



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

R89:1986

**Värmelager i lera för
gruppcentral i Göteborg**

**Del I Projektering för befintlig
bebyggelse**

Del II System- och kostnadsstudier

**Rune Buresten
Karl-Henrik Hofgren
Andràs Kasza**

K/O
A

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION
Accnr
Plac <i>ler</i>

Byggeforskningsrådet

R89:1986

VÄRMELAGER I LERA FÖR GRUPPCENTRAL I GÖTEBORG

Del I Projektering för befintlig bebyggelse

Del II System- och kostnadsstudier

Rune Buresten
Karl-Henrik Hofgren
András Kasza

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820787-0
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Göteborgs-
hem, Angered.

REFERAT

I Del I redogörs för en detaljprojektering av ett värmelager i lera med värmepump och vindkonvektorer för en av AB Göteborgshems blockcentraler vid Karl Staaffsgatan. Systemet skulle ge en 78% energitäckning åt 186 lgh och fungera kombinerat dels som säsonglager, dels som direkt uteluftvärmepump. Ett fullständigt förfrågningsunderlag omfattande ett 20-tal ritningar har framtagits, vilka i detalj beskriver hur anläggningen bör utformas. Ett omfattande förarbete med bl a geologiska och geotekniska provtagningar och en geoteknisk konsekvensanalys har legat till grund för den datorstödda systemdimensioneringen. Vidare ingick arkitektoniska och akustiska insatser i projekteringen för att få tekniken att smälta in i miljön.

Anbud har därefter infordrats från ett 10-tal entreprenörer. Dessa har sedan legat till grund för de jämförande kostnadskalkyler som presenteras i Del II. Där jämförs solfångare med vindkonvektor som kollektorer till ett värmelagringsystem. Dessutom jämförs lagringstekniken med andra tänkbara alternativ; i detta fall ren uteluftvärmepump med vindkonvektorer.

Slutsatsen är att enbart uteluftvärmepump ger den lägsta totala värmeproduktionskostnaden och att solfångare ger högre totala kostnader än lager med vindkonvektorer. Görts däremot en vidare ekonomisk betraktelse, sedd från elkraftleverantörens sida, så ger den vid handen att lagringstekniken vore att föredra. Den sämre värmefaktorn hos uteluftvärmepumpen medför nämligen kostnader i form av utbyggnad av distributionsnät och produktion i kol- och oljekondenskraftverk.

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

R89:1986

ISBN 91-540-4640-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

INNEHÅLL

	FÖRORD	5
	Del I PROJEKTERING FÖR BEFINTLIG BEBYGGELSE . .	7
	SAMMANFATTNING	9
1	BAKGRUND, INLEDNING	10
2	DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	12
2.1	Yttre förutsättningar	12
2.1.1	Typ, läge, storlek	12
2.1.2	Värmeanläggning	12
2.1.3	Värmeförbrukning	12
2.1.4	Tomt	12
2.1.5	Allmänna överväganden	13
2.2	Geologi, geoteknik	13
3	SYSTEMDIMENSIONERING	16
3.1	Allmänt	16
3.2	Beräkningsmodell	16
3.3	Beräkningsresultat	18
4	DETALJPROJEKTERING	21
4.1	Arkitektonisk utformning	21
4.2	Akustisk projektering	22
4.2.1	Förutsättningar	22
4.2.2	Åtgärder i byggnad	22
4.2.3	Åtgärder i installationer	23
4.3	VVS-projektering	23
4.3.1	Anpassning av befintligt värmesystem	24
4.3.2	Samkörning mellan värmepump och befintliga oljepannor	24
4.3.3	Vindkonvektorinstallation	24
4.3.4	Markackumulator	25
4.3.5	Övriga VVS-utrustningar	25
4.4	Styr och regler	26
4.5	Markarbeten	27
4.5.1	Schaktning. Återfyllning. Dränering	27
4.5.2	Neddrivning av U-slang	28
4.5.3	Uppföljning	28
5	LITTERATURREFERENSER	29
	Del II SYSTEM- OCH KOSTNADSSTUDIER	31
	SAMMANFATTNING	33
1	INLEDNING	36
1.1	Objektbeskrivning	37
1.2	Förutsättningar för analysen	37
2	VÄRMELAGER I LERA MED VINDKONVEKTORER	39
2.1	Systembeskrivning	39
2.2	Dimensionering - allmänna överväganden	39
2.3	Tekniska data	39
2.4	Investeringskostnad	40

3	VÄRMELAGER I LERA MED SOLFANGARE	41
3.1	Systembeskrivning	41
3.2	Dimensionering - allmänna överväganden	42
3.3	Tekniska data	43
3.4	Investeringskostnad	44
4	UTELUFTVÄRMEPUMP MED VINDKONVEKTORER	45
4.1	Systembeskrivning	45
4.2	Dimensionering	48
4.2.1	Effektstorlek	48
4.2.2	Dimensionering av avfrostningssystem	49
4.3	Tekniska data	51
4.4	Investeringskostnad	52
5	KOSTNADSSAMMANSTÄLLNING	53
5.1	Förutsättningar för den ekonomiska kalkylen	53
5.2	Kalkylresultat	53
6	KOMMENTAREP	54
6.1	Solfångare kontra vindkonvektorer	54
6.2	Värmelager eller sämre värmefaktor	54
7	LITTERATURREFERENSER	57
BILAGA 1	Situationsplan	58-59
BILAGA 2	Kolvborrprover - tabellsammanställning	60
BILAGA 3	Konsolideringsförsök (CRS) -diagramsammanställn.	61
BILAGA 4	Värmeledningsförmåga och värmekapacitivitet hos leran - tabell	64
BILAGA 5	Utdrag ur förfrågningsunderlagets ritningsdel	65

FÖRORD

Forskningsprojektet avser en detaljprojektering av ett värmelager i lera för AB Göteborgshems panncentral vid Karl Staaffsqatan, Hisingen, Göteborg. Projekteringen har utförts av K-Konsult, Energiavdelning i Göteborg, och utgör delar av ett förfrågningsunderlag inklusive ritningar för en utlyst totalentreprenad.

Arbetet har initierats och bedrivits i nära samarbete med AB Göteborgshem och kan ses som ett led i deras strävan att reducera sitt beroende av olja för uppvärmning.

Vidare har Institutionerna för Geologi, Värmeteknik och Maskinlära, Hagconsult AB och Thomas Lind Ingenjörer Göteborg medverkat som underkonsulter.

I samband med genomförda förprojekteringar har ett flertal forskare, fabrikanter, konsulter och driftansvariga bidragit med kostnadsuppgifter och information kring tekniska lösningar och problem.

Utredningen har koncentrerats kring problemställningar, hinder och grundläggande frågor i samband med införandet av värmelager i lera för den befintliga bebyggelsen. Kostnader och lönsamhet samt alternativa lösningar med värmepumpar och solvärme har också varit av stort utredningsintresse.

Arbetet har bedrivits i två faser och redovisas därför i denna sammanlagda rapport som dessa skilda delar:

Del I - Projektering för befintlig bebyggelse

Del II - System- och kostnadsstudier

Till alla som har varit behjälpliga i denna projektering vill vi framföra vårt stora tack.

Göteborg i juni 1986

Karl-Henrik Hofgren
András Kasza
Rune Buresten

Del I

PROJEKTERING FÖR BEFINTLIG BEBYGGELSE

VINDKOLLEKTORER, 142 st. upptar sommartid värmet från utekallningen. Kollektorerna är utförda av kopparrör med aluminiumflansar runt om. I kopparrör cirkuleras en saltlösning. Iopa fläktar krävs som värmeväxlare till rakt utblåsning. För att undvika förorening av utblåst luft tillsluts inloppet. Den pumpas sedan ner till lerlagret resp till värmebryter.

PANNKENTRALEN kommer endast att vara i drift om den inte har något annat värmebehov. Den är utrustad med ett flertal räckor till A-ölig oljeförbränning ca 30 m³ i stället för tidigare 250 m³.

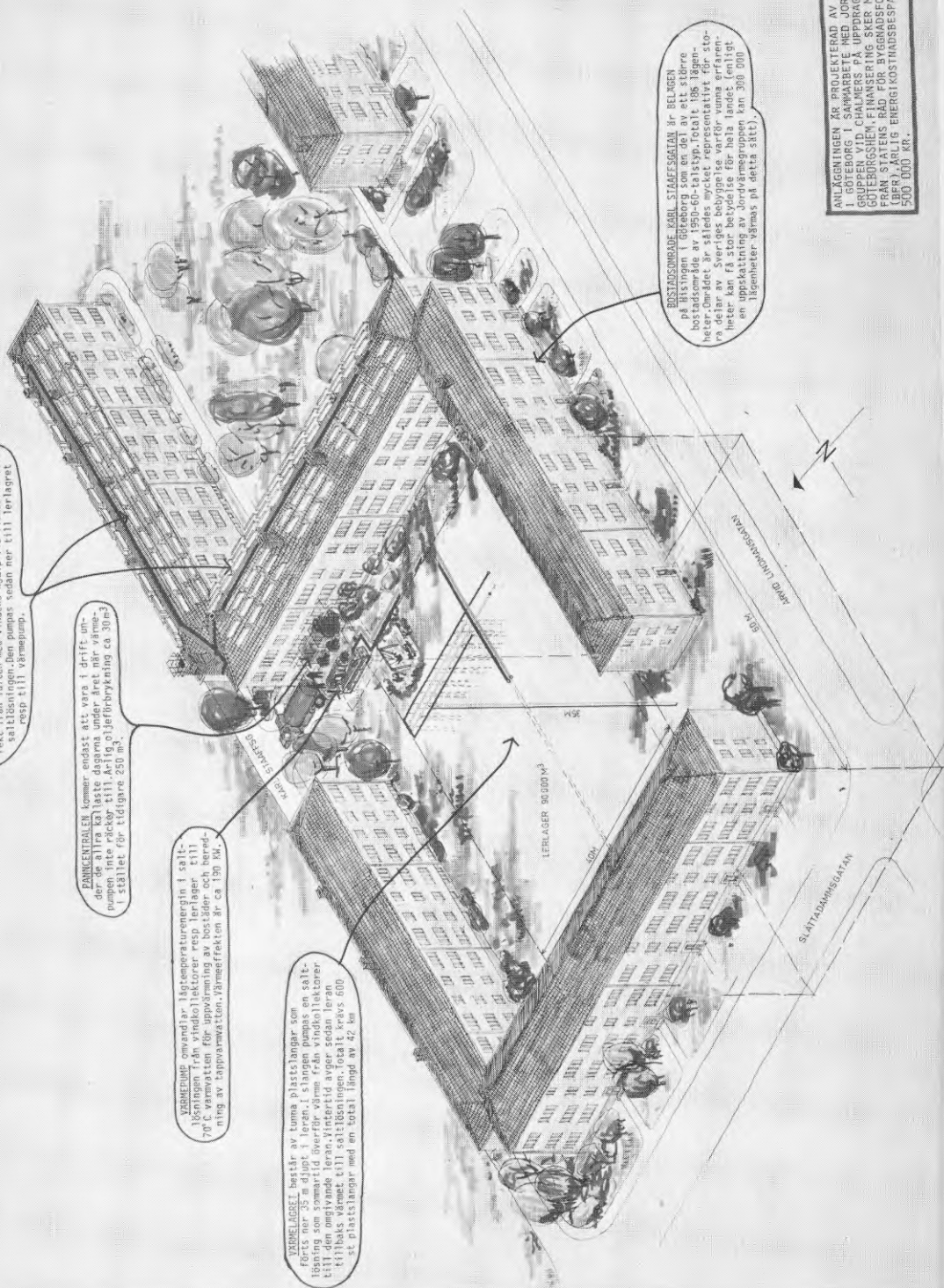
VÄRMEVÄXLE EN ÖVERDÄR I LÖPTEMPERATURERNA I SÄTT-LEVERANSKONSTRUKTIONEN FÖR UPPVÄRMNING AV BOSTÄDER OCH BEREDNING AV TAPPVARMVÄTLEN. VÄRMEEFFEKTEN ÄR CA 130 KW.

STRÅLELAGRET bestått av tunna plastskivor som förts ner 35 m djupa i leran. I slangen pumpas en saltlösning som sommartid överför värme från vindkolektorerna till den omgivande leran. Vintertid avger sedan leran tillbaks värmet till saltlösningen. Totalt krävs 600 st plastskivor med en total längd av 47 km.

LERLAGER 90 000 M³

BRISTADSGÅRDE KARL STAFFELSGATAN ÄR BELÄGEN på Hisingsborg i Göteborg som en del av ett större bostadsområde av 1950-60-talstyp. Totalt 186 lägenheter. Området är således mycket representativt för staden. Överligt bebyggelse varför denna utvärdering leder till slutsatser som kan användas för utvärdering av lägenheter på detta sätt.

ANLÄGGNINGEN ÄR PROJEKTERAD AV K-KONSULT I GÖTEBORGS SAMARBETE MED JORDVÄRMEGRUPPEN VID CHALMERS HÖGSKOLEN I GÖTEBORGS RÅD FÖR BYGNADSFORSKNING CA 1 100 000 KR. ENERGIKOSTNADSBESPARING CA 500 000 KR.



SAMMANFATTNING

En detaljprojektering av ett värmelager i lera för befintlig bebyggelse har utförts av K-Konsult, Energiavdelning i Göteborg, för en av AB Göteborgshems blockcentraler vid Karl Staaffsgatan.

Med en markackumulator om 86 000 m³ lera, en vindkonvektorinstallation av ca 10 000 m² flänsarea och en värmepump med 230 kW kondensoreffekt skulle systemet kunna ge de 186 lägenheterna en 78 %-ig energitäckning. Systemet fungerar härvid kombinerat, dels som säsongslager, dels som direkt uteluftvärmepump.

Ett fullständigt förfrågningsunderlag omfattande en entreprenadbeskrivning och ett 20-tal ritningar har framtagits, vilka i detalj beskriver hur anläggningen skulle utformas.

Ett omfattande förundersökningsarbete innefattande geologisk och geoteknisk provtagning har legat till grund för systemdimensioneringen. Vid dimensioneringen har datorberäkningar i form av ett simuleringsprogram, där förloppet analyseras timme för timme, använts.

Förkalkyler visade för denna tillämpning, att vindkonvektorer vore att föredraga framför solfångare.

Ett vindkonvektoralternativ ställer dock speciella krav på systemutformning, driftstrategi samt styr- och reglerutrustningar, vilka omsorgsfullt genomarbetats vid projekteringen.

Arkitektinsatser har även ingått i projekteringen för att utforma vindkonvektorinstallationen så att den väl smälter in i den befintliga miljön.

Vidare har en akustisk projektering utförts för att säkerställa att värmepumpinstallationen uppfyller normer och krav och ej genom buller och vibrationer stör hyresgästerna.

Arbetet har dessutom omfattat VVS-, Mark-, Bygg- och El-projektering av mer konventionell natur.

Inom ramen för projekteringsuppdraget har även en geoteknisk konsekvensanalys utförts beträffande värmelagrets påverkan på den geotekniska stabiliteten i området.

1 BAKGRUND, INLEDNING

Idén om att genomföra en detaljprojektering av ett värmelager i lera för Karl Staaffsgatan föddes ur en förstudie, utförd under ledning av Lars Jacobsson vid Avd f Husbyggnad, CTH (BFR R112:1982).

Karl Staaffsgatan ansågs lämpligt för experimentbyggnation, bla beroende på

- lämplig geologi. Ingenjörsgelogiska kartor pekade mot ett mäktigt lerlager med djup över 35 m
- lämplig fastighetstyp. Området består av 3 st 3-vånings vinkelhus, typiska för 50 - 60-talet och således mycket representativa för den viktiga befintliga bebyggelsen, varför vunna erfarenheter kunde förväntas få bred tillämpbarhet.
- lämplig storlek. Med ett effektbehov av 960 kW vid DUT och ett årsenergibehov av 2 100 MWh skulle en anläggning bli av sådan storlek att en relativt god lönsamhet kunde förväntas.

Enligt bedömningar, som bl a Jordvärmegruppen vid CTH gjort, finns det i tekniken en stor potential, ca 300 000 lgh skulle kunna uppvärmas på detta sätt.

De specifika krav, som den befintliga bebyggelsen ställer måste således övervinnas för att tekniken skall kunna leva upp till sin egen potential. Syftet med projektering och en eventuell experimentbyggnation var också att finna i dag okända tekniska stötestenar eller generaliteter i system, mark och hus vilka påverkar den tekniska och ekonomiska utformningen vid införandet av systemen.

Vidare syftade projektet till att initiera och påskynda en systematisering och standardisering av komponenter och arbetsmetoder och därigenom verka för en pressning av kostnader.

I förstudien drogs slutsatsen att, för detta objekt, vindkonvektorer av sk egenkonvektionstyp vore att föredra som värmekollektorer. Även andra riktlinjer över systemutformning såsom lagerplacering, lämplig värmepumpstorlek m m hade dragits under förstudien.

Projekteringsarbetet inleddes därför med att pröva och justera hypoteserna från förstudien.

Speciell omtanke lades på

- omfattande geologisk och geoteknisk provtagning och analyser
- arkitektonisk utformning av systemet och anpassning av komponenter till byggnadernas befintliga utseende

- styr- och reglertekniska aspekter
- säkerställande av energi- och effektbehov
- systemoptimering utgående från de klarlagda förutsättningarna

Därefter vidtog själva detaljprojekteringen. Den utformades med förutsättningen att generalentreprenad skulle gälla som entreprenadform. Ett fullständigt förfrågningsunderlag omfattande en entreprenadbeskrivning och ett 20-tal ritningar har därvid utarbetats. Där beskrivs detaljerat hur anläggningen skulle utformas inkluderande bygg, mark, el, styr, regler, VVS och alla andra erforderliga arbeten.

Till denna del hörde även utformandet av mätutrustning för uppföljning ur geotekniska och energitekniska aspekter.

Anbudsgivning och utvärdering samt ekonomiska kalkyler kommer att behandlas i rapport, del II.

2 DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

2.1 Yttre förutsättningar

2.1.1 Typ, läge, storlek

Objektet består av 3 st 3-vånings bostadshus, förval-
tade av AB Göteborgshem och uppförda under åren
1951-52, omfattande 186 lägenheter fördelade på en
total lägenhetsyta av ca 11 200 m². Husen är belägna
på Hisingen i Göteborg som en del av ett större bo-
stadsområde av 1950-60-talstyp. Detta återspeglas ock-
så i husens arkitektur och allmänna byggnadstekniska
status.

2.1.2 Värmeanläggning

Byggnaderna uppvärms medelst en oljeeldad panncentral.
Panncentralen är utrustad med tre gjutna sektionspan-
nor med två-stegsbrännare med gemensamt rökgasdistri-
butionssystem med självdrag. Pannorna är tillverkade
1961 (brännarbyte 1974). Varje panna har märkeffekten
ca 640 kW. Värmet distribueras direkt via en pump-
shuntgrupp till radiatorer, värmeväxlare för tappvarm-
vattenberedning och till tvättorkar.

