



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**

**R181:1984**

# **Värmelagring i lera för skola och sporthall i Söderköping**

**Förstudie**

**Bengt Rydell m fl**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Sev

K  
A11

**Byggeforskningsrådet**

R181:1984

VÄRMELAGRING I LERA FÖR SKOLA OCH  
SPORTHALL I SÖDERKÖPING

Förstudie

Bengt Rydell  
Thore Abrahamsson  
Kent Adolfsson  
Caroline Palmgren

Denna Rapport hänför sig till forskningsanslag  
830538-2 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Söderköpings kommun, Söderköping.

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

R181:1984

ISBN 91-540-4294-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
FÖRORD	I
SAMMANFATTNING	II
1. ORIENTERING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	3
1.3 Projektets genomförande	4
2. FÖRUTSÄTTNINGAR	5
2.1 Energitekniska förhållanden	5
2.1.1 Allmänt	5
2.1.2 Energikonsumenter	6
2.1.3 Energikällor	8
2.2 Markens egenskaper	10
2.2.1 Översiktlig geologisk beskrivning	10
2.2.2 Geotekniska förhållanden	11
2.2.3 Geohydrologiska förhållanden	12
2.2.4 Termiska egenskaper	12
2.3 Stadsplaneförhållanden	13
3. VÄRMEFÖRSÖRJNINGSSYSTEM	14
3.1 Systemets uppbyggnad	14
3.2 Värmepumpanläggning	16
3.3 Effekt- och energiberäkningar	17
3.3.1 Uteluft som energikälla	17
3.3.2 Spillvärme som energikälla	20
3.4 Markvärmelager	22
3.4.1 Lokalisering	22
3.4.2 Beräkningsförutsättningar	23
3.4.3 Dimensionering av värmelager	23
3.4.4 Temperaturförhållanden	27
3.4.5 Sammanfattning av beräkningsresultat	28
4. MARKVÄRMEVÄXLARE	29
4.1 Allmänt	29
4.2 Utformning av värmeväxlare	29
4.3 Termisk funktion	30

4.4	Installation av värmedräner	33
4.4.1	Allmänt	33
4.4.2	Maskinell utrustning	33
4.4.3	Drivning av tätt foderrör med rörslingan utanför forderröret	34
4.4.4	Drivning av tätt foderrör med löst lock och rörslingan inuti foderröret	35
4.4.5	Urborrning av lerkärna i drivet foderrör	35
4.4.6	Metodernas för- och nackdelar	36
5.	GEOTEKNISKA KONSEKVENSER	37
5.1	Värmelagring i söt- och brackvattenlera	37
5.2	Geoteknisk påverkan vid värmelagring	39
5.2.1	Allmänt	39
5.2.2	Termisk volymförändring och portrycksförändringar	39
5.2.3	Konsoliderings- och hållfasthets-egenskaper	40
5.2.4	Sättningsförhållanden	40
5.2.5	Inverkan av värmedräner	41
5.2.6	Påverkan på omgivningen	42
6.	PLANFRÅGOR	44
6.1	Gällande stadsplan	44
6.2	Alternativ markanvändning	44
6.3	Ändring av stadsplan	45
7.	EKONOMI	47
7.1	Initialkostnader	47
7.2	Drift- och underhållskostnader	47
7.3	Ekonomiskt resultat	49
8.	SLUTSATSER	51
8.1	Värmeförsörjningssystemet	51
8.2	Markvärmelager	53
8.3	Stadsplaneaspekter	54
9.	LITTERATUR	55
	BILAGEFÖRTECKNING BILAGA 1-13	56

## FÖRORD

Detta forskningsprojekt har genomförts i samverkan mellan energitekniker och geotekniker samt kommunala tjänstemän. Projektet har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning. Projektledare har varit Bengt Rydell, Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping.

De energitekniska studierna har utförts av Thore Abrahamsson och Mircea Abrahamsson, RNK Installationskonsult AB i Göteborg. Utformningen av markvärmelagret och beskrivningen av de geotekniska förhållandena har genomförts av Caroline Palmgren och Bengt Rydell, SGI samt Kent Adolfsson, Chalmers tekniska högskola och J&W, Göteborg. I de termiska studierna av värmeväxlarna har Göran Hellström, Lunds tekniska högskola medverkat. Stadsplanefrågorna har belysts av Jan-Erik Pernes, Söderköpings kommun i samverkan med SGI.

Till projektet har knutits en referensgrupp bestående av kommunalrådet Hans Mellström, Söderköping, Prof Bernt Bäckström, Chalmers tekniska högskola, ing Rolf Larsson, SGI och arkitekt Carl-Johan Engström, K-Konsult, Stockholm.

## SAMMANFATTNING

I många tätorter finns ofta ett flertal avgränsade bebyggelseområden med hög värmetäthet där ekonomiska förutsättningar för en samordnad värmeförsörjning för samtliga delområden saknas. Inom ett sådant delområde i Söderköpings tätort har i denna förstudie undersökts möjligheterna att lösa värmeförsörjningsfrågan genom att utnyttja naturvärme i kombination med säsongsvärme-lagring. I det aktuella området finns en skola, industrier och en utebadanläggning. Dessutom finns planer på att förlägga en sporthall till samma område.

Förstudien har utförts för att klargöra förutsättningarna för att utnyttja natur- eller spillvärmekällor samt alternativa utformningar av värmeförsörjningssystemet. Studien belyser förutsättningarna för värme-lagring i lera avsatt i östra Sverige (sötvatten- och brackvattenlera) och utformningen av en ny typ av värmeväxlare, den s k värmedränen. Slutligen har värme-lagrets inverkan på markanvändningen och gällande stadsplan studerats.

Resultatet av studien visar att alternativa lösningar av värmeförsörjningssystem kan baseras på uteluft eller spillvärme. Genom att komplettera värmepumpen med en underkylare kan en ökad värmemängd utvinnas jämfört med en konventionell värmepump. Värmen från underkylaren används för att ladda värmelagret samtidigt som värmepumpen levererar energi till förbrukarna. Detta ger möjlighet att välja en hög temperaturnivå för lagrets värmebärandevätska. Med underkylare kan effektuttaget ökas med 20-25% och ca 15% mer energi utnyttjas.

I uteluftsalternativet kan mellan 80 och 90% av det totala energibehovet täckas beroende på värmepumpens storlek och om markvärmelager ingår i systemet. Med spillvärme som energikälla är energitäckningsgraden ca 90% med markvärmelager och ca 60% utan lager.

Markvärmelagret har lokaliserats till ett område med ca 14 m lera. Lagrets volym varierar mellan 21000 och 29000 m<sup>3</sup> i de olika alternativen och lagertemperaturen varierar under året mellan +6 och +26°C. När stabila förhållanden har uppnåtts kan 75% av den inlagrade energimängden återvinnas.

Genom att utforma värmeväxlarna i lervärmelagret som värmedränor i form av en u-rörslinga i kombination med en sanddrän kan vissa geotekniska problem bestämmas samtidigt som en förbättrad termisk funktion erhålls. Värmedränen medverkar till att utjämna tryckförändringar i lerans porvatten, som annars medför spänningsförändringar i jorden och eventuellt kan ge upphov till skadliga rörelser i jordlagren.

Värmedränen medför vidare att värmeväxlaravståndet kan ökas eller alternativt att värmebärandevätskans temperatur kan sänkas jämfört med u-rörslingor direkt i lera. Detta medför att anläggningskostnaderna för ett värmelager med värmedränor och av den storlek som här har studerats är ca 10-15% lägre än motsvarande lager med enbart u-rör i lera.

Temperaturförändringar påverkar leran genom att porvattnets volym och tryck är temperaturberoende. På lång sikt bedöms den cykliskt varierande temperaturen medföra en konsolidering av leran och därmed vissa sättningar. Temperatureffekterna är dock begränsade till lagret och dess närmaste omgivning och är i detta projekt inte märkbara på ett avstånd av ca 8 m utanför lagret.

Förutsättningarna för att lagra värme i sötvatten- och brackvattenlera, som förekommer i Östra Sverige och i Mälardalen, jämfört med marin lera, vilken förekommer i västra Sverige, är i huvudsak lika. I allmänhet är dock lermäktigheterna större på västkusten varigenom mindre markyta behöver ianspråkta för en viss lager-  
volym jämfört med motsvarande lager på ostkusten.

I detta projekt har ett markvärmelager kunnat lokaliseras till ett detaljplanelagt område. Detta förutsätter emellertid en ändring av stadsplanen och värmelagret begränsar även utnyttjandet av markytan.

De ekonomiska beräkningarna har utförts för ett oljepris av 2200 kr/m<sup>3</sup> och ett elpris av 0:24 kr/kWh. Återbetalningstiderna för uteluftalternativen varierar mellan 12 och 17 år och för spillvärmealternativen mellan 24 och 32 år.

Med en realränta av 4% och avskrivningstiden 20 år varierar motsvarande energikostnader mellan 0:27 och 0:34 kr/kWh respektive 0:38 och 0:44 kr/kWh.

Kostnaden för markvärmelagret med värmedräner utgör 15-20% av den totala byggkostnaden och den specifika initialkostnaden är 1:50 kr/kWh,år. Under samma förutsättningar som ovan motsvarar detta ca 0:11 kr/kWh. För ett motsvarande lager med u-rörslingor i enbart lera är den specifika initialkostnaden 1:70 kr/kWh,år.



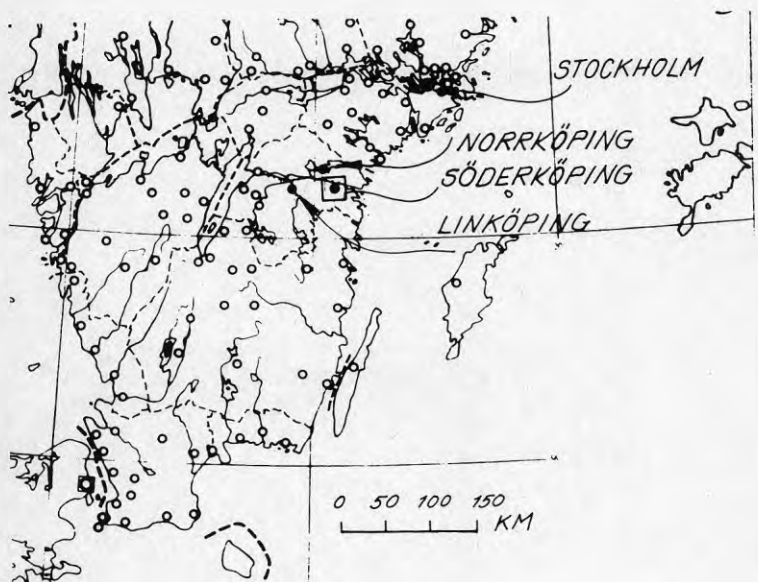
## 1. ORIENTERING

### 1.1 Bakgrund

I flertalet av Sveriges kommuner förekommer avgränsade områden inom tätorterna med relativt hög värmetäthet. Mellan dessa områden kan värmetätheten dock vara låg vilket försvårar möjligheterna för en central värmeförsörjning av hela tätorten.

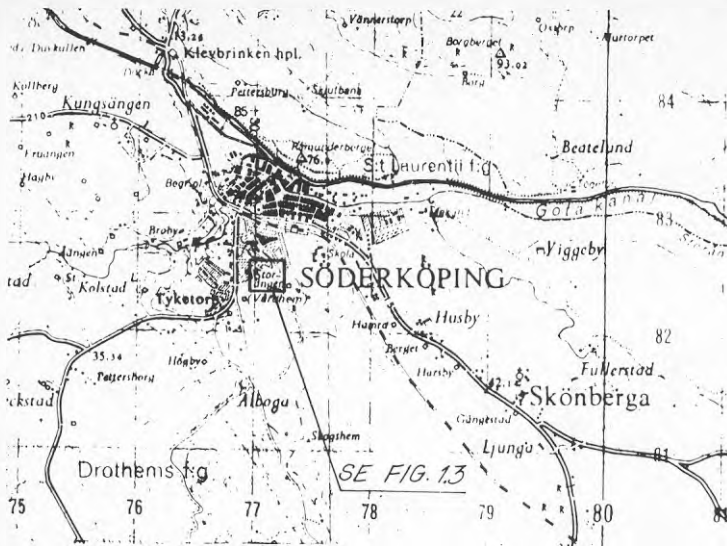
Detta konstaterades även gälla för tätorten Söderköping i en utredning avseende centraliserad värmeförsörjning för tätorten. Här fanns ett flertal block där olika förslag till gemensamma värmeproduktionsanläggningar studerades.

Ett av dessa block omfattar en skola och tre industrier. Dessutom pågår byggnation av en utebadanläggning och en sporthall planeras i anslutning till badet. Byggnaderna är belägna inom ett område där marken utgörs av lera och i omedelbar närhet finns stora obebyggda ytor. Geografiska förhållanden och läget av befintliga och planerade anläggningar framgår av Figur 1.1-1.3.

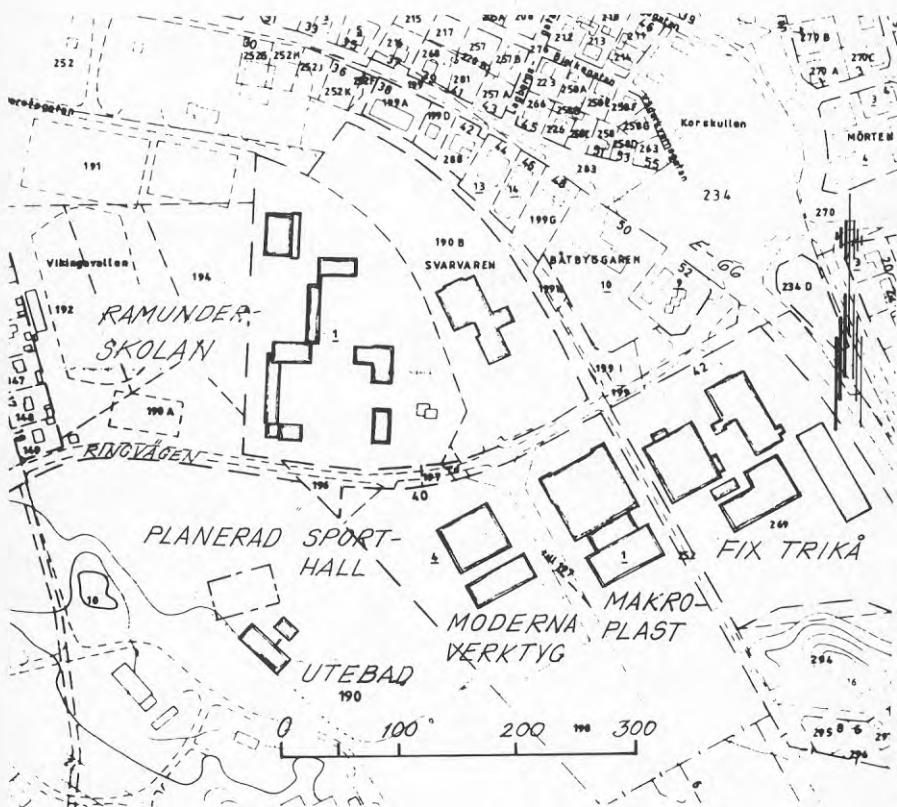


FIGUR 1.1. Geografiskt läge för den studerade orten.





FIGUR 1.2 Läge för det studerade området.



FIGUR 1.3. Situationsplan

Som ett led i arbetet att minska oljeanvändningen väcktes därför frågan att anordna en central värmepumpanläggning för det aktuella blocket och genom att säsongslagra värme i marken utnyttja denna värme som värmekälla för värmepumpen i kombination med naturgivna värmekällor eller spillvärme.

Med stöd av Byggforskningsrådet beslöts därför att i en förstudie belysa förutsättningarna för en sådan anläggning.

## 1.2 Syfte

Projektets huvudsyfte var att genom en förstudie analysera de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för att i huvudsak utnyttja naturvärme inom värmeblocket. Ett första delmål var att studera energisystemet (värmekällor och energianvändning), med avseende på alternativa lösningar av värmeförsörjningssystemet samt utformning av kollektorer för naturvärme separat eller i kombination med spillvärme.

Vidare har studerats ett markvärmelager i lera med avseende på geotekniska förutsättningar för värme-lagring i lera avsatt i östra Sverige (söt- och bräckvattenlera). Möjligheterna att använda en ny typ av värmeväxlare, den s k värmedränen, har dessutom undersökts.

Slutligen har värmelagrets inverkan på markanvändningen studerats med hänsyn till nuvarande och framtida utnyttjande av marken och bestämmelser i gällande stadsplan. Projektet avsåg även att belysa eventuella behov av kompletteringar eller förändringar av stadsplanen.

### 1.3 Projektets genomförande

Arbetet har genomförts av en projektgrupp med tvärfacklig sammansättning. I gruppen har funnits representanter med erfarenhet av energiteknik, geoteknik och samhällsplanering. Projektet har genomförts i nära samråd med kommunens förtroendevalda och berörda nyttjare av planerade anläggningar.

Med utgångspunkt från kommunens utredningsmaterial avseende åtgärder för oljereduktion och aktuella industriens energisituation har projektet genomförts som en teoretisk studie av rådande förutsättningar och alternativa lösningar av värmeförsörjningssystem.

Arbetet inleddes med en inventering av tillgängliga natur- och spillvärmekällor samt av värmeeffektbehovets variation under dygnet och året. Med detta som bas studerades lagringsmöjligheter och lagrets principiella utformning vid olika värmepumpeffekter.

För att studera markvärmelagrets utformning har jordens geotekniska, geohydrologiska och termiska egenskaper kartlagts i fält och på laboratorium. En teoretisk studie av markvärmeväxlarnas verkningsätt har legat till grund för utformningen av dessa.

Möjligheten att förlägga markvärmelager med tillhörande byggnader på lämplig plats har undersökts med utgångspunkt från gällande stadsplan. Här har även analyserats om en utbyggnad av markvärmelagret medför behov av ytterligare föreskrifter för markanvändningen.

## 2. FÖRUTSÄTTNINGAR

### 2.1 Energitekniska förhållanden

#### 2.1.1 Allmänt

Förstudien har inriktats på att belysa alternativa värmeförsörjningssystem för att tillgodose energi-behovet för en skola, ett utebad och en sporthall. Genom säsongslagring av värme från uteluft eller spillvärme i marken kan en stor del av det erforderliga energibehovet täckas.

Två huvudalternativ kan särskiljas:

I det ena alternativet förses marklagret med energi från uteluften, där uteluftskylarna även utnyttjas direkt för att tillgodose energikonsumenternas behov under vår och höst.

I det andra alternativet levererar närliggande industrier spillvärme mot ekonomisk ersättning.

Skillnaden mellan de båda försörjningsalternativen är att i det först nämnda fallet - uteluftförångare - finns energi tillgänglig vid en lägre temperaturnivå än vid spillvärmefallet, där man dock måste betala för den högre temperaturnivån. Vidare är spillenergin endast tillgänglig under arbetstid och energi från uteluften blir kostsam vid köldgrader.

Andra försörjningsalternativ till marklagret som har föreslagits är solfångare och soluppvärmda vindsutrymmen. På basis av erfarenheterna från andra anläggningar bedöms solfångare ställa sig dyrare än de andra två försörjningsalternativen och är således ej intressant. Att utnyttja skolans vindar för att förvärma uteluften och sedan kyla den med uteluftskylare skiljer sig endast från det rena uteluftsfallet i att uteluften har fått en liten extra temperaturhöjning. Dessvärre blir inte denna tillräckligt stor, beroende på den aktuella takkonstruktionen och genom att det erforderliga luftflödet blir för stort i relation till vindsutrymmena.

### 2.1.2 Energikonsumenter

De planerade anläggningarna skall tillgodose värmebehovet hos tre konsumenter, jfr Figur 1.3.

Rumunderskolans värmeförsöjning tillgodoses med en egen oljeeldad pannanläggning bestående av 3 st pannor med en effekt av 2 x 0,64 MW och 1 x 0,41 MW.

Oljeförbrukningen uppgår till 250 m<sup>3</sup>/år. Sommartid bereds tappvarmvatten med hjälp av elpatroner.

Det maximala effektbehovet är av storleksordningen 1 MW.

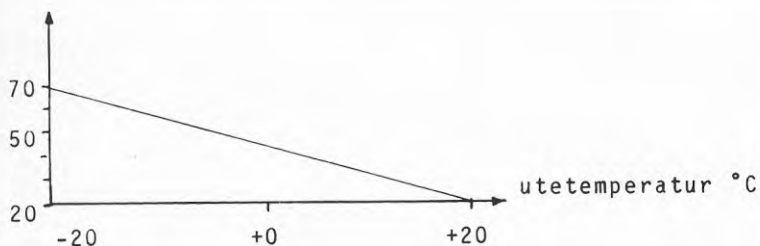
Energibehovet uppdelat på de olika förbrukningsposterna framgår av Tabell 2.1.

