



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**

**R19:1985**

**Lagring av spillvärme i bergrum  
och borrhål för fjärrvärmenät  
i Borlänge**

**Förstudie**

**Carl-Gunnar Hillström m fl**

*K  
GHL*

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

**Byggeforskningsrådet**

R19:1985

LAGRING AV SPILLVÄRME I BERGRUM OCH  
BORRHÅL FÖR FJÄRRVÄRMENÄT I BORLÄNGE  
Förstudie

Carl-Gunnar Hillström  
Rolf Christiansson  
Gunnar Gustafsson  
Torsten Ros

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
830220-0 från Statens råd för byggnadsforskning  
till VIAK AB Energi/VVS-avd, Falun.

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

R19:1985

ISBN 91-540-4340-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

INNEHÅLL	Sid
1 SAMMANFATTNING	1
2 INLEDNING	3
3 MÖJLIGA LAGRINGSALTERNATIV UR VÄRME- SYSTEMTEKNISK SYNVINKEL	5
3.1 Lokala förutsättningar	5
3.2 Akviferlagring	5
3.3 Förutsättningar och restriktioner för lagring i berg	8
3.3.1 Temperaturnivå - Lagervolym	8
3.3.2 Drift och underhållsaspekter	8
3.4 Värmekällor för lagring	8
3.4.1 Värmepumpar, Kvarnsveden	9
3.4.2 Spillvärme, SSAB Domnarvet	9
3.4.3 Energifraktion från avfall	9
4 GEOLOGISKA OCH GEOHYDROLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	10
4.1 Allmänt	10
4.2 Värmelagring i jordlager	10
4.3 Värmelagring i berg	10
5 LAGERUTFORMNING	12
5.1 Bakgrund	12
5.2 Förslag till utformning av lager	12
5.2.1 Byggnadsteknik	13
5.2.2 Borrningsteknik	14
5.2.3 Värme att lagra	15
5.2.4 Värme från lagret	16
5.2.5 Lagringsperiod	16
5.3 Dimensionering av lager	16
5.4 Lokalisering av lager	18
5.5 Lager Lay-out	19
5.5.1 Geologi	19
5.5.2 Utförandeprinciper	19
5.5.3 Påhugg och tillfarter	20
5.5.4 Tillredning av övre galleri	20
5.5.5 Tillredning av undre galleri	23
5.5.6 Lay-out	24
6 PRINCIPLÖSNING. SYSTEM OCH DRIFTSTRATEGI	26
6.1 Principlösning	26
6.2 Exempel på driftfall	26
6.2.1 Sommarfall	26
6.2.2 Höstfall	27
6.2.3 Vinterfall	27
7 EKONOMI	28
7.1 Förutsättningar	28
7.2 Berg och markarbeten	28
7.3 Värmeteknisk utrustning	30
7.4 Investeringskalkyl	30
7.5 Drift och underhållskostnader	30
7.6 Driftkostnadsbesparing	31
7.7 Pay-off tid	31

## BILAGOR

BILAGA 1	Principschema.....	33
Bilaga 2	Dimensionering av lager.....	34
BILAGA 3	Värmetekniskt underlag VBB 1983-08-26.....	48
BILAGA 4	Värmeförlusternas beroende av temperatursving i ett bergumslager vid fjärrvärmeförläpningar.....	71

## 1 SAMMANFATTNING

Borlänge har ett utbyggt fjärrvärmenät i centralorten. I denna förstudie studeras förutsättningarna för att lagra spillvärme som finns tillgänglig under sommar-månaderna för användning under vintersäsongen i fjärrvärmesystemet.

Spillvärme finns vid SSAB Domnarvet i form av lågtrycksånga. Värmepumpar finns redan installerade vid Kvarnsvedens pappersbruk för värmeproduktion till fjärrvärmenätet. Dessa kan inte köras sommartid eftersom värmebehovet är för lågt. Med ett lager kan värmepumparna köras även sommartid och producerad värme inlagras.

Borlänge Industriverk förbränner siktrest (energifraktion från sorterat hushållsavfall) i Bäckelunds-anläggningen. Sommartid blir värmeproduktionen från siktresterna större än vad fjärrvärmeabonmenterna förbrukar. Siktresterna är svåra att lagra. Med tillgång till ett värmelager kan siktresterna förbrännas och därifrån producerad värme inlagras. Förutom ovan beskriven säsongslagring har ett lager även ett värde för effektutjämning.

Föreslaget lager utformas som ett berglager i två våningar sammanbundna med 100 m långa hål. Genom att utföra lagret på detta vis vinner man dels de installationstekniska fördelar, som ett normalt bergrum har, med enkla in- och utlagringsanordningar, dels kan man hålla en viss temperaturskiktning i lagret för att bibehålla en så hög temperatur som möjligt.

Berglager i två våningar innebär jämfört med ett traditionellt bergrumsbyggande att man bygger både på höjden och bredden. Traditionella bergrum innebär krav på så stora utrymmen i horisontell ledd att detta kan bli en svår restriktion i den storleksklass som blir aktuell i Borlänge. Det kompaktare byggnadssättet är också positivt ur värmeförlustsynpunkt.

Temperaturnivån i det föreslagna lagret är förhållandevis hög. Jämfört med ett lågtemperaturlager erhålls ett mindre lager med lägre investering som följd. Vidare blir värmeförlusterna lägre vilket ger ett bättre ekonomiskt utfall.

Lagret får dimensionerna längd/bredd 190 x 190 och i djupledd ca 100 m. Totala investeringsbeloppet blir ca 80 Mkr. Den årliga driftkostnadsbesparingen blir ca 9 Mkr.

Den s k pay-off tiden för spillvärmelagret blir  
således  $\frac{80}{9} = 8.9$  år. Investeringen inne på Domnarvet

för att ta tillvara spillvärmen där har inte medtagits  
i kalkylen, då utökat internt spillvärmeutnyttjande  
antas bära investeringen.

Ingen ersättning från Borlänge Industriverk till SSAB  
för spillvärmen har heller upptagits i kalkylen. Detta  
får bli en förhandlingsfråga utifrån projektets  
totalekonomi jämfört med andra till buds stående  
alternativ för värmeförsörjning.



## 2. INLEDNING

Borlänge har ett utbyggt fjärrvärmenät i centralorten. Före årsskiftet 1983/84 tas en värmepump i drift för utnyttjande av spillvärme från Kvarnsvedens pappersbruk. Värmebalansen för Borlänge fjärrvärmes tillförselsida innehåller fr o m 1984 värmepump Kvarnsveden, siktresten (energifraktion från behandlat hushållsavfall), flis och olja med fördelning över året enligt fig 1.

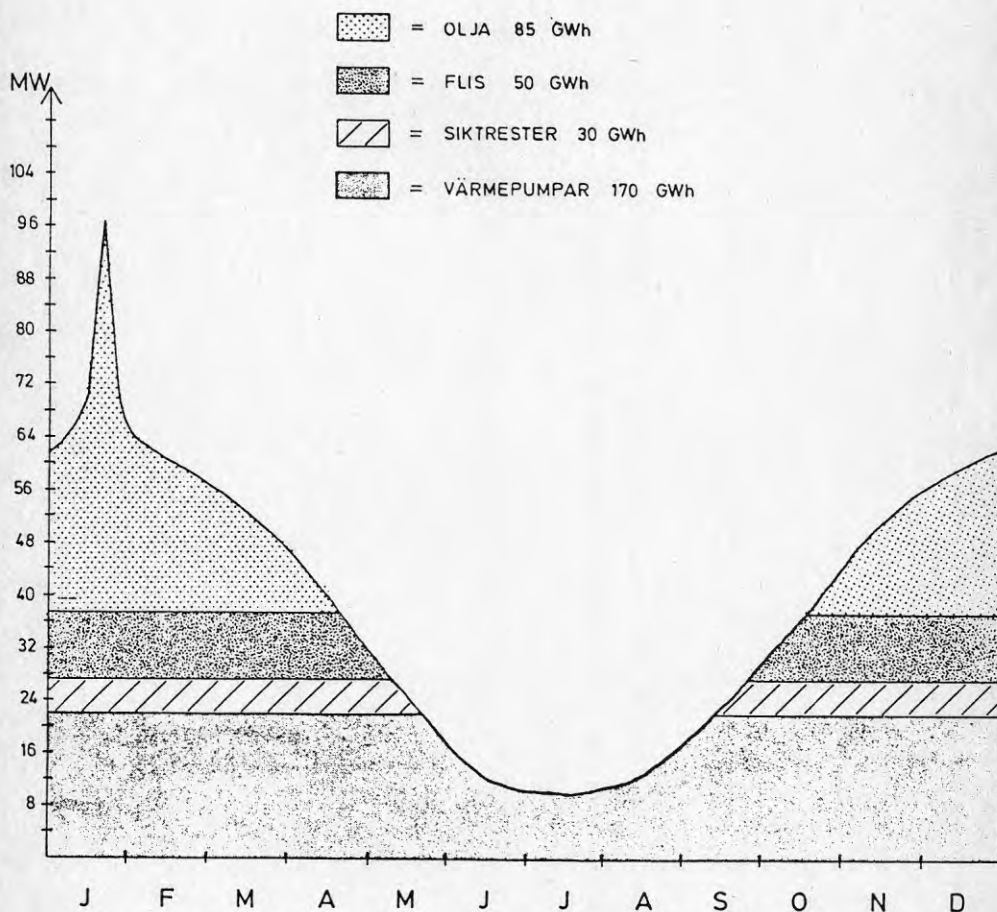


Fig 1 Planerad värmebalans 1984 utan värmelager.

I Borlänge finns riklig tillgång på spillvärme. Förutom vid Kvarnsvedens pappersbruk finns även spillvärme vid SSAB, Domnarvet. Betydande utnyttjade spillvärmekvantiteter finns, och i SSAB-fallet kan delar av spillvärmen tas ut i form av lågtrycksånga, vilket innebär en hög temperaturnivå.

I fjärrvärmenät, där stora spillvärmemängder finns tillgängliga är lagring intressant, dels för att utjämna de effektvariationer spillvärmekällor vanligen har och dels för säsongsutjämning.

Syftet med denna förstudie är att belysa möjligheterna till spillvärmelagring som en integrerad del av Borlänges fjärrvärmesystem.

Projektet har genomförts i samarbete mellan Borlänge Industriverk och VIAK AB. De värmetekniska förutsättningarna (bil 3) har erhållits från en parallellt genomförd studie av VBB AB till vilken VIAK AB levererat de geologiska förutsättningarna.

