

**Rapport**

**R68:1982**

# **Säsongslagring av sjövärm i gruva i Kopparberg**

**Förprojektering**

**Erik Söderman  
Kjell Windelhed**

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

*K  
AWL*

**Byggforskningsrådet**

R68:1982

SÄSONGLAGRING AV SJÖVÄRME I  
GRUVA I KOPPARBERG

Förprojektering

Erik Söderman  
Kjell Windelhed

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
800727-3 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Energisparkommittén i Ljusnarsbergs kommun.

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

R68:1982

ISBN 91-540-3724-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1982

## FÖRORD

Detta arbete har finansierats genom anslag från Statens Råd för Byggnadsforskning till Ljusnarsbergs kommun. För arbetets genomförande har konsultföretagen Rejlers Ingenjörbyrå AB och Hagconsult AB anlitats, där Erik Söderman fungerat som projektledare.

Från Rejlers Ingenjörbyrå har Lars Carlquist, Hans Gransell, Jerzy Grynblat, Bertil Johansson, Erik Söderman och Tommy Öhman medverkat.

Från Hagconsult har Torgny af Forselles, Lars Lundström och Kjell Windelhed medverkat.



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SAMMANFATTNING .....	7
1	INLEDNING .....	9
1.1	Bakgrund .....	9
1.2	Syfte .....	10
2	FÖRUTSÄTTNINGAR .....	11
2.1	Värmebehov .....	11
2.2	Fjärrvärmeens utbyggnadstakt.....	11
2.3	Temperaturförhållanden i fjärr- värmenätet .....	11
2.4	Lager.....	11
2.5	Värmepumpens värmekälla .....	12
3	LAGER .....	13
3.1	Lagergeometri .....	13
3.2	Uppskattning av värmeförluster.....	19
3.3	Grundvattenförhållanden.....	20
3.4	Strömningsförhållanden i gruvan .....	23
3.5	Beräkningsmodell .....	24
4	SYSTEMUTFORMNING .....	30
4.1	Allmänt om systemuppbyggnad .....	30
4.2	Driftstrategi .....	31
4.3	Värmepumpar .....	31
4.4	Oljeeldad panncentral.....	33
4.5	Installation.....	33
4.6	Materialval.....	34
4.7	Reglering .....	34
5	SYSTEMPARAMETRAR .....	35
5.1	Allmänt .....	35
5.2	Olika systemlösningar .....	35
5.3	Driftperiod för värmepumpar .....	37
5.4	Lagertemperatur .....	39
5.5	Driftstrategier för värmepumpar och lager .....	40
5.6	Temperaturnivå i fjärrvärmenätet ....	42
5.7	Slutsatser angående val av system- parametrar .....	43
6	ENERGIBALANS .....	45
7	BERGTEKNISKA FRÅGOR .....	50
8	EKONOMI .....	51
8.1	Investeringar .....	51
8.2	Driftkostnader .....	52

9	MÄTNING OCH UTVÄRDERING,.....	56
10	SLUTSATSER .....	57

BILAGA 1

VÄRMELAGRING I GRUVA I LJUSNARSBERG. UPPSKATNING AV VÄRMEFÖRLUSTER OCH LAGRINGSKAPACITET .....	59
--	----

## SAMMANFATTNING

Föreliggande rapport utgör en fortsättning av förstudien "Säsongslagring av värme i gruva i Kopparberg". Projektets huvudsyfte har varit att studera den nedlagda Ljusnarsbergs gruvan i Kopparberg som säsongslager för värme. Värme produceras under sommaren med hjälp av värmepumpar som arbetar med en å som värmekälla. Värmen matas in på ett fjärrvärmenät som försörjer den centrala delen av Kopparberg. Överskotts- värme laddas under perioden maj till oktober in i gruvan för att utnyttjas under resternade delen av året.

Gruvans volym är totalt  $124000 \text{ m}^3$  uppdelat på utbrutna rum, schakt och orter. Värmelagringen förutsattes först ske mellan temperaturerna  $40^\circ\text{C}$  och  $5.5^\circ\text{C}$  där den senare utgör bergets begynnelsestemperatur. Det har dock visat sig under projektets gång att ekonomin förbättras av en högre lagringstemperatur, vilket har medfört att maxtemperaturen slutligen valdes till  $+55^\circ\text{C}$ .

På grund av den utsträckta geometrin blir värmeförlusterna förhållandevis stora. I samarbete med Lunds Tekniska Högskola har värmeförlusterna i gruvan uppskattats till ca 33%, men p g a osäkerheten i beräkningar och för att ej underskatta förlusterna har dessa i beräkningarna förutsatts vara 50%. I detta projekt utgörs endast 25% av den inlagrade värmemängden av drivenergi till värmepumpar, vilket medför att kostnaden för värme som lagras in i gruvan uppgår till 5 öre/kWh. På grund av den låga värmekostnaden kan man acceptera de höga värmeförlusterna och ändå erhålla en kostnad för värme som matas ut på fjärrvärmenätet som understiger motsvarande producerad med olja.

De totala investeringarna för projektet uppgår till 18900 kkr och för ett referensalternativ med oljebaserad fjärrvärme till 9900 kkr. Den ekonomiska jämförelsen visar att med 4% real kalkylränta erhålls kostnadslikhet.

Någon spekulation i framtida energipriser har ej gjorts, men man kan lätt konstatera att ett ökande oljepris eller ett sjunkande elpris (räknat i fast penningvärde) förbättrar kalkylerna.

Gruvan som lager är trots sina värmeförluster intressant och därför föreslås att projektet löper vidare så att ett fullskaleförsök kan ske. Detta försök bör ge svar på värmeförlusternas storlek samt strömningsförhållandena vid in- och urladdning av gruvan.





## 1 INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Om värme från den varma årstiden ska kunna utnyttjas under uppvärmningssäsongen krävs att långtidslagring blir ekonomiskt intressant. Olika typer av säsongslager, såsom berg-  
rum, gropmagasin, betongtankar osv testas idag och vilken typ som kommer att vara mest intressant vid olika applikationer är svårt att förutsäga. Det beror på den ekonomiska potentialen och även den plats där lagret ska ligga. Som exempel kan nämnas att man på vissa platser kan ha svårt att finna tillräckligt bra berg för bergrumslagring samtidigt som det kan vara svårt att finna bra mark för förläggning av gropmagasin.

Ytterligare en möjlighet för säsongslagring är att utnyttja gamla nedlagda gruvor. Visserligen har en gruva, med sina spridda hålrum och sammanbindande orter, en ogynnsam geometri ur värmeförlustsynpunkt, men anläggningskostnaden är istället minimal.

Om det kapitaliserade värdet av gruvans mervärmeförluster i förhållande till alternativlagret understiger kapitalkostnaden för alternativlagret kan gruvan anses vara ett ekonomiskt intressant lager. Förekomsten av nedlagda gruvor är naturligtvis begränsad samtidigt som avståndet till närmaste samhälle kan vara stort. Det kan dock lätt påvisas att gruvan som långtidslager kan vara intressant, beroende på att kostnaden för den värme som laddas in kan bli låg, samtidigt som man kan bortse från anläggningskostnaden.

I ett parallellt projekt har en inventering av nedlagda gruvor utförts. Här framgår att i mellansverige finns 121 st gruvor med volymer överstigande  $100000 \text{ m}^3$ , varav ca 30 st befinner sig på ett avstånd mindre än 10 km från värmeavvärmare.

Det här redovisade projektet utgör en direkt fortsättning på BFR-projektet 79 11 86-0 "Säsongslagring av solvärme i gruva i Kopparberg - förstudie". Förstudien visade att en nedlagd gruva kan utgöra lager för lågtemperaturvärme. Kostnaden för lagringen som sammansätts av en anläggningskostnad och en förlustkostnad beror mycket på kostnaden för primärenergi, dvs för värme som lagras in i gruvan. Det förutsattes i förstudien att värme producerades vid ett solgångarfält. Kostnaderna visade sig dock bli mycket höga och projektet ändrades så att värme istället togs från en närbelägen å via värmepumpar.

Samhället Kopparberg är en ort som idag uppvärms till övervägande del av individuella oljeeldade panncentraler. Tanken var att ett fjärrvärmenät som försörjer centrala Kopparberg skulle utgöra värmesänka för värmepumpar, vilka får sin värme dels direkt från Garhytteån och dels från gruvan som utgör ett säsongslager. En parallell studie påvisar att en fjärrvärmeutbyggnad på sikt kan uppvisa lönsamhet.

## 1.2 Syfte

Projektets syfte är i första hand att studera den nedlagda gruvans möjlighet att utgöra ett färdigbyggt lager. Gruvan utgör en mycket speciell lagringsenhet på grund av dess spridda volymer sammanbundna med långa orter. Följande huvudpunkter kan sägas ingå i projektet:

- att studera storleken på värmeförlusterna från gruvan
- att påvisa att samtliga utrymmen i gruvan deltar som aktiva lagringsvolymer, dvs att den temperaturgradient som byggs upp i gruvan räcker till för att driva runt vatten till de långt bort belägna utrymmena
- att studera samverkan mellan lager, värmepumpar och värmesänka
- att uppskatta kostnaden för producerad värme till fjärrvärmenätet.

## 2 FÖRUTSÄTTNINGAR

### 2.1 Värmebehov

Idag sker uppvärmningen i Kopparberg i huvudsak med individuella oljeeldade panncentraler. Värmebehovet har uppskattats med utgångspunkt från inventering av oljeförbrukningen som Ljusnarsbergs kommun utfört. Fjärrvärmeområdets oljeförbrukning uppgår till ca 2200 m<sup>3</sup>/år, vilket vid en antagen pannverkningsgrad på 70% för stora fastigheter och 60% för små fastigheter motsvarar ett nettovärmebehov på 14700 MWh. Om hänsyn tas till ett framtida energisparande, ca 20%, uppskattas nettovärmebehovet till 12100 MWh. Inklusiva värmeförluster i fjärrvärmenät blir utmatad värmemängd 12700 MWh. Värmeeffektbehovet vid dimensionerande utomhustemperatur har uppskattats till 4.2 MW.

### 2.2 Fjärrvärmens utbyggnadstakt

Med tanke på fjärrvärmeområdets storlek är det realistiskt att anta en utbyggnadstakt som ger ett fullt utbyggt distributionsnät på en tvåårsperiod. En viss eftersläpning vad det gäller abonnentslutning har dock förutsatts, vilket medför att samtliga abonnenter är anslutna efter 6 år. Detta påverkar ej utbyggnaden av stamnät utan enbart servisledning. Om de tidigare tidsplanerna ska följas måste projektering av distributionsnät startas i början av år 1983 så att nätet är fullt utbyggt inför eldningssäsongen 1984.

### 2.3 Temperaturförhållanden i fjärrvärmenätet

För att erhålla en god värmefaktor på värmepumpen är det viktigt att denna arbetar mot en så låg temperaturnivå på fjärrvärmenätet som möjligt. Det har förutsatts att framledningstemperaturen under sommaren kan hållas vid 70°C och att temperaturen vid dimensionerande utomhustemperatur är 100°C. Temperaturdifferensen mellan fram- och returledning är vid det senare tillfället 50°C. Normalt sett är framledningstemperaturen i befintliga fjärrvärmenät 80°C, men i detta fall torde det inte utgöra något problem att sänka denna till 70°C, eftersom hänsyn kan tas till temperaturförhållandena vid projektering av abonnentcentraler.

### 2.4 Lager

Från gruvkartor har den tillgängliga lagervolymen (vattenvolymen) bestämts till ca 124000 m<sup>3</sup> bestående av utbrutna rum, orter och schakt. I förstudien hade lagringsvolymen översiktligt uppskattats till 135000 m<sup>3</sup>. De delar av gruvan som endast kommer att utgöra ett passivt lager (stillastående vatten) har bedömts som liten.

Uppvärmning av gruvvattnet sker så att kallt vatten från gruvans undre regioner via ett långt rör och en pump värms upp genom en värmepump och släpps sedan ut i toppen av gruvan. På så sätt erhålls en "temperaturskiktning" i lagret. Med hjälp av de termiska krafterna (densitetsdifferen-

sen mellan varmt och kallt vatten) kommer varmt vatten att sprida sig via de horisontella orterna till de yttre belägna volymerna. En "front" med varmt vatten kommer att förflytta sig från toppen till botten av gruvan under en vattenomsättning. Temperaturfronten kommer att vara utspridd i höjddled på grund av den värmekommunikation som förekommer med omgivande bergsmassor. Under laddningsförloppet kommer vattentemperaturen att sjunka på grund av värmeavgivning till omgivande bergsmasor. Motsatta förhållanden gäller vid urladdning av gruvan.

Urladdning av gruvan sker genom att varmt ytvatten kyls i en värmepump och sedan återförs till den kallare bottenregionen.

Vid beräkning av lagringskapacitet har ingen kredit tagits för att omgivande bergsmassor till viss del fungerar som ett lager, samtidigt som hela temperaturdifferensen ej kan utnyttjas på grund av den ovan angivna värmekommunikationen med omgivande berg. Dessa faktorer motverkar varandra och har bedömts att storleksmässigt ta ut varandra.

## 2.5 Värmepumpens värmekälla

Kontakter har tagits med SMHI för att få en uppfattning om Garhytteåns temperaturförhållanden under året. Inga mätningar utförs i ån, men däremot i Kolbäcksån vid Ludvika och Västerkvarns kraftstation. Dessa mätningar utgör den bästa uppskattning av temperaturvariationerna under året som kan erhållas om inga direkta mätningar ska utföras i Garhytteån. Förhållandena för Garhytteån och Kolbäcksån bör dock vara likvärdiga och därför har dessa temperaturer utnyttjats för detta projekt. Av fig 2.1 framgår hur temperaturerförändringarna sker relativt snabbt och att temperaturen överstiger  $5^{\circ}\text{C}$  under ca 6 månader.

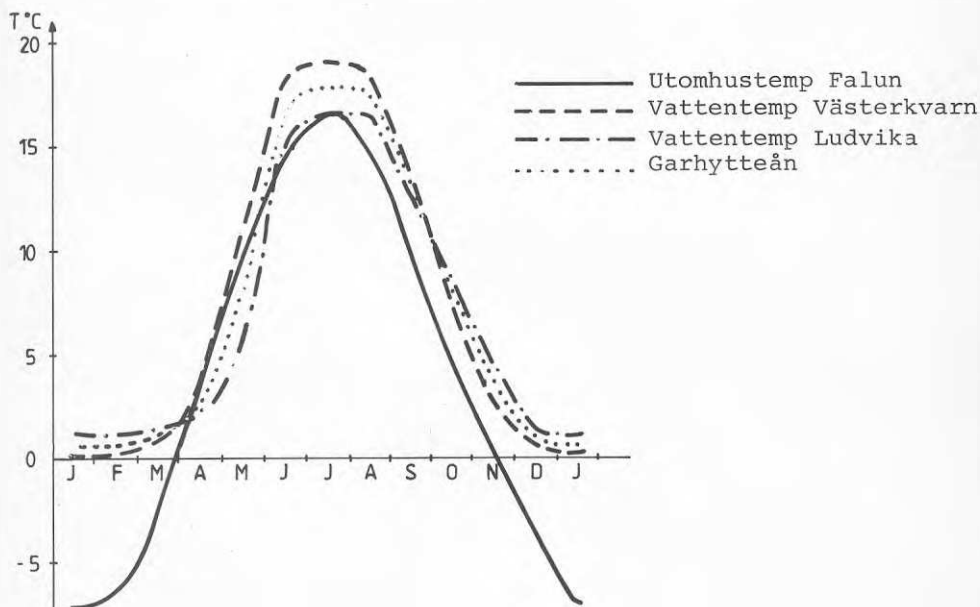


FIG. 2.1 VATTENTEMPERATURER

## 3 LAGER

## 3.1 Lagergeometri

Gruvans utseende framgår i princip av fig. 3.1 och 3.2. Fig. 3.1 visar en vertikalprojektion genom gruvan. I denna projektion saknas dagbrott och eventuella utbrutna utrymmen ovanför 77 m nivå. Av figuren framstår brytningsområdena som stora öppna rum. Så är dock ej fallet utan de består av ett antal mindre utrymmen spridda i både höjd och plan, vilket framgår av fig. 3.2.

Förenklat kan gruvan beskrivas bestå av 8 st utbrutna rum som, genom ortssystem, står i direkt förbindelse med Gustavsschaktet, se fig. 3.3. Varje sådant rum, förutom det som betecknats med 2, består, mellan vissa nivåer, av mindre utbrutna utrymmen på litet avstånd från varandra, jfr fig. 3.2.

