



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R82:1979

Solvärmeverk Ingelstad i Växjö

**Projektering och
byggförberedelser**

Lennart Finn

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Byggforskningen

R82:1979

SOLVÄRMEVERK INGELSTAD I VÄXJÖ
Projektering och byggförberedelser

Lennart Finn

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
770814-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Växjö kommun, Ledningsgruppen för solvärme
i Växjö.

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

R82:1979

ISBN 91-540-3058-7
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 955096

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
2	YTTRE MILJÖ - ANPASSNING TILL OMGIVNINGEN	7
3	PRINCIPIELL UTFORMNING - TEKNISKA DATA	11
3.1	Systembeskrivning	11
3.2	Energibalans	12
3.3	Tekniska data	13
4	DRIFTSTRATEGI - TEKNIKVAL	15
4.1	Solfångarsystem	15
4.2	Värmeackumulering	16
4.3	Driftsbyggnad	17
4.4	Distributionsnät	18
4.5	Abonnentinstallationer	18
5	SOLFÅNGARTEKNIK - PARABOLISKA SOLFÅNGARE	19
5.1	Förutsättningar	19
5.2	Solintensitet	19
5.3	Solskenstid	21
5.4	Lutning - avstånd - skuggnings- yta	22
5.5	Driftperiod	25
5.6	Verkningsgrad	26
6	ACKUMULATORTEKNIK - VÄRME- TEKNISK DEL	28
6.1	Dimensioner	28
6.2	Principer för skiktning	28
6.3	Isolering	30
6.4	In- och utloppsanordningar	30
6.5	Vattenlås	31
7	ACKUMULATORTEKNIK - BYGGNADS- TEKNISK DEL	33
7.1	Förslag och utvärderingar	33
7.2	Anmärkningar	40
7.3	Val av tank	41
8	BYGGNADSTEKNISK BESKRIVNING AV FÖRESLAGEN VÄRMEACKUMULATOR	42
8.1	Grundläggning	42
8.2	Stomme	42
8.2.1	Genomskärningsritning	42
8.2.2	Bottenplatta	43
8.2.3	Väggar	44
8.2.4	Tak	45
8.2.5	Utförande	46
8.3	Värmeisolering	46
8.3.1	Botten	46
8.3.2	Väggar	47
8.3.3	Tak	47
8.4	Diffusionsspärr	47
8.5	Skydd mot kalkutfällning	47

9	INVERKAN AV HETT VATTEN PÅ BETONG	48
9.1	Förutsättningar	48
9.2	Tryckhållfasthet och krypning	48
9.2.1	Allmänt	48
9.2.2	Betongens tryckhållfasthet	48
9.2.3	Betongens krypning	49
9.2.4	Utvärdering av försök	50
9.3	Kalkylakning	50
9.4	Slutsats	51
10	PROCESSTEKNIK	52
10.1	Allmänt	52
10.2	Kretsbeskrivning	52
10.2.1	Solfångarkrets	52
10.2.2	Akkumulatorkrets	52
10.2.3	Pannkrets	54
10.2.4	Distributionskrets	54
10.3	Styr- och övervakningsanläggning	54
10.3.1	Solfångarkrets	56
10.3.2	Akkumulatorkrets	56
10.3.3	Pannkrets	60
10.3.4	Distributionskrets	60
10.4	Mätanläggning	61
10.5	Elanläggningar	63
10.6	Rörtekniska anläggningar	63
11	KOSTNADSSAMMANSTÄLLNING	64
11.1	Anläggningskostnader	64
11.2	Drift- och underhållskostnader	65
12	SAMMANFATTNING	66
13	REFERENSBILAGA	69

1 INLEDNING

Utnyttjande av solenergi under sommarhalvåret för uppvärmning av badbassänger och tappvarmvatten inom bostäder och industrier är idag en känd och relativt väl prövad teknik. I Europa finns idag flera hundra projekt av det slaget, där tätheten och även driftekonomin avtar med nordliga breddgrader.

Att utnyttja solen för värmeförsörjning av bostäder och lokaler under hela året ställer sig betydligt svårare. Problem som värmelagring, styrning och reglering, materialval och val av driftstrategi blir här mera kritiska och investeringsnivån mera betydande.

I denna rapport presenteras ett solvärmeverk knutet till ett nyuppfört bostadsområde, omfattande 52 enfamiljshus belägna i Ingelstad, ca 20 km sydost om Växjö. Projekteringen var ursprungligen inriktad på en 100 %-ig försörjning med solenergi för uppvärmning och tappvarmvatten. Under hand har, efter samråd med BFR, projektets målsättning ändrats till en 50 %-ig täckning, vilket medfört en halvering av solfångarytan och reducering av värmeackumulatorns volym till ca en tredjedel av vad som erfordras för att täcka hela vinterhalvårets energibehov.

De väsentligaste problemställningarna som avses bli belysta i detta projekt är dels hur solfångare för högre temperaturer, än vad den vanliga plana solfångaren möjliggör, kan utnyttjas för system med säsonglagring av solenergi, dels hur utformning och materialval i värmeackumulatorn påverkas när vatten med temperaturnivå i närheten av kokpunkten utnyttjas som lagringsmedium.

Projekteringen av verket har föregåtts av en inventering av utvecklingen inom solenergiteknik - nationellt och internationellt. Teknikvalet i den slutgiltiga projekteringen har inriktats på sådana lösningar, som ger en säker funktion och som skall garantera att abonnenterna erhåller den energi som vid varje tidpunkt erfordras.

För genomförandet har inom Växjö kommun bildats en särskild organisation, vars principiella uppbyggnad framgår av fig. 1, sid. 6.

Kommunstyrelsen har under sitt arbetsutskott tillsatt en projektorganisation som leder arbetet med solvärmeverket i Ingelstad. I organisationen ingår en parlamentariskt tillsatt ledningsgrupp (LG), en projektgrupp (PG) samt en referensgrupp (RG). I projektgruppen ingår cheferna för berörda förvaltningar inom kommunen. I referensgruppen ingår planerare, arkitekter och konstruktörer som externt anlitas för att arbeta med projektet.

I projektorganisationen ingår vidare en projektledare (PLK) som direkt under ledningsgruppen har ansvaret för

planering, konstruktion och uppförande av solvärmeverket. Projektledaren samarbetar med den ordinarie organisationen inom kommunen för anläggande av gator, VA och el samt för upphandling av småhus inom aktuellt område. Samarbetet sker över den tekniska kommittén (TK) respektive fastighetskommittén (FK), som har det direkta ansvaret för nämnda uppgifter inom kommunen direkt under kommunstyrelsens arbetsutskott.

Som konstruktörer och för utarbetande av handlingar har meverkat Rejlers Ingenjörbyrå AB:s kontor i Växjö, Motala och Stockholm, Arnéus & Ekblom Byggkonsulter AB i Stockholm samt Rosenberg & Stål Arkitektkontor AB i Stockholm. Vidare har under projektets genomförande värdefulla uppgifter och synpunkter erhållits från Stig Borglin, Tekniska Högskolan i Lund, Arne Boysen, Statens Råd för byggnadsforskning, Ulf Johnsson, Växjö Kraft-Värme AB, Lennart Christoffersson och Carl-Axel Svensson, Sunvex AB samt den styrgrupp för solvärme-centraler som BFR tillsatt och i vilken ingår Erik Gabrielsson, Birger Ludvigson, Lars Dirke och Egil Öfverholm.

Ansvarig projektledare är ingenjör K G Jonsson, Växjö kommun.

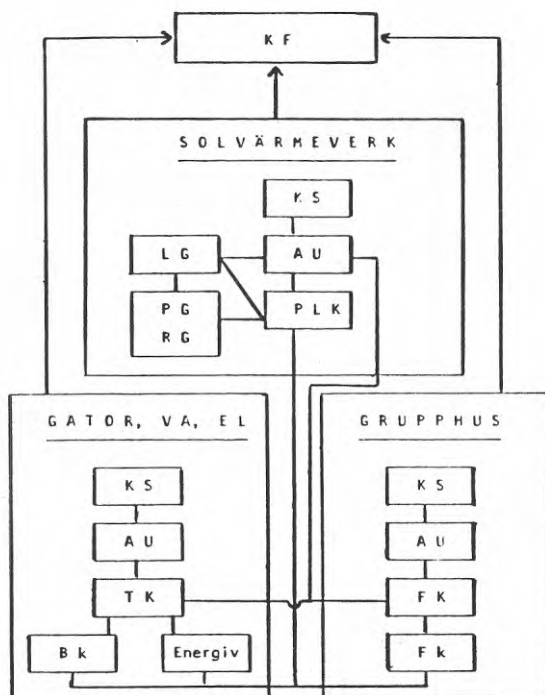


Fig. 1. ORGANISATIONSPLAN

Solvärmeverket har förlagts till ett industriområde i Ingelstad och det småhusområde, som skall försörjas, ligger omedelbart norr därom. Se fig. 2.

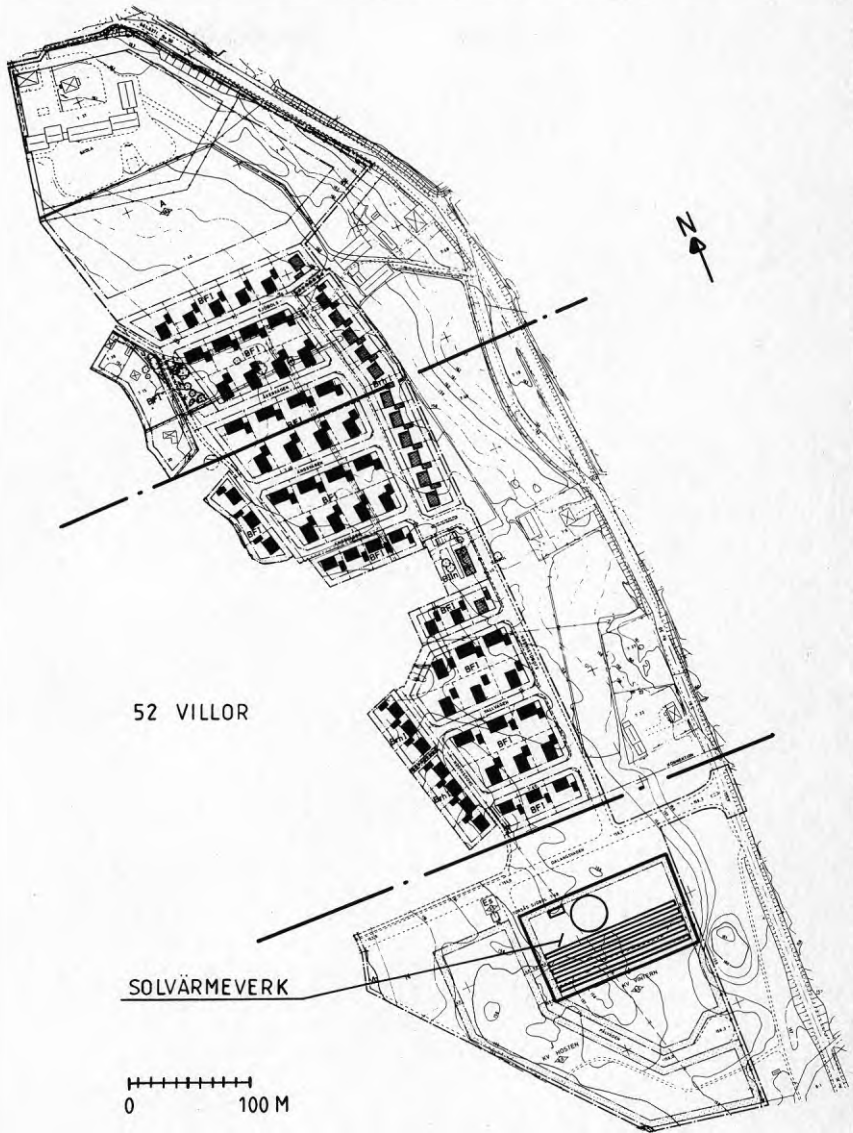


Fig. 2. ILLUSTRATIONSPLAN, SJÖBOLSOMRÅDET, INGELSTAD, VÄXJÖ KOMMUN

I ett första skede av projekteringen avsågs att de 52 villorna skulle kunna försörjas till 100 % med solenergi. Solfångarytan uppgick därvid till 2.600 m² och varmvattenackumulatorns volym uppgick till 14.000 m³. Den industritomt som stod till förfogande omfattade 17.150 m². Med den form tomten har befunns det därvid lämpligast med den placering av ackumulator och solfångare som visas i fig. 3.

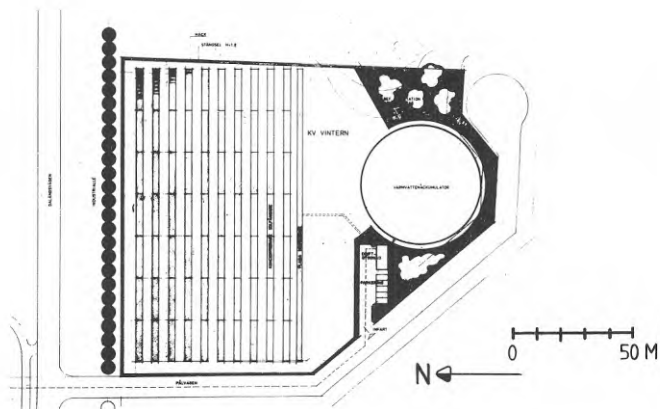


Fig. 3. SOLVÄRMEVERK FÖR 100 % VÄRMEFÖRSÖRJNING AV 52 VILLOR

Av vikt är att solfångaruppställningen ordnas så att det rörsystem, som fångarna är anslutna till, kan utformas så symmetriskt som möjligt. Detta har stor betydelse för att få jämnt fördelade flöden på solfångarna och att man kan utnyttja en enda stamledning mellan solfångarsystem och den driftbyggnad som innehåller pumpar, värmeväxlare o.s.v. för anknäytning med värmeackumulator respektive distributionsnät.

Som ett resultat av de överläggningar som hölls med BFR under projekteringstiden gjordes på ett ganska tidigt stadium en nedskärning av solfångarytan till hälften, d.v.s. en minskning från 10 till 5 rader solfångare. Vid denna tidpunkt avsågs att värmeackumulatorns volym skulle bibehållas oförändrad 14.000 m³ och att senare komplettering med kommande generationer solfångare skulle kunna göras på den ej utnyttjade markytan. Utformningen överensstämde således i stort med vad som visas i fig. 3 med undantag av att de 5 norra raderna solfångare slopades.

Senare överläggningar med BFR samt med professor Stig Borglin vid Lunds Tekniska Högskola ledde till en ändrad målsättning för projektet så att man anpassade värmeackumulatorns volym efter vad som erfordrades till den tidigare beslutade halveringen av solfångarytan. Därvid kunde disponeringen av tomten ändras och den slutliga utformningen framgår av fig. 4, sid. 9.

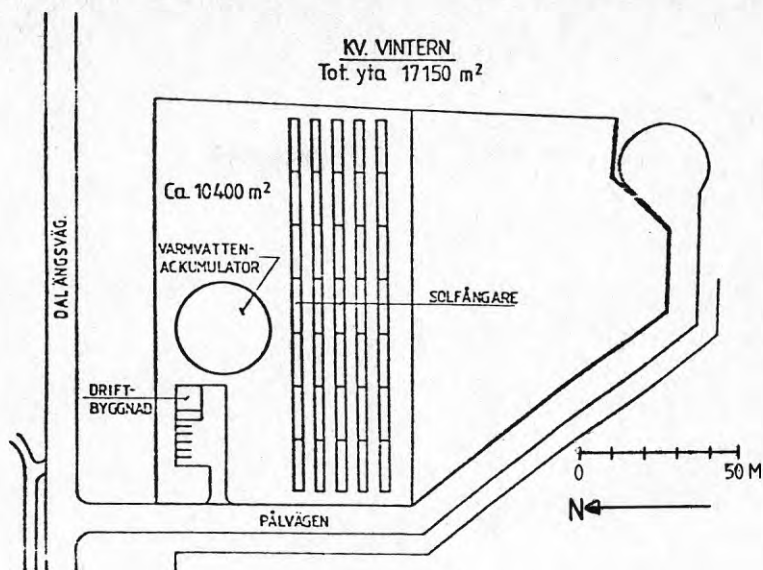


Fig. 4. INGELSTADSPROJEKTET. SITUATIONSPLAN

Värmeackumulatorns höjd-diameterförhållande har varit föremål för särskilda studier med hänsyn till å ena sidan tekniska-ekonomiska aspekter och å andra sidan de estetiska önskemålen. Om man tar hänsyn till bättre utnyttjande av temperaturskiktningar för in- och utmatat vatten skulle tanken göras högre och med mindre diameter, men ur estetisk synpunkt har en begränsning gjorts till 8 m vattendjup. Totala höjden från mark till det mot söder sluttande yttertakets varierar mellan ca 10 och 12 m. Ytterdiametern uppgår till ca 31 m.

Vår strävan har varit att med form och färg försöka minska storleksintrycket. Såväl tank som driftbyggnad har en yttre trapetskorrugerad plåtbeklädnad, som delats upp i blå och vita färgfält. Ett brett vitt band sveper runt byggnaderna och bidrar visuellt till att minska höjdintrycket. Genom att ge området en lämplig inramning med buskar och träd behöver någon störande inverkan på bostadsområdet ej befaras. Sålunda avses att innanför det 2 m höga stängsel som omger hela området och även runt tank och driftbyggnad anlägga buskplanteringar. Se fig. 5, sid. 10.

Mellan solvärmeverket och bostadsområdet förlägges en konventionell fjärrvärmeledning i gatumark. Genom att all energiproduktion, såväl solvärmeanläggning som kompletterande oljeeldad panncentral, koncentreras till industriområdet har några speciella krav på bostadshusens utformning eller väderstrecksanpassning ej behövt ställas.

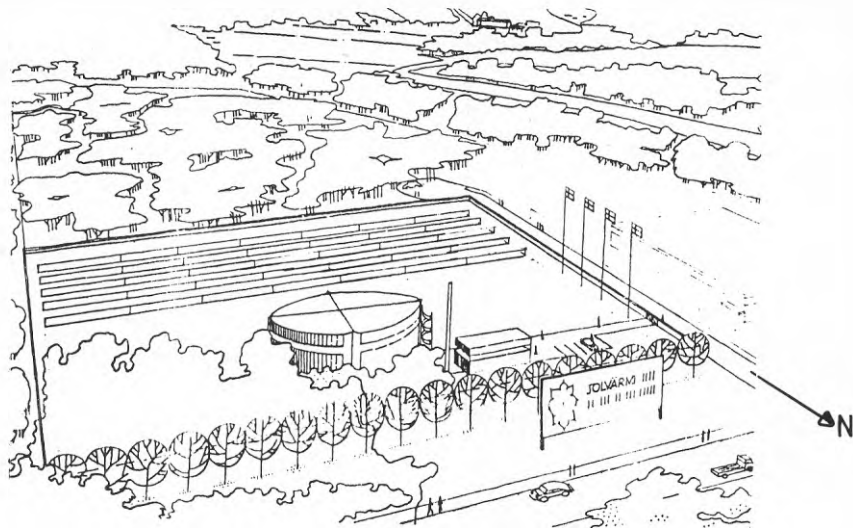


Fig. 5. INGELSTADSPROJEKTET. PERSPEKTIVSKISS

3 PRINCIPIELL UTFORMNING - TEKNISKA DATA

3.1 Systembeskrivning

Som tidigare nämnts har förändringar i projektet under hand gjorts. Då det ansågs angeläget att minska investeringsnivån beslöts att halvera den från början projekterade solfångarytan. Denna ändring motiverades av den tilltänkta paraboliska solfångarens relativt höga kostnad, ca 2.000:-/m², samtidigt som det ur utvärderingssynpunkt ansågs att även med den mindre ytan kunde tillräckligt säkra resultat uppnås. Då de kostnadskalkyler som framtogs fortfarande pekade på en hög nivå, drygt 11 Mkr, gjordes i nästa steg en anpassning av värmeackumulatorns volym till den halverade solfångarytan. Därmed var projektet inriktat på en 50 %-ig försörjningsgrad med solenergi och kompletterande uppvärmning sker med en oljeeldad panna, som samtidigt utgör full reserv för solvärmeanläggningen. Panncentralen blir dessutom förberedd för ändring till fastbränsleledning. Systemets principiella uppbyggnad och energiflöden framgår av fig. 6.