TABELL 2.1. Energibehov, MWh/år.

totalt	netto	radiatorer	ventilation	vvb
2500	1750	1040	450	260

Värmevattnet till radiatorkretsen shuntas i pannrummet och framledningstemperaturen är kompenserad för utetemperaturen, jfr Figur 2.1.

framledningstemp °C



FIGUR 2.1. Värmevattnets framledningstemperatur.

Nattetid sänks framledningstemperaturen med ca  $10^{\circ}\text{C}$ . Värmevattnet till ventilationsaggregaten shuntas vid respektive aggregat och måste om en värmepump skall anslutas till värmesystemet även shuntas vid panncentralen. För närvarande är framledningstemperaturen  $80^{\circ}\text{C}$ .

Ventilationsaggregaten är endast i drift dagtid, eller 25% av veckan. Detta leder till en stor variation av den uttagna panneffekten. Totalt ventileras skollokaler med  $17,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

I Bilaga 1 är skolans effektbehov utritat i två varaktighetsdiagram för dag- respektive nattfallet.

Det totala energibehovet uppgår till 1750 MWh/år och fördelningen under året framgår av Tabell 2.2.

TABELL 2.2. Enerigibehov för Ramunderskolan.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MWh/månad	282	282	250	193	92	0	0	0	90	140	185	250

För närvarande är en badanläggning under uppförande med tre st utebassänger. Badperioden planeras till 3 sommarmånader och föregås av en 15 dagars uppvärmningsperiod. Bassängerna antas ej förses med någon täckning och det beräknade uppvärmningsbehovet framgår av Tabell 2.3.

TABELL 2.3. Enerigibehov för utebadanläggning.

Månad	5	6	7	8
MWh/månad	100	110	110	110

En sporthall är planerad och kommer med stor sannolikhet att uppföras i omedelbar närhet av utebadet, jfr Figur 1.3. Effektkarakteristiken påminner om skolans, med en stor skillnad mellan dag- och nattfallet.



Det beräknade månadsvisa energibehovet framgår av Tabell 2.4. Totalt bedöms 515 MWh förbrukas per år.

TABELL 2.4. Energibehov för sporthall.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MWh/månad	91	91	71	48	24	0	0	0	20	40	55	69

Effektbehovet beräknas till maximalt 0,6 MW.

### 2.1.3 Energikällor

Energi till uppvärmning av byggnader och för laddning av värmelagret hämtas antingen från uteluften eller från de närliggande industrierna.

Produktionen vid Moderna verktyg består av verktygsframställning där en stor del levereras till närliggande Makroplast. Något större energibehov utöver uppvärmningsbehovet och el till maskiner föreligger inte.

Uppvärmningsbehovet tillgodoses via en oljeeldad panncentral som även försörjer Makroplast med värme. Panneffekten är 2 x 1,0 MW. Oljeförbrukningen för Moderna verktyg uppgår till 140 m<sup>3</sup>/år.

Några spillvärmekällor finns alltså inte vid Moderna verktyg.

Vid Makroplast består produktionen av formsprutning av plastdetaljer med efterföljande lackering. Arbetstiden är 2-skift, 16 h/5 d per vecka. Stängt under semestern i juli.

Oljeförbrukningen för uppvärmningsändamål uppgår till 140 m<sup>3</sup>/år, där värmevattnet kommer från Moderna verktygs pannanläggning. Elenergiförbrukningen, huvudsakligen till formsprutmaskinerna, uppgår till 3830 MWh/år.



Följande spillvärmekällor finns inom fabriksanläggningen:

Formsprutningsmaskinerna kyls med kylvatten via 3 st kylmaskiner med en maximal kondensoreffekt av 680 kW. De två större aggregaten är kopplade direkt till ventilationsaggregat och idag återvinns ca 720 MWh/år av totalt 2240 MWh/år. Vätsketemperaturen i luftkylarna är ca +40°C.

Två större luftkompressorer och en mindre levererar tryckluft till fabriksanläggningen. Kylenergin från två av dem återvinns idag. Resterande spillvärmepotential uppgår till 55 MWh/år. Temperaturnivå, ca +40°C.

Avluft med stor spillvärmepotential finns tillgänglig vid C- och lackeringshallen. Man har emellertid planer på att återföra avluften från C-hallen in till lackeringshallen och att reducera ventilationsmängden i lackeringshallen. Dessa föreslagna åtgärder tillsammans med att luft med temperatur av 20°C är en sämre spillvärmekälla än 40°C-igt vatten, innebär att avluften inte är intressant som spillvärmealternativ. Energiinnehållet i avluften från lackeringshallen efter de föreslagna åtgärderna motsvarar vid en temperatursänkning på 15°C 375 MWh/år.

Totalt finns alltså storleksordningen 1600 MWh/år tillgängligt som spillvärme. Effekten varierar beroende på att man återvinner en del energi. Sommartid dumpas emellertid allt, vilket motsvarar 705 kW, medan vid -20°C endast återstår 170 kW.

Fix trikåfabrik tillverkar textilier, där de energintensiva processerna består av färgning och torkning.

Oljeförbrukningen uppgår till ca 800 m<sup>3</sup>/år, där större delen används för ångproduktion. Den sammanlagda effekten i 5 pannor är 4,7 MW.

Praktiskt taget samtliga ventilationsaggregat är försedda med värmeåtervinning. Inom processen återvinner man en stor del av spillvärmepotentialen och man har även planer på att ta hand om den resterande mängden. För närvarande släpps ca 300 m<sup>3</sup> processvatten per dygn ut i Storån efter rening. Temperaturen är 25-30°C. En 10<sup>o</sup>-ig temperatursänkning av processvattnet motsvarar ca 800 MWh/år.

På grund av att man troligen kommer att återvinna den resterande spillvärmepotentialen samt att avståndet är stort mellan fabriken reningsverk och Ramunderskolan bedöms Fix inte vara aktuell som spillvärmeleverantör.

För närvarande finns en naturisbana väster om Ramunderskolan. Denna skulle i framtiden kunna förses med en kylanläggning. I samband med detta väcktes frågan om det är möjligt att ta tillvara kondensorvärme till marklagret, eller förse omklädningsrummen med värme och varmt duschvatten från den tilltänkta värmepump-anläggningen.

Båda alternativen är direkt olönsamma eftersom isbanans kylmaskiner endast arbetar maximalt under höstperioden när påfrysning sker. Därefter går den på låg effekt och kan med fördel tillgodose en del av värmebehovet till omklädningsrummen.

## 2.2 Markens egenskaper

### 2.2.1 Översiktlig geologisk beskrivning

Området, som ingår i en vidsträckt sedimentslätt, är tämligen horisontellt. Lagerföljden i de översta metrarna utgörs av postglaciala sediment som underlagras av glaciala sediment, varvig lera. Den varviga lera innehåller 50-60% ler i de övre delarna. I och med att varvens mäktighet och frekvens ökar med djupet minskar

lerhalten. Varvig lera med siltskikt och varvig silt med lerskikt utgör den understa delen av den glaciala lerlagerföljden. Sådana sediment förekommer allmänt i områden med varvig lera och går i dagen i en smal zon närmast häll- och moränområdena där den postglaciala leran saknas. Såväl finare som gröver sediment och morän underlagrar leran.

Geotekniska undersökningar har tidigare utförts i de tre delområden som studerats, jfr avsnitt 3.4 och Fig 3.3. Två av dessa delområden, ett i söder och ett i nordväst, utgörs av åkermark med lermäktigheter av ca 13-19 m i det södra och ca 10-20 m i det nordvästra. Det tredje delområdet, i nordöst, är en asfaltbelagd skolgård med en lermäktighet av ca 10 m.

#### 2.2.2 Geotekniska förhållanden

Tidigare utförda översiktliga geotekniska undersökningar har kompletterats med undersökningar för det nordvästra alternativet, alternativ 1, dit markvärme-lagret lokaliserats. Sonderingar visar att leran har en mäktighet av ca 10 m i västra och ca 15-20 m i östra delen. Genom portrycksondering har konstaterats ett flertal skikt i leran. Skikten är tunna och jordprovtagningen visar att de utgörs av silt och finsand.

Laboratorieundersökningarna visar att lerans skjuvhållfasthet varierar mellan 15 och 20 kPa. Leran är normalkonsoliderad eller överkonsoliderad ca 15-20 kPa. Densiteten varierar från ca 1,5 t/m<sup>3</sup> i den övre delen till ca 1,8 t/m<sup>3</sup> i den undre delen. I de översta delarna är vattenkvoten ca 100% och i övrigt pendlar vattenkvoten kring ca 70%. Under leran, där varvig silt med lerskikt förekommer, sjunker vattenkvoten till ca 50%.

Leran är måttligt tjälfarlig och tillhör tjälfarlighetsgrupp II.

Resultaten av utförda fält- och laboratorieundersökningar framgår av Bilaga 2. I bilagan redovisas endast en borrhsektion, som emellertid är representativ för området.

### 2.2.3 Geohydrologiska förhållanden

I homogen lera är inte grundvattnets strömning av någon avgörande betydelse för ett värmelager då strömningshastigheten är låg. Detta gäller även för de tunna silt- och sandskikt som förekommer inom här aktuellt område. I de mer genomsläppliga lagren av friktionsjord under leran kan värme dock borttransporteras om den hydrauliska gradienten och permeabiliteten är stor .

Grundvattennivån har uppmätts i fyra observationsrör nedförda till friktionsjorden under leran. Rörens lägen framgår av Bilaga 2. Mätningar visar att grundvattnet strömmar i nordvästlig riktning medan markytan sluttar åt nordost. Det enda kända grundvattenuttaget inom området finns vid Fix trikåfabriker ca 350 m öster om planerat värmelager.

Med ledning av grundvattenobservationer och antagna permeabiliteter för silt, sand och morän som underlagrar leran bedöms grundvattnets strömningshastighet uppgå till ca 0,3 m/år. Värmeförlusterna orsakade av grundvattenflödet är härigenom försumbara.

### 2.2.4 Termiska egenskaper

De termodynamiska parametrar som i första hand påverkar ett lerlagers egenskaper är värmekonduktiviteten ( $\lambda$ ), och volymetriska värmekapaciteten ( $c_v$ ). Konduktiviteten beror bl a på lermineralets konduktivitet, vattnets konduktivitet och den effektiva porositeten. Värmekapaciteten beror på liknande sätt bl a på lermineralets värmekapacitet, vattnets värmekapacitet och den effektiva porositeten.

Med utgångspunkt från erfarenhetsvärden avseende termiska egenskaper hos mineral och vatten har för detta projekt konduktiviteten teoretiskt bestämts till 1 W/m,K och värmekapaciteterna till  $3,6 \times 10^6$  J/m<sup>3</sup>,K. Värmediffusiviteten uppgår härmed till  $0,28 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

### 2.3 Stadsplaneförhållanden

För det område, där markvärmelager och värmepumpbyggnad skall förläggas finns en fastställd stadsplan. Innehållet i planen beskrivs närmare under kapitel 6.

### 3. VÄRMEFÖRSÖRJNINGSSYSTEM

#### 3.1 Systemets uppbyggnad

Lågvärdig energi hämtas antingen från uteluften eller i form av spillvärme från Makroplast. Lagring sker i ett lerlager. Vid uteluftsfallet tillgodoses förbrukarnas värmebehov via luftkylare ner till en utetemperatur av ca  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ . Därefter hämtas energi från marklagret.

Vid spillvärmefallet kan energi levereras direkt via värmepump från Makroplast till förbrukarna 16 h/d i veckan. Övrig tid måste värme hämtas från lagret. Sommartid lagras spillvärmeöverskottet i leran.

Eftersom det finns ett flertal energiförbrukare och olika sätt att hämta "gratisenergi" har en uppdelning enligt Tabell 3.1 gjorts.

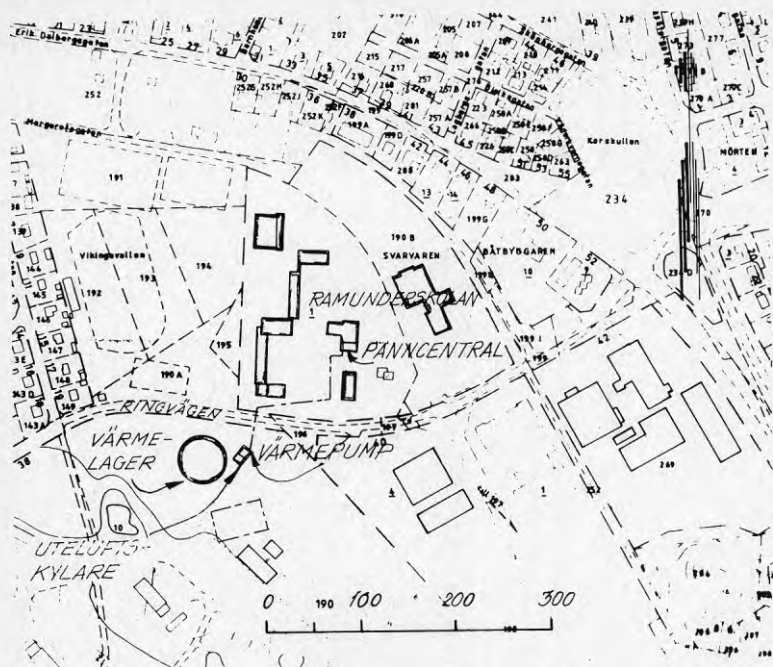
TABELL 3.1. Studerade försörjningsalternativ.

Alternativ	Förbrukare	Kond-effekt kW	Energi- källa	Lager
1a	Ramunderskolan	300	Uteluft	Ja
1b	Ramunderskolan	500	Uteluft	Ja
1c	Ramunderskolan Badanläggning Sporthal <sup>1</sup>	750	Uteluft	Ja
1d	Ramunderskolan	500	Uteluft	Nej
2a	Ramunderskolan	500	Spillvärme	Ja
2b	Ramunderskolan	500	Spillvärme	Nej

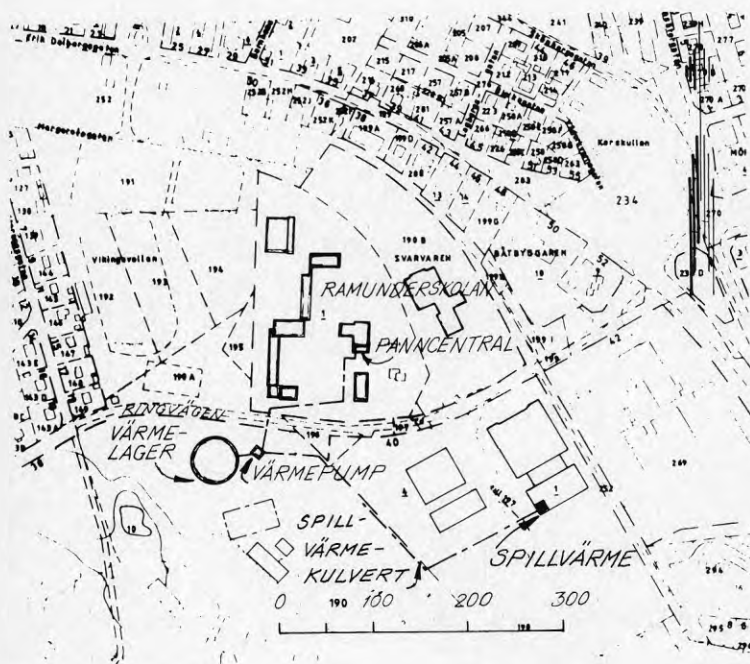
Genom att studera ett flertal olika tillämpningar, framgår faktorer som lagrets påverkan på lönsamheten, inverkan av värmepumpens storlek, spillvärme kontra uteluft osv.

Den principiella utformningen av utelufts- och spillvärmealternativen framgår av Figur 3.1 och 3.2.





Figur 3.1. Principfigur för värmeförsörjning med uteluft.



Figur 3.2. Principfigur för värmeförsörjning med spillvärme.



### 3.2 Värmepumpanläggning

Värmepumpanläggningen kan utformas enligt ett av de båda förslagen i Bilaga 3. I de fortsatta beräkningarna har endast förslag I studerats.

Förslag I är en konventionell värmepump, med det enda undantaget att den har kompletterats med en underkylare. Denna ger ett ökat värmeuttag utan ökning av eleffektuttaget till kompressorn och motsvarar nästan 1/4 av kondensorns effekt. Samtidigt som värmepumpen levererar energi till förbrukare via uteluftskylaren och kondensorn, kan underkylaren lämna ett bidrag till lagret. Vid laddning av lagret sommartid, förvärms värmeväxlarvattnet till lagret i underkylaren. I figuren i Bilaga 3 är det endast ritat en kompressor. För att effekten skall kunna varieras inom ett brett register fordras två kompressorer.

Värmebärrarflödets riktning i lagret kan reverseras beroende på om det är laddning eller uttag som sker. Detta möjliggör en varm inre lagerzon vilket minskar förlusterna.

Förslag II skiljer sig från det första förslaget vid vår- och höstfallet, då laddning och värmeförsörjning sker samtidigt. Genom att låta den ena kompressorn arbeta mot en lägre kondenseringstemperatur för att enbart ladda lagret fås en högre värmefaktor och lägre elenergiförbrukning. Vid det rena vinter- och sommarfallet är driftsättet lika förslag I.

Av Bilaga 4 och 5 framgår driftsättet när energi hämtas från uteluften. Val av tidpunkt då energi skall hämtas från lagret istället för uteluften är beroende av ett flertal faktorer såsom

- storleken på lagret
- hur mycket värmepumpen hinner med att lagra in under sommaren
- lagrets kostnad
- elenergikostnadsdifferensen för att hämta energi från uteluften istället för lagret.

Listan kan göras längre, men det framstår att det är fråga om ett optimeringsproblem med flera ingående variabler. I det fortsatta beräkningsarbetet har dock valts att övergå från lager till uteluft och vice versa vid en utetemperatur av ca  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ .

Normalt vid dimensionering av alternativa värmeförsörjningsanläggningar brukar man välja en maximal effekt motsvarande 35-50% av behovet. I det aktuella fallet varierar behovet starkt beroende på om det är dag- eller nattdrift. I Bilaga 1 är effektbehovet för de båda driftfallen åskådliggjorda. Noteras bör att drifttiden för nattfallet är 75% av totala tiden och att energibehovet är 975 MWh/år jämfört med 775 MWh/år för dagdriften. Dessa förutsättningar medför att effekten på den alternativa värmeförsörjningsanläggningen kan väljas lägre än 35-50% och ändå täcka en stor del av årsenergibehovet.

I Bilaga 6 redovisas driftsättet när spillvärme utnyttjas.

Vid spillvärmefallet 2b när marklagret saknas, måste spillvärme kunna lagras från arbetsid till icke arbetstid vilket kräver en ackumulator. Denna placeras lämpligen på förångarsidan, kan göras trycklös och beräknas få en volym av ca  $25 \text{ m}^3$ .

### 3.3 Effekt- och energiberäkningar

#### 3.3.1 Uteluft som energikälla

Värmevattnet till radiatorerna i Ramunderskolan är utetemperaturkompenserat. Detta gäller ej värmevattnet till ventilationsaggregaten, vilket måste ske om en värmepump skall anslutas till värmesystemet. I så fall borde  $70^{\circ}\text{C}$  på värmevattnet vara tillräckligt vid  $-20^{\circ}\text{C}$  ute. Nattdrift medför att framledningstemperaturen kan sänkas med ca  $10^{\circ}\text{C}$ .

Sporthallen dimensioneras för ett lågtemperatursystem, vilket inte driver upp kondenseringstemperaturen.

Följaktligen är det tappvarmvattenberedningen som under största delen av året bestämmer kondenseringstemperaturen.

I beräkningarna har kondenseringstemperaturen valts till  $55^{\circ}\text{C}$  som ett medelvärde för förbrukningsperioden medan den beräknas till  $45^{\circ}\text{C}$  vid laddningsperioden.

Förångningstemperaturen har valts till  $\pm 0^{\circ}\text{C}$  vid energitutttag från uteluften eller lagret och  $+5^{\circ}\text{C}$  vid laddning.

Med dessa förutsättningar blir värmefaktorn för endast värmepump 3,5 vid värmeförsörjning och 5,0 vid laddning av lagret. Driftsättet framgår av Bilaga 4.