Radiatorsystemets temperaturnivå är dimensionerat till
80/60°C vid DUT -16°C. Returtemperaturen till pannan
hålls dock i dag högre dels för att undvika lågtempe-
raturkorrosion i pannorna, dels för att tillgodose
hetvattentorkarnas temperaturkrav. Kompletteras an-
läggningen med eltorkar och en intern panncirkulati-
onspump kan temperaturnivån i värmesystemet sänkas.

2.1.3 Värmeförbrukning

1974, då AB Göteborgshem övertog fastigheterna, låg
den specifika oljeförbrukningen på ca 48 liter/m² ly
och år. Genom olika energisparåtgärder i panncentralen
har den specifika oljeförbrukningen kunnat reduceras
till ca 25 liter/m² ly och år.

Ur oljeförbrukningsdata och med antagande om en pann-
årsmedelverkningsgrad på 70 % har fastigheternas ener-
gibehov för ett normalår beräknats till 2 100 MWh/år.
Byggnadernas max effektbehov vid DUT -16°C har beräk-
nats till 960 kW.

2.1.4 Tomt

Fastigheterna är uppförda på ett mäktigt lerlager
(djup > 35 m). Byggnaderna inramar två gårdstomter om
vardera 70 x 50 = 3 500 m². Tillgänglig yta begränsas
i första hand av att hur nära bebyggelsen man kan
tillåta sig att trycka slang utan att byggnadens grund
påverkas.

2.1.5 Allmänna överväganden

En platsinventering gav vid handen att pannornas status var god, varför jordvärmesystemet kan dimensioneras för en optimal energitäckning med oljepannorna som tillsatsvärme vid effektbehovstoppar.

Vid inventeringen av panncentralen framkom också att värmepumpen lämpligen kan installeras i ett f d koks-förråd (se bil 2), beläget strax intill panncentralen.

En grovdimensionering visade att en gårdsyta ger ett värmelager med acceptabel energi- och effektäckning, varför marginalmerkostnaden för att dela upp lerlagret på två gårdar, och därmed öka jordvärmesystemets energitäckning, ej ansågs vara erforderlig.

2.2 Geologi, geoteknik

För att säkerställa lerans mäktighet samt för att bestämma lerans värmetekniska och geotekniska egenskaper genomfördes en omfattande geologisk provserie. Trycksonderingar genomfördes i fyra punkter ner till mellan 29 och 42 m. Två kolvborrprov togs på 6 nivåer ner till 30 m. Trycksonderingen gav stora variationer i portryck, vilket kan tyda på många olika skikt. Allt upptaget material tyder dock på homogen lera, i något fall med inblandning av fossilt material (snäckskal). Värmelednings- och värmekapacititvetsbestämningen gav ett jämnt resultat olika nivåer emellan.

Medelvärden $\lambda = 0,95 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, $c_p = 3,42 \text{ kJ/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ (se bilaga 4), vilket är ganska normala värden för Göteborgslera.

De aktuella fastigheterna är friktionspålade med 15 m långa träpålar + 3 m betongpålar. Pålplan finns. Ett kolvborrprov togs även i samband med projekteringen (1947) av fastigheterna.

Som ingångsdata till den geotekniska analysen utfördes även CRS-försök på kolvborrproven.

Temperaturvariationer i en markackumulator leder nämligen till portrycksförändringar i leran. Detta innebär en ökad belastning på jordlagren och som följd härav en konsolidering med en sättning som resultat.

Den aktuella temperaturvariationen togs från de datorsimuleringar, vilka genomfördes under dimensioneringen (se kap 2), där månadsmedeltemperaturen i markackumulatoren beräknades variera mellan $+11/+4^\circ\text{C}$.

Studerats sättningsrörelserna hos byggnaderna, dvs den lervolym som befinner sig under nedre tredjedelspunkten av pålarna, finner man efter fem år en portrycksförändring enligt figur 1. Ansätts den uppkomna portryckssänkningen som en belastning på leran fås sättningar enligt samma figur.

De årliga fluktuationerna i portrycken är vid de aktuella amplituderna så små att de knappast kan inverka på byggnadernas bestånd.

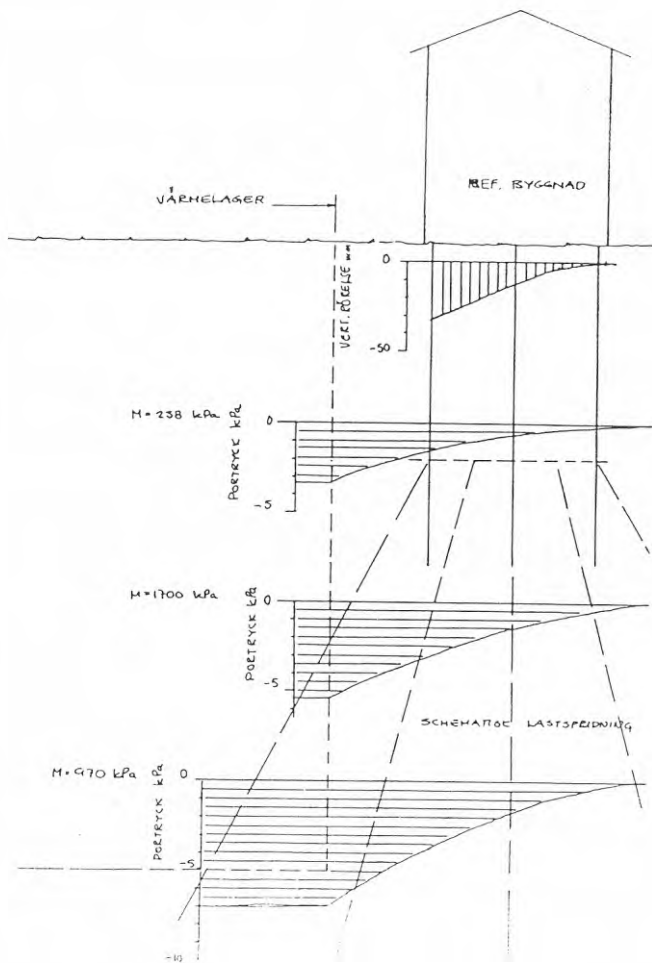


Fig 1 - Portrycksutveckling och sättningar efter 5 år förutsatt normalkonsoliderad lera

Detta under förutsättning att leran betraktas som normalkonsoliderad.

Detta är i dagens läge sannolikt en pessimistisk bedömning. Förutsätts att det aktuella portrycket är ca 10 kPa högre, dvs svarande mot en hydrostatisk vattenyta ca 2 m under markytan, kommer de aktuella sättningarna endast att uppgå till ca 10 % av de ovan redovisade.

Ur geoteknisk synvinkel kan påpekas att ett lager av den projekterade typen leder till en del förändringar av lerans egenskaper. Genom uppföljning av portryck och vertikalrörelser kan dock åtgärder vidtagas i tid för att förhindra skador på befintlig bebyggelse. Dessa åtgärder är naturligtvis förknippade med vissa kostnader, varför risktagandet mer är av ekonomisk än teknisk art.

3 SYSTEMDIMENSIONERING

3.1 Allmänt

En grovdimensionering visade att en gårdsyta ger ett värmelager med acceptabel energi- och effekttäckning, varför merkostnaden för att dela upp lerlagret på två gårdar och därmed öka jordvärmesystemets energitäckning ej ansågs vara erforderlig.

Då värmelagret skall ligga i direkt anslutning till bebyggelsen är det av största vikt att markens geotekniska egenskaper ej påverkas så att sättningar och liknande skador på fastigheterna kan uppstå. Av detta skäl bör markens temperatur ej understiga 0°C (frysrisken).

Inledande förkalkyler visade även mot att vindkonvektorer av s k egenkonvektionstyp vore att föredra framför solfångare som värmekollektorer. Främst beror detta på att tillgänglig takyta med söderläge ej är tillräckligt för att ge en tillräcklig energitäckning vid en solfångartillämpning.

Genom att vindkonvektorer arbetar med relativt små temperaturdifferenser ställs höga krav på utformning/dimensionering ur reglertekniska aspekter.

Vidare är det ytterst önskvärt, ur ekonomisk synvinkel, att vindkonvektorer och värmepump kan fungera som uteluftvärmepump samtidigt som ackumulatorn laddas.

För att sommartid ytterligare kunna utnyttja vindkonvektorerna visade det sig under projekteringen lämpligt att ansluta ytterligare en panncentral för samkörning och utökad uteluftvärmepumpdrift.

Dimensionerande för själva jordvärmesystemet blir alltså den energimängd, som kan lagras på en gårdstomt under beaktande av den tillgängliga lervolymen och de temperaturnivåer som kan tillåtas nedåt, m h t frysrisken, och uppnås uppåt i markackumulatorn vid användandet av vindkonvektorer. Därutöver kan sedan systemet producera ett "överskott" av värme i form av uteluftvärmepumpdrift. Härigenom sparas också den i marken ackumulerade energin till vinterperioden (under +4°C).

Hela detta komplexa förlopp kräver användande av dynamiska modeller och ett omfattande beräkningsarbete för att uppnå tillräcklig precision i resultatet.

3.2 Beräkningsmodell

Ett datorprogram för simulering av markvärmesystem har utvecklats av P-Å Franck vid Inst f Värmeteknik o Maskinlära, CTC. Detta program användes vid dimensioneringen av Karl Staaffsgatan. Programmet finns närmare beskrivet i bl a BFR R68:1985 och redovisas ej här.

Enkelt uttryckt kan sägas att för varje tidsintervall bestämmer programmet, utgående från varaktighetskurvor över utetemperatur och värmebehov samt tidigare driftmod, vilken driftsmod som föreligger.

Denna jämförs med tidigare driftsmod och värmebalanser/värmeutbyte beräknas var för sig för markackumulator, konvektor, värmepump/oljepanna.

Dessa beräkningar genomförs timme för timme tills dess att ett års drift har simulerats.

Att notera är speciellt

Driftstrategi

Laddning av markackumulator startar då temperaturskillnad mellan leran just utanför rören och uteluften är större än bestämt värde. Stopp av laddning vid bestämd minimal laddningseffekt. Det först nämnda kriteriet kan vara svårt att praktiskt reglera efter.

Val av driftsmod

Programmet förutsätter att laddning och värmepumpdrift uteluft ej kan ske samtidigt. När värmepumpdrift på grund av värmebehov startar förutsätts att laddning upphör. Denna förenkling leder till att programmet underskattar den faktiskt inlagrade energimängden i ackumulatoren.

Reglering av värmepump

Värmepumpen förutsätts on/off-reglerad. Även detta är en förenkling, vilken underskattar värmepumpsystemet.

Värmeväxlare i mark

Utformningen av själva värmeväxlaren som en U-slang är svår att matematiskt behandla. I programmet idealiseras denna U-slang med ett vertikalt rör där diametern valts till 8 cm. Genom fältförsök vet man att denna generalisering leder till acceptabla beskrivningar av värmeväxlingsförloppet. En viss avvikelse från beräkningsresultat är dock att förvänta.

Varaktighetsdiagram

För att uttrycka värmebehovet som funktion av utetemperatur används ett generellt varaktighetsdiagram där värmebehovet uttrycks i procent av ett beräknat topp-effektbehov. Ett sådant effektbehov kan vara svårt att fastställa. Dessutom skiljer sig ett specifikt objekt från en generell kurva. Detta leder självfallet till osäkerhet i beräkningsresultat.

Indata

Som indata till datorprogrammet anges:

- Grunddata över markens värmetekniska egenskaper (c_p, λ)
- Grunddata över värmesystem (80/60-system 960 kW vid DUT)
- Grunddata över värmepump (kapacitet, förångnings- respektive kondenseringstemperatur, förångar- respektive kondensorytor)
- Ackumulatorns utförande (c/c borrhål, utbredning och djup)

Utdata

Programmet beräknar därefter:

- Energitäckning
- Värmefaktor hos värmepump
- Erforderlig vindkonvektor (uttryckt i k . A)
- Utgående brinetemperatur från värmepumpen (tidsmedelvärde och extremvärde)
- Marktemperatur på olika nivåer och avstånd från slang (tidsmedelvärde och extremvärde)

3.3 Beräkningsresultat

Efter att ett antal simuleringar genomförts, olika parametrar känslighetsprovats och hänsyn tagits till praktiska projekteringsproblem framtofs följande lösningsförslag:

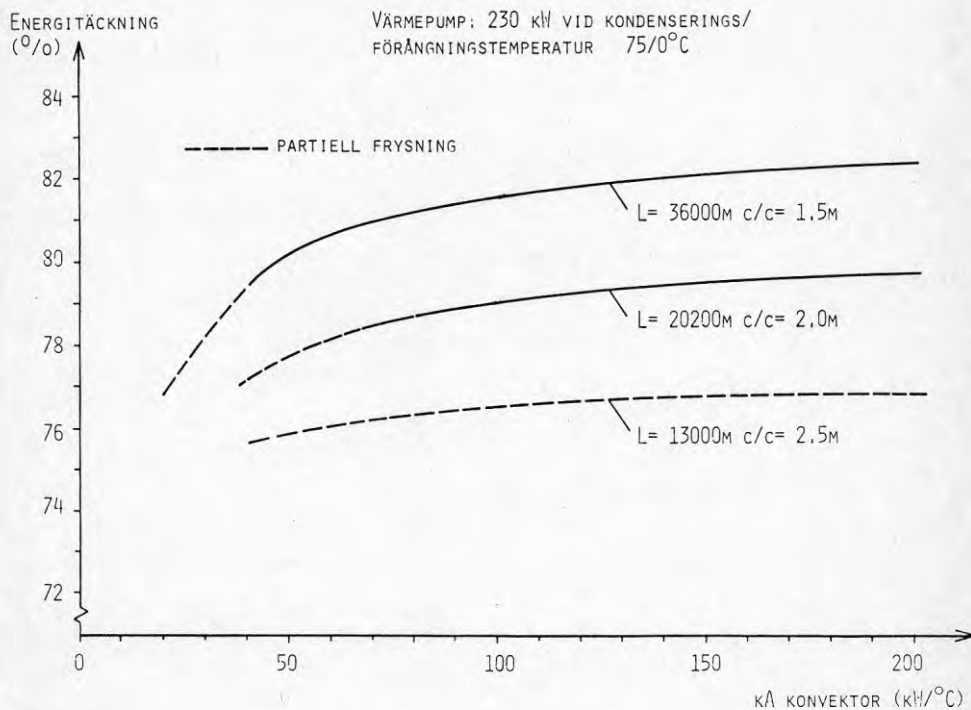
Energitäckning	78 % (56 %) *
Konvektorbehov	10 000 m ² flänsyta
k-värde, konvektor	10 W/m ² °C
Meter U-slang	20 200 m
c/c borrhål	2,0 m
Akkumulatorvolym	86 000 m ³
Neddrivningsdjup	35 m
Värmepumpens kondensoreffekt	230 kW vid +75/+0°C
Värmefaktor	ca 3,1
Medeltemperatur i mark max/min	+11/+4°C

- * 56 % avser energitäckningen för ett helt sammanslaget system PC Karl Staaffsgatan/PC Arvid Lindmanskagan beräknat på den totala energiförbrukningen

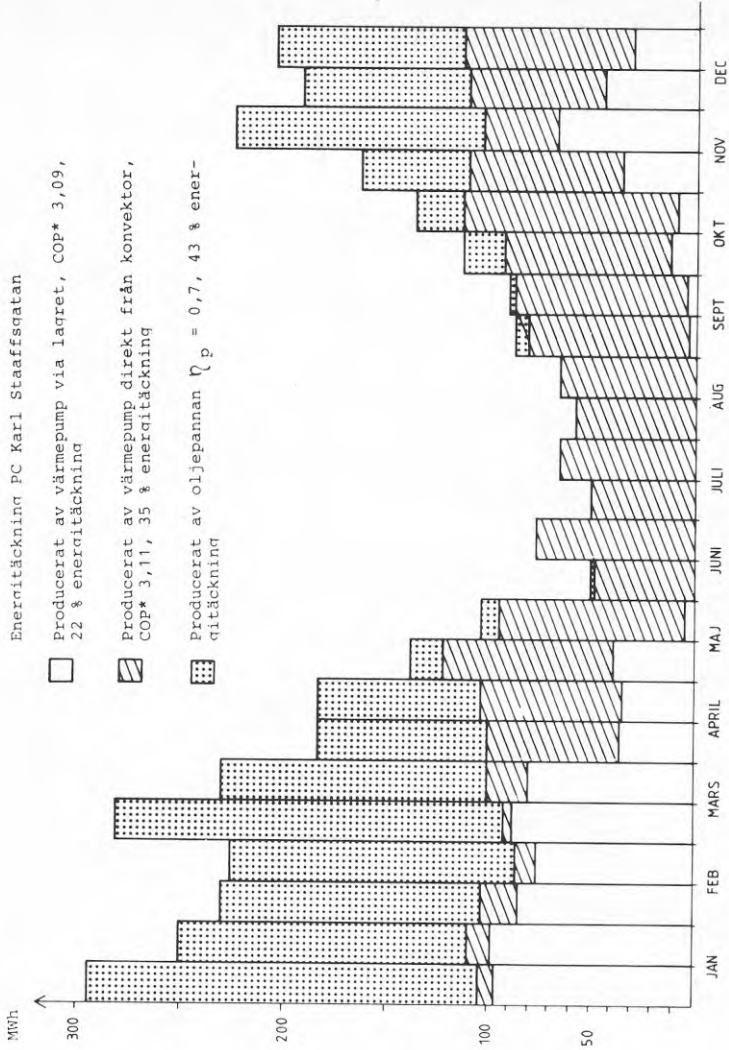
Kommentarer

Vid optimeringen kunde följande slutsatser dras kring systemutformningen.

- Skillnader i värmefaktor mellan olika alternativ i det närmaste betydelselösa
- Tätare placering av U-rör minskar risken för fryshet men påverkar i ännu högre grad anläggningskostnaden
- Effekt av utökning av kollektoryta tenderar att plana ut (se även figur 2).



Figur 2 - Energitäckning som funktion av kollektoryta och borrhålsavstånd vid i övrigt konstanta förhållanden



* Värmeeffektivitet inkl även drivenergi till cirkulationspumpar m m

Tabell 1 - Energislagens fördelning månadsvis för ett sammanslaget system

4 DETALJPROJEKTERING

4.1 Arkitektonisk utformning

Byggnaden är 3-vånings bostadshus, byggda åren 1951-52, med putsade fasader och rött tegeltak. Skorstenarna är murade av tegel, plåtdetaljer på tak (luckor, skorstbeklädnad) rödmålade.