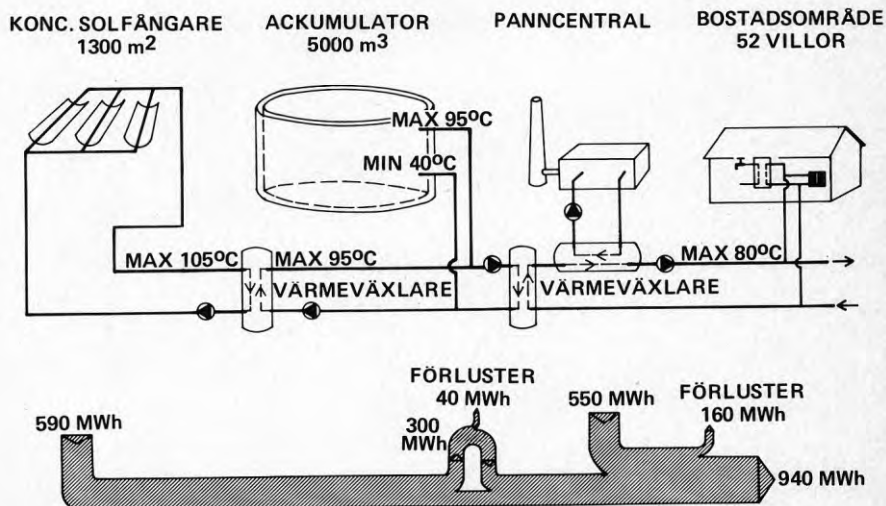


Fig. 6. PRINCIPSKISS - ENERGIFLÖDE

De temperaturer som är dimensionerande för distributionsnät och abonnentinstallationer har även varit föremål för omfattande utredningar och överväganden. Sålunda var avsikten från början att dimensionerande framlednings-/returtemperatur skulle vara 50/35°C, vilket innebar att radiatorytan i abonnentinstallationerna i det närmaste tredubblades mot i ett konventionellt 80/60°C-system. Tappvarmvattenberedarna skulle i detta läge vara försedda med tillskottsuppvärmning genom elpatron för att möjliggöra även lägre temperaturer hos distributionsnätet än 50°C. Allt detta innebar fördyringar hos abonnentinstallationerna och komplika-

tioner ifråga om hur debitering av fjärrvärme och tillskottsuppvärmning skulle ske. I den slutligt fastställda uppbyggnaden av systemet är därför räknat med dimensionerande temperatur 80/50°C för uppvärmning. Tappvarmvattenberedarna är dimensionerade för 50/32°C på primärsidan och 5/45°C på sekundärsidan. Detta innebär att lägsta framledningstemperatur kommer att hållas vid 50°C.

3.2 Energibalans

Med utgångspunkt från bl.a. klimatdata har beräkningar gjorts på energibalansen i systemet för ett antal statistiskt sett olika "solår".

Abonnentbelastningen är beräknad efter 18.000 kWh/år och hus. För de 52 villorna ger detta ca 940 MWh/år.

Förlusterna i distributionsnätet har med ledning från gjorda mätningar i likartat uppbyggda nät i Växjö antagits uppgå till 3 MWh/hus och år, vilket totalt ger ca 160 MWh/år.

Det totala energibehovet ut på distributionsnätet uppgår till ca 1.100 MWh/år och fördelningen på årets månader framgår av de nedåtriktade staplarna i fig. 7 och 8. Av de uppåtriktade staplarna framgår hur den producerade solenergin utnyttjas dels för direkt distribution till fjärrvärmenätet, dels för långtidsackumulering från sommar- till vinterhalvåret.

FRÅN SOLFÅNGARE

MWh

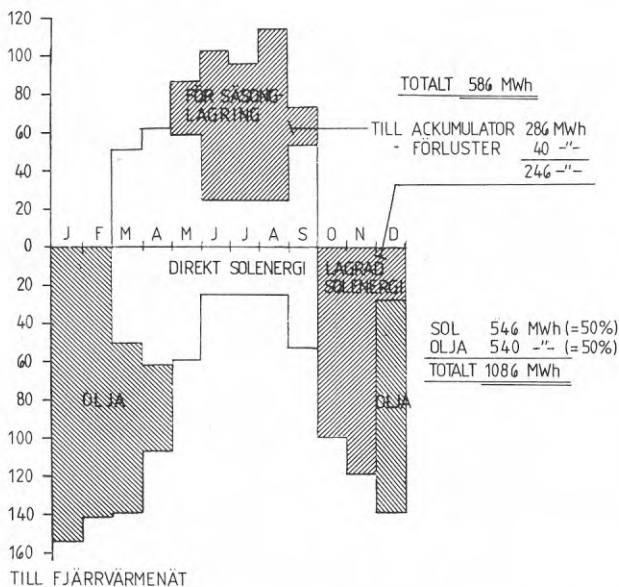


Fig. 7. ENERGIBALANS "NORMALT SOLÅR"

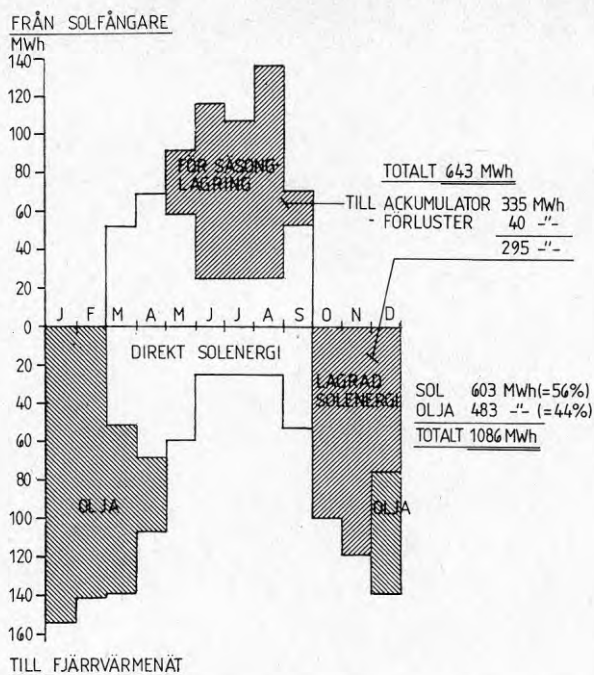


Fig. 8. ENERGIBALANS "BRA SOLÅR"

3.3 Tekniska data

Av nedanstående sammanställning framgår väsentliga data för solvärmeverket i Ingelstad.

Solfångarsystem

Typ	Polisolar 212.121 special, parabolisk glasspegelreflektor, absorbator av koppar med selektiv beläggning och omgivande glaströr
Antal	35 stativ, vardera innehållande 12 seriekopplade spegelrännor = 420 st solfångare. Uppställes i 5 rader.
Solfångaryta	$L \times B = 3,14 \times 1 = 3,14 \text{ m}^2$ /solfångare. Totalt 1.320 m^2 .
Max. utloppstemp.	105°C .
Lutning mot horisontalplan	35°C .
Avstånd mellan solfångarrännor	c/c 1,44 m.

Avstånd mellan rader c/c 7 m.

Energiproduktion 590 MWh/år.

Värmeackumulator

Form Cylindrisk

Material Betong

Invändig diameter 28,2 m

Vattendjup vid 95°C 8,1 m

Volym vid 95°C 5.057 m³

Temperaturintervall 95-40°C

Isolertjocklek 1,0 m mineralull

Värmeförluster 40 MWh/år

Panncentral

Effekt 700 kW

Bränsle E01 (kan kompletteras för fastbränsle)

Energiproduktion 550 MWh/år

Distributionsnät

Rör PEX-rör

Isolering Mineralull

Framledningstemperatur Max. 80°C min. 50°C

Värmeförluster 160 MWh/år

Abonnenter

Antal villor 52 st

Totalt värmebehov 940 MWh/år

4 DRIFTSTRATEGI - TEKNIKVAL

4.1 Solfångarsystem

Två typer av solfångare har studerats, koncentrerande och plana. Den koncentrerande, som är uppbyggd av en spegelränna med parabolisk form, tillvaratar i huvudsak det direkta solljuset och fokuserar detta mot ett absorbatorrör med ett genomströmmande kylmedium. Den plana solfångaren, vars absorlator utgörs av en plan svart yta med inbakade kylmediakanaler och en framföriggande glasinklädnad, absorberar såväl direkt som indirekt strålning.

Eftersom den koncentrerande solfångaren fokuserar ljuset mot en absorlator är det nödvändigt att den paraboliska rännan är rörlig kring sin längdaxel och vrider sig efter solens bana. Däremot kan dess lutningsvinkel mot horisontalplanet vara fast inställd. Den plana solfångaren har en fast uppställning såväl i väderstrecksinriktning som lutning mot horisontalplanet.

Av den globala solinstrålningen mot en horisontell yta utgör det diffusa ljuset under sommarmånaderna ca 40 %. Om denna siffra räknas om mot en yta med 35° vinkel mot horisontalplanet blir andelen diffust ljus ca 30 %. Den största energiutvinningen per kvadratmeter fås således från den plana solfångaren, men med den paraboliska solfångaren är det möjligt att åstadkomma en betydligt högre vattentemperatur. Den högre temperaturen från den paraboliska solfångaren möjliggör en avsevärd minskning av ackumuleringsvolymen i förhållande till volymbehovet i alternativet plana solfångare.

I Ingelstads-projektet ingår 420 st paraboliska solfångarenheter, var och en med bredden ca 1 m och längden drygt 3 m. Den effektiva solfångande ytan uppgår totalt till 1.320 m². De mot söder lutande spegelrännorna har 35° vinkel mot horisontalplanet. Enheternas absorbatorer är seriekopplade i grupper om 12 st. Totalt består anläggningen av 35 sådana grupper fördelade på 5 rader i öst-västlig riktning. Grupperna är parallellt anslutna till fördelningsledningar, som förbinder solfångarna med pump- och värmeväxlaranläggningen i driftsbyggnaden.

Energitransporten från solfångarna till värmeackumulatortorn hålls igång så länge uppvärmningen i solfångarna ger en temperaturnivå efter värmeväxlaren som ligger någon grad över aktuell temperatur i ackumulatortorn. Uppåt begränsas inladdningstemperaturen till 95°C. I den trycksatta solfångarkretsen innebär det att temperaturen kan uppgå till ca 105°C. Närmare redovisning av den processtekniska uppbyggnaden lämnas i avsnitt 10.

Vid valet av solfångare har även olika kombinationsmöjligheter mellan plana och koncentrerande studerats.

Eftersom den hittills vanliga plana solfångaren ej har ansetts användbar vid de temperaturer man i detta projekt har eftersträvat, d.v.s. ca 95°C i värmeackumulatortorn, skulle det vara nödvändigt att utnyttja den plana i seriekoppling med den koncentrerande eller också att två separata solfångarsystem används. I det första fallet försämras verkningsgraden för den koncentrerande genom högre ingångstemperatur samtidigt som det är svårt att tillvarata instrålningar vid relativt hög andel diffust ljus, d.v.s. när de koncentrerande solfångarna ger litet energitillskott. I det andra fallet innebär det, förutom dubbla solfångarsystem, att även inloppsanordningarna till värmeackumulatortorn måste placeras på olika nivåer eller att dispositioner för automatisk inskiktning erfordras.

Under upphandlingsskedet har diskuterats ett eventuellt byte av ett antal paraboliska solfångare mot en nytutvecklad plan högtemperatursolfångare som för närvarande är under provning vid Statens Provninganstalt. För att ej få störningar i pågående projekt har detta ej kommit till utförande nu, men kompletteringar i rörsystemet till solfångaruppställningen har gjorts så att senare inkoppling lätt kan göras.

Solfångarsystemet är avsett att utnyttjas fr.o.m. mars t.o.m. september. För att undvika tömning av systemet under vintertid används glykol som frostskyddsmedel. Inblandning görs med 25 viktprocent glykol, varigenom sprängverkan p.g.a. frysning förhindras. Två typer av glykol förekommer på marknaden, dels den vanliga etylenglykolen och dels den giftfria propylenglykolen. Här avses den senare komma till användning. Under tid när solfångarna ej producerar varmvatten, exempelvis nattetid och vintertid, vrids rännorna automatiskt till ett vertikalläge mot öster. Samma sak händer om av någon anledning överhettning skulle uppstå i absorberarna.

4.2 Värmeackumulering

I värmeackumulatortorn, som rymmer ca 5.000 m³, lagras i form av 95-gradigt vatten en del av den energi som under sommarmånaderna tillvaratagits i solfångarna. Som tidigare visats i avsnitt 3.2 uppstår ett överskott om ca 300 MWh under tiden maj-september. Denna energimängd lagras för att senare utnyttjas under oktober-december. Temperaturen i tanken sänks därvid successivt från botten och uppåt så att när den är urladdad har medeltemperaturen sjunkit till ca 45°C.

I ackumulatortorn utnyttjas densitetens temperaturberoende för att åstadkomma en temperaturskiktning. Varmt vatten från solfångarna laddas via en värmväxlare in i toppen på ackumulatortorn. När ackumulatortorn skall användas för att täcka konsumenternas värmebehov tas varmt vatten från toppen av ackumulatortorn, medan det kalla returvattnet alltid går in i botten på tanken. När temperaturskiktning används för energilagring un-

der längre tider, där man har ett kontinuerligt till- och frånlopp, måste stor vikt läggas vid utformningen av tanken, speciellt dess in- och utloppsdelar. Vattentillförsel måste ske med en så låg hastighet som möjligt och helst över hela vattenytan för att undvika intern cirkulation. Genom modellförsök har studerats hur strömningsbilden ser ut för den dyskonstruktion som avses att användas.

Alternativa lösningar för värmeackumulatorns utförande ifråga om såväl form som material har i ett inledande skede av projektet studerats. Detta ledde till att i offertstadiet togs priser in på alternativ med platsgjuten betongtank, ståltank och trätank. Ståltanken ställde sig därvid billigast, men då var inte inräknat några åtgärder mot korrosion. På grund av de temperaturer som utnyttjas och genom den syresättning av vattnet som sker i tankens topp, uppstår svårigheter att hitta tillförlitligt korrosionsskydd. På basis av gjorda utredningar och efter diskussioner med BFR och dess styrgrupp har beslutats att betongtanksalternativet skall prövas i detta projekt.

4.3 Driftsbyggnad

Till en särskild driftsbyggnad, med måtten ca 8x11 m, har sammanförts all hjälputrustning såsom värmeväxlare, pumpar, styr- och övervakningsanläggning m.m. Här är även en oljeeldad panna inplacerad. Tillhörande tank och skorsten är placerade utanför.

Mellan solfångarsystem och ackumulatorkrets, liksom även mellan distributionsnät och ackumulatorkrets respektive pannkrets är värmeväxlare insatta. Detta är ifråga om solfångarkretsen nödvändigt på grund av att glykoltillsats används. Att ha glykolinblandning i hela ackumulatorvolymen är ekonomiskt orealistiskt. Mot pannkrets och distributionsnät måste värmeväxling ske på grund av aggressiviteten hos ackumulatorns vatten. Distributionsnätets vatten, som rör sig om relativt måttliga mängder, har korrosionshämmande tillsatser då detta vatten cirkulerar i abonnenternas radiatorsystem.

Pumptrustningarna är av konventionellt utförande och för säkerställande av driften används tvillingutförande. Solfångarkretsen innehåller dessutom en mindre pump som utnyttjas vid lägre solintensitet. För distributionsnätet används medelst frekvensomformare varvtalsstyrda pumphotorer.

I särskilt elcentralrum är inrymt anläggningens styr- och övervakningsanläggning. Utrustningarna är fördelade på tre automatiskåp, ett skåp för startapparater, driftindikeringar och larmfunktioner, ett skåp för reglercentraler, mätvärdesomvandlare och indikerande instrument samt ett skåp för inkoppling av alla mätgivare och med utrymme för utrustning tillhörande utvärderingen av projektet. För att tillfredsställa kra-

ven på relativt högautomatiserad drift av solvärmeverket samtidigt som ändringar av driftförutsättningarna enkelt skall kunna förverkligas har valts en överordnad styrlogik av programmerbar typ.

Den oljeeldade pannan är dimensionerad för att klara distributionsnätets hela effektbehov. Som framgår av energibalansredovisningen i fig. 7 och 8 kommer pannan att svara för all effekt och energi under januari och februari, medan en kombination med energitillskott från solfångarna föreligger under mars och april. Under december erhålles tillskott från värmeackumulatortorn. Pannan kan kompletteras för eldning med fasta bränslen. Då dess effekt därvid sjunker är den något överdimensionerad vid oljeeldning.

4.4 Distributionsnät

Distributionsnätet är utformat som ett konventionellt sekundärfjärrvärmenät, enligt Växjö Kraft-Värme AB:s normala standard med PEX-rör. Diametrarna varierar från maximalt 110 mm vid utgången från solvärmeverket ned till 40 mm i de enskilda husens serviser. Dimensionerande flöde är 8 l/s och max. framledningstemperatur 80°C.

4.5 Abonnentinstallationer

Som angetts i avsnitt 3.1 har dimensionerande temperatur för radiatorerna satts till 80/50°C. I förhållande till konventionellt beräknad radiatoryta skall en ökning med 27 % erfordras. Kostnadsmässigt har från husentreprenören angetts en merkostnad av 250:-/hus.

För tappvarmvattnet har godtagits att temperaturen uppgår till 45°C. Denna temperatur skall hållas vid 50°C på primärsidan. Beredningen av tappvarmvattnet sker i en konventionell villavärmeväxlare för sekundärsystem.

Med hänsyn till att tappvarmvattenberedningen sker med relativt låg temperatur på primärvattnet och det därav föranledda större flödesbehovet har en ökning av servisledningarna gjorts från normalt 32 mm till 40 mm diameter. Uppgiven merkostnad uppgår till 300:-/hus.

Abbonentinstallationerna påverkas således i mycket ringa grad av solvärmeprojektet.

5 SOLFÅNGARTEKNIK - PARABOLISKA SOLFÅNGARE

5.1 Förutsättningar

För att kunna göra beräkningar på den energi som genereras i en solfångare, i det här fallet en parabolisk solfångare (d.v.s. ljuset koncentreras mot fokus), bör följande faktorer vara kända:

- solintensitet
- solskenstid
- lutningen på solfångare, avståndet mellan dessa och skuggningsytan
- driftperiod
- verkningsgrad

Göran Olsson (1) har under hösten 1977 utarbetat ett dataprogram som beräknar den till solfångaren infallande energin per m^2 solfångare och år. Programmet är utformat så att den infallande energin för olika centrumavstånd (avstånd mellan solfångare) och olika lutningsvinklar, beräknas för vissa givna indata i form av solskenstid och solfångarens dimensioner.

Till stor del är programmet baserat på underlag ur en rapport från Bygghforskningen, R 19:1974 (2). Programmet tar inte hänsyn till och beräknar inte heller någon verkningsgrad hos solfångarna. Det resultat som erhålles är således baserat på en 100 %-ig verkningsgrad på solfångarna.

5.2 Solintensitet

Att försöka förutsäga eller beräkna ett solvärmesystems prestanda måste till stor del grunda sig på data i form av meteorologisk statistik över solinstrålningen eller på teoretiska beräkningar av densamma i kombination med statistik över antalet soltimmar och dess fördelning.

Den totala solinstrålningen, även kallad global solinstrålning, är uppdelad dels i direkt strålning, dels i diffusa strålning. Den diffusa strålningen består huvudsakligen av strålning från solens omedelbara närhet och himlavalvet i övrigt samt av reflekterat ljus från moln, mark och omgivning. Intensiteten av den direkta strålningen, som träffar en yta på jorden, varierar med solens höjd över horisonten och med atmosfärens klarhet. Se fig. 9, sid. 20.

Enligt Lars Dahlgren (3) gäller att under sommarmånaderna är den direkta strålningen 60 % av den globala, vilket medför att den diffusa strålningen uppgår till 40 %. Dessa värden gäller för strålning mot en horisontell yta. Vid andra vinklar blir förhållandet mellan direkt och diffus strålning större.

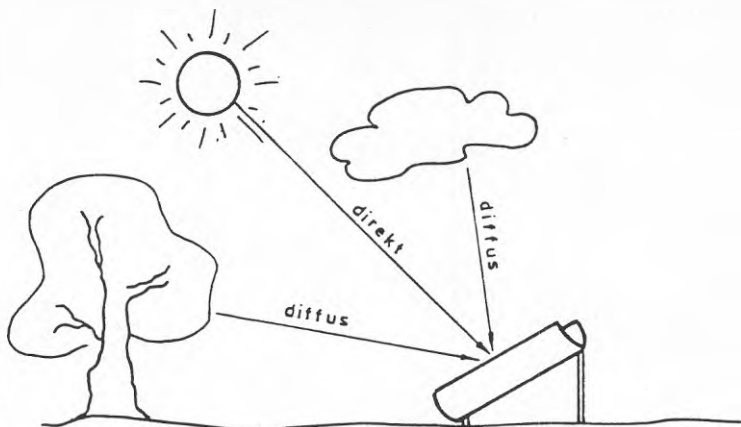


Fig. 9. DIREKT OCH DIFFUS SOLSTRÅLNING

Enligt Bengt Perers (4) kan de paraboliska solfångarna ta tillvara ca 20 % av den diffusa strålningen, d.v.s. 8 % av den globala. Med tanke på osäkerheten i detta värde har ingen hänsyn tagits därtill vid beräkningarna. Det bör emellertid poängteras att tillskottet utgör en säkerhetsmarginal i uppskattningen av systemverkningsgraden.

Mätningar av solintensiteten utförs av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) på ett 10-tal platser i landet. Någon mätning från just Växjö finns för närvarande inte. Man får därför välja en ort med liknande klimatdata som Växjö. En sådan ort är, enligt Lars Dahlgren, Jönköping.