### 3 MÖJLIGA LAGRINGSALTERNATIV UR VÄRME- OCH SYSTEM- TEKNISK SYNVINKEL

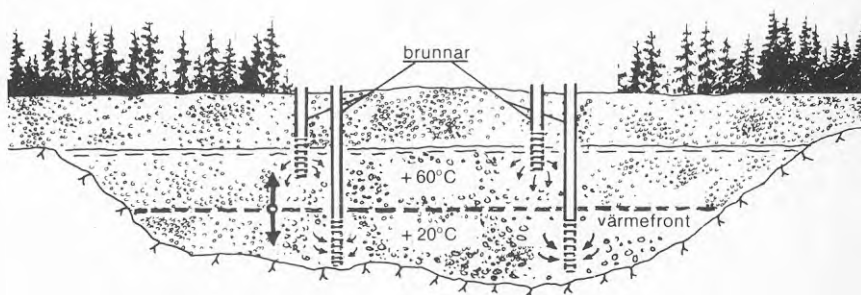
#### 3.1 LOKALA FÖRUTSÄTTNINGAR

I anslutning till fjärrvärmesystemet i Borlänge finns i huvudsak två principiellt tänkbara möjligheter till värmelagring. Antingen kan lagring ske vid låg temperaturnivå i Badelundaåsen, som underlagrar en stor del av den centrala tätorten, eller kan lagring alternativt ske vid förhållandevis höga temperaturer i berglager.

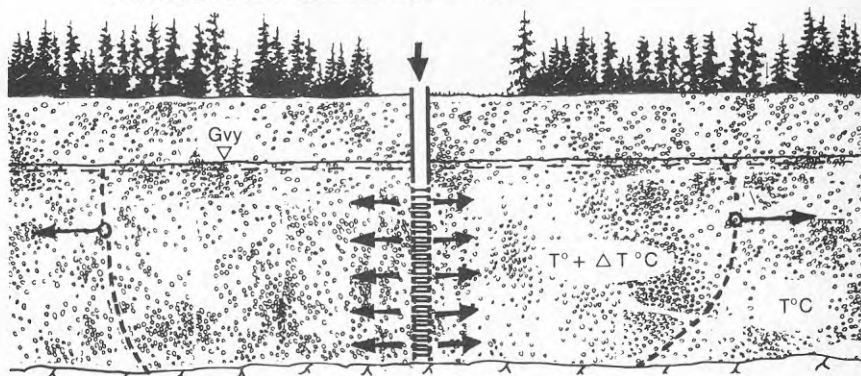
Akviferalternativet (lagring i Badelundaåsen) blir i det aktuella fallet mindre gynnsamt, vilket beskrives nedan, varför lagring i berg blir det kvarvarande alternativet med god potential.

#### 3.2 Akviferlagring

Värmeinlagring i en ås kan göras med horisontell eller vertikal front, se fig 2.



Värmeinlagring med horisontell temperaturfront.



Värmeinlagring med vertikal temperaturfront.

Fig 2  
Ur värme i jord, berg och vatten. Utvinning och lagring

BFR T1:1981  
Redaktör B Svedinger VIAK AB

Horisontell temperaturfront är tekniskt sett enklast att utföra, men medför att stor yta exponeras, med betydande värmeförluster som följd.

I Badelundaåsen vid Borlänge är flödet så stort att en vertikal temperaturfront kan tendera att bli mycket flack, med samma problem som för horisontell temperaturfront som följd. Dessutom finns områden söder om Tjärna där naturligt grundvattenläckage från åsen sker, vilket ytterligare skulle öka värmeförlusterna.

Lagring vid låg temperaturnivå förutsätter vidare användning av värmepump. Eftersom det finns betydande mängder outnyttjad spillvärme med låg temperaturnivå tillgänglig under uppvärmningssäsongen, förefaller det inte attraktivt att lagra lågtemperaturvärme. Man kan sannolikt i så fall till lägre kostnad tillvarata lågtemperaturspillvärme direkt med hjälp av värmepump utan lagring.

### 3.3 Förutsättningar och restriktioner för lagring i berg

#### 3.3.1 Temperaturnivå - lagervolym

Det är nödvändigt att ett lager kan byggas till en kostnad så att totalekonomin för spillvärmeytliggörande via lagring blir konkurrenskraftigt jämfört med de till buds stående alternativen.

Lagrets erforderliga volym minskar drastiskt med ökad temperaturdifferens mellan max- och min- temperatur i lagret. Ett lager med högsta och lägsta temperatur 85 respektive 55 °C får exempelvis dubbla volymen jämfört med vid arbetstemperaturerna 115 / 55 °C.

Vid en given inlagrad värmemängd gäller: I det vid fjärrvärmeställningar aktuella temperaturområdet minskar förlusterna när lagrets dimensionerande maxtemperatur ökas (vid samma botten temperatur). I bil 4 visas med ett beräkningsexempel att detta är fallet.

Ett högttemperaturlager har således av flera skäl förutsättningar att ge en bättre totalekonomi än ett lågttemperaturlager.

Möjlig lägsta temperatur i lagret bestäms av returtemperaturerna i fjärrvärm nätet. Möjlig högsta temperatur bestäms av tillgång på högttemperaturvärmekällor och rådande övertryck i lagret. Vidare är det önskvärt att system konstrueras så att de höga tillgängliga temperaturerna inte blandas med lägre temperaturer i nätet före inlagring. Driftstrategier bör utformas för att möjliggöra max temperatursving för lagret.

#### 3.3.2 Drift och underhållsaspekter

Systemlösning och driftstrategier skall ha en inte alltför hög komplexitetsnivå. I den vardagliga och praktiska driften är risken i annat fall överhängande att det uppstår problem med funktionsduglighet och tillgänglighet.

Lagret måste också ges en utformning som möjliggör underhåll på ingående delar där fel kan uppstå även sedan lagret tagits i drift.

### 3.4 Värmekällor för lagring

Det är inte ekonomiskt intressant att höja lagrets temperaturnivå med hjälp av olja eller fastbränsle. Dessa bränslen kan med bättre totalekonomi i så fall användas för spetsning vid urladdningstillfället.

Spillvärme aktuell för lagring redovisas nedan och närmare uppgifter om spillvärmekällorna finns i det värmetekniska underlaget i bil 3.

#### 3.4.1 Värmepumpar Kvarnsveden.

Under perioden maj till och med september är inte belastningen på fjärrvärmenätet så stor att värmepumparna i Kvarnsveden kan köras på full effekt (se varaktighetsdiagram fig 1).

Med tillgång till ett lager med tillräcklig volym kan värmepumparna köras med full effekt oberoende av årstid eventuellt med vatten från älven som värmekälla sommartid. Levererad temperatur från värmepumparna är max ca 80°C. Det vore fördelaktigt om man kunde höja temperaturen med hjälp av annan spillvärme före inlagring.

#### 3.4.2 Spillvärme, SSAB Domnarvet.

För närvarande används spillvärme från en stegbalksugn ansluten till ett ång/hetvattensystem internt. Domnarvet tillvaratar inte hela den tillgängliga spillvärmemängden från stegbalksugnen. Ytterligare en intressant högtempererad spillvärmekälla är en elektrostålugn. Det är tekniskt möjligt att nyttiggöra även denna värmekälla genom anslutning till ång/hetvattensystemet. Via en ny växlare och en kulvert med anslutning till lagret kan spillvärmerna komma fjärrvärmesystemet tillgodo.

#### 3.4.3 Energifraktion från avfall

Borlänge Industriverk förbränner en energifraktion (siktrest) vilken erhålls vid behandling/separering av hushållsavfall. När värmepumparna i Kvarnsveden kommit in i värmeproduktionen vore det en fördel att inte behöva elda siktresterna sommarmånaderna. Försök pågår med lagring av siktrest, men någon bra lösning finns inte ännu framme.

Det är en intressant möjlighet att använda siktresterna för att höja temperaturen på inlagrad värme från värmepumparna i Kvarnsveden.

#### 4. GEOLOGISKA OCH GEOHYDROLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

##### 4.1 Allmänt

Borlänges centrala delar ligger i Dalälvens dalgång.

Jordlagren i dalgången domineras av silt med lokalt mer än 20 m mäktighet. Den mäktiga Badelundaåsen följer dalgången, men är huvudsakligen överlagrad av silt inom centralortsområdet.

Berg i dagen finns vid Lustberget (sydväst om Södra Backa industriområde), Forsa Klack (2 km norr om centrum) samt Sjöberget (väster om Kvarnsvedens pappersbruk). Dessutom finns berg på 3 - 5 m djup inom Rivoliområdet (mellan centrum och Domnarvets Jernverk).

Berggrunden domineras av grovkornig, delvis porfyrisk granit. Lustberget består huvudsakligen av en mäktig diabasgång.

De geologiska förutsättningarna finns närmare dokumenterade av VIAK (se referenser).

##### 4.2 Värmelagring i jordlager

Förutsättningar för lagring i åsar finns angivna i bl a Byggeforskningsrådets publikationer T1:1981 och G4:1984.

Flödet i Badelundaåsen genom Borlänge är så stort (VIAK), att ogynnsam skiktning och betydande värmeförluster kan förväntas.

Förutsättningarna för värmelagring i finkorniga sediment har ej närmare studerats, främst p g a att erforderliga ytor inom rimligt avstånd från spillvärmekällor och fjärrvärmenät saknas.

Dessutom är generella förutsättningar för lagring i silt mindre utredda än för lagring i lera.

##### 4.3 Värmelagring i berg

De studerade delområdena är tämligen likartade ur bergmekanisk och värmeteknisk synpunkt. Lokal vitteringsbenägenhet för diabasen inom Lustberget bör dock beaktas.



Lokalisering och lay-out för ett värmelager i berg är möjligt att anpassa efter geologiska strukturer på konventionellt sätt för samtliga delområden.

Kostnaderna för värmedistribution mellan spillvärme-källa -lager - fjärrvärmenät är därför avgörande för lokalisering av lagret.

## 5 LAGERUTFORMNING

### 5.1 Bakgrund

För värmelagring i stor skala har olika koncept prövats. Som ett första steg utfördes lagren som isolerade gropar där uppvärmt vatten lagrades från sommar till vinter. Emellertid finner man att denna teknik har sina begränsningar och att den specifika kostnaden för lagret endast sjunker obetydligt sedan en viss storlek uppnåtts.

Nästa steg i utvecklingen var att flytta ned lagret i ett bergrum. Två sådana anläggningar har utförts nämligen i Avesta och Uppsala. Med en sådan förläggning sänks den specifika kostnaden vid stora volymer, och för ett lager i storleksordningen större än  $100.000\text{m}^3$  bör tekniken under gynnsamma förhållanden vara lönsam.

För att ytterligare sänka den specifika kostnaden har flera modifierade förslag lagts fram. Dels att inte lasta ut allt berg ur bergrummet utan att lämna kvar en väsentlig mängd block, som får utgöra en del av lagret, dels att kombinera ett borrhålslager med bergrum.