Uppgiften var att placera ut 150 vindkollectorer på två, i vinkel sammanbyggd byggnadskroppens tak.

Kollectorerna är vanliga standardkylbatterier med måtten $l \times h \times b = 3\ 000 \times 600 \times 150$. Rören är av koppar, flänsen eller lammen består av aluminium.

Bärkonstruktionen är av varmförzinkade plattjärn typ takbrygga enligt SIS standard kompletterad med L-profiler. Vidare placeras på taket takbrygga och takstege och kabelstege för att bära ledningar till och från kollectorer och för att tillgodose tillgänglighet till alla kopplingar och ventiler.

Vid placering av vindkollectorerna beaktades med stadsarkitekten följande:

- Inga av kollectorerna bör stå högre än taknocken.
- Gruppering av kollectorer skall eftersträvas med enhetligt mellanrum och hänsyn skall tas till befintliga skorstenar.
- Ej mer än 3 rader kollectorer på varje takhalva för att undvika en alltför nära placering till hängrännan och därmed direktsyn från gatan nedanför.

För funktionell lösning beaktades följande:

- Kollectorer placeras bakom varandra så att vindskugga ej uppstår.
- Gruppering skall göras så att enkel koppling mellan kollectorer och huvudledningar på kabelstegen kan utföras.
- För inspektion av kollectorer, kopplingar och ventiler skall anordnas tillfresställande och säkra takbryggor och stegar.
- Befintliga takstolars och takluckors placering för montering av kollectorerna.

Vid beaktande av alla dessa krav, önskemål och förutsättningar resulterade lösningen i 143 vindkollectorer i stället för 150.

Vidare har föreslagits att kollectorerna får plåtbe-teckning, gavlar och alla stöddetaljer såsom bärkonstruktion, takbrygga, takstege och kabelstege målas rött lika befintliga plåtdetaljer på taket.

4.2 Akustisk projektering

4.2.1 Förutsättningar

Värmepumpen skall placeras i ett f d kolförråd i anslutning till panncentralen. Kolförrådet ligger ned-sänkt i marken vid sidan av panncentralen. Ovan panncentralen ligger lägenheter. Därvid skall risken för ljud och vibrationer beaktas för att uppfylla gällande krav och i övrigt undvika störningar i bostäderna och i omgivningen.

Ljudnivån från värmepumpen skall vara lägre än 30 dB(A) i lägenheternas sovrum och vardagsrum och lägre än 40 dB(A) utomhus vid lägenhetsfasader. (Kraven är enligt Svensk byggnorm SBN-82, kapitel 34 och Naturvårdsverkets riktlinjer för industribuller utomhus, 1978:5.)

Installationer får ej ge störande vibrationer i byggnaden eller hörbart stomljud.

Då ljudet kan ha karaktär av hörbara toner gäller 5 dB striktare ljudkrav.

Värmepumpen är av typen STAL VMP 116 utan ljudhuv med dimensionerande ljuddata enligt tillverkaren:

Oktavband	Ljudeffektnivå	
31,5 Hz	67 dB	Total ljudnivå
63 "	71 "	80 - 85 dB(A)
125 "	82 "	på ca 1 m avstånd
250 "	94 "	
500 "	86 "	
1 000 "	86 "	
2 000 "	85 "	
4 000 "	82 "	
8 000 "	78 "	

Byggnadsstomme av betong med ytterväggar av lättbetong. Lock i värmepumprummets tak mot omgivningen typ Elkington Gatic L med 50 mm betongfyllning.

4.2.2 Åtgärder i byggnad

Värmepumprummet klädes invändigt med 10 cm tjocka mineralullsskivor på minst 2/3 av vägg- och takytorna. Ytskikt av stapelfiber eller skyddande sträckmetallnät för att öka hållfastheten.

Branddörren mot pannrummet förses med tättslutande gummilister eller motsvarande.

Locket i värmepumprummets tak utförs tätt med god passning och med tätande fett, gummipackningar eller dylikt.

4.2.3 Åtgärder i installationer

Värmepumpen monteras på ett tröghetsfundament med vibrationsisolering mot den befintliga bottenplattan enligt följande:

Ett betongfundament gjuts med måtten ca 1,6 x 3,0 x 0,5 m³. Det kan formsättas på platsen eller göras med standardram. Fundamentet ställs på fyra stålfjäderdämpare, vardera dimensionerade för ca 30 mm nedfjädring av den statiska lasten från fundament plus kompressor.

Kompressorn ställs stunt mot fundamentet.

Pumparna monteras stunt på betongplintar som understöds elastiskt mot bottenplattan med 10 mm nedfjädring på grund av den statiska lasten.

Kompressorns köldbärarledningar förses med elastiska kompensatorer av rostfritt material, monterade i böj.

Kompressorns vattenledningar förses med elastiska metallbälgar med längdbegränsare eller med mjuka gummi-bälgar. Gummibälgar bör tillverkas av vulkad gummi-slang med tillräcklig tryckhållfasthet.

Alla ledningar till kompressor och pumpar monteras elastiskt i tunga delar av byggnaden. Stumma infästningar och genomföringar får ej förekomma.

Elkablar etc utförs elastiskt mellan aggregat och byggnad.

4.3 VVS-projektering

Huvudlinjer vid framtagandet av systemlösningen har varit att värmepumpen skall kunna arbeta direkt mot konvektorerna som en luftvärmepump (40 % av energin tas direkt ur luften). Vidare bör systemet byggas så att lämpligaste laddningsstrategi kan användas. Under våren skall systemet först arbeta som luftvärmepump och inte börja ladda för tidigt, vilket bara leder till ett sommaröverskott, som ej kan utnyttjas.

Som tidigare har nämnts är det också av vikt att laddning av markackumulator kan ske samtidigt med uteluft-drift av värmepumpen.

Dessutom skall det befintliga värmesystemet anpassas till värmepumpdrift. Speciella krav ställer dessutom det ringa tillgängliga utrymmet för installationen. Just vid projektering för befintlig bebyggelse är det därför av största vikt att en detaljlösning ordentligt prövats och genomarbetats.

I bilageform har ett urval av förfrågningsunderlagets ritningar presenterats. Dessa illustrerar väl detta kapitel och läsaren bör hela tiden följa med genom att veckla ut någon lämplig ritning och parallellt med texten studera den.

I förfrågningsunderlaget har dessutom i detalj dessa lösningar specificerats vad det gäller dimension, fabrikatval m m.

4.3.1 Anpassning av befintligt värmesystem

Dessa åtgärder är visserligen objektspecifika men krävs vanligen vid värmepumpinstallationer i befintlig bebyggelse. De åtgärder, som krävdes för Karl Staaffsgatans del var:

- Ombyggnad av tappvarmvattensystemet från direktväxling till växling och ackumulering av tappvarmvatten.
- Utbyte av hetvattentorkar i torkrum. Dessa ersätts med torktuflare med inbyggd kondensatkylare. Nödvändigt för att kunna sänka temperaturnivån i värmesystemet och möjliggöra utetemperaturkompensering av framledningstemperaturen.
- Komplettering av expansionskärl och tryckhållningssystem.

4.3.2 Samkörning mellan värmepump och befintliga oljepannor

Värmepumpen ansluts till värmesystemets returledning på så sätt att värmepumpen står för grundvärmets och att oljepannor eller behov står för tillsatsvärme. Härvid krävs en del utrustningar och kompletteringar av befintliga anläggningar.

- Ny väljarcentral för samkörning värmepump/oljepannor
- 3-vägs blandningsventil installeras för spetsning med oljepannor. Lämplig blandningstemperatur styrs via utetemperaturen.
- En intern pumpkrets för cirkulation över pannorna installeras. Detta för att hålla returtemperaturen in till pannorna på en tillräckligt hög nivå så att inte lågtemperaturkorrosion uppstår i pannorna.

4.3.3 Vindkonvektorinstallation

Som vindkonvektor valdes eget konvektionsbatteri för kyl- och frysrum. Vindkonvektorns kapacitet är främst beroende av lufttemperatur, luftens strömningsbild och hastighet. Enligt Jacobsson "Vindberoende konvektorer för värmepumpsystem i befintlig bebyggelse" BFR R82:1982 kan för fastigheter typ Karl Staaffsgatan ett k-värde kring 10 - 15 W/m² °C förväntas. Vid projekteringen valdes det lägre värdet 10 W/m² °C. Utformningen av konvektorerna påverkas dessutom av kostnader för takomläggning, arkitektoniska aspekter, rördragningskostnader och hållfasthetsskäl.

Vindkonvektorerna placeras på taket till fastigheten, villken rymmer panncentralen (se situationsplan). De placeras stående i tre led för att ej "skugga" varandra för vinden i horisonbtell riktning.

Konvektorerna monteras i batterier med måtten

L = 3 m
 B = 0,150 "
 H = 0,6 "

Kylarean/batteri är 67,5 m². Flänsarna sitter med 8 mm delning. Materialet är aluminium, rören av koppar. För att undvika spaltkorrosion epoxieloxeras flänsytan.

Batterierna sammankopplas enligt Tiselmann's princip i grupper om sex batterier. Samlingsledningar och ventiler utförs i PEL-plast (stål och kopparrör bör ej blandas direkt). Via en kulvertledning, förlagd efter ytterak och yttervägg, leds därefter brinen till värmepumprummet. Se även ritningsunderlaget i bilaga 5.

4.3.4 Markackumulator

Denna del avser projekteringar ur VVS-tekniska aspekter.

Markackumulatorm beskrivs vidare, vad det gäller anläggningsarbeten, i kap 4.5.

Markackumulatorm utförs genom att 600 st U-skänklar neddrivs i marken till ett djup av 35 m. Dessa U-skänklar, utförda i PEM-plast, sammankopplas i ett Tiselmanns system så att jämn flödesfördelning uppnås. 10 st skänklar bildar en grupp. Varje grupp sammandrages till en ventilkammare, totalt 5 st ventilkammare. I ventilkammaren placeras avstängningsventiler, avluftningsventiler för att underlätta inspektion, drift och underhåll. Vidare förses varje samlingsrör med snabbkoppling för slanganslutning. Ventilkamrarna ansluts via en gemensam samlingsledning till värmepumprummet.

Hela installationen utförs i tryckklass PN 10. Varje U-skänkel tryckprovas innan sammankoppling sker. Efter färdigt arbete tryckprovas dessutom hela ackumulatorm.

U-skänkeln muffsvetsas till gruppsamlingsledningen. Övriga förbindelser utförs med standardkopplingar. Alla ventiler, kopplingar m m i PEM.

4.3.5 Övriga VVS-utrustningar

Vidare krävs en del övrig VVS-utrustning för hantering av brinelösning. Dessutom skall anläggningen förses med mätutrustning för uppföljning.

För hantering av köldbärare (24 % CaCl_2)

- Spädningsutrustning inklusive doserpump och pH-mätare
- Tryckhållningssystem inklusive expansionskärl av kompressortyp för upptagande av volymförändringar i köldbärare

Värmemängdsmätare av induktiv typ för kontinuerlig registrering monteras för mätning av

- totalt från panncentralen avgiven värmemängd
- från värmepumpens kondensator avgiven värmemängd
- från lagret avgiven värmemängd
- från konvektorn avgiven värmemängd

4.4 Styr och regler

Styrningen av vindkonvektorer, värmepump och markackumulator kan beskrivas med följande 5 driftfall:

Fall I: Värmet tas från konvektorer och avges till värmepumpens förångare.

Akkumulatortemperatur överstiger konvektor-temperatur (fulladdat) samtidigt som konvektor-temperatur är tillräcklig för att försörja värmepumpen. Detta inträffar under hösten.

Under våren tas dessutom värmet direkt från konvektorn påbjudet av laddningsstrategin.

Fall II: Värmet tas från konvektorer för laddning av ackumulator och för värmepumpdrift.

Normalt laddningsförhållande

Fall III: Värmet tas från konvektorer för laddning av ackumulator. Ingen värmepumpdrift.

Ett s k semesterfall.

Fall IV: Värmet tas från ackumulator och avges till värmepumpens förångare.

Normal vinterdrift.

Fall V: Vila

De olika driftfallen kopplas in respektive ut efter förändringar i utetemperatur, värmebehov och temperaturdifferensen mellan ackumulatorretur och konvektorretur (redogörs i detalj i förfrågningsunderlaget).

Värmepumpen kapacitetsregleras på köldbärarsidan mot inställt värde på utgående köldbärartemperatur +10C (variabelt gränsvärde). Detta för att undvika frysning i markackumulatorn.

På värmebärarsidan följer värmepumpen utetemperaturkompenseringen av framledningstemperaturen.

Inkoppling av värmekälla (värmepump, pannor) sekvensstyrs enligt följande:

Steg 1: Värmepumpen kapacitetsregleras.

Steg 2: Motorventil RV-5 öppnas modulerande och panna 1 tillåts starta (se principschema bilaga 5)

Steg 3: Panna 2 tillåts starta

Steg 4: Panna 3 tillåts starta

Observera, att ordningsföljden mellan pannor skall vara valfri och kunna bestämmas i förväg.

Den utetemperaturkompenserade framledningstemperaturen styr sekvensen.

Inkoppling av värmekälla anpassas efter det rådande behovet.

Värmestegen kopplas in respektive ut efter avvikelser i framledningstemperaturen.

När flödet i kondensor- respektive förångarledning upphör blockeras värmepumpen.

Hela detta relativt komplexa styrprogram löses i dag enklast med ett mikrodatorbaserat styr- och regler-system.

4.5 Markarbeten

Gårdstomen där ackumulatorn är tänkt att förläggas består i dag av en 60 x 40 m gräsbevuxen yta. Ytan är i det närmaste plan, Två mindre träd är planterade mitt på tomt. I närheten av träden finns en lekplats.

Träden måste avverkas. I övrigt skall gården återställas i befintligt skick.

4.5.1 Schaktning. Återfyllning. Dränering m m

Arbetet inleds med att jordlagret bortschaktas och själva lerlagret friläggs. Efter det att slang- och rörsystemet utförts återfylls till tidigare nivå.

Kring U-skänkel sprutas ett lager med Leca-kulor. Förfarandet ansågs lämpligt för att skapa ett skikt där rörelser i slang och rör, på grund av temperaturvariationer, kunde vara möjligt. I tidigare anlagda lager hade brott förekommit i svetskopplingen mellan U-skänkel och samlingsrör, troligen orsakade av temperaturspänningar. Ett sådant brott leder till att en grupp (10 st U-skänklar) måste bortkopplas. En efterkalkyl har dock pekat mot att Leca-kulor är för kostsamt, varför ett annat material vore att föredra.

Ovan skiktet med Leca-kulor läggs en fiberduk som ett tätningslager mot fukt. Därefter återschaktas ett matjordlager och sås gräs.

Matarledningarna och ventilkammaren läggs i en grusbädd. Under matarledningarna och runt hela ackumulatören läggs dräneringsrör.

4.5.2 Neddrivning av U-slang

I projekteringsfasen specificerades aldrig närmare sättet för neddrivning av U-slang. Detta bottnade i att den då enda kända metoden var patentskyddad. För att undvika låsningar kring detta och för att stimulera till metodutveckling bland entreprenörer valdes en allmännare funktionsbeskrivning för denna detalj.

4.5.3 Uppföljning

För att säkerställa att inga skador uppstår på fastigheterna i samband med neddrivningsarbetet innefattade beskrivningen ett omfattande program för vibrations- och rörelsemätning.

Före byggstart skall kring byggområdet skapas ett referenssystem befäst i minst tre referenspunkter.

För kontroll av vertikala och horisontala rörelser i byggnader skall dessa förses med 10 st kontrollpunkter, se situationsplan bilaga 1.

Som tidigare har nämnts kan en markackumulator genom sina temperaturvariationer ge upp till portrycksförändringar. Dessa portrycksförändringar kan i ogynnsamma fall leda till snedsättningar av omkringliggande byggnader.

För att i tid kunna vidta erforderliga åtgärder är det därför lämpligt att följa upp portrycksförändringar och vertikalarörelser. Denna mätning bör pågå 2 - 5 år. Därefter kommer portrycksförändringar att dämpas ut.

5 LITTERATURREFERENSER

- 1 Jordvärmesystem med värmepump i befintlig och ny bebyggelse
Lars Jacobson, BFR R112:1982
- 2 Miljökonsekvenser av värmeutvinning och värmelagring i mark och vatten.
Miljökonsekvensgruppen BFR G2:1983
- 3 Att utvinna och lagra värme i mark och vatten. Juridiska aspekter.
Brink m fl BFR T44:1982
- 4 Vindberoende konvektorer för värmepumpsystem i befintlig bebyggelse
Lars Jacobson, BFR R82:1982
- 5 Mikroklimat och luftväxling
Kamal Handa m fl BFR T3:1979
- 6 Värmekollektorer för värmepump
Ahlfors m fl - projektarbete vid Maskintekniklinjen, CTH 1981
- 7 Värmepump med energistapel
Bäckström m fl, BFR 140:1981
- 8 Värmelagers roll i energisystem. Beräkningsmetoder
B Svedinger, BFR R68:1985
- 9 Sunclay-projektet. Förprojektering av Lind-älvsskolan i Kungsbacka
G Hultmark, BFR R38:1980
- 10 Solvärme med säsongslagring i lera för 500 hus i Kristianstad
E Green m fl, BFR R35:1983
- 11 Användning av mark som värmekälla för värmepumpar i tätort. Översiktliga tekniska-ekonomiska bedömningar. Jordvärmegruppen. BFR R149:1980
- 12 Vindklimatiska studier vid planering av bostadsområden. K Dubinski BFR R29:1980

Del II

SYSTEM- OCH KOSTNADSSTUDIER

SAMMANFATTNING

	VÄRMELAGER			
	Vindkonv	Solf 1*	Solf 2**	Uteluft
Energitäckning %	78	61	45	65
Värmefaktor	3,0	3,3	3,3	2,4
Naturvärme, MWh	1092	893	659	796
Kapital, kkr/år	311	316	316	202
Energikostnader:				
El, kkr/år	136	97	71	142
Olja, kkr/år	130	231	326	207
DoU (1,5 %), kkr/år	52	53	53	34
Summa årskost- nader, kkr/år	629	697	766	585
Specifik, öre/kWh	30	33	36	28

* Solfångare med prestanda 550 kWh/m² och år

** Solfångare med prestanda 400 kWh/m² och år

Tabell 1 - Resultatsammanställning

Ovanstående tabell är resultatet av en jämförande objektspecifik kalkyl mellan

- värmelager med vindkonvektorer
- värmelager med medeltemperatursolfångare
- uteluftvärmepump med vindkonvektorer

Objektet, PC Karl Staaffsgatan, en oljeeldad panncentral, vilken uppvärmer 3 st 3-våningshus om totalt 186 lägenheter, får anses väl kunna representera landets fastighetsbestånd från 50- och tidigt 60-tal. Erfarenheter och problemställningar från studien kan således ha ett gott allmängiltigt värde.