Det finns flera olika sätt att beräkna den direkta solintensiteten. Enligt en rapport från Byggeforskningen, 49/68 (5), är intensiteten av den direkta strålningen för en yta vid jorden beroende av atmosfärens klarhet och den sträcka genom atmosfären som strålningen har att tränga igenom:

$$I_{DN} = A \cdot e^{-B/\sin h}$$

där I_{DN} = intensiteten av den direkta strålningen: W/m^2
 A = solarkonstant i W/m^2
 B = extinktionskoefficient
 h = solhöjden. Se fig. 10

Enligt (2) fås dessa konstanter till:

$$I_{DN} = 1071 \cdot e^{-0,109/\sin h} \text{ för } h > 15^\circ$$

Denna ekvation har använts vid beräkningarna.

Om solfångarna skulle ha varit plana och orörliga i axiell led med en viss lutningsvinkel β , så gäller

för den infallande intensiteten:

$$I_{IN} = I_{DN} \cdot k$$

där $k = \cos a \cdot \cos ((90^\circ - \beta) - h)$
 a = asimut (solens vinkelavvikelse från söder).
 Se fig. 10.
 β = lutningsvinkel mot horisontalplanet.
 Se fig. 10.

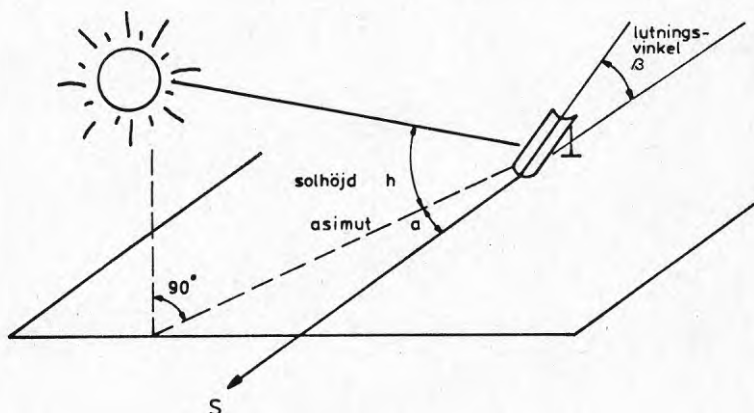


Fig. 10. VINKELBENÄMNINGAR

Eftersom de solfångare som främst kommer ifråga varken kommer att vara plana eller orörliga, kommer den ovannämnda konstanten k att förändras. Göran Olsson (1) har gjort en geometisk studie för att bestämma k , där även hänsyn tas till att strålningen alltid fokuseras mot solfångarens absorbatör.

$$k = \cos i = \frac{\sqrt{(\sin h \cdot \cos \beta + \cos h \cdot \cos a \cdot \sin \beta)^2 + (\cos h \cdot \sin a)^2}}{1}$$

där i = infallsvinkel mellan solen och solfångarens normal. Se fig. 10.

Detta medför att infallsvinkeln mot solfångaren alltid är 90° mot en linje tvärs över solfångaren. Genom att ange ortens latitud (för Växjö $57,75^\circ$ Norr) beräknas timme för timme och dag för dag solhöjden h , den s.k. asimuten a och intensiteten.

Dataprogrammet summerar dessa värden och anger sedan resultatet för varje månad.

5.3 Solskenstid

SMHI har gjort mätningar på solskenstid under en längre period i Jönköping (Flahult). Den genomsnittliga solskenstiden under perioden 1966-1975 uppgår till 1.470 timmar per år. Variationerna i antalet soltimmar

per år ligger normalt inom intervallet $\pm 10\%$. Lägsta antalet soltimmar i Jönköping registrerades år 1962 med 1.137 soltimmar, medan motsvarande maximiregistrering gjordes 1973 med 1.724 soltimmar.

Fördelningen av soltimmar under årets månader framgår av fig. 11.

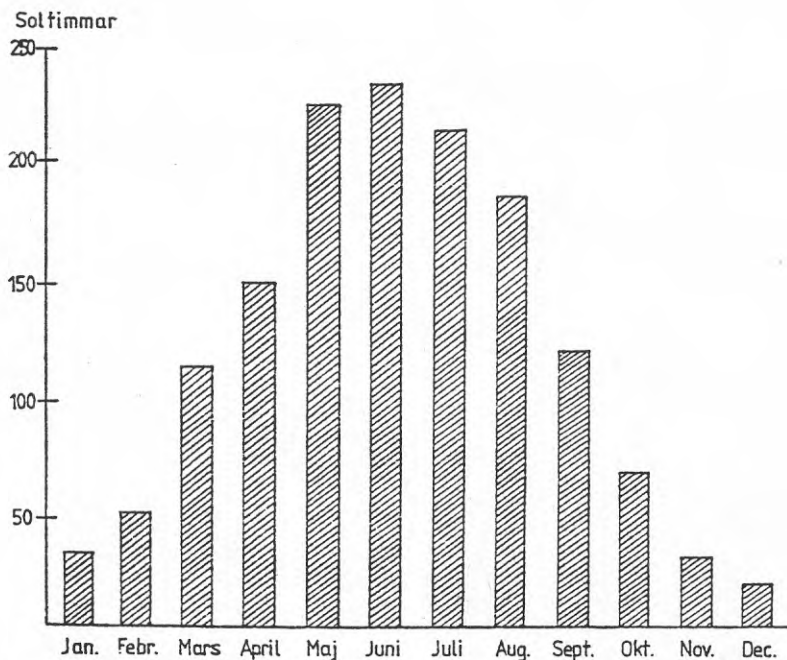


Fig. 11. SOLSKENSTID

Utöver ovan redovisade genomsnittliga solskenstid har SMHI framtagna mätningar för varje timme och dag under året. I det följande har valts att göra beräkningar baserade på detta material.

Av referens (3) har hämtats mätningar gjorda i Jönköping för ett "bra år" (1976) och ett "dåligt år" (1972). Medelvärden för dessa två år stämmer helt överens med SMHI:s genomsnittsvärde över den ovan nämnda perioden, d.v.s. ytorna hos den kurva som representerar medelvärdet under året och den yta som fås av genomsnittsvärdet är lika stora.

Här bör observeras att all solskenstid är medtagen i beräkningarna, d.v.s. någon korrektion för korta solskensstider har inte gjorts.

5.4 Lutning - avstånd - skuggningsyta

I fig. 12 visas schematiskt den infallande solenergens variation under årets månader, dels för en horisontell

yta och dels för en yta som lutar 40° mot horisontalplanet och riktad mot söder.

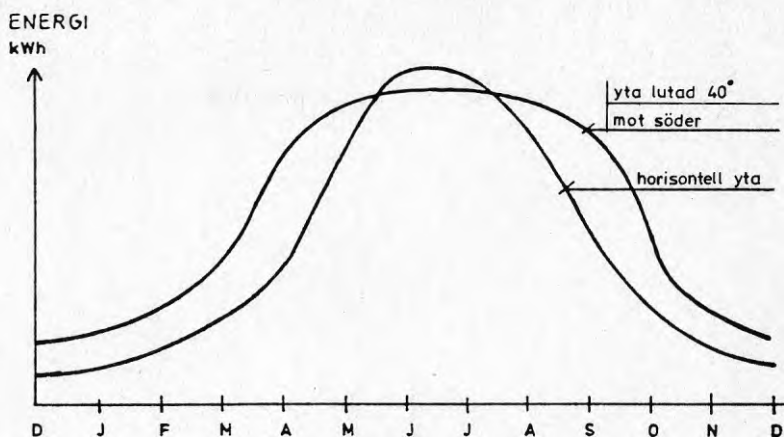


Fig. 12. SOLENERGI MOT PLAN OCH LUTANDE YTA

Hur den infallande solenergin per m^2 och år varierar med lutningsvinkeln mot horisontalplanet framgår av fig. 13. Som synes ligger optimum omkring $40-45^\circ$, men variationerna kring detta värde är tämligen små.

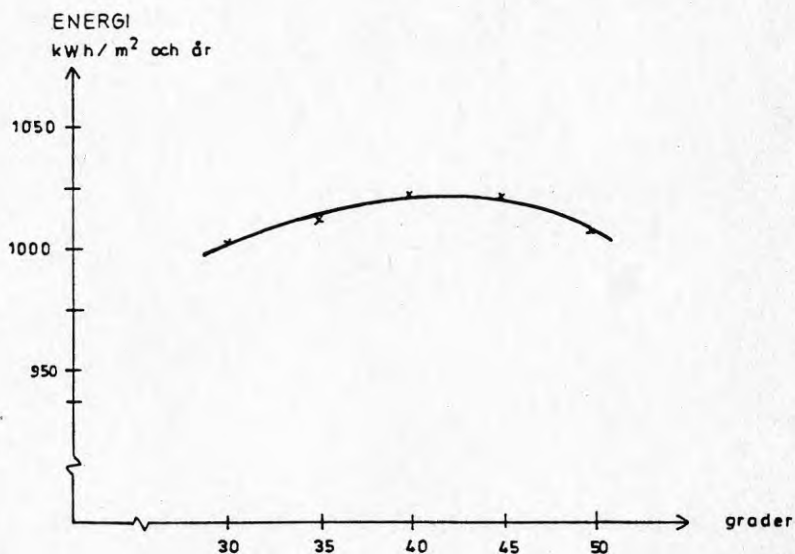


Fig. 13. INFALLANDE SOLENERGI VID OLIKA LUTNINGSVINKEL

I projektet har valts att använda 35° lutning på solfångarna. Detta ger en reducering i årlig energiproduktion med ca 0,6 %. Däremot vinner man den fördelen med att välja 35° i stället för 40° att utan åstadkommande av skuggning kan avståndet mellan solfångarraderna minskas med ca 0,5 m.

Den skuggning som uppstår till följd av närliggande solfångare i samma rad är såsom visas i fig. 14 beroende av bl.a. avståndet mellan dem. Vidare varierar skuggbilden med den vridning kring sin längdaxel som varje solfångare ges samt med solstrålningens infallsvinkel mot solfångaren. Den skuggande ytan beräknas enligt:

$$(B - A \cdot \cos v) (L - A \cdot \sin v \cdot \tan i)$$

där A = centrumavståndet mellan solfångarna
 B = solfångarens bredd
 L = solfångarens längd
 v = solfångarens vridningsvinkel
 i = solstrålarnas infallsvinkel

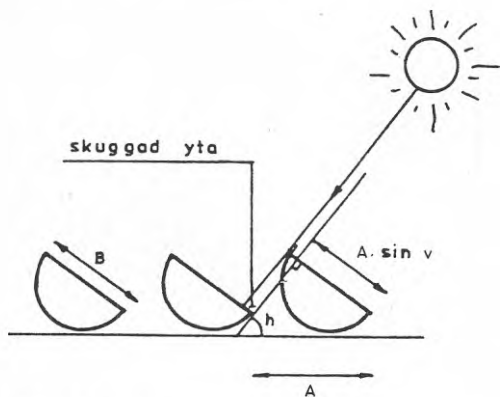


Fig. 14. SKUGGNINGSYTA

Begränsande faktorer för avståndet mellan solfångarrännorna är dels att större markyta krävs, dels att den mekaniska uppbyggnaden med gemensam ramkonstruktion och vridningsanordning blir mera kostnadskrävande vid ökat avstånd. I projektet har valts att bibehålla det avstånd som normalt används i den aktuella solfångarkonstruktionen, nämligen 1,44 m. Den energimängd som därmed går förlorad uppgår till storleksordningen 2,5 % i jämförelse med om avståndet ökats till 1,6 m.

I nedanstående tabeller visas beräkningsresultatet i kWh/m² och år för instrålad energi mot solfångarna vid olika lutningsvinkel och olika centrumavstånd för närliggande enheter. Ingående värden på solskenstid avser Jönköping åren 1976 och 1972.

1976	Avstånd mellan solfångare/kWh/m ²			
Lutningen	1,40 m	1,60 m	1,80 m	2,00 m
30°	1003	1033	1057	1072
35°	1014	1044	1067	1082
40°	1020	1048	1071	1086
45°	1020	1046	1069	1085
50°	1013	1039	1062	1078

1972	Avstånd mellan solfångare/kWh/m ²			
Lutningen	1,40 m	1,60 m	1,80 m	2,00 m
30°	853	878	897	909
35°	865	889	908	920
40°	872	895	913	925
45°	873	895	914	926
50°	869	890	909	922

Bortsett från de siffermässiga skillnaderna mellan dessa två tabeller, ser man att den mot solfångaren infallande energin ökar med avstånd mellan solfångarna. Detta beror på att de då kommer att skugga varandra mindre.

Resultatet för 1972 och 1976 samt genomsnittet för dessa år med 1,40 m avstånd mellan solfångarna och med 35° lutning ges av nedanstående tabell. Här har endast månaderna mars-september medtagits.

Månad	Infallande solenergi (kWh/m ² och månad		
	Genomsnittså	1976	1972
mars	72	75	69
april	88	98	78
maj	124	132	116
juni	147	166	128
juli	137	153	120
augusti	162	194	130
september	104	101	106

Den totala infallande energin per m² solfångare under tidsperioden mars-september är för genomsnittsåret 834 kWh/m² (1976: 919 kWh, 1972: 748 kWh).

5.5 Driftperiod

För att producera mesta möjliga energi måste strävan vara att få längsta möjliga utnyttningstid.

Det som här är den begränsande faktorn är dels solhöjden och därmed solintensiteten, dels utomhustemperaturen. Under perioden oktober-februari är solhöjden ganska låg även mitt på dagen. Även om intensiteten skulle vara tillräcklig för att "köra igång" systemet skulle förlusterna i solfångarsystemet bli så stora, p.g.a. den låga utomhustemperaturen, att detta inte är lönsamt. Därför finner vi det vara oomöjligt att använda systemet under ovannämnda period.

Någon exakt tidpunkt för när man kan sätta igång respektive stoppa systemet har inte angivits, men fr.o.m. mars och t.o.m. september är solhöjden och utomhustemperaturen tillräckligt hög för att driva systemet.

Den energi som infaller mot 1.320 m^2 solfångare med $1,4 \text{ m}$ centrumavstånd och en lutning på 35° är:

mars -september	1.100.000 kWh	1.100 MWh
oktober-februari	140.000 kWh	140 MWh

Detta visar att under perioden mars-september utnyttjas ca 90 % av den totala årliga instrålningens energi.

5.6 Verkningsgrad

Som redan tidigare nämnts är beräkningarna gjorda utan hänsyn tagen till solfångarsystemets verkliga verkningsgrad.

Vad som menas med verkningsgrad i detta sammanhang behöver en närmare förklaring. I det följande kommer vi att behandla två typer, dels nominell verkningsgrad, dels system- eller dynamisk verkningsgrad.

Den nominella verkningsgraden åsyftas oftast i dagligt tal. Det är också denna verkningsgrad som fabrikanterna brukar uppge. Den är uppmätt under kort tid och under mycket gynnsamma förhållanden. Man kan säga att den nominella verkningsgraden enbart omfattar komponenten solfångare - inklusive absorberator.

Den dynamiska verkningsgraden (systemverkningsgraden) anger hur solfångarna fungerar i systemet under en längre tid under skilda väderleksförhållanden. Här inverkar förutom solfångarna även övriga delar som ingår i anläggningen, exempelvis hur flöden och temperaturer styrs. Den dynamiska verkningsgraden är således mycket svår att laboratoriemässigt eller beräkningsmässigt i förväg fastställa.

Enligt Polisolar (6) varierar den nominella verkningsgraden för de paraboliska solfångarna med en bredd av $0,80 \text{ m}$ enligt fig. 15. Av denna framgår att verkningsgraden är beroende av såväl medeltemperaturen av kylmediats in- och utloppstemperatur som solintensiteten.

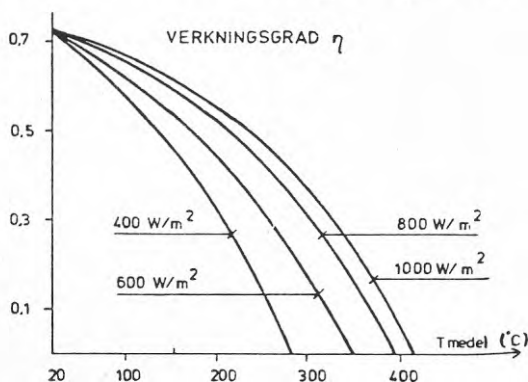


Fig. 15. NOMINELL VERKNINGSGRAD FÖR PARABOLISK SOLFÅNGARE

I projektet är föreskrivet solfångare med en bredd på 1,0 m. Verkningsgraden för dessa kommer att öka något. Professor P. Suter (7) har gjort mätningar på den bredare solfångaren och kommit fram till att verkningsgraden vid en temperatur på 20°C är 75 %. Förlusterna per m² solfångare blir något lägre för den 1,0 m breda solfångaren jämfört med 0,80 m. Osäkerheten i uppskattningarna uppgår till $\pm 5\%$.

I fråga om dynamisk verkningsgrad kan man med ledning från de i det föregående redovisade värdena på infallande solenergi göra följande tabell över avgiven energi gällande för perioden mars-september under ett genomsnittså och för 1.320 m² solfångare.

Dynamisk verkn.gr. %	Avgiven energi kWh/år
100 %	1.100.880
60 %	660.528
55 %	605.484
50 %	550.440
45 %	495.396
40 %	440.352

Som tidigare visats i avsnitt 3.2 är det beräknade energibehovet ut på distributionsnätet ca 1.100 MWh.

För att täcka 50 % av detta behov och de i värmeackumulatortorn uppstående förlusterna erfordras ca 53 % i systemverkningsgrad. I tabellform visas nedan energivärdena månadsvis för dels ett normalår och dels ett bra solår.

Månad	Avgiven energi MWh, $\eta = 53\%$	
	Normalår	Bra solår
mars	51	52
april	62	69
maj	87	92
juni	103	116
juli	96	107
augusti	114	136
september	73	71
Summa	586	643

6 ACKUMULATORTEKNIK - VÄRMETEKNISK DEL

6.1 Dimensioner

Som framgått av redovisningen i föregående avsnitt uppgår den producerade solenergin under ett bra solår, med den antagna systemverkningsgraden 53 %, till ca 643 MWh. Av denna energi går ca 308 MWh direkt vidare till distributionsnätet. Resterande 335 MWh går till värmeackumulatören för säsongslagring. Med hänsyn tagen till förlusterna i tanken kommer maximalt energiinnehåll att i september uppgå till 305 MWh. I temperaturintervall 40-95°C krävs för denna energimängd en vattenvolym av ca 4.870 m³. Detta är vad som i inledningsskedet kommer att fyllas i ackumulatören. Vid 95°C har vattnet expanderat till ca 5.060 m³. Med 28,2 m i innerdiameter innebär detta ett vattendjup om 8,1 m.

Efter utvärdering av olika alternativ har värmeackumulatören projekterats som en platsgjuten betongtank, placerad ovan mark. För materialval och konstruktion hänvisas till det byggnadstekniska avsnittet.

6.2 Principer för skiktning

Kretsen kring ackumulatören utgör tillsammans med värmeväxlare ett särskilt system. Uppvämt vatten (max. 95°C) från solfångarsystemet kommer att matas in i toppen av tanken. Samma utrustning användes även för utmatning till distributionsnätet. I botten tas kallt vatten (40°C) ut till solfångarna och returvattnet inmatas från distributionsnätet.

Lagringen av energi i tanken bygger på principen att dessa temperaturnivåer bildar olika skikt i tanken och att man emellan dem erhåller ett gränsskikt med en stor temperaturgradient.

Skiktningen i tanken störs av två anledningar. Den ena är intern värmeledning, vilken orsakar en utbredning av skiktet axiellt sett. Den är ej att betrakta som en energiförlust utan som en utjämnning av de olika temperaturnivåerna i tanken, d.v.s. en exergiförlust. Temperaturfördelningen kan beräknas med kända ekvationer och beror, förutom på vattnets termiska materialkonstanter och tankens utformning, främst på tiden.

En möjlighet att erhålla en gynnsammare skiktning skulle vara att ändra tankens dimensioner till en högre tank med mindre diameter. Detta kan ej uppfyllas till följd av kostnadsskäl och estetiska synpunkter.

Den andra orsaken till störning av skiktet är omröringseffekterna. Dessa uppstår alltid vid anordningar för in- och utlopp. Vidare kan man få viss omröring p.g.a. egenkonvektion vid väggen eller vid köldbryg-

gör. Denna effekt kan här försummas beroende på det låga k-värdet i tankväggen. Det gäller således att utforma konstruktionerna för in- och utlopp så att de i möjligaste mån ej stör skiktbildningen i tanken. Dessa problemställningar kommer ytterligare att belysas i avsnittet om in- och utmatning vid olika temperaturnivåer.

För att få en uppfattning om den axiella värmeledningens visas i fig. 16 gränsskiktets utbredning med tiden. Här antas för enkelhets skull att tankvolymen utgör ett slutet system och att vid tiden noll är tanken fylld med hälften 95-gradigt och hälften 40-gradigt vatten.