Nackdelen med ett konventionellt borrhålslager är att en omfattande rördragning fordras för att föra ned värmen i borrhålen. Dessa rör är känsliga för mekanisk åverkan och svåra att justera in, vilket är en väsentlig nackdel för driftsäkerheten hos ett sådant system.

### 5.2 Förslag till utformning av lager

I varje bergrum lagras en del värme i botten och väggar. Genom att utföra rummet i två våningar och förbinda dem med borrhål ökar man denna kontaktyta väsentligt, se figur 3.

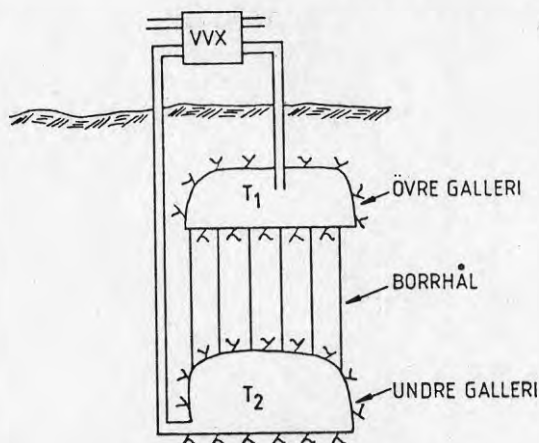


Fig 3 Berglager i två våningar

Genom att utföra lagret på detta vis vinner man dels de installationstekniska fördelar, som ett normalt bergtrum har, med enkla in- och utlagringsanordningar, dels kan man hålla en viss temperaturskiktning i lagret för att bibehålla en så hög temperatur som möjligt.

Berglager i två våningar innebär jämfört med ett traditionellt bergtrumsbyggande att man bygger både på höjden och bredden. Traditionella bergtrum innebär krav på så stora utrymmen i horisontalledet att detta kan bli en svår restriktion i den storleksklass som blir aktuell i Borlänge. Det kompaktare byggnads sättet är också positivt ur värmeförlustsynpunkt.

För utförligare redovisning av berglager i två våningar hänvisas till Byggeforskningsrapport "Värmelagring i bergtrum med två våningar" av Gunnar Gustafsson VIAK AB.

### 5.2.1 Byggnadsteknik

Byggande av bergtrum och tunnlar har mycket gamla traditioner i Sverige. Under 1960- och 1970-talen genomfördes en massiv utbyggnad av oljelager för olika syften. Detta medförde dels en specifik kostnads sänkning för bergtrumsbyggande, dels att en optimal utformning av rummen provades ut.

Normalt är därför bergrumsanläggningarna utformade som ett antal parallella skepp. Spännvidden är 15 - 20 m och höjden 20 - 30 m. Det inbördes avståndet mellan skeppen är 20 - 40 m. Se fig 4.

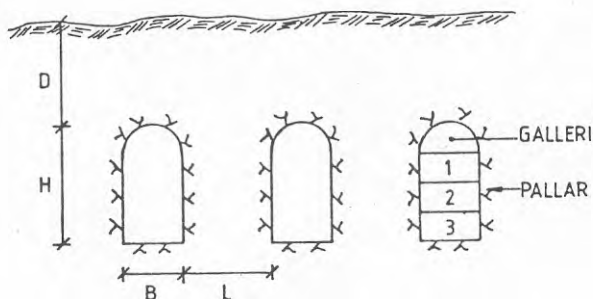


Fig 4 Bergrumslager i flera skepp

Normalt utsprängs rummen genom att ett galleri med en höjd av 4 - 8 m anläggs, varefter resterande berg tas i 2 till 4 pallar.

För ett bergrumslager i två våningar kan gallerisprängningstekniken utnyttjas, vilket skulle ge ett utrymme i övre och undre galleri med en bredd av upp till 20 m och en höjd av minst 5.5 m.

Detta ger möjlighet att utnyttja konventionell borrhingsutrustning i det övre galleriet.

För att ge lagret tillräcklig volym kan flera skepp anläggas parallellt.

### 5.2.2 Borrhningsteknik

Under senare år har tekniken att borra djupa raka hål i berg främst utvecklats för brunnborrings- och gruvindustrin. Införandet av sänkhämmare har väsentligt ökat borrhingskapaciteten, vilket medför att kostnaden kunnat hållas låg. Se fig 5.

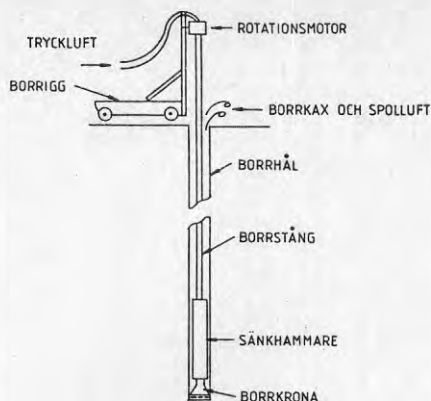


Fig 5. Borrning med sänkhammare

Med denna typ av borrning kan de slumpmässiga hålavvikelserna hållas inom ca 1 - 2% av borraringsdjupet. Till detta kommer de systematiska avvikelserna, som orsakas av bergväxt m m. Dessa bör emellertid stå relativt lika i ett fält av hål och påverkar därför inte lagrets funktion.

Om en avvikelse av ca 2 m kan tolereras ur byggnadsteknisk synpunkt medför detta således ett största verikalt avstånd mellan gallerierna av ca 100 m. Vid större borrhåls längder ökar dessutom specifik borrhålskostnad samt erforderlig utsprängd bergvolym i undre galleri och ramp.

### 5.2.3 Värme att lagra

Ett värmelager blir sannolikt ekonomiskt endast i det fall spillvärme finns tillgängligt i stora kvantiteter. Man finner vidare att lagrets kapacitet är i stort sett proportionellt mot temperatursvinget. Detta medför att man vill ha så hög temperatur som möjligt på det värme som skall lagras.

Det som begränsar temperaturen uppåt är främst bergets kemiska stabilitet då inga känsliga installationer finns och rummet kan sättas under tryck för att undvika kokning.

Av olika praktiska skäl är 120°C sannolikt den högsta temperatur som kan ledas fram till värmeväxlaren ovan lagret, vilket medför en högsta laddningstemperatur av ca 115°C i rummet.

Olika studier av bergets kemiska stabilitet (Claesson & Ronge, 1982) har visat att en temperatur av ca 115°C bör vara möjlig.

#### 5.2.4 Värme från lagret

Ett konventionellt fjärrvärmenät bör kunna tillgodogöra sig värme ned till ca  $+55^{\circ}\text{C}$ . Med värmeväxlingsförluster medför det en lägsta temperatur i lagret av ca  $+60^{\circ}\text{C}$ . Största temperatursving blir således  $55^{\circ}\text{C}$  ( $60-115^{\circ}\text{C}$ ).

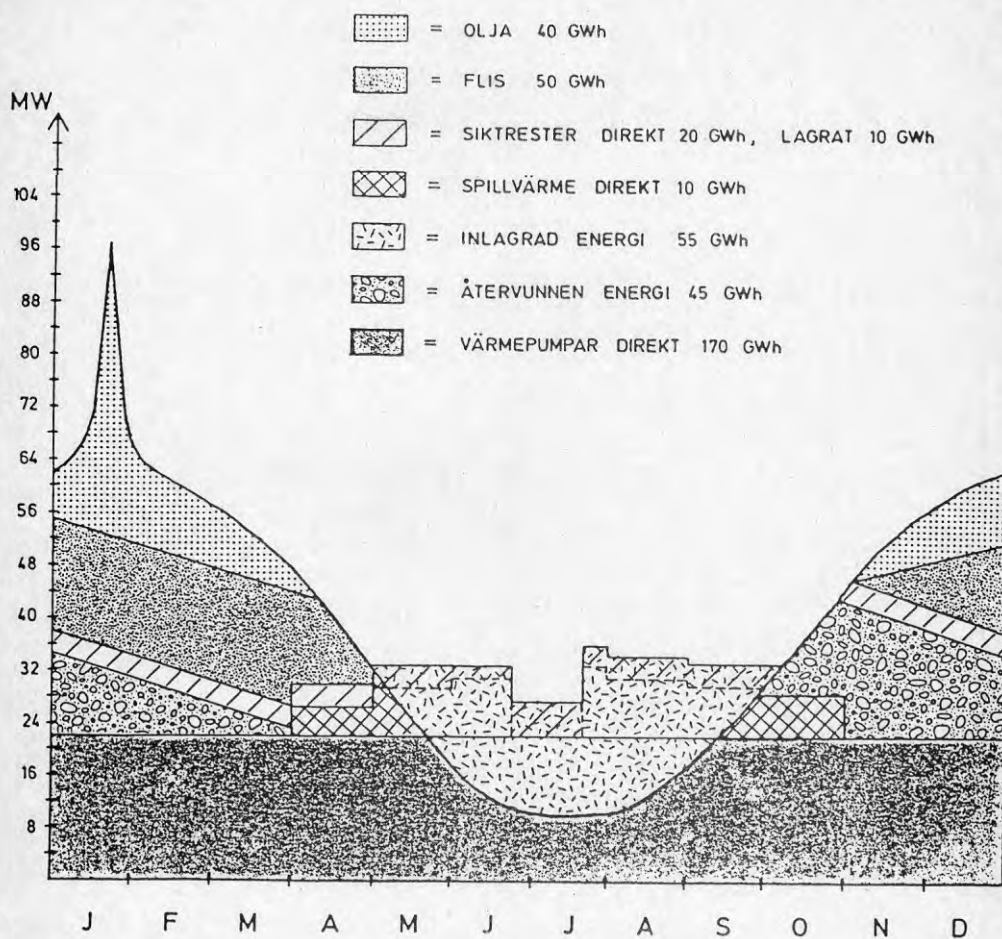
#### 5.2.5 Lagringsperiod

Överskottsvärme för lagring finns främst under somarmånaderna, maj - september, och värmen tillgodogöres under övriga månader.

Kortare lagringsperioder kan dock tänkas om spillvärmekällan avger värme intermittent. I detta fall kan lagrets övre gallerier utnyttjas för effektutjämning.

### 5.3 Dimensionering av lager

I fig 6 finns ett diagram över planerad värmebalans för fjärrvärmenätet i Borlänge. I bilaga 3 finns uppgifter om storlek och tillgänglighet av spillvärmekällor i Domnarvet. Som framgår av bilaga 3 är det främst spillvärmen från en stegbalksugn och en elektrostålugn som är intressanta. Med de ovan nämnda underlagen kan ett varaktighetsdiagram konstrueras, som visar hur värmebalansen kan bli om ett berglager utförs. Diagrammet visas i fig 6.