För det första alternativet, värmelager med vindkonvektorer, har ett fullständigt förfrågningsunderlag framtagits och bindande anbud infordrats från ett 10-tal entreprenörer.

Syftet med studien var att utifrån detta grundalternativ, kostnadsmässigt verifierat av anbud, utvärdera lämpligheten och lönsamheten för några lager- och värmepumpapplikationer vid Karl Staaffsgatan. Härvid finns två huvudfrågor

- dels att sätta själva lagringstekniken mot andra tänkbara värmepumpar, i detta fallet uteluftvärmepump och därvid belysa problematiken kring avfrostning-värmefaktor-värmelager
- dels att genom en s k bandbreddsanalys undersöka huruvida sölfångare vore att föredra som kollektorer till ett lagersystem. Bandbreddsanalysen används för att undersöka lönsamheten även för ett optimistiskt beräknat solfångaralternativ. Därigenom kan ett sannolikt utfall gentemot vindkonvektorer närmare bedömas.

Vi jämförande bedömningar används ofta olika specifika kostnadsuppgifter för kalkylering av en förväntad investeringskostnad. Det är då lätt att man förbiser den objektspecifika hinderbiten vid införandet av teknikerna.

För att få fram ett säkrare kostnadsunderlag har därför även alternativen med solfångare och uteluftvärmepump väl genomarbetats.

Detta arbete har innefattat grundläggande dimensioneringar, framtagande av funktionella systemlay-outer och kopplingsschemor, dimensionering av viktigare detaljer och komponenter. En omfattande kalkylering av El-styr-regler-, Bygg-, Mark- och VVS-arbeten ingår även.

Resultatet av studien är att uteluftvärmepump ger den lägsta specifika årskostnaden för uppvärmning. För ett lagringsalternativ är vindkonvektorer att föredra framför solfångare.

Det som främst negativt påvekrar solfångaralternativet är:

- Tillgänglig solfångaryta (söderläge) är för liten och för utspridd i detta objekt.
- Energiproduktion per m^2 solfångare. Det i kalkylen använda värdet $550 \text{ kWh}/m^2$ och år är ett mycket högt värde, vilket aldrig uppmätts i Sverige.

Att värmelager med vindkonvektorer inte helt kan jämföras med ren uteluftvärmepump beror främst på:

- Markackumulatören blir till storleken omfattande beroende på de låga temperaturnivåer som vindkonvektorn arbetar med. Tekniken för anläggande av markackumulatörer behöver även förbättras och rationaliseras för att systemet kostnadsmässigt skall kunna konkurrera.

- Komplexiteten i styr- och reglersystem blir för VVS-området ovanligt hög m h t de många olika driftfall och styrvillkor som krävs för att erhålla hög energitäckning.

Slutsatsen blir att den högre kapitalkostnaden för värmelagret inte fullt ut motiveras av högre värmefaktor, högre energitäckningsgrad, åtminstone inte sett från en abonnent och vid rådande energipriser.

En faktor, som skulle gynna värmelagret, vore införandet av säsongdifferentierade eltaxor. Under vintersäsongen leder nämligen värmelagret till betydligt högre marginella värmefaktorer.

Görs en vidare ekonomisk betraktelse, sett från elkraftleverantörens sida, fås ett mycket intressant resultat, vilket talar för lagringstekniken.

Skillnad i marginell värmefaktor kommer under 1990-talet att belasta elsystemet på två sätt:

- ökad produktion i kol- och oljekondenskraftverk
- ökad effektbelastning på eldistributionsnätet, vilket leder till ny- och ombyggnad av detsamma.

Om lagringstekniken skulle få en omfattning motsvarande potentialen (enligt Jordvärmegruppen vid CTH skulle ca 300 000 lägenheter kunna uppvärmas på detta sätt) skulle denna skillnad i värmefaktorn få en betydande inverkan. Se nedanstående tabell där årliga kostnader, vilka belastar elkraftleverantören, presenteras:

	För landet (milj kr/år)	Karl Staaffsg (kkkr/år)
Ombyggnad distributionsnät R = 3 % L = 15 år	75	0 - 45
Elkraftproduktion	138	85
Summa	210	85 - 130

Tabell 2 - Elkraftleverantörens kostnader för kompen-
sation av sämre värmefaktor vid tillämp-
ningen med uteluftvärmepump

För en elkraftleverantör innebär således ett lager kontra en uteluftvärmepump väsentliga kostnadsbesparingar.

1 INLEDNING

På uppdrag av BFR och AB Göteborgshem har K-Konsult detaljprojekterat ett system för värmelagring i lera med vindkonvektorer som värmekollektorer. Ett fullständigt förfrågningsunderlag har framtagits och bindande anbud har inforrats från ett 10-tal entreprenörer. Med dessa som grund har AB Göteborgshem sökt experimentbyggnadslån för uppförandet av en fullskalig försöksanläggning.

Under remissbehandlingen har framkommit ett behov av jämförande analyser, varför K-Konsult, på uppdrag av BFR, genomfört alternativa studier över det tekniska/ekonomiska utfallet vid

- a) Medeltemperatursolfångare som värmekollektorer
- b) ren uteluftvärmepump, dvs vindkonvektorer utan värmelager.

Dessa alternativa studier samt en allmän genomgång av tidigare aktiviteter presenterades på ett möte hos BFR 841030.

Då studien, genom ett praktikfall, belyser problematiken kring avfrostning-värmefaktor-värmelager ansågs den besitta ett sådant allmänt värde att det vore angeläget med en publicering i form av en forskningsrapport.

Vid jämförande bedömningar används ofta olika specifika kostnadsuppgifter för kalkylering av en förväntad investeringskostnad. Det är då lätt att man förbiser den objektspecifika hinderbiten för införandet av teknikerna i den befintliga bebyggelsen.

Karl Staaffsgatan får väl anses kunna representera landets fastighetsbestånd från 50- och tidigt 60-tal, varför problemställningar och erfarenheter kan anses ha ett gott allmängiltigt värde, speciellt för konvertering av oljeeldade blockcentraler med hjälp av värmepumpsteknik och alternativa energikällor.

Genom studierna syftas också till att själva lagringstekniken sätts in i ett samband kontra andra alternativa värmepumpapplikationer.

För varje teknikgren och systemlösning finns i de flesta fall en nisch där olika förutsättningar och parametrar skapar ett optimum.

En av idéerna var att pröva just om Karl Staaffsgatan (och för Karl Staaffsgatan typiska objekt) skulle kunna utgöra en sådan nisch för lagringsteknik och vindkonvektorer.

Studierna innefattar grundläggande dimensioneringar, framtagande av funktionella systemlay-outer och principkopplingsschemor, dimensionering av viktigare detaljer och komponenter. En omfattande kalkylering av El-, Styr-, Bygg- och VVS-arbeten ingår även.

Detta för att få fram ett säkrare kostnadsunderlag än vid användandet av olika specifika kostnader.

Sådana specifika kostnader visar sig nämligen ofta bli felvisande, speciellt vid överföring mellan nybyggnation och befintlig bebyggelse.

Därefter görs en jämförande lönsamhetskalkyl där kapital-, energi- och DoU-kostnader preliminärt fastslås.

För solfångaralternativet genomförs dessutom en bandbreddsanalys i syfte att undersöka lönsamheten även för ett optimistiskt beräknat alternativ.

Därigenom kan ett sannolikt utfall närmare bedömas gentemot vindkonvektoralternativet (vars investeringsbehov baserar sig på inkomna anbud).

FoU-metoden blir således att, utifrån ett grundalternativ (kostnadsmässigt verifierat av anbud) utvärdera lämpligheten och lönsamheten för några lager- och värmepumpapplikationer vid PC Karl Staaffsgatan.

1.1 Objektbeskrivning

Se del I. Där redovisas såväl uppgifter om läge, storlek, värmebehov som resultaten från omfattande geologiska och geotekniska undersökningar baserade på 2 st kolvborrprover och 4 st porttrycksönderingar.

1.2 Förutsättningar för analysen

Tillgänglig takyta (söderläge) för solfångare begränsar studien till att endast gälla värmeförsörjning av PC Karl Staaffsgatan, dvs ursprungsalternativet för vindkonektorsystemet, utan kulvertsammankoppling med PC Arvid Lindmansgatan, se bifogad situationsplan.

I tillämpliga delar baseras kostnadskalkylen på inkomna anbud, vilka därefter indexreglerats till nivå mars 1985. Härigenom får kalkylerna anses besitta en ovanligt hög precision och säkerhet i resultat.

Alla kalkyler är exklusive moms, projektering och byggadministrativa kostnader.

Då uppgiften bl a avsåg att genom en breddbandsanalys spalta in var solfångare kostnadsmässigt skulle kunna hamna vid en jämförelse med vindkonvektorer, gjordes vid osäkerhet alla val till solfångarens fördel.

Vid tillämpningen med ren uteluftvärmepump valdes att studera egenkonvektionsbatterier (vindkonvektorer) utan påtvingad strömning. Fläktar ansågs, i detta utsatta läge, ge upphov till störande buller.

2 VÄRMELAGER I LERA MED VINDKONVEKTORER

2.1 Systembeskrivning

Systemet är i stort identiskt med det i del 1 presenterade alternativet över ett värmelager i lera med vindkonvektorer. Vad som skiljer är att ingen kulvert-sammankoppling sker med PC Arvid Lindmansgatan. Härigenom förskjuts tyngden något i systemet, från ute-luftvärmepump till värmelager. Andelen baslast sommartid minskar samtidigt som mängden lagrad energi är oförändrad. Den lagrade energin är ju fastlåst via gårdstomtens storlek och lagrets temperaturnivå. Praktiskt sett innebär detta egentligen endast att konvektorytan kan minskas något. I övrigt oförändrad funktion och system.

2.2 Dimensionering - allmänna överväganden

Värmepumpens storlek och lagrad energimängd låses fast, som tidigare nämnts, av gårdstomtens storlek och lagrets temperaturnivåer. Den parameter, som kan förändras är då konvektorytan. Den väljs så stor att den kan insamla tillräcklig energimängd för lagring (så att frysning ej uppstår i lagret) och samtidigt försörja värmesystemets sommarbehov. En optimal konvektorstorlek ligger för detta objekt på ca 7 000 m² flänsarea.

Se även del 1.

2.3 Tekniska data

Energitäckning	78 %
Konvektorbehov	7 000 m ² flänsyta
k-värde, konvektor	10 W/m ² °C
Meter U-slang	20 200 m
c/c borrhål	2,0 m
Akkumulatorvolym	86 000 m ³
Neddrivningsdjup	35 m
Värmepumpens kondensoreffekt	230 kW vid +75/+0°C
Värmeffaktor, årsmedel	ca 3,0
Medeltemperatur i mark max/min	+11/+4°C
Specifik medeleffekt från ackumulatören	8,5 W/m håll

2.4 Investeringskostnad

Markackumulator inkl samlingsledningar, återställning m m	1 350 kkr
Konvektorer	630 "
Värmepump inkl installation	690 "
Övrig VVS, torkaggregat, VVB, samlingsledningar	250 "
El-styr-regler	320 "
Byggarbeten, håltagningar, fundament, ljudisolering, takarbeten m m	<u>190 "</u>
Summa investeringsbehov	3 430 kkr

3 VÄRMELAGER I LERA MED SOLFÅNGARE

3.1 Systembeskrivning

Som kollektorer väljs i detta fall s k MEDELTEMPERATURSOLFÅNGARE. Dessa har prestanda, funktionsegenskaper och en prisbild, som väl stämmer in på denna tillämpning.

Medeltemperatursolfångaren kan sägas vara en hybrid mellan en lågtemperatursolfångare (s k Grängestak) och en konventionell solfångare, såväl till uppbyggnad som funktion.

Solfångarens absorbatör består av en korrugerad aluminiumplåt med påfästade stripes, vilka innehåller kylkanaler där den värmeupptagande brinen cirkulerar. Kylkanalerna utgörs av i stripsen invalsade kopparrör.

För att hindra upptagen värmeenergi från att stråla tillbaka till atmosfären är solfångaren täckt med skivor av acrylplast. Härigenom motverkas förluster vid höga temperaturer.

Solfångaren kan också betraktas som en fläns med inbyggd kylkanal och fungerar därför delvis som en luftvärmeväxlare. Genom att täckglaset "skyddar" mot vinden blir dock detta energibidrag ej jämförbart med vad ett Grängestak ger.

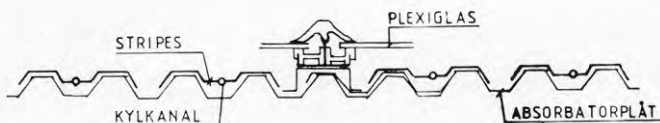


Fig 1 - Solfångare i genomskärning
Tagen ur R188:1984

Solfångarna monteras integrerat i taket på byggnader med söderläge. Via en brine leds värmets från solfångaren till värmepumprummet där det via en värmeväxlare avger sitt värme direkt till värmepumpen eller vidare till markackumulatören för lagring. Värmeväxlarens roll är att tryckmässigt separera systemet. Vidare krävs en 3-vägs blandningsventil för utjämning av inkommande temperatur till värmepumpens förångare. I övrigt kan systemet sägas vara identiskt med vindkonvektoralternativet.

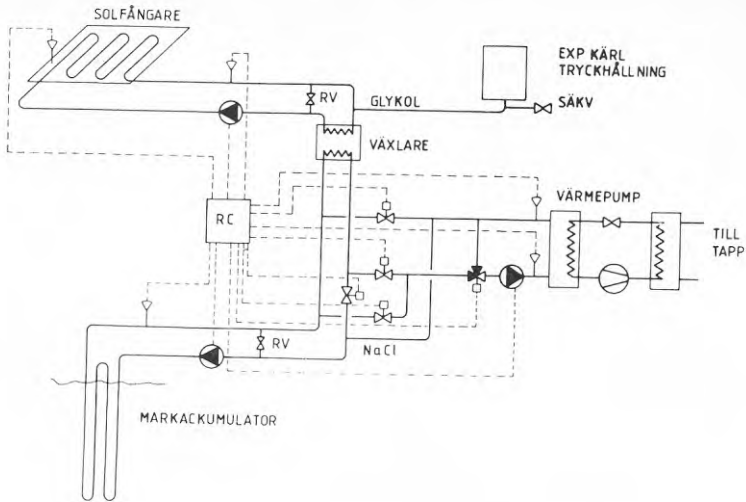


Fig 2 - Principskiss
Solfångaralternativ

3.2 Dimensionering - allmänna överväganden

Själva grundtanken med att använda solfångare i stället för vindkonvektorer är att vinna temperatur och därmed kunna minska ackumulatören och dess kostnader. Denna kostnadsminskning skall då, om hypotesen håller, kunna uppväga den högre kostnaden på kollektorsidan vid solfångartillämpning. Den specifikt lagrade energin är direkt proportionell mot skillnaden mellan max- och min-temperatur i ackumulatören. För vindkonvektorer låses temperaturen uppåt av uteluftens temperatur. För solfångaren är möjlig max-temperatur betydligt högre. Härigenom kan vid solfångar tillämpning lagret göras energitätare och därmed mindre till volymen (kostnaden)

Dessutom kan lagrets lägsta medeltemperatur läggas på en högre nivå. Härigenom fås en bättre specifik effekturladdning ur ackumulatören. Den är direkt popor-

tionell mot skillnaden mellan lägsta brinetemperatur och lägsta medeltemperatur i ackumulatort. Detta är det andra kriteriet som måste uppfyllas vid ackumulatordimensionering.

Prestanda för själva solfångaren är i stället den osäkra punkten vid dimensioneringen. I dag finns endast driftresultat från några relativt nyuppförda anläggningar. Upptagen värmeenergi har för dessa (t ex Kullavik) uppmätts till ca 400 - 450 kW/m² solfångare och år. Som jämförelse kan nämnas, att högtemperatur-solfångare i kombination med hetvattenackumulering (t ex Ingelstad) har gett ca 200 - 250 kWh/m² solfångare och år.

De högre värdena för denna typ och tillämpning kan främst förklaras ur två orsakssammanhang:

- Vid tillämpning med markackumulering kan solfångare arbeta med en lägre brinetemperatur och därigenom kan emissionsförlusterna minskas.
- Medeltemperatur solfångare ger även ett energibidrag från värmeutbyte med uteluften.

I denna studie, som för solfångaralternativet är utformad som en s k breddbandsanalys, har som grundförutsättning två prestandanivåer utvalts, en mycket optimistiskt vald nivå om 550 kWh/m² solfångare och år samt en mer säker nivå om 400 kWh/m² solfångare och år.

Tillgänglig solfångaryta visar sig dock vara ett allvarligt hinder i detta specifika fall. Tillgänglig takyta med söderläge är nämligen begränsad till ca 1 650 m², vilket möjliggör en energitäckning på ca 60 - 45 % beroende på solfångarprestanda.

Se situationsplan, bilaga 1.

Denna siffra anger maximal yta utan hänsyn till ventilationsskorstenar, takkonstruktion, standardstorlekar hos solfångaren m m.

3.3 Tekniska data

Årlig energiproduktion från solfångare	550	400 kWh/m ² o år
Solfångaryta	1 650	1 650 m ² (maximalt söderläge)
Energitäckning	61	45 %
Meter U-slang	9 400	m
c/c borrhål	2,0	m
Akkumulatortvolym	22 000	m ³

Neddrivningsdjup	35 m
Värmepumpens kondensoreffekt	180 kW vid +75/ <u>+0</u> °C
Värmefaktor, årsmedel	3,3
Medeltemperatur i mark max och min	+34/+12°C
Specifik medeleffekt från ackumulatören	24 W/m hål

3.4 Investeringarkostnad

Markackumulator inkl samlingsledningar, isolering, återställning m m	425 kkr
Solfångare inkl montage, bygg- och ställningsarbeten	1 555 "
Värmepump inkl installation	590 "
Övrig VVS, torkaggregat, VVB, samlingsledningar till solfångare m m	545 "
El-styr-regler	320 "
Byggarbeten, håltagningar, fundament, ljudisolering av vp-rum m m	<u>90 "</u>
Summa investeringsbehov	3 525 kkr

4 UTELUFTVÄRMEPUMP MED VINDKONVEKTORER

4.1 Systembeskrivning

Värmet tas från uteluften via naturlig konvektion i de s k vindkonvektorerna. En brinelösning cirkulerar där-
 efter värmet till värmepumpens förångare.

Värmepumpen placeras och ansluts till den befintliga panncentralen helt i enlighet med tidigare presenterade lösningar.

Vindkonvektorinstallationen fördelas på fyra separata sektioner. Dessa placeras på taket till fastigheten enligt nedanstående figur.