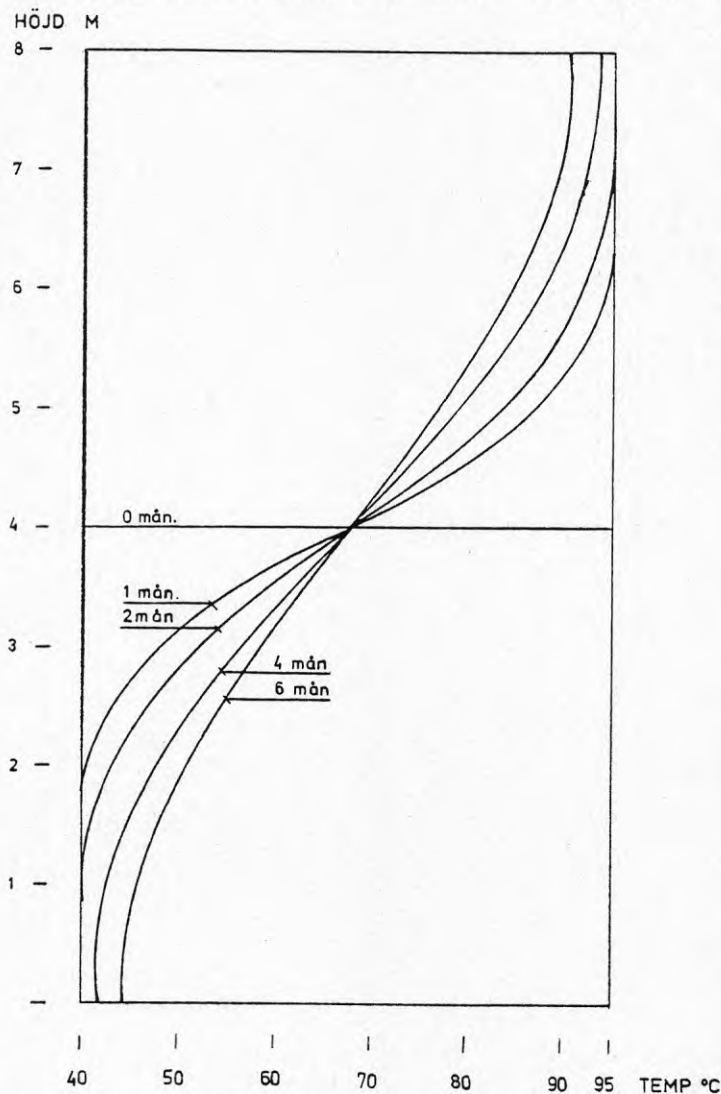


Fig. 16. GRÄNSSKIKTETS UTREDNING SOM FUNKTION AV TIDEN

6.3 Isolering

I de beräkningar över värmebalansen i systemet som med hjälp av ett dataprogram gjorts har även studerats hur värmeackumulatorns förluster ändrar sig vid olika isolertjocklek i vägg och tak. Jämförelse har gjorts mellan 0,7, 1,0 och 1,3 m mineralullsisolering. Följande beräkningsresultat har erhållits.

Yta	0,7 m isol.		1,0 m isol.		1,3 m isol.	
	k-	kWh	k-	kWh	k-	kWh
Tak	0,058	19.593	0,041	13.850	0,031	10.472
Vägg	0,056	17.598	0,040	12.570	0,034	10.684
Botten	0,083	13.234	0,083	13.234	0,083	13.234
Totalt		50.425		39.654		34.390

I samband med offertförfrågningar har alternativa priser på isolertjocklek inhämtats. Dessa visar att steget mellan alternativen har storleksordningen 130-140 tkr. I detta experimentbyggnadsprojekt har normala optimeringsregler ej kunnat användas, men en tidigare³ studie där solfångarpriset per m², tankpriset per m³ och isolermaterialpriset ingått, pekade på en minimikostnad vid 1,3 m isolering. Efter ingående diskussioner med BFR och LTH har beslutats att använda 1,0 m isolering.

6.4 In- och utloppsanordningar

Genom modellförsök har studerats hur strömbilden ser ut för den dyskonstruktion som avses att användas. Utförandet framgår av fig. 17.

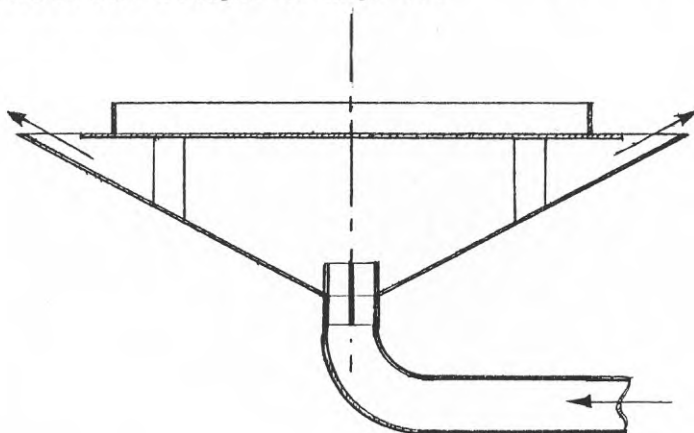


Fig. 17. IN- OCH UTLOPPSUTRUSTNING

Vattenhastigheten i den ringformade spaltöppningen som bildas mellan den trattformade mantelns övre kant och det plana lockets periferi blir låg, ca 2 cm/s. Den övre dysan är vänd så att vattnets strömningsriktning blir utåt-uppåt radiellt från tankens centrum. Vid 40°C hos vattnet i tanken ligger spaltöppningen 0,1 m under vattenytan, medan den vid 95°C ligger ca 0,35 m under. Den nedre dysan är upp- och nervänd med spalten 0,3 m från tankens botten.

I projektet har även studerats problemen kring in- och utmatning vid olika temperaturnivåer. Detta har aktualiserats dels i samband med tänkta kombinationer med plana solfångare, dels i samband med diskussioner om att ur värmeackumulatören ta ut vatten till distributionsnätet med en temperatur som svarar mot aktuellt behov. För att ej störa skiktningen krävs att insläpp sker på en nivå där temperaturerna i ackumulerat och tillfört vatten ligger så nära varann som möjligt. Eftersom temperaturnivån i skikten mellan toppens 95°C och botten 40°C ständigt förskjuts i takt med in- och utmatade energibelopp är det svårt att i detta område mata in vatten utan att tillgripa en komplicerad rörlig konstruktion, som i sig även kräver en komplicerad styrutrustning. Samma problem uppstår om vatten med varierande temperatur skall tas ur ackumulatören. Visserligen pågår experiment, som möjligen kan leda till enkla självreglerande anordningar för automatisk inskiktning, men dessa har vi icke ansett vara färdiga för att tillämpa i detta fullskaleförsök.

Med de i projektet ingående in- och utloppsanordningarna eftersträvar man alltså att i minsta möjliga grad störa skiktningens bild. Detta sker dels genom att använda låga vattenhastigheter och dels genom att styra temperaturen på inmatat vatten så att det ligger så nära som möjligt den temperaturnivå man vid varje tillfälle har i toppen av tanken. Vid utmatning begränsar man flödet till ett minimum av vad som erfordras för att via värmeväxlaren ge den temperatur ut på distributionsnätet som aktuell belastning kräver.

6.5 Vattenlås

I det temperaturintervall som här är aktuellt är vattnets volymutvidgningskoefficient ca 0,00056 per °C. Detta innebär en nivåändring i tanken på 0,25 m under en årscykel. För att förhindra direkt ångavgång till atmosfären från utrymmet ovan vattenytan i värmeackumulatören och samtidigt medge tryckutjämning p.g.a. nivåändringen har ett vattenlås insatts i värmeackumulatörens tak. Fig. 18. Utformningen är sådan att kondenserad ånga håller vattenlåset fullt till viss nivå och överskott återföres till tanken. Dimensionerande ångtryck för värmeackumulatören är 150 mm vp. Vattenlåset tillåter 40 mm vp i övertryck och 20 mm vp i undertryck. Marginalerna är således betryggande.

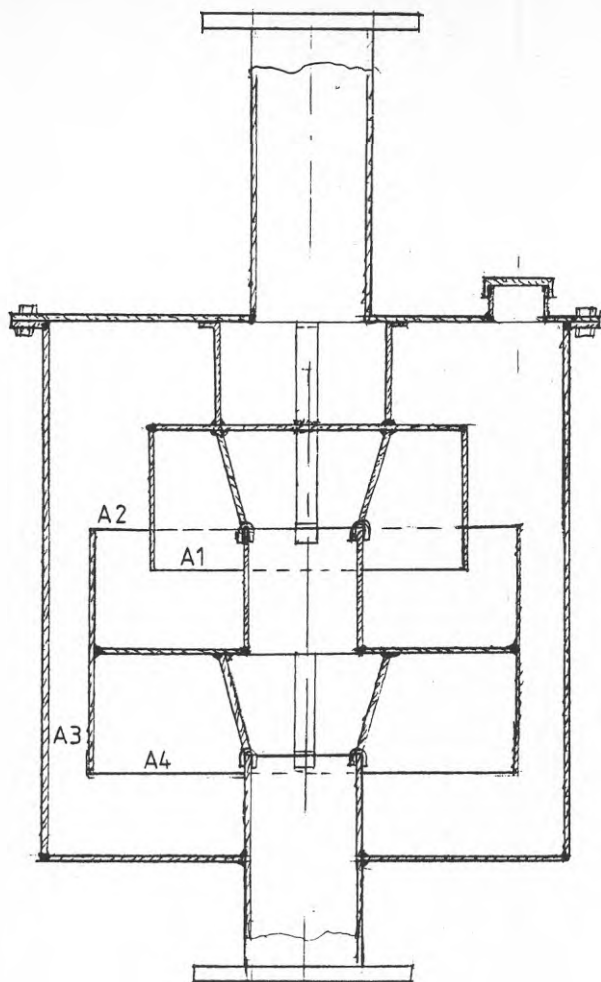


Fig. 18. VATTENLÅS

AREAN $A1 \cong A2 \cong A3$

$A4 \cong 2 \times A3$

7 ACKUMULATORTEKNIK - BYGGNADSTEKNISK DEL

7.1 Förslag och utvärderingar

Efter förstudier av ett flertal tankalternativ har fem lösningar jämförts och utvärderats.

Dessa är:

1. Prefabricerad efterspänd utvändigt isolerad cirkulär betongtank ovan mark. Solfångare på mark.
2. Platsgjuten dito.
3. Utvändigt isolerad cirkulär plåttank ovan mark. Solfångare på mark.
4. Delvis nedsprängd, delvis uppfylld kvadratisk bassäng i mark med däck enligt flygblocksprincipen. Solfångarna kan placeras på däck.
5. Invändigt isolerad cirkulär prefabricerad betongelementtank med tak enligt flytblocksprincipen. Solfångare på mark.

Jämför bifogade fig. 19-23, sid. 35-39.

Med hjälp av mängd- och kostnadsanalyser har olika tankhöjder diskuterats. För exempelvis alt. 1 är 4 m vattenhöjd klart dyrare än 12 m. För att erhålla funktionellt jämförbara kalkyl- och utseendemässigt relativt likvärdiga lösningar har vattenhöjden 8 m valts för tankar ovan mark. Ur både statisk och ekonomisk synpunkt är den cirkulära formen att föredra.

Den delvis nedsprängda tanken har i det första skedet givits kvadratisk form med ett vattendjup på 5 m. Styrande för den lösningen har varit grundvattennivån, sprängtekniska- och byggproduktionssynpunkter.

Vid utvärdering av alternativen har främst följande synpunkter diskuterats:

- a. Tankens utseende, form och anpassning till natur och tomt.
- b. Solfångarnas placering.
- c. Värmeförluster från mantel, golv och tak.
- d. Isoleringens utformning och täthet.
- e. Ytmaterial i tanken med hänsyn till varmvattnets påverkan.
- f. Konstruktionsmaterialens värmekapacitet.
- g. Diffusionsspärrars utformning och täthet.
- h. Tankens vattentäthet och fogutformningar.

- i. Konstruktionsmaterialens åldringsbeständighet i varmvatten.
- j. Byggproduktion, tid- och resursfrågor.
- k. Anläggningskostnader.

De olika lösningarna med avseende på punkterna a-k har för alternativen 1-5 jämförts.

Ett försök till bedömningsmall redovisas nedan. Lösningarna har poängsatts efter skalan:

4 = Bra

3 = God

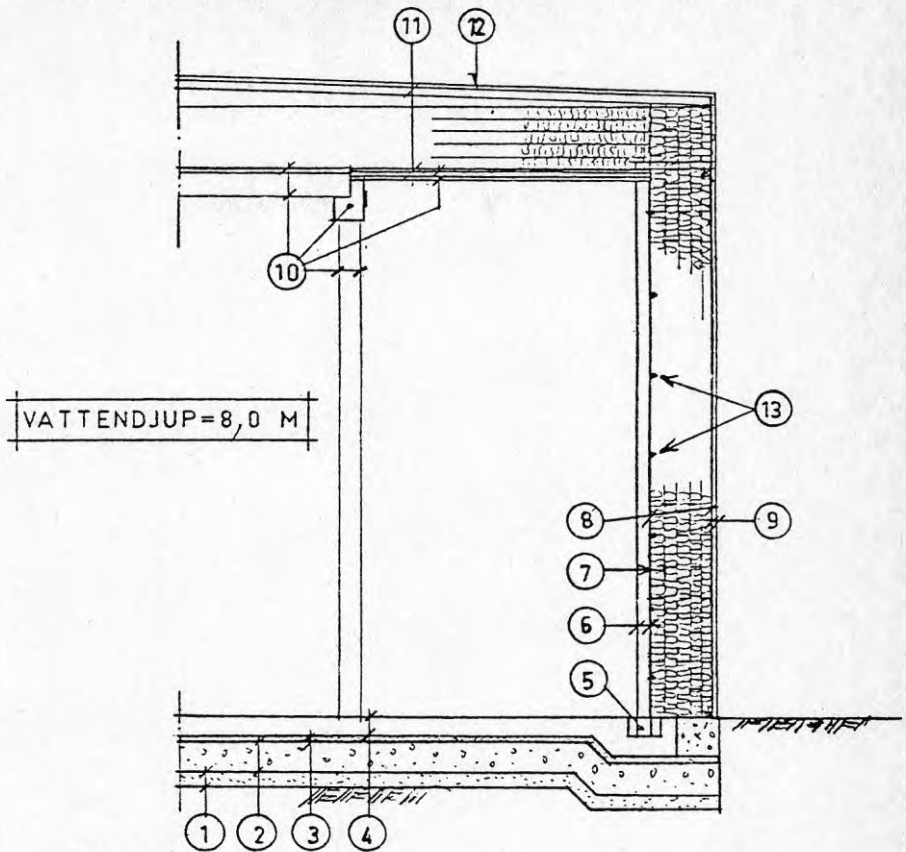
2 = Godtagbar

1 = Mindre god

Anläggningskostnaden för alternativ 2 har jämförelsetalet 1.0.

I anmärkningskolumnen hänvisas till utförligare motiveringar och förslag kring de olika materialvalen.

Lösningar	Alternativ					Anmärkningar
	1	2	3	4	5	
a	3	3	3	4	3	- 1 alt. 1-5
b	3	3	3	4	3	- 2 alt. 4
c	2	2	2	4	3	- 3 alt. 4 och 5
d	3	3	3	4	4	- 4 alt. 4 och 5
e	4	4	1	1	1	- 5 alt. 1-5
f	3	3	1	4	2	- 6 alt. 1, 2 och 4
g	2	2	4	3	3	
h	1	3	4	3	3	- 7 alt. 1, 2, 4 och 5
i	4	4	1	1	1	- 8 alt. 1-5
j	3	2	3	4	3	- 9 alt. 1-5
Summa	28	29	25	32	26	
k	0,83	1,0	1,08	0,7	0,8	Jämförelsetal

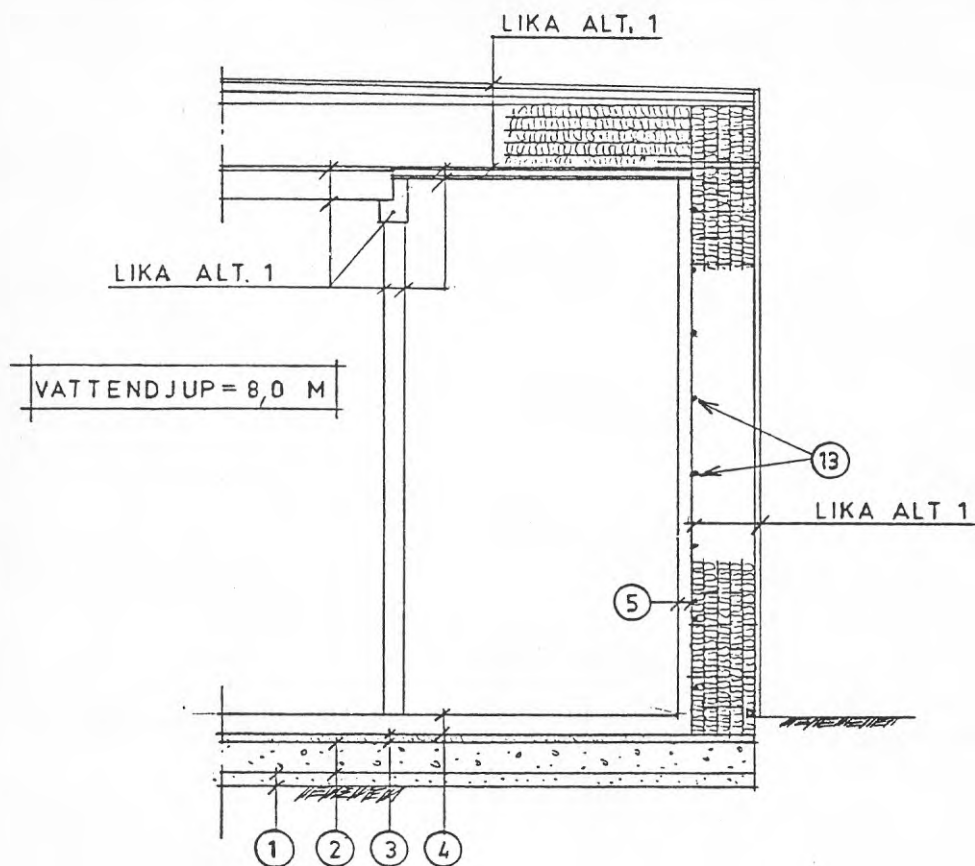


- ① DRÄN. LAGER
- ② 500 CEMENTBUND. LÄTTKLINKER
- ③ 200 STYRENCCELLPLAST
- ④ 300 BÆTONG K 350 VT
- ⑤ FOG IGJUTES MED PLAST, EXPANDERANDE BRUK
- ⑥ BETONGELEMENT B=2400 t=250
- ⑦ DIFF.SPÄRR ASFALTBUNDEN AL- FOLIE
- ⑧ 1300 MU SKIVOR I FÖRBAND
- ⑨ STÅENDE KORR.PLÅT REGELSTOMME
- ⑩ PREFAB. BETONG PLATTOR, KASSETTER, BALKAR, PELARE
- ⑪ UPPSTÄMPAT TRÄTAK
- ⑫ PAPP 2-LAGSTÄCKNING
- ⑬ EFTERSPÄNDA KABLAR

SOLVÄRMEVERK I VÄXJÖ

FIG. 19

ALT. MED PREFAB. EFTERSPÄND
BETONGTANK OVAN MARK

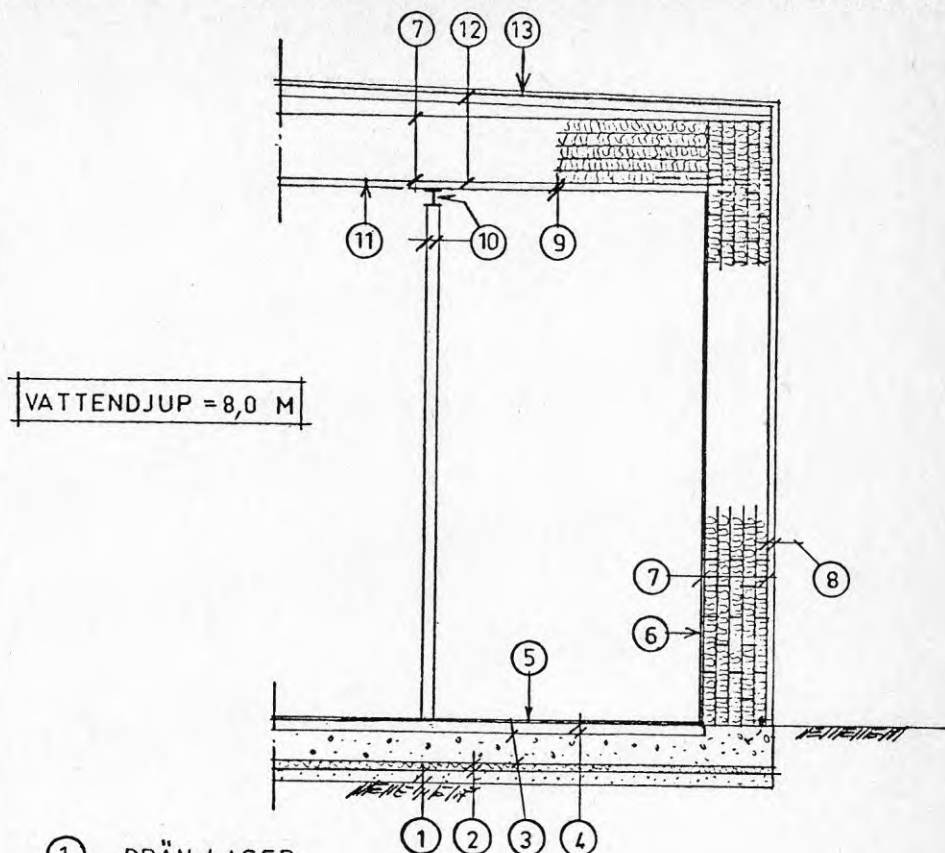


- ① DRÄN. LAGER
- ② 500 CEMENTSTABILISERAD LÄTTKLINKER
- ③ 200 STYRENCCELLPLAST
- ④ 300 BETONG K350 VT
- ⑤ 300 —||— —||— —||—
- ⑬ KABLAR EFTERSPÄNNES

