetet. Systemverkningsgraden var därför i hög grad beroende av pannans egenskaper.



**Figur 3.3.** Inkoppling av pannan för att möjliggöra både vedeldning och pelleteldning. SV4 börjar växla över till den undre anslutningen då temperaturen är 65°C. Kopplingen är också fördelaktig då man enbart eldar ved. Om man inte eldar fullt under våren finns kallt bottenvatten kvar för inlagring av solvärme. Om tanken slavkopplas bör minst fyra överkopplingar göras mellan tankarna för att få en god skiktning även med slavtanken inkopplad.

### Pannor med inbyggt solvärmelager

Systemalternativ S2 i Figur 3.2 visar en enhet där brännaren är inbyggd i den övre delen av en panna/akkumulatortank som också innehåller värmeväxlare för solvärmekrets och tappvarmvatten. Med en sådan konfiguration har man möjlighet att göra ett utrymmeseffektivt och kostnadseffektivt system. En fördel jämfört med system S1 är att det blir mindre pumpar och enklare styrning samt att det aldrig blir värme kvar i pannan som inte kan utnyttjas för uppvärmning. En nackdel jämfört med system S1 är att det är svårare att åstadkomma en välisolerad tank, eftersom brännare och skorstensanslutning bildar köldbryggor och att ett ev. självdragsflöde genom skorstenen genererar värmeförluster även då pannan inte används.

## 3.2 Reglering av pelletpannan

### Reglerstrategier

För ett system enligt princip S2 i Figur 3.2 gäller generellt att givaren eller givarna som skall styra brännarens till och frånslag alltid skall vara placerade i akkumulatortanken. Detta för att brännaren inte skall starta om temperaturen i tanken är tillräckligt hög med enbart solvärme. Detta minskar värmeförlusterna från pannan när det finns solvärme.

Vanligt förekommande reglerstrategier för en panna/kamin är on/off-reglering (strategi A) eller växling mellan på- och underhållsfyr (Strategi B). Det förekommer även brännare där effekten varierar i flera steg så att drifteffekten anpassas till aktuellt effektbehov (strategi C). Därigenom kan antalet start och stop minskas. Brännarens funktion styrs i regel med temperaturgivare som mäter vattentemperaturen. I de fall pannan ansluts till akkumulatortanken enligt system S1 i Figur 3.2 är

det säkrast att använda två givare. En högre placerad givare som startar brännaren vid temperatur T1 och en lägre placerad givare som stoppar brännaren vid temperaturen T2. Temperaturen T2 bör då vara högre än T1 och ju större mellanrum mellan givarna och ju högre temperaturskillnad desto längre drifttider erhålls.

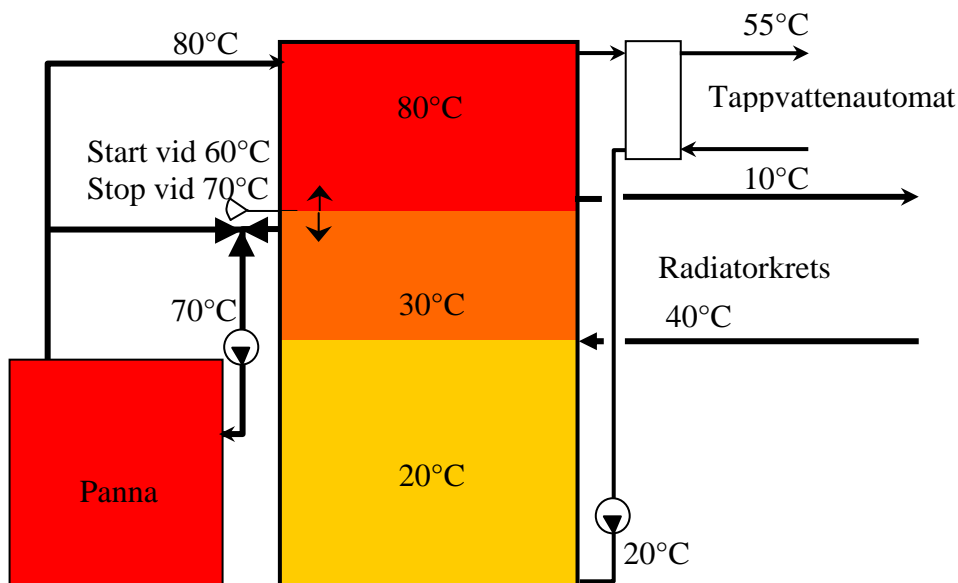
### Underhållsfyr

Många brännare kan ställas in så att underhållsfyr används istället för att brännaren stoppas helt. Genom att fylla på några enstaka pelletar då och då underhålls glödbädden och brännaren behöver inte tända pelleten med tändelementet. Fördelen är att livslängden på tändelementet ökar och att startutsläppen kan bli något mindre, men å andra sidan har man höga CO-emissioner så länge glödbädden hålls vid liv och utsläppen riskerar därför att bli mycket större [36, 56]. Dessutom ökar risken med bakbrand vid underhållsfyr [42]. För att minska utsläppen bör man därför stoppa brännaren helt och bränna ur kvarvarande bränsle så fort som möjligt.

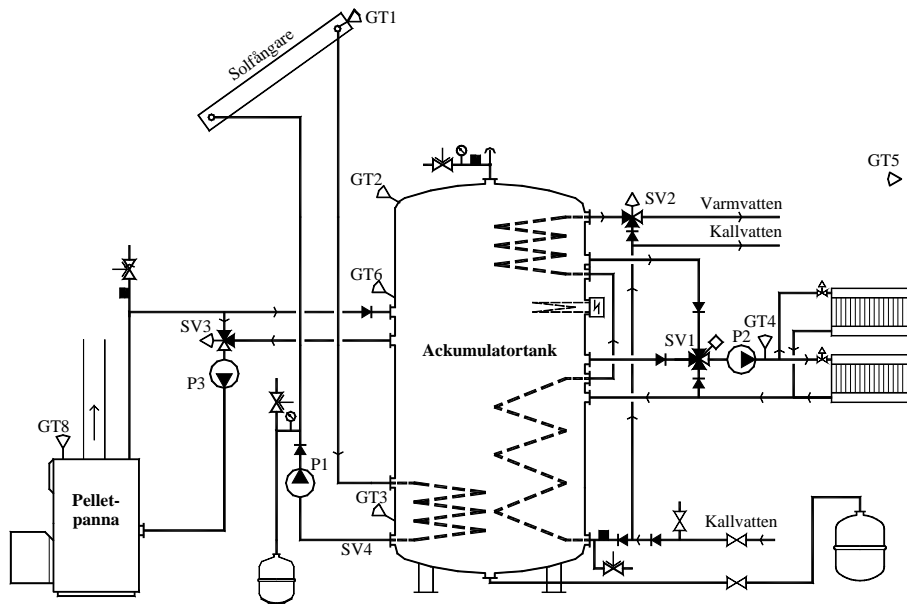
### En eller två givare i tanken

Om hysteresen (temperaturskillnaden mellan tillslag och frånslag) är tillräckligt stor kan det också fungera bra med endast en givare, men detta är en riskabel lösning, eftersom det kan bildas en skarp temperaturgradient i tanken, så kan detta fungera bra i vissa fall och i andra fall med en välskiktad tank orsaka att brännaren startar och stoppar ofta. Problematiken illustreras i Figur 3.4. En sådan styrning måste därför utprovas mycket noga med alla tänkbara laster. Det som påverkar hur det fungerar är inställd start och stop temperatur för brännaren samt vattentemperatur och flöde från pannan. De påverkas i sin tur av inställd inloppstemperatur till pannan, flödet genom pannan samt pannans avgivna effekt.

Styrning av brännaren för systemalternativ S2 i Figur 3.2 kan ske med enbart en givare om hysteresen är tillräckligt hög och om tilloppet från pannan placeras mellan returen till pannan och temperaturgivaren (GT6). En sådan inkoppling illustreras i Figur 3.5 Värmen tillförs då enbart den övre delen av tanken utan att en skarp temperaturgradient förflyttas över givaren.



**Figur 3.4.** Illustration av en skarp temperaturgradient i en väl skiktad tank som kan skapa problem med många starter och stop vid ON-OFF styrning av brännaren om endast en temperaturgivare används i ackumulatortanken. Brännaren är inställd på att starta vid 60°C och stoppa vid 70°C. Utloppstemperaturen från pannan är 80°C och tanken kyls av en tappvattenautomat och ett radiatorsystem



**Figur 3.5.** Förslag till inkoppling av pelletpannan för styrning av pelletbrännaren på enbart en givare i tanken (GT6) utan att riskera många starter och stop av brännaren.

### Modulerande styrning

Modulerande reglering (Reglerstrategi C) innebär att förbränningseffekten anpassas till värmebehovet för att undvika att brännaren startar och stoppar ofta. Om temperaturen i tanken stiger, trots att brännaren går på lägsta möjliga effekt, måste dock brännaren ändå stoppas. Simuleringsresultat [15, 18, 19, 48, 50, 52] visar att modulerande styrning av brännaren reducerar antalet start och stop mycket kraftigt och kan i de fall då brännarens start- och stoputsläpp är relativt höga ge stora utsläppsminskningar av kolmonoxid (oförbränt).

Modulerande reglering kan vara problematisk att implementera i ett kombisystem med separat panna och tank (system S2 i Figur 3.2) om temperaturgivaren (GT6 och GT7) som styr förbränningseffekten är placerad i tanken. Det beror på att det tar lång tid mellan att förbränningseffekten ändras och att temperaturen i tanken vid GT6 ändras. Temperaturen vid givaren kan också ändras kraftigt av att flödet från pannan ändras eller att ett skarpt gränsskikt mellan varmt och kallt vatten förflyttas förbi givaren, något som inte alls påverkas av förbränningseffekten. Med andra ord så är temperaturen vid GT6 inte direkt beroende av förbränningseffekten och värmeuttaget, vilket gör det näst intill omöjligt att styra effekten på denna givare. Det är stor risk att brännaren enbart växlar mellan maximal och minimal effekt och i värsta fall kanske brännaren stannar och stoppar, trots att det inte är nödvändigt (lasten är större än lägsta förbränningseffekt).

För att möjliggöra en modulerande styrning i systemkoncept S2 kan en möjlighet vara att ansluta pannan till tanken enligt Figur 3.5 så att skarpa gränsskikt i det uppvärmda området undviks. Dock blir tidsfördröjningen mellan ändrad förbränningseffekt och temperaturändring vid GT6 ändå stor. Troligen behöver pannans effekt styras på temperaturen i pannan (GT8) och givaren (givarna) i tanken styra start och stop av brännaren. Eventuellt skulle man också kunna få en bättre reglering av effekten om man mäter lastens storlek och uppskattar kvarvarande energimängd i tanken.

### Utvecklingsbehov

Av den enkätundersökning som genomfördes bland deltagande företag inom projektet är det tydligt att styr och regler systemet för integrerade bio- och solvärmesystem anses problematisk. Om tradi-

tionella villaregulatorer skall användas kan det innebära att det behövs tre till fyra och i värsta fall fem olika reglercentraler. Detta ökar kostnaderna och innebär att en optimal reglerfunktion inte kan uppnås. Det har utvecklats regulatorer som avser att styra en större del av systemet som kan vara lämpliga för integrerade bio- och solvärmesystem [22] och det pågår utveckling av specialanpassade reglercentraler i Sverige [3]. Men det finns säkerligen ett ytterligare utvecklingsbehov för att minimera behovet av injustering och felsökning vid installationen.

Regulatorer baserade på mikroprocessorer som kan styra alla delar i systemet är ett angeläget utvecklingsbehov. Då finns möjlighet att implementera funktioner som underlättar installation och intrimning som t.ex. självlärande regulatorer och med inbyggda funktioner för kontroll och varning om något går sönder eller blir felaktigt installerat. Det finns också ett behov att minska av att injusteringsarbetet efter installationen. För brännaren bör det dessutom göras varje gång som pelletkvaliteten ändras. Detta är något som kan bli möjligt i och med att nya långtidsstabla gassensorer utvecklas [12-14]. En litteraturstudie på området med målsättningen att få till stånd ett utvecklingsprojekt kommer att genomföras vid Högskolan Dalarna under 2009.