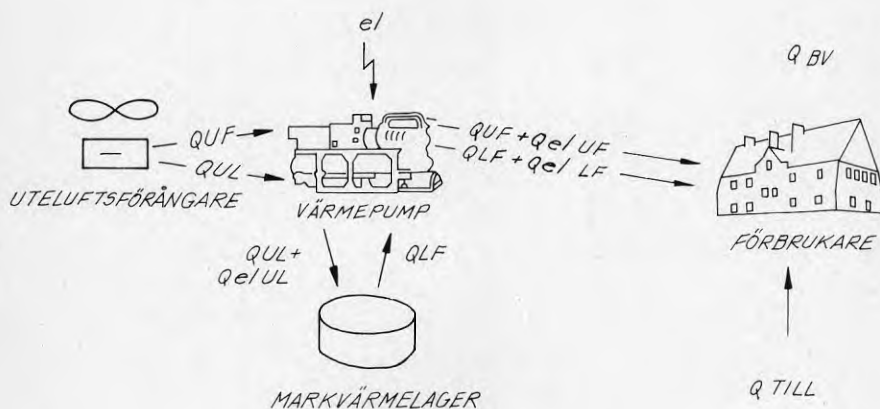
Underkylningen innebär att effektuttaget kan ökas med 20-25% eller uttryckt på ett annat sätt en lika stor "förbättring av" värmefaktorn. Denna blir i så fall 6,2 vid laddning medan underkylenergin kan kvittas mot lagerförlusterna vid uteluftdriftfallet. Förlusterna uppgår till ca 25% av den totalt lagrade energimängden.

Vid det rena uteluftsfallet (1d), när något lager inte finns med, utformas värmepumpen med en direktförångare, varvid kretsen mellan luftkylare och förångare elimineras.

Vidare utnyttjas värmepumpen till lägre utetemperaturer, ner till  $-7^{\circ}\text{C}$ . Avfrostningsproblemet som uppstår då köldmediet i förångaren har lägre temperaturer än  $0^{\circ}\text{C}$ , är störst vid utetemperaturer mellan  $+3 - +5^{\circ}\text{C}$  och minskar sedan vid fallande temperatur eftersom uteluften blir "torrare".

I Bilaga 5 framgår driftsättet i ett varaktighetsdiagram. Värmefaktorn varierar mellan 2,5 och 4.

Systemets principiella uppbyggnad framgår av Figur 3.3.



FIGUR 3.3. Energiflöden vid uteluftsalternativet.

Förklaringar till Figur 3.2:

Q	energiflöde
UF	från uteluft till förbrukare
UL	från uteluft till lager
LF	från lager till förbrukare
el	elenergi
Till	tillskottsenergi från ordinarie värmeanläggning
BV	behov

Beräknade energiflöden för alternativ 1a-d och månadsvisa energibalanser redovisas i Bilaga 7. Av dessa kan systemets energitäckningsgrad sammanfattas enligt Tabell 3.2.

TABELL 3.2. Energitäckning med uteluft som energikälla.

Alternativ	Kond-effekt kW	Energibehov MWh/år	Energi från vp inkl el (uteluft + ev lager)	
			MWh/år	%
1a	300	1750	1419	81
1b	500	1750	1556	89
1c	750	2700	2355	87
1d	500	1750	1590	91

### 3.3.2 Spillvärme som energikälla

Vid spillvärmefallet finns energi tillgänglig vid en högre temperaturnivå. Vid värmeförsörjning från lager och Makroplast beräknas värmefaktorn för endast värmepumpen till 4,0. Underkylsenergin kvittas mot lagerförlusterna. Vid laddning blir värmefaktorn 5,5 och med hänsyn till underkylsenergin förbättras den till 6,8.

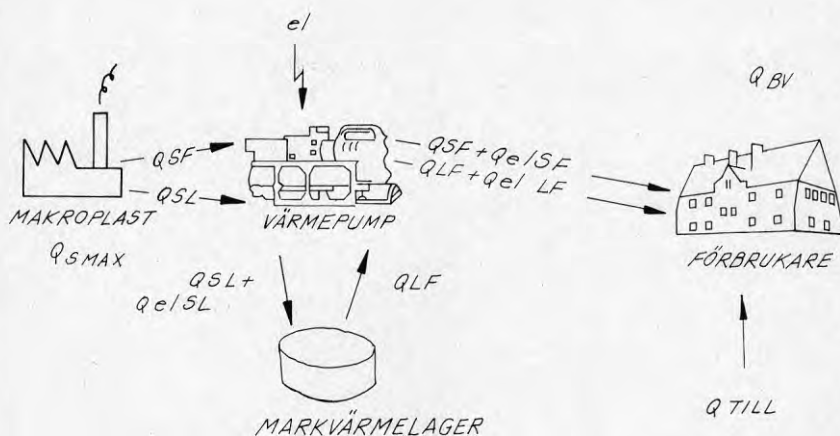
Den markanta skillnaden mellan uteluft- och spillvärmefallet är att i det senare finns "gratisenergi" tillgänglig under hela året, dock med reducerad effekt vintertid. Driftsättet framgår av Bilaga 6.

Den principiella uppbyggnaden av systemet framgår av Figur 3.4.

Beräknade energiflöden för alternativ 2 a-b och månadsvisa energibalanser framgår av Bilaga 8. Av dessa kan systemets energitäckningsgrad sammanfattas enligt Tabell 3.3.

TABELL 3.3. Energitäckning med spillvärme som energikälla.

Alternativ	Kond-effekt kW	Energibehov MWh/år	Energi från vp inkl el (spillvärme + ev lager) MWh/år	%
2a	500	1750	1613	92
2b	500	1750	1042	60



FIGUR 3.4. Energiflöden vid spillvärmealternativet.

Förklaringar till Figur 3.4.:

Q	energiflöde
$Q_{Smax}$	tillgänglig spillvärmepotential
SF	från spillvärmeproducent till förbrukare
SL	från spillvärmeproducent till lager
LF	från lager till förbrukare
el	elenergi
Till	tillskottsenergi från ordinarie värmeanläggning
BV	behov

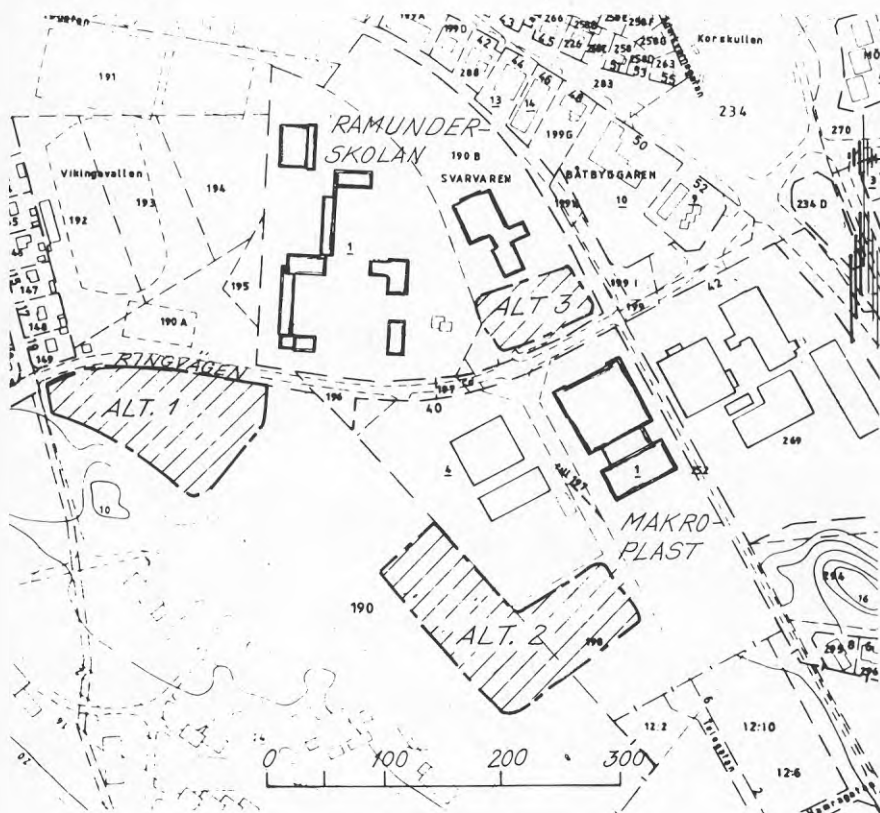
Något alternativ där även sporthallen och badanläggningen tas med på förbrukarsidan har ej studerats eftersom nästan hela spillvärmepotentialen redan är utnyttjad.



### 3.4 Markvärmelager

#### 3.4.1 Lokalisering

Inledningsvis inventerades tänkbara lägen för ett markvärmelager, varvid geotekniska förhållanden, nuvarande markanvändning och närhet till energikällor och energikonsumenter beaktades. Tre alternativa lägen redovisas i Figur 3.5.



FIGUR 3.5. Alternativa lägen för markvärmelager.

Vid alternativ 3 är lerans mäktighet ca 10 m och markytan utgörs av en asfalterad bollplan och planteringar. Ett flertal ledningar och kablar finns även under denna yta. Alternativ 1 och 2 utgörs av åkermark och med ca 15 m lera. Lerans egenskaper är likvärdiga i samtliga alternativ.



Kommunen är markägare till samtliga de studerade områdena med undantag av den östra delen av alternativ 2.

Med anledning av kostnaderna för återställning av befintliga ytor och anläggningar vid alternativ 3 samt den begränsat tillgängliga markvolymen bedömdes detta alternativ vara mindre lämpligt än de båda övriga.

Med utgångspunkt från läget av de byggnader som skall värmeförsörjas bedömdes alternativ 1 från teknisk och ekonomisk synpunkt vara mest fördelaktigt för värmelagret.

#### 3.4.2 Beräkningsförutsättningar

Värmelagret placeras inom ett lerområde med ett utnyttjbart lerdjup av ca 14 m. På basis av de geotekniska undersökningarna enligt avsnitt 2.2.4 har lerans termiska egenskaper teoretiskt beräknats till:

Värmeledningsförmåga  $\lambda = 1 \text{ W/m,K}$

Värmekapacitet  $c_v = 3,6 \text{ MJ/m}^3, \text{K}$

Värmediffusionskoefficient  $\kappa = 0,28 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Dessa värden har använts i de fortsatta beräkningarna, som genomförts enligt Claesson m fl (1983). Temperatursvinget i lagret har i denna beräkningsomgång valts till 20°C. Årsmedeltemperaturen och den ursprungliga jordtemperaturen har satts till 6°C. Detta innebär att medeltemperaturerna i lagret varierar mellan 6 och 26°C. Den för stationär värmeförlust från lagret genererande temperaturdifferensen blir i genomsnitt 10°C.

#### 3.4.3 Dimensionering av värmelager

Dimensionering har utförts för alternativen 1a och 1c enligt tabell 3.1. Beräkningarna har utförts enligt följande arbetsgång och resultaten har sammanfattats i avsnitt 3.4.5.

##### a) Bestämning av erforderlig lagerstorlek

Lagrets dimensioner har bestämts med den projekterade uttagna energimängden, jordens värmekapacitet och lagrets temperatursving som utgångsvärden.

Lagret förutsätts vara cylindriskt med ett medeldjup av 14 m. Lagrets diameter beräknades ur den erforderliga volymen.

b) Värmeförluster från lagret

Förlusterna från lagret under en årscykel består av två komponenter, dels transienta, dels stationära förluster. De stationära förlusterna är konstanta år från år. De transienta förlusterna är störst i början då en värmekudde byggs upp kring lagret. Efter ca 4 år har "insvängning" skett och de transienta förlusterna är i praktiken försumbara.

c) Bestämning av stationära förluster

De stationära förlusterna består i huvudsak av två delar, dels förluster genom eventuell isolering av överyta och övre kant, dels förluster mot omgivande mark. I det aktuella fallet har en isolering av överytan, motsvarande 0,1 m med konduktiviteten 0,05 W/m,K valts. Detta värde motsvarar ungefär de förluster som praktiskt uppmätts där marken är snötäckt och överst utgörs av 0,30 m mulljord. I övrigt är lagret oisolerat och en kantisolering med höjden 0,01 m har enbart beräkningsteknisk betydelse. Den erhållna medelförlusten har omräknats till en total årlig energimängd. För att kunna konstruera lagrets medeltemperaturkurva under året, har förlusterna uttryckt i temperatursänkning i lagret i relation till utetemperaturen beräknats.

d) Korrigerig av inladdningseffekter.

För att kompensera de årliga energiförlusterna från lagret, korrigeras uppladdningen av lagret. Detta kan ske på i huvudsak två sätt. Antingen ökas effekten under de tre månader som redovisas i den värmetekniska utredningen eller också ökas inladdningstiden med bibehållen effekt.

I det här aktuella fallet har en effektökning valts. Energiförlusterna från lagret är beräknade för stationärt tillstånd som erhålls efter ca 4 år.

e) Beräkning av drivtemperaturer och värmeväxlaravstånd

Drivtemperaturerna, dvs skillnaden mellan temperaturen hos värmebärandarvätskan och lagrets medeltemperatur, bestäms i huvudsak av två begränsningar. Den övre gränsen är den för inladdningen tillgängliga temperaturen och den undre gränsen är vad som kan tolereras med avseende på risken för frysning i lagret. En övre gräns finns också för att undvika skadliga geotekniska konsekvenser.

I detta fall kommer lagret att laddas från värmepump varför den övre gränsen har bestämts med utgångspunkt från att medeltemperaturen i leran ej skall överstiga ca  $+30^{\circ}\text{C}$ .

Vid långa pulser, som här är aktuella, råder ungefär ett rätlinjigt samband mellan effekt per meter värmeväxlare och drivtemperatur. Det framgår då att det är fördelaktigt att minska effektuttaget i slutet av uttagscykeln för att kunna utnyttja lagret fullt ut, utan att behöva minska värmeväxlaravståndet.

För bestämning av värmeväxlaravståndet har överslagsberäkningarna i Claesson m fl (1983) använts.

Antag ett centrumavstånd  $D_1$  mellan värmeväxlarna. Den radie som bestämmer respektive värmeväxlares arbetsarea kallas  $R_1$ . Vid hexagonal gitterindelning är  $R_1 = 0,525 \cdot D_1$ .

Beräkningen sker iterativt enligt formel (1), med utgångspunkt från det antagna värdet på  $R_1$ , tills konvergens erhållits.

$$R_1 = \left( \frac{2 \cdot \lambda \cdot V \cdot T_d}{Q \left( \ln \left( \frac{R_1}{R_0} \right) - \frac{3}{4} + \pi \cdot \lambda \cdot m_p \right)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

där  $R_1 = 0,525 D_1$ , m

$\lambda$  = värmeledningsförmågan, W/mK

$V$  = den enligt punkt a beräknade volymen,  $\text{m}^3$

$T_d$  = antagen drivtemperatur,  $^{\circ}\text{C}$

$Q$  = dimensionerande effekt, W

$R_0$  = värmeväxlarradie, m

$m_p$  = värmeövergångsmotstånd, k/(W/m)

För det framtagna värmeväxlaravståndet beräknas drivtemperaturen för månadsvisa uttags- och laddningseffekter.

$$T_d = \frac{Q \cdot l^2}{\lambda \cdot V} \quad \text{där } l^2 \text{ är en karakteristisk värmeöver- (2)} \\ \text{föringslängd som för värmedräner bestäms} \\ \text{ur}$$

$$l^2 = \frac{R_1^2}{2} \left( \ln \left( \frac{R_1}{R_0} - \frac{3}{4} + \pi \lambda m_p \right) \right) \quad (3)$$

Det totala värmeövergångsmotståndet mellan värmebärande vätska och den för värmedränen omgivande leran utgörs av värmeövergångsmotståndet över plaströret, kontaktmotståndet mellan plaströrets yttervägg och sand samt värmemotståndet i sandmaterialet. I dessa beräkningar har värmeövergångsmotståndet ( $m_p$ ) antagits till 0,15 K/(W/m).

#### e) Funktionsdiagram

Med hjälp av erhållna data kan ett diagram över lagrets funktion efter insvängning uppgritas enligt följande.

- Den för orten aktuella utetemperaturkurvan för året ritas upp.
- Från ursprunglig marktemperatur, i detta fall  $+6^\circ\text{C}$ , plottas medeltemperaturhöjningen från inladdningens början med hänsyn tagen till de förluster som uppstår när lagermedeltemperaturen överstiger utetemperaturen. För detta används den faktor som tidigare beräknats som temperatursänkning orsakad av värmeförlusten per grad förlustgenererande temperaturskillnad.

Efter genomräkning av hela året kan lagrets medeltemperaturkurva konstrueras.

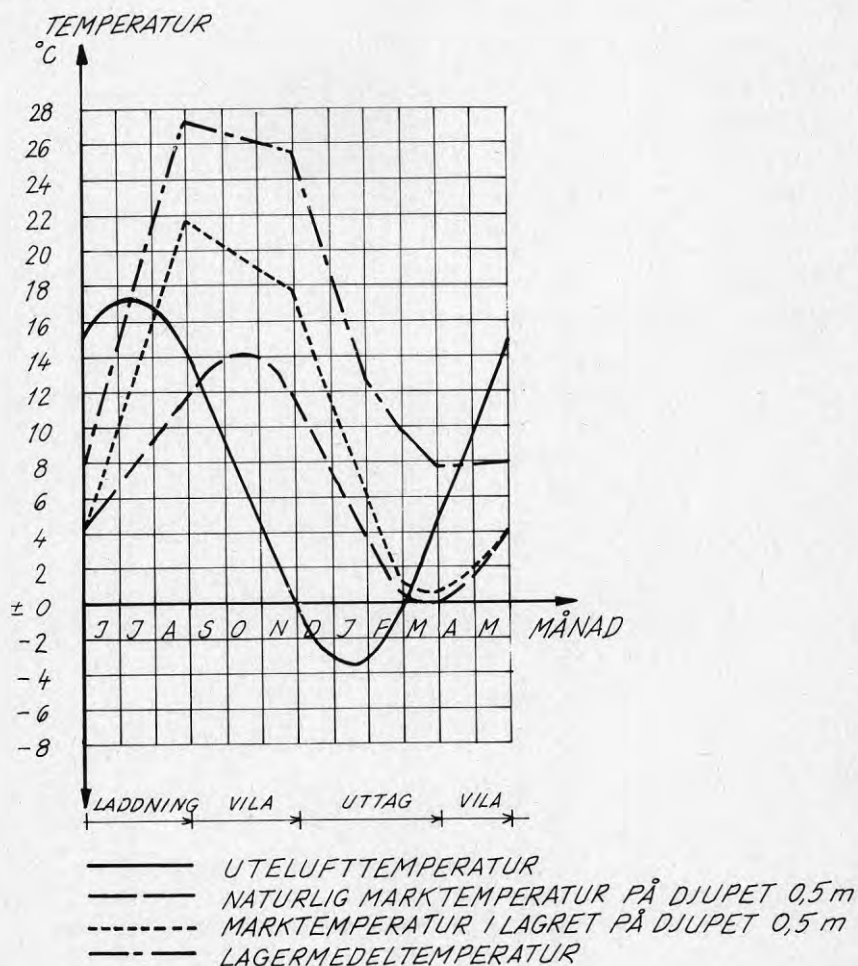
- På medeltemperaturkurvan plottas nu de aktuella drivtemperaturerna för de olika månadseffekterna.

Resultatet blir ett diagram som visar lagermedeltemperaturen och erforderliga temperaturer hos värmebärande vätskan (fluidtemperatur) för det aktuella lagret

under året. Beräkningarna för alternativ 1a och 1c redovisas i Bilaga 9.

### 3.4.4 Temperaturförhållanden

För att studera temperaturförhållandena i omgivningarna kring värmelagret har en datorberäkning utförts för ett lageralternativ med volymen ca 22000 m<sup>3</sup>. Beräkningen har genomförts med programmet "Duct Storage Model" (DST) utvecklat vid Lunds tekniska högskola. I programmet kan bl a temperaturfördelningen detaljerat beräknas i och omkring lagret. Resultatet av beräkningarna framgår av figur 3.6.



FIGUR 3.6. Årlig temperaturvariation i luft och mark.



Resultaten visar att värmelagret genom förluster orsakar temperaturer som är högre än den naturliga i jorden inom ett avstånd av ca 8 m från lagrets ytterkanter. Med "naturlig" isolering i form av befintlig jord erhålls under laddningsperioden en temperaturhöjning i ytliga jordlager. Under uttagsperioden och efterföljande viloperiod är emellertid temperaturskillnaden liten mellan naturlig mark och lagret.

#### 3.4.5 Sammanfattning av beräkningsresultat

Lagerstorlekarna för de olika alternativen varierar mellan ca 21.000 och 29.000 m<sup>3</sup> vid ett utnyttbart temperatursving av 20°C. Vid medeldjupet 14 m innebär detta diametrar mellan 45 och 52 m.

Lagret har dimensionerats för den isolering som snötäckt mark och naturlig vegetation utgör. I övrigt är lagret oisolerat.