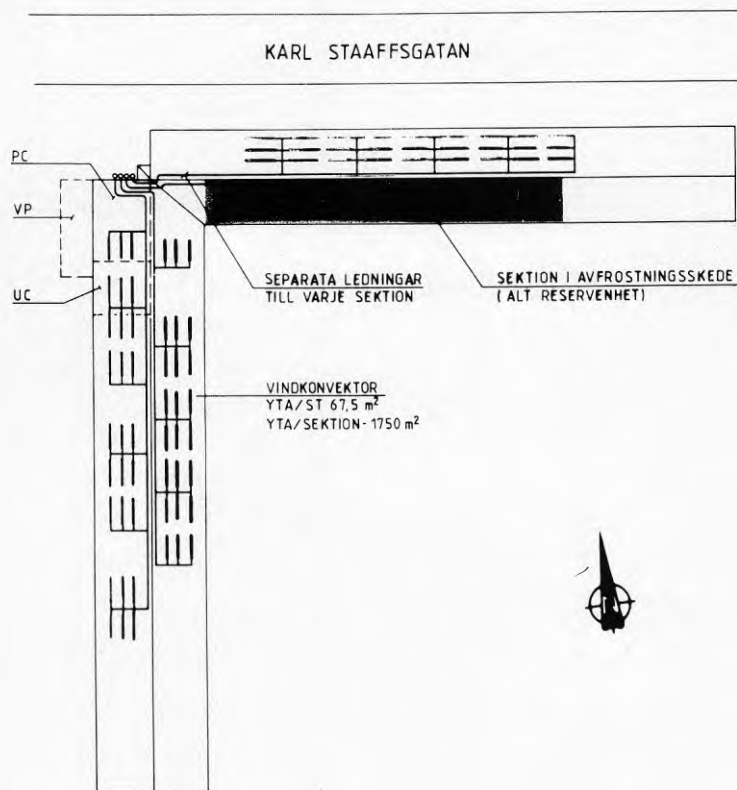


Fig 3 - Placering av vindkonvektorer

Tre sektioner räcker för att försörja värmepumpen. Genom sektioneringen av konvektorerna kan således värmepumpen vara i normal drift utan ändrade driftbetingelser även under avfrostning.

Avfrostning sker genom brineavfrostning av reservenheten. Värmsystemets framledning laddar via en värmväxlare en ackumulator med varm brine. När ackumulatortemperaturen uppnår lämpligt värde (ca 55°C) avbryts laddningen. Via ett ventilsystem avfrostat därefter en sektion konvektorer i taget.

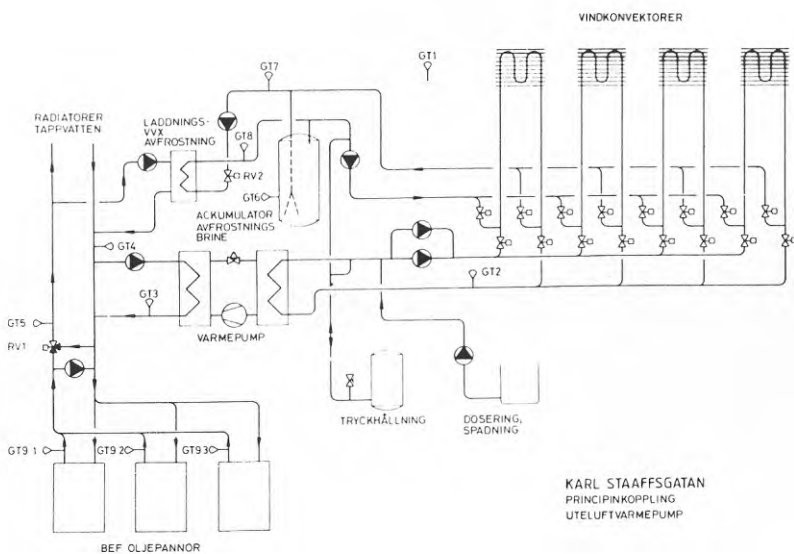


Fig 4 - Principschema uteluftvärmepump

I Stoppavfrostning ner till +4°C utetemperatur

Värmepump stoppar (av andra orsaker) eller värmepump arbetar mot tre sektioner, varvid eventuell is på den fjärde enheten smälts av uteluften.

II Brineavfrostning +4/-5°C utetemperatur

a) Ingen nederbörd

2 000 h/år enligt klimatdata

Påfrysning på grund av nedkylning av uteluft och utkondensering av vatten på konvektorytan.

Avfrostningen styr efter utetemperatur och gångtid hos respektive sektion. Gångtiden har beräknats till 12 h/sektion, vilket innebär totalt 8 cykler/dygn (se avsnitt 4.4.4).

b) Nederbörd

300 h/år enligt klimatdata

Vid nederbörd räcker ej en normal gångtid för att hålla konvektorn isfri. Detta förhållande avspeglas i att skillnaden mellan utetemperatur och brinetemperatur ökar när skillnaden ökar över ett visst gränsvärde ökar avfrostningsintensiteten till kontinuerlig avfrostning, dvs en avfrostningsperiod + 1 + laddningsperiod följd direkt av avfrostning av nästa sektion, 24 cykler/dygn.

c) Ihållande nederbörd

200 h/år

Skulle trots ökad intensitet i avfrostning skillnaden i ute- och brinetemperatur fortsätta att öka betyder det att avfrostningen ej är tillräcklig utan att isen växer på, då avbryts värmepumpdriften helt.

d) Återstart

Efter utfall av värmepump på grund av påfrysning avfrostas konvektorerna av pannorna (endast tre sektioner). Avfrostningen sker dock tidsfördröjt för att undvika ett nytt direkt avbrott. En återstartavfrostning kräver nämligen lika mycket energi som värmepumpen kan leverera under en timmas drift, dessutom oljeproducerad sådan.

För att omhänderta dränage och undvika isbildning på tak och takrännor placeras en droppskål med värmekabel under konvektorn. Avfrostat vatten och issörja avleds sedan via ett avloppssystem till stupröret. Alla rör försedda med värmekabel.

Uppvärmning av droppskål sker förreglerat med avfrostningsautomatiken. Uppvärmning av hänggränna och stuprör sker vid minusgrader på uteluft om värmepump är i drift.

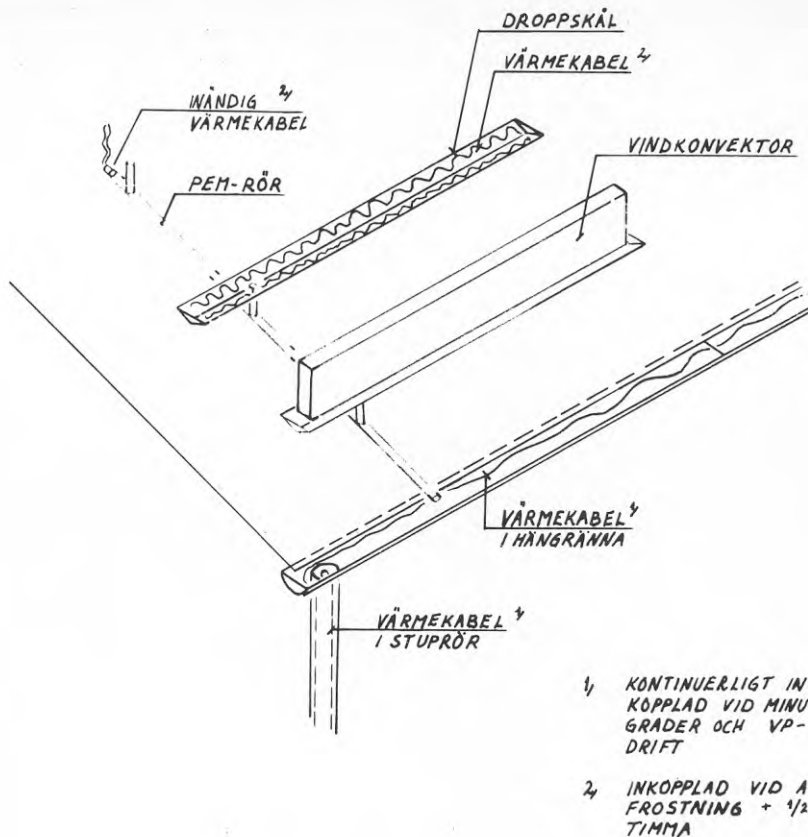


Fig 5 - Dränage av vindkonvektor

4.2 Dimensionering

4.2.1 Effektstorlek

En lämplig energitäckning i förhållande till antalet toppeffekt-timmar (investeringskostnad) erhålls normalt för uteluftvärmepumpar med fläktförångare om värmepumpens balanspunkt läggs vid $+0^{\circ}\text{C}$ utetemperatur. Det skulle i detta fall innebära ca 360 kW. En suboptimering gav dock vid handen att en lämplig effektstorlek låg kring 300 kW vid $+0^{\circ}\text{C}$. Att dimensioneringspunkten förskjuts i förhållande till fläktförångarfallet beror troligen på att behovet av avfrostning ökar vid konvektortillämpning. Därigenom försämras värmefaktor och driftekonomi under den kalla årstiden.

Värmepumpen tas ur drift vid ca -5°C m h t försämrade värmefaktor, avfrostningsvärme och högt kondenseringstryck. Förhållandet framgår av nedanstående varaktighetsdiagram.

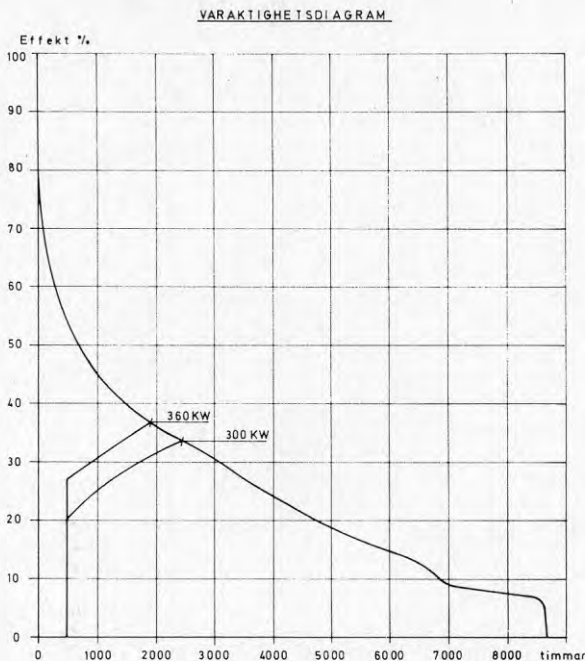


Fig 6 - Energi- och effekttäckning för uteluftvärmepump

4.2.2 Dimensionering av avfrostningssystem

Det vore i sig önskvärt att dimensionera brineackumulator, laddnings-VVX, avfrostningsperioder. laddningsperiod m m efter regnperiodens behov men det har tyvärr visat ej vara genomförbart.

Som avfrostningskriterium anges att avfrostningssystemet skall kunna upptäta 0,5 mm kärnis på konvektorytan (refererar till bl a BFR 140:1981 ref 7). På en sektion ger det 790 kg is.

Total energiåtgång för att smälta isen och värma smältvattnet ca 5°C är:

$$(334 + 21) \times 790 = \text{ca } 79 \text{ kWh}$$

i avfrostningsvärme/sektion.

Avfrostningsintervall bestäms då av hur snabbt 0,5 mm kärnis bildas. Två huvudfall finns, nämligen nederbörd och icke nederbörd.

Fall I - ingen nederbörd

Vid icke nederbörd fås en fuktutfällning på grund av luftens entalpiändring vid nedkylningen mot konvektor-ytan.

Luftflödet genom en konvektorenhet fås som Frontarean ($1,92 \text{ m}^2$) x Fronthastigheten ($V = 9,5 \text{ m/s}$), dvs

$$V_{\text{luft/konvektor}} = 1,92 \times 0,5 = 0,96 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luftens entalpiändring blir då vid kyleffekten (normal drift) 3,4 kW/konvektor.

$$\Delta i = \frac{P}{\dot{m}} = \frac{3,4}{0,96 \times 1,2} = 2,95 \text{ kJ/kg}$$

Ur mollierdiagram för luft fås då fuktutfällningen

$$0,5 \text{ g/kg luft}$$

dvs fuktutfällningen blir

$$0,96 \times 1,2 \times 0,5 = 0,576 \text{ g/s}$$

På varje konvektor innebär en beläggning av 0,5 mm kärnis 30 kg is.

Att bilda 30 kg is tar då tiden:

$$\frac{30}{0,576} = 52 \text{ 000 sek} = \underline{14,5 \text{ h}}$$

Ett avfrostningsintervall på ca 12 - 14 timmar/sektion räcker alltså för att möta påfrysningen vid icke nederbörd.

Fall II - nederbörd

Vid nederbörd fås 100-procentig luftfuktighet. Att bilda 0,5 mm kärnis tar då tiden

$$t = \frac{\text{kyleffekt/konvektor}}{\text{isbildningsenergi/konvektor}} = \frac{3,4 \text{ kW}}{3,0 \text{ kW}} = \text{ca } 1 \text{ h}$$

dvs hela konvektorinstallationen skall hinna avfrostas på en timma.

Vid långvarig nederbörd kan värmepumpen således ej hållas i drift.

Beaktat att perioden med icke nederbörd skall klaras och att lämplig brinehastighet ej bör understiga ca 0,3 m/s för att få en vettig flödesfördelning, värme-

upptagning m i konvektorn tecknas avfrostningseffekten som:

$$P = k \cdot A \cdot v_t = m \cdot c_p \cdot \Delta t_{\text{brine}}$$

$$\text{där } v_t = \Delta t_{\text{brinemedel}} - t_{\text{ute}}$$

Ur detta uttryck kan sedan genom passningsräkning lämpliga värden på ackumulerad brinemängd, avfrostningstid, brinetemperatur och laddningstid bestämmas till:

- 12 min avfrostningstid
- 55°C brinetemperatur
- 2 800 l ackumulatorvolym
- 100 kW:s laddningseffekt
- 50 min laddningstid

Vi kan alltså som mest utföra en avfrostningscykel per timme. För att hålla helt isfritt hade krävts 4 cyklar/timme.

4.3 Tekniska data

Energitäckning	65 %
Värmepumpens kondensoreffekt	300 kW vid +75/ <u>+</u> 0°C
Värmefaktor, årsmedel	2,4
Konvektorbehov	6 000 m ² flänsyta
K-värde, konvektor	10 W/m ² °C
Eleffekt, värmekabel	15 kW
Elförbrukning, värmekabel tot	28 MWh el
Avfrostningsvärme, v.p	76 MWh
Avfrostningsvärme, olja	60 MWh

4.4 Investeringskostnad

Konvektorer	540 kkr
Droppskålar	145 "
Värmekabel inkl transformator 24/220 V, gruppcentral, led- ningar, montering m m	103 "
Värmepump inkl installation	900 "
Övrig VVS, torkaggregat, Brineack, VVB, samlingsledningar	363 "
El-styr-regler	320 "
Byggarbeten, håltagningar, funda- ment, ljudisolering av m m	<u>228 "</u>
Summa investeringsbehov	2 599 kkr

5 KOSTNADSSAMMANSTÄLLNING

5.1 Förutsättningar för den ekonomiska kalkylen

Ekonomisk livslängd	15 år
Reell kalkylränta	4 %
Pannverkningsgrad	0,85
Elpris	250 kr/MWh
Oljepris	2 400 kr/m ³
Oljans energiinnehåll	10 MWh/m ³
Prisnivå	mars 1985

Alla kalkyler exklusive moms, projektering och byggadministrativa kostnader.

5.2 Kalkylresultat

	VÄRMELAGER			
	Vindkonv	Solf 1*	Solf 2**	Uteluft
Energitäckning %	78	61	45	65
Värmefaktor	3,0	3,3	3,3	2,4
Naturvärme, MWh	1092	893	659	796
Kapital, kkr/år	311	316	316	202
Energikostnader:				
El, kkr/år	136	97	71	142
Olja, kkr/år	130	231	326	207
DoU (1,5 %), kkr/år	52	53	53	34
Summa årskost- nader, kkr/år	629	697	766	585
Specifik, öre/kWh	30	33	36	28

* Solfångare med prestanda 550 kWh/m² och år

** Solfångare med prestanda 400 kWh/m² och år

Tabell 1 - Resultatsammanställning

Från andra projekt kan noteras att den beräknade totalkostnaden för uteluftvärmepumpen 280 kr/MWh ligger i linje med vad man erfarenhetsmässigt kan förvänta sig. Denna objektspecifika studie kan således på goda grunder anses ha givit ett säkert kalkylresultat. Till stora delar baserar sig ju också kalkylerna på inkomna bindande anbud för alternativet med värmelager och vindkonvektorer. Ur detta anbud kan ju sedan övriga alternativ så att säga "härledas".

6.1 Solfångare kontra vindkonvektorer

Energitäckningsgraden är otillräcklig för solfångaralternativet. Detta bottnar i att, för detta objekt, tillgänglig takyta med söderläge är begränsad. Vidare måste noteras, att energiproduktionen 550 kWh per m² solfångare och år är ett mycket högt värde, vilket aldrig uppmätts i Sverige. Det betyder att ett troligt kalkylutfall snarast ligger kring 34 -35 öre/kWh för solfångaralternativet.

Genom den spridda installationen belastas även solfångartillämpningen med relativt höga kostnader för montering, byggställningar och samlingsledningar till solfångarna.

Kostnaden för upprättandet av markackumulator minskar för solfångaralternativet, vidare förbättras värmefaktorn hos värmepumpen.

För detta specifika fall är dock, totalt sett, inte dessa fördelar tillräckliga. Fallet kunde givetvis varit annorlunda om gårdstomten var mer begränsad eller om hustypen var sådan att det fanns mer takyta med söderläge i förhållande till värmebehov.

Allmänna studier har utförts av Per-Åke Franck, Inst f Värmeteknik, CTH. Dessa pekar mot att vindkonvektorer är att föredra. även om det vid optimerade förhållanden blir en mindre skillnad i totalkostnad mellan alternativen än vad som har utfallit i denna objektspecifika studie.

Sammanfattningsvis kan sägas, att för detta fall är vindkonvektorer att föredra framför solfångare, främst beroende av att tillgänglig solfångaryta är för liten och för utspridd i detta objekt.

6.2 Värmelager eller sämre värmefaktor

Av de undersökta alternativen ger uteluftvärmepump den lägsta specifika kostnaden.

Slutsatsen blir att den högre kapitalkostnaden hos värmelagret inte fullt ut motiveras av högre värmefaktor och högre energitäckningsgrad, åtminstone inte vid rådande energipriser.