En intervjuundersökning bland husägare som installerat bio- solvärmesystem [21] visar brister i både systemutformning och samordning bland installatörerna av bio- och solvärmesystem. Husägaren har fått lägga mycket tid på att tänka ut hur utrustningen skall få plats och få rätt hantverkare vid rätt tillfälle. Dessutom var det även en hel del problem med intrimning av anläggningarna innan de fungerade tillfredsställande. Det är alltså inte bara de tekniska systemen som behöver utvecklas utan också installatörernas ansvar och samordning vid försäljning och installation. Det kanske mest alarmerande med undersökningen var att samtliga husägare sade sig välja denna typ av system av ideologiska skäl. Detta indikerar att dessa system ännu inte är mogna för "vanliga" familjer som bara vill ha ett värmesystem. Men i slutändan blev ändå de flesta familjer nöjda med sina system, vilket också var resultatet av en tidigare genomförd enkätundersökning [42].

### 3.3 Faktorer som påverkar verkningsgrad och emissioner

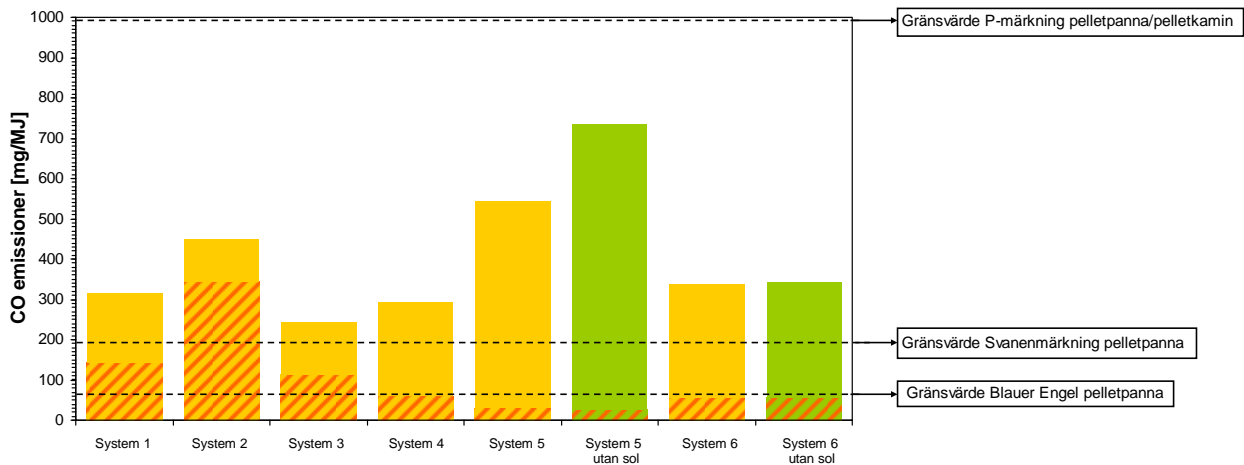
Emissioner från biobränsleeldning är ett aktuellt ämne, men det är främst emissionerna från vedpannor utan ackumulatortank som anses vara helt dominerande [61]. Emissioner från pelleteldning bör dock ändå beaktas då det är en teknik för framtiden och som dessutom kan eldas i mer tätbebyggda områden.

Gränsvärden för utsläpp från småskalig eldningsutrustning gäller emissioner av kolmonoxid (CO), organiskt bundet kol (OGC) och partiklar (stoft) [55]. I Tyskland och Österrike finns även krav på kväveoxider (NO<sub>x</sub>). Höga emissioner av kolmonoxid är en indikator på dålig förbränning. Gasen är luktfri och inte farlig när den späds ut i luften, men i högre koncentrationer kan den leda till kvävning då den påverkar syreupptagningsförmågan. Man har antagit att CO är en bra indikator även för andra emissioner. Kolväten (OGC) som helhet tycks följa CO-emissionerna [39, 63], men forskning har också visat att vissa cancerframkallande kolväten inte alls följer utsläppskurvan för CO [40].

#### *Stora utsläpp vid start och stopp*

CO-emissioner uppstår framförallt under start- och stoppfasen, men emissionerna ökar också i regel med minskad förbränningseffekt [48]. Solvärmens inverkan på emissionerna är därför kraftigt beroende på utrustningens karakteristik. De emissionsminskningar som kan åstadkommas genom att komplettera med solvärme beror dels på att mindre pellet eldas upp, men framförallt minskar emissionerna, eftersom sommardriften med litet energibehov, men förhållandevis många starter och stop, kan undvikas. För att minska emissionerna är det således viktigt att systemet möjliggör att

sommar drift av pannan undviks. För att åstadkomma ett effektivt system måste både solvärmesystemets utformning (som beskrivs i avsnitt 2) och pannans och brännarens tillkoppling och styrning beaktas.

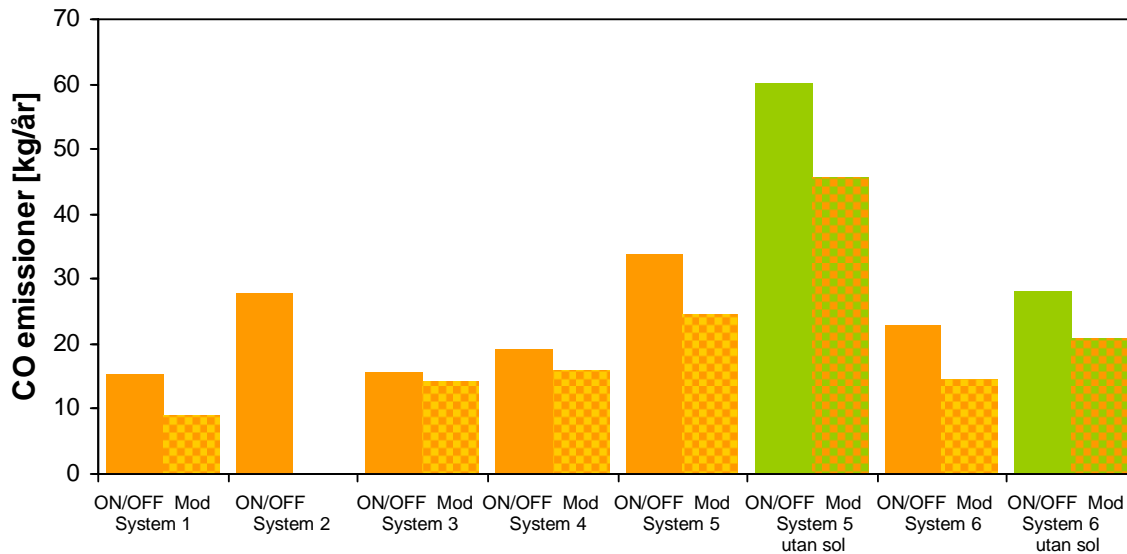


**Figur 3.6.** Simulerade CO-emissioner för åtta olika pelletsystem varav två varianter utan solvärme (gröna staplar) [50]. Streckat område på stapeln visar andelen emissioner som uppkommer under drift. Övriga emissioner uppkommer i samband med start och stopp [15, 18, 19, 48, 50, 52].

Figur 3.6 visar simulerade utsläpp av kolmonoxid för ett års drift per megajoule förbrukad pellets (1 megajoule motsvarar cirka 60 gram pellets). Sex olika villasystem med solvärme redovisas (gula staplar) varav två även simulerats utan solvärme (gröna staplar). Streckat område på staplarna visar andelen emissioner som uppkommer under driftfasen, och övriga delen av stapeln visar andelen start- och stopputsläpp. Som jämförelse visas exempel på gränsvärden upprättade av bland annat SP (P-märkning), Svanen och tyska Blauer Engel. Sett på ett helt års drift är det inget system som klarar gränsvärdena från Svanen och Blauer Engel, men de flesta pannor klarar dock gränsvärdena ändå, eftersom de testsekvenser som används inte genererar så många starter och stopp som under mer verklighetstrogen drift. Start- och stopputsläppen utgör i de flesta fall en mycket stor del av de årliga totala utsläppen av kolmonoxid för ett pelletvärmesystem. Tendensen är att de pannor som har de lägsta utsläppen under drift har de högsta utsläppen under start och stopp. Det kan bero på att pannor med keramik eller undermatade pannor brinner fint under drift, men under startperioden kyler keramiken lågan och efter stopp glöder kvarvarande pellet i en undermatad brännare med höga emissioner. Det har också visat sig att om det finns glödande, icke helt förbrända pelletar som faller ner i asklådan ger det högre CO-emissioner när brännaren sedan stoppas [51].

### **Solvärme minskar utsläppen**

Genom att komplettera anläggningen med solvärme minskas utsläppen genom att eldnings säsongen kortas och sommar driften då pannan har sämst verkningsgrad med flest start och stopp i förhållande till levererad energimängd elimineras. Figur 3.7 visar totala CO-emissioner i kilogram per år för de olika systemen och där kan vi se att system 5 och 6 med solvärme har lägre utsläpp än motsvarande system utan solvärme. För system 5 får man nästan en halvering av utsläppen då det kombineras med solvärme. En oberoende simuleringsstudie av Streicher *et al.* [63] visar också på att emissionerna kan halveras genom att öka volymen på värmelagret och därmed minska antalet starter och stopp.



**Figur 3.7.** Simulerade årliga CO-emissioner för åtta olika pelletsystem varav två varianter utan solvärme (gröna staplar) [50]. Två olika styrprinciper simuleras: On/Off-reglering och modulerande för alla system utom System 2 (se avsnitt 3.2). Årliga värmebehovet är cirka 15 MWh.[15, 18, 19, 48, 50, 52].

### ***Underhållsfyr, on-off- eller modulerande brännarstyrning?***

Figur 3.7 visar också CO-emissionerna i kg/år för On/Off-reglering (Reglerstrategi A, avsnitt 3.2) och modulerande brännarstyrning (Reglerstrategi C, Avsnitt 3.2). Modularande brännarstyrning innebär att brännarens effekt anpassas efter lasten och stannar då endast om lägsta effektnivå får temperaturen att stiga. Detta kan ge kraftig minskning av utsläppen om start- och stopputsläppen är stora och om CO-utsläppen inte ökar så mycket av minskad förbränningseffekt. I de fall som studerats här ger den modulerande brännarstyrningen oftast lägre emissioner, men resultaten är ju direkt beroende av hur många starter och stopp man kan spara, samt brännarens utsläppskaraktistik. Den modulerande brännarstyrningen kan ge högre verkningsgrad genom att rökstemperaturen blir lägre vid lägre eldningsseffekt, men vinsten kan till stor del ätas upp av att luftfaktorn ofta ökar med minskad förbränningseffekt. **Således är det viktigt att brännaren är väl injusterad när modulerande brännarstyrning tillämpas.**

Pettersson *et al.* [56] genomförde mätningar av emissioner på fem olika pelletspannor under sommarlast med enbart varmvattenbehov. Pannorna som kördes med underhållsfyr hade betydligt högre utsläpp än de som styrdes med elektrisk tändning. CO emissionerna var 6 till 13 gånger högre med underhållsfyr och kolväteutsläppen var 20 till 60 gånger högre. Partikelutsläppen ( $PM_{2,5}$ ) var 10 till 75 gånger högre med underhållsfyr.

## **3.4 Generella rekommendationer**

Sammanfattningsvis gäller att för att uppnå väl fungerande system med pelletspannor och solvärme är det viktigt att tappvattenberedningen sker i ackumulatortanken och att god skiktning skapas. Inkommande tappvatten skall kyla av tankens botten och radiatorreturen som har en något högre tem-

peratur skall anslutas i tankens mellersta del. Pelletpannan skall vara inbyggd i, eller ansluten till tankens övre del och värma en tillräcklig volym för att tillfredställa varmvattenbehovet. Temperaturen skall vara tillräckligt hög för att klara varmvattenberedningen och undvika legionellarisker, men så låg som möjligt för att uppnå hög täckningsgrad för solvärmen. Pannan skall stängas av när solvärmesystemet ensamt klarar uppvärmningen. För separata pannor krävs det således att pannan styrs på temperaturgivare i ackumulatortanken och att cirkulationspumpen endast är i drift då pannan är varmare än tanken.