Tillgänglig lagringsvolym och geometri har bestämts genom mätningar, framför allt på gruvkartornas horisontalblad, vilka är uppgjorda på ca var 10:e meter. På varje sådant blad har area och omkrets för de utbrutna områdena uppmätts, varefter volym och omslutande väggarea, för varje rum mellan bladens nivåer, kunnat beräknas genom medelvärdesbildning. Härvid har reduktion för omkretsen för de mindre utrymmena som utgör ett och samma rum och som ligger på ett avstånd av högst 10 m (oftast ej mer än 2-5 m) från varandra gjorts. Volym och omslutande väggarea för orter har beräknats genom mätning på horisontalblad och tvärprofiler.

De utbrutna rummens begränsningar i vertikalled samt beräknad tillgänglig volym och omslutande väggarea redovisas i tabell 3.1

TABELL 3.1 Beräknade volymer och omslutande väggareor för utbrutna rum.

Rum nr	Nivå m	Volym m <sup>3</sup>	Väggarea m <sup>2</sup>
1	113-148	19.900	4.100
2	113-148	6.300	2.100
3	104-148	6.000	2.700
4	148-189	4.400	2.100
5	113-197	5.900	3.300
6	197-236	3.500	1.900
7	236-280	16.300	6.300
8	236-310	26.700	8.100
Totalt		89.000	30.600

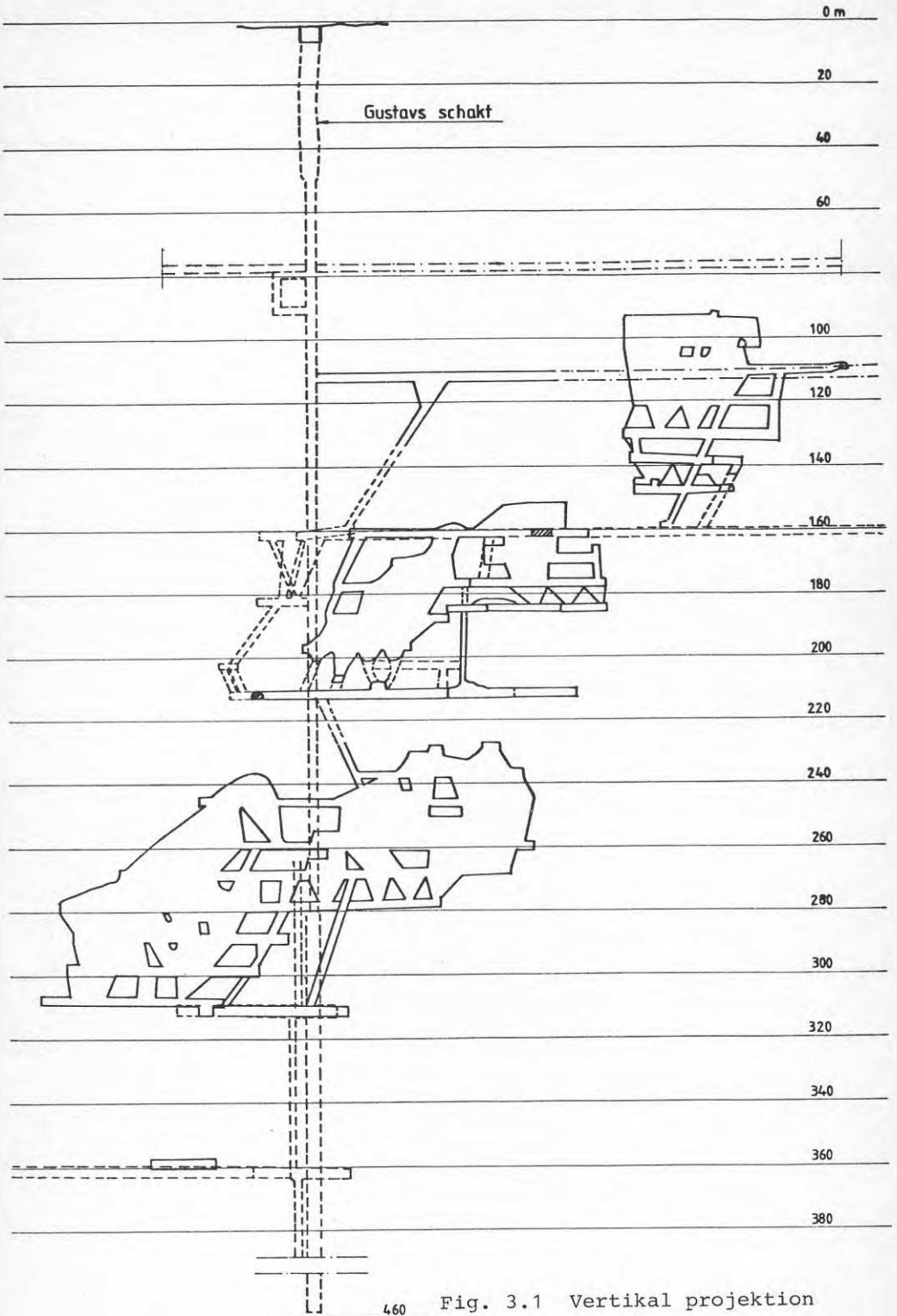


Fig. 3.1 Vertikal projektion

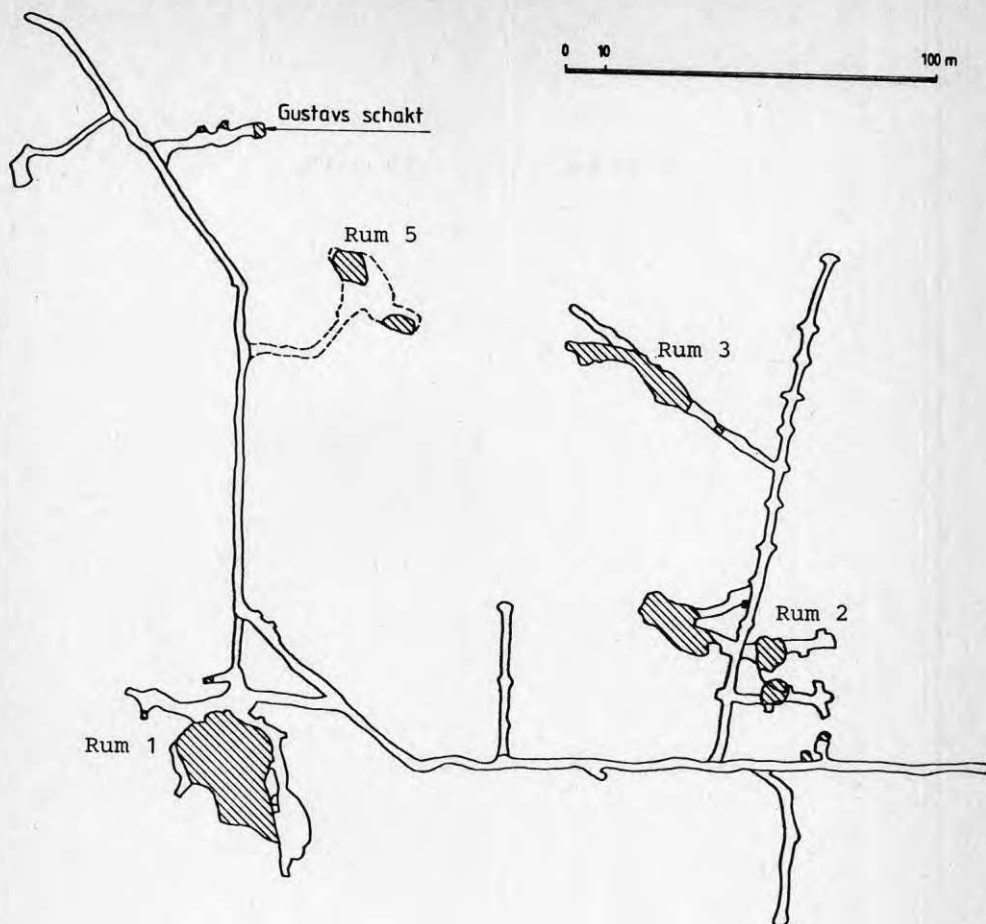


Fig. 3.2 Horisontalskärning på ca 113 m nivå



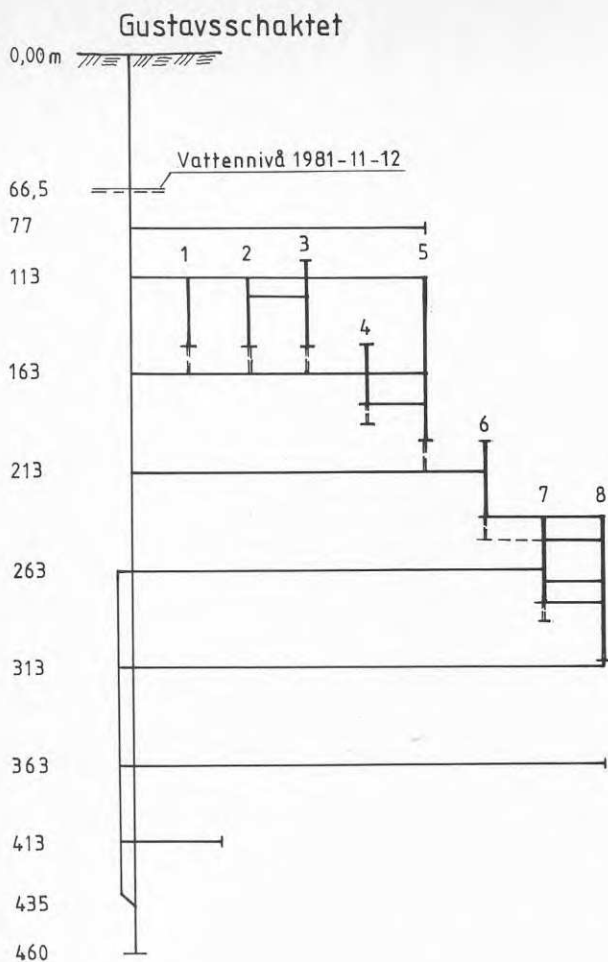


Fig. 3.3 Schematisk bild över Ljusnarsbergs gruva visande de åtta brytningsrummens vertikala begränsningar samt förbindelorternas lägen. Angivna nivåer gäller enligt gruvans höjdsystem, där 0,00 motsvarar +181,00 m enligt höjdsystem 1900.

Den totala utnyttjningsbara volymen för de utbrutna rummen har, som framgår av tabell 1, beräknats till 89.000 m<sup>3</sup> med en total omslutande väggarea om 30.600 m<sup>2</sup>. Till dessa värden skall läggas de volymer och väggareor som utgörs av schakt och orter.

För Gustavsschaktet, som sträcker sig från 0 m till ca 460 m nivå, har volymen beräknats till 5600 m<sup>3</sup> och den omslutande väggarean till 6100 m<sup>2</sup>. Intill detta schakt och mellan nivåerna 263 m och 440 m finns ett störtschakt med beräknad volym om 2000 m<sup>3</sup> och omslutande väggarea om 2.500 m<sup>2</sup>. Övriga schakt utgörs av sådana som utnyttjats för tappning av malm från resp. brytningsområde till utfraktsorterna. Deras sammanlagda volym uppskattas till ca 5000 m<sup>3</sup> och omslutande väggarean till 5.500 m<sup>2</sup>.

Den sammanlagda beräknade volymen för samtliga schakt i gruvan är 12.600 m<sup>3</sup> som har en omslutande väggarea om 14.100 m<sup>2</sup>, se tabell 3.2

TABELL 3.2 Beräknade volymer och omslutande väggareor för schakt.

Schakt	Nivå m	Volym m <sup>3</sup>	Väggarea m <sup>2</sup>
Gustavsschaktet	0-460	5.600	6.100
Störtschakt	263-440	2.000	2.500
Övriga	-	<u>5.000</u>	<u>5.500</u>
Totalt		12.600	14.100

De orter som förekommer i gruvan utgörs i huvudsak av utfraktsorter som sträcker sig från Gustavsschaktet fram till respektive brytningsrum. Dessa orter är fördelade längs Gustavsschaktet med 50 m vertikalt avstånd med början från 113 m nivå och nedåt, se fig. 3.3. Orterna på 363 och 413 m nivå har endast utnyttjats som undersökningsorter. Någon malmbrytning på dessa nivåer har ej förekommit.

På 77 m nivå finns en äldre ort som leder till mindre utbrutna områden. Storleken på dessa brytningsrum har på grund av bristande kartunderlag ej kunnat bestämmas vid denna undersökning.

Mellan utfraktsorternas nivåer finns, i anslutning till brytningsrummen, en del kortare orter som ibland även utgör förbindelse mellan vissa rum.

Respektive orts beräknade längd, volym och omslutande vägg-, golv- och takarea redovisas i tabell 3.3. De i tabellen redovisade "övriga orter" är de som finns mellan utfraktsorternas nivåer.

Totalt har en sammanlagd ortlängd om ca 4.250 m uppmätts på gruvkartorna. Den beräknade totala volymen för dessa

orter är 22.500 m<sup>3</sup> med omgivande vägg-, tak- och golvarea om 39.000 m<sup>2</sup>.

TABELL 3.3 Uppmätta längder och beräknade volymer och omslutande vägg-, tak- och golvareor för orter.

Nivå m	Längd m	Volym m <sup>3</sup>	Vägg-, tak- och golvarea, m <sup>2</sup>
77	920	3.700	7.400
113	900	3.600	7.200
163	595	3.100	5.500
213	430	2.600	4.300
263	120	700	1.200
313	190	1.700	2.300
363	240	2.100	2.900
413	55	1.000	1.000
Övriga	800	4.000	7.200
Totalt	4.250	22.500	39.000

Den totala utnyttjningsbara volymen i Ljusnarsbergs gruva kan genom dessa uppmätningar och beräkningar sägas vara ca 124.000 m<sup>3</sup> som har en omgivande väggarea om ca 83.500 m<sup>2</sup>. Eventuella utrymmen ovanför 104 m nivå har ej medtagits.

De horisontella avstånden mellan rummen varierar och är upp till ca 150 m, se tabell 3.4.

TABELL 3.4 Uppmätta horisontella avstånd mellan enskilda rum.

Rum nr	Avstånd m
1-2	130
1-3	150
1-5	120
2-3	70
2-5	100
3-5	50
4-5	35
5-6	15
6-7	20
6-8	30
7-8	30

Kommunikationsvägar mellan Gustavsschaktet och de enskilda rummen utgörs i huvudsak av utlastningsorter. På nivå 113 m sammanbands rum 1, 2, 3 och 5 av gemensam utlastningsort och på nivå 163 m sammanbinds rum 4 och 5. Kommunikationsvägarnas längder från Gustavsschaktet till respektive rum framgår av tabell 3.5.

TABELL 3.5 Uppmätta längder på kommunikationsvägar från Gustavsschaktet till de enskilda rummen.

Nivå m	Rum nr	Längd m	Anm.
113	1	190	Rum 1, 2, 3 och 5
113	2	340	resp. rum 4 och 5
113	3	410	har gemensam kommu-
113	5	130	nikationsväg till
163	4	125	Gustavsschaktet på
163	5	160	113 m resp. 163 m
213	6	130	nivå
263	7	90	
313	8	120	

### 3.2 Uppskattning av värmeförluster

För att kunna utföra beräkningar av de värmeförluster som kommer att uppstå vid utnyttjande av gruvan som vämelager måste tillgänglig volym och omslutande väggarea vara kända. Dessa parametrar har beräknats ur uppgifter tagna från gruvkartor, vilket redovisats i kapitel 3.1.

Övriga nödvändiga parametrar är; begynnelsestemperaturen på omgivande berg, inlagrad vattentemperatur samt bergets värmekonduktivitet. En bestämning av det omgivande bergets temperatur har utförts genom temperaturmätning på det vatten som finns i Gustavsschaktet. Temperaturgivaren nedsänktes i schaktet varvid vattentemperaturen uppmättes från vattenytan (68 m nivå) ned till 300 m nivå. Någon förändring av temperaturen inom detta avsnitt registrerades ej. Den uppmätta temperaturen var +5,5°C, vilket bedöms motsvara det omgivande bergets temperatur.

Det inlagrade vattnets temperatur beräknas vara +40°C.

Värmeförlusterna genom berget är direkt proportionella mot värmekonduktiviteten.

Den omgivande bergarten kring gruvan utgörs av leptit genomsatt av yngre granit förutom kvarvarande mineraliseringar. Någon bestämning av värmekonduktiviteten har ej gjorts, varför ett genomsnittligt värde på 3,5 W/m,°C, som gäller för en normal granit, har ansatts vid beräkningarna.