Vad som främst negativt påverkar ett lagerprojekt med vindkonvektorer är:

- Markackumulatören blir med nödvändighet till storleken omfattande beroende av de låga temperaturnivåer som vindkonvektorer arbetar med.
- Komplexiteten i styr- och reglersystem blir för VVS-området ovanligt hög m h t de många olika driftfall som krävs för att erhålla hög energitäckning.

En faktor, som skulle gynna värmelagret vore införandet av säsongdifferentierade eltaxor. Under vintersäsongen leder nämligen värmelagret till betydligt högre marginella värmefaktorer.

Görs en vidare ekonomisk betraktelse över betydelsen av sämre värmefaktor och lägre energitäckning fås mycket intressanta resultat.

För vintersäsongen gäller att ren uteluftvärmepump får en marginell värmefaktor av ca 1,7 mot 2,9 för lagringsalternativet. Denna skillnad innebär att elkraftleverantören dels måste leverera mer elenergi och dels belastas av en högre eleffekt vintertid.

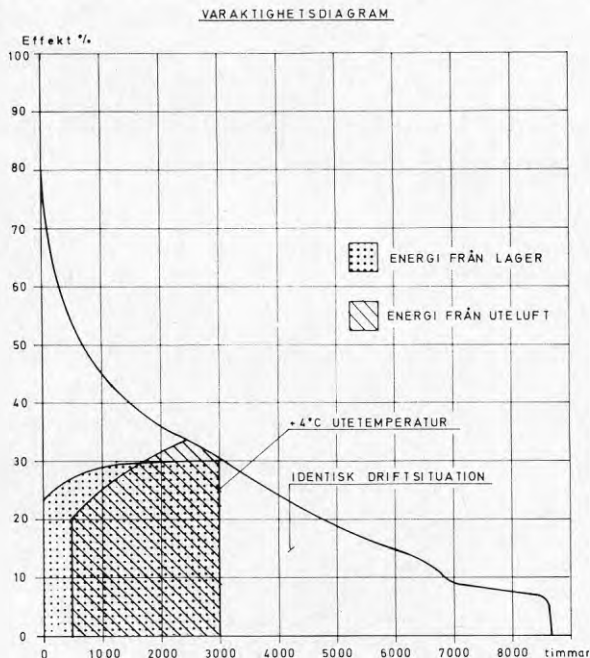


Fig 7 - Jämförelse mellan uteluftvärmepump och system med marklager

I B Dalroths rapport "Värmepumpen och kraftproduktionen" BR R140:1982 fastslås att för tiden 1990-95 får detta till resultat att:

- för marginaldelen måste elkraften produceras i kol eller oljekondenskraftverk till en kortsiktig marginalkostnad av 40 öre/kWh_{el}
- den ökade effektbelastningen ger ett behov av om-och tillbyggnad av distributionsnätet. Denna utbyggnad har kostnadsberäknats till 3 000 kr/kW_{installerad} eleffekt
- den ökade effektbelastningen ger inget behov av utbyggnad på själva produktionssidan.

Om vertikala lagringssystem skulle få en omfattning motsvarande den potential Jordvärmegruppen skisserat i BFR R149:1980 skulle denna skillnad i värmefaktor få en betydande inverkan. I nedanstående tabell visas årliga kostnader dels för objektet Karl Staaffsgatan och dels för hela landet. En årlig kostnad för ombyggnad av distributionsnät har beräknats med annuitetsmetoden. Att denna för Karl Staaffsgatan varierar mellan 0 - 45 000:- kronor beror på att behovet av ombyggnad i ett speciellt fall helt varierar beroende på dagens status och kapacitet hos elnätet.

För en elkraftleverantör innebär således ett lager kontra en uteluftvärmepump väsentliga kostnadsbesparingar.

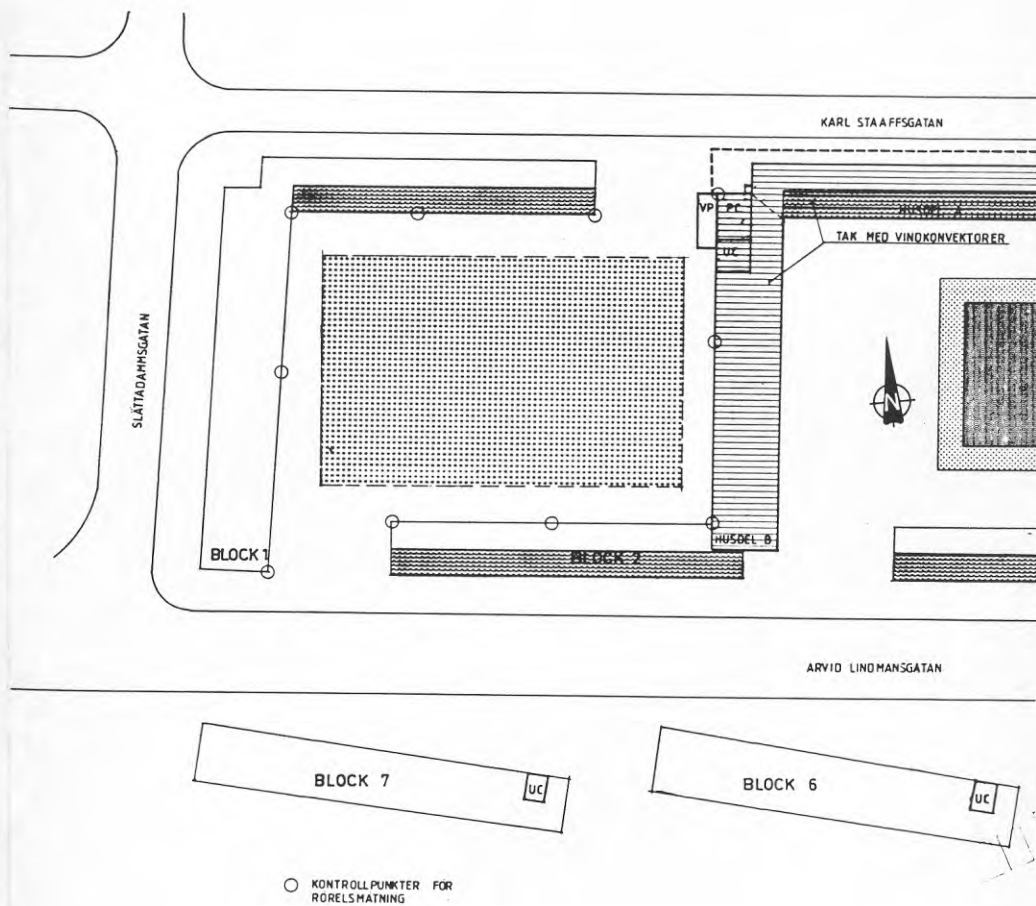
	För landet (milj kr/år)	Karl Staaffsg (kkr/år)
Ombyggnad distributionsnät R = 3 % L = 15 år	75	0 - 45
Elkraftproduktion	138	85
Summa	210	85 - 130




Tabell 2 - Elkraftleverantörens kostnader för kompensation av sämre värmefaktor vid tillämpning med uteluftvärmepump

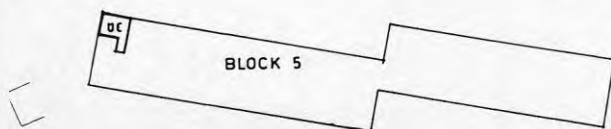
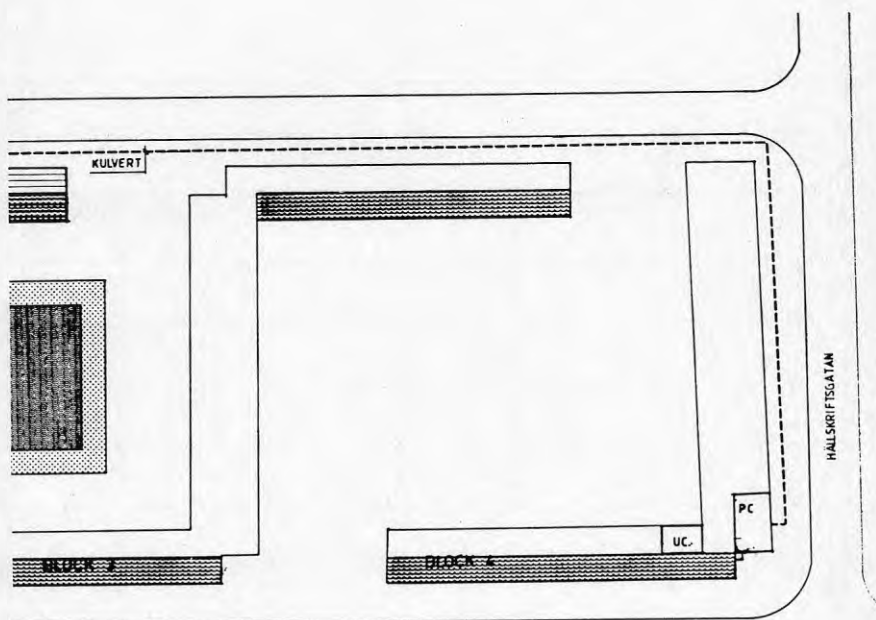
7 LITTERATURREFERENSER

- 1 Värmelagers roll i energisystem
Beräkningsmetoder BFR-seminarium R68:1985
- 2 Rollen för olika typer av värmelager i svensk
energiförsörjning. En ekonomisk analys. P Mar-
gen, BFR R3:1985
- 3 Värmelagring - en utvärdering av Lindälvs-
skolans markackumulator. D Winlind, examensarbete
T83:112 CTH
- 4 Solvärmeteknik i stor skala Ingelstad - en
värmecentral utan värmepump. T Jilar BFR
R103:1984
- 5 Solvärmelagring med höga temperaturer av lera
för radhus i Kullavik. Hultmark m fl BFR
188:1984
- 6 Solvärme med säsongslagring i mark för 350
lägenheter i Kristianstad. Fördjupad studie.
E Green m fl. Forskningsanslag 811802-03.
- 7 Värmepump med energistapel. Bäckström m fl
BFR R140:1981
- 8 Vindkonvektorer. Uppföljning och utvärdering
av anläggningar i drift. P-E Nilsson.
BFR R35:1985
- 9 Uteluft och mark som värmekälla för värmepump
i kv Bobinen, Malmö. Jensen m fl BFR R189:1985
- 10 Värmepump med vertikalt jordvärmesystem och
vindkonvektorer. Franck m fl. Jordvärmegruppen
rapport nr 2, CTH
- 11 Värmepumpen och kraftproduktionen. B Dahlrot
BFR R140:1982

Bilaga 1 - Situationsplan



-  VÄRMELAGER, VINDKONVALT
 VÄRMELAGER, SOLFÄNGARALT
 SOLFÄNGARYTOR



FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG

KONSULT
 AB GÖTEBORGSHEM
 VÄRMELAGER I LERA KARL STAAFFSG.
 SITUATIONSPLAN

NO	ART	REVISORER/REVISOR	NO	DATA

Uppdrag Hissingen, Arvid Lindmans gata		
Uppdragsnummer	Datum för undersökning 82 12 02	Utfört av B.F.

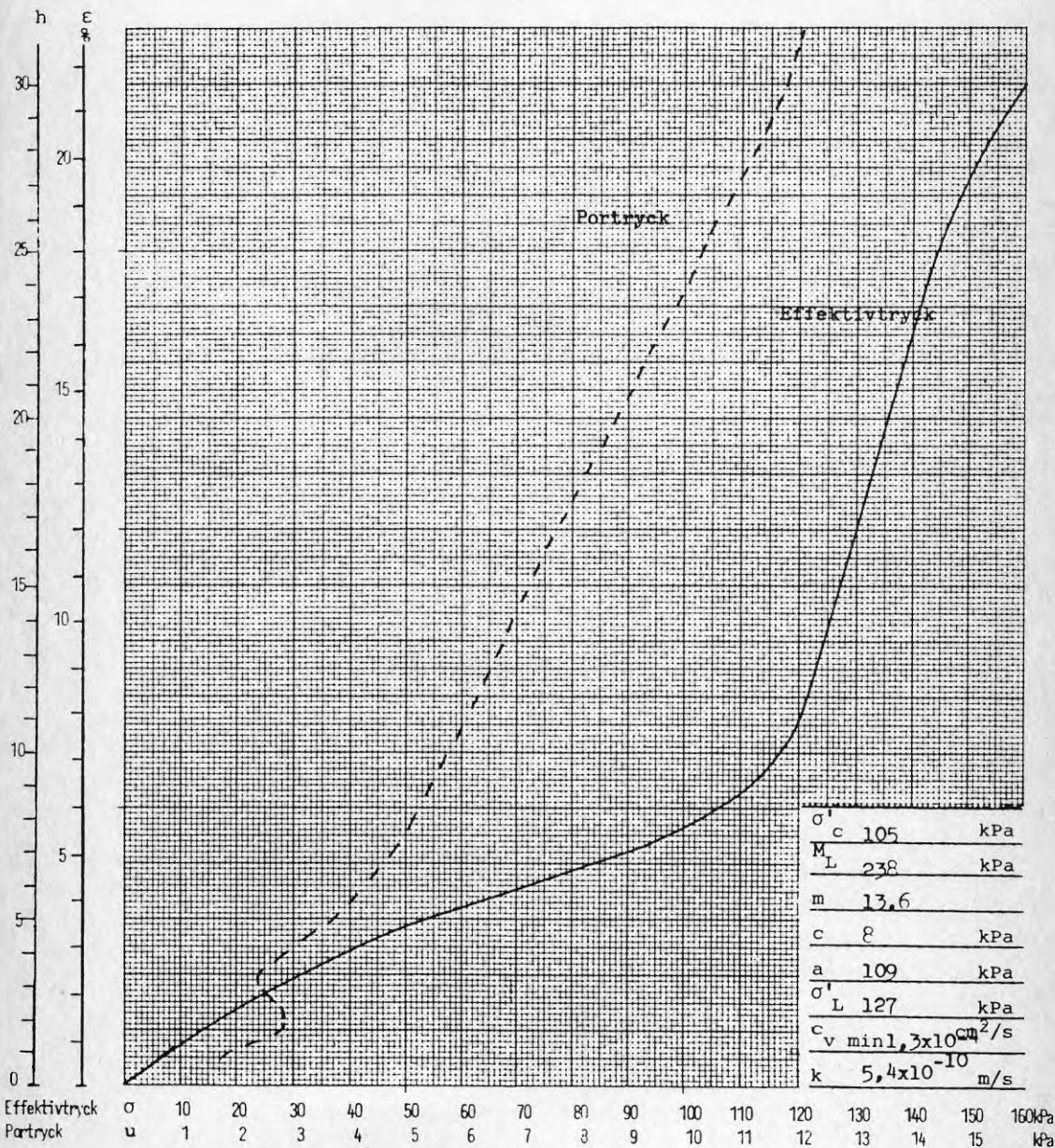
Borrhål och provtagningsdatum	Djup i m / provtagningsnivå	Provtagnings-sätt	Jordart	Densitet γ t/m ³	Vatten-		Flyt-		Sensitivitet (enl. kon-prov S)	Skjuvhållfasthet (enl. reducerad)		Övriga under-sök-nin-gar (**)
					kvot $\frac{W}{L}$ %	gräns $\frac{W}{L}$ %	tryckprov T_f kPa	konprov T_f kPa				
5	5,0	kv St1	lera	1,46	105	80	20	20	9			
	10,0		sulfidhaltig lera	1,46	99	89	20	20				
	15,0		sulfidhaltig lera m. snäckskal	1,63	62	68	12	12	30			
	20,0		sulfidhaltig lera	1,67	59	71	11	11	49			
	25,0		sulfidhaltig lera	1,64	66	72	14	14	35			
	30,0		sulfidhaltig lera	1,60	71	81	13	13	45			

** Övriga undersökningar (se bilagor)
skj = direkta skjuvförsök
komp = kompressionsförsök
kon = kombitorceförordning

*) Underströkning av värden anger att skjuvhållfastheten bör reduceras. Rekommenderade korrektionsfaktorer anges i ledig kolumn eller i bilaga 1 kPa (kilopascal) \approx 0,1 MPa/m²

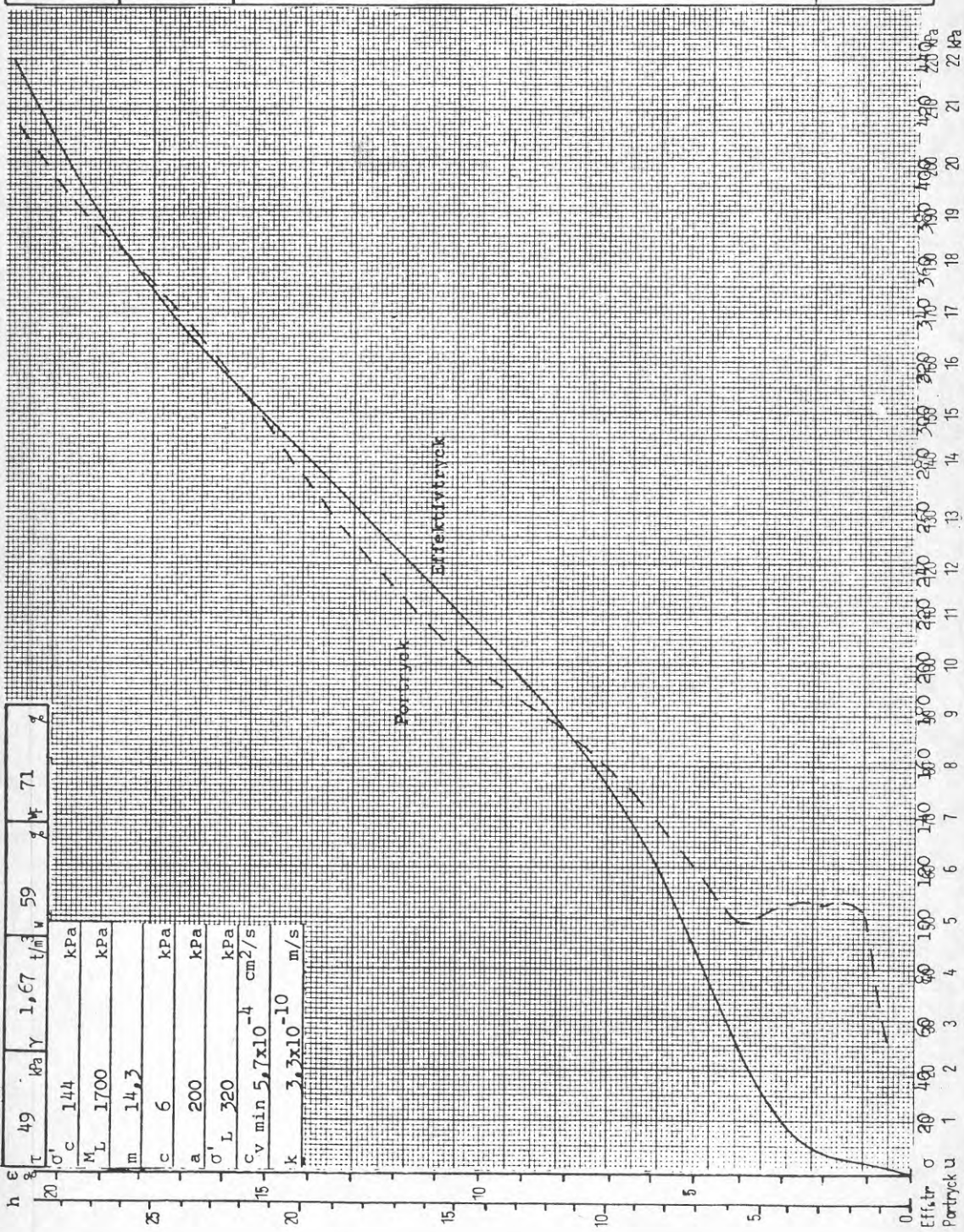
KONSOLIDERINGSFÖRSÖK (CRS)
 Datum

Uppdrag Hissingen			
Uppdragsnummer		Datum för undersökning 821227	Utfört av F.M.
Borrhål nr 5	Ljup m 10,0	Jordart Sulfidhaltig lera	Deform.hastighet 0,0024 mm/min
τ 20 kPa	γ 1,46 t/m ³	w 99 %	w _r 89 %