Ofrivillig självcirkulation i anslutande kretsar som kan kyla av och blanda om ackumulatortanken skall förhindras med backventiler. Dessutom skall pannvattenvolymen vara liten och ackumulatortank och panna skall vara mycket välisolerade. En välisolerad ackumulatortank uppnås genom att ha ett lufttätt skikt utanpå isoleringen där köldbryggor via rören eliminerats genom att de böjs av neråt innan de bryter igenom isolerskiktet. Traditionella pannor där varmvatten- och radiatorkrets är ansluten till pannan är inte lämpliga i solvärmesystem, eftersom det är svårt att uppnå bra skiktning i tanken och pannan måste hållas varm hela sommaren.

## 4 PELLETKAMINER OCH SOLVÄRME

En liten del av pelletinstallationerna i Sverige utgörs av pelletskaminer. Här finns en stor potential i det elvärmda småhusbeståndet med en möjlig installation av upp till 84 000 luftburna pelletskaminer inom 10 år [37], men marknaden har inte utvecklats än. Det är främst i det direktelvärmda husbeståndet som denna systemlösning har en potential. I denna huskategori har hittills luft-luftvärmepumpar haft mycket stor framgång med ett totalt antal sålda pumpar tom år 2006 på ca 192 000 [60].

### 4.1 Systemuppbyggnad

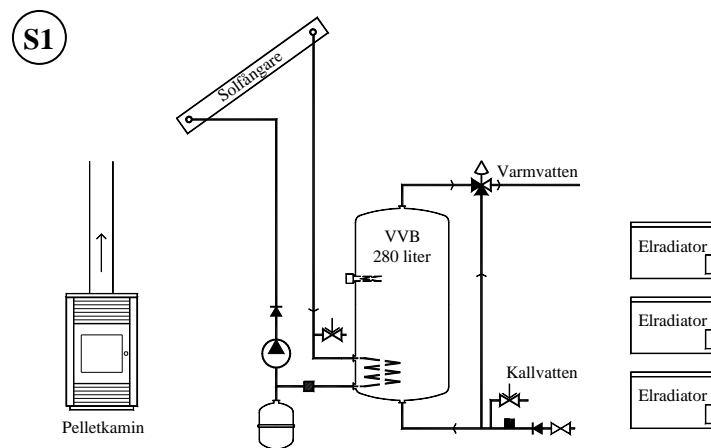
När en pelletskamin med endast **luftburen värmeavgivning** skall kombineras med solvärme är den enklaste lösningen att använda ett solvärt tappvattensystem enligt Figur 4.1. Systemet kan inte garantera god komfort i hela huset, varför el-radiatorer krävs som komplement. Det är viktigt att konsumenten informeras om kaminens möjligheter och begränsningar, så att kundens förväntningar överensstämmer med resultatet. Köparen måste få information om hur komfortnivå påverkar elanvändningen.

Kombineras den "luftburna" kaminen med solvärme kopplas solfångaren enklast till en varmvattenberedare via en värmväxlare i beredarens botten. I beredarens övre del finns en el-patron som garanterar att tillräcklig mängd tappvarmvatten alltid finns tillgängligt. Solvärmesystemet ger ett bidrag på ca 50 % av till varmvattenproduktionen om det är hyggligt dimensionerat [46]. Denna handbok behandlar dock inte utformning av tappvattensystem.

Vid designen av ett system enligt Figur 4.1 är det viktigt att ta hänsyn till husets planlösning samt brukarnas önskemål beträffande temperaturkrav och öppna/stängda innerdörrar. Kaminer med enbart värmeavgivning till luften passar bra i hus med öppen planlösning, eller i relativt välisolerade hus, tillsammans med ett solvärt tappvattensystem. Brukaren måste dock acceptera viss temperaturskillnad mellan rummet där kaminen är placerad och övriga rum för att få en värmespridning från kaminen. Det krävs ca 2 till 3 graders temperaturskillnad mellan två rum för att få en värmeöverföring på 500 Watt genom en vanlig dörröppning på 0,68·2,0 meter [48]. Se vidare avsnitt 4.3 om hur olika faktorer påverkar el-besparingen och systemets funktion.

#### *Vattenmantlade pelletskaminer*

Vattenmantlade pelletskaminer är lämpliga i hus med en sluten planlösning, men systemen blir också betydligt dyrare och mer komplicerade och ställer högre krav på installatörens kunskaper beträffande dimensionering, installation och injustering. En vattenmantlad kamin kopplad till solvärmd ackumulatortank och vattenradiatorer ger inte per automatik en bättre komfort och lägre elanvändning än en vanlig kamin [45, 46]. För att uppnå en avsevärd fördel skall andelen värme som avges till vattenkretsen vara hög och systemet vara väl genomtänkt och anpassat för husets planlösning. I system med vattenmantlad kamin och ackumulatortank är det vanligt att styra kaminen på tanktemperaturen för att tillgodose behovet av värme i ackumulatortanken. Detta kan orsaka för hög rumstemperatur där kaminen är placerad, speciellt i hus med slutna planlösningar och med kaminer som har en måttlig värmeavgivning till vattenkretsen [45, 46].



Figur 4.1. En luftburen pelletkamin kan kombineras med ett solvärt tappvattensystem [46].

## 4.2 Reglering av pelletkaminen

System med pelletkaminer (utan vattenmantel) är ej särskilt komplexa system att reglera, kaminen fungerar oberoende av det övriga värmesystemet med en rumstermostat och det förefaller naturligt för brukaren att ha det övriga värmesystemet avstängt eller lågt ställt för att spara så mycket el som möjligt. Det kan dock diskuteras om kaminen skall styras enligt on/off eller med en modulerande styrning (se avsnitt Reglerstrategier under avsnitt 3.2). Den modulerande styrningen minskar kraftigt antalet start och stop, [48].

En kamin med luftburen värmeavgivning har simulerats under ett års drift med tre olika driftstrategier och dess CO-emissioner blir ca 30 % lägre med en modulerande styrning eller en styrning där kaminen växlar mellan maximal och minimal effekt. Antalet starter per år minskar från 4570 till 278 för Max/min/off-styrningen och till 684 för den modulerande styrningen. Det finns således en minskningspotential genom utnyttja modulerande styrning, Men detta utgör bara ett exempel, om värmebehovet i rummet är högre minskar inte antalet start och stop lika mycket, och om kaminen dessutom brinner dåligt på låg effekt kan resultatet bli precis tvärtom. Verkningsgraden påverkas inte nämnvärt av reglerstrategin i detta fall, inte heller elanvändningen påverkas av reglerstrategin.

	On/off	Max/min/off	Module- rande/off
	Sol 8%	Sol 8%	Sol 8%
	1510 kWh	1510 kWh	1510 kWh
	Pellet 70% 13550 kWh $\eta = 89\%$ CO = 0,49 g/MJ	Pellet 68% 13020 kWh $\eta = 90\%$ CO = 0,33 g/MJ	Pellet 70% 13460 kWh $\eta = 90\%$ CO = 0,35 g/MJ
	El 22% 4370 kWh ELBG=74%	El 24% 4590 kWh ELBG=72%	El 22% 4130 kWh ELBG=75%

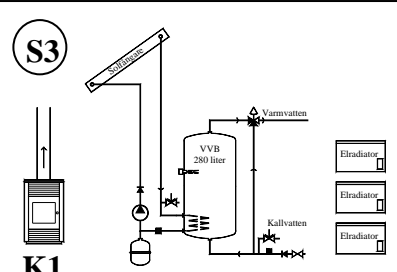



Figur 4.2. Simuleringsresultat för en pelletkamin med tre olika reglerstrategier [46].

### 4.3 Faktorer som påverkar el-besparing, verkningsgrad och emissioner

#### Inverkan av planlösning

Simuleringar av direktelvärmade småhus med pelletskamin och solvärmtd tappvattensystem har genomförts [46] som visar bl.a. hur olika planlösningar påverkar hur mycket el som kan sparas med systemet. Tre olika hus har simulerats vars planlösningar redovisas i Bilaga 1. Temperaturinställning på el-radiatorerna är 22°C i badrum och WC, 20°C i kök och Vardagsrum utan kamin samt 19°C i sovrum och tvättstuga. Oljefyllda el-radiatorer med PID-reglering har antagits. Simuleringsresultat för de tre husen med både öppna och stängda innerdörrar redovisas i Figur 4.3. Här har kaminen en on/off-reglering från rumstemperaturen där kaminen är placerad. Tillslagstemperaturen är 21°C och avslagstemperaturen är 23°C.

I resultaten redovisas solvärmertilskott, pellet- och elanvändning, pelletkaminens verkningsgrad samt elbesparingsgraden jämfört med huset med enbart elvärme. Den viktigaste förenklingen i datormodellen är att varje zon (se bilaga 1) antas ha en homogen temperatur. Värmeöverföring mellan zonerna pga. konvektionsrörelser i öppna dörrar simuleras baserat på empiriska modeller från litteraturen.

S3 	H1 		H3 		H4 	
	Stängda dörrar	Öppna dörrar	Stängda dörrar	Öppna dörrar	Stängda dörrar	Öppna dörrar
	Sol 8% 1730 kWh Pellet 19% 4510 kWh $\eta = 90\%$	Sol 7% 1730 kWh Pellet 37% 9050 kWh $\eta = 88\%$	Sol 8% 1510 kWh Pellet 40% 7370 kWh $\eta = 90\%$	Sol 8% 1511 kWh Pellet 70% 13550 kWh $\eta = 89\%$	Sol 8% 1700 kWh Pellet 36% 7130 kWh $\eta = 91\%$	Sol 9% 1710 kWh Pellet 41% 8300 kWh $\eta = 90\%$
	E 73% 17180 kWh	E 56% 13770 kWh	E 52% 9450 kWh	E 22% 4370 kWh	E 56% 11150 kWh	E 50% 10080 kWh
	ELBG=23%	ELBG=38%	ELBG=43%	ELBG=74%	ELBG=39%	ELBG=45%

**Figur 4.3.** Simuleringsresultat för system S3 med pelletskamin (luftburen) och solvärmtd varmvattenberedare [46]. Husets planlösning och kaminens placering framgår av bilaga 1. ELBG avser elbesparingsgraden jämfört med samma hus med el-radiatorer och elvärmtd varmvattenberedare.

Resultaten visar att elbesparingsgraden ELBG (som relateras till enbart direktelvärme) varierar mellan 23 och 74 % för de olika fallen. Om innerdörrarna är öppna hela dygnet varierar el-besparingen mellan 38 och 74 %. Detta gäller vid de termostatinställningar som anges i stycket ovan. Olika planlösningar, påverkar kraftigt värmespridningen i huset och därigenom också el- och pelletanvändning. Lågst elanvändning har hustyp H3, som också har den mest öppna planlösningen. I detta hus behöver värmen passera genom endast en dörröppning för att spridas till hela huset. I hustyp H1 och H4 måste värmen spridas genom tre stycken dörröppningar för att nå hela huset.

Pellettkaminer (luftburna) ger alltså god komfort och lågt elbehov i direktelvärmda hus med öppen planlösning, dvs. om värmen från kaminen kan spridas till alla rum utan att behöva passera genom mer än en dörröppning. Även i lågenergihus är den luftburna kaminen lämplig.

Värmebehovet i rummet där kaminen är placerad inverkar på antalet start och stopp. Tabell 4.1 visar kaminens genomsnittliga pelletförbrukning i kWh per start för de olika hustyperna. Ett högt värde innebär att kaminens drifttid efter varje start är lång. Karakteristiskt är att drifttiden är längre i de fall dörrarna är öppna. Den längsta drifttiden erhålls i hustyp H3 med öppna dörrar. Den kortaste drifttiden fås i hustyp H1, med stängda dörrar, vilket också ger den lägsta el-besparingen. Ett litet rum med ett litet värmebehov blir snabbt för varmt när kaminen startar och det leder till att kaminen startar ofta och med väldigt korta drifttider.