SOLVÄRMEVERK I VÄXJÖ

FIG. 20

ALT. MED PLATSGJUTEN EFTERSPÄND BETONGTANK OVAN MARK

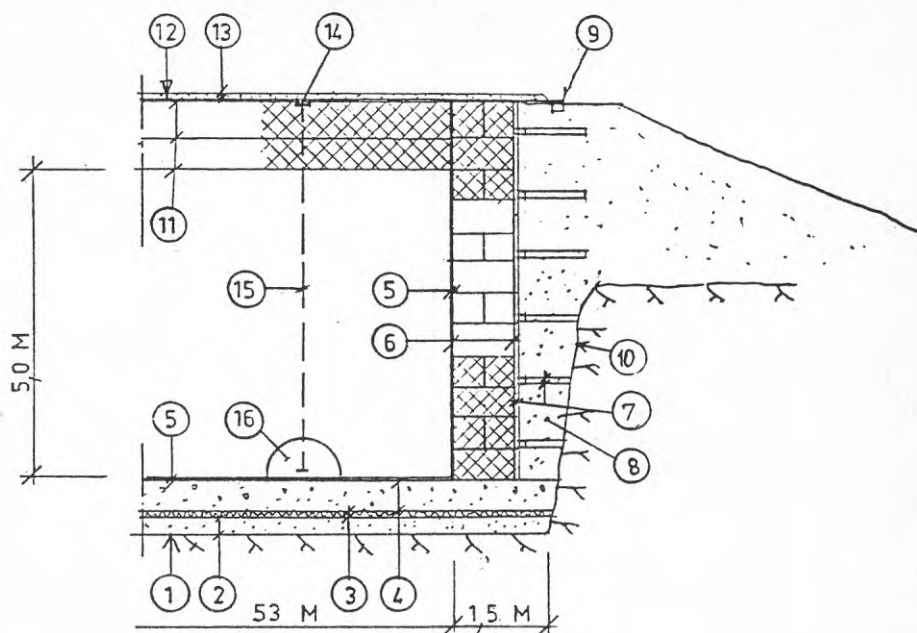


- ① DRÄN. LAGER
- ② 200 STYRENCCELLPLAST
- ③ 500 CEMENTBUNDEN LÄTTKLINKER
- ④ BETONGAVJÄMN.
- ⑤ STÅLPLÅT
- ⑥ STÅLPLÅT
- ⑦ 1300 MU SKIVOR I FÖRBAND
- ⑧ STÅENDE KORR. PLÅT + REGLAR
- ⑨ PLÅTDÄCK
- ⑩ STÅLPEL. OCH STÅLBALK
- ⑪ DIFF. SPÄRR AV ASFALT
- ⑫ UPPSTÄMPAT TRÄTAK
- ⑬ PAPP 2-LAGSTÄCKN.

SOLVÄRMEVERK I VÄXJÖ

FIG. 21

ÄLT. MED STÅLTANK OVAN MARK

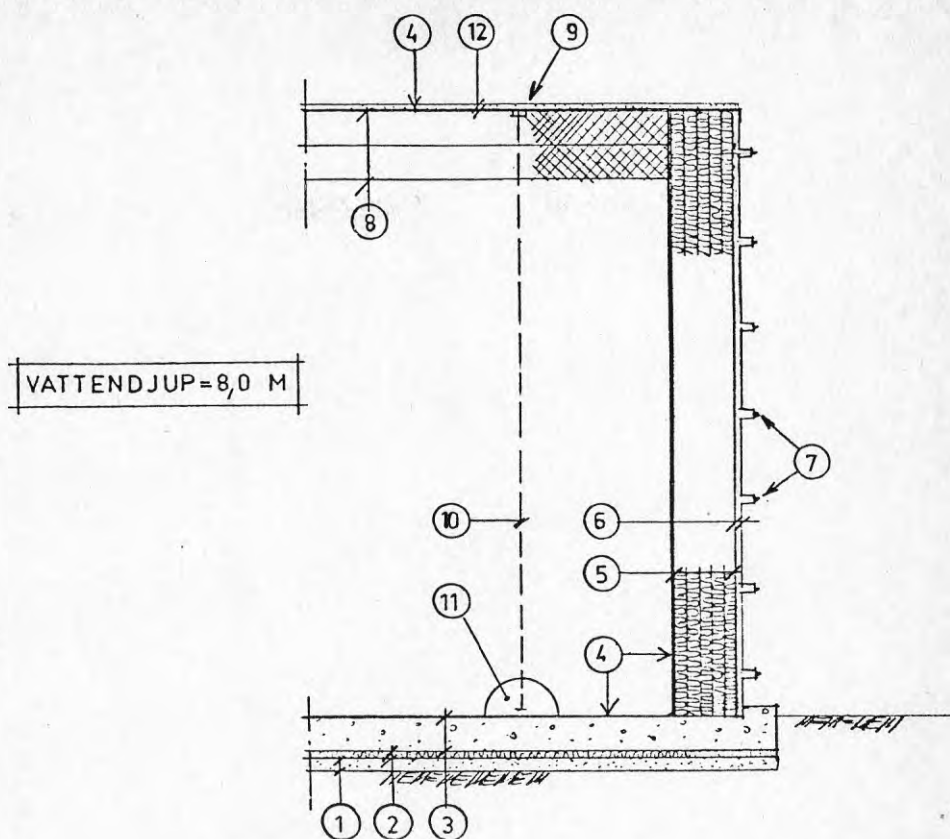


- ① BERG
- ② GRUSAVJÄMN. SPRÄNGBOTTEN
- ③ 200 STYRENCCELLPLAST
- ④ 500 CEMENTBUND. LÄTTKLINKER AVJÄMNAS
- ⑤ HELSVETSAD GUMMIDUK
- ⑥ 1300 URETANPLAST LIMMAS OCH FOGSTABILISERAS
- ⑦ GLES TRÄFORM
- ⑧ SAND
- ⑨ FÖRANKR. FÖR BUTYLDUKEN
- ⑩ SPRÄNGNING $\sim 7:1$
- ⑪ 600+700 FLYTBLOCK AV URETANPLAST
- ⑫ BUTYLDUK
- ⑬ 60 GRUS
- ⑭ RAM AV TRYCKIMP. VIRKE
- ⑮ STÅLSTAG
- ⑯ MOTVIKT AV BTG

SOLVÄRMEVERK I VÄXJÖ

FIG. 22

ÄLT. MED VATTENTANK I MARK



- ① GRUSAVJÄMN.
- ② 200 STYRENCCELLPLAST
- ③ 500 CEMENTBUND. LÄTTKLINKER MED AVJÄMNAD YTA
- ④ HELSVEZSAD BUTYLDUK
- ⑤ 100 MU SKIVOR I FÖRBAND
- ⑥ PREFAB. BETONGKASSETTER B ≈ 2400
- ⑦ KABLAR EFTERSPÄNNES
- ⑧ 600+700 FLYTBLOCK AV URETANPLAST
- ⑨ RAM AV TRYCKIMP. VIRKE
- ⑩ STÅLSTAG
- ⑪ MOTVIKT AV BETONG
- ⑫ 40 GRUS

SOLVÄRMEVERK I VÄXJÖ

FIG. 23

ÄLT. MED INV. ISOL. BETONGELEM-
MENT TANK OVAN MARK

7.2 Anmärkningar

1. Utseendemässigt kan tankar ovan mark göras lika. Alt. 4 kräver avsevärt mindre tomtyta.
2. Ledningsdragningar är kortare i alt. 4 och ger därmed mindre värmeförluster i matarledningar.
3. Vid dimensionering av värmeisoleringen för den nedsprängda tanken alt. 4 har markens värmemotstånd ej medräknats.
4. Den invändigt isolerade tanken, alt. 4 har inga köldbryggor i form av trästommar och infästningsdon. Styrencellplasten kräver en tät yta av alfolie mot vattnet och i fogarna.
5. För alt. 1 och 2 - betongkonstruktioner - har utretts varmvattnets inverkan på betongen. Se kap. 9. Alt. 3, ståltanken har rostskyddsbehandling med begränsad hållbarhet och kräver kvävgastopp som nivåutjämnare. Vattenisoleringar i alt. 4 och 5 är av fogsvetsad gummi. Vid materialdiskussioner med Atomenergi har framkommit att exempelvis butylgummi inte har långtidsresistens mot 95^o vatten. Kontakter med EPDM-gummitillverkare (Trelleborgs Gummifabrik) öppnar emellertid vägar mot lösningar med invändig vattenisolering. Osäkerheten beträffande gummidukarnas långtidsegenskaper har varit direkt avgörande vid valet av ackumulatortank.
6. Betongkonstruktionen har god värmelagringsförmåga. I bergalternativet, 4, ger marken den klart bästa värmelagringsseffekten.
7. Betongelementen i alt. 1 kräver en omfattande, noggrann och dyr fogtätning. Som fogmaterial föreslås en kombination av expanderande PVC-bruk och tätmassor av Silikon. För alt. 2 krävs sannolikt temporära gjutfogar i platta och väggar, PVC-fogbanden mjuknar vid den höga vattentemperaturen. Föreslås fogband av EPDM-gummi - engelsk tillverkning.

Betongen K350 VT, långsamhårdnande cement är sprickarmerad i botten och efterspänd med kablar i väggarna. Detta bör erfarenhetsmässigt ge maximal vattentätthet.

Vid alt. 3 och 4 krävs att gummidukstillverkarna har eller utarbetar godtagbar metod för fogsvetsning av tätskiktet.

8. Varmvattnets inverkan på betongen nedsätter inte dess åldringsbeständighet.

Enligt ståltanktillverkare krävs en kvalificerad och mycket dyrbar rostskyddsbehandling om tankens goda bestånd efter 10 år skall garanteras.

Beträffande gummidukar så har butylmaterialet vid 95^o värme mindre än 5 års beständighet.

EPDM-gummit har i Tyskland vid atomkraftanläggningar utprovats att gälla minst 10 år vid 110^o värme.

Några åldringsprov vid temperaturer omkring 100^oC har ej utförts i Sverige.

9. Den nedsprängda tanken, alt. 4, ger enkel produktionslösning med kort byggtid.

Prefabalternativen - betong och stål - är likvärdiga ur produktions- och resurssynpunkt. Relativt kort byggtid. Den platsgjutna tanken, alt. 2, har en relativt komplicerad produktionsmetod som är resurs- och tidskrävande.

7.3 Val av tank

Vägledande vid tankvalet har varit att till lägsta kostnad få en tank med lång beständighet sammansatt av provade, kända material med maximal säkerhet mot läckage och värmeförluster.

Enligt vår mening uppfyller den platsgjutna tanken, alt. 2, dessa fordringar.

Det efterföljande förfrågningsunderlaget har inriktats på att få pris och kvalitetsangivelser för en tank i betong, men offerter även för alternativa utföranden i stål respektive trä har inhämtats.

I det slutliga valet föll trätanksalternativet bort p.g.a. höga kostnader. Ståltanksalternativet var prisvärt intressant, men de krav på dokumentation och garantier för materialens konstruktionslivslängd med hänsyn till korrosion var svårare att få uppfyllda. Vid kostnadsbedömningen skall därför hänsyn tas även till merkostnader för såväl rostskyddsbehandling som framtida underhåll och reparation. Andra sätt än målningsskydd för att förhindra korrosion har även studerats, exempelvis kvävgasfyllning i tankens topp. Betongtanksalternativet har i samband med anbudsavstämningen icke föranlett några reservationer, varför vår bedömning kvarstår att en omsorgsfullt gjuten, kontrollerad och provad betongtank uppfyller de krav som här uppställts på en tank med lång beständighet sammansatt av provade, kända material med maximal säkerhet mot läckage och värmeförluster.

Efter gjorda anbudsgranskningar och diskussioner med BFR:s styrgrupp har beslut fattats om att i detta projekt låta utföra värmeackumulatören som en platsbyggd betongtank med glidformsgjutna väggar.

8 BYGGNADSTEKNISK BESKRIVNING AV FÖRESLAGEN
VÄRMEACKUMULATOR

8.1 Grundläggning

Tanken grundlägges på packad tätad sprängstensfyllning.

8.2 Stomme

8.2.1 Genomskärningsritning

I fig. 24 visas sektion genom tanken. Närmare beskrivning lämnas nedan.

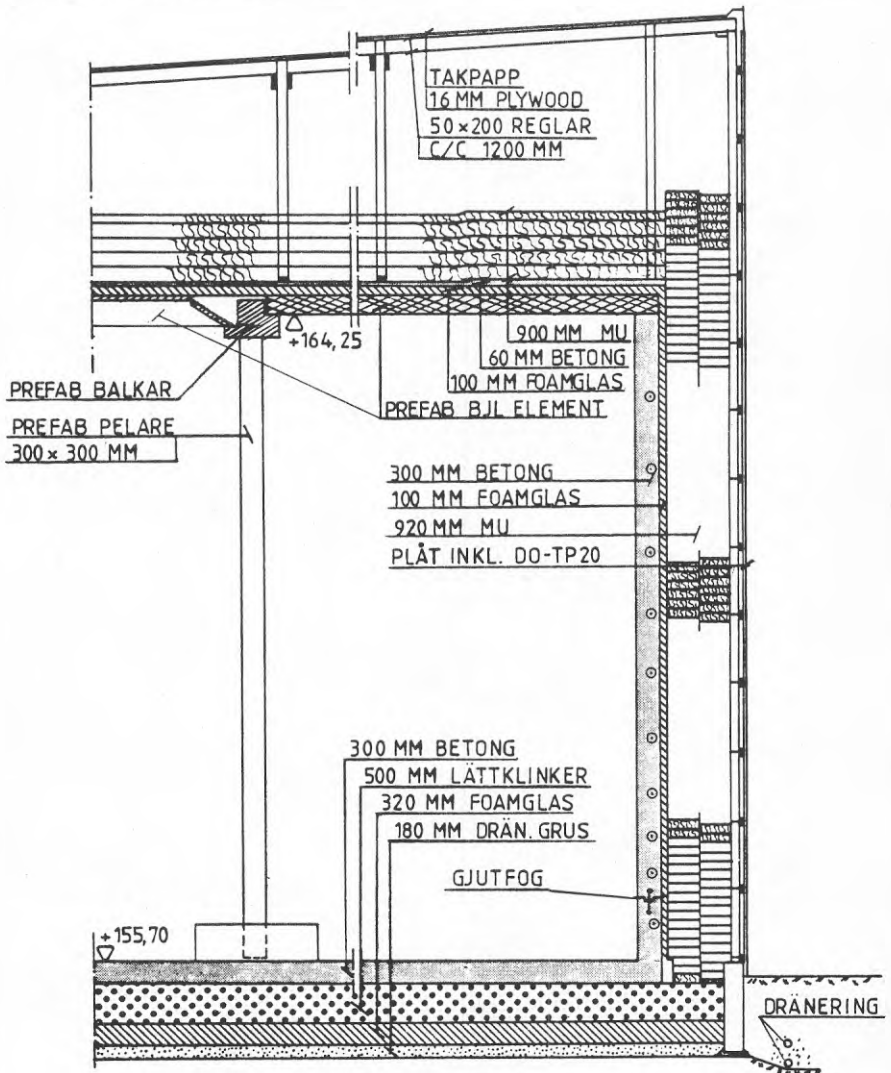


Fig. 24. SEKTION

8.2.2 Bottenplatta

Bottenplattan utföres 30 cm tjock av platsgjuten armerad betong K350 vattentät. Om temporära gjutfogar krävs utföres dessa med förtagning och dubbla fogband. Se fig. 25.

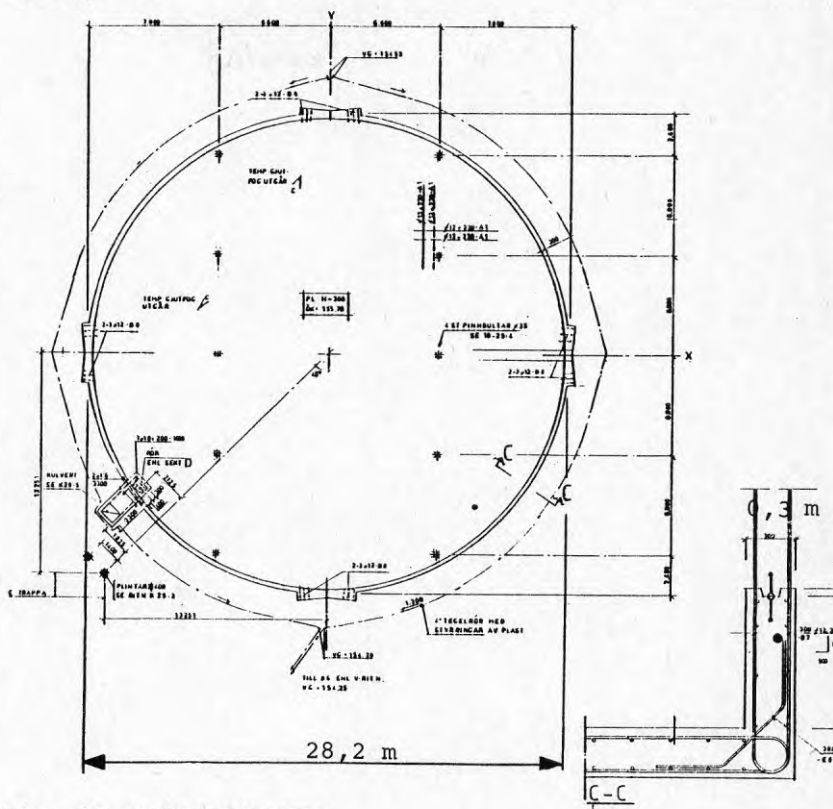


Fig. 25. BOTTENPLATTA

I bottenplattan uppkommer moment i området intill väg-garna dels av uppspänning, dels av vattentryck och temperaturvariationer i höjddled. Momentet avtar snabbt med avståndet från väggen. Ungefär 2 m från väggen är momentet noll. Plattan armeras för de nämnda lastfallen. Under pelarna beräknas momenten som för platta på elastiskt underlag belastad med punktlast. Härvid förutsätts i aktuellt fall att undergrunden är styv i förhållande till isoleringsmaterialet.

I övrigt uppträder i plattan endast krafter på grund av dess eventuella krympning och av temperaturrörelser. Friktionen mot isoleringsmaterialet kan vara så stor att betongens draghållfasthet kan överstigas. Därför inläggs i hela bottenplattan sprickarmering enligt:

$$\mu_{\text{spr}} = \frac{0,7 \cdot \sigma_{\text{dr}}}{\sigma_{\text{as}}}$$

där μ_{spr} = betongens draghållfasthet vid korttidslast
 σ_{dr} = armeringens sträckgränspåkänning
 σ_{as} = armeringens sträckgränspåkänning

8.2.3 Väggar

Väggarna utföres 30 cm tjocka av efterspänd betong K350 vattentät och göres cirkulär samt gjutes i glidform. Fogen mot bottenplattan placeras 1 m upp i väggen och utföres med förtagning och fogband av EPDM-gummi (Sv. Rawlplug). Väggarna armeras dels med slak armering Ks60 för att klara vissa lokala dragspänningar, dels med efterspänd ringarmering. Armeringens täckskikt väljs mot tankens insida så stort att utfällning av CaOH vid betongens ytskikt ej medför att korrosionsskyddet för armeringen nedbryts. Spännarmeringen placeras i tankväggen. Spännarbetet sker på fyra speciellt utformade uppspänningsställena. Armeringen dimensioneras så att betongen även sedan den belastats med vattentryck och temperaturvariationer fortfarande är utsatt för tryckkrafter. Den cirkulära formen gör detta möjligt med rimliga dimensioner och rimlig materialåtgång.

I väggarna, som är avspända i bottenplattan uppkommer moment av uppspänning, av vattentryck och av temperaturvariationer i höjddled. Betongens krypning är vid de temperaturer som blir aktuella 4-5 ggr större än vid normala temperaturer. För att kryprörelserna skall bli små och få försumbar inverkan på momentfördelningen, väljs den effektiva uppspänningskraften så att de tangentiella spänningarna i väggarna blir ungefär lika med noll då tanken är vattenfylld.

Uppspänningen av kablarna sker i två steg.

Följande arbetsgång förutsätts:

Kablarna uppspänns till en nivå som svarar mot den slutliga effektiva spännkraften.

Tanken vattenfylls.

Kablarna uppspänns till ca $0,65 \times \sigma_{0,2}$.

Väggarna dimensioneras för följande lastfall:

1. Effektiv spännkraft utan vattentryck.
2. Maximal spännkraft plus vattentryck.
3. Maximal spännkraft plus vattentryck och temperaturvariation.
4. Effektiv spännkraft plus vattentryck och temperaturvariation.