Beräkningarna av värmeförlusterna har utförts vid Lunds Tekniska Högskola, LTH. I ett första steg uppgjordes en tredimensionell modell av gruvan, varvid gruvan förenklades något genom att utbrutna utrymmen, rum och schakt, överfördes till 39 st parallelepipedrar.

Den sammanlagda volymen för dessa parallelepipedrar är 108.000 m<sup>3</sup> och den totala omslutande väggarean 45.000 m<sup>2</sup>. Volym-areaförhållandet är härvid 2,38, vilket kan jämföras med förhållandet beräknat med uppmätta värden från gruvkartorna, 2,26.

På grund av det stora antalet element samt av att avstånden mellan utrymmena är stora valdes på LTH att utföra beräkningarna på varje enskilt parallelepiped genom överföring av volym/area-förhållandena till motsvarande cirkulär cylindrar.

Utförda beräkningar redovisas i Bilaga 1.

Genomförda beräkningar tyder på att förlusterna blir högre än vad som angetts i den tidigare publicerade förstudien, vilket sammanhänger med graden av förenklingar av geometrin. Beräkningarna visar att förlusterna från lagret under det första året kommer att uppgå till ca 50%. Efter 15 års drift kommer dessa att sjunka till ca 33%, vilket ungefär motsvarar de stationära förlusterna. För att inte underskatta förlusterna vid de fortsatta beräkningarna har dessa antagits vara 75% under det första året och 50% efter 15 år.

### 3.3 Grundvattenförhållanden

I området kring Ljusnarsbergs gruva har grundvattenförhållandet bestämts genom uppmätning av fria vattenytors nivåer i öppna schakt, gruvhål och tillgängliga befintliga undersökningsborrhål.

Mätningarna utfördes under september-november 1981. Inom denna tid uppmättes vattenytan i Gustavsschaktet vid tre tillfällen, den 24 september, 28 oktober och 12 november. Vid det första tillfället uppmättes vattenytan till 68 m nivå, enligt gruvans höjdsystem (motsvarar +113 m enligt höjdsystem 1900). Vid de två senare tillfällena uppmättes den till 66,5 m nivå. Under våren 1980 utfördes motsvarande mätning i Gustavsschaktet, varvid vattenytan uppmättes till 104 m nivå.

Vattenytan har alltså under en tidsperiod på ca 1,5 år stigit 37,5 m och fortsätter att stiga.

På grund av rådande terrängförhållanden kring gruvan samt av uppmätta vattenytornas nivåer i området kring gruvan bedöms vattennivån i Gustavsschaktet, utan yttre påverkan, stiga ytterligare ca 60 m innan gruvan är helt uppfylld.

Hastigheten för denna uppfyllnad är beroende av grundvattentillförseln, d v s infiltrationskapaciteten, samt volymen på de utbrutna utrymmen som eventuellt finns över 66,5 m nivå.

I fig. 3.4 visas en profil över terrängen i området kring gruvan. Profilen som genomskrär Gustavsschaktet sträcker sig längs linjen A-A, se fig. 3.5. I profilen har uppmätta vattennivåer inlagts. De vattenytor som uppmätts

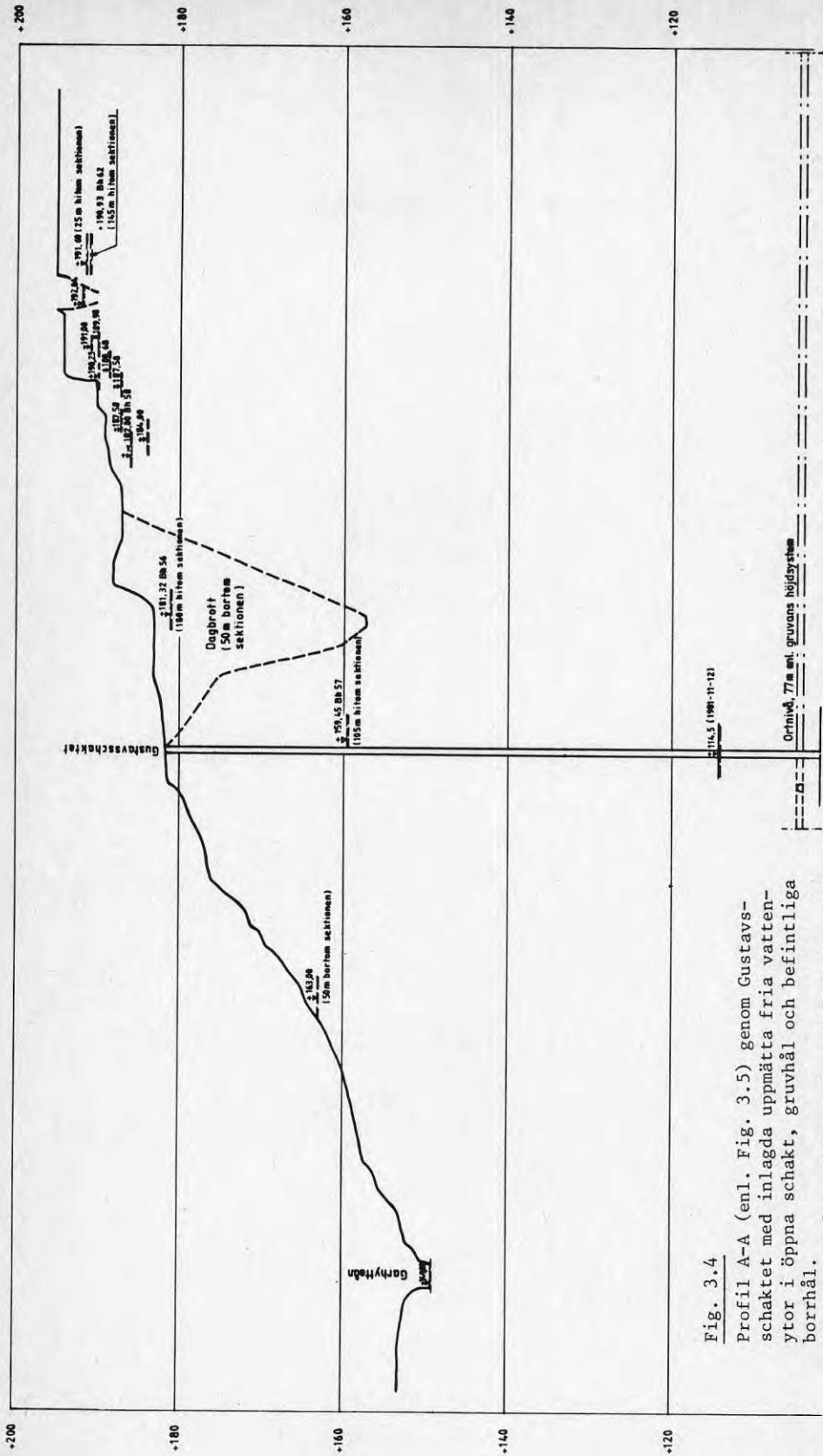


Fig. 3.4  
 Profil A-A (enl. Fig. 3.5) genom Gustavs-  
 schaktet med inlagda uppmätta fria vatten-  
 ytor i öppna schakt, gruvhål och befintliga  
 borrhål.  
 Angivna nivåer gäller enligt höjdsystem 1900.  
 Skala: L = 1:2000, H = 1:400



i borrhål är markerade med borrhålsnummer, vilka erhållits från gruvkartans dagblad. Samtliga uppmätta vattennivåer, utom den i Gustavsschaktet, ligger vid sidan om angiven profillinje, varav de som ligger på ett större avstånd än 50 m från linjen speciellt har markerats.

Eftersom Garhytteåns vattennivå inom Kopparberg ligger på ca 150 m nivå (enligt höjdsystem 1900, 39 m nivå enligt gruvans höjdsystem) bör, för att någon större vattengenomströmning genom lagret ej skall erhållas, vattenytan i Gustavsschaktet ej överstiga denna nivå. Härvid begränsas grundvattnets inverkan på värmeförlusterna.

#### 3.4 Strömningsförhållanden i gruvan

Vid värmelagring strävar man efter att ha en temperaturskiktning i lagret. Detta är normalt inte något problem vid gynnsamma geometrier. En gruva har dock en geometrisk utformning som avviker från den idealiska, dels ur värmeförlustsynpunkt, men även ur strömningssynpunkt. Gruvan är sammansatt av ett antal utbrutna rum, orter och schakt, vilka är utspridda i berget. Orternas längd kan ibland uppgå till hundratals meter. Fig 3.1 visar gruvans principiella utformning.

I projektets början uttrycktes farhågor om att hela gruvan ej skulle delta som aktiv lagringsbar volym på grund av de stora avstånden mellan rummen. Från början var tanken att utföra ett fullskaleförsök, men detta visade sig bli mycket dyrbart om svar på samtliga frågor skulle ges. Det beslutades därför i samråd med BFR att istället utveckla en modell för strömningsberäkningar.

Avsikten med beräkningarna var att visa att hela volymen, trots geometrin, kommer att delta som lagringsbar volym och att inlagringen av varmt vatten kommer att ske över hela den vid varje nivå tillgängliga volymen inom kort tid. Det gäller därför att visa att krafter som uppkommer på grund av densitetsskillnader mellan varmt och kallt vatten således räcker till för att ombesörja att detta lagers funktion blir nästan detsamma som vid ett gynnsamt utformat vattenlager. Den eftersträlvade funktionen består alltså i att en temperaturfront erhålls vars nivå balanseras av inlagring respektive värmeuttag ur gruvan.

Den för beräkningarna framtagna modellen syftar till att på ett enkelt sätt relatera samspelet mellan å ena sidan de termiska krafterna som byggs upp i systemet på grund av vattenmassor med olika temperaturer och å andra sidan de tröghetskrafter som strävar efter att motverka all ändring i systemets rörelser samt viskösa friktionskrafter.

En parameterstudie utfördes också för att besvara följande frågor:

- Vilka flöden erhålls samt i vilken tidskala kan inlagringsförloppet beskrivas?
- Vilken inverkan har en förträngning i någon av orterna eller schakten? Ex nedrasade bergmassor som blockerar ett schakt. Även om någon del av gruvan rasat innebär det med stor sannolikhet att en kommunikation ändå finns.



- Vilken inverkan har dimensionerna hos de olika schakten i systemet?
- Kan effektändringar på något sätt ändra inlagringsförloppet?
- Vilken inverkan har värmeförlusterna på inlagringsförloppet?

### 3.5 Beräkningsmodell

Den ovan nämnda parameterstudien har utförts i en hydrodynamisk beräkningsmodell där gruvans utbrutna rum, orter och schakt förenklats till cylindriska rördelar (se fig 3.6). Dessa är liksom gruvan vattenfyllda och rörelser i vattenmassorna induceras av de termiska krafter som tidigare berörts.

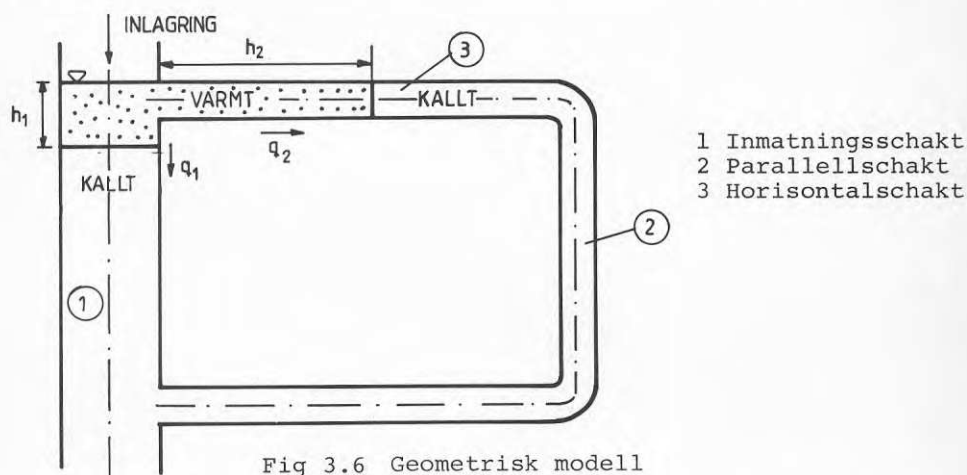
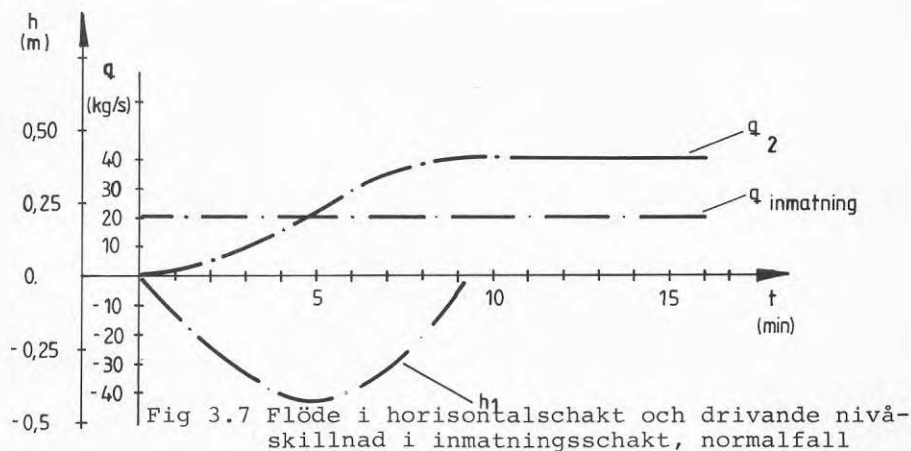


Fig 3.6 Geometrisk modell

Resultatet av beräkningarna kan närmare beskådas i följande diagramserie. Det första diagrammet (fig 3.7) visar inlagringsförloppet då det varma vattnet nått den första horisontella orten och börjar breda ut sig.



Ändå kan man inte säga att normenligheten och den obundna tekniken är fundamentala mål i B. De täcker begränsade aspekter av miljön. Det är inte bara fråga om att ge frihet att bygga vilka byggklotsar som helst, och inte om att lyda normer i allmänhet. Det är också fråga om att åstadkomma bra bostadsförhållanden.

#### 9.5.5 Varför-frågor kvarstår

En funktion hos en uppsättning fundamentala mål skulle vara att ytterst förklara uppsättningen kategorier för beskrivning.

Frågar man varför just de förhållanden som finns upptagna i B skall beskrivas, så ger B-beskrivningen ett svar av typen: Det är för att de utgör bra bostadsförhållanden, som medger maximal frihet för entreprenören, som är normenliga, och som är sådana som beställaren och bedömaren tycker att man skall räkna med.

Är man ihärdig nog att fråga vidare: Varför är just de här elementen bra, varför just de här funktionerna och nivåerna, varför skall vi ha byggsystemfrihet, varför skall normerna lydast absolut, varför tas hänsyn till beställare och bedömare? Vad är det hela ytterst bra för? En grund för prioritering behövs när intressen är i konflikt. Då blir B svaret skyldig. Inget svar är självklart, och olika svar är tänkbara.

B är enligt min uppfattning i detta avseende typisk för en form av arkitektverksamhet. Den söker kompromisser mellan odiskuterade mål utan att vilka bottna i något av dem eller någon bestämd uppsättning av dem. Målkonflikter finns inbakade. En mer djupgående diskussion om mål skulle behövas. Vad är det som skall uppnås? Varför-frågor kvarstår.

## 9.6 Ramar för arkitekters arbete

Den föregående diskussionen bekräftar den del av hypotesen i avsnitt 2.1, sid 27, som säger att det är sannolikt att B är skriven med en typ av syften som är brukliga inom fysisk planering. En jämförelse visar, att B:s beskrivningsmönster i stort kan förklaras med de ramar, som enligt min erfarenhet ges för arkitekters arbete.

Ramarna för B har diskuterats. De begreppsstrukturer som dessa ramar möjliggör är inte tillräckliga och inte så formade att de kan uttrycka det vidare 'boende'perspektiv som skisserats i kapitel 8.

Den analys som här gjorts av B inklusive målen för B, samt diskussionen av alternativa mål och möjligheterna att tillgodose dessa med den typ av begreppsstruktur som B representerar, har visat att B tar upp väsentliga förutsättningar för 'boendet', men inte allt väsentligt, varför spelrum ges för andra, från 'boendet' skilda intressen att göra sig gällande.

Med siktet alltjämt inställt på den typ av vidgade mål för miljön, som skisserades i kap 8, hur skall man bära sig åt för att komma fram till begreppsstrukturer som motsvarar dessa? Hur uppnår man m a o en begreppslig artikulering av 'människors miljö', där miljön koncipieras med tanke på människors tillvaro som helhet?