Efter fullbordad "insvängning" av lagret, dvs endast stationära förluster, återvinns ca 75% av den inladdade energimängden. Högsta fluidtemperaturen vid inladdning kommer att uppgå till ca +48°C och den lägsta till något över 0°C.

Som värmeväxlare föreslås s k värmedräner enligt kap 4 med 0,2 m diameter, vilket ger ett avstånd av 2,2 m mellan värmeväxlarna i ett hexagonalt mönster. Lagrets totala värmeväxlarlängd varierar mellan 5400 och 7000 m beroende på valt alternativ.



#### 4. MARKVÄRMEVÄXLARE

##### 4.1 Allmänt

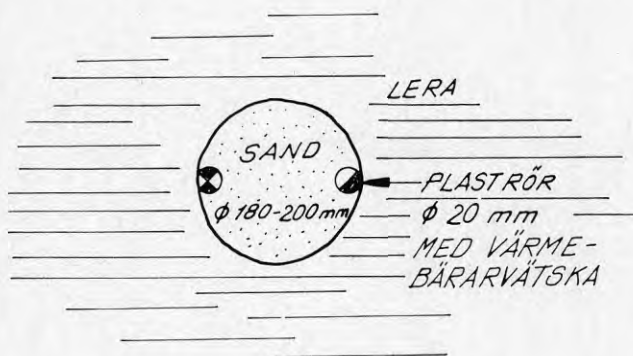
I syfte att förbättra värmeväxlingen i lervärmelagret och för att minska den geotekniska påverkan på leran har en ny typ av värmeväxlare utformats, en s k värmedrän. En prototyp med diametern ca 80 mm har tidigare prövats vid fältförsök i Kungälv (Ekstrand och Eriksson, 1983).

I detta projekt har en teoretisk studie genomförts av en värmedrän med dimensionen 200 mm.

De geotekniska konsekvenserna av värmedränen framgår av avsnitt 5.2.5.

##### 4.2 Utformning av värmeväxlare

Värmedränen består av två huvudbeståndsdelar, dels en sandpelare med en diameter av 180-200 mm, dels ett plaströr,  $\phi 20$  mm som värmebärarvätskan cirkulerar i. Plaströret är U-format och ligger i ytterkanten av sandpelaren. Den principiella utformningen framgår av Figur 4.1.



FIGUR 4.1. Sektion genom värmedrän.

### 4.3 Termisk funktion

Värmeutbytet inom vämedränen sker på två sätt. En del av värmeutbytet sker direkt mellan plaströren och lera. Den största delen av värmeutbytet sker dock mellan plaströret och sanden. Sand har högre värmeledningsförmåga än lera. Detta medför att det ur termisk synpunkt viktiga området i plastslangens närmaste omgivning har ett lägre värmemotstånd då slangen omges av sand i stället för av lera. Sand har dessutom hög hydraulisk konduktivitet, vilket kan leda till att värmetransporten i sanden även sker konvektivt. Lera har däremot mycket låg hydraulisk konduktivitet och konvektiv värmetransport är där helt försumbar.

Värmeväxlarens funktion beror av de termiska egenskaperna hos sanden, framför allt av värmekonduktiviteten ( $\lambda$ ) och volymetriska värmekapaciteten ( $c_v$ ). Värmekonduktiviteten hos det sammansatta materialet beror på värmekonduktiviteten hos de enskilda beståndsdelarna och på porositeten enligt följande approximativa samband:

$$\lambda_s = \lambda_w^n \cdot \lambda_m^{(1-n)}$$

$\lambda_s$  = sammansatta materialets värmekonduktivitet, W/m,K

$\lambda_w$  = vattnets värmekonduktivitet, W/m,K

$\lambda_m$  = sandmineralets värmekonduktivitet, W/m,K

$n$  = porositeten, %

Vid de termiska beräkningarna har konduktiviteten  $\lambda_s$  antagits vara 2,0 W/m,K.

Värmekapacitativiteten hos det sammansatta materialet beror på liknande sätt på värmekapacitativiteten hos de enskilda beståndsdelarna och på porositeten enligt följande formel:

$$c_s = c_w \cdot n + c_m(1-n)$$

$c_s$  = sammansatta materialets värmekapacitivet, MJ/m<sup>3</sup>,K

$c_w$  = vattnets värmekacitivet, MJ/m<sup>3</sup>,K

$c_m$  = sandmineralets värmekapacitivet, MJ/m<sup>3</sup>,K

$n$  = porositeten, %

I beräkningarna har kapacitivet  $c_s$  antagits till 2,5 MJ/m<sup>3</sup>,K.

Sandmineralets värmekonduktivitet är större än vattnets vilket medför att en högre porositet (vattenmättat) minskar värmedränens värmekonduktivitet. För värmekapacitivet gäller det omvända. Huruvida värmedränens porer är vattenmättade eller ej har också betydelse för den termiska funktionen. Luft har lägre värmekonduktivitet och värmekapacitivet än vatten. Det är därför mest gynnsamt då porerna är vattenmättade. I beräkningarna har förutsatts att materialet är vattenmättat.

Den naturliga konvektion som kan förekomma i den vattenmättade sanden är mycket svår att simulera med god precision. Vattenrörelsen drivs av densitetsskillnader mellan vatten av olika temperaturer. Det hydrauliska flödesmotståndet ges av vattnets viskositet, vilken är starkt temperaturberoende, och sandens hydrauliska konduktivitet. Den hydrauliska konduktiviteten bestäms väsentligen av sandkornens medelstorlek, packningsgrad och kornstorleksfördelning. Detta medför att värmedränens värmeöverföringsegenskaper blir beroende av effektpulsens storlek och värmedränens temperaturnivå.

För att bedöma värmedränens inverkan på värmeutbytet har en övre respektive undre gräns för värmeöverföringsförmågan beräknats. Den verkliga värmeöverföringsförmågan ligger någonstans mellan dessa två värden. Värmedränens värmeöverföringsegenskaper har jämförts med dem som gäller för ett lerfyllt hål. Leran i och utanför hålet antas ha samma termiska egenskaper.

Summan av värmeövergångsmotstånden ( $m_p$ ) mellan värmebärarvätska och plaströrets innervägg, över plaströret samt kontaktmotståndet mellan plaströrets yttervägg och omgivande material har i dessa bedömningar valts till värdet  $0,1 \text{ K/(W/m)}$ .

Vid beräkning av den övre gränsen för värmeöverföringsförmågan försummas värmeövergångsmotståndet i sanden. Sandskiktet förutsätts då i sin helhet ha samma temperatur mellan plastslangens yttervägg och leran. Värmeöverföringsförmågan blir härvid ca 40% bättre än för ett lerfyllt hål.

Vid beräkning av den undre gränsen för värmeöverföringsförmågan försummas det konvektiva bidraget helt vilket innebär att värmetransporten endast sker genom värmeledning. Värmemotståndet för konduktiv värmeledning över ett skikt är omvänt proportionellt mot skiktets värmeledningsförmåga. Uppskattningsvis bör därför sandens värmemotstånd vara ungefär hälften av motsvarande värmemotstånd för det lerfyllda hålet. Den förbättring av värmeöverföringen som kan förväntas utan konvektiva bidrag i sanden, torde därför vara ungefär hälften av beräknad maximal förbättring, dvs ca 20% bättre jämfört med ett lerfyllt hål.

För värmedräner med ett inbördes avstånd av ca 2,0-2,5 m varierar således förbättringen i jämförelse med ett lerfyllt hål mellan 20 och 40%. Vid dimensioneringen av värmelagren i detta projekt har förutsatts att värmedränen har ca 30% bättre värmeöverföringsförmåga än en traditionell värmeväxlare i lera.

#### 4.4 Installation av värmedräner

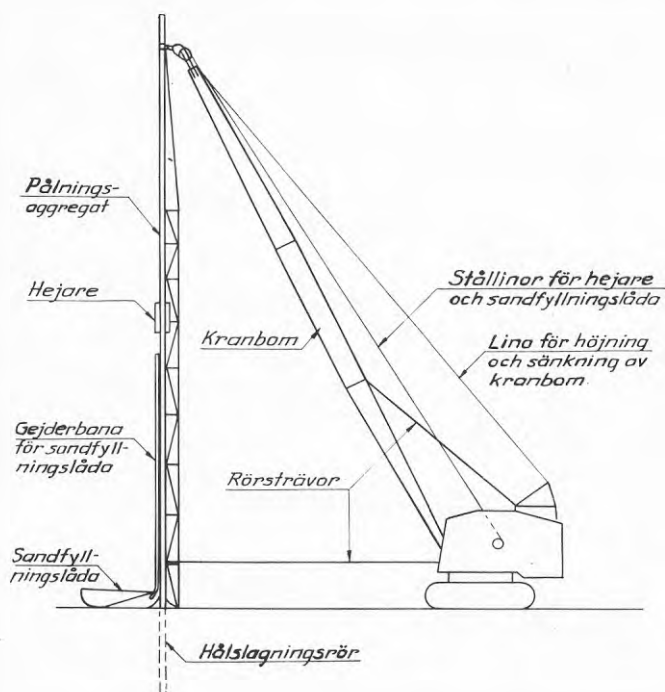
##### 4.4.1 Allmänt

Tekniken att installera sanddräner är väl utprovad och har använts under många år. Den nu aktuella värmedrären består av en sanddrän som kompletterats med en rörslinga med skänklarna i gränzonen mellan leran och sanden. Värmedrären kan i princip monteras på tre olika sätt som närmare beskrivs i avsnitt 4.4.3 - 4.4.5.

- Drivning av foderrör med löst lock i nedre änden och rörslingan utanför foderröret vid neddrivningen.
- Drivning av tätt foderrör med löst lock och rörslingan inuti foderröret.
- Urborrning av lerkärna i drivet foderrör med montering av rörslingan inuti röret i samband med sandpåfyllningen.

##### 4.4.2 Maskinell utrustning

För utförandet av dränerna i de båda första alternativen används en större bandgående grävmaskin utrustad med kranbom och pålningsaggregat, se Figur 4.2. I pålningsaggregatet löper en hejare jämte dränrör. Dränrören består av skarvbara stålrör och är i övre änden utformade till en tratt för underlättande av sandens ifyllning. Rörets nedre ände är täckt av en plan lucka som med kätting är fästad i röret. Pålningsaggregatet har vidare försetts med en gejderbana vari en i höjddled rörlig plåtlåda löper. Plåtlådan används för fyllning av sand i dränröret.



FIGUR 4.2. Maskin för tillverkning av värmedrärer.  
Källa: Statens Vägverk TV 106

#### 4.4.3 Drivning av tätt foderrör med rörslingan utanför foderröret

Denna metod har i liten skala prövats vid CTH:s provfält i Kungälv. Locket i nederänden är försett med en 180° rörkrök, som har till uppgift att skydda slangen under neddrivningen. Slangen träs genom rörkröken före lockets montering på foderröret. Arbetsgången blir således enligt följande:

- Slangen kapas till dubbla värmväxlarlängden plus erforderliga inkopplingslängder.
- Slangen träs igenom det U-formade skyddsroret i locket.



- Slangens skänklar träs igenom skyddsroren längs foderröret.
- Foderröret drivs ned i marken.
- Vattenmättad sand påfylls.
- Foderröret dras upp.

#### 4.4.4 Drivning av tätt foderrör med löst lock och rörslingan inuti foderröret

Denna metod är samma som används vid utförandet av vertikaldräner med den skillnaden att en rörslinga placeras på insidan av foderröret. Arbetsgången blir i detta fall enligt följande:

- Slangen kapas till dubbla värmväxlarlängden plus erforderliga inkopplingslängder.
- Slangen placeras på insidan av foderröret.
- Foderröret drivs ned i marken.
- Vattenmättad sand påfylls.
- Foderröret dras upp. Locket kvarstannar i marken.

#### 4.4.5 Urborrning av lerkärna i drivet foderrör

Metoden kräver utrustning, dels för neddrivning och uppdragning av foderröret, dels för urborrning av lerkärnan. Denna metod har inte prövats tidigare. Urborrningen kan sannolikt ske på ett mycket enkelt sätt genom att en i foderröret passande skruv vrids direkt ned till foderrörets underkant och hela lerkärnan lyfts i en operation. Arbetsgången blir då:

- Drivning av foderröret
- Urborrning av lerkärnan
- Montering av värmväxlare
- Påfyllning av sand
- Uppdragning av foderröret

#### 4.4.6 Metodernas för- och nackdelar

De två förstnämnda metoderna kräver normalt en pålkran för neddrivning av foderröret. Eftersom foderröret drivs med ett lock för nederänden uppstår en jordundanträngning såväl som en ökning av portrycken vid drivningen. Vid installationer i närheten av bebyggelse kan därför skador uppkomma på denna. I övrigt är tekniken välkänd och relativt billig så länge värmeväxlarlängderna inte överstiger pålkranens normala arbetsområde (ca 14 m). Kompletteringen med värmeväxlar-slangarna bör inte utgöra något större problem annat än att det går åt tid för monteringen av dessa på alternativt i foderröret.

Den senare metoden, med urborrnig av en lerkärna ur ett foderrör, har inte prövats i dessa sammanhang. Däremot har motsvarande metod använts vid drivning av enstaka grövre foderrör i samband med vattentäcker. Metoden har sin stora fördel i att någon jordundanträngning av betydelse inte förekommer. Det är dock tveksamt om det idag finns några maskiner som på ett rationellt sätt kan användas för monteringen. Vid kontakt med tillverkare av borrarutrustningar har dock intresse visats under förutsättning att typen av värmeväxlare är så intressant, att det finns en marknads-potential för den.

## 5. GEOTEKNISKA KONSEKVENSER

### 5.1 Värmelagring i söt- och brackvattenlera

I Sverige förekommer leror av olika slag, vilka grovt indelas i marin lera respektive sötvatten- och brackvattenlera. Marina leror förekommer främst i Bohuslän, Halland, Västergötland och Värmland och betecknas i fortsättningen västkustlera. Söt- och brackvattenleror, som förekommer utefter hela ostkusten och Mälardalen, kallas här ostkustlera. Hittills har värmelager enbart byggts i marina leror i västra Sverige. Denna studie avser att belysa eventuella skillnader mellan ost- och västkustlera och hur de i så fall påverkar förhållandena vid värmelagring.

Skillnaderna mellan väst- och ostkustlerorna beror på olika sedimentationsmiljöer. De leror som bildades i slutskedet eller efter sista nedisningen avsattes i västsverige i en marin (salt) miljö. Hela ostkusten och Mälardalen har däremot varit täckt omväxlande av sött och salt vatten (Baltiska issjön (sött) - Yoldiahavet (salt) - Ancylussjön (sött) - Litorinahavet (salt)).

Västkustlerorna har ofta stor mäktighet och är vanligtvis inte skiktade. Lokalt kan dock skikt av silt och sand förekomma.

De glaciala och postglaciala ostkustlerorna är i allmänhet mindre mäktiga men lerlager på 10-15 m är vanliga. Den glaciala leran på ostkusten är ofta utpräglad varvig. Varven beror främst på skillnader i kornstorlekssammansättning. Den postglaciala ostkustleran är ofta skiktad med tunna lager av silt och sand. De glaciala lerorna innehåller, till skillnad från de postglaciala, inget eller mycket litet organiskt material.

De geotekniska egenskaper som har betydelse för lerans termiska funktion och lämplighet för värmelagring är lerans vattenkvot, hållfasthet, mäktighet. Av stor betydelse är vidare de geohydrologiska förhållandena. En hög vattenkvot ökar lerans värmekapacitet och medför att lagrets volym blir mindre för en given värmemängd. Däremot minskar värmekonduktiviteten med ökad vattenkvot, vilket innebär dels att förlusterna till omgivningen reduceras, dels att värmetransporten inom lagret försämras. Lerans hållfasthet har betydelse för möjligheterna att installera värmeväxlare. Lerans mäktighet är en grundläggande faktor eftersom grunda lager innebär stora förluster och stort ytbehov. Eventuell grundvattenströmning genom eller kring lagret är negativt då denna bortför värme under lagringstiden.

Skillnader i geotekniska egenskaper mellan ost- och västkustlera finns framför allt i lermäktighet, homogenitet och porvattnets salthalt. Övriga geotekniska parametrar såsom vattenkvot, hållfasthet, konsolideringsgrad och densitet beror mer av andra lokala förhållanden än av sättningsmiljön. Skillnaderna mellan ost- och västkustlerorna i dessa avseenden är mindre än skillnaderna inom respektive grupp.

Grundvattenförhållandena bestäms i första hand av jordens vattengenomsläpplighet, jordlagerföljd och topografi. I lera transporteras vatten mycket långsamt. Vattentransporten sker huvudsakligen i förekommande skikt av sand eller silt. Sådana skikt kan förekomma såväl i ost- som västkustlera, men förekomsten av skikt är vanligare på ostkusten. I det fall grundvattenströmningen är omfattande har skikten stor betydelse för förlusterna av värme från lagret.

Av ovanstående kan följande bedömningar göras beträffande förutsättningarna att lagra värme i marin lera (västkustlera) respektive sötvatten- och brackvattenlera (ostkustlera):

- De byggnadstekniska förutsättningarna är i stort sett lika.
- Lerans termiska egenskaper varierar på liknande sätt på väst- som ostkusten.
- Västkustens överlag större lermäktigheter innebär att mindre markyta behöver ianspråkta.
- Porvattnets högre salthalt i marin lera kan minska risken för frysning vid låga temperaturer.
- Det relativt större antalet siltskikt i sötvatten- och brackvattenlera kan medföra en högre permeabilitet. Detta innebär att portrycksförändringar lättare utjämnas. Det medför också att grundvattenströmningen genom lagret och därmed värmeförlusterna kan öka.

## 5.2 Geoteknisk påverkan vid värmelagring

### 5.2.1 Allmänt

Kunskaperna om geotekniska förändringar till följd av temperaturändringar i lera är otillräckliga. Vissa erfarenheter finns emellertid främst från utlandet t ex Campanella & Mitchell (1968) och Mitchell (1969). I Sverige pågår f n forskning såväl i laboratorium som i fält. Med utgångspunkt från dessa försök och tidigare studier kan vissa slutsatser och antaganden göras.

### 5.2.2 Termisk volymförändring och portrycksförändringar

Vid temperaturförändringar av en lera uppstår en volymförändring hos såväl porvatten som mineral. Mineralet utgör volymetriskt en mycket liten andel av leran och dessutom är dess volymutvidgningskoefficient avsevärt mindre än vattnets. Detta gör att det i huvudsak är porvattnets volymförändring som är av betydelse.

Vid förändring av porvattnets volym och genom lerans låga permeabilitet uppkommer tryckförändringar i porvattnet och härav en strömning av porvatten. Tryckförändringen medför att den i lera rådande effektivspänningen förändras. En temperaturhöjning medför en ökning av porvattentrycket och en hävning av jordlagren, medan motsatt förhållande gäller vid en sänkning av temperaturen.

### 5.2.3 Konsoliderings- och hållfasthetsegenskaper

Resultaten från såväl fält- som laborieförsök tyder på att lerans konsoliderings- och hållfasthetsegenskaper kan ändras vid temperaturändringar. Sålunda har konstaterats en sänkning av såväl förkonsolideringstryck som skjuvhållfasthet vid uppvärmning av lera.

Vid laborieundersökningar har konstaterats att sättningarna vid sekundär konsolidering, dvs kryphastigheten vid konstant effektivspänning, ökar vid uppvärmning.

Fortsatta forskningsinsatser erfordras emellertid för att närmare klargöra konsoliderings- och hållfasthetsegenskapernas påverkan av temperaturändringar.

### 5.2.4 Sättningsförhållanden

Sättningar utbildas i lera då denna utsätts för högre belastningar än vad den tidigare utsatts för. Storleken av sättningarna vid en värmebelastning, dvs uppvärmning eller avkylning av jorden, varierar beroende på om jorden är normal- eller överkonsoliderad.

Vid en ökning av jordens temperatur utan samtidig belastningsökning uppkommer en hävning och effektivtrycket minskar. Om däremot en normalkonsoliderad lera utsätts för en samtidig temperaturökning och yttre



last, t ex från en jordfyllning, kommer stora såväl primära som sekundära sättningar att uppstå.

En temperatursänkning orsakar ett minskat porvatten-tryck och härigenom en ökning av effektivspänningarna, vilket medför sättningar. Sättningarnas storlek beror på lerans konsolideringsegenskaper och överkonsolideringskvot.

Vid säsonglagring av värme varierar temperaturen cykliskt under året. Det avgörande för sättningarnas storlek på lång sikt är årsmedeltemperaturen i jorden.

Inom det aktuella temperaturområdet varierar vattnets viskositet kraftigt. Sålunda är viskositeten vid  $\pm 0^{\circ}\text{C}$  ca dubbelt så stor som vid  $+30^{\circ}\text{C}$ . Permeabiliteten beror bl a av viskositeten och är ca 1,5 gånger högre vid  $+22^{\circ}\text{C}$  än vid jordtemperaturen  $+7^{\circ}\text{C}$ . Sättningarnas tidsförlopp beror av vattenutpressningen ur jorden och påverkas därför av förändringar av viskositeten och permeabiliteten. Genom en temperaturökning erhålls ett snabbare sättningsförlopp såväl för primär som sekundär konsolidering.

#### 5.2.5 Inverkan av värmedräner

Installation av värmedräner som värmeväxlare medför att vattenutpressningen ur jorden påskyndas. Vid uppvärmning av lerlagret underlättar värmedräner utjämnningen av porvattentrycken och minskar därigenom hävningen av jorden.

Vid uttag av värme ur lagret sjunker temperaturen i leran och ett undertryck uppkommer i porerna. I mån av tillgång på fritt vatten i värmedränen kan detta vatten strömma tillbaka till leran och förhindra sättningar som annars skulle erhållits på grund av lerans volymminskning.

På lång sikt efter några uppvärmningscykler kommer oberoende av värmeväxlarnas utformning sannolikt den utpressade vattenvolymen att vara större än den återströmmande volymen, bl a beroende på skillnader i permeabilitet, viskositet och konsolideringsegenskaper hos leran. Slutresultatet blir därigenom en sättning i lagret. I det fall värmeväxlarna är utformade som värmedränar kommer sättningarna att utbildas snabbare än för ett u-rör i enbart lera. Totalsättningarna efter lång tid är emellertid oberoende av värmeväxlarnas utformning.

#### 5.2.6 Påverkan av omgivningen

Teoretiska beräkningar av temperaturförhållandena i och kring lagret visar att temperaturökningar över jordens naturliga temperatur begränsas till området närmast lagret. För de här aktuella värmelagren sträcker sig influensområdet ca 8 m utanför lagrets ytterkanter. Den geotekniska påverkan kommer därför att vara märkbar inom högst detta avstånd.

Däremot kan värmedränerna påverka de grundvattengeotekniska förhållandena inom ett större område. Om t ex dränerna nedförs till friktionsjord under leran och en utdränering av friktionsjorden samtidigt pågår påskyndar värmedränerna grundvattensänkningen och kan orsaka skador på omgivande bebyggelse på ett avsevärt större avstånd från värmelagret.

Den cykliska uppvärmningen och avkylningen av lagret bedöms medföra att leran i lagret konsolideras och på längre sikt får ett högre förkonsolideringstryck. Lervärmelagret kan därför ses som ett sätt att förbelasta jorden och efter det att lagret tagits ur drift kommer marken sannolikt att kunna påföras större laster än de ursprungliga.

Sammanfattningsvis bedöms därför lervärmelagrets påverkan på omgivningen vara begränsad och skadliga effekter kunna undvikas genom lämplig lokalisering av lagret.

## 6. PLANFRÅGOR

### 6.1 Gällande stadsplan

För området där markvärmelager och värmepumpbyggnad skall förläggas gäller fastställd stadsplan. Planen omfattar en idag obebyggd åkermark och huvuddelen av området är avsatt för fritidsändamål. I den nordvästra delen har mark reserverats för byggnader avsedda för allmänt ändamål. I övrigt tillåts byggnader med anknypning till framtida fritidsverksamhet inom området. Slutligen har mark reserverats för befintliga och planerade ledningar i s k u-områden. Gällande stadsplan med tillhörande bestämmelser framgår av Bilaga 10.

Ett förslag till markanvändning redovisas i illustrationsplanen, Bilaga 10. F n pågår utbyggnad av utebadet och i framtiden planeras en sporthall. Söder härom kan eventuellt ett sportfält för fotboll och tennis förläggas. I den norra delen har en tänkt utformning av en allmän byggnad redovisats.

### 6.2 Alternativ markanvändning

En möjlig markanvändning som tillgodoser markbehovet för planerade värmeförsörjningsanläggningar redovisas i illustrationsplanen, Bilaga 11.

Markvärmelagret samt en byggnad för värmepump och uteluftkylare har förlagts till den norra delen av stadsplaneområdet. Mark har även avsatts som reservutrymme för eventuell framtida utbyggnad av värmelagret. Inom det område som upptas av värmelagret och ca 10 m utanför dess yttre gränser bör ingen bebyggelse uppföras. Uppvärmningen av jorden kommer sannolikt att medföra sättningar men tidsförloppet och storleken av dessa är svårt att närmare fastställa, jfr avsnitt 5.2. Dessutom bör markytan vara tillgänglig för eventuella underhållsarbeten av rörledningar i värmelagret.

Från kommunal synpunkt medför den föreslagna lokaliseringen av markvärmelagret att marken över och i anslutning till lagret kan utnyttjas för fritidsändamål. En möjlighet är att bollplaner anordnas enligt förslaget till illustrationsplan. För att inte få höga underhållskostnader pga sättningar vid uppvärmning bör ytskiktet väljas så att justeringar lätt kan utföras. Detta kan innebära att t ex gräsytor inte anläggs förrän efter ett antal år då huvuddelen av sättningarna utbildats. Alternativt kan marken disponeras för camping och uppställning av husvagnar eller som utställningsområde. Detta medför att överbyggnader måste uppbyggas på sådant sätt att rörledningar för värmelagret inte skadas.

Värmen som lagras i marken kommer stora delar av året att strömma mot markytan och därigenom påverka de naturliga temperaturförhållandena i jordens ytliga lager. Genom isolering eller genom att variera mäktigheten av jorden över värmelagret kan temperaturen i de marknära jordlagren bestämmas och markytan hållas snöfri. Detta medför att t ex en bollplan kan utnyttjas under en större del av året. Kostnaden för denna uppvärmning av markytan har i detta fall inte bedömts vara motiverad av markens ökade användbarhet.

### 6.3 Ändring av stadsplan

Lokaliseringen av markvärmelager med tillhörande byggnader berör områden som i stadsplanen är avsedda för allmänt ändamål och för fritidsändamål.

De planerade anläggningarna medför att bestämmelserna för och utformningen av planen bör ändras. En möjlig stadsplan redovisas i Bilaga 11. Området där värmelagret har placerats beläggs med byggnadsförbud genom punktprickning av marken. Detta kombineras med att marken åsätts beteckningen  $u_v$ . Rubriken till gällande stadsplanebestämmelsers 3:e § ändras till "Särskilda föreskrifter angående områden för allmänna ledningar

och lagring av markvärme". I §3 tillkommer mom 2 med lydelsen: "På med  $u_v$  betecknad mark får icke vidtas anordningar som hindrar anläggning, drift och underhåll av magasin för markvärme."

Det tidigare området avsatt för allmänt ändamål utgår då den byggbara ytan reduceras till följd av markvärmelagret. Resterande mark reserveras i stället för fritidsändamål (Ra-område) med möjlighet att uppföra exempelvis ett idrottskansli. Ett mindre område dit byggnad för värmepumpar och uteluftkylare lokaliseras avsätts som område för allmänt ändamål (A-område).



## 7. EKONOMI

7.1 Initialkostnader

Initialkostnaderna har beräknats för varje alternativ och redovisas i sammandrag i Tabell 7.1. En specificerad kostnadsberäkning finns i Bilaga 12.

Konsult- och administrationskostnader har antagits till 15% av byggnadskostnaderna. I kalkylen ingår ej mervärdesskatt.

TABELL 7.1. Initialkostnader i tkr

Kostnadspost	Alternativ					
	1a	1b	1c	1d	2a	2b
Kond-effekt kW	300	500	750	500	500	500
Energikälla	Ute-luft	Ute-luft	Ute-luft	Ute-luft	Spillvärme	Spillvärme
Lager	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej
Värme-pump med utrustning	1065	1385	1705	1450	1305	1285
Uteluftkylare	300	400	500	400	-	-
Spillvärmväxlare	-	-	-	-	50	50
Kulvertledning	420	445	740	370	1185	1110
Markvärmelager	530	590	680	-	520	-
Byggnader	350	400	400	400	350	350
Summa byggkostnad	2665	3220	4025	2620	3410	2795
Projektering och oförutsett ca 25%	665	800	1005	650	850	700
TOTALKOSTNAD	3330	4020	5030	3270	4260	3495

7.2 Drift- och underhållskostnader

Driftkostnaderna baseras på ett oljepris av 2200 kr/m<sup>3</sup> vilket motsvarar 290 kr/MWh. När det gäller elkostnaderna består dessa av en fast och en rörlig del. Den fasta avser effektkostnaderna och beräknas motsvara 40 kr/MWh, medan den rörliga uppgår till 200 kr/MWh, dvs totalt 240 kr/MWh.

Kostnaden för spillenergin bedöms till 30% av ordinarie energipris, alltså 85 kr/MWh vilket belastar alternativ 2a och 2b. Med dessa förutsättningar kan de årliga kostnaderna beräknas.

Kapitalkostnaderna beräknas utifrån en 13%-ig kalkylränta och 9%-ig inflation, varvid den reala räntan blir 4%. Avskrivningstid har valts till 20 år. Detta ger en årlig annuitet av 7,4%. Underhållskostnaderna beräknas erfarenhetsmässigt uppgå till 2% av byggkostnaden per år.

Underhålls- och kapitalkostnader framgår av Tabell 7.2. Driftkostnaderna redovisas närmare i Bilaga 12.

TABELL 7.2. Underhålls- och kapitalkostnader, tkr/år.

	1a	1b	1c	Alternativ	
				1d	2a 2b
Underhållskostnad	53	64	81	52	68 56
Kapitalkostnad	246	297	372	241	315 257

Installationerna medför i de alternativ där värmepumpen arbetar ner till  $-20^{\circ}\text{C}$  att effektkapaciteten i de befintliga panncentralerna kan reduceras. För badanläggningen och sporthallen kan en mindre panna installeras och för Ramunderskolan behöver inte samtliga bytas när det tjänat ut. Av denna anledning skall värmepumpinstallationen med undantag av fall 1d tillgodoräknas en reducerad panneffekt. För de olika alternativen medför detta en reducering av initialkostnaderna enligt Tabell 7.3.

TABELL 7.3. Reducering av initialkostnader genom minskad effektkapacitet.

	1a	1b	1c	Alternativ	
				1d	2a 2b
Reducering, tkr	90	130	150	0	130 130

7.3 Ekonomiskt resultat

Utifrån de gjorda beräkningarna kan återbetalningstiden och energikostnaden beräknas för de olika alternativen. Resultat framgår av Tabell 7.4.

TABELL 7.4. Sammanställning av initialkostnader, driftkostnader och återbetalningstider.

INITIALKOSTNADER	Alternativ					
	1a	1b	1c	1d	2a	2b
Lågenergianläggning, tkr	3330	4020	5030	3270	4260	3495
Avgår reducerad panneffekt, tkr	90	130	150	0	130	130
Netto merinvestering, tkr	3240	3890	4880	3270	4130	3365
DRIFTKOSTNADS- FÖRÄNDRING						
Nettobesparing, tkr/år	272	299	456	318	241	161
UNDERHÅLLS- KOSTNADER						
Underhållskostnader, tkr/år	53	64	81	52	68	56
ÅTERBETALNINGSTID, år	15	17	13	12	24	32
ENERGIKOSTNAD kr/KWh	0:31	0:34	0:29	0:27	0:38	0:44

Energi-kostnaden är beräknad som förhållandet mellan årskostnaden (kapital-, drift- och underhållskostnad) och producerad energimängd för de olika alternativen.

För jämförande studier har de specifika investeringskostnaderna för delar av och hela systemet beräknats. Resultatet redovisas i Tabell 7.5. I kostnaderna ingår projektering och oförutsett med ca 25% av byggkostnaden.

TABELL 7.5. Specifika investeringskostnader, tkr/kW kondensor-effekt.

	Alternativ					
	1a	1b	1c	1d	2a	2b
Värme­pump och uteluft- kylare med byggnader	7.1	5.5	4.3	5.6	4.3	4.2
Kulvertledning­ar	1.8	1.1	1.2	0.9	3.0	2.8
Markvärmelager	2.2	1.5	1.1	-	1.3	-
Värmeförsörjningssystemet i sin helhet	11,1	8.1	6.6	6.5	8.6	7.0

## 8. SLUTSATSER

### 8.1 Värmeförsörjningssystemet

Av de ekonomiska beräkningarna framgår att spillvärmefallen 2a och 2b är klart sämre än uteluftsfallen. Orsaken är främst priset på spillvärme, som har antagits till 30% av ordinarie energipris. Om spillvärmens istället kunde disponeras gratis skulle återbetalningstiderna reduceras till 15 respektive 20 år. Det bättre resultatet för alternativ 2 a beror på lagret.

Varaktighetsdiagrammen för Ramunderskolan och sporthallen är mycket ogynnsamma beroende på det höga effektbehovet dagtid som endast representerar 25% av hela året. Detta medför att man genom att välja mindre värmepumpar ändå täcker en stor del av energibehovet och kan tillgodoräkna sig en större reduktion av ordinarie panneffekt. Men vid en reduktion av värmepumpens storlek försämras lönsamheten pga de stora baskostnaderna. Detta framgår av alternativ 1a och 2b, där energibesparingen minskar med endast 7% vid en minskning av värmepumpens effekt från 500 kW till 300 kW. Samtidigt minskar initialkostnaderna med 17% vilket totalt förändrar återbetalningstiden från 17 till 15 år. En ytterligare reduktion medför dock inte någon större förbättring eftersom baskostnadernas andel är förhållandevis stor.

Genom att värmeförsörja en större abonnent och samtidigt öka värmepumpens storlek fås en gynnsammare återbetalningstid för alternativ 1c än för 1b. Initialkostnaderna ökar inte i lika stor omfattning som värmepumpeffekten och energibesparingen.

Om man istället utgår ifrån ett " normalt " varaktighetsdiagram där dag- och nattfallet ej avviker, exempelvis för ett bostadsområde och med samma förutsättningar

som för 1b-alternativet, blir oljebesparingen 2640 MWh/år eller 78% av hela årsenergibehovet. Återbetalningstiden minskar till 9 år, jämfört med 17 år för 1b-alternativet.

Utelufts-fallet är inte den bästa tillämpningen eftersom både lagret och uteluften konkurrerar om värmepumpens drifttid. Härigenom utnyttjas ej de båda "energikällorna" till sin maximala kapacitet. Uteluften är t ex en god energileverantör ända ner till  $-7^{\circ}\text{C}$ . Antalet timmar under året med lägre temperatur är relativt få, vilket gör att lagret utnyttjas en alldeles för kort tid.

Den optimala kombinationen är en anläggning där avvikelserna i effektbehovet mellan dag och natt är små. Vidare bör energikällan vara i form av spillvärme, inte kräva någon värmepump vid laddning av lagret vara kostnadsfri och arbeta med relativt hög temperaturnivå, ca  $40^{\circ}\text{C}$ . Värmepumpens effekt skall vara hög för att fördela baskostnaderna. Genom att göra kulvertledningarna mellan energikälla, lager och förbrukare så korta som möjligt kan baskostnaderna reduceras betydligt.

Den föreslagna lösningen med underkylare kopplad till värmepumpen medför att effektuttaget kan ökas med ca 20-25% och att ca 15% mer energi kan utvinnas ur värmekällan. Återbetalningstiden för underkylaren är av storleksordningen  $\frac{1}{2}$ -1 år.

Med utgångspunkt från den ekonomiska sammanställningen har även studerats förändringar av kostnaderna då endast Ramunderskolan är energikonsument och värmelagret förläggs i anslutning till skolan. Kulvertkostnaderna kan härigenom kraftigt reduceras. Återbetalningstiderna för alternativ 1a, 1b och 1d minskas härvid till 12, 14 respektive 10 år. Motsvarande energikostnader är 0:27, 0:29 och 0:25 kr/kWh.



## 8.2 Markvärmelager

De geotekniska och termiska förutsättningarna för värmelagring i sötvatten- och brackvattenleror, vilka förekommer på ostkusten, är ungefär desamma som i marin lera på västkusten. Potentialen för värmelager i lera är därigenom stor i Sverige. För en given värmemängd kan en större yta behöva tas i anspråk för ett värmelager i östra än i västra Sverige, eftersom lermäktigheten oftast är mindre i östra Sverige.

Utformningen av värmeväxlare som värmedräner medför att värmeväxlaravståndet kan ökas vid en given drivtemperatur jämfört med u-rörslingor i enbart lera. Alternativt erfordras en lägre drivtemperatur vid ett givet avstånd mellan värmeväxlarna. Detta gör att kostnaden för lagret minskar. Kostnaden för ett lager med värmedräner av den storleksordning som är aktuell i detta projekt är ca 10-15% lägre än motsvarande lager med u-rörslingor i lera.

Värmelagrets anläggningskostnad utgör i detta projekt ca 15-20% av den totala byggkostnaden. Den specifika initialkostnaden är 1:50 kr/kWh,år. Lagrets andel av de beräknade energikostnaderna blir ca 0:11 kr/kWh.

För motsvarande lager med u-rörslingor i enbart lera är den specifika initialkostnaden 1:70 kr/kWh,år och energikostnaden ca 0:12 kr/kWh.

De geotekniska konsekvenserna av ändrade temperaturer i lera jämfört med ursprungliga förhållanden kan medföra sättningar i jorden. Värmedräner kan även påverka grundvattenförhållandena. Då lager skall lokaliseras i anslutning till befintlig bebyggelse är det därför väsentligt att de geotekniska och geohydrologiska förhållandena noggrant klarläggs.

### 8.3 Stadsplaneaspekter

Erfarenheterna från detta projekt visar att värmelager med tillhörande anläggningar kan inordnas inom detaljplanelagt område. I detta fall var förutsättningarna gynnsamma då inga konkurrerande markanspråk av betydelse fanns.

Lokaliseringen av värmelagret ställer krav på en ändring av stadsplanen. Området för värmelagret och en viss skyddszon i anslutning till detta bör reserveras för denna speciella användning, vilket begränsar utnyttjandet av markytan. Förläggningen av värmelagret medför också att användningen av detta markområde låses under värmelagrets livslängd.