Lastfall 1 kan förutom i uppspänningsskedet inträffa om vattnet av någon anledning pumpas ut.

Momentdiagrammen från de nämnda lastfallen framgår av fig. 26.

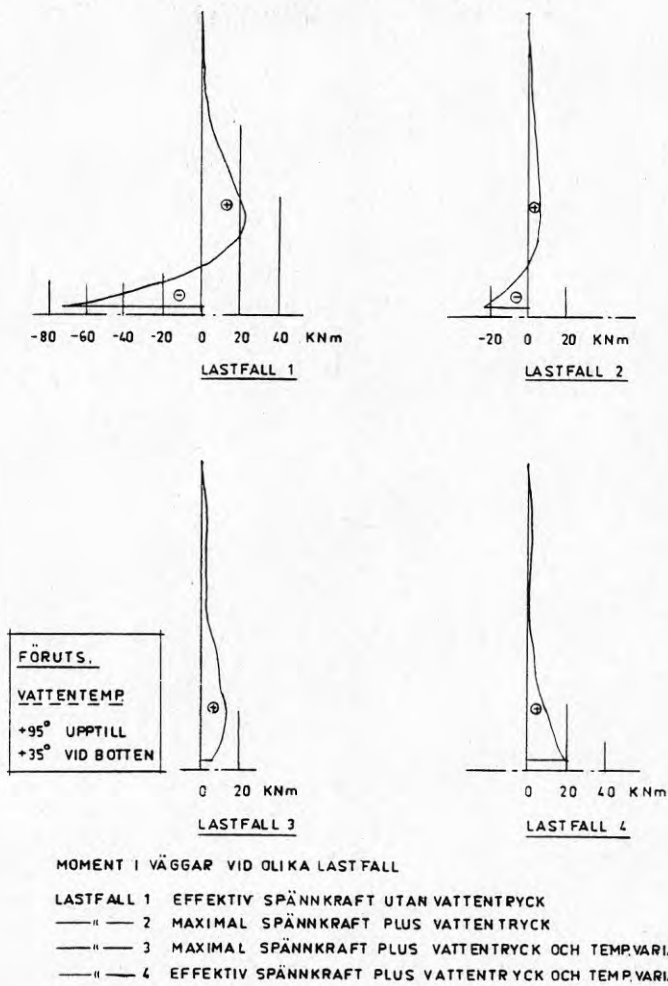


Fig. 26. MOMENTDIAGRAM

Gjutfogen har placerats ca 1 m upp i väggen där momentet av spännkrafterna är noll.

8.2.4 Tak

Taket utföres av prefabricerade balkar och kassetter i kvalitet K600. Balksystemet uppbäres av prefabricerade pelare, 300 x 300 mm. För montage, inspektion och mätändamål göres ett antal hål i takkassetterna. Se fig. 27.

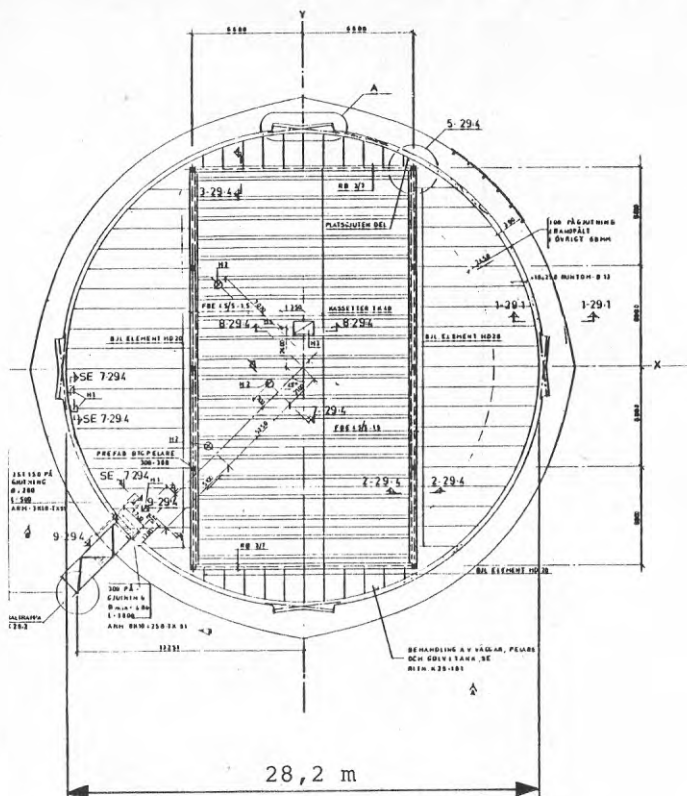


Fig. 27. TAK

8.2.5 Utförande

En förutsättning för att värmeackumulatorns beständighet skall bli den önskade är att betongarbetena utförs synnerligen noggrant. Kontrollen måste vara skärpt. Betongen måste vara tät och homogen samt fukthärdas. Sprickor får ej uppträda.

8.3 Värmeisolering

8.3.1 Botten

På den jämnade betongen utläggs 180 mm dräneringsgrus och 120 + 100 + 100 mm Foamglas, som lägges med förskjutna skarvar. k-värdet för grundkonstruktionen blir $0,083 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Eftersom vattentemperaturen i tankens botten genom temperaturskiktningen i huvudsak ligger vid ca 40°C under året och då temperaturen under isolerskiktet aldrig torde understiga 15°C betyder det relativt höga k-värdet ej större förluster än vad som erhålles genom taket där k-värdet ligger vid ungefär hälften.

8.3.2 Väggar

Direkt mot betongen klistras 100 mm Foamglas, fördelat på två lager med förskjutna skarvar. Det 40 mm tjocka inre skiktet sättes med 20 mm breda vertikala springor för att eventuellt läckande vatten skall ledas ned till en fotränna runt tanken. Fotrännan är försedd med skvallerrör ut genom den tanken omslutande mantelplåten. Utanför Foamglaset isoleras med 920 mm MU, $\gamma = 100 \text{ kp/m}^3$. Isoleringen staplas i höjdlid och hålls på plats av en utvändig regelstomme av trä. Ytbeklädnaden utgörs av fasadplåt, som fästs mot regelstommen. Väggens k-värde blir $0,040 \text{ W/m}^2\text{C}$.

8.3.3 Tak

Direkt på de tätade betongkassetterna klistras 40 + 60 mm Foamglas och på detta gjutes 100 mm skyddsbetong. Taket isoleras därefter med 900 mm MU $\gamma = 100 \text{ kp/m}^3$. Yttertaket är utfört som ett uppstolpat trätak med papptäckning. k-värdet för taket är $0,041 \text{ W/m}^2\text{C}$.

8.4 Diffusionsspärr

På väggar och tak klistras Foamglaset i specialasfalt med $135-120^\circ\text{C}$ mjukningstemperatur. Foamglaset och specialasfalten utgör diffusionsspärr.

8.5 Skydd mot kalkutfällning

För att nedbringa calciumutfällningen från betongen behandlas invändiga ytor i tanken med en vattenglasemulasion - Purigo 5. Denna behandling görs i första hand för att minska riskerna för utfällning i rörsystem och värmeväxlare.

9 INVERKAN AV HETT VATTEN PÅ BETONG

9.1 Förutsättningar

Projektet avser en försöksanläggning för tillvaratagande av solenergi, i vilken ingår en cylindrisk behållare i betong, rymmande 5.000 m³ vatten avsett att magasinera under sommarhalvåret erhållen solvärme för användning under vinterhalvåret. Temperaturen hos vattnet växlar med årstiden och blir i övre delen av behållaren max. 95°C, medan den vid botten blir 30-50°C. Värme till- och bortföres genom att vattnet pumpas genom värmeväxlare. Vattnet utgörs av vattenledningsvatten och kommer inte att bytas. Frågan ställs om den höga temperaturen hos vattnet kan ha en skadande inverkan på betongmaterialet så att en tänkt livslängd på 20 å 30 år kan äventyras. Behållaren är på sin utsida försedd med spännarmering, som inte kommer i kontakt med vattnet och som därför inte berörs i utlåtandet. Indirekt berörs spännarmeringens verkan av eventuellt ändrade krypförhållanden för betongen.

De skadetyper som kan komma ifråga är att betongen kan förlora i hållfasthet, dels p.g.a. inre omvandlingar, dels p.g.a. kalkurlakning förorsakade av den förhöjda temperaturen.

Vidare kan betongens krypning förändras, vilket måste beaktas vid dimensioneringen av spännbetongkonstruktionen. För ändamålet har gjorts en mycket begränsad litteraturstudie, som tillsammans med tidigare erfarenheter legat till grund för bedömning av fallet.

9.2 Tryckhållfasthet och krypning

9.2.1 Allmänt

Den konstruktiva utformningen av vattenbehållaren medför att vissa byggnadsdelar, främst tankvägg, bottenplatta och pelare, kommer att vara helt vattenmättade samtidigt som de kommer att vara utsatta för förhöjd temperatur. Konsekvenserna av detta för betongens tryckhållfasthet och krypning studeras i det följande. Härvid förutsätts likformig fördelning av såväl temperatur som fukthalt i respektive byggnadsdel.

9.2.2 Betongens tryckhållfasthet

Provning av vattenmättad betongs tryckhållfasthet vid olika temperaturer beskrivs i ref. (8) och (9).

Vid försök enligt (8) utfördes tryckprovning av provkroppar i en speciellt konstruerad autoklav, som förhindrade vattenavgång under uppvärmningen och tryckprovningen. Erhållna resultat jämfördes med resultat erhållna från referensprovkroppar, vilka lagrats 115 dygn i dimkammare före provtryckning.

Följande resultat redovisas:

Erhållna relativa tryckhållfastheter vid olika förhärdnings- och provningsbetingelser

vct	Antal dygn i dimkammare	Uppvärmningstid h	Max. temp. °C	Tid vid max.temp. h	Tryckhållfasthet i relation till referensprovkropp %
0,40	150	4-6	79	20-28	83
	180	4-6	190	20-28	71

Ovan relaterade försök är att betrakta som korttidsförsök.

I (9) beskrivs försök vid vilka effekter av uppvärmning under en längre tid av vattenmättad, förseglad betong studerades. Vid dessa försök förvarades provcylindrar \emptyset 15 x 30 cm³, tillverkade av betong med vct = 0,40 respektive 0,50, i 20-gradigt vatten under 28 dygn, varefter de förseglades och förvarades vid 40°C, 70°C respektive 90°C under 1 till 4 veckor. Vid provningen vidtogs åtgärder i syfte att förhindra avsvälning. Som referens användes provkroppar lagrade i 20-gradigt vatten. Resultaten av provningarna visade en reduktion av tryckhållfastheten efter påbörjandet av värmelagringen. Efter 1-2 veckors värmelagring erhöles dock en viss hållfasthetstillväxt. Vid provningens avslutande efter 4 veckors värmelagring erhöles dock generellt lägre hållfastheter för uppvärmda provkroppar jämfört med provkroppar lagrade vid 20°C. Högre temperatur medförde större hållfasthetsförlust, för provkroppar uppvärmda till 90°C var hållfasthetsförlusten ca 15 %.

9.2.3 Betongens krypning

Betongens krypning ökar med ökande temperatur. Enligt ref. (10) gäller vid konstant temperatur och konstanta fuktförhållanden att närvaro av fukt ökar kryphastigheten i temperaturområdet upp till 100°C.

Vid försök beskrivna i ref. (9) uppmättes krypningen hos vattenmättade betongprismor 15 x 15 x 55 cm³, som vid 28 dygns ålder förseglades och utsattes för en tryckspänning av ca 12 MPa, motsvarande ca 1/4 av tryckhållfastheten.

Efter ytterligare 7 dagars lagring vid 20°C uppvärmdes provkropparna till 70°C respektive 90°C. Som referensvärde på krypningen användes krypningen för ett prisma utsatt för samma tryckspänning och lagrad vid 20°C.

Uppvärmningen medförde att kryphastigheten ökade markant, speciellt under tiden närmast efter uppvärmningen.

Uppmätta resultat finns redovisade i diagram i ref. (9). Från detta kan utläsas att efter ca $\frac{1}{2}$ år var krypdeformationen för provkroppar uppvärmda till 90°C respektive 70°C ungefär 6 respektive 3,5 gånger större än motsvarande värde för referensprovkropparna.

Temperaturens inverkan på krypningen hos betong med förhindrad vattenavgång (s.k. grundkrypning) har också studerats av Hansen ref. (11). På grundval av egna och andras försök konkluderar Hansen att en höjning av temperaturen från $+20^{\circ}\text{C}$ till $+40^{\circ}\text{C}$ eller $+60^{\circ}\text{C}$ skulle öka krypningen till det dubbla respektive trefaldiga. Detta tycks stämma tämligen väl med ovanstående uppgifter.

Observeras bör emellertid att utgångsvärdet för krypningen då gäller grundkrypning och inte krypning hos torkande betong. De krypvärden som anges i litteratur och handböcker gäller i regel det senare fallet. Grundkrypningen är betydligt mindre, ca hälften eller lägre, se ref. (11).

Det bör tilläggas att i ovan refererade försök (9) orsakade betongens krypning spänningsreduktioner, för vilka ej korrigerings utfördes under försökens gång.

9.2.4 Utvärdering av försök

Uppgifter angående försök som närmare överensstämmer med det aktuella bedömningsfallet vad beträffar temperaturvariation, uppvärmningshastighet m.m., har ej påträffats i tillgänglig litteratur. Med ledning av ovan relaterade försök kan dock följande bedömningar göras:

- A Den uppvärmda, vattenmättade betongen kommer att få en reducerad hållfasthet. Denna kommer uppskattningsvis att vara 80 % av hållfastheten hos motsvarande uttorkade betong med normal temperatur.
- B Krypdeformationerna hos betongen kommer att bli stora, uppskattningsvis 5-6 ggr större än krypdeformationerna för motsvarande betong i fuktjämvikt med normal temperatur. Vid dimensioneringen av spännarmeringen måste krypdeformationerna noga övervägas.

9.3 Kalkurläkning

Det använda vattnet har enligt uppgift en kalciumhalt på $21 \text{ mg Ca/l} = 2,9^{\circ}\text{d}$. Denna siffra överskrider, d.v.s. ligger på säkra sidan av gränsen för karbonathårdheten enligt svenska rörnormerna, ref. (12), som

ligger på 2 °d. Västtyska normerna DIN 4030 har gränsen vid 3 °d. I den mån det sker en kalkurlakning kommer emellertid hårdheten hos vattnet att öka, eftersom ingen omsättning förekommer (till skillnad mot vad som äger rum i andra typer av anläggningar, exempelvis vattenledningsverk) och ett angrepp kan därför bara inträffa under den allra första tiden. Det är svårt att avgöra åt vilket håll en temperaturökning skulle inverka då man här har att ta hänsyn dels till att reaktioner i allmänhet förlöper snabbare vid temperaturhöjning, dels till att kalkens löslighet avtar med temperaturen, ref. (13):

Temperatur:	0	10	18	25	50	75	100	°C
Mättningskonc:	1,30	1,25	1,20	1,13	0,92	0,72	0,52	gCaO/l

Enligt t.ex. de Östtyska normerna TGL 11357 anses ett aggressivt vatten ha en generellt högre aggressivtetsgrad om dess temperatur överskrider 45 °C, medan Sovjet Standard Specification SN 262-67 anser att en förhöjd temperatur upp till 70 °C minskar aggressiviteten för lakningsangrepp, ref. (14). Biczók, ref. (15), anser beträffande inverkan av mjukt varmt vatten att "en ökning av den aggressiva lösningens temperatur har bara en ringa effekt på betong av portlandcement och att skillnaden i korrosionshastighet mellan 25 och 70 °C inte är signifikant".

Dessa litteraturuppgifter tyder därför på att en temperaturhöjning inte medför någon påtaglig ökning av lakningshastigheten. Kalkens minskade löslighet vid högre temperatur kan medföra att kalkavsättningar kan förekomma i samband med uppvärmning, vilket eventuellt kan medföra olägenheter i form av igensättningar.

Sammanfattningsvis kan sägas att intet framkommit som tyder på att någon nämnvärd kalkurlakning skulle kunna förekomma i föreliggande fall.

Det kan för övrigt påpekas att det värmeisolationsmaterial, som skall användas, måste vara alkalibeständigt om det kommer i direktkontakt med betongen.

9.4 Slutsats

Av litteraturgenomgången framgår att man i aktuella fallet måste vänta sig en viss nedgång i tryckhållfastheten, som torde röra sig om ca 20 % och en ökning av krypningen med ca en faktor 5 jämförd med normala temperaturförhållanden och våt betong. Det framgår likaledes att en temperaturökning upp till 70 °C inte medför någon nämnvärd ökning av kalkurlakningen och då i föreliggande fall inget byte av vattnet skall förekomma, måste risken för skador p.g.a. kalkurlakning anses vara mycket liten.

10 PROCESSTEKNIK

10.1 Allmänt

Som framgått av redovisningen i avsnitt 3 har förändringar i projektet under hand gjorts. I och med detta har även den processtekniska utrustningens uppbyggnad modifierats. Nedan lämnas en redovisning över anläggningens huvuddelar i dess fastställda utformning.

10.2 Kretsbeskrivning

Flödesschemat, fig. 28, sid. 53, visar i förenklad form sammankopplingen mellan apparater såsom solfångare, värmeväxlare, pumpar, ackumulator etc.

10.2.1 Solfångarkrets

Solfångarkretsen använder glykolblandat vatten som värmebärande medium med fryspunkt omkring -20°C . Denna krets är således ej avsedd att tömmas under vintermånaderna, när solfångarutrustningen ej är i drift.

Vid valet av dimensionerande temperaturhöjning över solfångarna har följande faktorer sammanvägts:

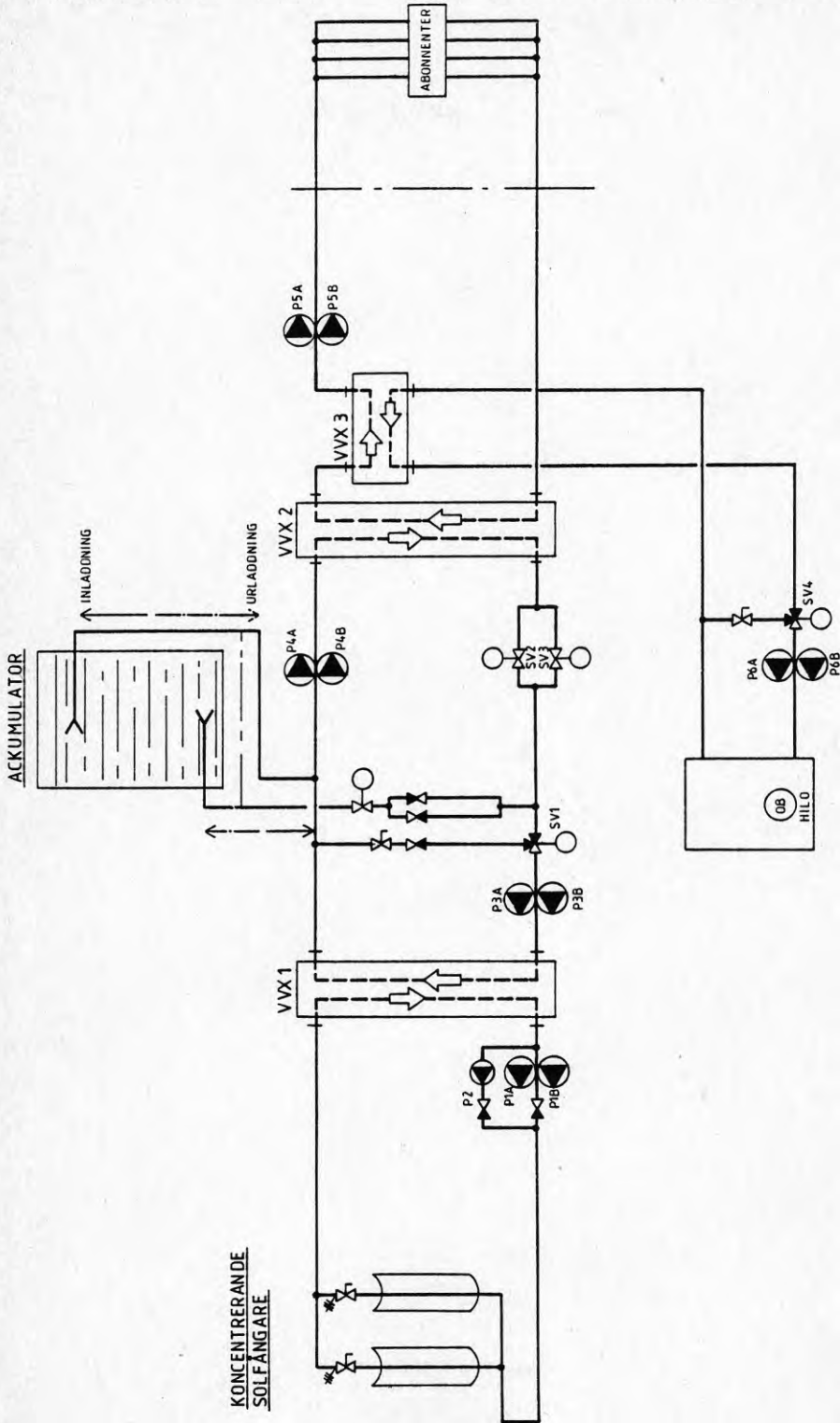
- Stor temperaturhöjning ger låg medeltemperaturdifferens mot omgivande luft = bättre värde på verkningsgraden, dessutom blir erforderligt pumparbete litet.
- Liten temperaturhöjning ger fördelarna av god kontroll av fördelningen mellan parallella flöden, minskade transporttidsfördröjningar och ett styvare system, de båda sistnämnda är väsentliga ur reglermässig synpunkt.