**Tabell 4.1.** Antal kWh förbrukad pellet i genomsnitt per start för system S3 med de olika hustyperna med öppna och stängda dörrar [46].

	Hustyp H1	Hustyp H3	Hustyp H4	
Stängda dörrar	0,7	1,4	1,0	KWh/start
Öppna dörrar	0,8	3,0	1,1	KWh/start

Ett projekt med liknande målsättning som detta redovisas av Nyström [38] som mätte el och pelletanvändning i det s.k. Marmahuset, som är ett välisolerat enplanshus med sluten planlösning och en elanvändning för uppvärmning på 8 862 kWh/år. Huset var försett med direktverkande el-radiatorer och en pelletkamin utan vattenmantel. Kaminen placerades i vardagsrummet och elanvändningen för uppvärmning kunde reduceras till 21 %, jämfört med enbart direktverkande el.

### ***Inverkan av öppna och stängda dörrar***

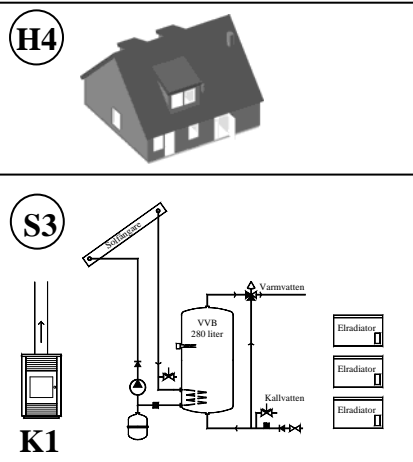
Skillnaden i elanvändning mellan öppna och stängda dörrar är störst i hustyp H3. Elbesparingsgraden (ELBG) för hustyp H3 med system S3 är hela 74 % om alla innerdörrar utom badrumsdörren alltid är öppna, men bara 43 % om alla dörrar alltid är stängda. Det är alltså viktigt att hålla innerdörrarna öppna för att erhålla bästa värmespridning i huset.

I simuleringen har antagits att man önskar en högre temperatur i badrummet än i angränsande rum, och därför hålls dörren till badrummet alltid stängd i simuleringen. För hustyp H4 är elbesparingsgraden 45 %, om dörrarna är öppna och 39 % om dörrarna alltid är stängda. Den ökade el-besparing som erhålls i hustyp H3 genom att innerdörrarna är öppna uteblir nästan helt och hållet i hustyp H4. Orsaken är att planlösningen skiljer mellan hustyp H3 och hustyp H4. I hustyp H3 är planlösningen öppen, och alla rum nås från vardagsrummet genom endast en dörröppning. I hustyp H4 är det alltid öppet mellan vardagsrummet, köket och hallen. Öppningsarean mot hallen blir i denna hustyp den begränsande faktorn för värmespridningen och om övriga dörrar hålls öppna eller stängda påverkar värmespridningen mindre. För att värmen skall nå ut till hela huset, måste värmen passera genom flera dörröppningar, vilket begränsar värmespridningseffekten.

De dörrar som har störst inverkan är de som angränsar mot vardagsrummet där kaminen är placerad. De övriga dörrarnas läge har mindre inverkan på elanvändningen. Simuleringsresultaten visar att en öppen planlösning är en förutsättning för att erhålla en hög el-besparing med system S3 vid givna komfortkrav enligt tabell 5.6.

### Inverkan av komfortnivå

Inverkan av olika komfortnivå har också undersökts för hustyp H4 och simuleringsresultaten redovisas i Figur 4.4. Om brukaren accepterar en lägre komfortnivå än vad som hittills simulerats (högre temperaturskillnad mellan olika rum) kan elanvändningen minska. Simuleringsresultat av hustyp H4 med en pelletkamin med luftburen värmeavgivning och ett solvärt tappvattensystem redovisas i figur 7.7 och visar att en sänkning av temperaturinställningen från 19 till 18°C för el-radiatorerna i sovrummen minskar elanvändningen med 670 kWh/år om dörrarna är stängda och 1 040 kWh/år om dörrarna är öppna. Elenergi kan också sparas genom att temperaturinställningen på pelletkaminens termostat ökas, men ger i gengäld ökad total energianvändning. En höjning av pelletkaminens termostat med en grad minskar elanvändningen med 1 090 kWh/år om dörrarna är stängda och 1 630 kWh/år om dörrarna är öppna.

H4	Stängda dörrar			Öppna dörrar		
	1°C sänkt temperatur i sovrum	referens	1°C höjd temperatur på kamin	1°C sänkt temperatur i sovrum	referens	1°C höjd temperatur på kamin
	Sol 9% 1700 kWh Pellet 38% 7460 kWh $\eta = 91\%$ El 53% 10480 kWh <b>ELBG=43%</b>	Sol 8% 1700 kWh Pellet 36% 7130 kWh $\eta = 91\%$ El 56% 11150 kWh <b>ELBG=39%</b>	Sol 8% 1700 kWh Pellet 44% 9170 kWh $\eta = 90\%$ El 48% 10060 kWh <b>ELBG=45%</b>	Sol 9% 1710 kWh Pellet 46% 9250 kWh $\eta = 90\%$ El 45% 9040 kWh <b>ELBG=50%</b>	Sol 9% 1710 kWh Pellet 41% 8300 kWh $\eta = 90\%$ El 50% 10080 kWh <b>ELBG=45%</b>	Sol 8% 1710 kWh Pellet 52% 11050 kWh $\eta = 90\%$ El 40% 8450 kWh <b>ELBG=54%</b>

**Figur 4.4.** Inverkan av inställd sovrumstemperatur och inställd rumstemperatur på kamintermostaten med system S3 i hustyp H4 [46]. Husets planlösning och kaminens placering framgår av bilaga 1. ELBG avser elbesparingsgraden relativt samma hus med el-radiatorer och elvärmad varmvattenberedare.

## 5 VATTENMANTLADE PELLETKAMINER OCH SOLVÄRME

Den vattenmantlade pellettkaminen har en inbyggd värmeväxlare för värmedistribution till en ackumulatortank och/eller via ett vattenburet uppvärmningssystem. Detta möjliggör ökad värmespridning i huset och även beredning av varmvatten och man kan bygga ett värmesystem baserat på pellet utan behov av pannrum. Denna egenskap gör systemet intressant i nyare hus utan pannrum och enligt en marknadspotential är det möjligt att det kan installeras 40 000 vattenmantlade kaminer i befintliga småhus de närmaste 10 åren [37]. Den vattenmantlade kaminen möjliggör otaliga kombinationer med varmvattenberedare och ackumulatortankar, som kan vara lämpliga för konvertering av elvärmda hus [46].

Då denna handbok främst handlar om kombisystem och då kostnadsberäkningar visat att ackumulatortanken ger den bästa ekonomin [46, 48] på lång sikt så utelämnas varianter med vattenmantlad kamin och varmvattenberedare. Detaljerade förslag och reglerbeskrivningar till system med varmvattenberedare som kan utgöra hel- eller delkonverteringar redovisas av Persson [47] och prestanda och kostnadsberäkningar redovisas i [46] och [48].

### 5.1 Systemuppbyggnad

I de simuleringsstudier som har genomförts [46, 48] accepteras inga övertemperaturer i huset, varför systemet har utvecklats för att kunna använda både el-patronen och pellettkaminen parallellt. Kaminen styrs då både på en rumstermostat och på en tanktermostat. Figur 5.1 visar ett system med vattenmantlad pelletkamin, ackumulatortank och solfångare. Hjärtat i systemet är en ackumulatortank till vilken solfångare ( $5 \text{ m}^2$ ), pelletkamin och radiatorer kopplas. Tillgängligt utrymme bestämmer tankens storlek som kan vara mellan ca 300 och 1 000 liter i ett typiskt villasystem. Denna figur avbildar en tank på 330 liter som då kan klämmas in i en 60\*60 modul. Om en vattenmantlad kamin styrs på tanktemperaturen behövs egentligen ingen el-patron som backupp, så länge det finns ett uppvärmningsbehov i huset. Dock kan det lätt bli för varmt i vardagsrummet om huset inte har en öppen planlösning. Om man vill kunna garantera en viss komfortnivå, dvs. stänga av kaminen om det blir för varmt i rummet då behövs en el-patron som backupp.

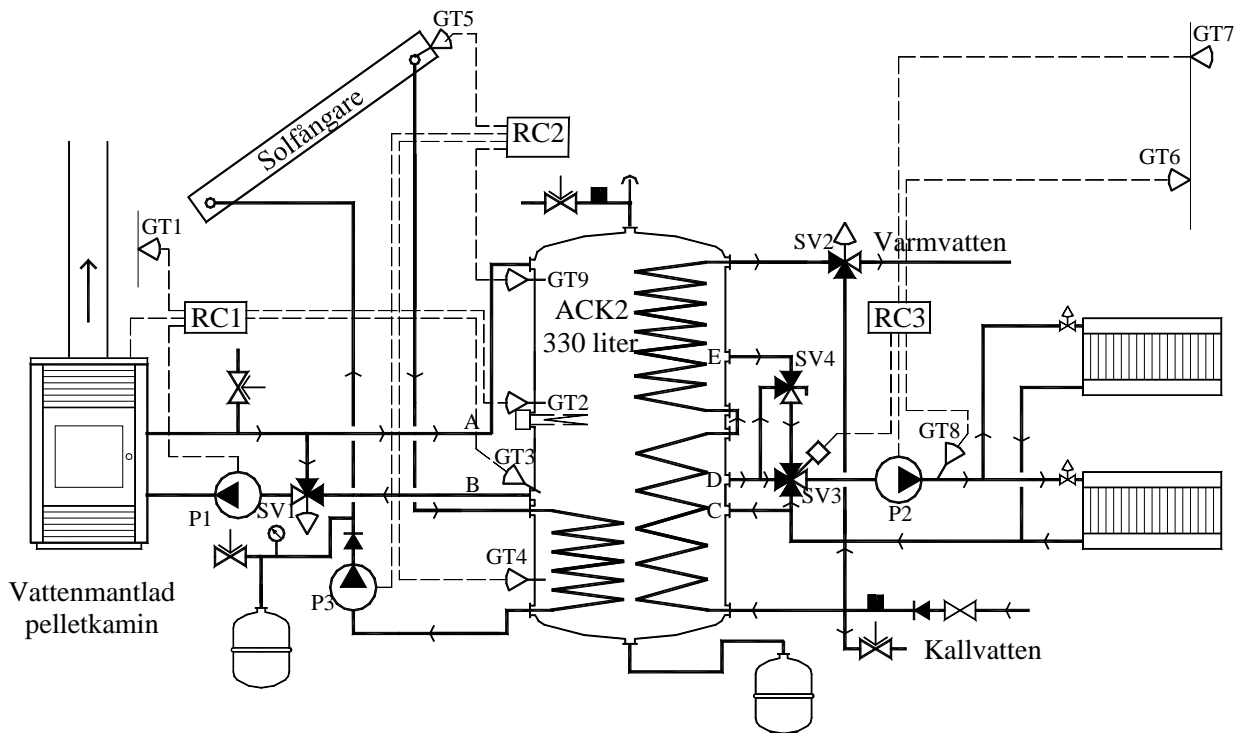
Pelletkaminens framledning (A) är ansluten strax under el-patronen, eftersom vattnet från pelletkaminen ibland kan ha lägre temperatur än vattnet i det elvärmda området. Returledningen tillbaka till pelletkaminen (B) placeras under inloppet från kaminen (A). Ju längre ner i tanken, desto mindre risk att el-patronen startar, men istället minskar solvärmestillskottet. Den av kaminen uppvärmda volymen ökas genom att port B, C och D flyttas nedåt, men att de bibehåller sina inbördes placeringar. Den självverkande ventilen SV1 håller inloppstemperaturen till kaminen vid lägst  $55^\circ\text{C}$ , för att undvika kondens i kaminens konvektionsparti.

Utgående vatten från pelletkaminen kan ibland ha lägre temperatur än vattnet i det elvärmda området. Det har visat sig att pelletkaminen utan försämring av funktionen kan anslutas strax under el-patronen, som illustreras i Figur 5.1 [46].

### Tappvattenkretsen och el-patronen

Tappvarmvattnet bereds i interna värmväxlare. Den undre förvärmningsslingan skall börja i tankens botten [31] och vara utsträckt upp i det av kaminen uppvärmda området [46]. Den övre värmväxlarens längd dimensioneras utgående från önskad varmvattenkomfort och tankstorlek. Ju mindre tank, desto längre slinga erfordras. Varmvattentemperaturen begränsas till ca 55°C med den självverkande ventilen SV2.

El-patronen skall placeras så högt upp i tanken som möjligt och ställas på en så låg temperatur som möjligt så att dimensionerande tappvattenlast ändå kan täckas. El-patronen styrs av en kappilärrörstermostat placerad i samma dykrör som GT2, dvs. ca 5 cm ovanför el-patronen. Detta minskar risken för att el-patronen startar av turbulens från solfångarkretsens värmväxlare [32]. Vid större tankstorlekar skall man eftersträva att bibehålla en liten eluppvärmd volym, men genom att öka den eluppvärmda volymen kan den övre slingan kortas med bibehållen varmvattenkomfort.



**Figur 5.1.** System med vattenmantlad pelletkamin och solfångare kopplad till liten ackumulatortank (300 liter).

## 5.2 Reglering av systemet

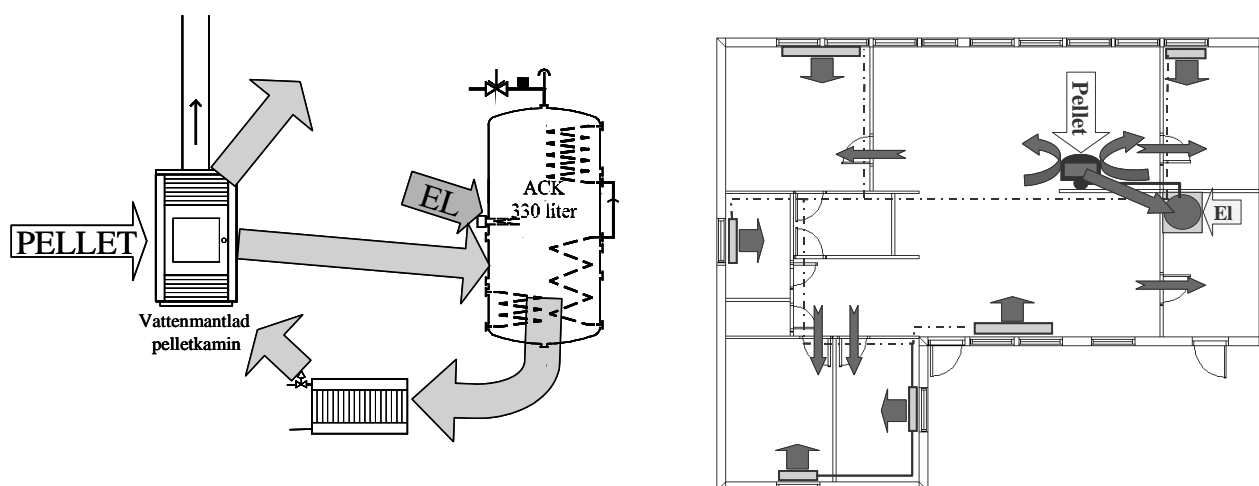
Radiatorkretsens framledningstemperatur styrs av en bivalent shunt SV3 (fyrvägsventil) som i första hand tar värmen från den del av tanken som är uppvärmd av solvärme eller kaminen. Kalla anslutningen till den bivalenta radiatorshunten skall anslutas under el-patronen, strax ovanför utloppet till kaminen. Om kaminen ansluts under el-patronen skall den undre anslutningen till radiatorshunten anslutas mellan kaminens inlopp och utlopp. Detta gör att värme från kaminen prioriteras före

elvärme. Om man vill säkerställa att ingen värme från el-patronen kan tillföras värmekretsen kan en trevägsventil (SV4) placeras före radiatorshunten SV3 enligt Figur 5.1. Genom att ställa trevägsventilen SV4 så att vatten kan tas från den övre delen av tanken (komfortläget) kan den bivalenta shunten alltid justera in önskad framledningstemperatur. Om trevägsventilen ställs i det andra läget (el-sparläget) kan endast vatten som har värmts med sol eller pellet shuntas ut till radiatorerna.

Genom att flytta utloppet till kaminen och den undre anslutningen till radiatorshunten neråt skapas en större buffert av varmt vatten från kaminen som minskar risken att el-patronen startar vid en varmvattentappning, men detta minskar solvärmestillskottet märkbart i en så pass liten tank som på 330 liter.

### Återkoppling

I ackumulatortanken lagras energi från både el-patronen, pelletkaminen och solfångaren. Pellettkaminens drift skall maximeras, men ett visst tillskott från el-patronen krävs ibland för att upprätthålla varmvattenkomforten och ibland också för att undvika att temperaturen blir för låg i något rum. Optimalt skall tankens konstruktion och systemets styrning vara sådan att energi från el-patronen tillförs vattenradiatorerna, enbart om rumstemperaturen i något rum blir för låg och kaminen inte kan arbeta eftersom rumstemperaturen där den är placerad är för hög.



**Figur 5.2.** Illustration av problem med återkoppling. Värme från både el och pellet tillförs ackumulatortanken. För att upprätthålla största möjliga drifttid för pelletkaminen och minimera elanvändningen vill man inte att elvärme tillförs radiatorerna om det inte krävs för att upprätthålla komforten [46].

En ökad värmeavgivning från vattenradiatorerna minskar avsättningen för den värme som kan avges från kaminen till rummet, varpå energiflödet från kaminen till ackumulatortanken också minskar, vilket i sin tur leder till att andelen el från el-patronen ökar. Denna ”återkoppling” som illustreras i Figur 5.2 kan göra att elbesparingsgraden påverkas kraftigt av relativt små ändringar i systemet, speciellt om endast små temperaturskillnader mellan olika rum accepteras av brukaren. Värmen som leds ut till vattenradiatorerna i system S14 minskar värmemängden som kaminen kan avge utan att det blir för varmt. Det är därför viktigt att elvärt vatten inte leds ut till radiatorerna förrän det är absolut nödvändigt ur komfortsynpunkt.

Om rummet är ett vardagsrum där flera personer samlas för att titta på TV på kvällen är "gratisvärmen" från personer och elektrisk utrustning oftast tillräcklig för att hålla rummet varmt. Om dessutom pelletkaminen startar och avger 1-2 kW till rummet (och 6-8 kW till vattenkretsen) kan det bli olidligt varmt i

Om man väljer att inte styra den vattenmantlade kaminen på rumstemperaturen utan enbart på tanktemperaturen kommer dålig systemfunktion att visa sig som hög rumstemperatur där kaminen är placerad istället för hög elanvändning. Båda är egentligen lika illa och måste undvikas.

Det finns många möjligheter att reglera systemtyp S14 i Figur 5.1 och vilken metod som väljs kan bero på kaminens egenskaper, husets planlösning, kaminens placering och på vilken komfortnivå man önskar uppnå i huset. Normalt styrs vattenmantlade kaminers till- och frånslag på tanktemperaturen, men styrningen kan ge övertemperaturer i det rum där kaminen är placerad. För att kunna jämföra olika systemlösningars funktion under likvärdig komfortnivå har alla vattenmantlade kaminer i [46, 48] simulerats med styrning av både rumstemperatur och tanktemperatur. Detta betyder att kaminen inte kan starta om rumstemperaturen eller tanktemperaturen är för hög.

De båda reglermetoderna har uppenbara nackdelar var och en för sig, men genom att kombinera rumsreglering med styrning på tanktemperaturen kan man uppnå högsta möjliga el-besparing utan att komforten blir lidande och det är under dessa förutsättningar som systemsimuleringarna i [46] och [48] har simulerats. Dålig systemfunktion visar sig därmed som förhöjd elanvändning.

Genom att använda kaminer med hög andel av värmeavgivningen till vattenkretsen (över 75 %) kan komfortproblemen minskas. Nedan följer ett detaljerat förslag till hur systemet i Figur 5.1 kan regleras. Förslaget har utarbetats i ref [47] efter de simuleringsstudier som genomförts i [46] och [48].

### ***Pelletkaminens cirkulationspump***

Mätningar [46] har visat att om kaminens cirkulationspump styrs på den i kaminen inbyggda vatten-termostaten stannar inte cirkulationspumpen när kaminen stannar. Pumpen behöver visserligen transportera bort restvärme från kaminen under nedsläckningsfasen, men pumpen kan fortsätta att gå under lång tid då tanken håller pelletkaminen varm. Detta leder till att värme kommer att förflytas från ackumulatortanken till pelletkaminen, med ökade skorstensförluster och ökad värmeavgivning till rummet som följd.

Cirkulationspumpen måste således styras av RC1 i Figur 5.1, alternativt en separat differenstermostat som gör att pumpen är i drift endast då vattentemperaturen i kaminen är högre än i tanken vid GT3. Om pumpen styrs av RC1 behöver cirkulationspumpen vara i drift under nedsläckningsfasen för att inte riskera överhettning i vattenkretsen. En tidsfördröjd stoppfunktion eller en differenstermostat måste då användas.

**Använd inte kaminens inbyggda termostat för att driva cirkulationspumpen då kaminen kopplas mot en ackumulatortank. Detta kan leda till kontinuerlig drift av pumpen med ökade skorstensförluster och ökad värmeavgivning till rummet som följd.**

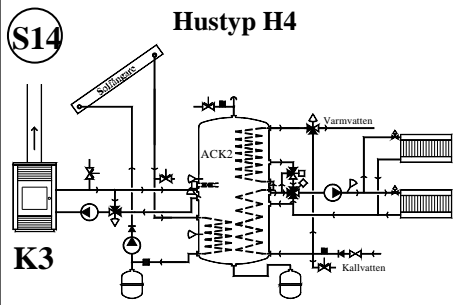
Temperaturnivån bör väljas så att kaminen startar då temperaturen vid GT2 är ca 5 grader högre än el-patronens avslagstemperatur, dvs. ca 65°C. om el-patronens avslagstemperatur är 60°C. Detta för att det skall finnas en buffert så att inte el-patronen startar för minsta lilla varmvattentappning. Kaminen skall sedan stanna då temperaturen vid GT3 är ytterligare några grader högre, t.ex. 70°C. För att höja komforten bör en rumsgivare GT1 kunna anslutas till RC1, som säkerställer att rumstempe-

turen håller sig under högsta tillåtna temperatur/alternativt styrs kaminens effekt så att rumstemperaturen hålls konstant, men detta kan inte låta sig göras med dagens reglercentraler utan att en vidareutveckling sker.

### Modulerande styrning eller on/off reglering.

En modulerande styrning av kaminen innebär att kaminen brinner under längre tid med färre starter och stop. En reglercentral skulle kunna utvecklas som styr kaminen på rumstemperaturen och som stänger av kaminen om rumstemperaturen ökar eller om tanktemperaturen överstiger inställd temperatur. Simuleringar har visat att detta fungerar minst lika bra [46, 48], men då kaminen brinner på lägre effekt blir värmeavgivningen till vattenkretsen lägre. Detta ökar komforten och mysfaktorn, eftersom rumstemperaturen hålls på en jämnare nivå och då kaminen brinner mer kontinuerligt med färre starter och stop.

I Figur 5.3 redovisas simuleringsresultat för en vattenmantlad kamin i hustyp H4 med olika reglerstrategier. Elanvändning och CO-emissioner är nästan oförändrade för de olika strategierna, men kaminens verkningsgrad ökar med modulerande styrning. I detta specifika fall beror det på minskat antal starter och stop och att den uppmätta kaminen som modellen bygger på hade en relativt lång period under stopsekvensen då fläkten var i drift, vilket orsakade relativt höga skorstensförluster varje gång kaminen stannade.

	On/off	Max/min/off	Module- rande/off
	Sol 7% 1720 kWh	Sol 8% 1690 kWh	Sol 8% 1710 kWh
	Pellet 81% 19060 kWh $\eta = 82\%$ CO = 0,37 g/MJ	Pellet 72% 15940 kWh $\eta = 87\%$ CO = 0,35 g/MJ	Pellet 80% 17730 kWh $\eta = 88\%$ CO = 0,34 g/MJ
	El 12% 2740 kWh	El 20% 4390 kWh	El 12% 2790 kWh
	<b>ELBG=85%</b>	<b>ELBG=76%</b>	<b>ELBG=85%</b>

Figur 5.3. Simuleringsresultat för en vattenmantlad pellettkamin med tre olika reglerstrategier [46]. Se "Reglerstrategier" i avsnitt 3.2.

### Radiatorkretsen

Radiatorkretsens framledningstemperatur styrs av en bivalent shunt (SV3 i Figur 5.1) som i första hand tar värmen från den del av tanken som är uppvärmd av kaminen. I andra hand spetsas med värme från tankens elvärmda område. Ventil SV4 som kan vara manuellt reglerbar, kan ställas så att elvärt vatten till radiatorerna blockeras oavsett hur SV3 reglerar. Detta möjliggör för brukaren att välja mellan ett "el-sparläge" där ingen el kan användas för uppvärmning och ett komfortläge där el tillåts som spetsvärme.

Radiator returledningen C skall anslutas till tanken strax under utloppet till kaminen (anslutning B). Observera att radiator returledningen alltid skall vara ansluten en bit upp i tanken för att möjliggöra för tappkallvattnet (som har den lägsta temperaturen) att kyla tankens botten [31]. Den undre radiatorframledningen D skall vara placerad strax ovanför utloppet till kaminen. Avståndet mellan kaminens framledning A och radiatorframledningen D utgör en lagrad buffert av värme från pelletkami-

nen, som användas till förvärmning av varmvatten i kamflänsröret för att klara tappningar utan att el-patronen startar.

En reglercentral RC3 styr framledningstemperaturen (GT8) via den bivalenta shunten SV3. Framledningstemperaturen kan styras beroende på innetemperaturen via GT6 eller på utetemperaturen via GT7. Styrning via innetemperaturen har fördelen att värmeförseln till radiatorerna sänks vid solinstrålning interna värmeförsel och vid direktvärme från kaminen. I fallet med utekompenserad framledningstemperatur förlitas regleringen på radiatortermostaterna.

### *Övriga kommentarer*

Akkumulatortankar kan utformas med olika varmvattenberedningsprinciper, vilket illustreras av Figur 2.7 på sidan 15. Man kan uppnå en god systemfunktion med alla varianter utom ACK1 och ACK5 [46].

System S14 förutsätter att tre olika reglercentraler används (eller fyra, om en differenstermostat för cirkulationspumpen i kaminkretsen krävs). En ny reglerenhet med alla funktioner inbyggda skulle alltså kunna spara både kostnader och byggas med smarta funktioner som förenklar injustering och som hjälper till att felsöka systemet och varna om allting inte fungerar. Enkätundersökningen som genomfördes inom projektet visade att bättre reglercentraler är en viktig fråga för företagen. Det har utvecklats regulatorer som avser att styra en större del av systemet som kan vara lämpliga för integrerade bio- och solvärmesystem [22] och det pågår utveckling av specialanpassade reglercentraler i Sverige [3]. Men det finns säkerligen ett ytterligare utvecklingsbehov för att minimera behovet av injustering och felsökning vid installationen.




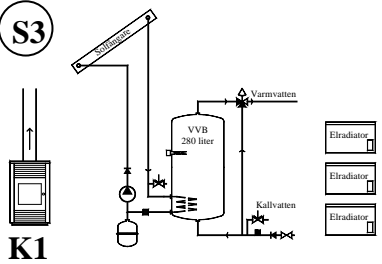
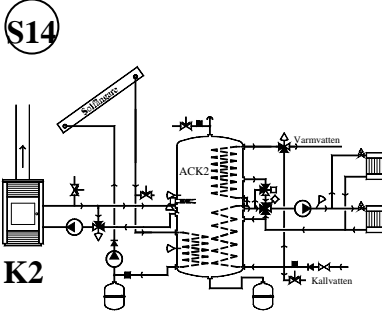
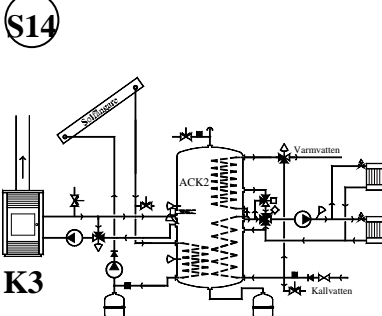
## 5.3 Faktorer som påverkar el-besparing verkningsgrad och emissioner

### *Planlösning, brukarbeteende och typ av pelletskamin*

I Figur 5.4 redovisas simuleringsresultat för system med luftburen kamin och system med vattenmantlade kaminer med olika andel till vattenkretsen. Systemen har styrts så att samma komfortnivå uppnås för de olika systemen, därav den varierande fördelningen mellan elvärme och pellets. Vid en jämförelse av system S3 med luftburen kamin K1 och S14 med vattenmantlad kamin K2 (ca 40 % värme till vattenkretsen) kan konstateras att den extra el-besparingen är förvånansvärt liten med tanke på att systemkostnaden är ca 60 000 till 70 000 högre för system S14 [46]. Däremot vid ett byte från kamin K2 till K3 som har ca 75 % värme till vattenkretsen sker en kraftig reduktion av elanvändningen. Detta gäller dock inte hustyp H3 med öppna dörrar som redan har en låg elanvändning med system S3. **Ett fullt utbyggt vattenburet värmesystem kräver således en kamin med hög andel värme till vattenkretsen (över 75 %).** Med ett sådant system kan nästan all el för uppvärmning ersättas av pelletskaminen med en god komfort i alla av de undersökta husen med öppna innerdörrar. Dock klaras inte låg elanvändning i hus H1 med stängda innerdörrar (se bilaga 1)

Värmeavgivningen till vattenkretsen för en vattenmantlad pelletskamin blir lägre under praktisk drift än vad kaminen avger vid drift på full effekt under stationära förhållanden. Vid start och stop samt på lägre effekt är värmeavgivningen till vattenkretsen lägre [54].

Figur 5.4 visar också att om innerdörrarna är öppna eller stängda har väldigt olika betydelse i de olika husen. Hustyp H3 med öppen planlösning (bilaga 1) påverkas kraftigt av innerdörrarnas läge, eftersom alla rum i huset nås genom endast en dörröppning. Alla rum i huset angränsar mot den öppna delen som utgör vardagsrum, kök och entré. I hustyp H1 och H3 måste värmen spridas via många olika rum för att nå hela huset (bilaga 1). I hustyp H4 finns ingen dörr mellan vardagsrum och hall som utgör den första begränsande faktorn för värmespridningen. Huruvida övriga dörrar i huset är öppna eller stängda har då mindre betydelse.

	<b>H1</b> 	<b>H3</b> 	<b>H4</b> 			
	Stängda dörrar	Öppna dörrar	Stängda dörrar	Öppna dörrar	Stängda dörrar	Öppna dörrar
<b>S3</b>  <b>K1</b>	Sol 8% 1730 kWh Pellet 19% 4510 kWh $\eta = 90\%$ Ei 73% 17180 kWh <b>ELBG=23%</b>	Sol 7% 1730 kWh Pellet 37% 9050 kWh $\eta = 88\%$ Ei 56% 13770 kWh <b>ELBG=38%</b>	Sol 8% 1510 kWh Pellet 40% 7370 kWh $\eta = 90\%$ Ei 52% 9450 kWh <b>ELBG=43%</b>	Sol 8% 1511 kWh Pellet 70% 13550 kWh $\eta = 89\%$ Ei 22% 4370 kWh <b>ELBG=74%</b>	Sol 8% 1700 kWh Pellet 36% 7130 kWh $\eta = 91\%$ Ei 56% 11150 kWh <b>ELBG=39%</b>	Sol 9% 1710 kWh Pellet 41% 8300 kWh $\eta = 90\%$ Ei 50% 10080 kWh <b>ELBG=45%</b>
<b>S14</b>  <b>K2</b>	Sol 7% 1870 kWh Pellet 29% 7780 kWh $\eta = 71\%$ Ei 64% 17230 kWh <b>ELBG=22%</b>	Sol 6% 1820 kWh Pellet 46% 12790 kWh $\eta = 75\%$ Ei 48% 13440 kWh <b>ELBG=40%</b>	Sol 7% 1500 kWh Pellet 49% 10040 kWh $\eta = 78\%$ Ei 44% 8910 kWh <b>ELBG=46%</b>	Sol 7% 1410 kWh Pellet 76% 16530 kWh $\eta = 80\%$ Ei 17% 3720 kWh <b>ELBG=78%</b>	Sol 8% 1780 kWh Pellet 45% 10220 kWh $\eta = 77\%$ Ei 47% 10640 kWh <b>ELBG=42%</b>	Sol 8% 1780 kWh Pellet 51% 11640 kWh $\eta = 77\%$ Ei 41% 9210 kWh <b>ELBG=50%</b>
<b>S14</b>  <b>K3</b>	Sol 7% 1840 kWh Pellet 49% 13710 kWh $\eta = 76\%$ Ei 44% 12140 kWh <b>ELBG=45%</b>	Sol 6% 1750 kWh Pellet 82% 24040 kWh $\eta = 80\%$ Ei 12% 3690 kWh <b>ELBG=83%</b>	Sol 7% 1450 kWh Pellet 77% 16210 kWh $\eta = 81\%$ Ei 16% 3480 kWh <b>ELBG=79%</b>	Sol 7% 1360 kWh Pellet 82% 17430 kWh $\eta = 82\%$ Ei 11% 2380 kWh <b>ELBG=86%</b>	Sol 7% 1740 kWh Pellet 77% 18270 kWh $\eta = 81\%$ Ei 16% 3750 kWh <b>ELBG=80%</b>	Sol 7% 1720 kWh Pellet 81% 19060 kWh $\eta = 82\%$ Ei 12% 2740 kWh <b>ELBG=85%</b>

**Figur 5.4.** Simuleringsresultat för olika systemkoncept i tre olika hustyper [46]. Kamin K1 är en pelletskamin med luftburen värmeavgivning och kamin K2 och K3 är vattenmantlade kaminer. Husens planlösning och kaminens placering framgår av bilaga 1. ELBG avser elbesparingsgraden relativt samma hus med el-radiatorer och elvärm� varmvattenberedare. Kaminen har styrts på rumsgivare med starttemperaturen 21°C och stoptemperaturen 23°C. Solvärmesystemet utgörs av 5 m<sup>2</sup> solfångare och tank eller varmvattenberedare på 300 liter. I elanvändningen ingår el till cirkulationspumpar, el-patron samt el-radiatorer i de fall de förekommer.

Figur 5.4 visar att en kamin med 75 % av värmeavgivningen till vattenkretsen (25 % till rummet) inte är tillräckligt för att minimera elanvändningen i hustyp H1 om alla dörrar i huset är stängda och man inte tolererar övertemperaturer i vardagsrummet. Detta är egentligen lätt att förstå då energibehovet för vardagsrummet i detta hus kan uppskattas till ca en sjundedel, dvs. ca 14 % (Bilaga 1). Dessutom visar simuleringarna [54] att andelen värme till vattenkretsen blir lägre över året än vad kaminen avger vid drift på full effekt under stationära förhållanden. En kamin med maximal värmeavgivning till vattenkretsen på 75 % avger inte mer än 60 till 65 % till vattenkretsen över året och en 40 % -kamin avger ca 25 till 30 % till vattenkretsen. Med längre drifttider på full effekt, som man kan uppnå om kaminen enbart styrs på tanktemperaturen, blir andelen till vattnet högre.

Skräckexemplet som definitivt bör undvikas är alltså att ställa en kamin med mindre än 50 % av värmeavgivningen till vattenkretsen i ett litet vardagsrum med bara en dörröppning mot övriga huset. Med en sådan lösning kan man aldrig förena god komfort och låg elanvändning!

### ***Kaminens placering***

För att på bästa sätt tillvarata direktvärmens från en pelletskamin skall den placeras centralt i huset. Det är viktigt även för kaminer som avger mer än 70 % till vattenkretsen. I hustyp H3 som har en öppen planlösning (Bilaga 1) är placeringen närmast självklar i det stora utrymmet som innehåller vardagsrum, kök och entré. I hustyp H1 och H4 som har en mer sluten planlösning är det inte lika självklart vad som är den tekniskt bästa placeringen av kaminen. Att placera kaminen i vardagsrummet är den naturligaste placeringen. Den tekniskt bästa lösningen kan lika gärna vara i hallen eller i entrén. I hallen finns många dörröppningar till olika rum dit luften kan sprida sig. Om kaminen skulle väsnas eller om det skulle bli för varmt där kaminen står gör det också mindre skada i hallen där man inte uppehåller sig under längre tid. Kaminen bör definitivt inte placeras på övervåningen i 1<sup>1/2</sup>-planshus, eftersom varmluft inte sprids nedåt.

Inverkan av alternativ kaminplacering i hustyp H4 undersöktes genom systemsimuleringar av system S14 och kamin K2 (40 % till vattenkretsen) [46]. Om kaminen placerades i hallen (zon 10) blir elanvändningen 740 kWh/år lägre jämfört med att ha kaminen i vardagsrummet. Att besparingen blir så liten, trots att värmen bör kunna spridas effektivare från hallen beror på att värmebehovet för hallen är mycket litet jämfört med vardagsrummet. Om man däremot höjer börvärdet på kaminens termostat med en grad när kaminen är placerad i hallen minskar elanvändningen med hela 5 080 kWh/år jämfört med att ha kaminen i hallen med vanlig temperaturinställning. Om man höjer börvärdet för rumstemperaturen en grad när kaminen är placerad i vardagsrummet minskar elanvändningen bara med 2 510 kWh/år jämfört med ursprunglig rumstemperatur. Det är alltså en stor fördel att placera kaminen i hallen om man samtidigt höjer rumstemperaturen. Det beror på att det finns hela sex st. öppningar som angränsar mot hallen. Det har mindre betydelse om det är för varmt i hallen där man ändå inte uppehåller sig under någon längre tid.

## REFERENSER

1. *Tyfocor LS, Provisional Technical Information*. 1998, TYFOROP CHEMIE GmbH: Hamburg, Tyskland.
2. AB, E.i.S. *Att fånga solens strålar är mångas dröm - vi kan låta drömmen gå i uppfyllelse*. [PDF-Broschure] [cited 2008 2008 09 09]; Available from: <http://energi-konsulterna.se/energieffektivisering.html#SOLVÄRMEANLÄGGNING>.
3. Andersson, E., *Fjärrövervakning av bioenergisystem*, in *Bioenergi*. 2008. p. 14.
4. Andrén, L., *Solenergi, Praktiska tillämpningar i bebyggelse*. 2007, Stockholm, Sweden: AB Svensk Byggtjänst.
5. Bales, C. *Evaluation of the Performance of Solar Combistores - Comparison of Three Test Methods*. in *Eurosun 2000*. 2000. Copenhagen, Denmark: Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute.
6. Bales, C., *Combitest - Initial Development of the AC/DC Test Method*, in *Department of Building Technology*,. 2003, Chalmers University of Technology: Göteborg.
7. Bales, C., *Combitest - A New Test Method for Thermal Stores Used in Solar Combisystems*, in *Department of Building Technology*. 2004, Chalmers University of Technology: Göteborg, Sweden.
8. Bales, C. and T. Persson, *External DHW Units for Solar Combisystems*. *Solar Energy*, 2002. **74**(3): p. 193-204
9. Bales, C. and T. Persson, *External DHW units for solar combisystems*. *Solar Energy*, 2003. **74**(3): p. 193-204.
10. Boverket, *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. 1. uppl. ed. 2008, Karlskrona, Sweden: Boverket.
11. Ellehauge, K. and A. Saebye, *Kombinerede solvarme- og biobrænselanlæg*. 2000, Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute: Århus, Denmark.
12. Eskilsson, D., H. Quicklund, M. Johansson, T. Eliasson, *et al.*, *Utveckling av ett regler-system som utnyttjar information från gassensorer för att styra tillförseln av förbränningsluft (Development of a control system that utilises the information from gas sensors to control the supply of combustion air)*. 2004, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP): Borås, Sweden.
13. Eskilsson, D., M. Rönnbäck, J. Samuelsson, and C. Tullin. *Optimisation of efficiency and emissions in pellets burners*. in *The first world conference on pellets*. 2002. Stockholm: Swedish Bioenergy Association.
14. Eskilsson, D., M. Rönnbäck, J. Samuelsson, and C. Tullin, *Optimisation of efficiency and emissions in pellets burners*. *Biomass and Bioenergy*, 2004. **27**: p. 541-546.
15. Fiedler, F., *Combined solar and pellet heating systems - Study of energy use and CO-emissions*, in *Department of Public Technology 2006*, Mälardalen University: Västerås. p. 95.
16. Fiedler, F., C. Bales, A. Thür, and S. Furbo. *The actual status of the development of a Danish/Swedish system concept for a solar combisystem*. in *NorthSun 2005 Conference*. 2005. Vilnius, Lithuania.
17. Fiedler, F., C. Bales, and J. Vestlund. *Monitoring results of a combined pellet and solar heating system*. in *ISES World Congress 2007*. 2007. Peking, China.
18. Fiedler, F. and T. Persson. *Annual CO-Emissions of Combined Pellet and Solar Heating Systems*. in *ISES World Congress 2007*. 2007. Peking, China.
19. Fiedler, F. and T. Persson, *Carbon monoxide emissions of combined pellet and solar heating systems* *Applied Energy*, 2008. **In press**.
20. Furbo, S., A. Thür, C. Bales, F. Fiedler, *et al.*, *Competitive Solar Heating Systems for Residential Buildings (REBUS)*. 2006, Byg, DTU: Copenhagen, Denmark. p. 134.

21. Henning, A., *Värmesystem i vardagen, Några småhusägares erfarenhet av att byta värmesystem*. 2007, SERC, Högskolan Dalarna: Borlänge, Sweden.
22. Isaksson, C., D. Jähnig, and M.J. Carvalho, *Recommendations for Concepts for Easy Installation and Integration in Conventional Heating Appliances*. 2005, AEE INTEC: Gleisdorf, Austria.
23. Isaksson, C., D. Jähnig, M. Meir, and J. Rekstad, *Recommendations Easily Installable Products*. 2006, AEE INTEC: Gleisdorf, Austria.
24. Klein SA, D.J., Mitchell JC, Kummer JP, Thornton JW, Beckman WA, *TRNSYS 16.0 Transient simulation program*. 2005, University of Wisconsin: Madison, WI, USA.
25. Kovács, P. and Bygghälsökningsrådet, *Solvärmesystem för småhus : kursmaterial för installatörer*. T / Bygghälsökningsrådet, 1998:1. 1998, Stockholm: Bygghälsökningsrådet : Svensk byggtjänst [distributör]. 95, [1] s.
26. Kovacs, P. and Formas, *Solvärmesystem för småhus : kursmaterial för installatörer*. 2., rev. uppl. ed. T / Bygghälsökningsrådet, 1998:1. 2003, Stockholm: Formas : Liber [distributör].
27. Kovács, P. and M. Sandberg. *Results from Testing of Small Heat Stores for Domestic Hot Water and Space Heating*. in *EuroSun '98*. 1998. Portoroz, Slovenia.
28. Larsson, T., *Enkätundersökning om energibesparing och drift med solfångare*. 2000, Institution för teknik, Örebro universitet: Örebro.
29. Lauber, A., *Wärmeverluste durch rohrinterne Gegenstromzirkulation in Speicheranschlussleitungen, und deren Verminderung mittels Konvektionsbremsen, Konvektionssperren und Wärmesiphons, -Quantifizierung der Effekte mittels Messung*. 2007, SPF, Hochschule Für Technik: Rapperswil, Switzerland.
30. Lennermo, G., *Pellets- och solvärmesystem för villamarknaden 2005*, Energianalys AB: Alingsås, Sweden.
31. Lorenz, K., *Kombisolvärmesystem - Utvärdering av möjliga systemförbättringar*, in *Building Services Engineering*. 2001, Chalmers University of Technology: Göteborg, Sweden. p. 98.
32. Lorenz, K., C. Bales, and K. Börjesson, *Provning av ackumulatörsystem för solvärmeanläggningar*. 1996, SERC, Dalarna University: Borlänge, Sweden.
33. Lorenz, K. and A. Henning, *Installera värmesystem, Faktablad för installatörer*. 2006, SERC, Högskolan Dalarna: Borlänge, Sweden.
34. Lorenz, K., T. Persson, R. Tepe, and C. Bales. *Variation of System Performance with Design and Climate for Combisystems in Sweden*. in *Eurosun '98*. 1998. Portoroz, Slovenia.
35. Lorenz, K.e.a., *Provning av ackumulatörsystem för solvärme-anläggningar*. 1995, Solar energy research center SERC, Högskolan Dalarna: Borlänge.
36. Löfgren, B.E. and O. Arkelöv, *Pelletseldning mot ackumulatortank*. 2003, ÄKAB: Lidköping, Sweden.
37. Niklasson, F., Persson, T., *Marknadspotential för bio- och solvärmesystem*. 2008, Energi-myndigheten: Eskilstuna, Sweden.
38. Nyström, J., *Test av pelletskamin*. 1999, Energianvändning, Vattenfall Utveckling AB: Älvkarleby, Sweden.
39. Obernberger, I., T. Brunner, and G. Bärnthaler, *Fine particulate emissions from modern Austrian small-scale biomass combustion plants.*, in *Proceedings of the European biomass conference exhibition*. 2007, ETA-Renewable Energies (Ed.) Italy: Berlin, Germany.
40. Olsson, M., *Residential biomass combustion - emissions of organic compounds to air from wood pellets and other alternatives*, in *Department of Chemical and Biological Engineering*. 2006, Chalmers University of Technology: Göteborg, Sweden.
41. Perers, B., K. Lorenz, and M. Rönnelid, *Partiell förångning i solfångarsystem. Överhettningsskydd för värmebäraren (främst glykol)*, in *Redovisning av projekt FUD 02:70 inom FUD-programmet Solvärme*. 2003, Högskolan Dalarna, Solar Energy Research Center (SERC): Borlänge, Sweden.

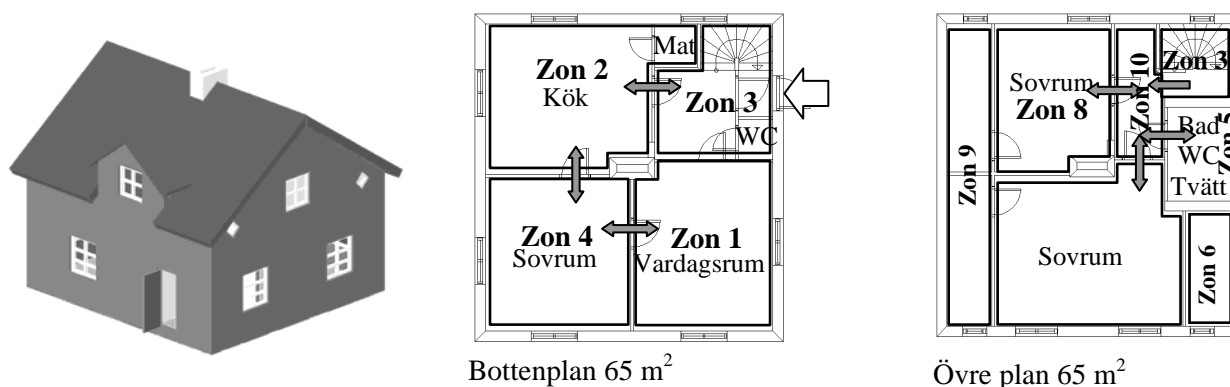
42. Persson, H., Bachs, A., Löfgren, B-E., Dahlström, J-E., Björkman, B., *Erfarenheter från användning av pelletsbrännare och pelletskaminer*. 2002, Energimyndigheten: Eskilstuna, Sweden.
43. Persson, T., *Identifiering av parametrar till ackumulatortanken Solus1050 från consolar - en metodbeskrivning*. 2001, Högskolan Dalarna: Borlänge.
44. Persson, T., *Modellering och simulering av tappvattenautomater i solvärmesystem*. 2002.
45. Persson, T., *Att konvertera från el till pellet och sol.*, in *VVS Teknik & Installation*. 2004. p. 44-47.
46. Persson, T., *Elbesparing i direktvärmade hus med pelletkaminer och solvärme i direktvärmade småhus in Energiteknik*. 2004, KTH: Stockholm, Sweden.
47. Persson, T., *Reglerprinciper för villasystem med pelletkaminer och solvärme*. 2005, SERC, Högskolan Dalarna: Borlänge, Sweden.
48. Persson, T., *Combined solar and pellet heating systems for single-family houses - How to achieve decreased electricity usage, increased system efficiency and increased solar gains*, in *Department of Energy Technology*. 2006, KTH - Royal Institute of Technology: Stockholm, Sweden.
49. Persson, T., *Sol och pellet för småhus, Systemutformningen påverkar kraftigt energianvändning och emissioner*. Energi & miljö, 2007(nr 1): p. 62-63.
50. Persson, T. and F. Fiedler, *Sol och pellets i kombination, ett sätt att minska utsläppen in VVS-forum, Värme och energi*. 2008. p. 118-119.
51. Persson, T., F. Fiedler, S. Nordlander, C. Bales, *et al.*, *Validation of a dynamic model for wood pellet boilers and stoves*. Applied Energy, 2008. **In Press**.
52. Persson, T., F. Fiedler, M. Rönnelid, and C. Bales. *Increasing efficiency and decreasing CO-emissions for a combined solar and wood pellet heating system for single-family houses*. in *Pellets 2006 Conference*. 2006. Jönköping, Sweden.
53. Persson, T., K. Lorenz, and C. Bales, *Provning av tappvattenautomater kopplade till ackumulatortank*. 1996, Solar Energy Research Center, SERC: Borlänge, Sweden.
54. Persson, T., S. Nordlander, and M. Ronnelid, *Electrical savings by use of wood pellet stoves and solar heating systems in electrically heated single-family houses*. Energy & Buildings, 2005. **37**(9): p. 920-929.
55. Pettersson, E., *Förstudie: Provningssystem för småskalig biobränsle eldning*. 2005, Energiteknisk Centrum i Piteå: Piteå, Sweden.
56. Pettersson, U., M. Johansson, and H. Persson, *Låglastkaraktistik i små pelletsanläggningar*. 2004, SP Sveriges Provings- och Forskningsinstitut: Borås, Sweden.
57. Rönnelid, M., C. Bales, K. Lorenz, S. Nordlanler, *et al.*, *Sol till både vatten och värme, Enkla åtgärder kan öka solvärmeutbytet*. 2004, Formas/SERC, Högskolan Dalarna: Sweden.
58. Schabbach, T., H. Mandel, and H. Drück, *Konvektionsbremse zur Verminderung der Wärmeverluste an den Rohranschlüssen von Solarspeichern*, in *Konferenz-Einzelbericht: Thermische Solarenergie, 9. Symposium*. 1999, Ostbayerisches Technologie Transfer Inst. (OTTI), Regensburg: Staffelstein, Germany. p. 69-73.
59. Shah, L.J. and S. Furbo, *Entrance effects in solar storage tanks*. Solar Energy, 2003. **75**(4): p. 337-348.
60. Stengård, L., E. Marklund, and I. Munkhammar, *Energistatistik för småhus 2006*. 2007, SCB och Energimyndigheten: Eskilstuna, Sweden.
61. Sternhufvud, C., N. Karvosenoja, J. Illerup, K. Kindbom, *et al.*, *Particulate matter emissions and abatement options in residential wood burning in the Nordic countries*. 2004, Nordic Council of Ministers: Copenhagen, Denmark.
62. Streicher, W., Bales, C., Bony, J., Heimrath, R. et al. , *Technical report: Elements and Examples of "Dream Systems" of Solar Combisystems*. 2004, IEA-SHC Task 26 Solar Combisystems: Paris, France.

63. Streicher, W.e.a., *Fortschrittliche Wärmespeicher, Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad und Emissionsverringering durch verringertes Takten.* . 2007, Universität Graz, Institut für Wärmetechnik: Graz, Austria.
64. Stålbom, G., R. Kling, and VVS-installatörerna, *Legionella : risker i VVS-installationer : en handbok.* 2002, Stockholm: VVS-installatörerna. 47, [4] s.
65. Suter, J.-M., *Heat losses from storage tanks: Up to 5 times higher than calculated!* 2001, Suter Consulting, P.O. Box 130, CH-3000 Bern, Switzerland.
66. Tepe, R. and C. Bales, *Simulation study of a dream system, April 2003.* 2003, SERC, Högskolan Dalarna: Borlänge, Sweden.
67. Thür, A., S. Furbo, and L.J. Shah. *Energy savings for solar heating systems.* in *Eurosun 2004.* 2004. Freiburg/Germany.
68. Thür, A., S. Furbo, and L.J. Shah, *Energy savings for solar heating systems.* *Solar Energy*, 2006. **80**(11): p. 1463-1474.
69. Weiss, W., *Solar Heating Systems for Houses - A Design Handbook for Solar Combisystems* Vol. 1. 2003, London, UK: James & James.
70. Weiss, W., *Solar Heating Systems for Houses - A design handbook for solar combisystems.* International Energy Agency, IEA, Solar Heating & Cooling Programme, ed. (ed.). 2003, London , UK: James & James Science Publishers Ltd.
71. VVS-tekniska föreningen, *VVS handboken : tabeller och diagram.* 1974, Stockholm: Förlags AB VVS.

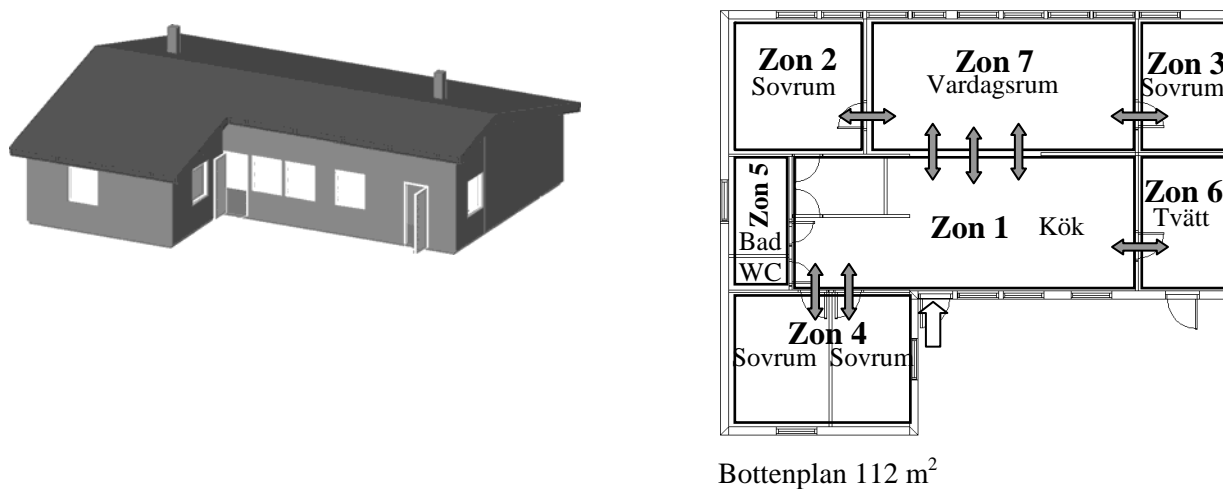
**Hustyp H1**

Hustyp H1 (figur 3.1) representerar ca 39 000 småhus byggda före 1940, där ursprungligt uppvärmningssystem utgjordes av kakelugnar och vedspisar, men som senare har konverterats till direktverkande el. Nedan redovisas data för hustyp H1:

Tidsperiod:	-1940
Antal plan:	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> plan
Grundläggning:	torpargrund
Ytterväggar:	massivträväggar timmer
Fasadmaterial:	träpanel
Planlösning:	korsvägg
Ventilationssystem:	självdreg
Urspr. uppvärmningssystem:	kakelugnar och kaminer för fasta bränslen
Befintlig värmekälla:	direktverkande el



**Figur B1.1** Planritning och zonindelning för hustyp H1. Kaminen är placerad i Zon 1.

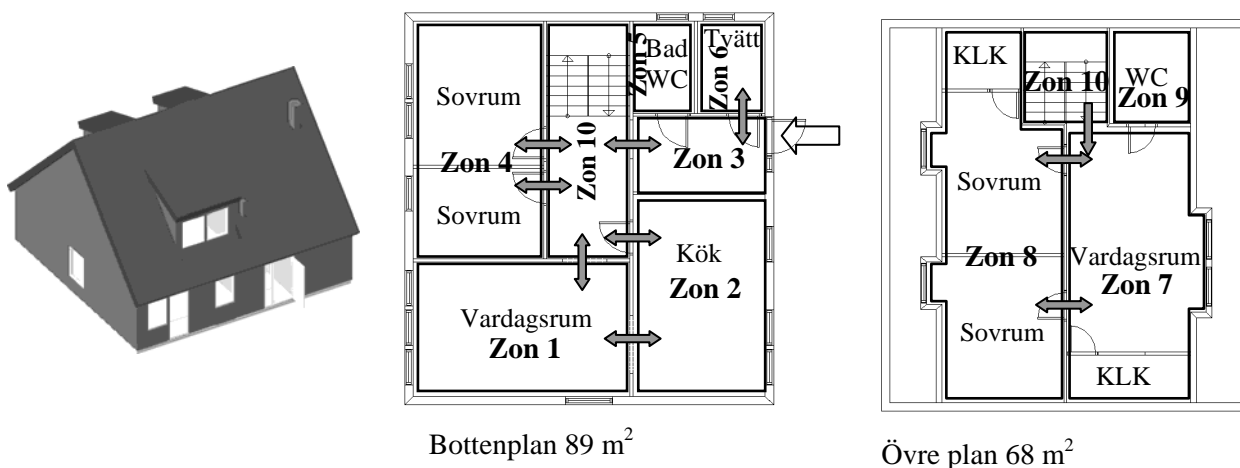
**Hustyp H3 och H4**

**Figur B1.2.** Planritning över hustyp H3. Kaminen är placerad i Zon 7.

Hustyperna H3 och H4 (figur 3.3 och 3.4) representerar tillsammans ca 160 000 direktvärmdda hus som byggdes under 70-talet. Hustyp H3 har en öppen planlösning i ett plan medan hustyp H4 är ett 1½-planshus med en mer sluten planlösning.

I dessa hus med direktverkande el får husens planlösning en avgörande betydelse om de konverteras med pelletskamin, eftersom värmespridningen varierar kraftigt med olika planlösningar. Av denna anledning väljs två olika hus med olika planlösningar. På nästa sida redovisas data för hustyp H3 och H4:

Tidsperiod:	1971-1980
Antal plan:	1 plan eller 1½ plan
Grundläggning:	platta på mark
Ytterväggar:	träregelväggar isolerade med mineralull
Fasadmaterial:	träpanel
Planlösning:	öppen
Ventilationssystem:	mekanisk frånluft
Urspr. uppvärmningssystem:	direktverkande el
Befintlig värmekälla:	direktverkande el



**Figur B1.3.** Planritning över hustyp H4. Kaminen är placerad i Zon 1.