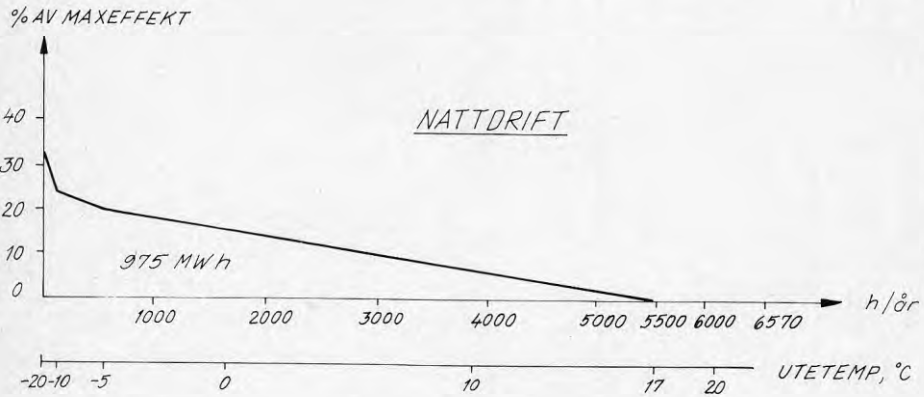
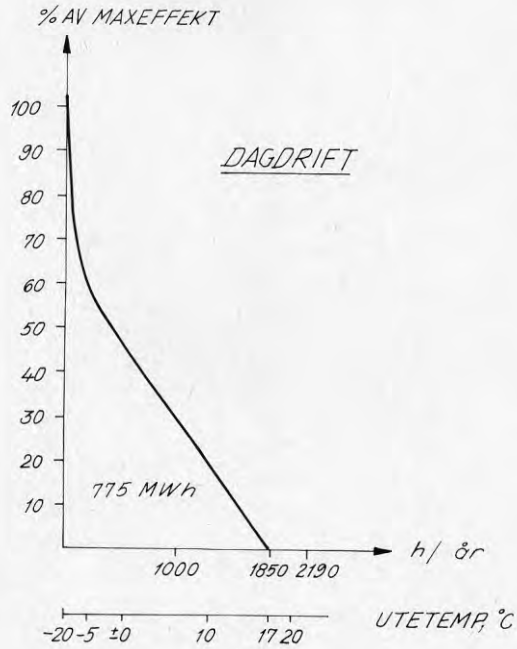
## 9. LITTERATUR

- Abrahamsson, T. m fl, 1982. Luft/vattenvärmepump till befintlig gruppcentral. Förstudie i Brunnsberg, Varberg. BFR R34:1982.
- Campanella, R.G. & Mitchell, J.K., 1968. Influence of temperature variations on soil behavior. Proc. ASCE Vol. 94 (1068):SM 3.
- Claesson, J., m fl, 1984. Markvärme. En handbok om termiska analyser. Lunds tekniska högskola, 1984.
- Ekstrand, A. och Eriksson, K., 1983. Värmelagring i lera. Fältförsök med sanddrän. Examensarbete G83/1. Chalmers tekniska högskola.
- Hellström, G., 1981. Dimensionering av rörsystem för värmelagring i mark. Lunds tekniska högskola, 1981.
- Mitchell, J.K., 1969. Temperature effects on the engineering properties and behavior of soils. HRI spec. rep. 103, Washington DC.
- Rydell, B., (red) 1983. Geotekniska konsekvenser vid värmelagring i lera. Seminarium i Linköping 1983. Statens geotekniska institut, Varia 119.
- Statens Vägverk. Vertikaldränering - Särtryck ur verksamhetshandboken. Anvisning 69.1, TV 106.
- Utredning av centraliserad värmeförsörjning. Söderköpings kommun. Scandiaconsult 1982.
- VVS-handboken

## BILAGEFÖRTECKNING

- BILAGA 1. Ramunderskolan. Effektbehov för dag- och nattdrift.
- BILAGA 2. Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar.
- BILAGA 3. Alternativa utformningar av värmepumpanläggningar
- BILAGA 4. Driftsätt med uteluftkylare och markvärmelager.
- BILAGA 5. Driftsätt med uteluftkylare (direktförångning) och utan markvärmelager.
- BILAGA 6. Driftsätt med spillvärme och markvärmelager.
- BILAGA 7. Energiflöden vid uteluftalternativen.
- BILAGA 8. Energiflöden vid spillvärmealternativen
- BILAGA 9. Laddnings- och uttagseffekter samt temperaturförhållanden.
- BILAGA 10. Stadsplan och illustrationsplan för del av Stg 190, 196 m fl (Storängen).
- BILAGA 11. Förslag till ändring av stadsplan och illustrationsplan för del av Stg 190, 196 m fl (Storängen) vid värmelagring i mark.
- BILAGA 12. Kostnadsberäkningar

RAMUNDERSKOLAN - EFFEKTBEHOV FÖR DAG- OCH NATTDRIFT









Sektion/borrhål Djup/nivå		Benämning enligt 1981 års system		Densitet $\frac{Q}{t/m^3}$		Vatten- kvet $\frac{w}{\%}$		Finleke- tal $\frac{wF}{\%}$		Sensiti- vitet em. konprov St		Skjuvhållfasthet (oreducerad) $T_f$ (kPa) Tryckprov Konprov		Rek. korri. fakt.		Jord- arts- för- ningar**)		Anm.			
																				SAMMANSTÄLLNING AV LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR	
Företag/institution				STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT																	
Projekt				Ramundervärme - värmelager i lera i Söderköping, förstudie																	
PROVTAGNING				LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR																	
datum 83-09-13				datum 83-09-23																	
PROVTAGNINGSPREDSKAP				GÖDKÄND den 83-09-23																	
Kv St I				laboratorieförest.I-M S/CEW																	
Dnr 1-174/83				Littera, uppdragsnr e. likn.																	
Tabellnr, planschnr e. likn.																					
103																					
2,0 m		Grå lera, sulfidfläckig	1,41	118	82	15	4,5	0,9	Le												
3,0		Grå lera, sulfidfläckig	1,50	95	71	23	11		Le												
4,0		Grå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt	1,47	102	81	22	13	0,9	v Le (sa) (si)												
5,0		Brungrå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt	1,57	90	72	22	13		v Le (sa) (si)												
6,0		Brungrå, varvig lera	1,59	76	72	13	17		v Le												Störda varv
7,0		Brungrå, varvig lera	1,59	71	68	14	17		v Le												
7,5		Brungrå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt	1,61	68	63	13	12		v Le (sa) (si)												
8,0		Brungrå, varvig lera med enstaka gruskorn	1,61	65	66	13	22		v Le												Störda varv
8,5		Kontakt: Brungrå, varvig lera/Grå, varvig silt med lerskikt	1,94 <sup>1</sup>	48 26 <sup>2</sup>	48	8,6	14		v Le/ v Si le												1 gjord på v Si le, resten av rutin gjord på v Le 2 gjord på v Si All rutin gjord på v Le Kontakt i öb.
9,0		Kontakt: Grå silt/Brungrå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt	1,55	82	77	16	19		Si/ v Le (sa) (si)												
9,5		Brungrå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt	1,57	75	71	15	18		v Le (sa) (si)												
10,0		Brungrå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt, enstaka gruskorn	1,57	78	74	15	19		v Le (sa) (si)												
10,5		Brungrå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt	1,60	72	69	16	21		v Le (sa) (si)												

\*\*) Övriga undersökningar (se bilagor)  
sk = direkta skjuvförsök  
komp = kompressionsförsök  
korn = kornfördelning

\*) Underströkning av värden anger att skjuvhållfastheten bör reduceras. Rekommenderade korrektionsfaktorer anges i ledig kolumn eller i bilaga 1 kPa = 1 kN/m<sup>2</sup> ≈ 0,1 Mpa/m<sup>2</sup>

Lediga kolumner är avsedda för resultat av specialundersökningar, t. ex. Aterbergs gränser, glödgningsförlust, kapillaritet, tjälfarlighet, permeabilitet.

Sektion/borrhål Djup/nivå		Benämning		Densitet	Vatten- kvot	Finleks- tal	Sensiti- viteten	Skjuvhållfäshet (reducerad)	Jord- arts- för- kört.	Dvriga under- sök- ningar**)	Anm.
				Q t/m <sup>3</sup>	w %	WF %	St	T <sub>f</sub> kPa *) Tryckprov. Konprov kortn.			
103		enligt 1981 års system									
		forts.									
11,0		Brungrå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt		1,62	63	59	14	16 v Le (sa) (si)			
11,5		Brungrå, varvig lera med finsand- och siltskikt		1,63	65	63	(14)	(19) *v Le sa si			*Stor spridning T <sub>fu</sub> =16-23 kPa
12,0		Brungrå, varvig lera med finsand- och siltskikt		1,62	69	66	15	20 v Le sa si			
13,0		Brungrå, varvig lera med tunna finsand- och siltskikt		1,69	76	75	(13)	(20) *v Le (sa) (si)			*Stor spridning T <sub>fu</sub> =15-24 kPa
14,0		Brungrå, varvig lera med täta siltskikt		1,70	63	61	19	25 v Le si			
15,0		Brungrå, varvig lera med täta siltskikt		1,81	56	51	(22)	(22) *v Le si			*Stor spridning T <sub>fu</sub> =13-31 kPa
16,0		Brungrå, varvig lera med täta finsand- och siltskikt		1,78	47	44	(17)	(20) *v Le sa si			*Stor spridning T <sub>fu</sub> =16-22 kPa
17,0		Grå, varvig silt med täta lerskikt		1,81	58 <sup>1</sup> 33 <sup>2</sup>	54 <sup>1</sup> (9,6) <sup>1</sup>		(10) *v si le			*Stor spridning T <sub>fu</sub> =5,1-21 kPa 1 gjord på le 2 gjord på si
18,0		Grå, varvig lera med täta finsand- och siltskikt		1,81	42	39	(15)	(14) *v Le (sa) (si)			*Stor spridning T <sub>fu</sub> =10-21 kPa
19,0		Grå siltig finsand med siltskikt		(2,07)	(22)			si Sa si			Fritt vatten

\*) Underreckning av värden anger att skjuvhållfäsheten bör reduceras. Rekommenderade korrektionsfaktorer anges i ledig kolumn eller i slutiga  
1 kPa = 1 kN/m<sup>2</sup> ≈ 0,1 Mp/m<sup>2</sup>

Lediga kolumner är avsedda för resultat av specialundersökningar, t. ex. Alterberg-gränser, glödningsförlust, kapillarieffekt, fästerfärdighet, permeabilitet.

\*\*) Dvriga undersökningar (se bilagor)  
sk = skjuvhållfäshet  
= direkta skjuvförsök  
konp = kontryckningsförsök  
kon = konformdelning

Företag/institution  
**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**

SAMMANSTÄLLNING AV  
**LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR**

Projekt  
Ramundervärme - värmelager i lera i Söderköping, förstudie

PROVTAGNING  
datum 83-09-13

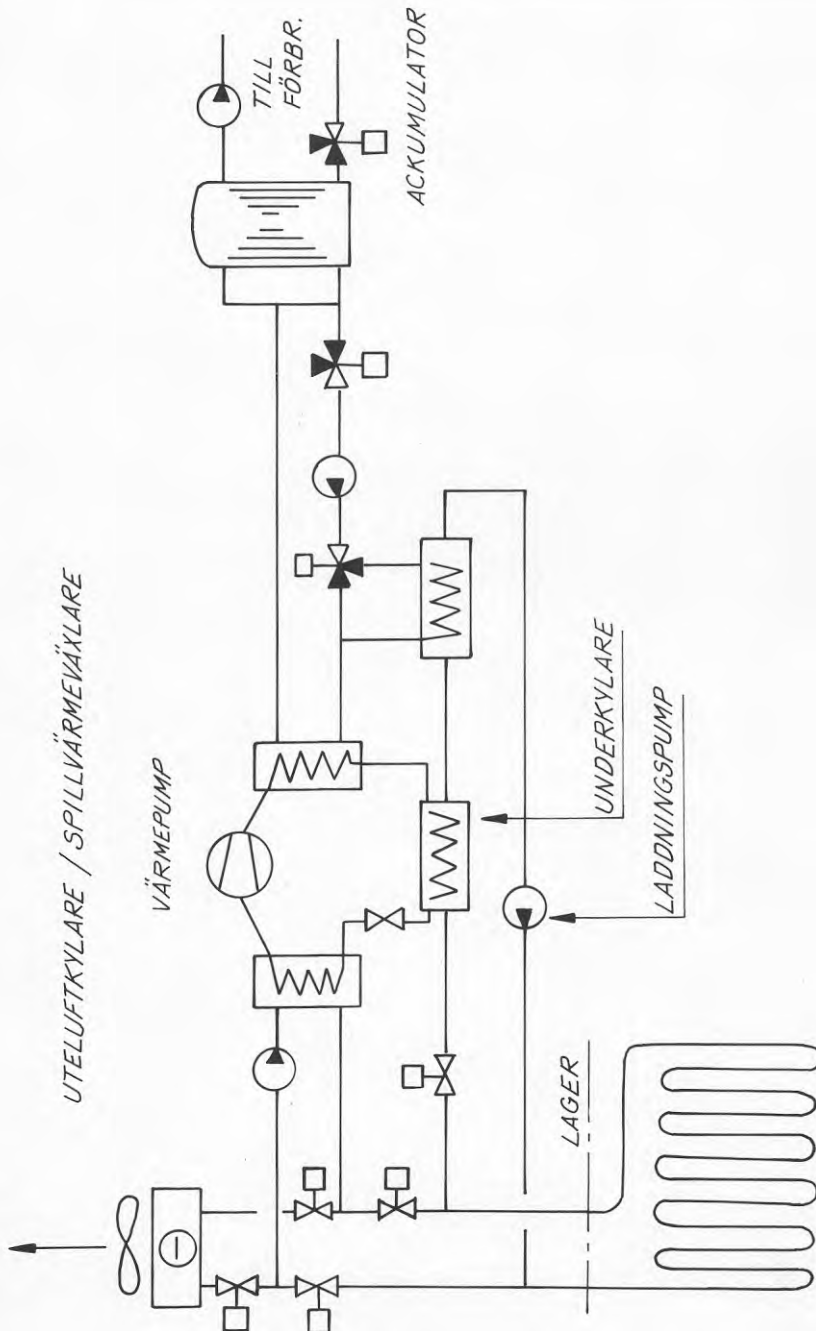
LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR  
datum 83-09-23

PROVTAGNINGSPREDSKAP  
GODKÄND den 83-09-23

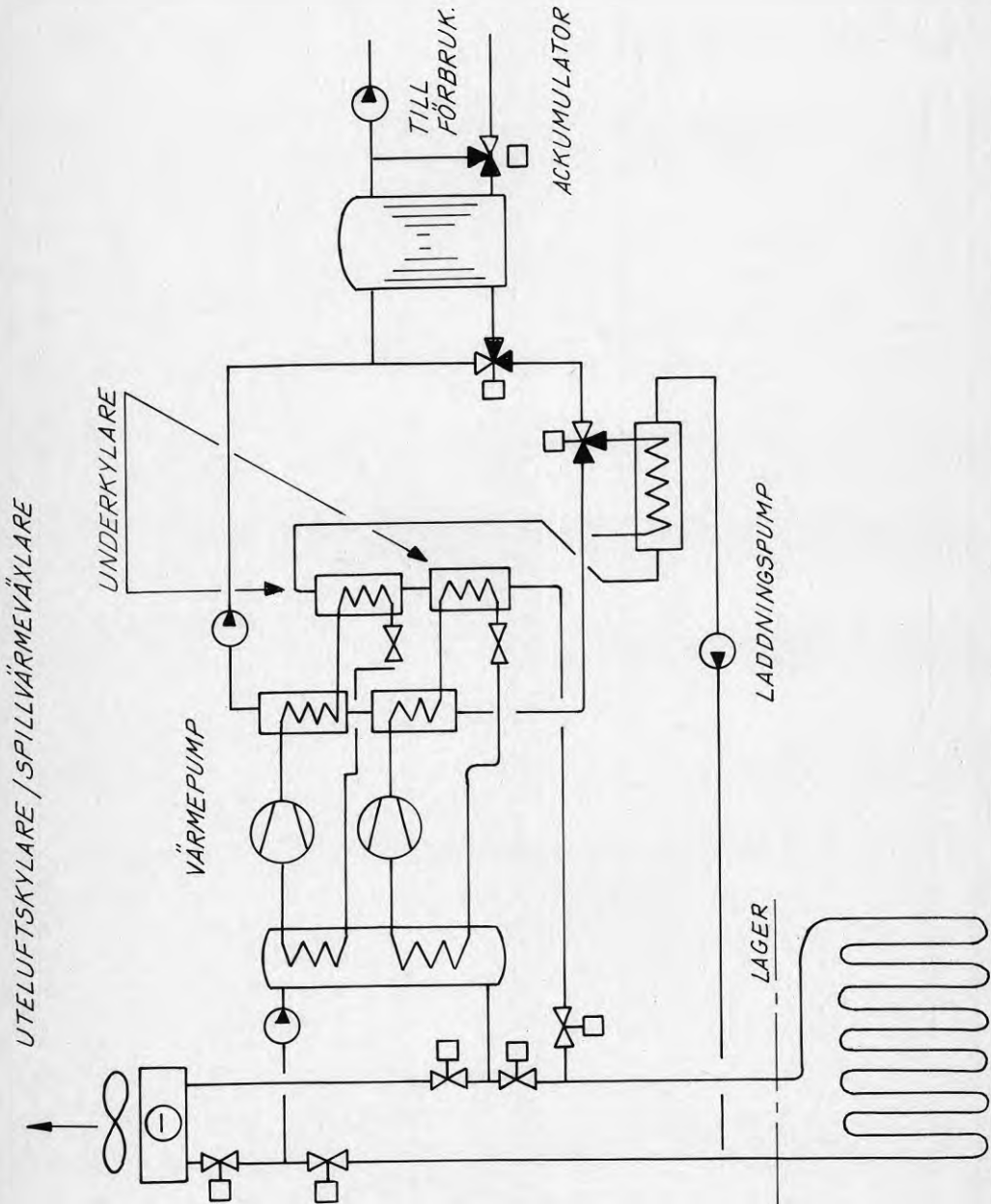
Dnr 1-174/83

Kv St I  
laboratorieförest. I-M S/CEW  
Littera, uppdrag nr e. likn.  
Tabellnr, planschnr e. likn.

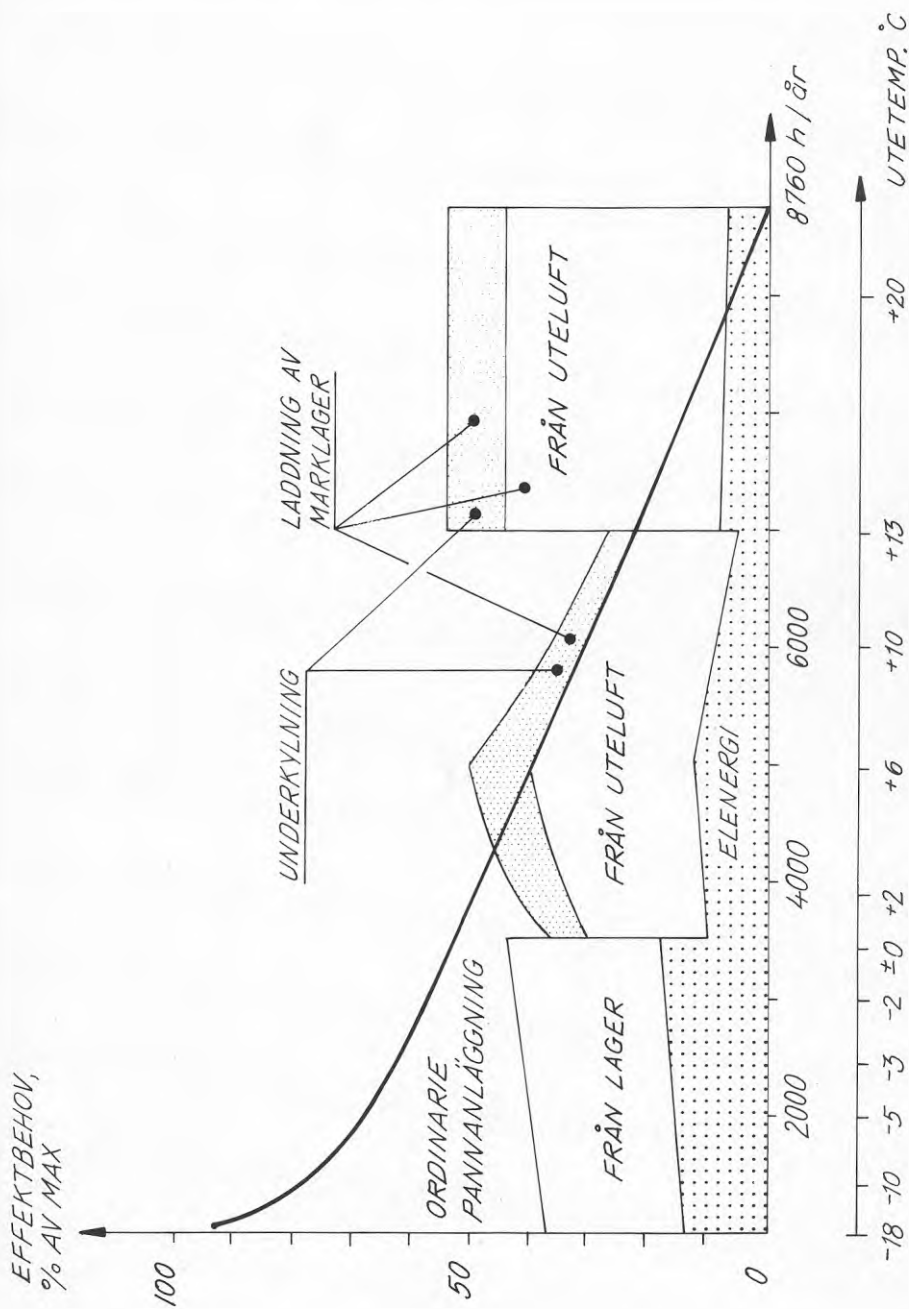
## UTFORMNING AV VÄRMEPUMPANLÄGGNING. FÖRSLAG I



UTFORMNING AV VÄRMEPUMPANLÄGGNING. FÖRSLAG II  
Hög- och låglastkompressor

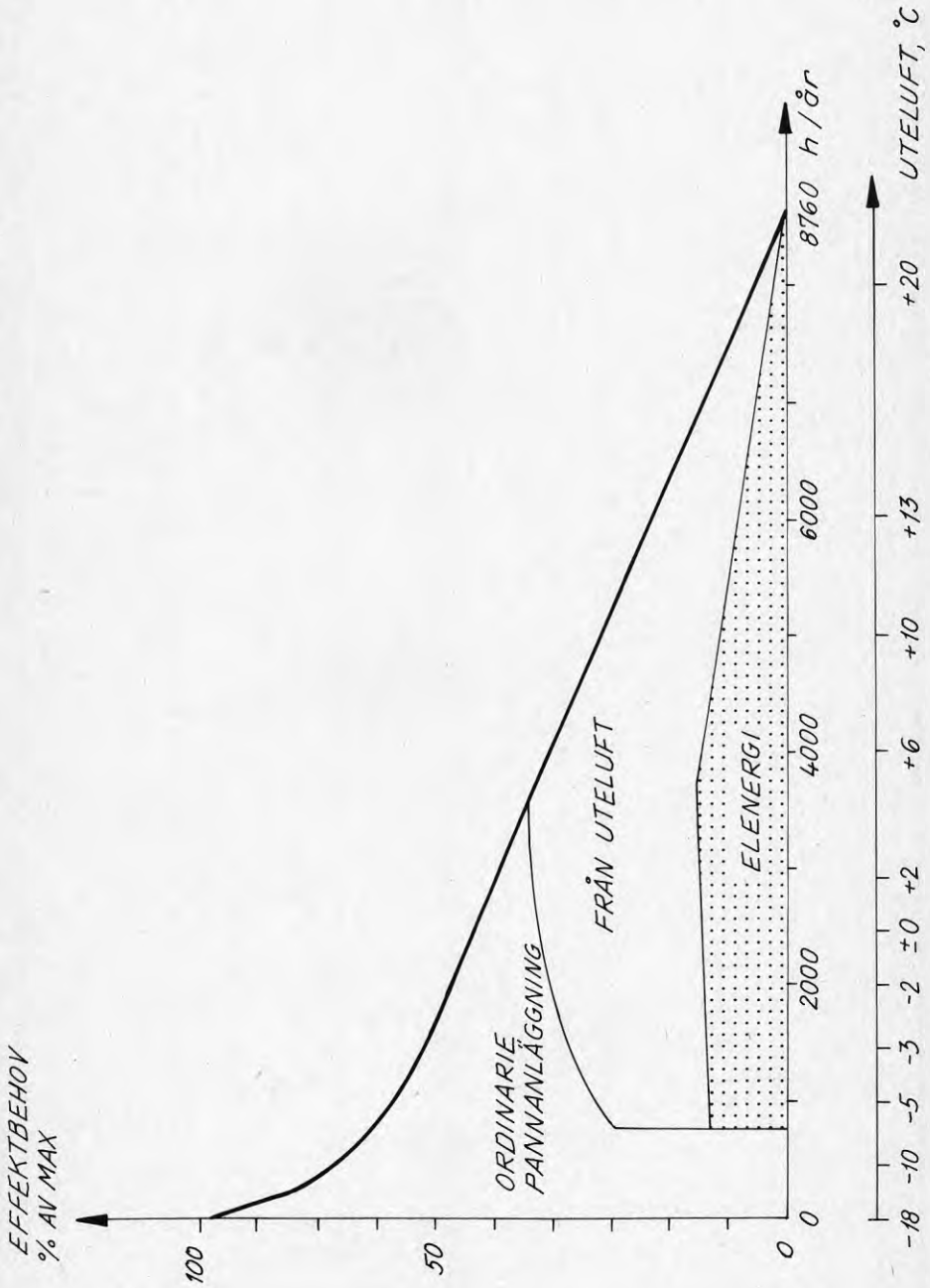


## DRIFTSÄTT MED UTELUFTKYLARE OCH MARKVÄRMELAGER

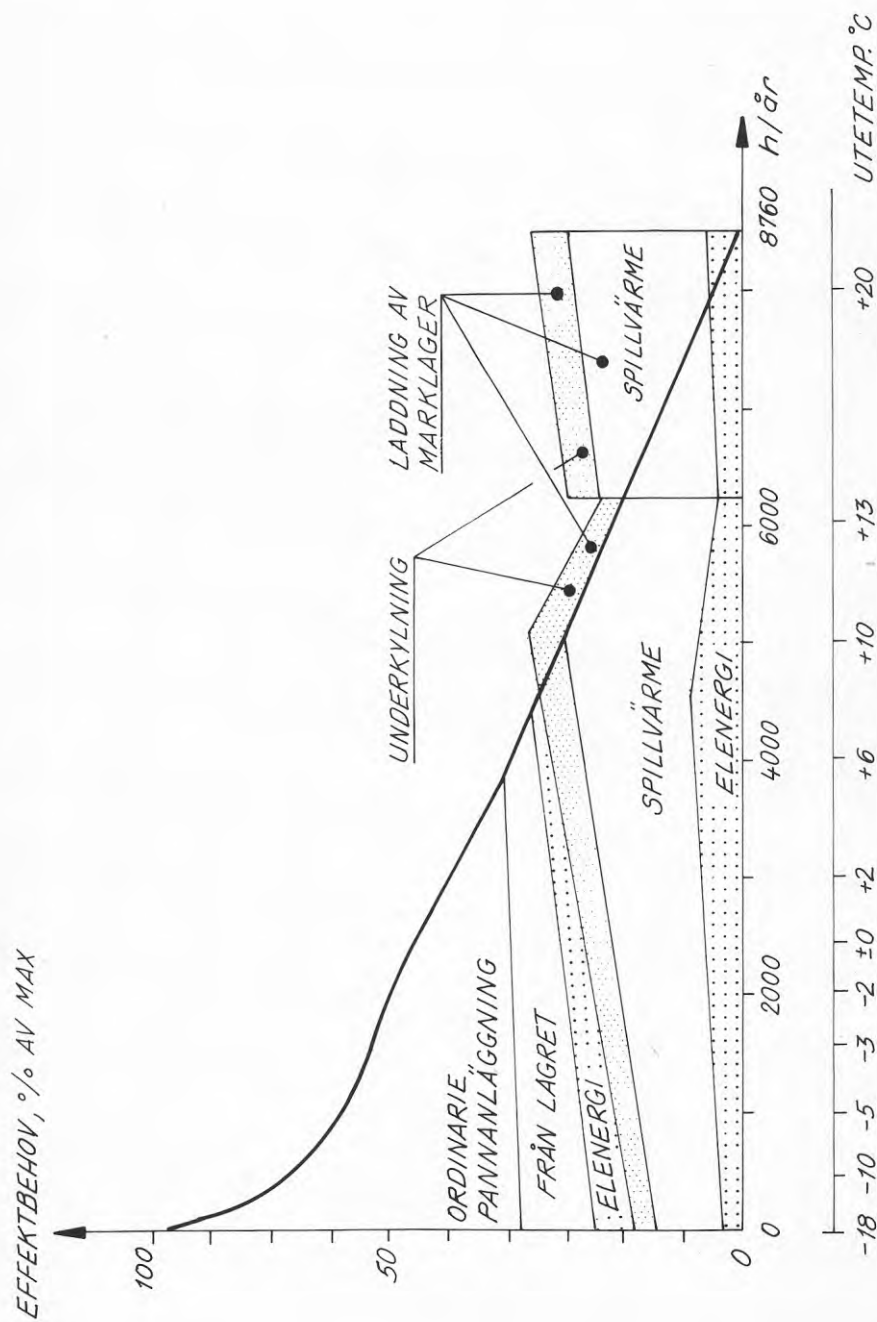




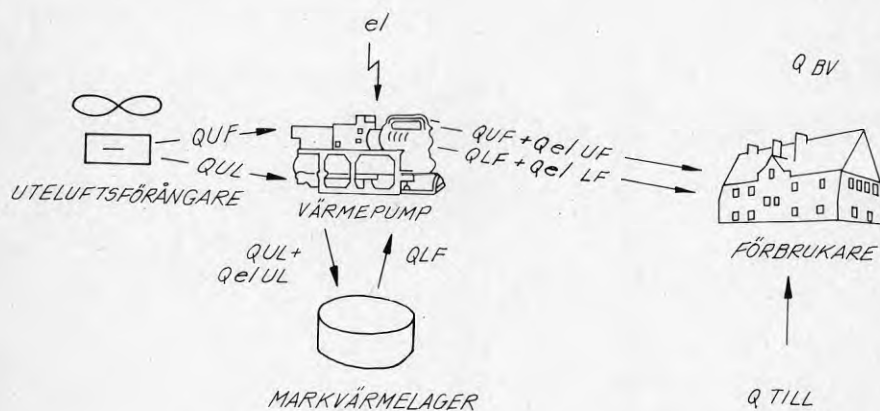
DRIFTSÄTT MED UTELUFTKYLARE (DIREKTFÖRÄNGNING)  
OCH UTAN MARKVÄRMELAGER



## DRIFTSÄTT MED SPILLVÄRME OCH MARKVÄRMELAGER



## ENERGIFLÖDEN VID UTELUFTALTERNATIVEN



FIGUR 7:1. Energiflöden vid uteluftfallet.

Förklaringar till Figur 7:1:

- $Q$  energiflöde  
 UF från uteluft till förbrukare  
 UL från uteluft till lager  
 LF från lager till förbrukare  
 el elenergi  
 Till tillskottsenergi från ordinarie värmeanläggning  
 BV behov

TABELL 7:1. Årlig energibalans.

Kond- Alt	effekt kW	Energiflöden MWh/år								fläkt pump	
		UF	e1UF	UL	e1UL	LF	e1LF	Till	BV	el	el
1a	300	571	229	492	96	445	178	331	1750	70	50
1b	500	611	246	561	108	499	199	194	1750	95	70
1c	750	1098	433	630	123	581	232	345	2700	125	100
1d	500	1112	482	-	-	-	-	160	1750	65	50

## ENERGIFLÖDEN VID UTELUFTALTERNATIVEN

TABELL 7:2. Alternativ 1a. Kondensoreffekt 300 kW. Månadsvis energibalans.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Året
Utetem <sub>p</sub> , °C	-2,9	-3,0	-0,1	5,3	11,0	15,4	17,7	16,4	12,2	7,1	2,7	0,0	6,8
Behov, Mwh													
Skola	282	282	250	193	92			80	140	185	250	1750	
Uttag till förbrukare, Mwh													
QLF	152	101	51									141	445
Qe1LF	61	40	21									56	178
QUF			127	120	66			57	92	109			571
Qe1UF			51	48	26			23	37	44			229
Laddning, Mwh													
QUL						164	164	164					492
Qe1UL						32	32	32					96
Övrigt, Mwh													
E1 till fläkt													70
E1 till pumpar													50
QTILL	69	141		25					11	32	53	331	

## ENERGIFLÖDEN VID UTELUFTALTERNATIVEN

TABELL 7:3. Alternativ 1b. Kondensoreffekt 500 kW. Månadsvis energibalans.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Året
Utetemp, °C	-2,9	-3,0	-0,1	5,3	11,0	15,4	17,7	16,4	12,2	7,1	2,7	0,0	6,8
Behov, Mwh	282	282	250	193	92			80	140	185	250	1750	
Uttag till förbrukare, Mwh	168	112	56									163	499
Q <sub>LF</sub>	67	45	22									65	199
Q <sub>ELLF</sub>			123	138	66			57	100	127			611
Q <sub>ELUF</sub>			49	55	26			23	40	53			246
Laddning, Mwh						187	187	187					561
Q <sub>UL</sub>						36	36	36					108
Övrigt, Mwh													
El till fläkt													95
El till pumpar													70
QTill	47	125									22		194



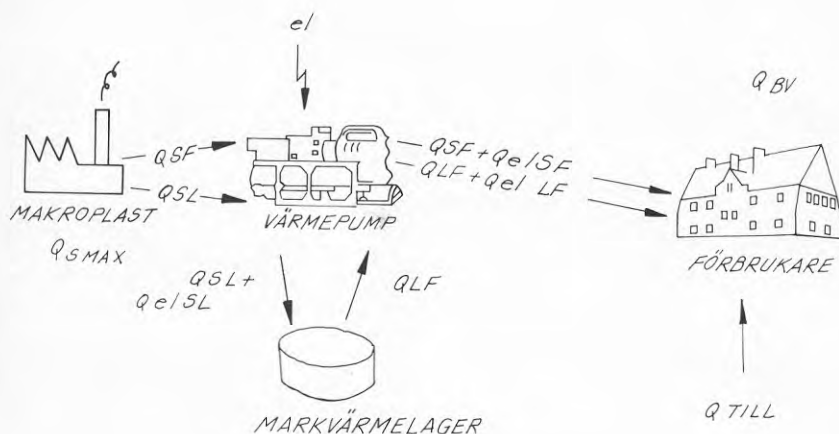


## ENERGIFLÖDEN VID UTELUFTALTERNATIVEN

TABELL 7.5. Alternativ 1d. Kondensoreffekt 500 kW. Inget lager. Månadsvis energibalans.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Året
Utetemp, °C	-2,9	-3,0	-0,1	5,3	11,0	15,4	17,7	16,4	12,2	7,1	2,7	0,0	6,8
Behov, Mwh	282	282	250	193	92	0	0	0	80	140	185	250	1750
Uttag till förbrukare, Mwh													
QUF	155	155	160	135	64				56	98	129	160	1112
QeLUF	67	67	70	58	28				24	42	56	70	482
Övrigt, Mwh													
E1 till fläkt													65
E1 till pumpar													50
QTill	60	60	60	20								20	160

## ENERGIFLÖDEN VID SPILLVÄRMEALTERNATIVEN



FIGUR 8:1. Energiflöden vid spillvärmefallet.

Förklaringar till Figur 8:1:

- $Q$  energiflöde  
 $S_{\max}$  tillgänglig spillvärmepotential  
 SF från spillvärmeproducent till förbrukare  
 SL från spillvärmeproducent till lager  
 LF från lager till förbrukare  
 el elenergi  
 Till tillskottsenergi  
 BV behov

TABELL 8:2. Årlig energibalans. Anm: elF avser elSF och elLF

Alt	Kond- effekt kW	$S_{\max}$	Energiflöden, MWh/år						TILL	BV	Pump el
			SF	LF	elF	SL	elSL				
2a	500	1340	784	428	404	489	84	137	1750	70	
2b	500	1340	784	-	262	-	-	708	1750	45	

## ENERGIFLÖDEN VID SPILLVÄRMEALTERNATIVEN

TABELL 8:2. Alternativ 2a. Kondensoreffekt 500 kW. Månadsvis energibalans.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Året
Utetemp, °C	-2,9	-3,0	-0,1	5,3	11,0	15,4	17,7	16,4	12,2	7,1	2,7	0,0	6,8
Behov, Mwh	282	282	250	193	92	0	0	0	80	140	185	250	1750
Uttag till förbrukare, Mwh													
QSm <sup>max</sup> *	81	81	89	105	153	200	0	200	130	113	105	890	1340
QSF	81	81	89	105	69				60	105	105	89	784
QLF	95	95	82	40							34	82	428
QeIF	59	59	57	48	23				20	35	46	57	404
Laddning av lager, Mwh													
QSL						163	163	163					489
QeISL						28	28	28					84
Övrigt, Mwh													
El till pumpar												22	70
Tillskotsenergi.	47	47	22										137

\* Kulvertförluster 15 % fråndragna.

## ENERGIFLÖDEN VID SPILLVÄRMEALTERNATIVEN

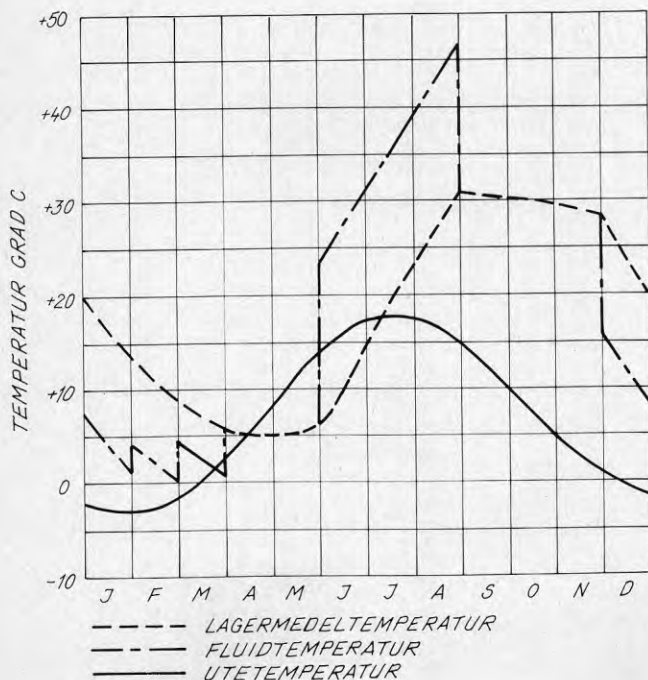
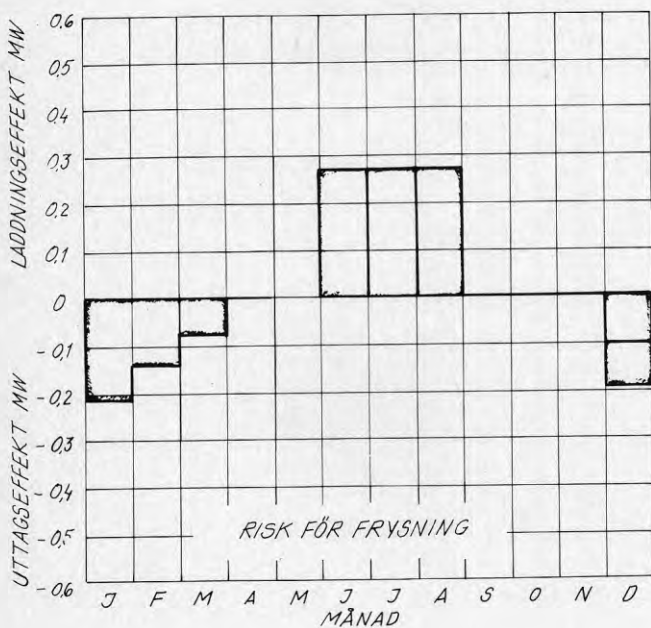
TABELL 8:3. Alternativ 2b. Kondensoreffekt 500 kW. Inget lager. Månadsvis energibalans.

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Året
Utetem, °C	-2,9	-3,0	-0,1	5,3	11,0	15,4	17,7	16,4	12,2	7,1	2,7	0,0	6,8
Behov, Mwh													
Skola	282	282	250	193	92	0	0	0	80	140	185	250	1750
Uttag till förbrukare, Mwh													
Q <sub>smax</sub> *	81	81	89	105	153	200	0	200	130	113	105	89	1340
Q <sub>SF</sub>	81	81	89	105	69				60	105	105	89	784
Q <sub>eIF</sub>	27	27	30	35	23				20	35	35	30	262
Övrigt, Mwh													
EI till pumpar											45		45
Tillskotsenergi.	174	174	131	53						45	131	708	708

\* Kulvertförluster 15 % frändragna.

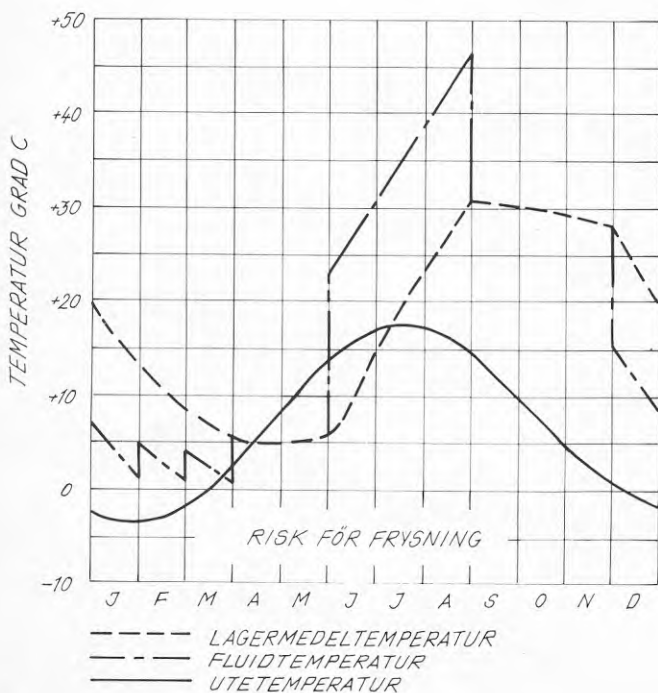
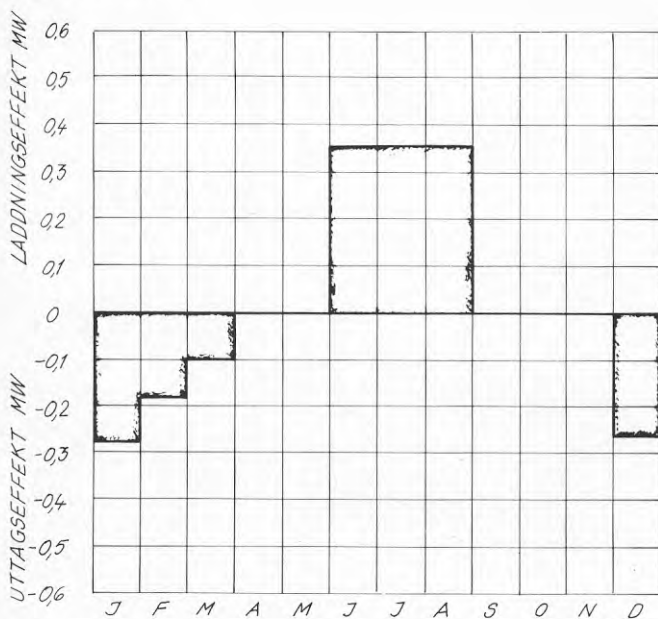
LADDNINGS- OCH UTTAGSEFFEKTER  
SAMT TEMPERATURFÖRHÅLLANDEN

ALTERNATIV 1a



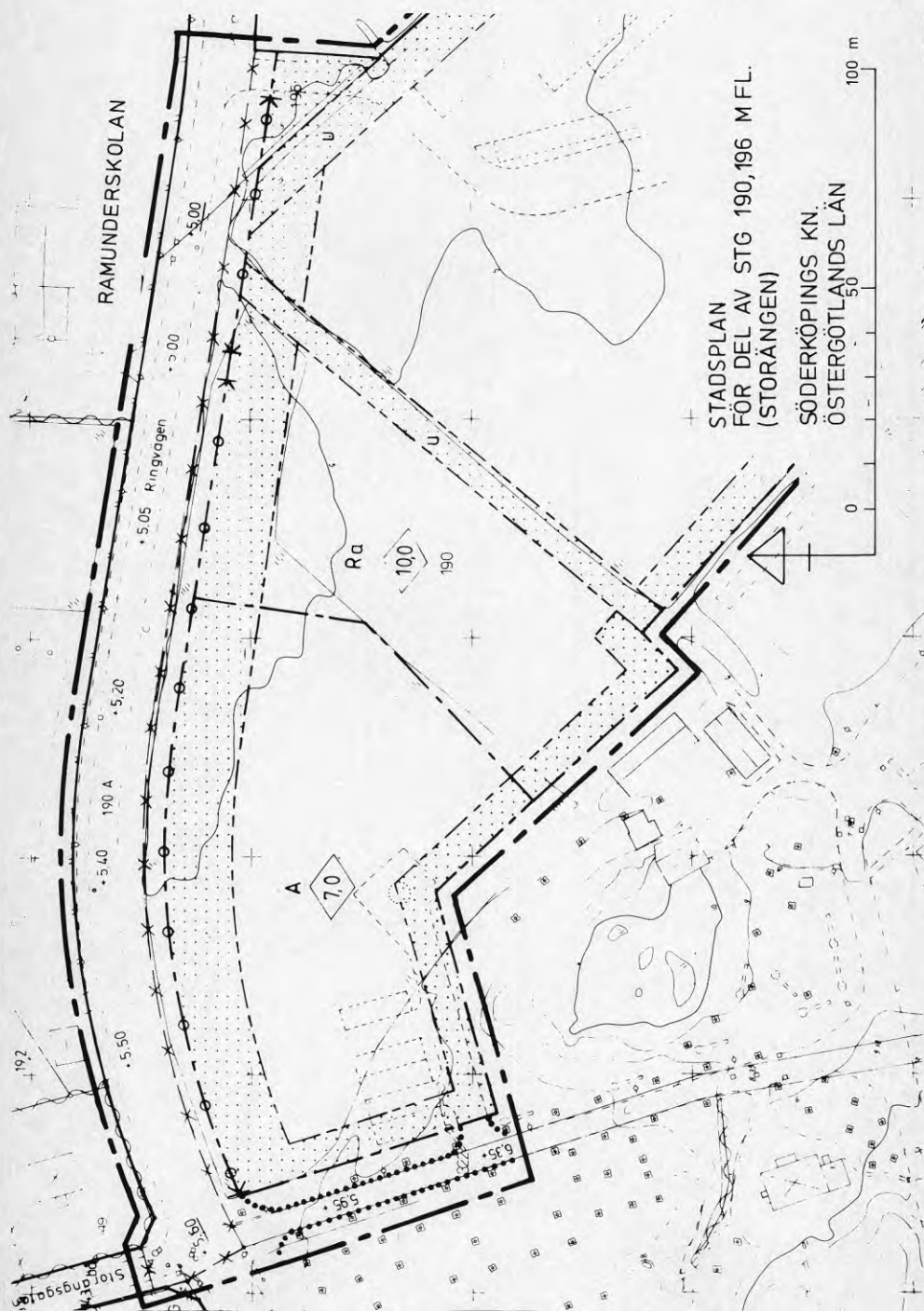
LADDNINGS- OCH UTTAGSEFFEKTER SAMT  
TEMPERATURFÖRHÅLLANDEN

ALTERNATIV 1C

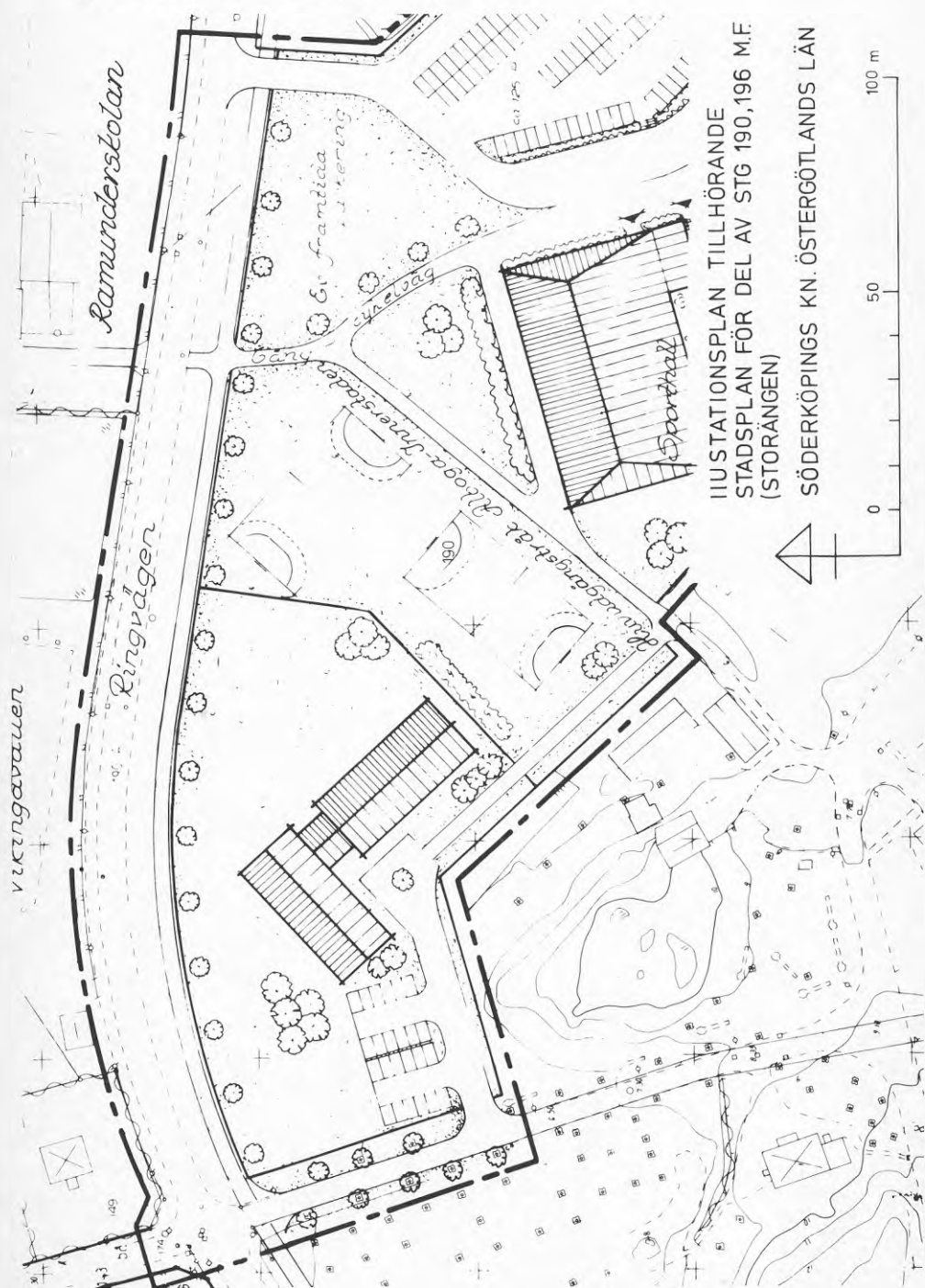




STADSPLAN FÖR DEL  
AV STG 190, 196 M FL (STORÄNGEN)



ILLUSTRATIONSPLAN FÖR DEL AV  
STG 190, 196 M FL (STORÄNGEN)



DEL AV STG 190, 196 M.FL. (STORÄNGEN)  
SÖDERKÖPINGS KOMMUN  
ÖSTERGÖTLANDS LÄN

FÖRSLAG TILL ÄNDRING OCH UTVIDGNING AV STADSPLAN

BESTÄMMELSER

1 § PLANOMRÅDETS ANVÄNDNING

1 mom Byggnadskvarter

Med A betecknat område får användas endast för allmänt ändamål.

2 mom Specialområden

Med Ra betecknat område får användas endast som fritidsområde.

2 § MARK SOM ICKE FÅR BEBYGGAS

Med punktprickning betecknad mark får icke bebyggas.

3 § SÄRSKILDA FÖRESKRIFTER ANGÅENDE OMRÅDEN FÖR ALLMÄNNA LEDNINGAR

På med u betecknad mark får icke vidtas anordningar som hindrar framdragande och underhåll av underjordiska allmänna ledningar.

4 § BYGGNADS UTFORMNING


På med siffra i romb betecknat område får byggnad uppföras till högst den höjd i meter som siffran anger.

## 5 § UTFARTSFÖRBUD

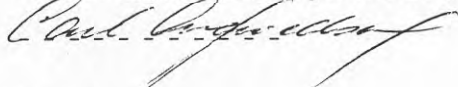
Utfart får icke anordnas över områdesgräns som även be-  
tecknats med ofyllda cirkclar.

Söderköping 1982-04-23

  
Jan-Erik Pernes  
Stadsarkitekt


  
Lou Lou Holmgren  
Kartassitent

Tillhör Kommunfullmäktiges beslut § 133 1982-09-16

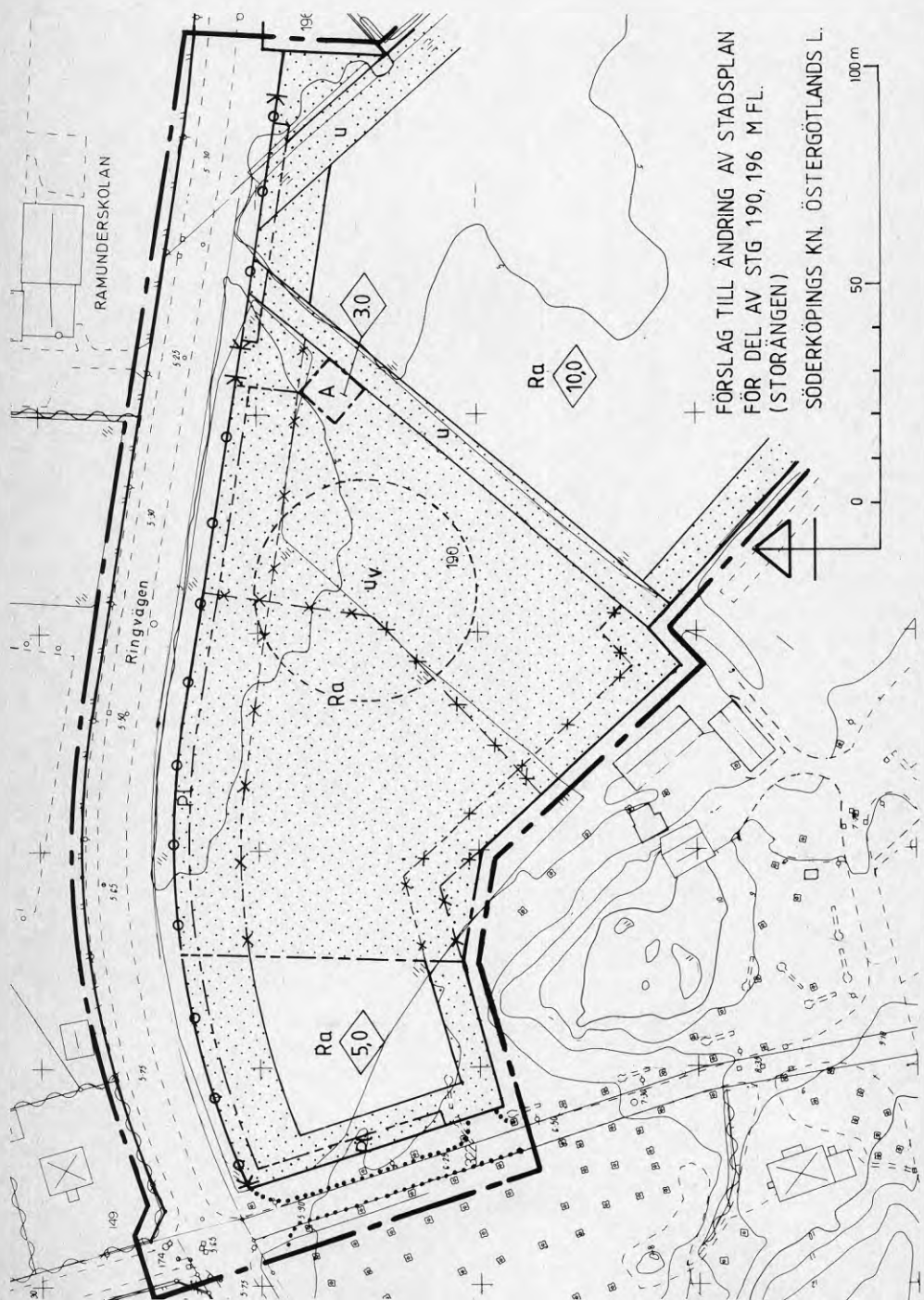


Carl Arfwedson  
Kommunfullmäktiges ordf.

Tillhör länsstyrelsens i Öster-  
götlands län beslut  
1982-11-04.... i ärendet  
11.082-2405-82.; betygas  
i tjänsten.

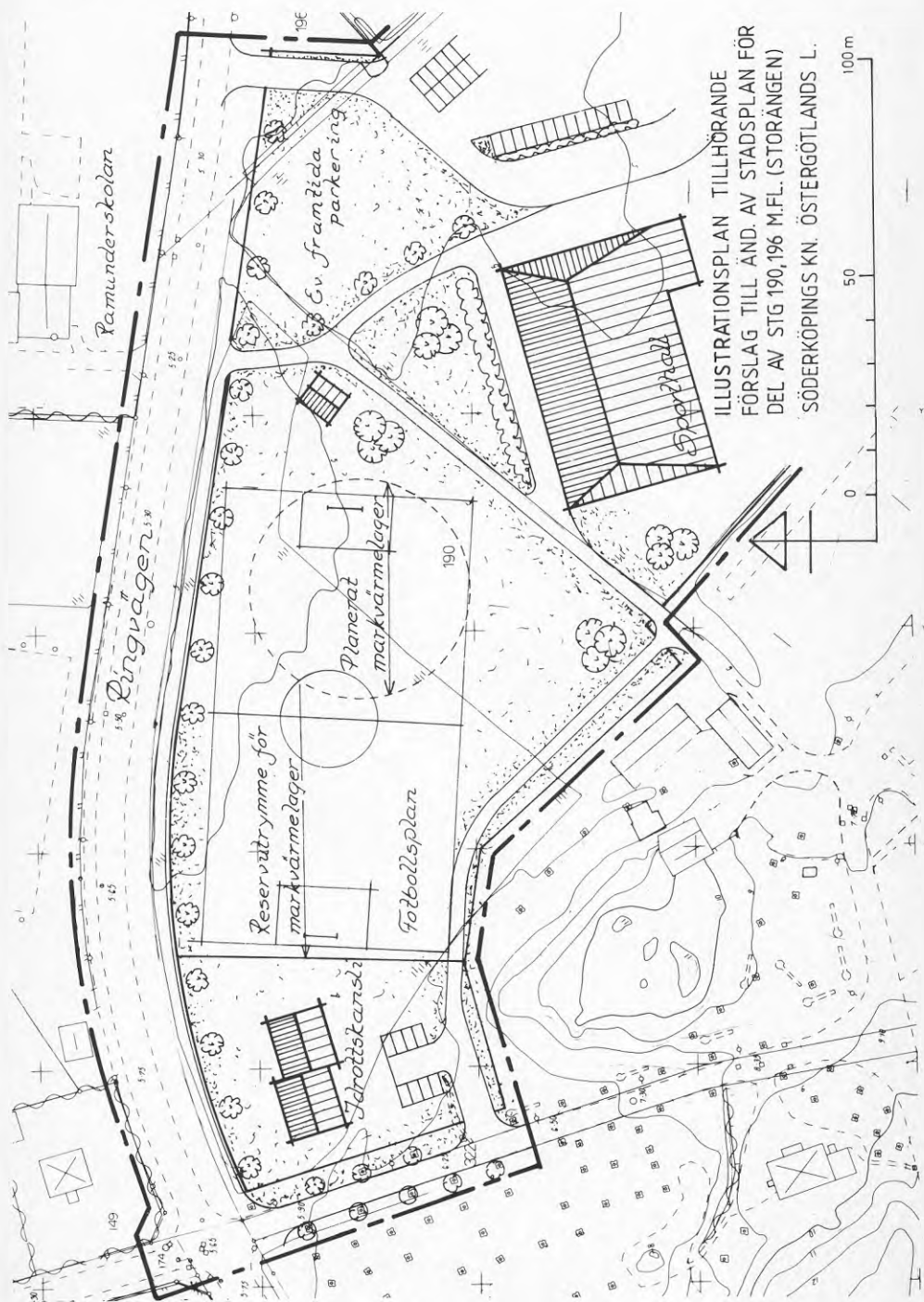


FÖRSLAG TILL ÄNDRING AV STADSPLAN  
FÖR DEL AV STG 190, 196 M FL (STORÄNGEN)  
VID VÄRMELAGRING I MARK





FÖRSLAG TILL ILLUSTRATIONSPLAN  
 FÖR DEL AV STG 190, 196 M FL (STORÄNGEN)  
 VID VÄRMELAGRING I MARK





## KOSTNADSBERÄKNINGAR

TABELL 12:1 Initialkostnader exkl anslutningskostnader för el, tkr

Kostnadsposter	Alternativ					
	1a	1b	1c	1d	2a	2b
Värmepump	500	760	1000	850	760	760
Underkylare	40	50	60	-	50	-
Elinstallationer	280	300	350	300	250	250
Cirkulationspump	30	40	40	20	40	30
Styrventiler o automatik	50	50	50	60	50	30
Uteluftkylare inkl ljud- dämpare och fundament	300	400	500	400	-	-
Spillvärmväxlare	-	-	-	-	50	50
Intern rörledning och armatur	40	50	65	20	50	35
Extern rörledning (till luftkylare)	20	30	35	150	-	-
Kulvertledning	420	445	740	370	1185	1110
Expansionskärl	30	30	30	-	30	30
Glykol	25	25	25	-	25	-
Utjämningskärl/ ackumulator	50	50	50	50	50	150
Marklager	530	590	680	-	520	-
Byggnad för värmepump	300	350	350	350	300	300
Vent av maskinrum	50	50	50	50	50	50
Summa byggkostnad	2665	3220	4025	2620	3410	2795
Konsult o adm ca 15%	400	480	605	390	510	420
Oförutsett ej spec ca 10%	265	320	400	260	340	280
TOTALT	3330	4020	5030	3270	4260	3495

## KOSTNADSBERÄKNINGAR

TABELL 12:2. Energibehov och driftkostnad.

	Alternativ					
	1a	1b	1c	1d	2a	2b
Elenergibehov, MWh/år	604	706	1002	597	537	307
Elkostnad, tkr	145	169	240	143	129	74
Spillenergi, MWh/år	-	-	-	-	1149	784
Spillenergikostn, tkr	-	-	-	-	98	67

TABELL 12:3 Energiförändring, MWh/år

	Alternativ					
	1a	1b	1c	1d	2a	2b
Reducerad oljeförbrukning	1438	1613	2400	1590	1613	1042
Uppoffrad elenergi	604	706	1002	597	537	307
Nettobesparing	834	907	1398	993	1076	735

TABELL 12:4 Driftkostnadsförändring, tkr/år

	Alternativ					
	1a	1b	1c	1d	2a	2b
Minskad oljekostnad	417	468	696	461	468	302
Tillkommande elkostnad	145	169	240	143	129	74
Spillenergikostnad	-	-	-	-	98	67
Nettobesparing	272	299	456	318	241	161











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
830538-2 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Söderköpings kommun, Söderköping.**

**R181: 1984**

**ISBN 91-540-4294-1**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704181**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**Cirkapris: 35 kr exkl moms**