Som rimlig kompromiss har valts en temperaturhöjning över solfångarna av 20°C vid dimensionerande solinstrålning.

Systemet är trycksatt så att temperaturer upp till 120°C kan tillåtas. Om risk för överhettning av någon anledning skulle uppstå ger temperaturvakter order till spegelrännornas vridmotorer så att rännorna kommer i österläge. Om elsystemet skulle falla ur så att vridmotorerna ej kan arbeta tar det ca 2 minuter innan absorbatorrören p.g.a. solens rörelse ej längre ligger i fokus. Som ytterligare säkerhet finns i rörsystemet säkerhetsventil insatt.

10.2.2 Ackumulatorkrets

I ackumulatorkretsen, som avgränsas av värmeväxlarna VVX1 och VVX2, används rent vatten som värmebärande och ackumulerande medium.



SOLVÄRMEVERK I INGELSTAD

FLÖDESHEMA

Fig. 28

Värme från solfångarna kan transporteras direkt ut till distributionsnätet eller till värmeackumulatorns topp. Även kombinationer av flöden kan förekomma. Temperaturmässigt kan alla nivåer mellan 50 och 95°C utnyttjas.

Värmeväxlaren VVX1 är dimensionerad för en effekt av 860 kW vid primärtemperatur 105/85°C och sekundärtemperatur 65/95°C. Motsvarande värden för VVX2 är 550 kW, 60/40°C respektive 33/50°C.

10.2.3 Pannkrets

Den oljeeldade pannan är avsluten till distributionsnätet via värmeväxlaren VVX3, som sekundärt är seriekopplad med VVX2. Pannan och VVX3 är dimensionerade för att klara hela effekt- och energibehovet till distributionsnätet. Följande data gäller - för pannan - 700 kW, - för VVX3 - 811 kW, 90/70°C primärt, 55/80°C sekundärt.

10.2.4 Distributionskrets

Distributionsnätets dimensionering är baserad på att villainstallationerna skall vara anpassade till 80/50°C i värmesystemet och tappvarmvattenberedarna till 50/32°C primärt och 5/45°C sekundärt.

För att nå lägsta möjliga returledningstemperatur är cirkulationspumpen för distributionsnätet varvtalsstyrd så att kapaciteten anpassas efter aktuellt tryckbehov. Temperaturmässigt sker reglering efter utetemperatur, men med minimumbegränsning vid 50°C i framledningen.

10.3 Styr- och övervakningsanläggning

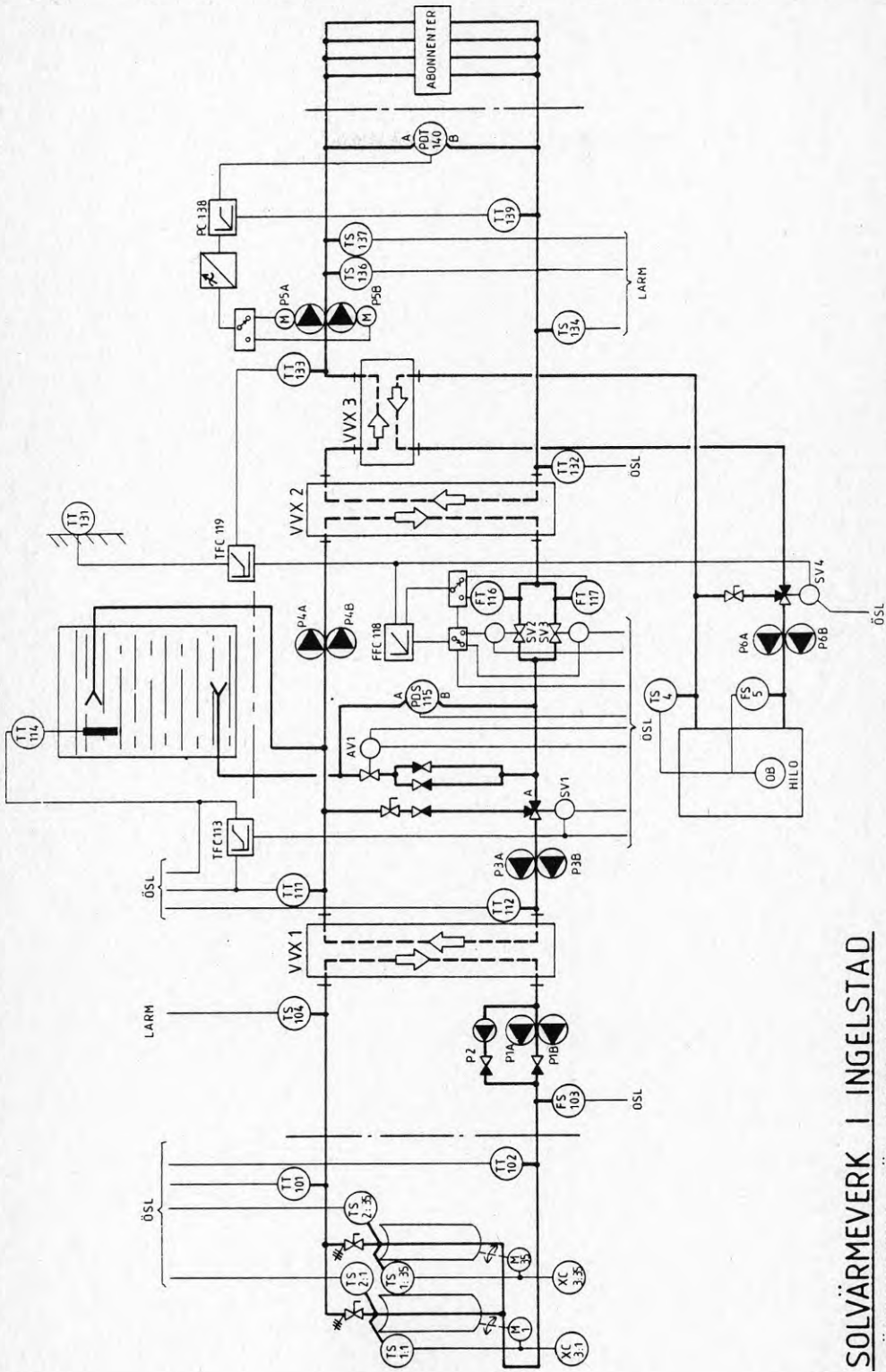
För automatiserad drift och för övervakning av anläggningen finns dels en överordnad styrlogik, ÖSL, av programmerbar typ, dels en centraliserad felsignalutrustning med automatisk larmsändare.

Den programmerbara styrutrustningen innehåller

- 24 st ingångar
- 16 st utgångar, process
- 16 st utgångar, indikering
- 12 st oberoende tidskretsar

Felsignalanläggningen omfattar 20 st övervakningspunkter.

Flödesschemat för styrning av anläggningen visas i fig. 29, sid. 55.



SOLVÄRMEVERK I INGELSTAD
 FLÖDESSCHEMA FÖR STYRNING
 Fig. 29

Reglerkurvor för de olika pumpkretsarna visas i fig. 30, sid. 57.

Den överordnade styrlogiken, ÖSL, beskrivs av fig. 31 och 32, sid. 58 respektive 59.

10.3.1 Solfångarkrets

Solfångarspeglarna är vridbara med hjälp av påbyggda motorer. Den mekaniska konstruktionen är sådan att varje motor vrider 12 st speglar. Styrningen sker på signal från påbyggda solsensorer XC3:1 - XC3:35 som hela tiden söker att ställa speglarna mot solen. Vid övertemperatur i värmebärarkretsen vrider motorerna speglarna fullt åt öster på signal från temperaturgivare TS1:1 - TS1:35.

På fem utav solfångargrupperna om vardera 12 speglar finns temperaturgivare TS2:1, TS2:10, TS2:18, TS2:26, TS2:35 som ger signal till den överordnade styrlogiken att värmemediet har tillräckligt hög temperatur så att pumparna i kretsen kan startas.

När någon av temperaturgivarna TS2:1, TS2:18 eller TS2:35 mäter mer än 70°C i solfångarröret startar pumpen P2 (och P3).

Om därvid temperaturhöjningen över solfångarna uppgår till 20°C mätt med TT101 och TT102 eller temperaturen mätt med TS2:10 eller TS2:26 överskrider 100°C , stoppas pump P2 och startas pump P1, vilket fördubblar flödet i solfångarkretsen.

Återgång till halva flödet, d.v.s. start av P2 sker när temperaturhöjningen över solfångarna underskrider 6°C och temperaturen är lägre än 100°C .

När ingen temperaturhöjning över solfångarna kan mätas, stoppas pump P2 och efter viss tid även P3.

Om sekvensen inte upprepar sig inom viss tid (30 min.) startar pumparna P2 och P3 och körs så länge som värme kan utvinnas ur de vattenvolymer som finns i rörsystemen.

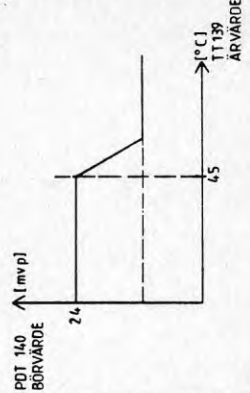
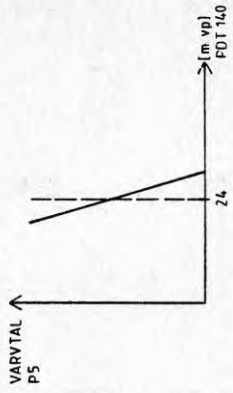
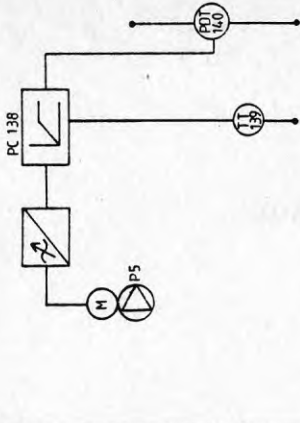
10.3.2 Ackumulatorkrets

Temperaturgivaren TT111 styr ventilen SV1 på konstant temperatur.

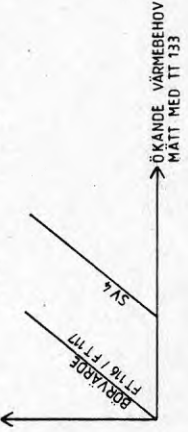
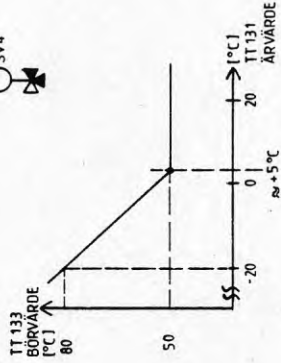
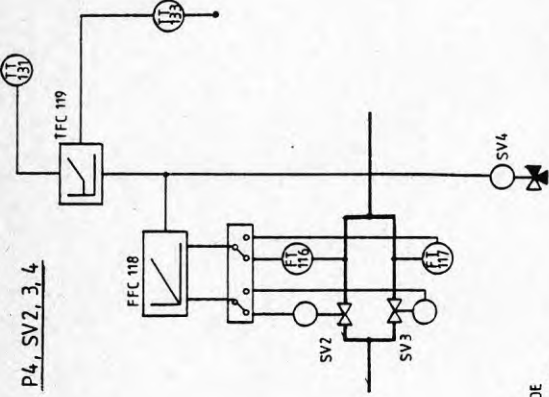
Temperaturgivaren TT114 förskjuter regulatorns börvärde så att detta ligger någon grad över aktuell temperatur i ackumulatorn.

Ledvärdesgivaren i ackumulatorn utformas så att den mäter medeltemperaturen i ett övre vattenskikt ungefär 500 mm tjockt.

P5

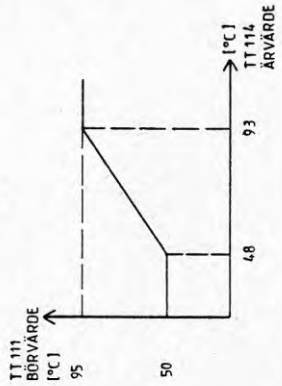
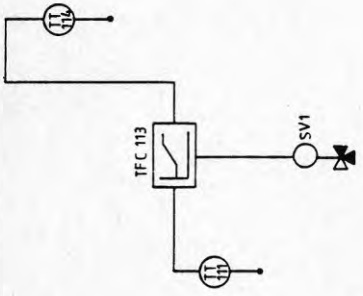


P4, SV2, 3, 4



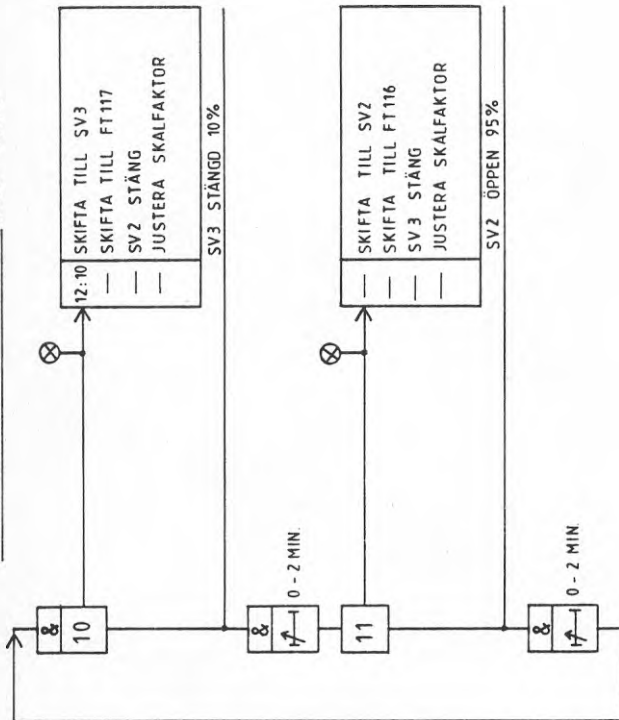
ÖKANDE VÄRMEBEHOV
MATT MED TT 133

P3, SV1

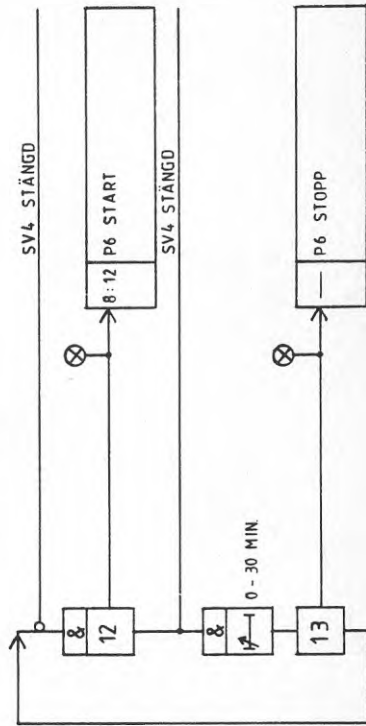


SOLVÄRMEVERK I INGELSTAD
REGLERKRETSAR P3, P4 OCH P5
Fig. 30

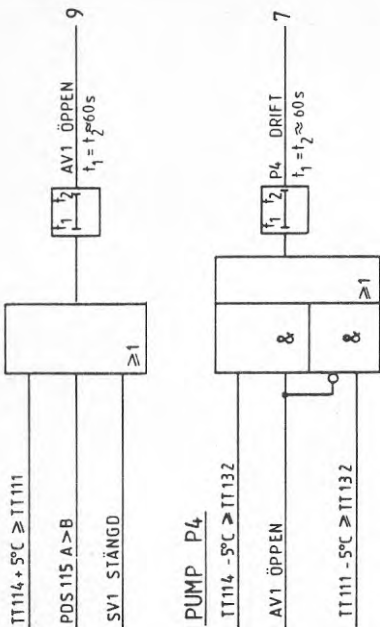
OMRÅDESVÄXLING SV2/SV3 (SV2 < SV3)

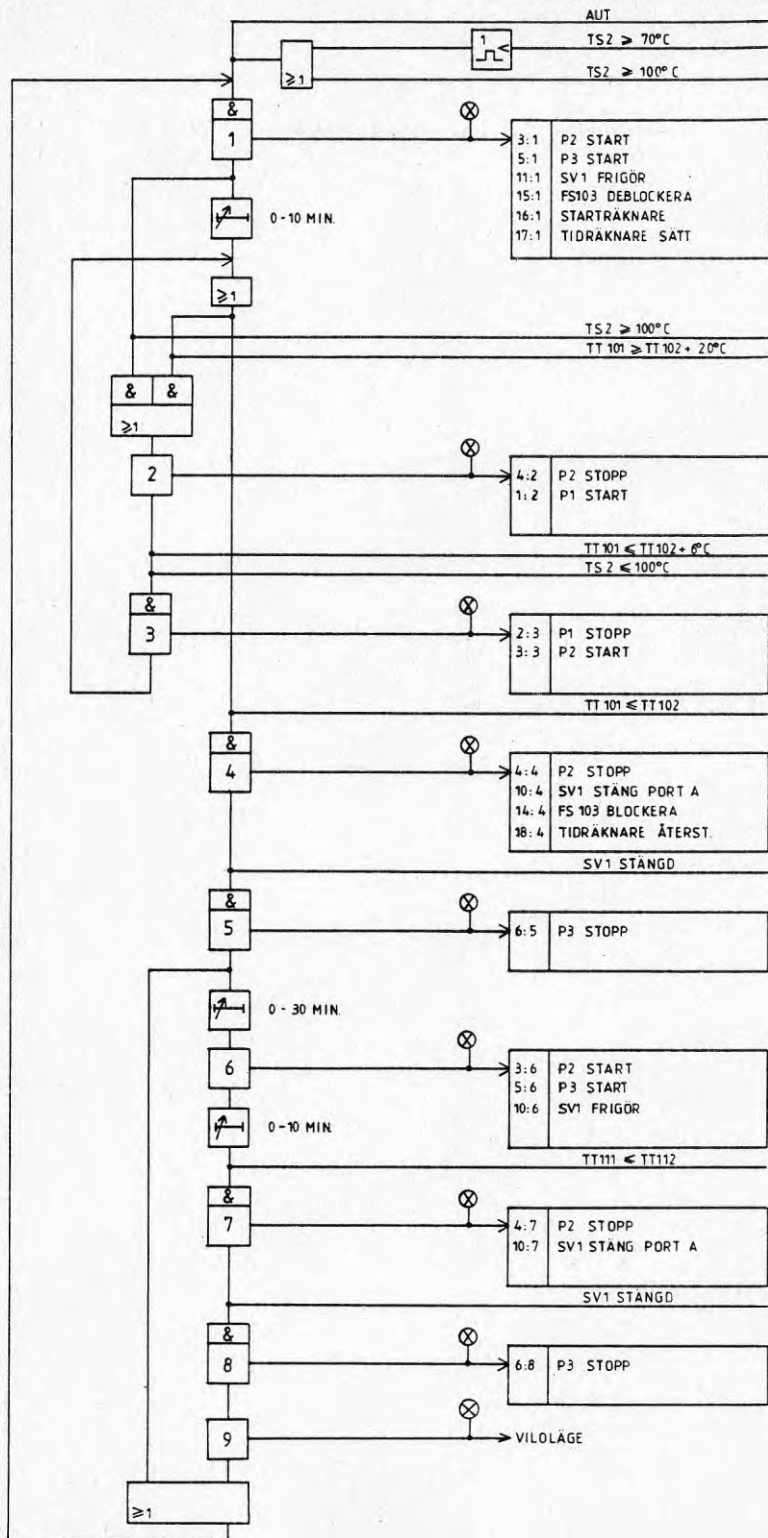


PUMP P6



AVSTÄNGNINGSVENTIL AV1





SOLVÄRMEVERK I INGELSTAD
 ÖVERORDNAD STYRLOGIK (ÖSL)
 Fig. 32

Oavsett temperaturen i ackumulatorn begränsas temperaturbörvärdet till en lägsta och en högsta nivå om 50°C respektive 95°C .

Pumpen P3 omkopplas automatiskt av ÖSL.

Skillnaden mellan nettoflödena för pumpkretsarna P3, SV1 och P4, SV2/SV3 utjämnas av flöde till och från ackumulatorn.

För att förhindra att otillräckligt varmt vatten från ackumulatorn inblandas med varmt vatten från VVX1 stänger ventilen AV1 om TT114 är lägre än TT111 OCH flödet är utåtgående från ackumulatorns topp OCH SV1 inte är stängd.

På grund av att pumpkretsen P3/SV1 påverkar pumpkretsen P4/SV2, 3 flödesmässigt har valts kaskadreglering enligt följande:

Flödesgivaren FT116 styr ventilen SV2 eller styr FT117 SV3 att hålla konstant flöde genom VVX2 primär.

Börvärdet för flödesregulator FFC118 förställs via temperaturregulator TFC119 från temperaturgivare TT133 så att flödet avpassas efter värmebehovet.