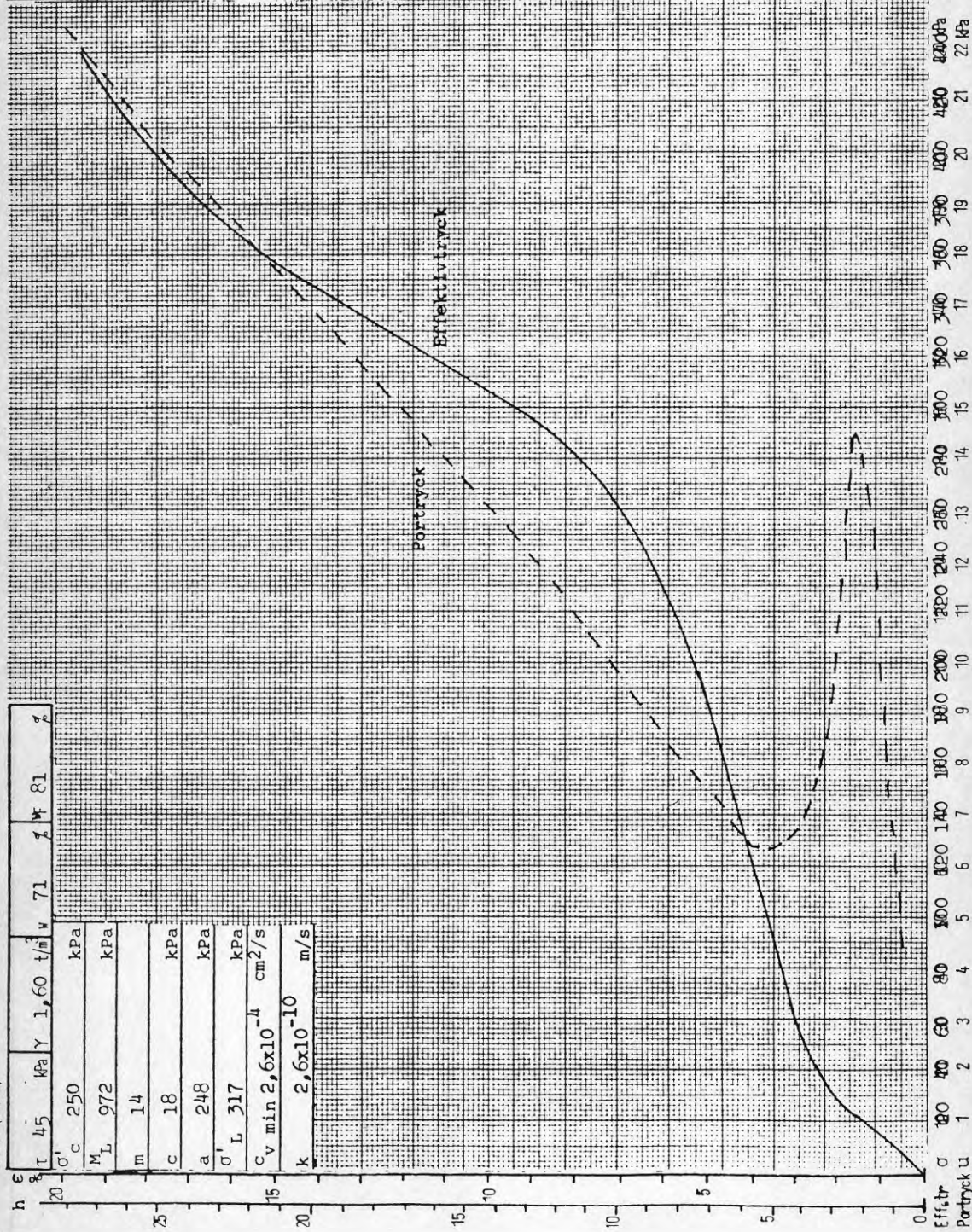


Geo 15 (79,02)

Uppdrag Hissingen			
Uppdragsnummer		Datum för undersökning 821221	Utfört av F.M.
Borrhål nr 5	Ujup, ■ 20,0	Jordart Sulfidhaltig lera	Deform. hastighet 0,0024 mm/min



Uppdrag Hissingen			
Uppdragsnummer		Datum för undersökning 821229	Utfört av F.M.
Borrhål nr 5	Ujup, m 30,0	Jordart Sulfidhaltig lera	Deform.hastighet 0,0024 mm/min



h	20	15	10	5	0
Effektivtryck	20	15	10	5	0
Poretryck	20	15	10	5	0
γ	18	18	18	18	18
γ _{sat}	24	24	24	24	24
γ _{sub}	6	6	6	6	6
γ _{sub} (1)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (2)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (3)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (4)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (5)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (6)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (7)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (8)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (9)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (10)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (11)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (12)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (13)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (14)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (15)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (16)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (17)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (18)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (19)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (20)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (21)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (22)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (23)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (24)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (25)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (26)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (27)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (28)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (29)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (30)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (31)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (32)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (33)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (34)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (35)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (36)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (37)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (38)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (39)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (40)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (41)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (42)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (43)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (44)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (45)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (46)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (47)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (48)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (49)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (50)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (51)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (52)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (53)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (54)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (55)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (56)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (57)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (58)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (59)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (60)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (61)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (62)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (63)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (64)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (65)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (66)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (67)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (68)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (69)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (70)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (71)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (72)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (73)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (74)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (75)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (76)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (77)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (78)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (79)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (80)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (81)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (82)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (83)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (84)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (85)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (86)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (87)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (88)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (89)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (90)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (91)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (92)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (93)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (94)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (95)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (96)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (97)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (98)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (99)	6	6	6	6	6
γ _{sub} (100)	6	6	6	6	6

Bilaga 4 - Värmeledningsförmåga och värmekapacitet hos leran

KARLSTAAFSGATAN-TERMISKA DATA(kolv 2)

Djup under markyta, m	Uppmätt värme- ledningsförmåga W/mK	Beräknad värme- kapacitet J/m ³ K	Densitet Kg/m ³	Vattenkvot %
16 övre cyl.	1.02 [±] 0.03	3.38E6	1620	65
16 undre " .	1.02 [±] 0.01	3.40E6	1590	69
18 övre " .	1.00 [±] 0.01	3.39E6	1595	68
18 undre " .	1.08 [±] 0.04	3.40E6	1610	67
22 övre " .	1.00 [±] 0.02	3.45E6	1595	71
22 undre " .	1.01 [±] 0.01	3.43E6	1570	73
24 övre " .	0.99 [±] 0.01	3.42E6	1600	69
24 undre " .	1.03 [±] 0.01	3.46E6	1590	72
30 övre " .	1.01 [±] 0.02	3.41E6	1605	68
30 undre " .	0.96 [±] 0.04	3.42E6	1600	69

Kommentarer:

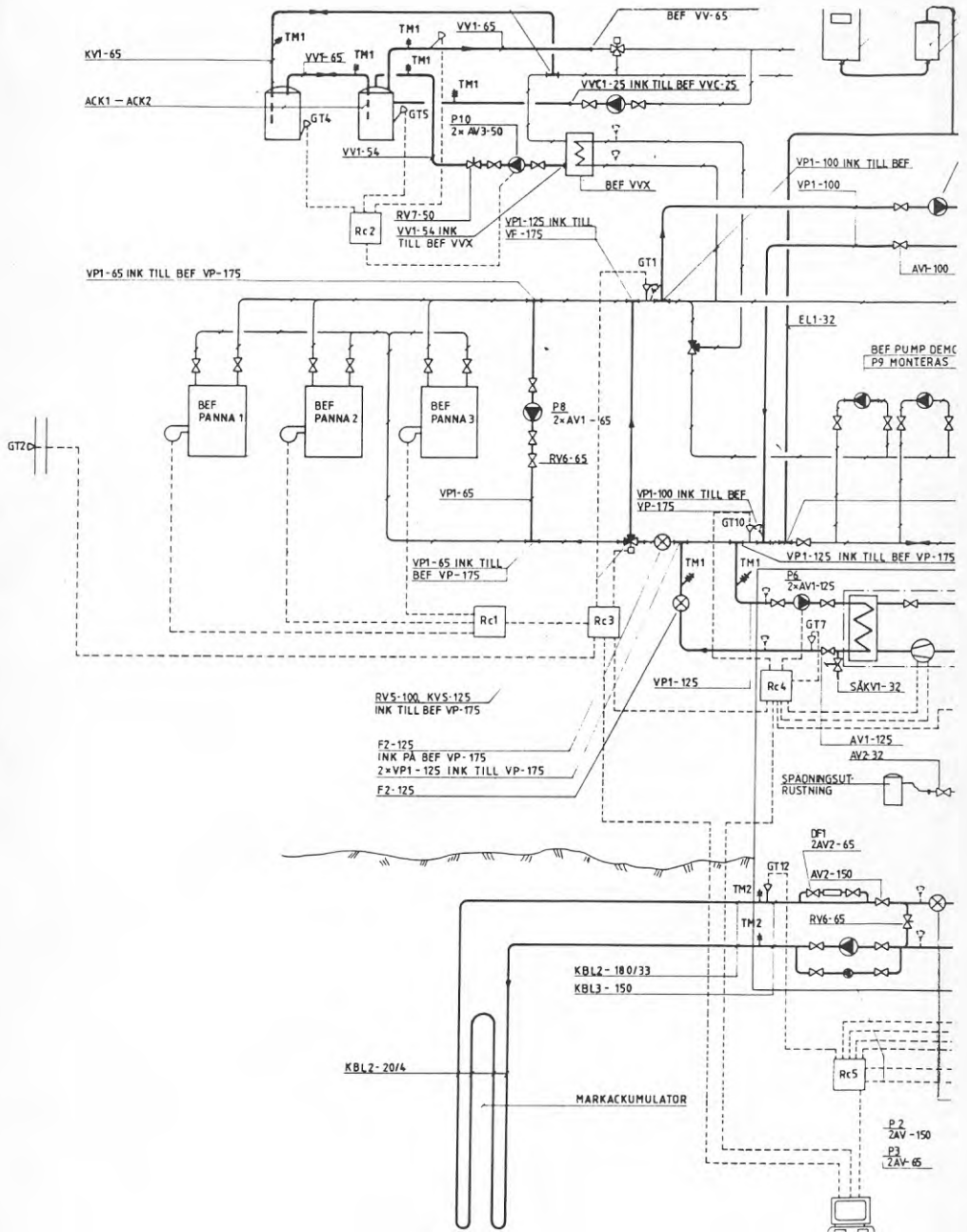
Två stycken värmeledningsmätningar gjorda på varje cylinder, en i överkant och en i underkant. Värmekapaciteterna är beräknade teoretiskt utifrån densitet och vattenkvot.

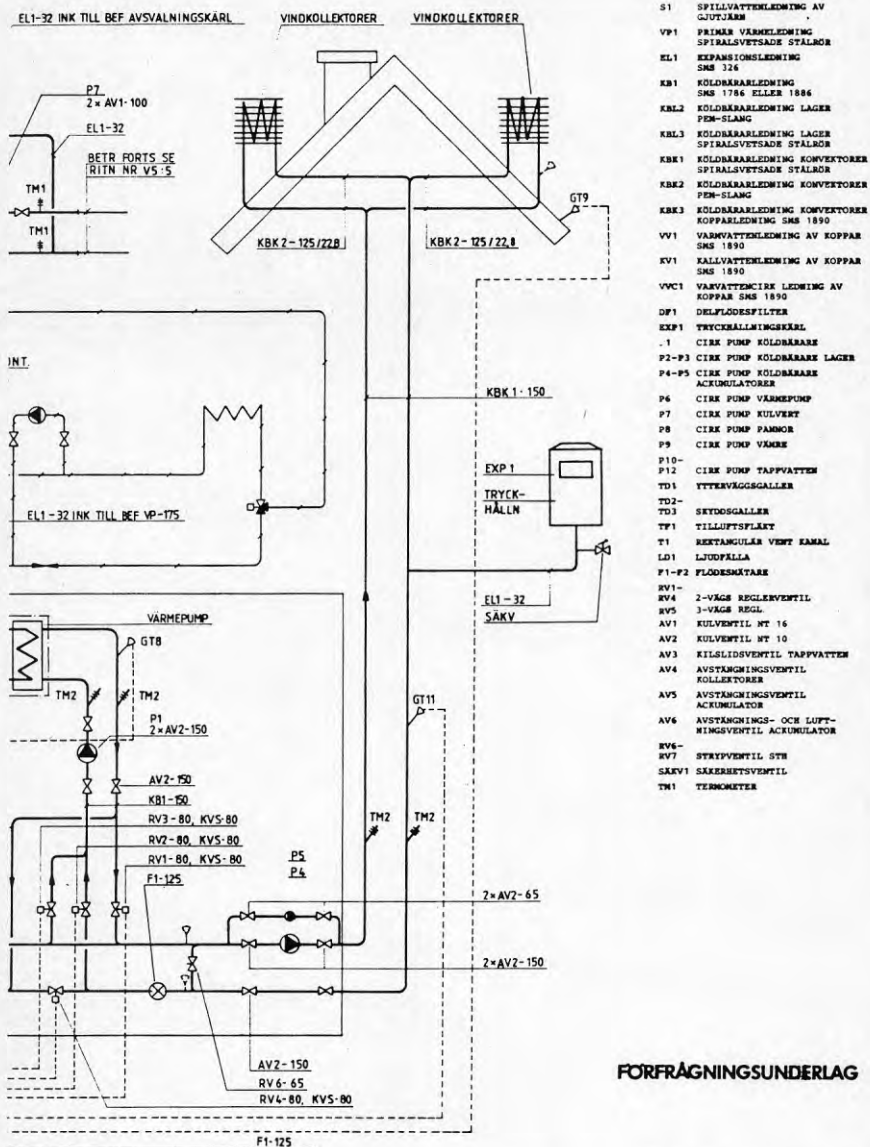
Medelvärde [±] medeldeviation på samtliga värmeledningsmätningar: 1.01[±]0.04

Samma för värmekapaciteterna: 3.42E6

Värmeledningsförmågan i fryst tillstånd kan sättas till 2.5 W/mK.

Bilaga 5 - Utdrag ur förfrågnings-
underlagets ritningsdel



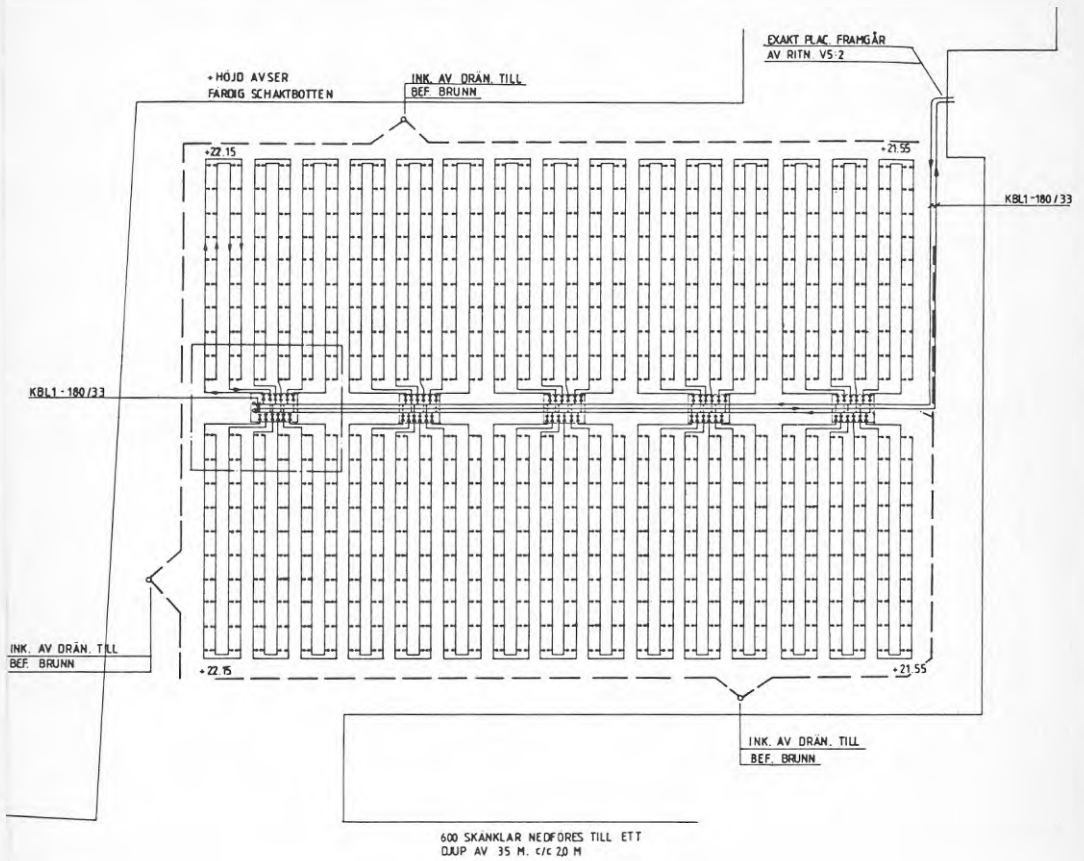


FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG

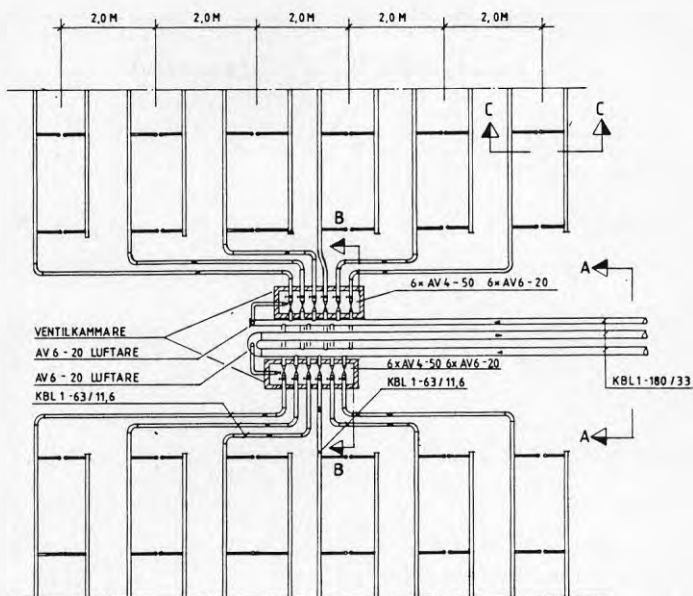
PROJ.	AVT.	REVISERINGSNUMMER	ÅR	NUMR.	DATEUM

K-KONSULT
Konsult- och projekteringsbyrå
S-100 2000

AB GÖTEBORGSHEM
KARL STAÅFFSGATAN
VÄRMELAGER I LERA



VÄRMELAGER I LERA
PLAN
 SKALA 1:200



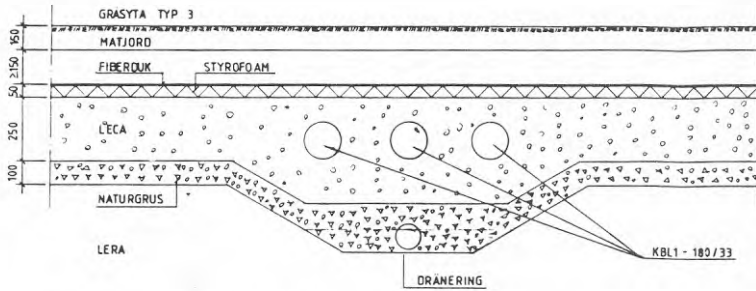
DETALJ AV INKOPPLING
LERLAGER

SKALA 1:50

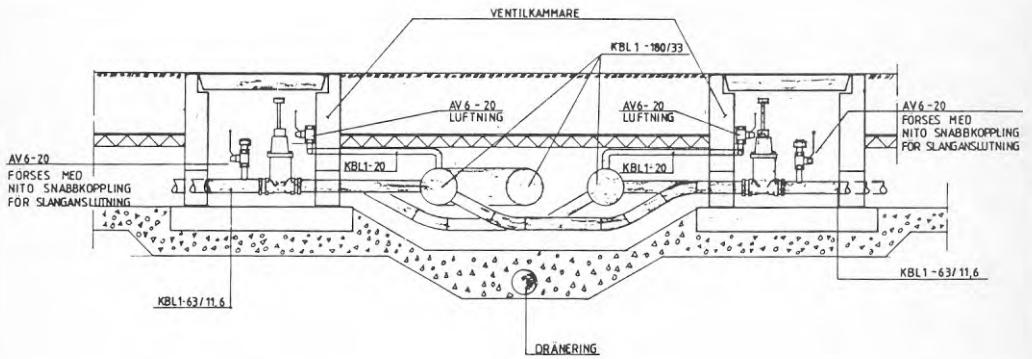
FORFRÅGNINGSUNDERLAG

REN	ART	REVISERINGSNUMMER	AVTAV	DATE

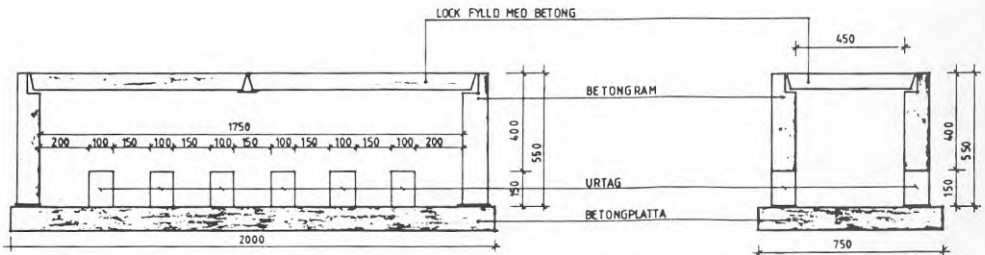
ERIKSULT <small>TEKNIK OCH PROJEKT</small> <small>Box 17, Industriparken 30-34</small> <small>SE-413 01 GÖTEBORG</small> <small>Telefon 031 82 19 10</small> <small>FAX 031 82 19 11</small>	AB GÖTEBORGSHEM KARL STAUFFSGATAN VÄRMELAGER I LERA MARKAKKUMULATOR
	DI AM
	1:50 1:50

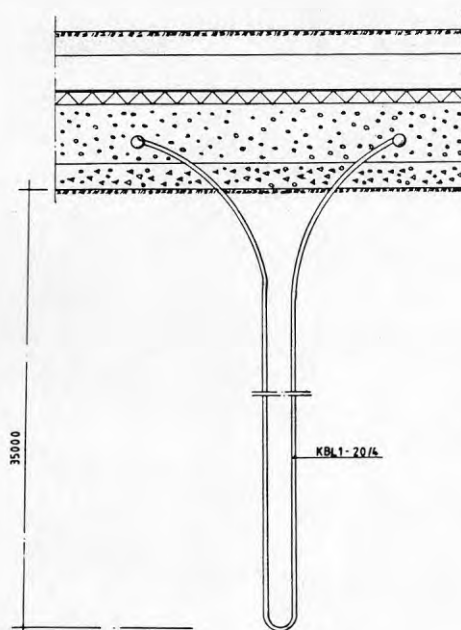


SEKTION A-A SE RITN. VS:5
SKALA 1:10



SEKTION B-B SE RITN. VS:5
SKALA 1:10

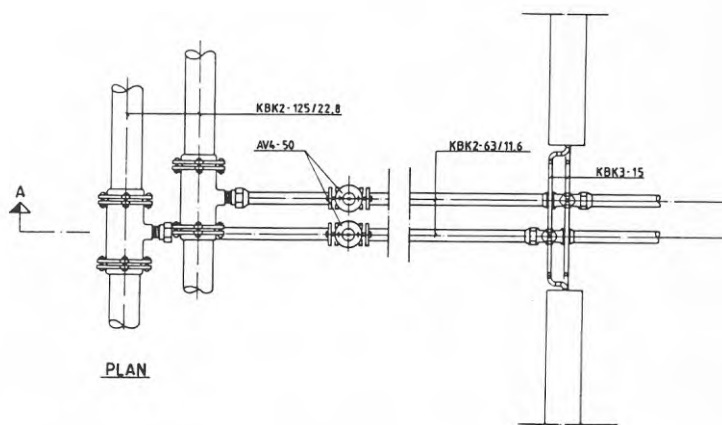
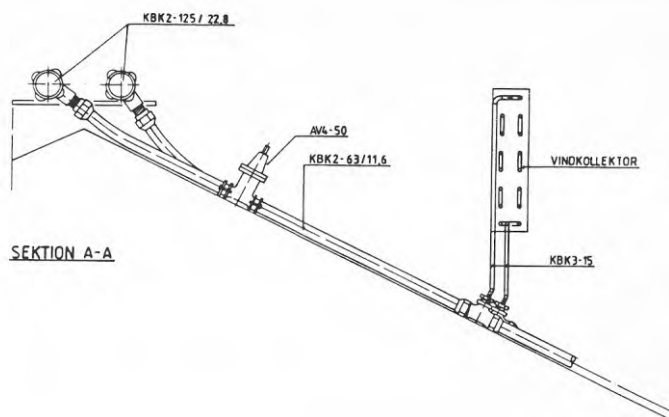


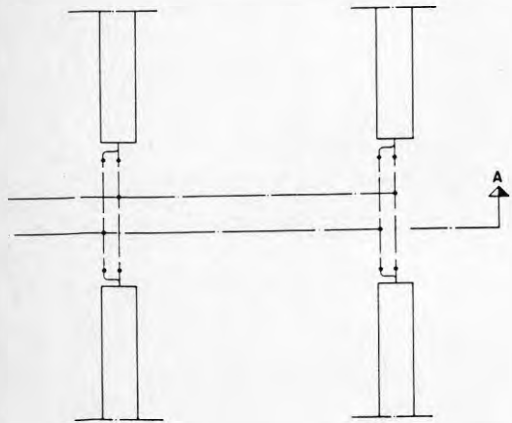
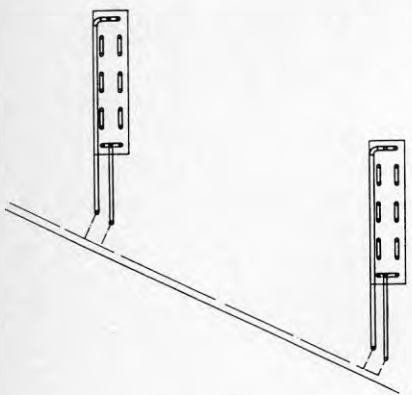


SEKTION C-C SE RITN V5-5
SKALA 1:10

FORFRÅGNINGSUNDERLAG

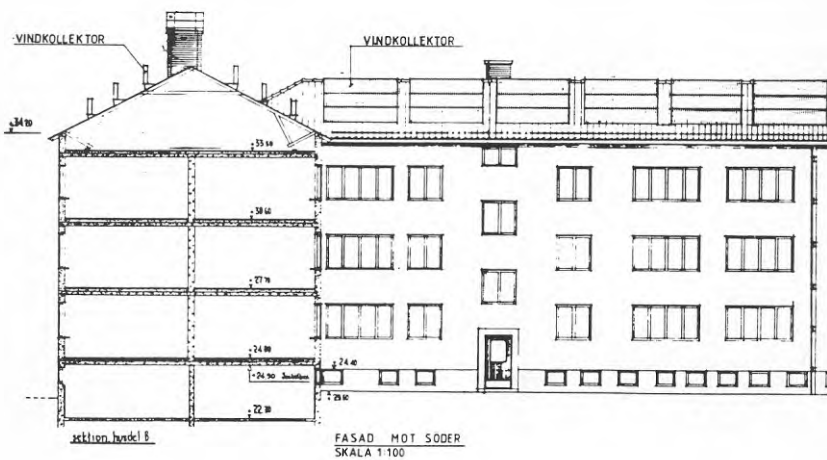
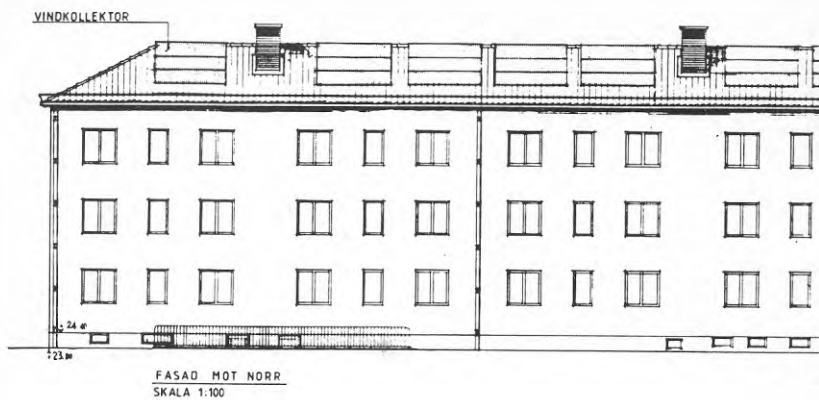
NOG	ART	ANBUDSFRÅGANDEN AVSEER	BYGG	SKITZAR
K-KONSULT <small>Konsult- och projekteringsbyrå</small> <small>Box 97, Sjöbergsgatan 20-22</small> <small>SE-402 22 GÖTEBORG</small> <small>Telefon 031-823330</small>				
AB GÖTEBORGSHEM KARL STAFFSGATAN VÄRMELAGER I LERA MARKAKKUMULATOR SEKTIONER				
<small>Art och beskrivning av objektet eller tjänsten</small> HW HW K-HH 84263-54-02				<small>SKALA</small> 1:10
<small>GBG</small>				

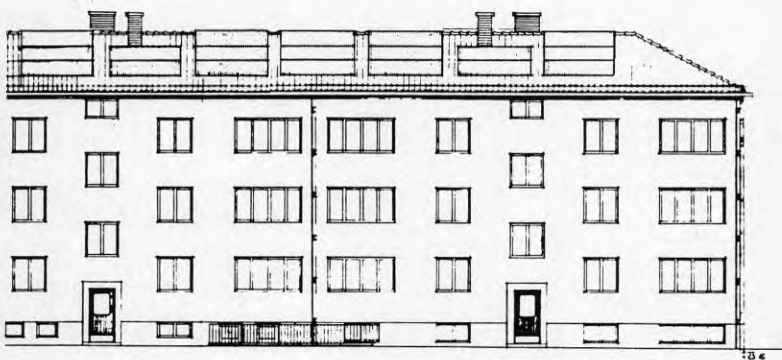
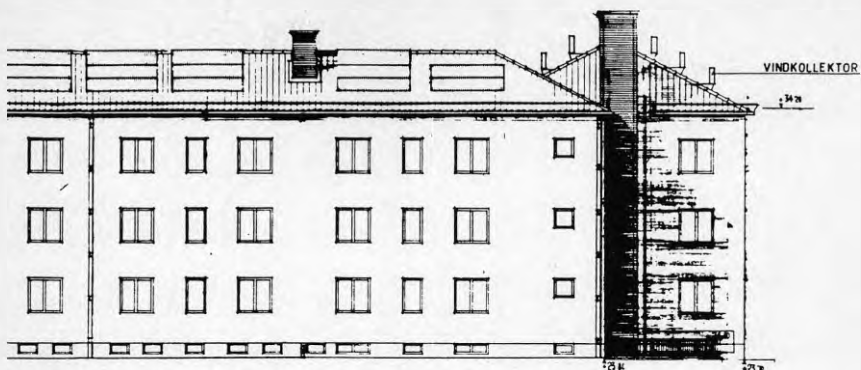




FORFRÅGNINGSUNDERLAG

NO	DATE	FORFRÅGNINGSUNDERLAG	NO	DATE
E-KONSULT <small>ENTRUSTAD OCH ANSVARIG FÖR OCH BEHÅLLNINGEN AV DETTA OPGIFTELSE</small>		AB GÖTEBORGSHEM KARL STAFFSGATAN VÄRMELAGER I LERA		



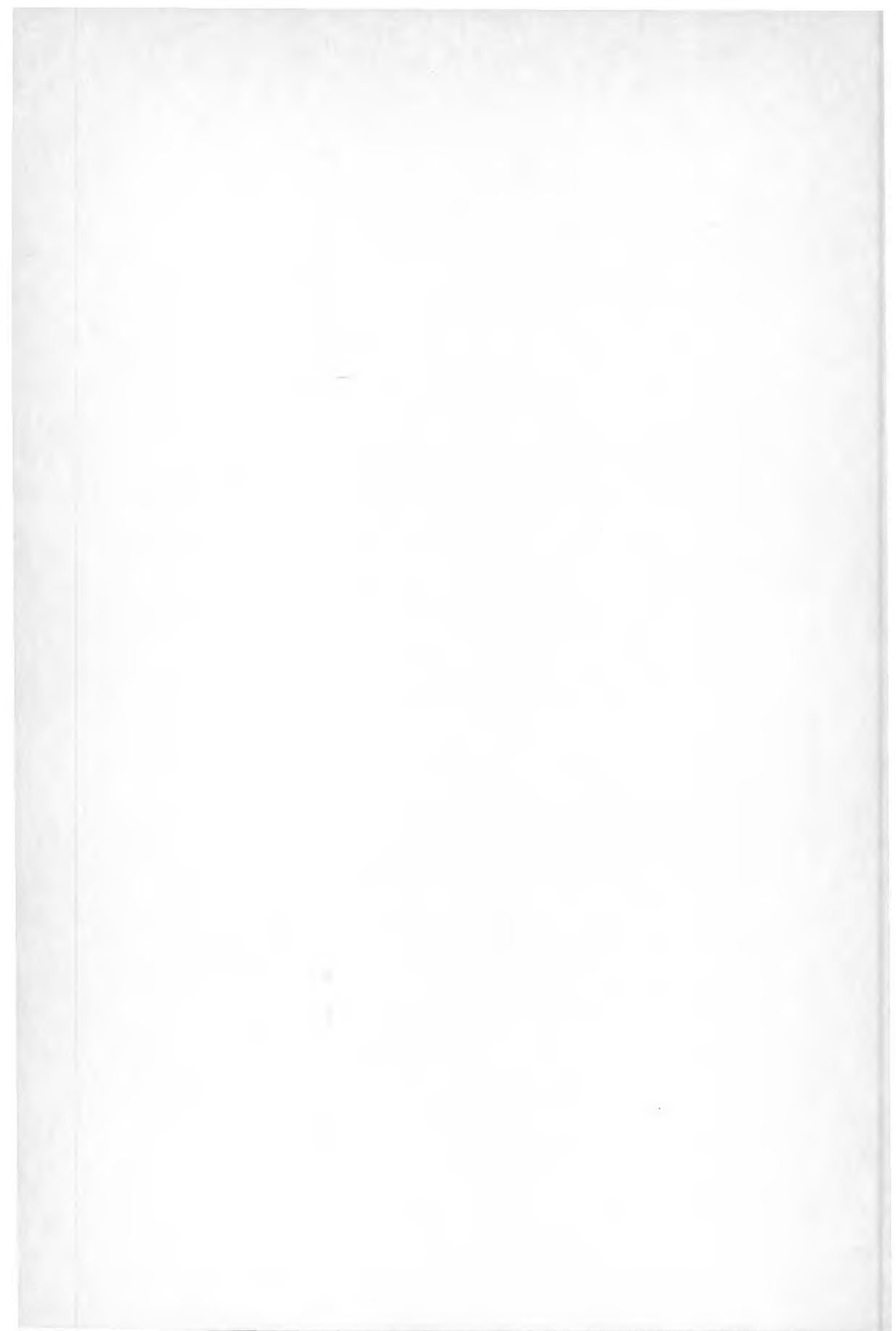


FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG

NOG	ART	ANSÖKANENS AVSICHT	ÖSKA	ÖSKAN

E-KONSULT
BYGGMÄSSIG OCH ANLÄGGNING

AB GÖTEBORGSHEM
 VARMELAGER I LERA KARL STAUFFSGATAN
 VINDKOLLEKTORER



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820787-0
från Statens råd för byggnadsforskning till AB
Göteborgshem, Angered.**

R89: 1986

ISBN 91-540-4640-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706089

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirkapris: 35 kr exkl moms