Det är i sig ämne för en särskild undersökning. Här skall jag därför göra saken kort, ta upp bara några allmänna punkter, som syns mig vara av betydelse, några punkter begränsade till själva begreppsbyggandet, det kan ju även finnas andra hinder av praktisk art.

#### 10.1 Problem vs lösning

Något som är närmast trivialt, men kanske ändå behöver påpekas, är vikten av att utarbeta det problem det är fråga om. En huvuduppgift i en vetenskaplig undersökning är att söka i en fråga ange, vilket problem som skall lösas.

Svar är alltid svar på en fråga, och frågan avgör om det s k svaret verkligen är träffande. Huruvida svaret dessutom är hållbart eller ohållbart avgörs på annat sätt. Det är där olika metoder att t ex verifiera och

falsifiera kommer in. (Stundom saknas metoder att avgöra en viss fråga, som då endera får lämnas öppen eller modifieras så att den går att avgöra.)

### 10.2 Att särskilja intressen och göra renodlingar

Att det är nödvändigt att välja en utgångspunkt för en undersökning är självklart. Men hur skall den väljas?

En lärdom man kan dra av denna analys av B är att det i en begreppsstruktur som formats som en kompromiss mellan olika intressen är svårt att avgöra hur dessa olika intressen tillgodoses.

För en bevakning av något visst intresse, t ex de boendes intressen av bra förutsättningar för att bo, enligt den fråga som formulerades i avsnitt 8.1, sid 136, är en förutsättning att beskrivningen görs med hänsyn just till detta intresse, utan förutfattade meningar om avsteg i förhållande till andra intressen.

För att undvika att hamna i ett outrett, splittrat perspektiv på miljön, är det väsentligt att göra renodlingar. Bara då man har de kontroversiella punkterna, kan man se vilka avvägningar som bör göras. Det innebär att man kan plädera för två typer av undersökningar.

### 10.3 Två typer av undersökningar

Den ena typen är renodlingar utifrån vissa begränsade utgångspunkter, som man vill beakta, för att få fram hur tankar ser ut när man drar ut dem i sina konsekvenser. Sådana system kan inte göra anspråk på att tillgodose alla intressen, eftersom de innebär att bortse från vissa intressen. Deras giltighet kan bara bli av formen: Givet dessa och dessa utgångspunkter, vad är viktigt i miljön?

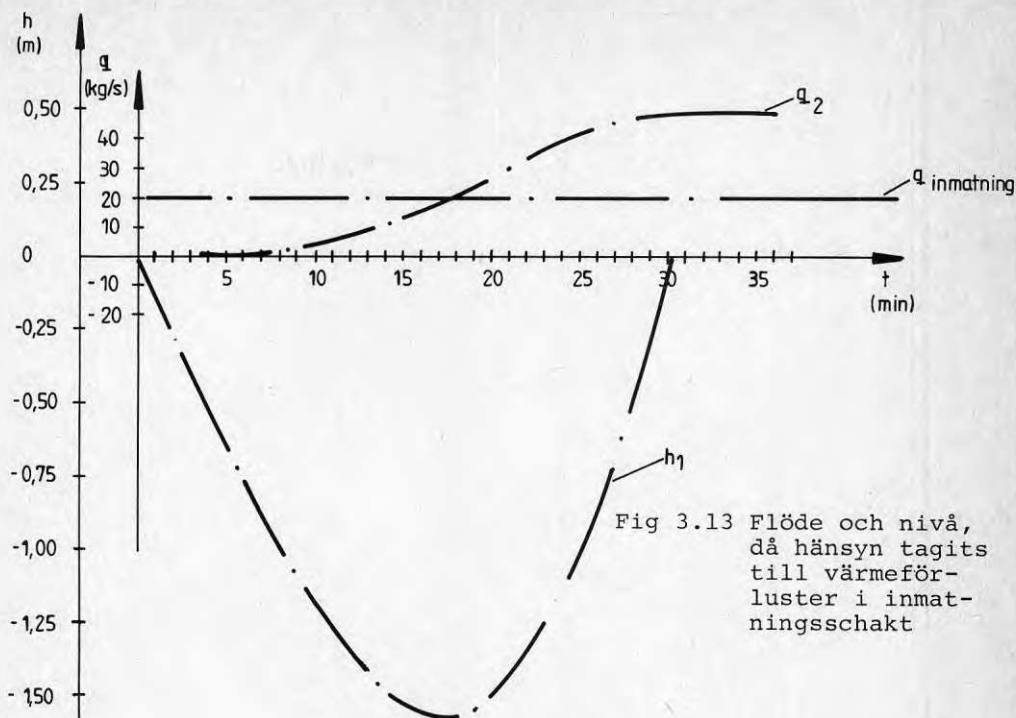


Fig 3.13 Flöde och nivå, då hänsyn tagits till värmeförluster i inmatningsschakt

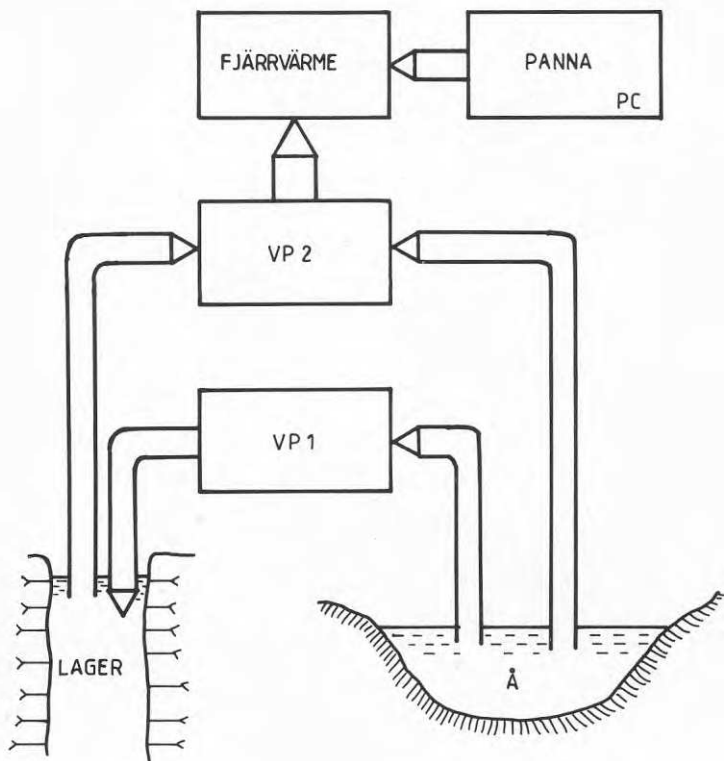
På grund av den lägre temperatur respektive densitetsskillnaden som uppkommer i början av förloppet i detta fall, kommer det "varma" vattnet att hinna längre ned i inmatningsschaktet innan flödet i sidosystemet hinna accelerera upp. Detta betyder att det kommer att ta något längre tid (ung 3 ggr) att få igång flödet. Dessutom kommer ett större flödesbelopp att erhållas i cirkulationen.

Beräkningarna visar att de krafter som uppkommer på grund av den statiska tryckdifferensen mellan en varm och en kall vattenpelare är tillräcklig för att inom kort tid (ett tiotal minuter) utjäma temperaturen på varje nivå i gruvan. Reducerad strömningsarea i någon del av gruvan, orsakad av nedrasade bergmassor innebär ej några problem för värmefrontens utredning i gruvan. Småsvängningar kan uppstå, men betyder ingenting för totalfunktionen.

## 4 SYSTEMUTFORMNING

## 4.1 Allmänt om systemuppbyggnad

Systemet är i princip uppbyggt enligt figur 4.1.



Figur 4.1 Systemskiss

De viktigaste komponenterna i systemet utgörs av värmepumppaketet VP1 och VP2 och panncentralen. Värmepumppaketet VP1 används för uppladdning av lager och tar sin värme från Garhytteån.

Värmepumppaketet VP2 som matar in värme på fjärrvärmenätet tar sin värme från ån, när lagret håller på att uppladdas och från lagret under resten av driftsäsongen.

Den oljeeldade panncentralen PC är kopplad i serie med värmepumparna VP2 och används vid spetslastproduktion då värmebehovet överstiger värmepumparnas kapacitet. Panncentraler utgör även reservkraftanläggning.

## 4.2 Driftstrategi

Olika systemlösningar har diskuterats. Den lösning vi valt framgår av fig 4.2. Kontakter har även tagits med värmepumpsleverantörer för att få principerna verifierade. Vi har strävat efter att erhålla en enkel och lättreglerad systemlösning och tror oss ha funnit en sådan. Fyra stycken värmepumpar utnyttjas där två stycken utgör den i fig 4.2 kallade VP1 och de två andra ingår i VP2. Driften kan delas upp i olika driftfall och beskrivas enligt nedan:

### Driftfall 1

Värmeeffektbehovet är sådant att VP2 klarar av hela försörjningen. Parallellt med VP2 laddas lagret med hjälp av VP1. Detta driftfall inträffar under ca 5.5 månader/år.

### Driftfall 2

Värmebehovet täcks nu genom urladdning av lagret via VP2. Resterande del som inte klaras med VP2 täcks genom panncentralen. VP1 är under denna period fränkopplad.

För att erhålla bästa möjliga utnyttjande av lagret bör detta volymmässigt omsättas ett flertal gånger. På så sätt kan temperatursvinget i lagret ökas. Ett flertal volymsomsättningar i lagret innebär dock att pumpkapacitetet och ledningsdimensioner ökar och för att hålla dessa nere har vi valt att omsätta lagret två gånger. Vid första omsättningen höjs temperaturen till maxvärde och vid andra omsättningen kompenseras för de värmeförluster som erhållits under första omsättningen. Ett annat driftsätt har varit att först höja temperaturen till halva maxvärdet. Detta visar sig dock mindre fördelaktigt. Visserligen blir totalförlusterna större enligt det första driftsättet, men samtidigt så ökar också den uttagna värmemängden. Eftersom den energi som via värmepumpar distribueras ut på fjärrvärm nätet har en lägre kostnad än motsvarande för olja (med hänsyn tagit till förluster i lagret) är detta således ett fördelaktigt driftsätt.

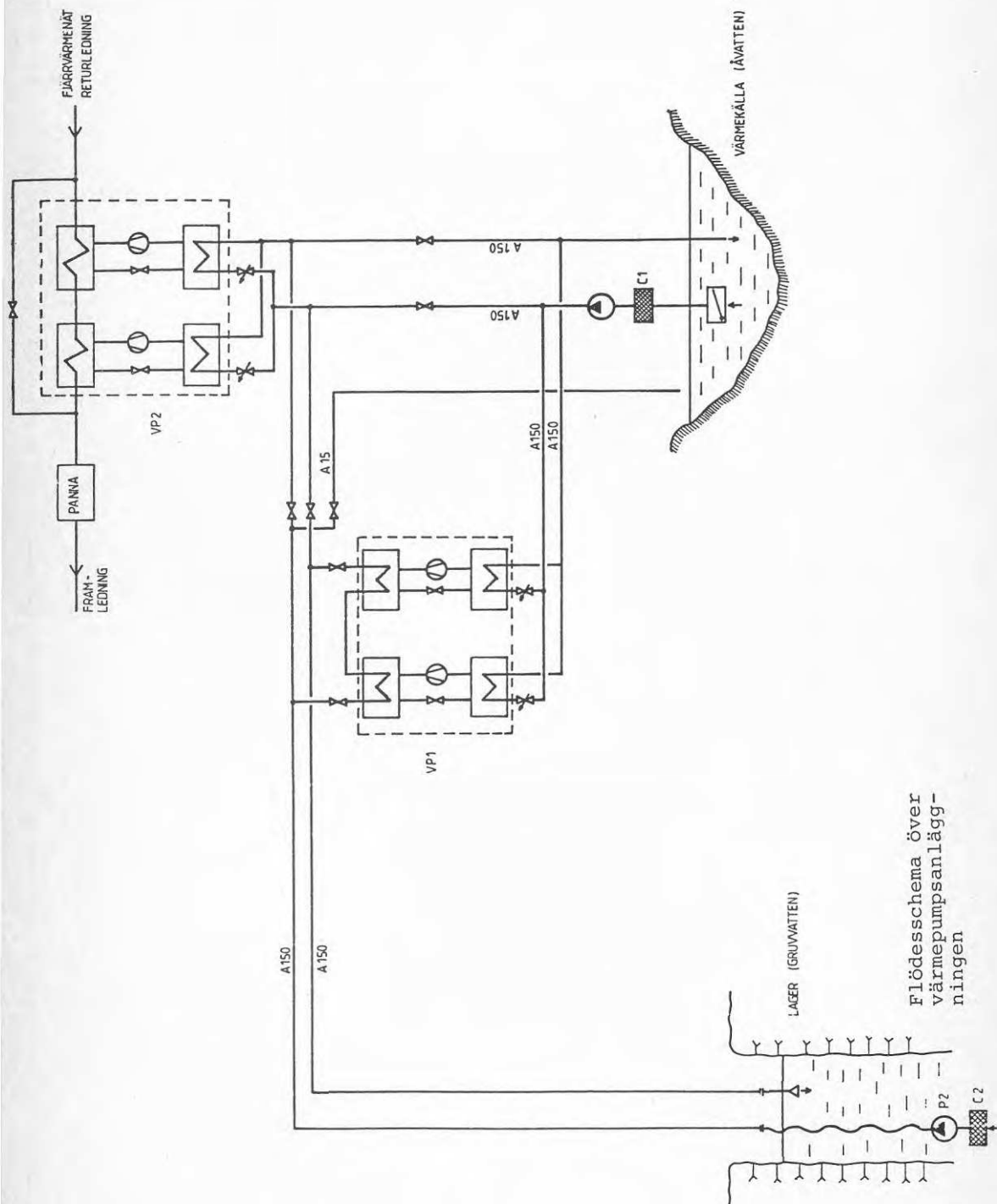
## 4.3 Värmepumpar

Värmepumppaketet VP1 består av två likadana värmepumpar. Dessa är kopplade parallellt på förångarsidan och i serie på kondensorsidan. Framledningstemperaturen från pumparna är begränsad till ca 55°C, vilket beror på valet av köldmedium (R22). Vill man gå upp i lagringstemperatur är man tvungen att byta köldmedium i värmepumparna med försämrade verkningsgrad som följd.

Värmepumparna VP2 är av samma typ som VP1 fast med ett annat köldmedium, R12. Detta beror på de temperaturkrav som fjärrvärm nätet ställer. Värmepumparna är kopplade i serie på kondensorsidan och parallellt på förångarsidan. Alternativt kan även förångarna kopplas i serie. Pumparnas effekt kommer att variera beroende dels på behovet i fjärrvärm nätet och dels på värmekällans temperatur. Under urladdning av lager kommer dess temperatur att sjunka och därmed den uttagbara effekten. Under sommaren inträffar perioder då flödet i fjärrvärm nätet kommer att understiga flödet som värmepumparna kräver. För att säkerställa deras funktion kommer en shuntkoppling att installeras.



Figur 4.2



Flödesschema över  
värmepumpsanlägg-  
ningen

Eftersom både VP1 och VP2 tar värme från ån, måste man välja ett lämpligt material för förångarna. Materialet kommer att väljas utgående från analys på å-vatten.

Vid vattenintaget kommer dessutom ett mekaniskt filter att installeras.

Värmepumparna kräver en viss, begränsad översyn varje år. Pumparnas kompressorer kommer efter ca 40000 drifttimmar att genomgå en mer omfattande översyn.

#### 4.4 Oljeeldad panncentral

De oljeeldade pannorna kommer att vara seriekopplade med värmepumparna VP2 och utnyttjas för reserv- och spetslast. Panncentralen bestående av två pannor dimensioneras för att klara 100% värmelast.

#### 4.5 Installation

De båda värmepumpspaketen VP1 och VP2 tillsammans med de oljeeldade pannorna kommer att inrymmas i en gemensam byggnad belägen ovan mark i nära anslutning till Gustavsschaktet.

Med utgångspunkt från vattennivå i Garhytteån, bottennivå i intilliggande dagbrott samt uppmätta grundvattennivåer bedömer vi det lämpligt att vattennivån i gruvschaktet hålls ca 25 m under markytan.

Vid uppladdning av gruvlagret kommer vattennivån, p g a temperaturhöjningen i vattnet, att stiga i schaktet. Detta innebär att en del av gruvvattnet måste avledas antingen kontinuerligt eller med jämna intervaller. Likaså krävs en motsvarande kompensering för nivå-sänkningen vid urladdning av gruvan. Avledning och påfyllning av gruvvattnet kommer att ske till respektive från ån.