Området, inom vilket flödesregleringen för VVX2 primärsida har att arbeta med, är för stort för en flödesgivare, därför sker automatisk växling mellan två flödesvägar, varvid kretsen SV2/FT116 arbetar i områdets nedre del och kretsen SV3/FT117 i dess övre del.

Pump P4 omkopplas automatiskt av ÖSL.

10.3.3 Pannkrets

Värmeväxlarna VVX2 och VVX3 är seriekopplade på sekundärsidan.

I första hand växlas värme från ackumulatorn via VVX2, i andra hand växlas värme från pannkretsen via VVX3.

När flödesregulatorn FFC118 uppmätt maximalt flödesbörvärde övergår temperaturregleringen till styrventil SV4.

Pump P6 omkopplas automatiskt av ÖSL.

10.3.4 Distributionskrets

Sambandet mellan fram- respektive returledningstemperatur och utetemperatur framgår av fig. 33, sid. 61. I den angivna returtemperaturkurvan är ej hänsyn tagen till tappvarmvattenberedningen utan avser enbart uppvärmningsdelen.

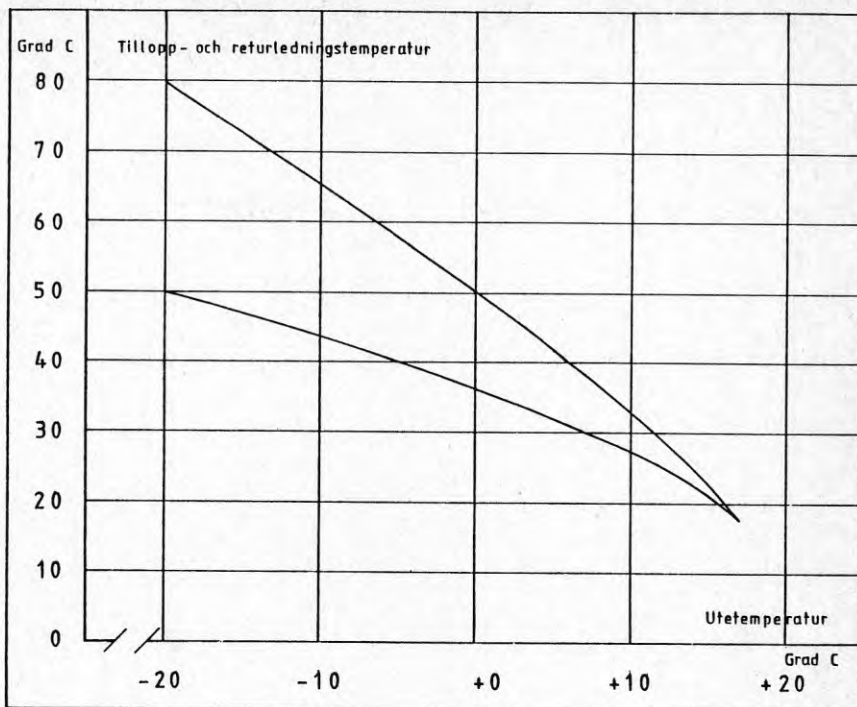


Fig. 33.

Börvärdet för temperaturregleringen från TT133 förställs av utetemperaturgivaren TT131 med minimigränsning vid 50°C i framledningen.

Differenstrycket i representativt läge i systemet konstanthålls.

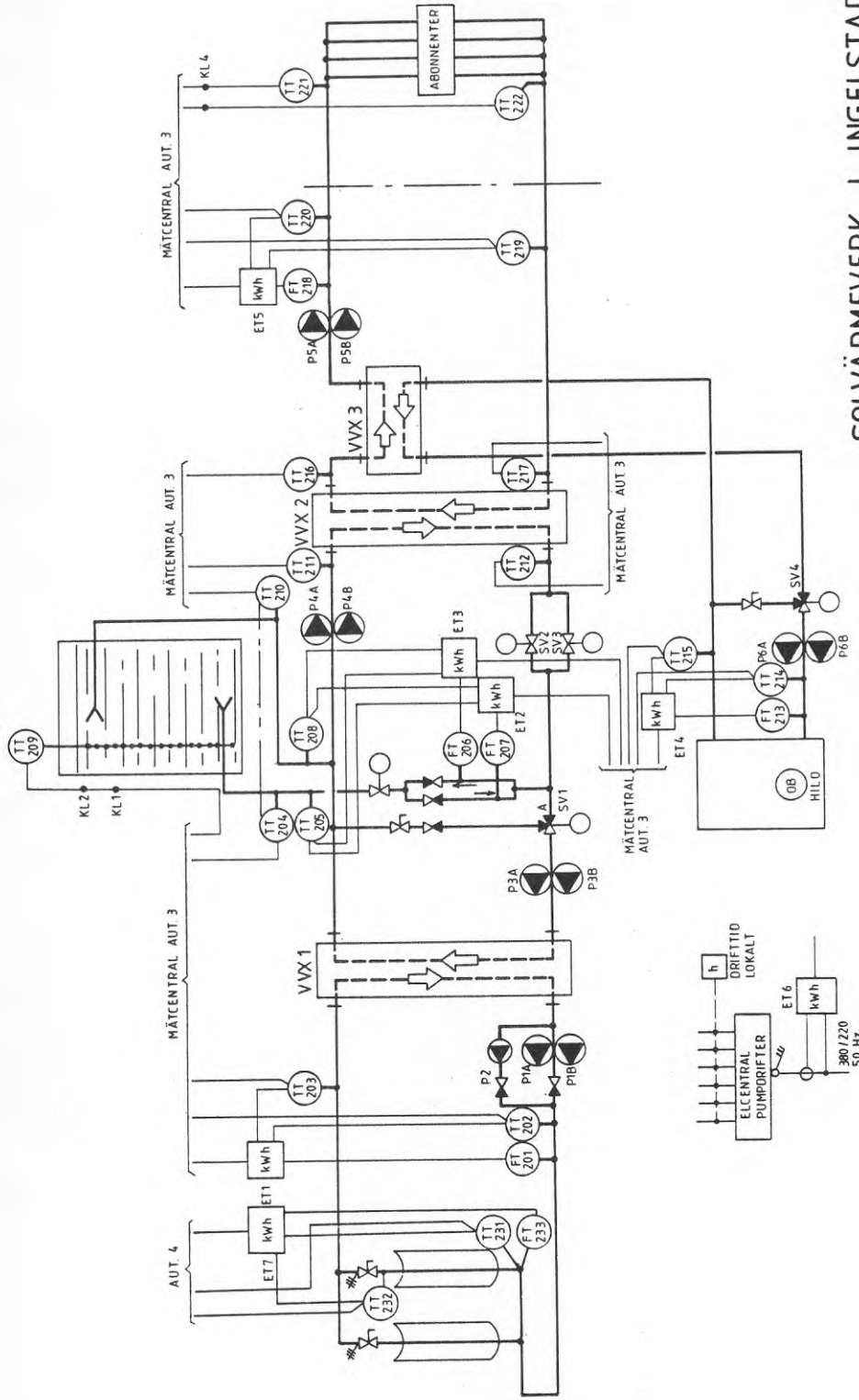
Vid för hög returtemperatur reduceras varvtalet som funktion av temperaturen mätt med TT139. Varvtalsreduceringen tillåts ner till inställbar undre gräns.

10.4 Mätningssystem

För drift och utvärdering av projektet installeras mätutrustningar för temperatur och energi i omfattning som framgår av flödesschemat i fig. 34, sid. 62.

Värmeenergin mäts dels totalt från solfångarna, dels till och från värmeackumulatören, dels från den oljeeldade pannan och dels leveransen ut på distributionsnätet. Dessutom sker mätningar på enskilda grupper solfångare för att göra jämförelser av verkningsgraden för rengjorda och ej rengjorda spegelrännor.

Elenergin för anläggningens pumpdrifter uppmäts förutom det totala elenergibehovet.



SOLVÄRMEVERK I INGELSTAD
FLÖDESSCHEMA FÖR MÄTNING
Fig. 34

10.5 Elanläggningar

Elservisen utgöres av ett normalt lågspänningsabonnemang vid 380/220 V.

Inkommande ledning och huvudcentral är placerad i driftbyggnaden.

Alla start- och manöverapparater är samordnade med styrutrustningen och inbyggda i tre automatikskåp i särskilt apparatrum i driftbyggnaden. Därutöver finns i anslutning till solfångaruppställningen särskilda apparatlådor för den automatik som erfordras för solfångarnas vridning.

Ledningsdragningen mellan driftbyggnad och solfångare respektive värmeackumulatorns tak sker delvis i mark och delvis på kabelstegar.

10.6 Rörtekniska anläggningar

Materialvalet i rör, ventiler och övriga apparater som ingår i de olika kretsarna, har varit föremål för ingående studier ur såväl korrosionssynpunkt som risk för kalkutfällningar. Speciellt svåra har problemen varit i ackumulatorkretsen, begränsad av värmväxlarna VVX1 och VVX2, där risk för kalkutfällningar från betongen och syresättning av vattnet kan förekomma.

För att reducera en kontinuerlig utfällning av kalk från betongen har, såsom tidigare redovisats, valts att behandla invändiga betongytor med en vattenglasbaserad oorganisk produkt - Purigo 5.

Genom kontakter med en rad företag inom rör- och apparatbranschen har vi försökt få en rimlig bedömning av riskerna för korrosionsangrepp i rörsystemet. Några jämförbara anläggningar har ej stått att finna. Undersökningarna har lett till att följande material fastställdes:

- Rörledningar och dysor inuti ackumulatorm, SIS 2562.
- Rör mellan ackumulator och värmväxlare, SIS 1330-05, godstjocklek 5 mm.
- Rör genomföringar i tankvägg, titan.
- Kulventiler omedelbart utanför tankvägg, DIN1.4406.

Vidare kommer att, inne i driftbyggnaden, i ackumulatorkretsen inläggas en provsträcka där olika rörmaterial kan provas. Eftersom rörsystemet inuti ackumulatorm är svårt att komma åt har på detta ställe valts mycket högklassigt och därmed dyrt material. Förhoppningsvis kan, efter de prov som avses bli utförda i provsträckan, sådana erfarenheter vinnas att i framtiden billigare material utan risk kan användas i liknande fall.

11 KOSTNADSSAMMANSTÄLLNING

11.1 Anläggningskostnader

Den kalkyl över anläggningskostnader, som våren 1978 förelåg, slutade på 8,6 Mkr inklusive beräknat kostnadsindex fram till våren 1979. Slutligt beslut om experimentbyggnadslånets storlek skulle fattas när offerter inkommit. Efter offertsammanställning kunde följande sammanställning presenteras, vilken därefter lagts till grund för beviljat lån.

	Tkr	Tkr
Byggentreprenad inkl. kalkylerat berg	2.895	
VVS-entreprenad inkl. styr- och övervakningsanläggning	893	
Elentreprenad	47	
Solfångarentreprenad	2.483	6.318
Tomtkostnad inkl. VA-anslutningsavgift	210	
Elanslutningsavgift	9	
Distributionsnät till villaområde	718	
Värmemätutrustning	78	
Uppfyllning av system inkl. fryskyddsmedel i solfångarkrets och korrosionsskyddsmedel i distributionsnät	23	
Första uppvärmning av tank till 40°C	15	
Provisorisk panncentral under byggnadstiden	40	1.093
Konsultkostnader t.o.m. färdiga handlingar	70	
Konsultkostnader t.o.m. upphandling	70	
Projektledning	80	
Kontroll, besiktning, utredningar efter upphandling, dokumentation	200	420
Index 5 %	400	
Oförutsett och utjämning	599	999
Summa		8.830
Avgår abonnentanslutningsavgifter		- 690
Totalt investeringsbehov exkl. moms och räntekostnader under byggnadstiden		8.140

Den i sammanställningen redovisade avgående posten för abonnentanslutningsavgifter utgör de normala anslutningsavgifter som abonnenterna belastas med vid anslutning till kommunlat fjärrvärmenät i Växjö tätort. I normala fall är avgifterna avsedda att finansiera nät-uppbyggnad och produktionsapparat för fjärrvärmedistribution. Här har i stället inräknats i lånebeloppet verkliga kostnader för distributionsnätet och merkostnaden kommer således att belasta projektet.

11.2 Drift- och underhållskostnader

Abonenterna betalar en årlig värmeavgift enligt samma taxa som gäller för fjärrvärmeleverans i Växjö tätort.

För normalförbrukningen 18 MWh/år och hus ger detta med dagens bränslepris en årlig avgift av ca 2.900:-/hus. Med ett beräknat energitillskott från den oljeeldade pannan av 50 % av totalbehovet uppgår bränslekostnaden för denna till ca 900:-/år och hus.

Intäkterna från abonnenterna uppgår till ca 150 tkr/år, medan utgifterna för oljeköp blir ca 50 tkr/år.

Mellanskillnaden utgör således totalt för hela anläggningen ca 100 tkr/år. Detta belopp kan, så länge det ränte- och amorteringsfria experimentbyggnadslånet löper, användas för täckande av anläggningens drift- och underhållskostnader.

I föreliggande rapport redogöres för projektering av ett solvärmeverk i Ingelstad inom Växjö kommun. Arbetet har bedrivits inom en av Kommunstyrelsen i Växjö särskild projektorganisation.

I en förstudie av projektet och i det första utrednings- och projekteringskedet behandlades ett verk för 100 %-ig försörjning av värme och tappvarmvatten under ett normalår för ett villaområde om 52 hus. Erforderlig solfångaryta blev då 2.600 m² och erforderlig lagringsvolym 14.000 m³. De kostnadskalkyler som upprättades på basis av utarbetade entreprenadhandlingar pekade på en investeringsnivå av 12 till 13 Mkr. För att i första hand nå en lägre investeringsnivå och i andra hand låta verkets utformning ansluta sig till filosofin att solvärmeverk i inledningsfasen av solvärmeteknikens utbyggnad kommer att arbeta kompletterande till existerande värmesystem såsom hetvattencentraler och fjärrvärmeverk, beslöts i samråd med BFR och professor Stig Borglin, LTH, om en modifiering av projektet.

I det modifierade utförandet är målsättningen att solenergin skall bidra med 50 % av det totala energibehovet för det aktuella bostadsområdet. Med ett beräknat behov av 18.000 kWh per år och med tillägg för förluster i distributionsnätet uppgår totala behovet till ca 1.100 MWh/år. För att klara en produktion av 550 MWh/år erfordras ca 1.300 m² solfångaryta.

Solfångarna är avsedda att vara i drift fr.o.m. mars t.o.m. september. Under denna period utnyttjas den upptagna solenergin i första hand för direkt matning ut på distributionsnätet. Överskott lagras in i en värmeackumulator med volymen 5.000 m³. Denna ackumulator kan lagra ca 300 MWh, vilket innebär att den i slutet av sommaren är laddad med 95-gradigt vatten, som därefter utnyttjas under perioden oktober-december.

För resterande energibehov och för säkerställande av abonnenternas krav på värmeleverans finns i anläggningen en ordinär oljeeldad panncentral, som effektmässigt är dimensionerad för att täcka hela belastningen.

Mellan solfångarsystem, ackumulatorkrets, oljeeldad panna samt distributionsnät är värmeväxlare insatta. Solfångarsystemet innehåller glykolblandat vatten som värmebärande medium. Systemet urtappas ej vintertid. I ackumulatorkretsen används vanligt vattenledningsvatten, medan i distributionsnät och pannkrets används tillsatser i vattnet med korrosionshämmande verkan.

Solfångarsystemet är uppbyggt med 420 st paraboliska solfångare, vilka är fördelade på 35 parallella grupper. Varje grupp består i sin tur av 12 seriekopplade enskilda solfångare. Maximal utnyttjad temperatur i

det trycksatta solfångarsystemet uppgår till 105°C . Detta medger att på värmväxlarens sekundärsida kan den önskade nivån 95°C uppnås. Solfångarna, vars längsaxel lutar 35° mot horisontalplanet, vrider sig allt efter solens rörelse så att strålningen fokuseras mot det av vattnet genomströmmade absorberorröret.

Varmvattenackumulatorn utföres med botten och väggar av 30 cm vattentät betong, medan taket utgörs av betongkassetter upplagda på ett prefabricerat balk- och pelarsystem. Väggarna gjutes med glidform. Den invändiga diametern i den cylinderformade tanken är 28 m och vattendjupet är 8 m. Utanför betongen är klustrat en diffusionsspärr och isolerskikt bestående av 100 mm Foamglas. Den övriga isoleringen utgörs av ca 0,9 m mineralullsisolering i väggar och tak. Under bottenplattan består värmeisoleringen av ett 0,5 m tjockt lager av cementbunden lättklinker och därunder Foamglas med en total tjocklek av 320 mm. Noggranna studier beträffande materialvalet har visat att betongen är lämplig för lagring av vatten även vid höga temperaturer. Temperaturen i ackumulatortanken varierar mellan 95° och 40°C . Genom val av en temperatur på 95°C vid fulladdad tank har den erforderliga ackumuleringsvolymen kunnat hållas nere.

In- och utloppsanordningarna i toppen respektive botten av ackumulatorn är konstruerade för att i minsta möjliga mån störa den temperaturskiktning som erhålles.

Distributionsnätet mellan solvärmeverket och bostadsområdet är av för Växjö kommun konventionellt utförande med PEX-rör. Framledningstemperaturen blir max. 80°C och min. 50°C .

Abonnentinstallationerna innehåller konventionella villavärmväxlare för sekundärsystem. Dimensionerande temperaturer för radiatorerna är $80/50^{\circ}\text{C}$, medan för tappvarmvattenberedningen gäller primärt $50/32^{\circ}\text{C}$ och sekundärt $5/45^{\circ}\text{C}$.

Med de krav på relativt högautomatiserad drift av solvärmeverket som ställs samtidigt som ändringar av driftsförutsättningarna enkelt skall kunna förverkligas, har valts att utnyttja en överordnad styrlogik av programmerbar typ. Styrningen är anpassad så att varje möjlighet till utvinning av solenergi tillvaratas. Ur forsknings- och utvecklingssynpunkt kan omställningar av driftvärden och driftkombinationer enkelt verkställas.

Den totala investeringen i projektet uppgår till 8,14 Mkr. Av beloppet belöper sig 2,5 Mkr på solfångarna, 2,9 Mkr på byggnadsentreprenad, 0,9 Mkr på el- och VVS-entreprenader, 0,8 Mkr på övriga kostnader samt 1,0 Mkr på index och oförutsedda kostnader.

Ett särskilt utvärderingsprogram kommer att under tiden sommaren 1979-sommaren 1981 genomföras under led-

ning av professor Stig Borglin vid LTH och med medverkan från Rejlers Ingenjörbyrå. Detta utvärderingsprogram avses ge svar på följande:

- koncentrerande solfångarsystems dynamiska egenskaper
- nedsmutningens inverkan på solfångarnas verkningsgrad
- energiproduktion i förhållande till varierande klimatologiska betingelser och därmed sammanhängande reglertekniska problem
- temperaturskiktningar och störningar av dessa från bl.a. in- och utmatningsdysorna
- energi- och temperaturförhållanden i det totala värmesystemet.

Det är vår förhoppning att detta experimentbyggnadsprojekt skall bli en värdefull satsning för att föra solenergin närmare ett tekniskt och ekonomiskt utnyttjande. Fristående solvärmeverk av här redovisad uppbyggnad är möjliga att utnyttja för värme- och tappvarmvattenförsörjning i såväl befintlig som nyproducerad byggnation, där vattenburna uppvärmningssystem ingår.

13 REFERENSBILAGA

- (1) Examensarbete av Göran Olsson vid Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Mekanisk värmeteori
- (2) Rapport från Byggforskningen R19:1974
Solinstrålning och solavskärmning
- (3) Diskussioner med Lars Dahlgren, SMHI, Norrköping
- (4) Diskussioner med Bengt Perers, AB Atomenergi, Studsvik
- (5) Rapport från Byggforskningen R49:1968.
Tabeller för beräkning av solinstrålning mot byggnader
- (6) Description of the Polisolar low and high temperature solar collector systems
Polisolar AG, Bern, Schweiz
- (7) Professor P Suter, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Inst de thermique appliqué, Lausanne, Schweiz
- (8) D R Lankard, D L Birkimer, F F Fondriest och M J Snyder
Effects of moisture content on the structural properties of portland cement concrete exposed to temperatures up to 500 F
ACI Publication SP-25, pp 59-102. 1968
- (9) N Nishizawa och H Okamura
Strength and inelastic properties of concrete at elevated temperature
ACI Publication SP-34, Vol 1, pp 407-421. 1970
- (10) VAST
Betongkonstruktioner vid höga temperaturer - en översikt. 1974
- (11) T C Hansen
Creep and Stress Relaxation of concrete
CBI Handlingar nr 31, 1960
- (12) Normalbestämmelser för rör och rördelar av betong. VAV P11 1968
- (13) F M Lea
The chemistry of cement and concrete
Third ed, p 185. 1970
- (14) Biczók 1
Concrete corrosion concrete protection
Eights ed, Adadémiai Kiadó, Budapest, p 244. 1972
- (15) Se referens (14) ovan, p 156

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
770814-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Växjö kommun, Ledningsgruppen för solvärme-
verk i Växjö**

R82:1979

ISBN 91-540-3058-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600982

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms