

Solenergi

Praktiska tillämpningar i bebyggelse



svenskbyggjtjänst

Lars Andrén

Förlag och distribution
AB Svensk Byggtjänst
113 87 Stockholm
Telefon 08-457 10 00
www.byggtjanst.se

» *Det är med ord som med solstrålar – ju mer de koncentreras desto djupare bränner de.* «

*Källa: Klokboken
Pedagogförlaget AB*

Författaren och Svensk Byggtjänst tar inte ansvar för eventuella felaktigheter i principscheman. Följ alltid leverantörers och konsulters anvisningar.

En bok kommer inte till av sig själv. Tack Ulla och barnen för stöttningen, inspirationen och allt påhejande.

Ett extra stort tack till de som hjälpt mig i arbetet; förlaget och dess medarbetare och alla som granskat innehållet.

Ett speciellt tack till Bengt Perers vid DTU Civil Engineering, Lars Stolt vid Ångström Solar Center, Conny Ryytty på Statens energimyndighet, Jan-Olof Dalenbäck på Chalmers Tekniska Högskola samt Gunnar Lennermo på Energianalys.

... och alla ni andra som varit delaktiga och bistått med ovärderlig hjälp...

© 2015 AB Svensk Byggtjänst och författaren
Femte, reviderade utgåvan
Grafisk form inklusive omslag: Beate Pytz
Repro: Harald Holm
Omslagsfoto: Anders Wester
Tryck: Bulls Graphics AB, Halmstad 2015
ISBN 978-91-7333-678-9

Innehåll

Förord	5	Groplager.....	42
1. Introduktion	6	Bergrumslager.....	44
Solinstrålning.....	6	Lerlager.....	44
Effekt – fakta.....	6	Saltlager/kemisk värmepump.....	46
Energi – tillgång.....	8	Småskaliga värmelager.....	46
Väderstreck – utbyte.....	9	Ackumulatorsystem.....	48
Dimensionering.....	10	Systemteknik.....	50
2. Solvärmeanläggningens olika delar	12	Systemprinciper.....	50
Solfångaren.....	12	Checklista/funktionskontroll.....	56
Princip och konstruktioner.....	13	3. Solvärmens användningsområden	57
Plana solfångare.....	14	Småhus.....	58
Dränerande solfångare.....	14	Flerbostadshus.....	59
Placering.....	18	Storskalig solvärmeteknik.....	61
Vakuumsolfångare.....	18	Utomhusbassänger.....	62
Kinesiska vakuumsolfångare.....	19	Campingplatser.....	63
Heatpipe.....	20	Idrottsanläggningar.....	64
U-rörskonstruktion.....	21	Skolor.....	64
Direktpluggmodellen.....	22	Industri.....	65
Koncentrerande solfångare.....	23	4. Solvärme för småhus	67
Lågtempererade (pool-)solfångare.....	24	Användning.....	67
Verkningsgrad.....	25	Dimensionering.....	68
Värmeproduktion.....	27	Nyckeltal.....	71
Solvärmekretsen.....	30	Systemkombinationer.....	72
Komponentinnehåll.....	30	Solvärme och el, ackumulatorpanna.....	72
Drivpaket.....	30	Solvärme och fossilbränsle (gas/olja).....	73
Cirkulationspump.....	31	Sol och pellets.....	74
Reglerventil – flödesmätare.....	32	Sol och ved.....	75
Backventil.....	33	Solvärme och lokala eldstäder.....	75
Smutsfiler.....	33	Kökspanna.....	76
Påfyllning och avtappning.....	33	Vattenkylda lokala eldstäder.....	76
Kontroll av förtrycket i expansionskärl.....	33	Sol och värmepump.....	76
Expansionskärl/dräneringskärl.....	34	Kulvertsystem.....	80
Styrning och övervakning.....	36	Tappvarmvattensystem.....	81
Värmebärare.....	39	Drift och underhåll.....	81
Värmeväxlare.....	40	Sammanfattning.....	82
Rörslinga/rörbatteri.....	40	5. Solvärme för flerbostadshus	83
Plattvärmeväxlare.....	41	Användning.....	83
Värmelager.....	41		
Ståltankar.....	42		

Takintegrerade solfångare	83
Dimensionering.....	84
Nyckeltal	87
Värme- och tappvarmvattenbehov	88
Solfångararea och ackumulatorvolym	88
Värmeproduktion	88
Systemkombinationer	89
Montering	90
Platsbyggda solfångare.....	90
Förtillverkad solfångare	90
Fabriksmonterade solfångare	90
Drift och underhåll.....	91
Sammanfattning.....	92
6. Storskalig solvärmeteknik	94
Användning.....	94
Stormodulsolfångare.....	95
Dimensionering – kalkyl.....	95
Korttidsvärmelager.....	96
Säsongsvärmelager.....	96
Nyckeltal	99
Drift och underhåll.....	99
Sammanfattning.....	100
7. Solvärme för utomhusbassänger	102
Energi- och värmedata.....	102
Direkta system – oglasade solfångare	104
Funktion – direkta system.....	106
Solfångarplacering.....	107
Dimensionering	108
Indirekta system – glasade solfångare	110
Funktion – indirekta system.....	110
Solfångarplacering.....	110
Dimensionering	112
Nyckeltal för energi och ekonomi.....	112
Drift och underhåll.....	113
Sammanfattning.....	114
8. Ekonomi och lönsamhetsberäkning	115
Olika beräkningssätt.....	115
Praktiskt exempel, mall för lönsamhetsberäkning.....	118
9. Upphandling – solvärme	119
Inventering (och solesinvestering).....	119
Upphandlingsformer	119
Kravspecifikation	120
10. Solel	123
Historik.....	126
Teknik	126
Användningsområden.....	129
Dimensionering/beräkningsexempel självförsörjande system	130
Nätanslutna system	132
Effekter och dimensioneringsunderlag.....	132
Nätägare – elhandelsavtal och bygglov.....	134
Annat att tänka på.....	134
Framtid	134
Lönsamhetskalkyl nätanslutna solesanläggningar.....	143
Sammanfattning.....	144
11. Övrig solenergiteknik	145
Passiv solvärme	145
Optiska soltuber	148
Termosifonsystem.....	148
Luftburen solvärme	149
Öppna luftsolvärmesystem	152
Slutna luftsolvärmesystem	153
Solväggar.....	153
Luftsolfångare för fritidshus	153
Solskorsten – Solar chimney	154
Solkyla.....	154
Fakta om svensk solvärme.....	157
Historik	157
Framtid.....	160
Potential.....	161
Referens- och litteraturlista	163
Kontakter	165

Förord

Solen är en förutsättning för allt liv på jorden och i ett mänskligt perspektiv en oändlig resurs. Under senare år har värdet på och nyttan av denna gratis flödande energi ökat i allt större omfattning. Solen är en enorm tillgång som kan utnyttjas för elgenerering och värmeproduktion. Genom ett ökat utnyttjande av solenergi blir det inte bara ett bättre resursutnyttjande utan det görs även en stor insats för att uppnå ett ekologiskt hållbart samhälle, var vi än befinner oss på jorden. Solenergin kommer att spela en viktig roll för vår framtida energiförsörjning, både till förmån för miljön och vår ekonomi – även i Sverige.

I stort sett under hela min yrkesverksamma tid har jag i en eller annan form arbetat med solenergi, först solvärme och under senare år allt mer med solel. Inom solvärmeområdet har jag fått möjligheten att följa en tekniks födelse, introduktion och genombrott på den svenska värmemarknaden. Mina erfarenheter kring såväl småskalig solvärme för villasystem till större fjärrvärmeanläggningar presenteras i denna bok: Solenergi – praktiska tillämpningar i bebyggelse.

Under senare år har intresset och marknaden för solel ökat lavinartat i Sverige. Av den anledningen har avsnittet kring solel utökats i denna nya utgåva av boken. Boken presenterar också en rad olika sätt att utnyttja solenergin, allt ifrån det passiva utnyttjandet (värme och ljus) genom fönster till luftburen solvärmeteknik, solkyla med mera.

Min ambition är att boken ska fungera som ett uppslagsverk, där olika solaktörers insikter sprids vidare i syfte att öka den allmänna kunskapsnivån i ämnet och att ge solenergin den möjlighet och värdiga expansion som tekniken idag gör sig förtjänt av. Ett av de huvudsakliga målen med boken är att ge olika aktörer i byggbranschen en möjlighet att på ett enkelt sätt förstå och tillämpa solenergi, i alla dess former. Boken inleds med ett faktaavsnitt och en allmän orientering över olika användningsområden. Därefter följer några mer ingående kapitel kring teknik och system. Avsnitten innehåller nyckeltal och praktiska exempel som hjälper projektörer, installatörer och slutanvändare att bedöma lämpligheten för att utnyttja solenergi i olika projekt. Läsaren får en överskådlig bild med möjlighet att själv göra en förstudie i teknik, system och ekonomi. Boken ska överbrygga informationsbristen inom solenergiområdet och fungera som språngbräda in i ämnet.

Med förhoppning om en givande lästund!

● 1. Introduktion

Solinstrålning

Den energi som solen avger är ett resultat av kärnreaktioner där väte omvandlas till helium. Den utstrålade mängden solenergi är ett överskott i denna process.

Solinstrålningen som träffar jordens yta innehåller våglängder från ultraviolett till infrarött där en väsentlig del av energimängden ligger i det infraröda området. Genom atmosfären absorberas olika våglängder av de molekyler som finns i luften (vattenånga, syre, ozon och koldioxid). För ett bra tillvaratagande av solinstrålningen krävs att solens hela våglängdsområde kan absorberas. Material och ytskikt med hög andel absorption och låg andel emittans är att föredra.

EFFEKT – FAKTA

Det är endast en bråkdel av solens energi som träffar jordytan. Solinstrålningen som når jordatmosfärens yttre rand på en yta som är vinkelrätt mot solen, motsvarar en medeleffekt av $1\,370\text{ W/m}^2$. Detta värde kallas solarkonstanten. Av den solinstrålning som finns utanför atmosfären reflekteras en del tillbaka och en andel instrålning absorberas av ozon, koldioxid och syre som finns i atmosfären. Utöver detta absorberar också vattenångan i luften en del av solinstrålningen.

Resterande solinstrålning är den vi kan nyttiggöra oss. Den maximala solinstrålningseffekten som når markytan är cirka $1\,000\text{ W/m}^2$. Områden kring ekvatorn tar emot

en större energimängd än sydliga och nordliga breddgrader. Detta är ett resultat av att infallsvinkeln mot markytan är mindre samtidigt som avståndet genom atmosfären är kortast vid ekvatorn. På jordens ökenområden (där det råder ett stort antal soltimmar på ett år) är medeltalet för solinstrålningen $2\,500\text{ kWh/m}^2$ och år medan vi i Sverige har en ”medelsolinstrålning” motsvarande drygt $1\,000\text{ kWh/m}^2$ och år (mot en horisontell yta).

Solfakta



- Solen är vår närmaste stjärna och genom sin ofantliga storhet styr den med sin gravitationskraft planeternas rörelse. Solen beräknas vara $4,6 \times 10^9$ år gammal. Dess radie är 696 000 km och den består av 71 procent väte (H), 27 procent helium (He) och två procent övriga grundämnen. Vikten kan uppskattas till $1\,989 \times 10^{30}$ ton (333 000 gånger tyngre än jorden).
- Fusionen (sammansmältningen) av vätekärnor till heliumkärnor utgör den avgörande energialstrande processen i solen. Heliumkärnan blir lättare och denna skillnad i massa omvandlas till energi som avges i form av elektromagnetisk strålning. Den totala utstrålningseffekten från solen är $3,8 \times 10^{26}\text{ W}$. Av denna mängd träffar cirka $170 \times 10^{12}\text{ W}$ jorden, vilket är cirka 15 000 gånger mer energi än vad som konsumeras på jorden (1990).

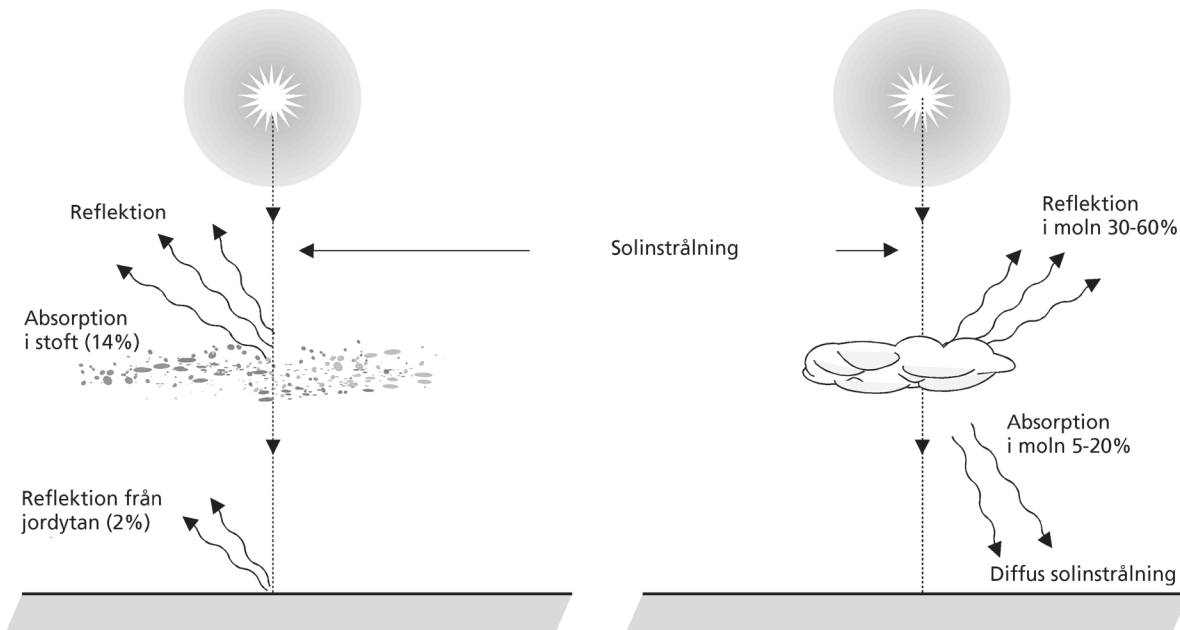


Fig. 1.1. Bilden visar atmosfärens inverkan på solinstrålningen.

Det är det lokala vädret som huvudsakligen påverkar hur mycket solinstrålning som når markytan. Normalt klassas solinstrålningen som direkt eller diffus. Den direkta instrålningen reflekteras och absorberas i moln (vid mulet

väder) så att den i det närmaste helt upphör. Det som sedan träffar markytan kallas för diffus (eller indirekt) instrålning.

Fig. 1.2. Bilden visar globalinstrålningens fördelning, mot en horisontell yta, i Sverige. Idealvinkeln för solfångare ligger på 10–15 grader under den breddgrad man befinner sig på. Solfångare med en lutning på 30–45° från horisontalplanet medför ett ökat värmeutbyte med cirka 25 procent, jämfört med bildens siffror. Variationen mellan årstiderna är stor och jämförelser i samma månad kan skilja från år till år. Generellt har vi mer direkt solinstrålning (klart väder) utmed landets kuster och i Vänerområdet. Det kan i sammanhanget nämnas att det finns bra programvara för att optimera montagevinkeln för solfångare och solceller. Källa: Solsverige 1992



ENERGI – TILLGÅNG

Den energimängd vi kan tillgodogöra oss från solinstrålningen påverkas av: tillgång på soltimmar, lokalisering, reduktion i atmosfär, reflektion och absorption i moln samt vilken vinkel det absorberande föremålet har till horisontalplanet.

Den summa solinstrålning vi kan tillgodogöra oss kallas globalinstrålning. Den kan definieras som det direkta solljus som åstadkommer skarpa skuggor och så kallat spritt ljus. I södra Sverige nås vi av en årlig global-

instrålning på drygt 1 000 kWh/m² och år och motsvarande siffra för norra delarna av landet är drygt 800 kWh/m² och år (gäller en horisontell yta). Globalinstrålningen ökar med cirka 25 procent om det absorberande föremålet lutar 30–45° från horisontalplanet och riktas åt söder. Den infallande solenergimängden mot en 30° sydsluttande yta varierar från de bästa lägena utmed våra kuster (1 250 kWh/m² och år) till de sämre inlandsförhållandena i de norra delarna av vårt land (900 kWh/m² och år).

Solinstrålning uttryckt i kWh/dygn på platser på eller omkring 60:e breddgraden i Sverige (t ex i Norberg och Uppsala)



Månad	Klara dagar kWh/dygn	Halvklara dagar kWh/dygn	Mulna dagar kWh/dygn
Januari	1,42	0,92	0,28
Februari	3,28	2,24	0,76
Mars	5,28	3,70	1,48
April	7,02	5,34	2,30
Maj	8,08	6,36	2,94
Juni	8,52	6,84	3,26
Juli	8,34	6,66	3,12
Augusti	7,54	5,84	2,60
September	6,06	4,50	1,82
Oktober	4,14	2,92	1,06
November	2,10	1,38	0,44
December	0,98	0,62	0,18

Tabellen speglar all instrålad (direkt + diffus samt markreflekerad) solenergi (per m²) mot en söderorienterad yta med 30° lutning mot horisontalplanet, uttryckt i kWh/dygn.

Källa: Gunnar Lennermo, Energianalys

Globalinstrålning



Plats/ort	kWh/m ² och år
Kiruna	870
Stockholm	980
Malmö	1 000
Paris	1 000
Medelhavsområdet	1 400 – 1 800
Sahara / Arizona	2 300 – 3 400

Vi har en mindre avvikelse i mängden solinstrålning i vårt land. Skillnaden mellan Malmö och Kiruna är mindre än många tror. Först när vi kommer till Medelhavsområdet och rena ökenlandskap ökar globalinstrålningen radikalt.

Av den globalinstrålning som når Sverige (cirka 900–1 250 kWh/m² och år) kan en solfångare med en verkningsgrad på knappt 50 procent producera 400–500 kWh/m² och år (ett snittvärde för en plan standardsolfångare med bra prestanda).

Med drygt 2 500 000 m² plana solfångare produceras således 1 TWh värme!

Källa: Gunnar Lennermo, Energianalys

VÄDERSTRECK – UTBYTE

En plan, fast monterad solfångare har en vinkel mot solen som varierar över tiden (dagen). Variationen påverkar hur mycket solinstrålning som når solfångaren. Nyttiggjord instrålning minskar med avvikande väderstreck från söder och påverkas av lutningsvinkeln.

En viktig detalj i projekteringsarbetet är att finna lämplig plats för solfångarna, som är försvarbar av kostnadsskäl och att placeringsalternativet ger önskat värmeutbyte. En central fråga är vilken vinkel och väderstreck som solfångaren ska placeras i för att ta tillvara en så stor andel som möjligt av solinstrålningen.

Normalt är den optimala placeringen av solfångarna ett rakt söderläge med 25–65° lutning från horisontalplanet.

Lutningsvinkeln på solfångarna kan minskas om värmeproduktionen är mer inriktad för sommaranvändning. Ett typexempel är oglasade solfångare som används för uppvärmning av utomhusbassäng. På motsvarande sätt kan lutningsvinkeln ökas om det är önskvärt att förbättra infallsvinkeln (utbytet) under vår och höst. Med en brantare lutning minskas också snölasten (speciellt viktigt med vakuumsolfångare).

Det är viktigt att undvika all form av skuggning. Notera skuggningsrisk från eventuella takkupor m m eller om det finns risk för att närliggande vegetation växer upp och skuggar solfångarna. Det kan rekommenderas att göra skuggningsstudier, vilket företrädesvis bör göras under tidig vår eller sen höst.

Riktning	Lutning			
	15°	30°	45°	65°
S	0,91	0,99	1,00	0,96
SV, SO	0,87	0,92	0,93	0,89
V, O	0,79	0,78	0,75	0,69

Optimal placering av plana solfångare placerade på 55:e breddgraden (t ex Falkenberg) är rakt söderläge med 45° lutning (tabellen bygger på glasade, plana solfångare). Tabellen visar också att sydost- (SO) eller sydvästläge (SV) inte nämnvärt påverkar utbytet, det viktiga är att solfångarna inte får en placering rakt i väst- eller östläge. Är avvikelser från söderläget större än SV och SO är det en fördel med mindre lutning på solfångarna. Vertikalt placerade solfångare ger under vår och höst ett större tillskott än horisontellt placerade.

Med tabellen kan korrigeringar göras för att beräkna bortfallet vid vissa avvikelser från optimal placering av solfångarna. Noterbart är att vissa vakuumsolfångare, t ex konstruktioner med cirkulära absorbanter, är mindre känsliga för avvikande väderstreckorientering än plana solfångare.

Källa: Jan-Olof Dalenbäck, Chalmers

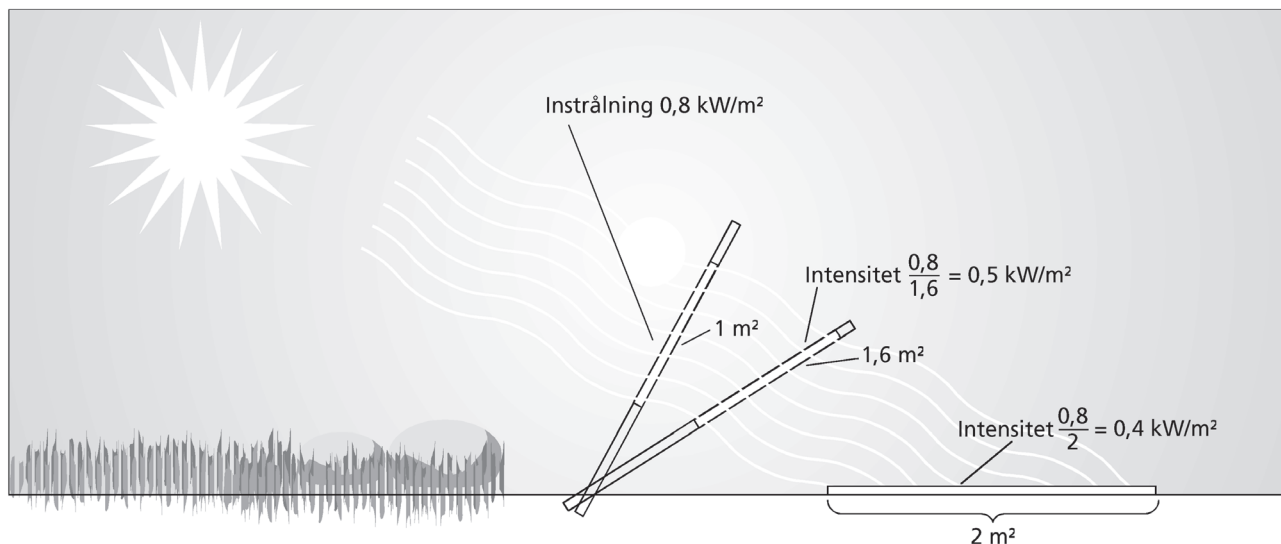


Fig. 1.3. Solintensiteten mot en yta varierar med ytans lutning i förhållande till solinstrålningen.
Källa: Gunnar Lennermo, Energianalys

DIMENSIONERING

Dimensioneringen av solvärmeanläggningen är avgörande för utbytet. Förutsättningarna för anläggningens verkningsgrad och den ekonomiska avkastningen avgörs i stor utsträckning redan under projekterings- och dimensioneringsarbetet. Det är viktigt att fastställa vilka krav som ska uppnås och vad som är dimensioneringsgrundande. För optimalt utbyte (både tekniskt och ekonomiskt) måste värmelasten som solvärmes är tänkt att klara identifieras, allt för att undvika överdimensionering (vilket inte är helt ovanligt). En överdimensionerad anläggning ger i allmänhet färre kWh per investerad krona. En överdimensionerad anläggning ger dessutom överskottsvärme under sommartid och endast en mindre ökning av täckningsgraden av den totala värmelasten.

Förutom den värmelast som ska täckas finns det andra iakttagelser som är viktiga att notera redan i projekteringsarbetet. Placeringsalternativ och utrymme för solfångare och ackumulatortank påverkar till exempel möjlig solfångarearea. I vissa fall är det önskvärt att ersätta

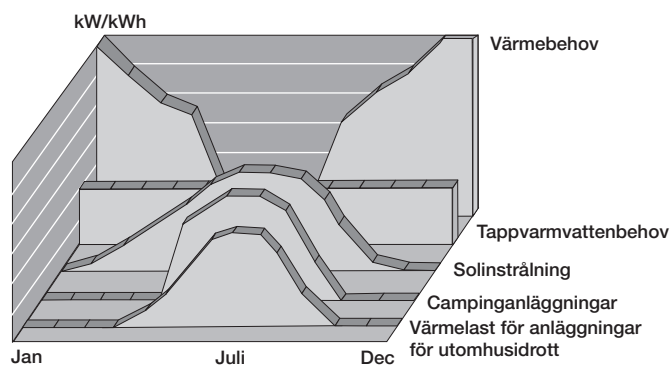


Fig. 1.4. Solinstrålningen över året är given och ska ställas i relation till vilken värmelast solfångarna ska täcka. I vissa fall sammanfaller behov och tillgång på ett naturligt sätt, som t ex för campinganläggningar och idrottsplatser. I andra objekt, där värmebehovet är stort minskar täckningsgraden från solvärmes. I båda fallen krävs ett noggrant dimensioneringsarbete.

värmeproduktion med låg verkningsgrad (till exempel biobränsleledning sommartid), vilket kan motivera en något större solfångararea. Solvärmen kan tillsammans med en värmegarant få till uppgift att förbättra den totala systemverkningsgraden (resursutnyttjandet).

I andra fall är det enklare att identifiera behovet. Varmvattenanvändningen under sommaren kan för campinganläggningar och idrottsanläggningar i regel fastställas ganska exakt. På samma sätt är det relativt enkelt att beräkna energiåtgången för en utomhusbassäng. I bostäder är det i regel tappvarmvattenförbrukningen (60–70 liter varmvatten per person och dygn) som är dimensionerande för solfångararean. Det är viktigt att i detta sammanhang inte underskatta värmeförlusterna i värmelagret (eller i en vvc-krets) som kan utgöra en inte oväsentlig del av behovet. Temperaturen på inkommande kallvatten

varierar också stort över året. När det gäller enfamiljshus kan det dock finnas andra kriterier som påverkar solfångararean, t ex om man vill hålla en kallare fuktfri under sommartid eller stänga av en panna med dålig sommarverkningsgrad.

En solvärmeanläggning kan få en viktig funktion som komplement i uppvärmningssystemet. I flerbostadshus är det vanligt att värmereglerutrustningen stängs av när utomhustemperaturen överstiger +18 °C och startar när utomhustemperaturen understiger +16 °C, med en tidsfördröjning på 1–3 timme. Detta innebär att värmedistributionssystemet är i drift under många nätter försommar och tidig höst. Man bör också ta hänsyn till värmeförlusterna i varmvattencirkulationssystemet (vilket grovt kan uppskattas till 20 procent av tappvarmvattenbehovet på årsbasis).