Vid uppladdning av lagret avses kallt gruvvatten ledas från ett vattendjup av ca 300 m till en värmepump för uppvärmning. För att undvika besvärlig förankring av sugledningen på stort vattendjup vid en torrförlagd cirkulationspump har denna i stället valts av dränkbar typ. Pumpen är fästad i en wire nedsänkt till ett vattendjup av 300 m, varifrån det kalla gruvvattnet via en slang pumpas upp till markplanet.

Samma pump används vid urladdning av gruvlagret genom att denna hissas upp till det varma ytskiktet och genom ett enkelt handgrepp kopplas över till en annan ledning.

Pumpen som cirkulerar åvattnet till värmepumpspaketet är placerad i ett separat pumphus invid ån. För att ständigt garantera en vattenfylld sugledning vid pumpstart är ledningen försedd med backventil samt en anslutningsledning för eventuell påfyllning av vatten.

I ett tidigt skede infördes en värmeväxlare i systemet för att kunna isolera gruvvatten från värmepumpkretsen p g a osäkerheter angående vattenkvalitet. Det har dock visat sig efter vattenanalyser att gruvvattnet ej är så problema-

tiskt såsom befarats. Vad gäller driftekonomin är det en fördel att slippa värmeväxlaren eftersom denna skapar onödigt temperaturfall och därmed en försämrad värmefaktor samt mindre temperatursving i lagret.

#### 4.6 Materialval

Rörledningar och ventiler i fjärrvärmekretsen utförs huvudsakligen i kolstål. Materialet hos pannorna och de tillhörande komponenterna väljs i enlighet med tillverkarens standard.

För värmepumpskretsen har materialet valts på basis av vattenanalyser av gruv- respektive åvattnet. Det uppmätta pH-värdet (6.1) för gruvvattnet kräver rostfritt utförande av de delar hos värmepumparna som är i kontakt med gruvvattnet. Förångarsidan hos värmepump VP1 som endast berörs av åvatten är utfört i kopparrör med stålventil.

Samtliga rörledningar och ventiler för värmepumpskretsen har valts i plast respektive gjutjärn.

#### 4.7 Reglering

Värmepumparna kommer att ställas in på en önskad framledningstemperatur, 55°C och 70°C för VP1 respektive VP2. För att undvika risken för frysning i förångaren kontrolleras temperaturen på vattnet ut från denna. Pumparna regleras helt automatiskt inom 10 - 100% av sin kapacitet.

De oljeeldade pannorna regleras helt automatiskt då behov av spets- eller reservproduktion uppstår.

## 5 SYSTEMPARAMETRAR

## 5.1 Allmänt

Vid alla typer av utredningar är det nödvändigt att göra antaganden om mer eller mindre osäkra parametrars värden. För att få en uppfattning om hur olika parametrar påverkar systemet har en analys gjorts. I beräkningarna har det förutsatts att lagrets maxtemperatur är 40°C.

Följande systemparametrar studerades:

- Olika systemlösningar
- Driftperiod för värmepumpar
- Driftstrategi för värmepumpar och lager
- Lagertemperatur
- Fjärrvärmens temperaturnivå

## 5.2 Olika systemlösningar

Två alternativa systemutformningar har studerats innan slutlig systemlösning fastlagts.

Alt 1 Värmepumparna VP1 tar värmen ur ån och levererar värme dels till lagret och dels till värmepumparnas VP2 förångare. Pumparna VP1, VP2 och lager är förbundna med hjälp av en sluten mellankrets. Pumparna VP2 tar sitt värme från pumparna VP1 under laddningsperioden och ur lagret under resten av året. Värmen transporteras i båda fall via mellankretsen, se figur 5.1.

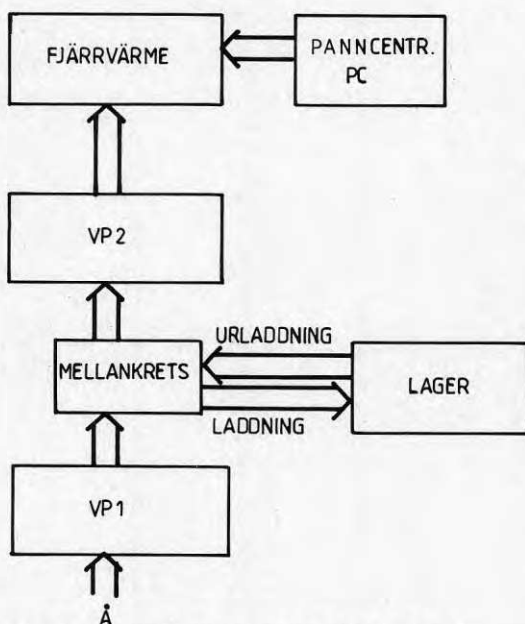


FIG 5.1 SYSTEMLÖSNING MED MELLANKRETS

Alt 2 Värmepumparna VP1 tar värmen ur ån och levererar den endast till lagret. Under laddningsperioden tar även pumparna VP2 värmen direkt ur ån. Under resten av året tar VP2 värmen ur lagret som i alt 1, se figur 5.2.

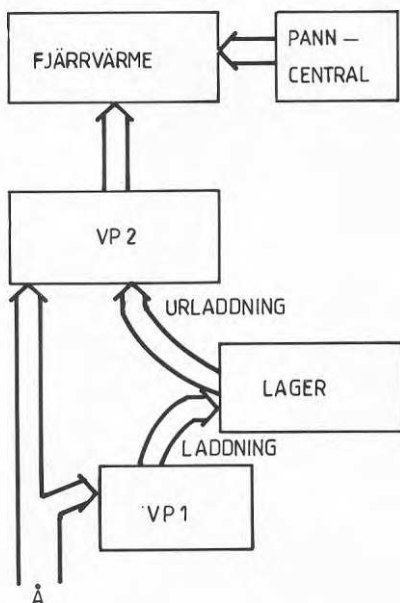


FIG. 5.2 SYSTEMLÖSNING UTAN MELLANKRETS

Den största fördelen med alt 1 är att man kan reglera vattenkemin i mellankretsen då denna är sluten. Detta innebär att värmepumparnas VP2 förångare kan tillverkas i ett enkelt och billigt material t ex stål-koppar. Nackdelen är att årsmedelvärmefaktorn för den systemlösningen är sämre än för alt 2. Den blir 1,83 mot 1,92 för alt 2. Denna försämring motsvarar ett behov av extra elenergi på ca 200 MWh/år, vid samma värmeleverans till fjärrvärmenätet. Med ett elpris på ca 17 öre/kWh blir extra kostnaden ca 34 kkr/år. Denna kostnad skall ställas i relation till den extra investering som alt 2 kräver. Med kalkylräntan 4% och avskrivningstiden 20 år motsvarar kostnaden 34 kkr/år en investeringskostnad på 460 kkr. Eftersom skillnaden mellan alt 2's och alt 1's investeringskostnader är mindre än 460 kkr så är således alt 2 att föredra.

I tabellen nedan sammanställdes jämförelsen mellan de båda alternativen.

TABELL 5.1 Jämförelse mellan systemlösningar med och utan mellankrets (alt 1 resp alt 2)

	Alt 1	Alt 2
Årsmedelvärmefaktor	1.83	1.92
Elbehov (MWh/år)	4270	4070
Merkostnad (kkkr/år)	34	-

Slutligen skall understrykas att genom en separering av pumpar VP1 och VP2 i alt 2, fås ett system som är mera flexibelt samt lättare att reglera.

En annan variant av alt 2 är systemet där gruvvatten tas indirekt i värmepumparna. Genom denna systemlösning bortfaller behovet av värmeväxlaren vvx, vilket även innebär att man kan höja lagrets temperatur ytterligare några grader. Den faktorn som är avgörande ifall denna systemlösning kan förverkligas är gruvvattnets kemi.

Efter det att vattenanalys utförts för å- och gruvvatten framgår att värmeväxlaren mellan gruva och värmepump ej är nödvändig. För att erhålla en god värmefaktor samtidigt som anläggningskostnaden minskar har vi valt att ta bort värmeväxlaren.

### 5.3 Driftperiod för värmepumpar

Laddningsperiodens längd bestäms av åvattnets temperatur. I våra beräkningar har vi ansatt att värmepumparna VP1 laddar lagret då åvattnets temperatur överstiger  $+7^{\circ}\text{C}$ . Det ger att laddningsperiodens längd är ca 5,5 månader/år. Köper man värmepumpar i standardutförande är det inte givet att dessa kommer att köras med maximal kapacitet under hela laddningsperioden, ty man är låst vid en given pumpeffekt. Genom att studera en viss pumpstorlek kunde det konstateras att laddningsperiodens längd kunde förkortas med ca 1 månad ifall dessa pumpar kördes vid maximal effekt. Fördelen med detta är att pumparna arbetar vid en högre temperatur på åvatten, vilket ger en bättre värmefaktor.

Besparingen i elenergin skulle dock vara marginell och den skulle dessutom motvägas av ökade värmeförluster från lagret, ty lagret skulle under en viss tid, ca en halv månad vara full-laddad, men ej kunna utnyttjas. Detta faktum beror på att värmepumparna VP2 levererar värme till fjärrvärmenätet med en bättre värmefaktor än ifall värmen hade levererats genom lager. Därmed skall värmen tas direkt från ån så länge som möjligt. Det sistnämnda gör det intressant att närmare studera hur längden på driftperioden för värmepumparna VP2 påverkar det ekonomiska utfallet.

I figur 5.3 visas två olika driftfall

- |  |  |
|--|--|
| <p>① LADDNING 5,5 MÅNADER<br/>URLADDNING 6,5 MÅNADER</p>             | <p>② LADDNING 6 MÅNADER<br/>URLADDNING 5,5 MÅNADER<br/>LAGER VILAR 0,5 MÅNADER</p> |
| <p>— medeltemperatur i lagret utan hänsyn till värmeförluster</p>    | <p>..... medeltemperatur i lagret utan hänsyn till värmeförluster</p>              |
| <p>- - - medeltemperatur i lagret med hänsyn till värmeförluster</p> | <p>- - - - medeltemperatur i lagret med hänsyn till värmeförluster</p>             |

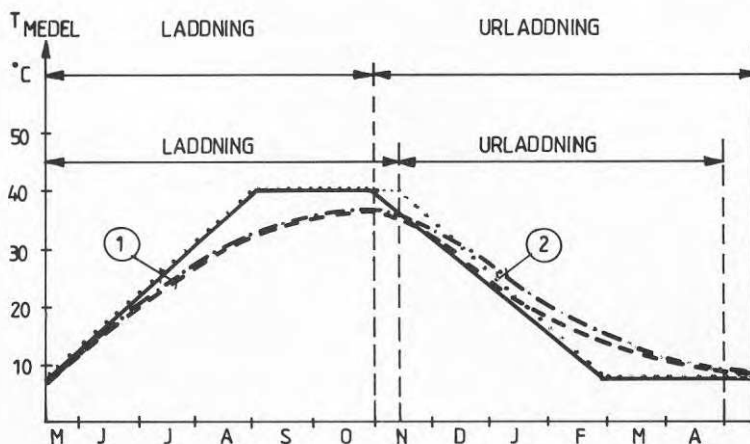


FIG 5.3 TVÅ DRIFTFALL MED OLIKA DRIFTPERIODER

Fall 1 Lagret laddas under perioden då åvattnets temperatur överstiger  $+7^{\circ}\text{C}$  (5,5 månader/år). Urladdning av lagret sker under resten av året.

Fall 2 Lagret börjar laddas när åvattnets temperatur är  $+7^{\circ}\text{C}$  och avslutas när temperaturen har på senhösten gått ner till  $+5^{\circ}\text{C}$  (ca 6 månader/år). Lagret urladdas när åvattnets temperatur är lägre än  $+5^{\circ}\text{C}$  (5,5 månader/år). Lagret "vilar" i urladdat tillstånd ca 0,5 månader/år.

Fördelen med driftfallet 2 är att perioden då värmepumparna VP2 tar sin värme direkt ur ån är ca 1 månad längre än i driftfallet 1.

Det innebär att ca 1000 MWh som annars hade producerats med olja nu kan levereras av VP2. För att producera denna energimängd krävs ca 380 MWh el för drift av pumparna VP2.

I driftfall 2 blir lagrets medeltemperatur över året ca 3% högre än i fall 1. Eftersom värmeförlusterna från lagret är

proportionella mot temperaturnivån i lagret blir dessa ca 3% större i alt 2 eller ca 100 MWh. Förlusterna kan kompenseras genom att värmepumparna VPl körs en längre period vid laddning.

För att kompensera för dessa förluster krävs ca 25 MWh elenergi för värmepumparna VPl.

Utfallet för båda alternativen jämförs i tabell nedan.

TABELL 5.2 Jämförelse mellan två alternativ med olika driftperioder för värmepumpar

	Alt 1	Alt 2
Elbehov (MWh)	4070	4470
Oljebehov (MWh)	5600	4600
Energikostnad (kkkr/år)	1795	1665

Av tabellen framgår att i alt 2 ersätts 1000 MWh olja med ca 400 MWh el. Det ger en kostnadsbesparing i jämförelse med alt 1 på ca 130 kkr/år.

Det måste dock påpekas att för att kunna utnyttja en värmekälla med lägre temperatur kan det vara nödvändigt med en anordning av konstruktion av värmepumparnas förångare. Med den ovan beräknade kostnadsbesparingen kan en extra investering på upp till ca 1770 kkr accepteras (4% ränta, 20 år avskrivningstid).

#### 5.4 Lagertemperatur

En temperaturhöjning i lagret på 5°C innebär att lagringskapaciteten ökar med ca 780 MWh. Med förutsättningen om 32% förluster under laddning (se kap 5.5) måste ca 1150 MWh levereras till lagret. Då det totala lagerförluster under ett driftår är ca 50% kan 575 MWh utnyttjas i värmepumparna VP2. Dessa pumpar kan då leverera ytterligare 860 MWh till fjärrvärmenätet. För att åstadkomma detta krävs ca 520 MWh el sammanlagd för pumparna VPl och VP2.

Med ett oljepris på 19,7 öre/kWh och elpris 17 öre/kWh får man en kostnadsbesparing på ca 80 kkr/år i jämförelse med oljeuppvärmning.

Resultatet kan sammanfattas i nedanstående tabell.

TABELL 5.3 Resultat av temperaturhöjning i lagret

Temp höjning i lagret $\Delta t$ (°C)	Ökad värmeleverans MWh	Ökat elbehov MWh	Minskat oljebehov MWh	Kostnadsbesparing kkr/år
5	860	520	860	80



Det måste dock påpekas att förutsättningen för kalkylen är att inga ökade investeringskostnader krävs och att den högre lagertemperaturen kan åstadkommas med samma köldmedium (R22) i pumparna VPl som tidigare alternativ. Blir man tvungen att byta köldmedium (tex till R12) är alternativet med högre lagertemperatur ointressant pga en betydligt högre specifik-kostnad (kr/kW) för värmepumpar.

### 5.5 Driftstrategier för värmepumpar och lager

Man kan driva systemet på olika sätt. För att studera hur olika laddningsstrategier påverkar projektets resultat har vi närmare studerat två olika fall. Se figur 5.4.

#### ① Laddning Fall 1

.... lagrets medeltemperatur utan hänsyn till värmeförluster

-----lagrets medeltemperatur med hänsyn till värmeförluster

#### ② Laddning Fall 2

— lagrets medeltemperatur utan hänsyn till värmeförluster

----- lagrets medeltemperatur med hänsyn till värmeförluster

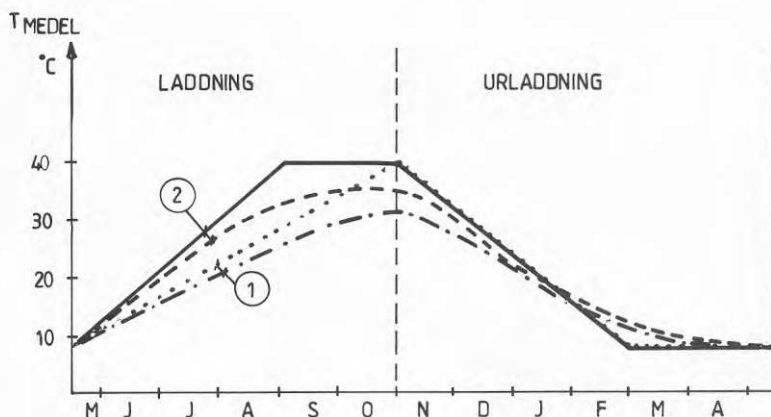


FIG 5.4 LAGRETS MEDELTEMPERATUR UNDER EN ÅRSYKEL

Fall 1 Lagret laddas upp med vatten vars temperatur stiger kontinuerligt från ca 15°C till 40°C. Laddningsperioden är 5.5 månader. Urladdningen sker med största möjliga kylhastighet som värmepumparna kan ge med beaktande av värmebehovet i fjärrvärmenätet. Hela lagrets vattenvolym omsätts 2 ggr både under laddning respektive urladdning. Urladdningsperioden är 6.5 månader.

Fall 2 Lagret laddas upp med vatten vars temperatur är 40°C under hela laddningsperioden. I övrigt som fall 1.

Den snabba urladdningen i båda fallen gjordes för att minimera värmeförlusterna från lagret under urladdningsperioden. Som man har nämnt tidigare uppskattas de totala värmeförlusterna ur lagret till ca 50% av den energimängd som tidigare levererats till lagret. Förlusternas relativa storlek vid stationära förhållanden är oberoende av lagrets temperaturnivå. I figuren visas hur lagrets medeltemperatur tänkes variera under en årscykel för båda alternativen. De heldragna linjerna beskriver de teoretiska temperaturvariationer utan att någon hänsyn tas till förlusterna. De streckade linjerna anger de verkliga temperaturvariationerna.

Ur figuren framgår att temperaturvariationen under en årscykel, uppdelad i en laddnings- och en urladdningsperiod, är jämnare i fall 1 i jämförelse med fall 2. Med detta följer att även fördelningen av de relativa värmeförlusterna över de två perioderna är jämnare i fall 1 än i fall 2. De totala värmeförlusterna räknade i procent av till lager levererade energimängden är dock lika i båda fallen.

I vår fortsatta analys har vi avsatt att värmeförlusterna fördelar sig enligt tabellen nedan.

TABELL 5.4 Lagerförluster i % av den till lagret levererade energimängden för olika driftstrategier

Lagerförluster i %	Alt 1	Alt 2
Under laddning	28	32
Under urladdning	22	18
Totalt	50	50

En annan, viktig skillnad mellan de båda fallen är energimängden som finns i lagret vid laddningsperiodens slut. Eftersom lagret laddas i fall 2 med vatten av högre temperatur än i fall 1 blir också medeltemperaturen för lagret vid laddningsperiodens slut högre i fall 2 än i fall 1. Vi uppskattade att man i fall 1 respektive fall 2 uppnår ca 75% respektive ca 90% av den teoretiskt möjliga energinnehållet i lagret (ca 5160 MWh). Temperaturen med vilken man laddar lagret stiger kontinuerligt i fall 1. Detta driftsätt ger gynsammare temperaturförhållanden för värmepumparna VP1 och därmed högre värmefaktor än motsvarande i fall 2. Samtidigt krävs lägre värmeeffekt för VP1 i fall 1 då uppvärmningen av lagret sker långsammare.

Energinnehållet i lagret vid laddningsperiodens slut är lägre i fall 1, beroende på lägre medeltemperatur för lagervatten. Detta innebär att den ur lagret uttagbara energimängden blir lägre i fall 1 än i fall 2 och därmed uppnås en sämre täckning av värmebehovet i fjärrvärmenätet.

Jämförs det ekonomiska utfallet för de båda fallen så finner man att fall 2 är det gynsammare, detta trots högre effektbehov för VP1 och lägre total värmefaktor. Detta beror på att investeringsbehoven är i stort sätt lika. Kostnaden för värmepumparna VP1 skiljer inte mycket mellan båda fallen, ty den specifika kostnaden räknad i kr/kW är högre för en mindre värmepump. Värmepumparna VP2 är lika i båda fallen. Kostnadskillnaden mellan de båda fallen är ca 60 kkr/år till fall 2:s fördel.

TABELL 5.5 Jämförelsen mellan två olika driftstrategier

	Fall 1	Fall 2
Täckningsgrad i % av det totala värmebehovet	53	61
Total värmefaktor inkl lagerförluster	2.16	1.94
Kostnadsbesparing p g a lägre oljebehov kkr/år	-	60

Om man spekulerar i f n framtida oljeprisstegring och elprisminskning finner man att det är bättre att minska oljebehovet genom en högre täckningsgrad, även om det sker till pris av en högre elförbrukning. Marginalkostnaden för varje extra levererad kWh värme är  $1/\emptyset$  x oljepriset, där  $\emptyset$  anger marginalvärmefaktor för processen inklusive lagerförluster, förutsatt att kapitalkostnaden ej påverkas av den extra värmeleveransen. Så länge den marginalkostnaden är lägre än kostnad för oljeproducerad kWh lönar det sig att öka täckningsgraden.

#### 5.6 Temperaturnivå i fjärrvärmenätet

I detta avsnitt studerar vi närmare hur temperaturförhållanden på fjärrvärmenätet inverkar på systemets driftresultat. Vi förutsätter att temperaturer i fjärrvärmenätet varierar enligt fig 5.5.

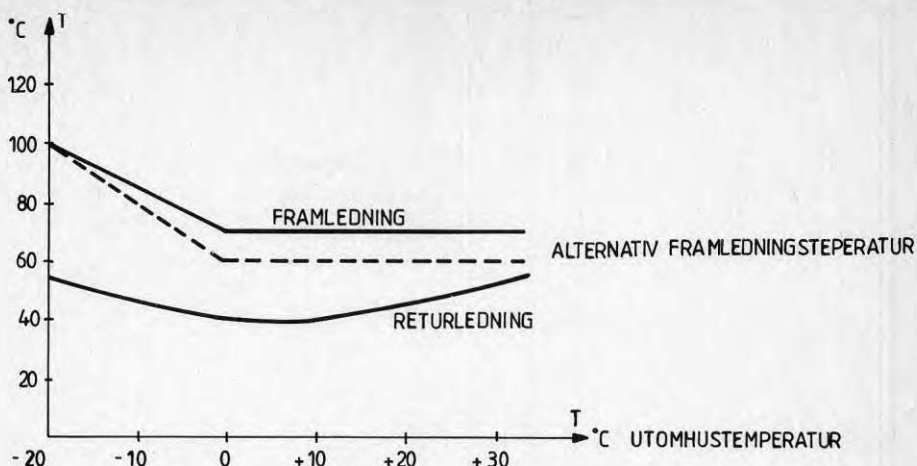


FIG. 5.5 TEMPERATURFÖRHÅLLANDEN I FJÄRRVÄRMENÄTET

Ur figuren framgår att framledningstemperaturen är 70°C då utomhustemperaturen överstiger 0°C.

Vid sjunkande utomhustemperatur stiger framledningstemperaturen upp till 100°C vid dimensionerande utetemperatur på (DUT) på -20°C.

Värmepumparna VP2 kan leverera värme med en framledningstemperatur på max +70°C. Temperaturnivån beror på valet av köldmedium i värmepumparna VP2. Med den temperaturen kan man täcka ca 90% av energibehovet under året, dvs ca 11400 MWh. Den siffran kan jämföras med de 7800 MWh som systemet beräknas kunna leverera. Sänker man framledningstemperaturen på fjärrvärmenätet blir resultatet en bättre värmefaktor för värmepumparna VP2, däremot ökar man inte mängden levererad energi. Det är tillgången på värmekälla som är begränsad i det fallet. Förbättringen i värmefaktorn för VP2 skulle innebära att för den mängd energi som levereras till fjärrvärmenätet, dvs 7800 MWh skulle behövas ca 6% mindre elenergi som värmepumparna VP2 kräver, dvs ca 150 MWh. Med elpris på 17 öre/kWh innebär det en kostnadsbesparing på ca 26 kkr/år.

Det skall påpekas att siffrorna ovan bygger på att det till fjärrvärmenätet levereras 7800 MWh värme. Kan man öka värmeleveransen med t ex 10% så stiger även kostnadsbesparingen vid lägre framledningstemperatur i fjärrvärmenätet med 10%.

### 5.7 Slutsatser angående val av systemparametrar

Av analysen framgår att de parametrar som starkast påverkar systemet och dess prestanda är:

- Driftperiod för värmepumpar VP2
- Lagertemperatur
- Driftstrategier för värmepumpar och lager

Vid val av slutlig systemlösning samt driftförhållanden har vi därför "optimerat" utgående från ovan nämnda systemparametrar. Detta innebär att driftperioden för värmepumpar VP2 då dessa tar värmen direkt ur ån blir ca 6 månader/år. Vidare skall lagertemperaturen vara så hög som värmepumparna VP1 med köldmedium R22 kan uppnå, ca 55°C. Slutligen skall lagret laddas med 55-gradigt vatten under hela laddningsperioden, för att öka den lagrade energimängden och därmed uppnå högre täckningsgrad för värmebehovet i fjärrvärmenätet.

Den här utförda undersökningen är ett exempel på en renodlande undersökning av den arten, inriktad på 'de boendes' intressen.

Den andra typen av undersökning har att göra med vad vi alla måste ägna oss åt i praktiken, avstämningar av olika intressen. Det är att undersöka, hur sådana avstämningar mellan olika, särskilda intressen bör göras.

I praktiken framförs förslag, görs ställningstaganden, berörande en mängd intressen, där man inte har tid till några mer ingående utredningar. Just därför finns kanske ett behov att i ett särskilt sammanhang göra teoretiska undersökningar av denna art.

## ENGLISH SUMMARY

If you were to make a list of the most important prerequisites of a place to live in, what would such a list look like? And would it look similar to the lists, which are used at present in town planning and building?

The questions are of interest. For if the planning is carried through, reality is going to look like the planning list.

This investigation concerns a list of prerequisites for residential planning. The categories of description are borrowed from the so called Botkyrka model, a system for evaluating tenders for package deal contracts, worked out in connection with a competition about a residential area in Botkyrka, outside Stockholm, Thiberg 1969, here referred to as "B".

What the dissertation investigates is concepts and the entire "screen", which is laid over reality. In this sense, the investigation is theoretical.

The concept formation in the area of physical environment is largely unexplored. Limited aspects have occasionally been touched upon. However, I have not found any extensive analyses of whole systems of descriptive concepts, of the type carried through here, either in Sweden or in other countries.

## Hypothesis

The hypothesis of the investigation is, that in shaping a residential area, architects and other planners do not always pay attention to the same aspects as the ones that are of importance in the eyes of residents. B:s pattern of description can be assumed to be worked out with a type of aim

that is common in town planning in this country. They are limited to the physical domain, and take into consideration a number of interested parties in the environment. What architects are focussed on can thus be assumed to be in one way narrower, in another way wider than the residents' sphere of interest.

#### The two parts of the investigation

The investigation is organized in two parts. The first part is a system-internal examination of B. By this I mean an examination, where B:s aims are taken for granted, and the question concerns only to what extent B forwards these aims. B:s basic pattern of description is investigated. This means on one hand to analyze B in its constituent categories, on the other hand to construe B:s view of the environment, characteristic traits in the total conceptual construction. In this part of the investigation a form of text analysis is applied on the complex of words, in which B is expressed.

The other part of the investigation goes beyond B. There the given aims of B are questioned. Alternative aims are discussed, with B as an example. The tools which are at planners' disposal for attaining such aims are discussed: a conception of the environment and a demarcation of the area of competence. Finally some general guidelines are given for the development of new conceptual structures for physical environment. In this second part of the investigation a form of phenomenal analysis is used.

#### Results

B:s description of the environment covers a more limited field than the one of interest for residents.



To 'reside' consists according to B of a number of practical activities of every-day routine character, such as sleep, laundry, cooking and eating. Residing is seen as something separate from its 'actors', who are anonymous in themselves and in their mutual relations. Residence is furthermore seen as limited to what happens within the residential district, and to those people who have their residence within the district.

I then interpret B as if residence was defined in terms of functions and levels, although B does not actually provide a definition.

In contrast to this, an alternative concept of residence is discussed, to include everybody concerned within the area, among others postmen, shop assistants etc, and to include more than mere practical occupations and even expeditions beyond the limits of the residential district.

The environment is in B limited to the stationary parts. Traffic and other moving phenomena are not included in the system. The environment is seen out of the context of time, it is described as an undetermined present time. The components of the stationary part are discerned as atoms. The whole is described by describing its parts - the district as a "super atom", independent of surrounding districts. Suburban conditions are described, a large scale society seems to be presupposed.

The type of elements of environment described are mainly spaces, rooms and ground areas while the material of which they are made plays a subordinate role. The qualities described are above all spatial, also equipment and climatic conditions are included.

The aspects of human beings and human life touched on by this type of description are mainly rational, utilitarian and goal-oriented. Other aspects fall aside.

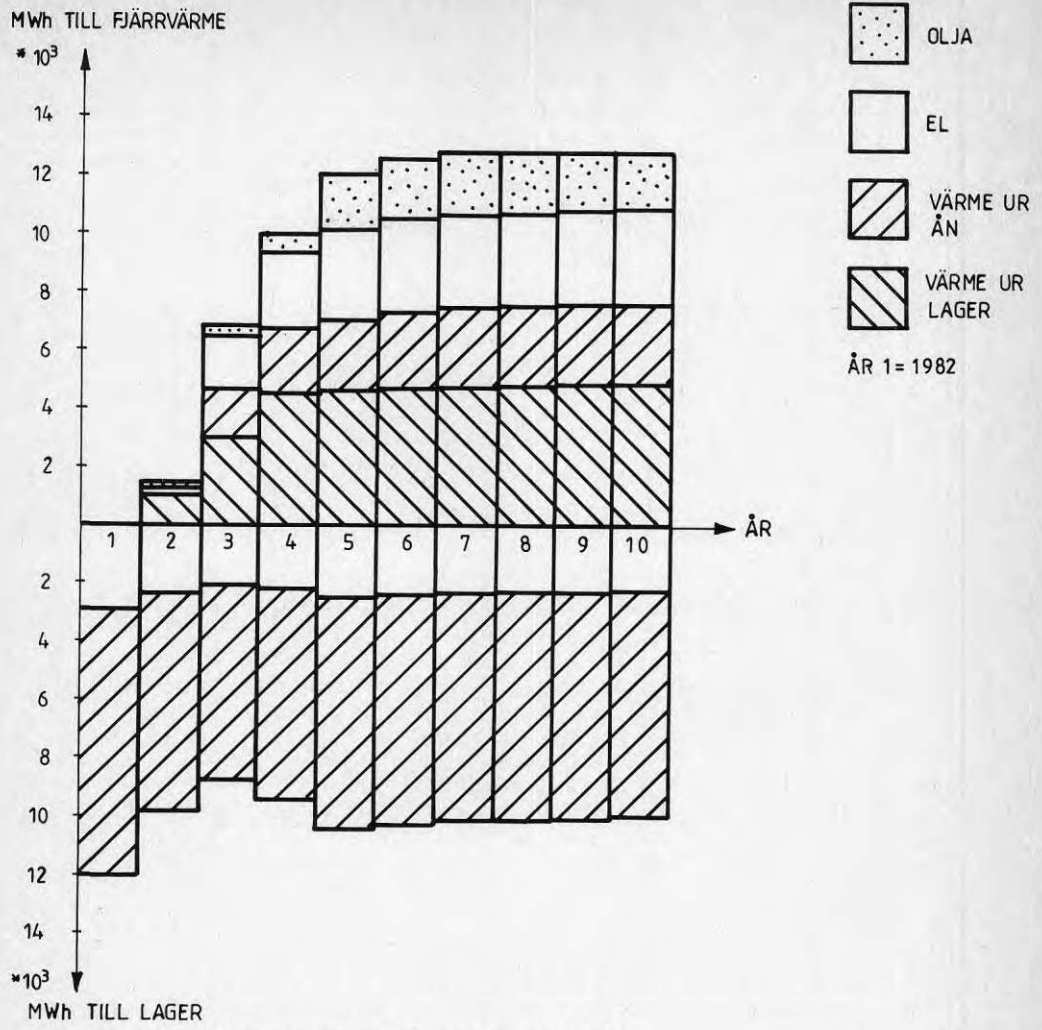


FIG. 6.4 ENERGIBALANSEN UNDER DE FÖRSTA TIO ÅREN

## 7 BERGTEKNISKA FRÅGOR

Med den tekniska systemlösning, som föreslås för Ljusnarsbergs gruva, dvs. all installation samlad på markytan, behöver ej några bergtekniska åtgärder vidtagas. Den låga temperaturen på inlagrat vatten,  $+55^{\circ}\text{C}$  samt de få vattenomsättningarna medför att några termomekaniska problem knappast kommer att uppträda. Detta grundas på den i Sverige sedan lång tid utnyttjade tekniken att lagra olja i berggrum.

Om man istället valt en systemlösning som inneburit att värmeväxlare och pumpar placerats i en ort på 90 m-nivån i gruvan, som föreslagits i en tidigare publicerad förstudie, R 58-1981, hade följande kostnader tillkommit:

Permanent installerad hissanordning	kr 300.000:-
Rensning och förstärkning av schakt	kr 50.000:-
Rensning, förstärkning byggnad i orten	kr 30.000:-
Plattform i schakt	kr 65.000:-
<u>Summa</u>	<u>kr 445.000:-</u>

Dessa kostnader är endast en uppskattning och grundas ej på observationer i Ljusnarsbergs gruva då schaktet är vattenfyllt till ca 65 m-nivån.

En sådan lösning hade således krävt en ytterligare investering på ca 450.000 kronor. Möjligen kan man tänka sig en mer provisorisk lösning genom att vid varje tillfälle hyra in en kran för att sänka ned nödvändig servicepersonal, men detta kan vara opraktiskt. En placering av värmeväxlare och pumpar nere i gruvan medför flera nackdelar. Gruvans vattennivå måste alltid hållas på en nivå så att utrymmena där utrustningen är placerad ej vattenfylls. Nedtransport av dessa stora enheter kan bli mycket besvärlig, kanske krävs nedfrakt i delar för ihopmontering på plats. Underhåll och reparationer blir besvärligare att utföra nere i gruvan.

## 8 EKONOMI

## 8.1 Investeringar

En kostnads kalkyl omfattande det totala projektet inklusive produktionsanläggning och distributionsnät har utförts. Kostnaderna grundar sig på erfarenhetsvärden samt budgetofferter för större komponenter såsom värmepumpar, oljepannor, värmeväxlare och pumpar. Kostnader har också framtagits för ett s k referensalternativ som bygger på fjärrvärme med en oljebaserad produktionsanläggning. Samtliga kostnader hänförs till februari 1982.

## Investeringens kostnad värmepumpsalternativ

## Produktionsanläggning

Värmepumpar	5000 kkr
Pannor	600 kkr
Byggnad, oljetank och skorsten	1200 kkr
El & VVS	1000 kkr
El-högspänning	500 kkr
VA-system inkl pumpar vid å och gruva samt byggnads- och stålarbeten i gruvschakt	1500 kkr
Projektering	500 kkr
Byggledning, kontroll	200 kkr
Oförutsett	<u>300 kkr</u>
Summa	10.800 kkr
Säsongslagring första året	500 kkr
Fjärrvärmenät	<u>7600 kkr</u>
Summa totalt	18900 kkr

Investeringskostnad referensalternativ

Produktionsanläggning, olja + el	2300 kkr
Fjärrvärmenät	<u>7600 kkr</u>
Totalt	9900 kkr

8.2 Driftkostnader

För driftkostnadskalkylen har totalkostnaden för respektive alternativ beräknats. Av energibalansen vid fortvarighets-tillstånd framgår följande.

Värmebehov inkl distributionsförluster	12700 MWh
Värme från VP2 till fjärrvärmenät	10650 MWh
Drivenergi till värmepumpar	5810 MWh
Pumparbete	980 MWh
Olja (exkl pannverkningsgrad)	2050 MWh
Vidare gäller följande förutsättningar	
Oljepris	1750 kr/m <sup>3</sup>
Verkningsgrad oljepanna	87 %
Värmeinhåll olja	10200 kWh/m <sup>3</sup>
Elpris (medelpris över året)	17 öre/kWh
Personalbehov referensalternativ	2 pers
Extra personalbehov värmepumpalt	1/3 pers
Personalkostnad	200 kkr/pers,år
Kalkylränta	4 %
Avskrivningstid värmepumpar	15 år
Avskrivningstid fjärrvärmenät	30 år
Avskrivningstid pannor	25 år
Underhåll värmepump, % av anläggningskostnad	2 %, år
Underhåll pannor, % av anläggningskostnad	2 %, år
Underhåll distnät, % av anläggningskostnad	1 %, år

## Driftkostnader värmepumpsalternativ

Kapitalkostnader	1334 kkr
Drivenergi värmepumpar	987 kkr
Drivenergi pumpar	170 kkr
Olja	414 kkr
Personal	435 kkr
Underhåll	<u>232 kkr</u>
	3572 kkr

## Driftkostnader referensalternativ

Kapitalkostnader	580 kkr
Olja	2505 kkr
Personal	400 kkr
Underhåll	<u>130 kkr</u>
	3615 kkr

Driftkostnaderna för värmepumpsalternativet hänför sig till värmeförluster i berget efter 10 år, vilket nära motsvarar stationära förluster. Om hänsyn tas till att värmeförlusterna under de första åren överstiger motsvarande vid stationära förhållanden erhålls driftkostnader enligt tabell 8.1. Av tabellen framgår att resultatet de tre första åren är negativt, vilket beror på att värmeförlusterna är förhållandevis höga, men framför allt på en antagen eftersläpning i anslutningar av abonnenter. Även vid fortfarighet uppvisar kalkylen ett negativt resultat. Detta beror på att, de intäkter som fjärrvärmerörelsen kan förvänta ej heller täcker de beräknade kostnaderna för ett oljebaserat referensalternativ, dvs projektet kan ej anses vara lönsamt vid en 4%-ig kalkylränta. Värmetätheten i samhället är således alltför låg för att kunna bära kostnaderna för ett fjärrvärmenät.

I driftkostnadskalkylen har hänsyn ej tagits till realprisförändringar för bränsle och el. Under 1980-talet kan man förvänta sig sjunkande elpriser och om därtill oljepriserna stiger i framtiden påverkar båda dessa faktorer kalkylen i positiv riktning.

Genom ovanstående kalkyler får man en grov uppskattning av ekonomin för värmepumpsalternativet samt ett oljeeldat referensalternativ och man finner att driftkostnaderna är ungefär likvärdiga. En mer realistisk värmeförsörjningsplan för Kopparberg skulle förmodligen inte ange en så snabb fjärrvärmeutbyggnad eftersom denna innebär stora påfrestningar på kommunens ekonomi. Eftersom elpriserna under en tioårsperiod förväntas vara låga, blir det intressant att kombinera befintlig oljevärme med elpatroner, vilka utnyttjas

under låglastperioder på elnätet. När elvärme ej längre är intressant är det tänkbart med en fjärrvärmeutbyggnad genom utnyttjande av befintliga panncentraler och att i ett senare skede bygga en fastbränsleeldad produktionsanläggning. Jämfört med detta värmeförsörjningsalternativ är värmepumpsalternativet ej lika fördelaktigt. Detta innebär att merkostnaderna för värmepumpsalternativet blir högre och därmed måste BFR skjuta till ett större belopp, motsvarande även kostnader för distributionsnät mellan gruvan och tätorten samt del i produktionsanläggningen om projektet ska kunna förverkligas.

TABELL 8.1 Driftkostnader 10-årsperiod fast penningvärde

	1983												
	Ar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Värmebehov	MWh	-	1735	6803	9992	11990	12520	12700	12700	12700	12700	12700	12700
Elförbrukning VP1	MWh	3000	2457	2177	2365	2604	2554	2529	2517	2505	2483	2483	2483
Elförbrukning VP2	MWh	-	451	1963	2879	3151	3252	3280	3291	3302	3324	3324	3324
Oljeförbrukning brutto	MWh	-	201	547	818	2193	2434	2528	2485	2441	2354	2354	2354
Investeringar prod	kkkr	5650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investeringar dist	kkkr	-	4500	1700	1400	-	-	-	-	-	-	-	-
Kapitalkostnader	kkkr	-	1116	1236	1335	1335	1335	1335	1335	1335	1335	1335	1335
Drift & underhåll	kkkr	-	285	721	732	815	815	815	815	815	815	815	815
Elkostnader	kkkr	500	-64	873	1061	1148	1157	1157	1157	1157	1157	1157	1157
Oljekostnader	kkkr	-	34	94	140	376	418	434	426	419	414	414	414
Totalt	kkkr	500	2099	2924	3268	3674	3725	3741	3733	3726	3721	3721	3721
Intäkter	kkkr	-	501	1916	2800	3360	3507	3566	3566	3566	3566	3566	3566
Resultat	kkkr	-	-1598	-1008	-468	-314	-218	-175	-167	-160	-155	-155	-155



## 9 MÄTNING OCH UTVÄRDERING

Parallellt med projektets förverkligande bör en utvärderingsgrupp med oberoende personer arbeta. De mätningar som ska utföras gäller flöden och temperaturer för att kunna göra energibalanser på värmepumpar, gruva, oljepanna och fjärrvärmenät.

Följande mätpunkter krävs

Värmepump å-gruva

- Flöde åvatten
- Temperaturer åvatten före och efter värmepump
- Flöde gruvvatten
- Temperaturer gruvvatten till och från gruvan
- Elförbrukning

Värmepump å-fjärrvärmenät eller gruva-fjärrvärmenät

- Flöde åvatten
- Temperaturer åvatten före och efter värmepump
- Flöde gruvvatten
- Temperatur gruvvatten till och från gruvan
- Flöde fjärrvärmenät (att hänföra till oljepanna)
- Temperatur fram- och returledning
- Oljeförbrukning
- Elförbrukning cirkulationspump fjärrvärmenät

Övrigt

- Elförbrukning pump för åvatten
- Elförbrukning pump för gruvvatten
- Temperaturmätning i schaktet

Instrumenteringen i gruvan bör indirekt ge svar på värmeförluster samt strömningsförhållanden i gruvan. Om schaktet instrumenteras med temperaturgivare i på olika nivåer, exempelvis på avståndet 10 m, kan man genom att anta att vattentemperaturen enbart är nivåberoende (d v s temperaturlikhet råder på en nivå oberoende av avstånd till schaktet) uppskatta värmeförlusterna.

Hur strömningsbilden ser ut vid ingången till en ort kan man få svar på genom en tätare placering av temperaturgivare, exempelvis på avståndet 0,25 m. Genom de lokala temperaturgivarna vid ortingången kan slutsatser dras gällande den lokala strömningsbilden vid ingången till en ort och vid gränsskiktet mellan varmt och kallt vatten.

## 10 SLUTSATSER

Av studien framgår att värmepumpar, arbetande med en närbelägen å som värmekälla, kan i kombination med fjärrvärme utgöra uppvärmningsform för Kopparberg. Den nedlagda gruvan i Kopparberg utnyttjas för säsongslagring av värme som via värmepumpar tas från Garhytteån.

Den i gruvan lagrade värmemängden tillförs under sommaren genom en värmepumpsprocess med en medelvärmefaktor på ca 4 dvs av den tillförda värmemängden utgörs 25% av elenergi till värmepumpar. Värmeförlusterna i berget uppgår vid stationärtillstånd till ca 50%, men eftersom den till lagret tillförda värmemängden enbart till 25% består av elenergi blir ändå värmekostnaden ut från lagret förhållandevis låg.

Lagrets värmeförluster är p g a gruvans speciella geometri högre än för andra tänkbara lager såsom sprängda berggrum eller gropmagasin. Fördelen med gruvan är att anläggningskostnaden kan i det närmaste anses vara noll och därmed är det lätt att påvisa en god ekonomi. Vid ett energipris på 10 öre/kWh (ner i lagret), en lagervolym på 200.000 m<sup>3</sup>, 4% real kalkylränta och 20 års avskrivningstid krävs att alternativlagrets anläggningskostnad understiger 25 kr/m<sup>3</sup> för att vara ekonomiskt försvarsbart. För detta projekt gäller att energikostnaden för den värmemängd som matas in i lagret är ca 5 öre/kWh.

Gruvan som lager har naturligtvis sina begränsningar, såsom dess belägenhet och storlek i förhållande till värmeavvärmare. Det har dock kunnat påvisas ca 30 st gruvor som ligger på kortare avstånd än 10 km från avvärmare och med en volym överstigande 100.000 m<sup>3</sup>.

Den ekonomiska jämförelsen visar att ett värmepumpsalternativ har likvärdiga driftkostnader som ett oljebaserat referensalternativ vid en 4%-ig real kalkylränta. Under de tre första åren uppstår förluster, vilket huvudsakligen beror på en eftersläpning av anslutna abonnenter vid fjärrvärmeutbyggnaden.



VÄRMELAGRING I GRUVA I KOPPARBERG.  
UPPSKATTNING AV VÄRMEFÖRLUSTER OCH  
LAGRINGSKAPACITET.

Bengt Eftring  
Johan Claesson

Januari 1982  
Institutionen för matematisk fysik,  
Lunds Tekniska Högskola



### Introduktion

En vattenfylld gruva i Ljusnarsberg skall användas för säsongslagring av värme. Under sommarhalvåret pumpas fyrtiogradigt vatten ned i gruvan. Under vintertid återvinnes värme varvid vattentemperaturen sänkes till c:a  $6^{\circ}\text{C}$ . Gruvans värmebalans under året skall bestämmas.

Gruvan har en ur värmeförlustsynpunkt komplicerad struktur. Den består av en mängd brytningsrum med olika dimensioner. Dessa rum är förbundna med orter och schakt. Gruvans totala volym är c:a  $125\ 000\ \text{m}^3$ . Brytningsrummen är huvudsakligen fördelade på tre nivåer under markytan. Tabell 1 visar hur rum, orter, schakt och dessas horisontella tvärsnittsareor fördelar sig på de tre nivåerna A (0-140m), B (140-200m) och C (200-450m).

Det framgår att orter och schakt utgör 15-20% av den totala volymen. De olika brytningsrummen har ofta stora inbördes avstånd (>30-50m).

För berget har värmeledningsförmågan och värmekapaciteten antagits vara  $3.5\ \text{W/m}^{\circ}\text{C}$  resp.  $2.16 \cdot 10^6\ \text{J/m}^3\text{C}$ .

NIVA	Rum $\text{m}^3$	Schakt $\text{m}^3$	Orter $\text{m}^3$	Horisontell tvärsnittsarea $\text{m}^2$
A (0-140m)	37200	1440	3600	2130
B (140-200m)	12700	960	3090	540
C (200-450m)	54900	4160	7390	2300
Summa	104800	6560	14080	

Tabell 1. Volymer och horisontell tvärsnittsarea i gruvan.

Termisk påverkan mellan bergrummen.

När temperaturen höjes i ett brytningsrum sker en succesiv uppvärmning av omkringliggande berg. Denna temperaturhöjning kan reducera värmeförlusterna från andra rum. Ett första problem är således att bestämma hur temperaturen i berget utanför ett rum stiger, och i vilken utsträckning olika rum påverkar varandra.

Gruvans brytningsrum har oregelbunden form. Temperaturen ett stycke in i berget kan, med litet fel, beräknas som om brytningsrummet vore sfäriskt. Tabell 2 ger värden på temperaturhöjningen utanför några sfärer med olika radie. Förutsättningen är att sfärernas temperatur vid tiden noll höjes från  $6^{\circ}\text{C}$  till det konstanta värdet  $23^{\circ}\text{C}$ , vilket är en ungefärlig årsmedeltemperatur för ett rum i gruvan. Det är denna medeltemperatur som styr bergtemperaturen ett stycke ifrån gruvrummet.

år	radie (m)		
	5	7.5	10
1	6.4	6.6	6.7
5	7.7	8.0	8.7
10	8.6	9.1	10.1
20	9.0	9.6	10.8
$\infty$	10.3	11.6	12.8

Temperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ ) i berget 15m utanför sfären

år	radie (m)		
	5	7.5	10
1	6.0	6.0	6.0
5	6.5	6.7	6.9
10	6.7	7.0	7.3
20	7.2	7.7	8.1
$\infty$	8.4	9.4	10.3

Temperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ ) i berget 30m utanför sfären

Tabell 2. Temperaturhöjning i berget utanför några olika sfäriska brytningsrum

Av tabell 2 framgår att temperaturhöjningen 30 m utanför brytningsrummet efter 20 års lagring är mindre än c:a  $2^{\circ}\text{C}$ . Då gruvans brytningsrum till stora delar är mer utspridda än så, kan de olika lagringsvolymerna med rimlig felmarginal anses vara termiskt oberoende av varandra vad gäller värmeförluster.

#### Pumpstrategi.

Den totala vattencirkulationen i gruvan antages ske enligt följande

0 - 3.5 mån.	$q_1 = 1$ total vattenomsättning	} laddning
3.5 - 6 "	$q_2 = -$ " -	
6 - 9.5 "	$-q_1 = -$ " -	} uttag
9.5 - 12 "	$-q_2 = -$ " -	

Här är  $q_1$  ett vattenvolymflöde ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Inflödestemperaturen till gruvan är  $40^{\circ}\text{C}$  under laddningen och  $6^{\circ}\text{C}$  under uttagsperioden. Under laddningen sker vattencirkulationen genom gruvan från topp till botten. Under uttaget vändes cirkulationen.

$$q_1 = \frac{125000\text{m}^3}{3.5\text{mån}} = 0.014\text{m}^3/\text{s}$$

$$q_2 = \frac{125000}{2.5} \text{ mån} = .019\text{m}^3/\text{s}$$

Under laddningen tar det drygt 1 månad innan det varma vattnet når nivå B och knappt 2 månader innan det når nivå C. Under uttagsperioden tar det knappt 2 månader för det kalla vattnet att nå nivå B och drygt 2 månader att nå nivå A.

#### Succesiv temperaturpåverkan mellan nivå A,B och C.

Det är för närvarande omöjligt att genomföra beräkningar där gruvans olika rum är sammankopplade via schakt och orter på ett helt riktigt sätt.

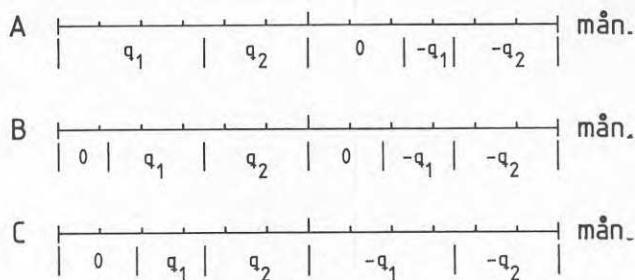
Gruvan delas därför upp i de tre nivåerna A, B och C. Beräkningar utföres för enskilda rum på de tre nivåerna. Den blandade uttemperaturen från en nivå bestäms och användes som indata till nästa nivå.



Det totala vattenflödet genom nivå A simuleras på följande sätt. Under de första 6 månaderna pumpas vatten med flödes hastigheten  $q_1$  resp.  $q_2$  genom nivå A. Inloppstemperaturen är  $40^{\circ}\text{C}$ . När uttagsperioden börjar pumpas kallt vatten in i gruvans botten. Efter drygt 2 månader når det kalla vattnet nivå A. I början av denna period är temperaturen i nivå A och B av gruvan väsentligen lika. Temperaturavklingningen i gruvrummen på nivå A och B, på grund av värmeförluster till omgivningen, antages ske i samma takt. Pumpningen av vatten genom gruvrummen i nivå A påverkar då ej deras temperatur. Detta förhållande simuleras genom att vattenflödet genom nivå A sätts till noll till dess att det kalla vattnet når nivå A. Då påbörjas uttagspumpningen av kallt vatten genom nivån.

För nivå B blir förhållandena likartade. Vattenflödet sättes till noll tills den varma fronten har passerat nivå A och når nivå B. Därefter startar pumpningen under laddningssäsongen med vattenflödet  $q_1$  resp.  $q_2$ . Uttemperaturen från nivå A under de två tidsperioderna med flödet  $q_1$  resp.  $q_2$  användes som intemperatur till nivå B. När utloppsperioden börjar efter 6 månader sätts vattenflödet till noll fram till den tidpunkt när det kalla vattnet har fyllt nivå C och når nivå B. Därefter påbörjas uttagspumpningen.

Detta synsätt på vattencirkulationen sammanfattas i figur 1. Av figuren framgår det simulerade vattenflödet under årets 12 månader för de tre nivåerna.



Figur 1. Schematisk beskrivning av det totala vattenflödet vid simulering av de tre gruvnivåerna.

Inom varje nivå fördelas det totala vattenflödet på de olika delvolymerna efter deras horisontella areaandel.

För varje nivå genomföres 15 års beräkning för tre olika rumsstorlekar. De tre valda rummen har volymen 200, 1500 resp. 8000 m<sup>3</sup>. Beräkningarna har utförts med ett datorprogram som simulerar ett cylindriskt berg-rum, omgivet av ostört berg. Genom bergrummet pumpas vatten med varierbar inloppstemperatur och flödes hastighet. Temperaturen i rummet är stratifierad. De tre cylindriska rummen har dimensionerats så att de har samma volym och i stort sett samma omslutningsyta, som de utvalda verkliga bergrummen.

När beräkningarna är utförda för tre rumsstorlekar på nivå A beräknas uttemperaturen på vattnet från nivå A under laddning. För varje rum på nivå A bestäms en uttemperatur genom interpolering i värdena för de tre utvalda rummen. En blandningstemperatur beräknas som ett viktat mellanvärde. Uttemperaturen ges som en medeltemperatur för de två perioderna med olika laddningshastighet. De sålunda beräknade uttemperaturerna användes som indata under laddning av nivå B. Förfarandet upprepas mellan nivå B och nivå C. Tabell 3 ger värdena under det femtonde året.

Nivå	Per. 1	Per. 2
A	28.5	35.1
B	26.3	33.3

Tabell 3. Medeluttemperaturen från olika nivåer under period 1 och period 2 av laddningen under det femtonde året.

Tabell 4 visar energiverkningsgraden ( $E_{ut}/E_{in}$ ) olika år för de olika rummen.

år 1	Volym m <sup>3</sup>	200	1500	8000
	Nivå			
	A	.16	.34	.51
	B	.25	.45	.62
	C	.37	.57	.71

år 15	Volym m <sup>3</sup>	200	1500	8000
	Nivå			
	A	.25	.49	.70
	B	.35	.60	.77
	C	.46	.69	.83

Tabell 4. Energiverkningsgrad för de tre olika rummen på olika nivåer under år 1 och år 15.

Av tabellen framgår att verkningsgraden varierar kraftigt med rummets storlek. Vidare framgår det att verkningsgraden för ett rum ökar med djupet i gruvan. Detta beror på att lagringstiderna är kortare för de djupare nivåerna i gruvan.

#### Kontroll.

Som en kontroll av beräkningsresultaten har förlusterna från de enskilda rummen under det femtonde året jämförts med motsvarande stationära förluster. Vid bestämningen av de stationära förlusterna har den beräknade årsmedeltemperaturen för de tre rummen under det femtonde året använts. Följande värden erhöles för nivå A

Volym (m <sup>3</sup> )	200	1500	8000
$\frac{E_{\text{simulerad}}^{(15:e \text{ året})}}{E_{\text{stationär}}}$	1.05	1.16	1.26

Resultatet är rimligt. Det lilla rummet har praktiskt taget uppnått stationära, d.v.s. insvängda, förhållanden. De andra rummens avvikelser från insvängda värden ökar med rummets storlek, vilket de skall göra.

### Resultat.

För gruvans samtliga delvolymmer bestäms tillförd resp. återvunnen energi genom interpolering. Värdena summeras till en energibalans för hela gruvan. Resultatet ges för några olika år i tabell 4. De olika energimängderna kan jämföras med den energi som behövs för att höja gruvvattnets temperatur från 6 till 40°C.

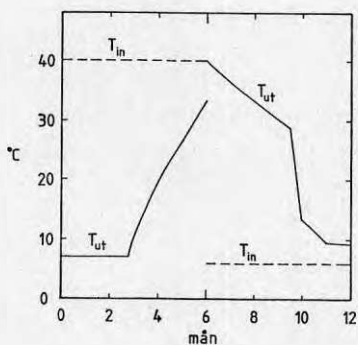
$$E_{\text{gruva}, \Delta T=34^{\circ}\text{C}} = 4950 \text{ MWh}$$

år	Laddning MWh	Uttag MWh	Förlust MWh	Verknings- grad
1	9610	4750	4860	.49
2	9000	5190	3810	.58
5	8600	5500	3100	.64
15	8390	5610	2780	.67

Tabell 4. Energibalans för gruvan under några olika år.

Tabell 4 visar att energiverkningsgraden för gruvan stiger från 0.49 under det första året till 0.67 under det femtonde. Den återvunna energimängden under det första och femtonde året är 4750 resp. 5610 MWh.

Fig. 2 visar in- och uttemperaturen på det vatten som cirkuleras genom gruvan.

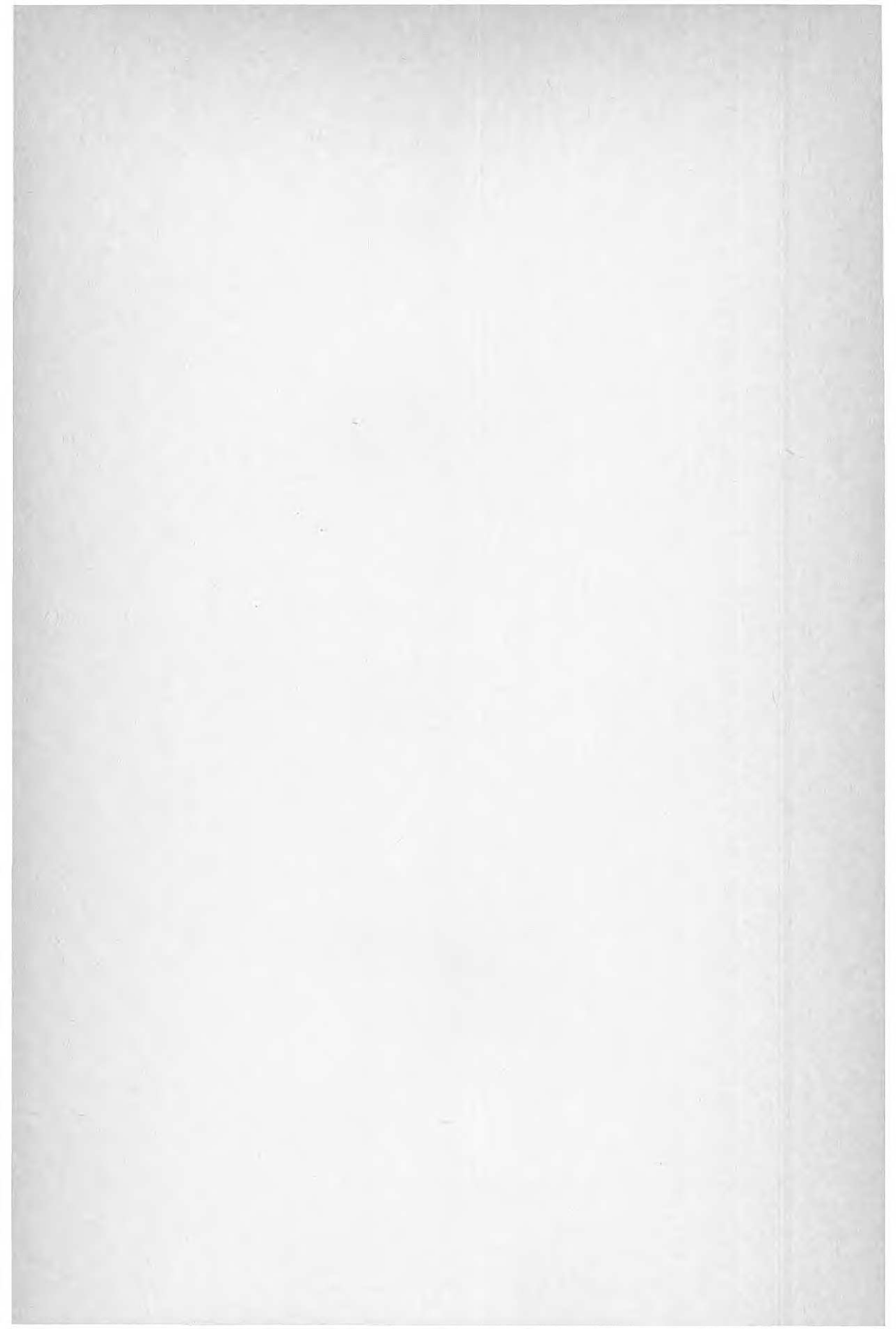


Figur 2. In- och uttemperatur på det cirkulerade vattnet.

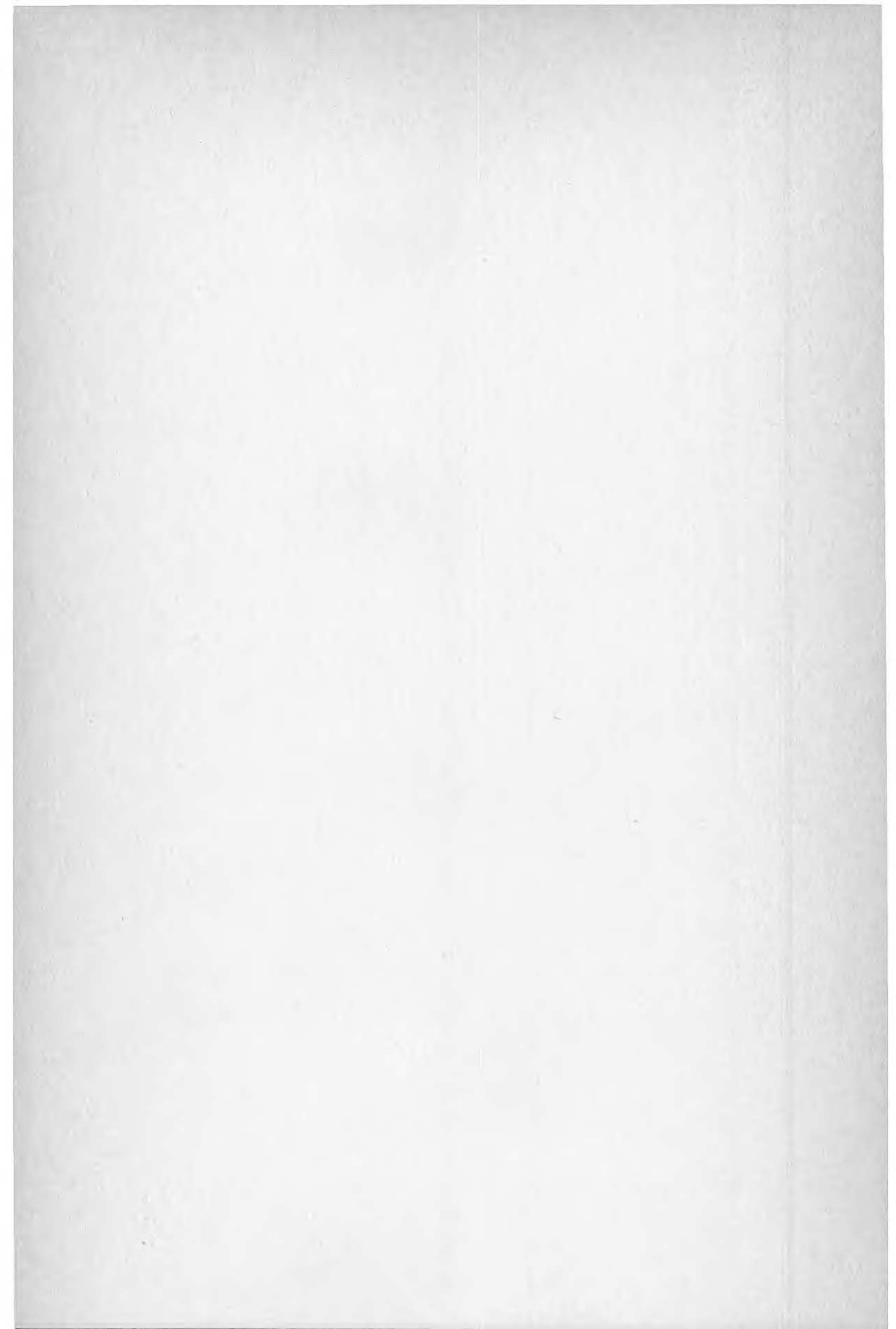
### Sammanfattning.

Beräkningarna av gruvans värmebalans har skett enligt följande. Gruvan har delats in i tre nivåer. För varje nivå har räkningar utförts för tre gruvrum med olika storlek. Utflödestemperaturen från en nivå har utgjort intemperatur till nästa nivå. Beräkningarna har utförts med ett datorprogram som behandlar lagring i ett cylindriskt bergtrum, omgivet av ostört berg. Lagertemperaturerna är stratifierade.

För dessa nio beräkningsfall har laddnings- och uttagsenergier bestämts. Motsvarande energimängder har sedan genom interpolering bestämts för de enskilda gruvrummen. Summering har därefter skett för hela gruvan. Energiverkningsgraden blir för år 1 49%, för år 2 58% och för år 15 67%.











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
800727-3 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Energisparkommittén i Ljusnarsbergs kommun.**

**R68: 1982**

**ISBN 91-540-3724-7**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700568**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**Cirka pris: 30 kr exkl moms**