Figur 6. Planerad värmebalans 1984 med värmelager

Som framgår av fig 6 finns ca 55 GWh tillgängliga för inlagring i ett lager under sommarhalvåret. Den totala inlagringsperioden blir ca 5 månader, d v s ca 150 dygn. Av figuren framgår också den effekt som vid olika tidpunkter kan beräknas finnas tillgänglig för inlagring.

Den återvunna energin ur berglagret har ansatts till 45 GWh. Detta innebär att förlusterna motsvarar  $(55 - 45)/55 = \text{ca } 18\%$ . Efter några års anvärmning av omgivande berg kan förlusterna beräknas bli betydligt lägre.

I fortsättningen antas att inlagringstemperaturen är  $115^{\circ}\text{C}$  under hela inlagringsperioden, utom under semestermånaden då spillvärme från Domnarvet uteblir. Under semestermånaden har antagits att inlagringstemperaturen är ca  $100^{\circ}\text{C}$ . Denna temperatur kan uppnås om en viss ackumulering av siktresten har gjorts, och dessa används för spetsning av det 80-gradiga framledningsvattnet som värmepumparna levererar.

För att kunna beräkna flöden i en inlagringscykel måste förutom effekter och inlagringstemperaturer även returtemperaturer från lagret bestämmas. Under den tidiga delen av inlagringscykeln är returtemperaturen från lagret ca  $60^{\circ}\text{C}$ . Under den senare delen av perioden har uppvärmning skett långt ner i borrhålen varför returtemperaturen börjar stiga.

Dimensioneringen av lagret har skett med hjälp av ett dataprogram.

Datorprogrammet simulerar det termiska förloppet i ett borrhål. Antalet hål måste därför bestämmas för att flödet i ett hål skall kunna beräknas som (totalt flöde)/(antal hål). Antalet borrhål måste ansättas vid den inledande simuleringen. Det som bestämmer antalet hål är att de tillsammans skall kunna lagra den energi som är avsedd att säsongslagras, då lagringskapacitet i vattenvolymer i övre och undre galler frånräknats.

Principen för dimensioneringsberäkningarna visas i bil 2.

Resultatet av dimensioneringen blir 1600 hål i ett hexagonalt mönster med 4 meters delning.

#### 5.4 Lokalisering av lager

Det finns fyra bergformationer inom Borlänge centralort möjliga att bygga bergrum i: Forsa Klack, Lustberget, Sjöberget och Rivoliområdet. Samtliga dessa fyra har ur bergteknisk geologisk och geohydrologisk synpunkt befunnits möjliga och i stort sett likvärdiga att bygga berglager i, av aktuell storlek.

Föreslagen lokalisering har därför styrts av tekniska och ekonomiska fördelar på den värme- och systemtekniska sidan.

Utifrån aspekterna närhet till spillvärmekällorna, och närhet till fjärrvärmeförledningar av tillräckliga dimensioner har Rivoliområdet valts som lokalisering av ett berglager.



## 5.5 Lager lay-out

### 5.5.1 Geologi

Ett värmelagers läge i bergklacken vid Rivoli påverkas av den lokala geologin.

För att kunna lagra upp till ca +115°C varmt vatten erfordras ett naturligt vattentryck motsvarande minst 10 m vattenpelare för att kunna hålla övertryck och undvika kokning i lagret.

Den avsänkta grundvattenytan vid korsningen mellan nya Kvarnsvedsvägen - järnvägen hålls på ca +127.5. Öster om bergplinten faller grundvattenytan mot Dalälven.

Om lagrets övervåning förläggs på nivån ca +100 bedöms erforderligt övertryck kunna hållas med god marginal (> 15 mvp).

Anläggningen orienteras vinkelrätt mot dominerande spricksystem. Denna riktning är okänd för Rivoliområdet. Enligt fältstudier inom Forsa Klack och Sjöberget kan dock en brantstående sprickgrupp i NNO - SSV antas vara dominanta även vid Rivoli.

Från projektering och utförande av nya Kvarnsvedsvägen är en vattenförande sprickzon under och parallell med vägen känd (KM 1982-05-05, VIAK 1983-05-10). Anläggningen lokaliserar öster därom.

### 5.5.2 Utförandeprinciper

Den väsentligaste delen av lagret är borrhålen mellan de två våningarna, se fig 3. För god funktion erfordras hydrualisk kontakt mellan borrhålen inom respektive våning.

Vid tillredning av övre galleri för borrning erhålls samtidigt hydrualisk kontakt.

Lay-outen av övre galleriet måste bli en kompromiss mellan följande delvis motstående parametrar.

- Minimal tillredningsvolym
- Sammanlagd golvyta jämt fördelad inom lagret och anpassad till borrhålens c/c-avstånd (i detta fall c/c 4.0 m).
- Utrymmesbehov för borrhavn. Takhöjd min 5.5 m ger plats för borrning med t ex Roc 601 eller BVB 25 utrustad med sänkbormmaskin. Frigång mellan hål och teoretisk väggkontur har satts till 1.0 m.
- Stabilitet i ett måttligt stort spänningsfält. Eftersom lagret lokaliserar till en bergklack har gravitativt spänningsfält antagits.

Undre galleriet samt rampen till denna erfordras för att erhålla hydraulisk kontakt mellan borrhålen på nedre nivån. Allt utsprängt berg behöver inte lastas ut.

Lagret förusätts byggas rationellt med konventionell utrustning och normal byggtakt (max 2 år).

### 5.5.3 Påhugg och tillfarter

Påhugg (nerfart) görs lämpligen strax öster om Siljansvägen - gamla Kvarnsvedsvägen inom området mellan Tempo och Föreningsbanken. Större delen av området utgör upplag för SSAB.

Inom upplagsområdets västligaste del faller berggrundsytan från drygt +130 till ca +124 inom 50 m. Jordtäcket är 4 - 8 m (VIK 1975-01-10). Erforderlig yta för förskärning för tunnelpåslag blir ca 1.500 m<sup>2</sup> och omfattar ca 5.500 m<sup>3</sup>, varav ca 2.000 m<sup>3</sup> utgör berg.

Tillfartstunnel till lagrets båda gallerier har valts med ca 45 m<sup>2</sup> tunnelarea, vilket ger utrymme för teknisk försörjning och mötande trafik under byggtiden.

### 5.5.4 Tillredning av övre galleri

Teoretiskt borrhålsmönster framgår av fig 7.

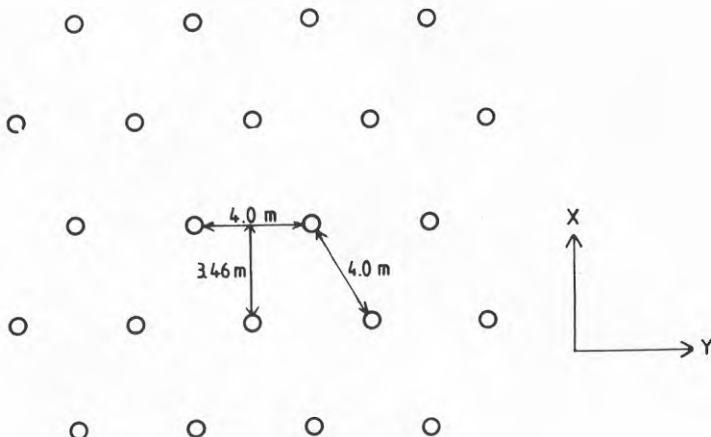


Fig 7 Teoretiskt borrhålsmönster c/c 4.0 m

Antalet borrhålsrader per tunnel bestämmer arean, medan antal borrhål per m tunnel bestämmer total längd. Areor och volymer för tunnlar orienterade i x- och y-riktning enligt fig 7 redovisas i fig 8a respektive 8b. Till vänster i respektive figur redovisas tunnelkontur och area för varierande tunnelbredder. Till höger visas total volym för varierande antal hålrader i x- respektive y-riktning.

Total volym är beräknad enligt:

$$\text{Aktuell area} \times \frac{\text{Antal borrhål} (=1600 \text{ st})}{\text{Borrhål/m tunnel}}$$

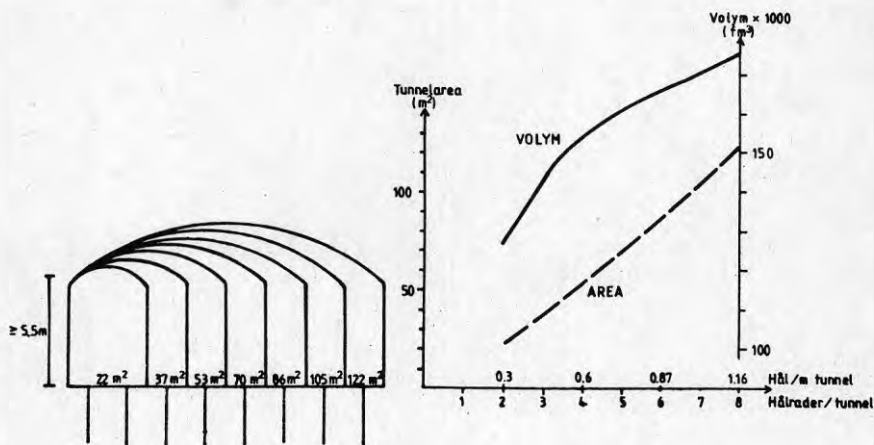


Fig 8 a Tunnlrar i X-ritning

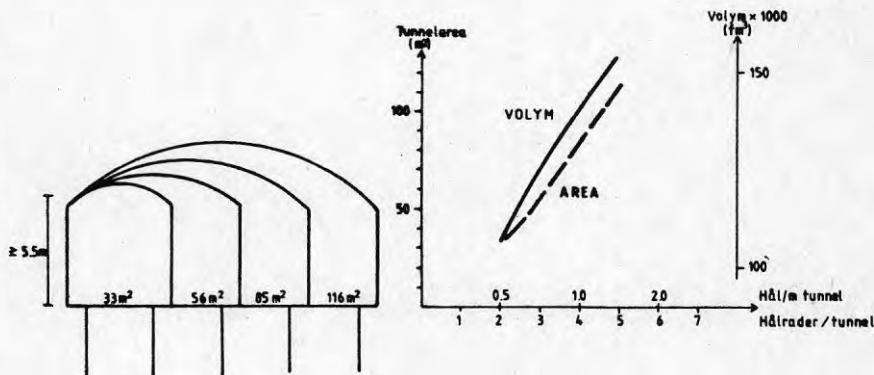
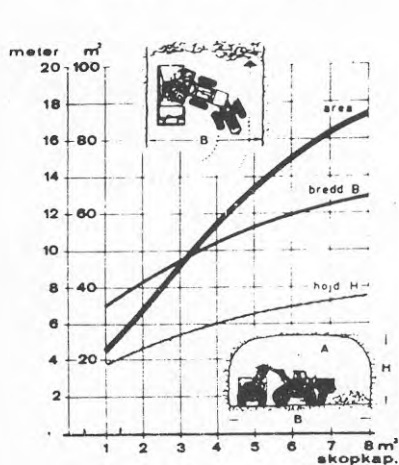


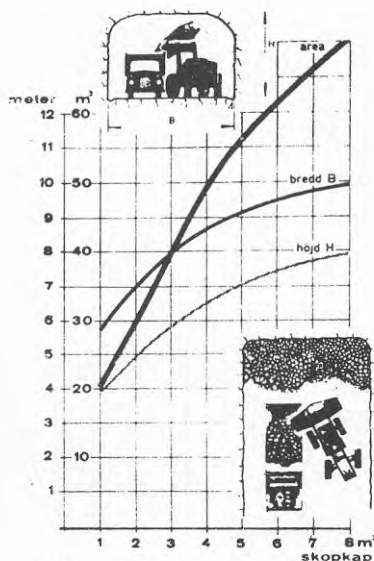
Fig 8b Tunnlrar i Y-ritning

Som framgår av fig 8 ger orientering i y-riktning lägst tillredningsvolym oavsett antal borrhålsrader per tunnel.

Minsta tunnelarea och därmed volym uppfyller dock inte kraven på rationellt byggande. De större tunneldrivningsaggregaten klarar till nöds tunnelbredder ner mot ca 5m, men för utlastning krävs som regel större bredder, se fig 9.



Utrymnesbehov vid lastning med hjullastare med fronttömmande skopa.



Utrymnesbehov vid lastning med hjullastare med sidotömmande skopa.

Fig 9. Tumregel enligt Brännfors

Bredden ca 9 m (3 borrhålsrader per tunnel) bedöms rimlig för rationellt byggande.

Spännvidden ca 9 m är även rimlig ur stabilitetssynpunkt. Avståndet mellan tunnlar (pelare) kan i friskt berg vara ungefär lika med tunnarnas spännvidd för att erhålla långtidsstabilitet (pelaravsättning 50%). Mindre pelaravsättningar är möjliga vid måttliga belastningar.

För att anpassa tunnarna till teoretiskt borrhåls-mönster ansätts varannan pelare till 4.5 m och varannan till 8.5 m. Därmed bortgår en respektive två hålraden. För att underlagrat berg ska samverka med lagret i övrigt, kan sneda borrhål borraras under pelarna.

### 5.5.5 Tillredning av undre galleri

Undre galleriet skall uppta ytan under övre galleriet samt 2 m utanför hålrader för att möjliggöra hydraulisk kontakt även vid borrhålsavvikelser (2%).

Allt berg behöver inte lastas ut. Från två tunnlar kan mellanliggande pelare skjutas ner, t ex enligt fig 10.

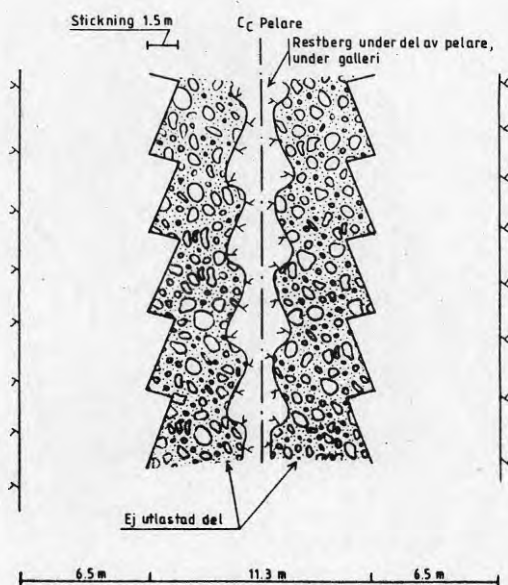


Fig 10. Nedsprängning av pelare, 4 m indrift. Denna borrarng klaras av ett större 3-4 bomsaggregat med möjlighet att vinkla ca  $50^{\circ}$  i sidled (t ex Boomer, Promec). Alternativt kan den extrema stickningen utelämnas om ett mindre aggregat typ Cavodrill används för borrarng i pelare.

Eftersom spännvidden blir stor efter nedsprängning av pelare, ökar rasrisken. Hänsyn till detta måste tas vid arbetsplaneringen. Ev ras påverkar ej lagrets funktion.

### 5.5.6 Lay-out

Med förutsättningar enligt ovan kan lagret t ex utformas enligt fig 11.

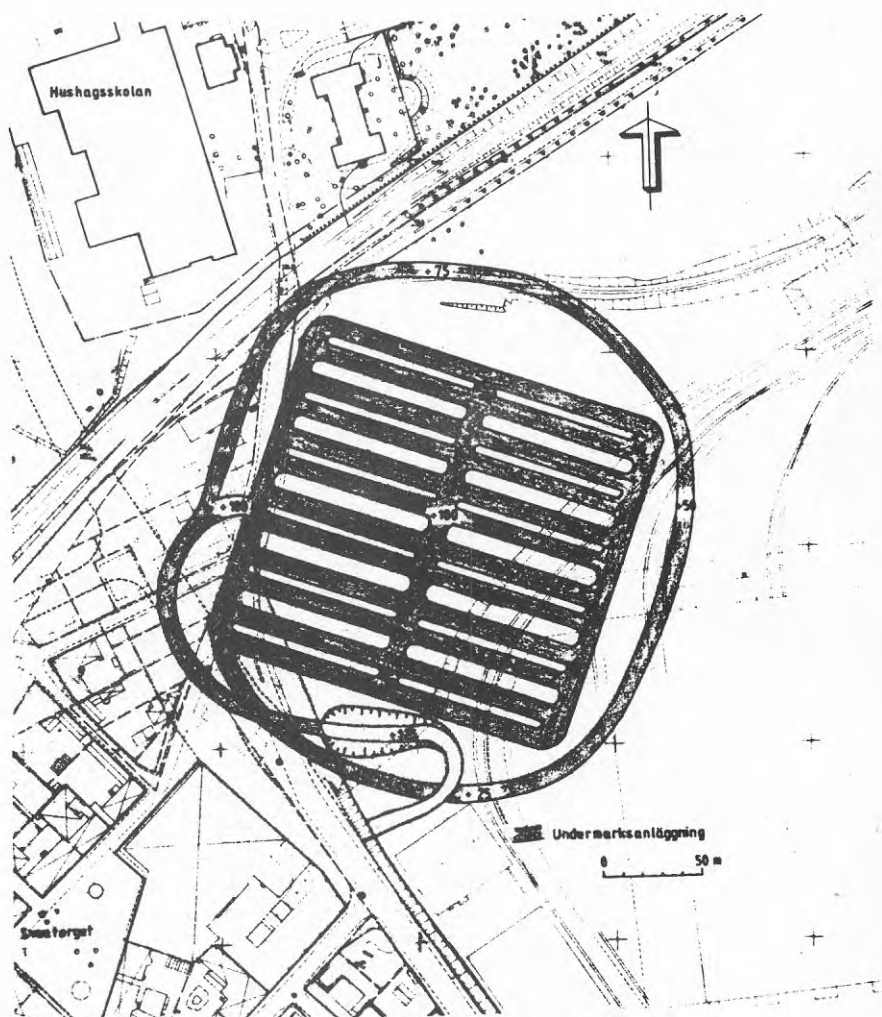


Fig 11. Plan, över övre galleri och utfarter

Ett tvärsnitt av 4 av de 12 tunnarna i respektive galleri visas i fig 12.

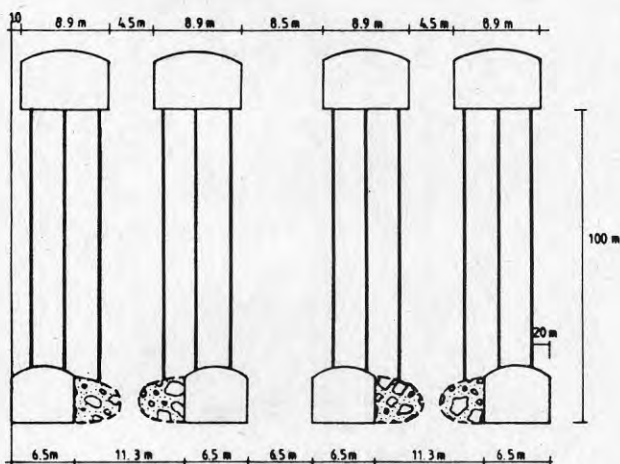


Fig 12. Del av tvärsektion (4 av 12 tunnlar). För att utnyttja berget mellan tunnlar kan borrhål göras diagonalt mellan rum.

Inom varje galleri utförs lämpligen ca 3 tunnlar vinkelrätt mot de 12 tunnarna (vid ändar och i mitten). Dessa bidrar till rationellt byggande (fler fronter tillgängliga) och god hydrualisk kontakt i lagrets gallerier.

Lay-outen ska ses som ett exempel på anpassning efter förutsättningarna i avsnitt 5.5.2. Geometrin kan ändras av andra spillvärmemängder eller driftcykler. Lagret är även flexibelt så till vida att geometrin kan anpassas efter andra än exemplifierade maskiner, vilket kan påverka byggkostnaden i positiv riktning.

## 6 PRINCIPLÖSNING. SYSTEM OCH DRIFTSTRATEGI

### 6.1 Principförslag

En tänkbar principiell systemlösning visas i bil 1.

Principlösningen har tagits fram för att bland annat uppfylla nedanstående förutsättningar:

- stort tempertursving i lagret för att hålla nere investeringen per lagrad energienhet.
- möjliggöra att köra fulleffekt på värmepumparna i Kvarnsveden sommarperioden.
- undvika att högtempererad spillvärme blandas med lågtempererad värme före inlagring.
- möjliggöra eldning av siktreser sommartid för att komma ifrån lagringsproblemen med dessa.

Av bil 1 framgår även det principiella kopplings-schemat för spillvärmelagringens värmeomvandlings-central.

Från siktrestförbränningen i Bäckelund dras en separat framledning för att möjliggöra spetsning med högtemperaturvärme från siktresten.

Inkoppling på fram- och returledning utförs med ett ventilarrangemang som möjliggör att ta vatten från antingen retur eller tillopp beroende på driftfall. Exempel på några driftfall lämnas nedan.

### 6.2 Exempel på driftfall

#### 6.2.1 Sommarfall

I sommarfallet är målsättningen att värmepumparna i Kvarnsveden skall producera värme med max kapacitet hela sommarperioden. Detta åstadkommes genom att en artificiell belastning, värmväxlaren vid bergrummet, kyler fjärrvärmenätet. Framledningsvatten tas ur nätet och spetsas med het spillvärme i Domnarvet och/eller panna för siktresten. På detta vis kan maximal inlagringstemperatur uppnås.

När den verkliga belastningen på fjärrvärmenätet ökar, kompenseras detta med att uttaget av framledningsvatten för värmväxlaren vid bergrummet minskas.



### 6.2.2 Höstfall

När fjärrvärmelasten, jämfört med sommarfallet ökat och belastningen är ungefär lika stor som värmepumparnas max kapacitet finns ännu ett behov av att lagra het spillvärme från Domnarvet samt siktrestförbränningen. Detta sker genom att returvatten ur nätet värms till inlagringstemperatur, avkyls via värmeväxlaren vid bergrummet, samt återförs till nätets retursystem.

När belastningen ökar ytterligare måste spillvärme från Domnarvet eller siktresten direkt utnyttjas för värmeförsörjningen. Den heta spillvärmens avkyls i detta fall till erforderlig framledningstemperatur i nätet. Ännu kan således en viss inlagring ske med hjälp av värmeväxlaren.

När spillvärmekällornas bidrag till värmeförsörjningen på grund av ökande värmelast blir litet börjar urladdningsförloppet av lagret. Om endast ett litet värmetillskott från lagret behövs, kan det uttagna värme-flödet från toppen av lagret endast bli svagt avkylt. I detta fall bör flödet återföras till botten på det övre galleriet.

### 6.2.3 Vinterfall

När spillvärmekällornas direkta bidrag till värmeförsörjningen är obetydligt tas returvatten ur nätet och uppvärms till erforderlig framledningstemperatur via värmeväxlaren. I detta fall blir värme-flödet från toppen av bergrummet starkt avkylt och återföres till det nedre galleriet. För att utnyttja lagret effektivast möjligt är det önskvärt att det nedre galleriet tillförs vatten som är så starkt avkylt som möjligt. Det är därför angeläget att forcera ut värme under perioder då returtemperaturen i nätet är som lägst, dvs vid ca 0°C utetem. (jmf fig 4 bilaga 3).

När en stor del av vintern har förflutit kan temperaturen i bergrumslagrets topp vara otillräcklig för erforderlig framledningstemperatur. I detta läge distribueras hetvatten via kulvert från Bäckelund för spetsning till erforderlig temperatur efter värmeväxlaren. På detta vis kan lagret alltså urladdas på energi.

## 7. EKONOMI

### 7.1 Förutsättningar

I de ekonomiska kalkylerna medtas investeringar från tomtgräns vid Domnarvet. Erforderliga anläggningar inom Industriområdet förutsätts i kalkylerna belasta SSAB och att dessa investeringar bäres av de fördelar ett utökat internt spillvärmeutnyttjande medför.

Nedanstående använda å-priser har bedömts vara rimliga med hänsyn tagen till lokala förhållanden.

### 7.2 Berg och markarbeten

Påhugg, jordschakt	40 kr/m <sup>3</sup>
" bergschakt inkl förstärkning	90 kr/m <sup>3</sup>
Tillfart, ramp, övre galleri	145 kr/fm <sup>3</sup>
Nedre galleri	150 kr/fm <sup>3</sup>
" " ej utlastat berg	90 kr/fm <sup>3</sup>
" " tvärorter	155 kr/fm <sup>3</sup>
Borrhål	85 kr/m

Transport av sprängsten beräknas ske till Södra Backa industriområde eller nedlagd Sandtäkt i Tjärna med lastbil (2-3 km från påhugg).

Sprängstenen kan om den krossas upp ha ett värde kanske av minst 1 Mkr. Detta har dock inte beaktats i kalkylen.

Enhet	å-pris	Mängd	Pris (Mkr)	Summa (Mkr)
Ovan jord				
Etablering:			2.0	
Markhyra SSAB	35/m <sup>2</sup> och år	7000 m <sup>2</sup>	0.5	
Jordschakt	40/fm <sup>3</sup>	3500 fm <sup>3</sup>	0.3	
Bergschakt	80/fm <sup>3</sup>	2000 fm <sup>3</sup>		
Byggväg	600/m	150 m	0.1	2.9
Under jord				
Nerfart (165m x 45m <sup>2</sup> )	145/fm <sup>3</sup>	7425 fm <sup>3</sup>	1.1	
Övre galleri (12 tunnlar x x 187m x 56m <sup>2</sup> )	145/fm <sup>3</sup>	125664 fm <sup>3</sup>	18.2	
Förbindelser inom övre galleri	145/fm <sup>3</sup>	9300 fm <sup>3</sup>	1.3	
Ramp (750m x 45m <sup>2</sup> )	145/fm <sup>3</sup>	33750 fm <sup>3</sup>	4.9	
Undre galleri (12 tunnlar x x 187m x 37m <sup>2</sup> )	150/fm <sup>3</sup>	83028 fm <sup>3</sup>	12.5	
Undre galleri, ej utlastat berg (12 x 187m x x 16m <sup>2</sup> )	90/fm <sup>3</sup>	35900 fm <sup>3</sup>	3.2	
Förbindelser inom undre galleri	155/fm <sup>3</sup>	7210 fm <sup>3</sup>	1.1	42.3
Borrning (100m)	85/m	1600 st	13.6	13.6
			Summa	58.8

### 7.3 Värmeteknisk utrustning

	Mkr
Kulvert, DN 250 1600m x 1800 kr/m	3.0
Värmeväxlare (omvandlingscentral)	1.0
Ventiler	0.5
Montage inom värmeomvandlingscentral	0.5
Styr- och reglerutrustning	1.5
Övriga kulvertar	<u>4.0</u>
Summa	10.5

### 7.4 Investeringskalkyl

	Mkr
Geologisk förundersökning	0.5
Vattenfyllning	0.2
Förvärmning	3.0
Vattenbehandlingsutrustning	0.5
Berg och Markarbeten	58.5
Värmeteknisk utrustning	10.5
Projektering, byggledning, kontroll	3.0
Oförutsett	<u>3.8</u>
Summa	80.0

### 7.5 Drift och underhållskostnader

Med tillgång till ett lager i fjärrvärmesystemet kan produktionsanläggningarna köras med jämnare last, låglastområden för respektive produktionsenhet undvikas samt antalet start och stopp reduceras.

Detta ger bättre verkningsgrader för produktionsenheterna och lägre drift och underhållskostnader för dessa samt längre livslängder. Man kanske till och med kan minska skiftgången på obekvämt arbetstid, nätter och helger, med lagrets hjälp.

Ovan nämnda positiva konsekvenser ur drift och underhållssynpunkt antas i de ekonomiska kalkylerna vara av samma storleksordning som de tillkommande drift och underhållskostnaderna. Inga tillkommande eller avgående kostnader för lagret inklusive erforderliga kringanläggningar redovisas av denna anledning.

### 7.6 Driftkostnadsbesparing

Till lagret beräknas 55 GWh inlagras varav 45 GWh utmatas på fjärrvärmenätet under inlagringsförloppet.

Inbesparad olja  $45 \times 10^6$  kWh  $\times$  0.228 kr/kWh = 10.26 Mkr

Tillkommande sommarel till värmepumpar i Kvarnsveden

$$20 \times 10^6 \text{ kWh} \times 0.05 \text{ kr/kWh} = \underline{-1.2}$$

Årlig driftkostnadsbesparing 9.0

Det pris kommunen kan betala till SSAB för spillvärmen är en förhandlingsfråga. I kalkylen har ingen ersättning medtagits.

### 7.7 Pay-off tid

Utan hänsyn till ersättning för spillvärme blir pay-off tiden

$$\frac{80.0}{9.0} = 8.9 \text{ år}$$

## REFERENSER

Arbetarskyddsstyrelsen: Berganvisningar. Nr 67 1969,  
reviderad 1974

Atlas Copco: Tryckluftshandboken 1973  
Brännfors: Bergsprängningsteknik

Byggeforskningsrådet, miljökonsekvensgrupp: Miljö-  
konsekvenser av värmeutvinning och värmelagring i mark  
och vatten G2:1983.

Byggeforskningsrådet: Värme i jord, berg och vatten.  
Utvinning och lagring. T1:1981

Byggeforskningsrådet, markvärmegrupp: Markvärme. Utvin-  
ning och lagring G4:1984

Byggeforskningsrådet: Värmelagring i bergrum med två  
vånigar. VIAK AB Gunnar Gustafson.

Claesson T, Gustavsson G, Ronge B: Löslighet hos  
grusmaterial i vatten av olika temperatur och samman-  
sättning. BFR R96:1983

Hjelmqvist S, Kulling = 1948: Beskrivning till kart-  
bladet Falun. SGU ser Aa nr 189.

KM, 1981: Utbyggnadsutredning för industriområdet  
Lustberget. Rapport 1981-03-16.

KM, 1982: Kvarnsvedenvägen KM 0/250-0/680. Förfråg-  
ningsunderlag 1982-05-05.

Olsson G 1964: Rullstensåsarna och deras utnyttjande i  
Kopparbergs län: Länsutredning för Kopparbergs län.

VIAK AB, 1972: Nygårdarna-Jacobsgrdarna. Grundunder-  
sökning för byggnadsplan 1972-01-26.

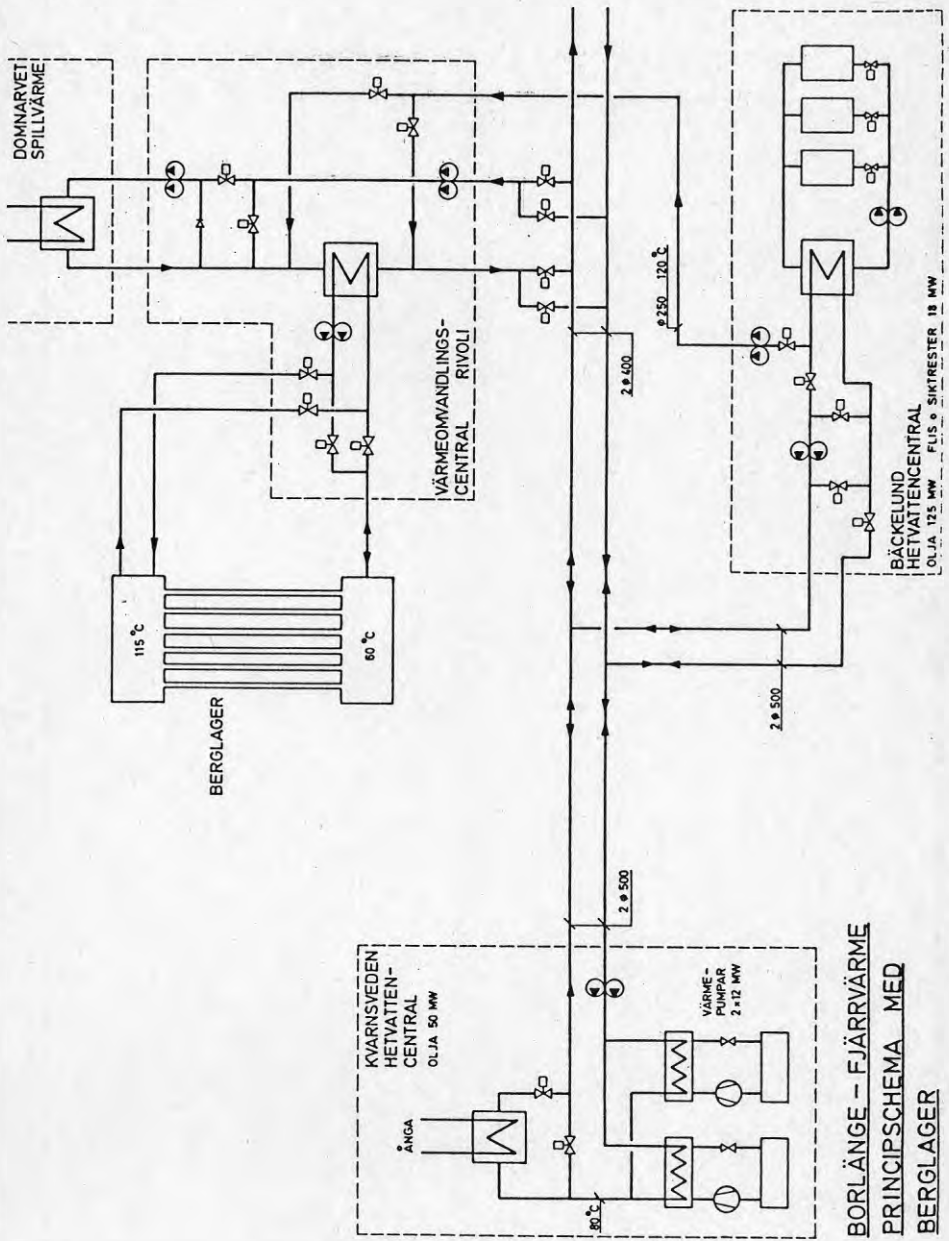
VIAK AB, 1980: Geoteknisk översikt, Centrala tätorts-  
området, Borlänge. Rapport 1980-08-29.

VIAK AB, 1972-1983: Flera utredningar för huvudvatten-  
tåkten i Övre Tjärna.

VIAK AB, 1983: Rivoliprojektet, geoteknik,  
arbetsskederapport 1983-05-10.

VIAK AB, Grundvattennivåobservationer inom centrala  
tätortsområdet, Borlänge 1983-12-30.

VIAK AB, 1983: Lagring av spillvärme i bergrum och  
akviferer för fjärrvärmenät i Borlänge. Geologiska  
förutsättningar.



## BILAGA 2

Dimensionering av lager

1. Inledning
2. GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR
3. LAGERKAPACITET HOS ETT BORRHÅL
4. MODELLBERÄKNING AV TEMP I OCH KRING ETT BORRHÅL
  - 4.1 Grundläggande samband
  - 4.2 Differensformulering av problemet
  - 4.3 Inre randvillkor
  - 4.4 Yttre randvillkor
  - 4.5 Programmets uppbyggnad
5. BESTÄMNING AV DELNING MELLAN BORRHÅLEN
6. BESTÄMNING AV INDATA
7. SIMULERING AV EN INLAGRINGSPERIOD
8. SIMULERING AV EN URLADDNINGSPERIOD



## 1. INLEDNING

Nedanstående beskrivning av principerna för dimensionering av lagret är i stora delar ett utdrag ur byggforskningsrapport "Värmelagring i bergrum med två våningar" av Gunnar Gustafson, VIAK AB.

## 2. GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR

För att finna lämplig geometri av ett borrhålslager har numeriska beräkningar med dator utnyttjats. Härvid har antagits att borrhålen placeras i ett hexagonalt mönster (jmf fig 1).

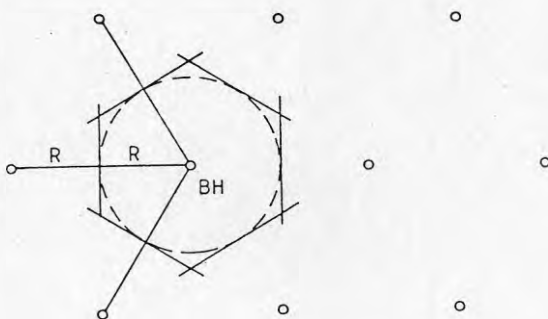


Fig .1 Hexagonalt borrhålsmönster

Influensområdet kring varje borrhål kan då approximeras till en cylinder med radien  $R$ , där  $R$  är halva delningen mellan hålen.

Av flera skäl, som framgår av kapitel 5.2.2, är det lämpligt att ansätta en maximal borrhålslängd av ca 100 meter.

Bergets termiska egenskaper vad gäller värmeledningsförmåga, värmekapacitet och densitet finns redovisade i bilaga 4. Vid datorsimuleringar av lagringscykler har följande värden använts:

Värmeledningstal	$\lambda_s$	= 3.1 W/mK
Specifik värmekapacitet	$C_s$	= 0.8 kJ/kg
Densitet	$\rho_s$	= 2650 kg/m <sup>3</sup>

De ovanstående parameterarnas värden får anses vara typiska för svenskt urberg av gnejser och granitiska bergarter.

### 3. LAGERKAPACITET HOS ETT BORRHÅL

Borrhålslagret antas arbeta mellan temperaturnivåerna  $115^{\circ}\text{C}$  och  $60^{\circ}\text{C}$ . Temperatursvinget blir därmed  $115 - 60 = 55^{\circ}\text{C}$ . Maximal lagringskapacitet för ett borrhål med radien  $R$  och längden  $L$  kan tecknas:

$$W = \Pi \times R^2 \times L \times \rho_s \times C_s \times \Delta T$$

Med ovan antagna parametrar blir därmed den maximala lagringskapaciteten för ett borrhål:

$$\begin{aligned} W &= \Pi R^2 \times 100 \times 2650 \times 0.8 \times 55 = \text{ca } 3.66 \times R^2 \times 10^7 \text{ kJ} \\ &= \text{ca } 10.2 \times R^2 \text{ MWh} \end{aligned}$$

#### 4. MODELLBERÄKNING AV TEMP I OCH KRING ETT BORRHÅL

För att göra beräkningar av temp i och kring ett borrhål har en numerisk modell av lagersystemet byggts upp.

##### 4.1 Grundläggande samband

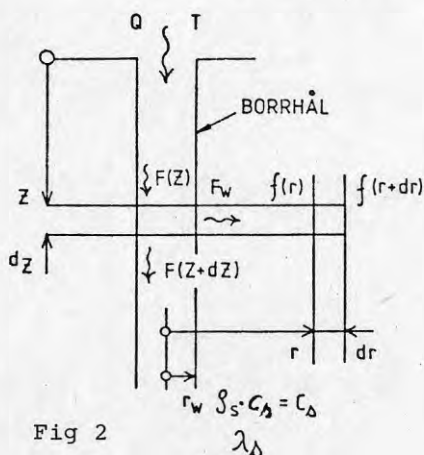
Värmen överförs genom direktkontakt mellan värmebäaren, vatten, och borrhålsvägg, då inga rörsystem finns i hålet. Detta medför att övergångsmotståndet mellan borrhål och vägg blir lågt.

En rimlig approximation är vidare att anta värmeflödet radiellt kring borrhålet, med hänsyn till att avståndet mellan hålen är mycket mindre än deras längd.

Om omgivningstemperaturen sättes till  $T_0 = 0$  blir värmeflödet i borrhålet:

$$F = Q \cdot C_w \cdot T$$

Där  $Q$  är flödet i borrhålet och  $C_w = \int c_w$ , produkten av vattnets densitet och värmekapacitet, se fig 2.



$$F(Z) = Q \cdot C_w \cdot T(Z)$$

$$F_w = \int f \cdot dz$$

$$f(r) = -\frac{dT(r)}{dr} \cdot \lambda \cdot 2\pi r$$

För borrhålet kan då följande samband ställas upp:

$$Q \cdot C_w \cdot T(Z) - f \cdot dz = Q \cdot C_w \cdot T(Z+dz)$$

Eller

$$\frac{dT}{dz} = - \frac{f(z,t)}{Q \cdot C_w} \quad 3$$

För området utanför borrhålet gäller följande samband:

$$f(r) - \frac{\partial T}{\partial t} \cdot C_s \cdot 2\pi r \cdot dr = f(r + dr) \quad 4$$

Eller

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{C_s}{\lambda} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad 5$$

#### 4.2 Differensformulering av problemet

För lösning av flödesekvationer har finita differensmetoden utnyttjats.

Om området kring berget delas in i ringar med tjockleken  $\Delta r$  erhålles med beteckningar enligt figur 3.

$$\frac{\partial T}{\partial r} \approx \frac{T_{m+1} - T_m}{\Delta r} \quad 6a$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \approx \frac{T_{m+1} - 2T_m + T_{m-1}}{(\Delta r)^2} \quad 6b$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_m^{t+\Delta t} - T_m}{\Delta t} \quad 6c$$

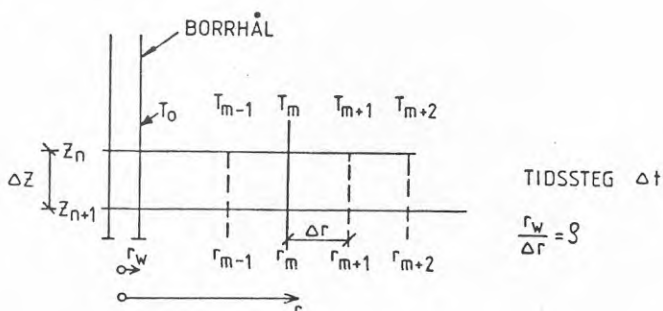


Fig 3 Differensnät för modellberäkning

Med dessa antaganden antages värmeflödet kring borrhålet vara radiellt och den vertikala komponenten försummas. Detta bör vara berättigat, då influensraden under en lagringsperiod kan visas vara i storleksordningen 5 m medan borrhåls längden är omkring 100 m.

Differentialekvationen .5 kan således omformas till:

$$\frac{T_{m+1} - 2 T_m + T_{m-1}}{\Delta r^2} + \frac{1}{(m+\rho) \Delta r} \cdot \frac{T_{m+1} - T_m}{\Delta r} = \frac{C_s}{\lambda} \cdot \frac{T_m^{t+\Delta t} - T_m}{\Delta t} \quad 7$$

Eller:

$$T_m^{t+\Delta t} = T_m + \frac{\lambda \cdot \Delta t}{C_s (\Delta r)^2} \left[ (T_{m+1} - 2 T_m + T_{m-1}) + (T_{m+1} - T_m) / (\rho + m) \right] \quad 8$$

Temperaturen efter nästa tidssteg kan således direkt beräknas om temperaturerna vid ett visst tillfälle är kända. Enligt McWorther och Sunada (1977) är lösningen stabil om:

$$\frac{\lambda \cdot \Delta t}{C_s (\Delta r)^2} < \frac{1}{2}$$

### 4.3 Inre randvillkor

Vid borrhålsväggen kan värmeflödet approximeras med:

$$f = \frac{(T_0 - T_1) 2\pi\lambda}{\ln(r_\omega + \Delta r)/r_\omega} \quad 10$$

Vidare gäller att värmeflödet i borrhålet är

$$H_n = Q \cdot C_\omega \cdot T_{n0} \quad 11$$

Samt att

$$H_n = H_{n-1} - f_n \cdot \Delta z \quad 12$$

En kombination av dessa tre ekvationer gör det således möjligt att beräkna borrhålstemperaturen vid nivån n enligt:

$$H_n = H_{n-1} + (T_{n0} - T_{n1}) \cdot 2\pi\lambda \Delta z / \ln(1 + 1/\rho) \quad 13a$$

$$T_{n0}^{t+\Delta t} = H_n / QC_\omega \quad 13b$$

### 4.4 Yttre randvillkor

Som tidigare nämnts blir influensområdet kring varje borrhål vid ett hexagonalt borrhålsmönster approximativt en cylinder med halva borrhålsavståndet som radie. Av symmetriskäl kan cylinderns mantelyta betraktas som en isolerande yta. Detta innebär att något värmeflöde inte kan passera. För randen, nodpunkt M, gäller då:

$$T_M^{t+\Delta t} = T_M - \frac{\lambda}{C_s} \cdot \frac{2(\rho + M + 1)}{2M + 2\rho - 1} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta r)^2} \cdot (T_M - T_{M-1}) \quad 14$$

#### 4.5 Programmets uppbyggnad

Programmet kan för godtycklig tid beräkna temperaturen i de olika nodpunkterna. Indata utgör flöde genom borrhålet, ingångstemperatur, termiska data för berggrunden samt tidssteg och nodpunktsavstånd. Ändring av flöde och inlagringsreperatur kan göras vid godtycklig tidpunkt. Denna möjlighet är nödvändig vid simulering av verkliga lagringsförlopp.

#### 5. BESTÄMNING AV DELNING MELLAN BORRHÅLEN

För att kunna utforma ett optimalt borrhålslager måste hänsyn tas till såväl de termiska egenskaperna som ekonomiska faktorer. Problemet att bestämma delning mellan borrhålen belyser detta. Det kan exempelvis från termisk synpunkt vara fördelaktigt att ha liten delning mellan hålen då detta innebär hög uppvärmning av bergmassan. Liten delning mellan borrhålen innebär dock många hål och därmed hög borrhålskostnad.

I de fortsatta beräkningarna har antagits att berglagret utförs med borrhål med 100 mm diameter och delning 4 m ( $R=2m$ ). En sådan lagermodell har goda termiska egenskaper i den tillämpning som är aktuell, samt ger rimliga tillredningskostnader.

## 6 BESTÄMNING AV INDATA

I fig 1 finns ett diagram över planerad värmebalans för fjärrvärmenätet i Borlänge. I bilaga 3 finns uppgifter om storlek och tillgänglighet av spillvärme-källor i Domnarvet. Som framgår av bilaga 3 är det främst spillvärmen från en stegbalksugn och en elektrostålugn som är intressanta. Med de ovan nämnda underlagen kan ett varaktighetsdiagram konstrueras, som visar hur värmebalansen kan bli om ett berglager utförs. Diagrammet finns i fig 4.

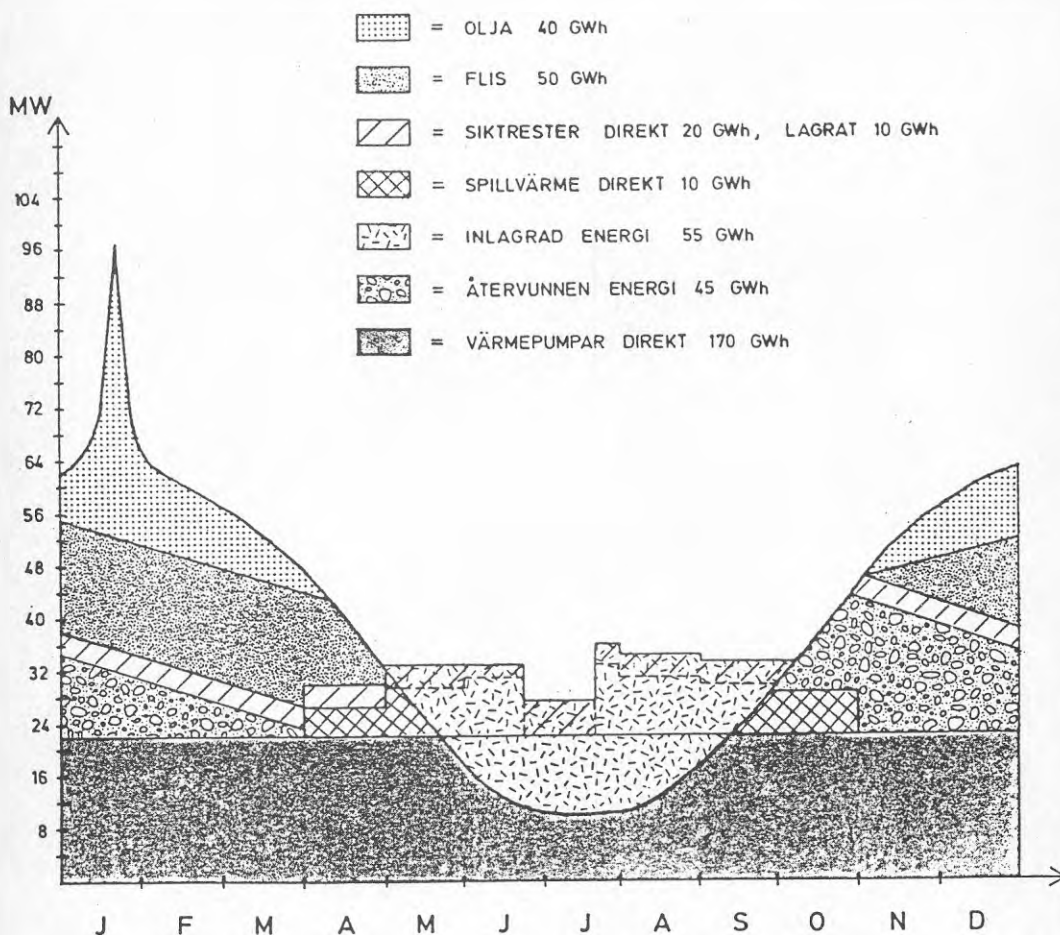


Fig 4 Planerad värmebalans 1984 med värmelager.



Som framgår av fig 4 finns ca 55 GWh tillgängliga för inlagring i ett berglager under sommarhalvåret. Den totala inlagringsperioden blir ca 5 månader, dvs ca 150 dygn. Av figuren framgår också den effekt som vid olika tidpunkter kan beräknas finnas tillgänglig för inlagring.

Den återvunna energin ur berglagret har ansatts till 45 GWh. Detta innebär att förlusterna motsvarar  $(55-45)/55 = \text{ca } 18\%$ . Efter några års anvärmning av omgivande berg kan förlusterna beräknas bli betydligt lägre.

I fortsättningen antas att inlagringstemperaturen är  $115^{\circ}\text{C}$  under hela inlagringsperioden, utom under semestermånaderna då spillvärme från Domnarvet utelämnas. Under semestermånaderna har antagits att inlagringstemperaturen är ca  $100^{\circ}\text{C}$ . Denna temperatur kan uppnås om en viss ackumulering av siktresten har gjorts, och dessa används för spetsning av det  $80^{\circ}\text{C}$ -framledningssvattnet som värmepumparna levererar.

För att kunna beräkna flöden i en inlagringscykel måste förutom effekter och inlagringstemperaturer även returtemperaturer från lagret bestämmas. Under den tidiga delen av inlagringscykeln är returtemperaturen från lagret ca  $60^{\circ}\text{C}$ . Under den senare delen av perioden har uppvärmning skett långt ner i borrhålen varför returtemperaturen börjar stiga. Under programexekveringen kan man fortlöpande kontrollera utloppstemperaturerna från borrhålet. På detta vis kan hänsyn tas till de stigande returtemperaturerna vid beräkning av det totala flödet under inlagring.

Datorprogrammet simulerar det termiska förloppet i ett borrhål. Antalet hål måste därför bestämmas för att flödet i ett hål skall kunna beräknas som (totalt flöde)/(antalet hål). Antalet borrhål måste ansättas vid den inledande simuleringen. Det som bestämmer antalet hål är att de tillsammans skall kunna lagra den energi som är avsedd att säsongslagras, då lagringskapacitet i vattenvolymer i övre och undre galleri frånräknats.

## 7. SIMULERING AV EN INLAGRINGSPERIOD

Vid beräkning av en inlagringsperiod enligt nedan har antagits att anvärmning av berglagret redan är gjord. Denna anvärmning kan beräknas ta ca 4-5 årscyklar. Redan under den andra cykeln torde dock ca 85% av lagrets kapacitet kunna utnyttjas.

Som tidigare nämnts är dataprogrammet upplagt så att indata kan ändras vid godtycklig tidpunkt. Inlagringsförloppet kan därför delas in i perioder så att hänsyn tas till ändringar av spillvärmekällornas temperatur och effekttillskott.

En komplikation vid beräkning av ett verkligt fall är den buffert i inlagringsförloppet som vattenmagasinet i övre galleriet är. Härvid har antagits att tidsfördröjningen motsvarar en omsättning av den vattenpelare som finns över varje borrhål. Denna vattenpelares höjd (= övre galleriets höjd) är ca 5 m. Volymen över varje borrhål, med  $R=2$  m, är således

I figurer 5 och 6 redovisas resultat av beräkningar av ett inlagringsfall med 1600 st borrhål med delning 4 m. Figur 5 visar hur in- och utloppstemperaturer i ett borrhål varierar under inlagringsperioden. Figur 6 visar hur den inlagrade effekten per borrhål varierar under perioden. Ytan under effektkurvan motsvarar den inlagrade energimängden. Denna blir ca 32.8 MWh per borrhål. 1600 st hål lagrar således  $1600 \times 32.8 =$  ca 52 500 MWh = 52.5 GWh.

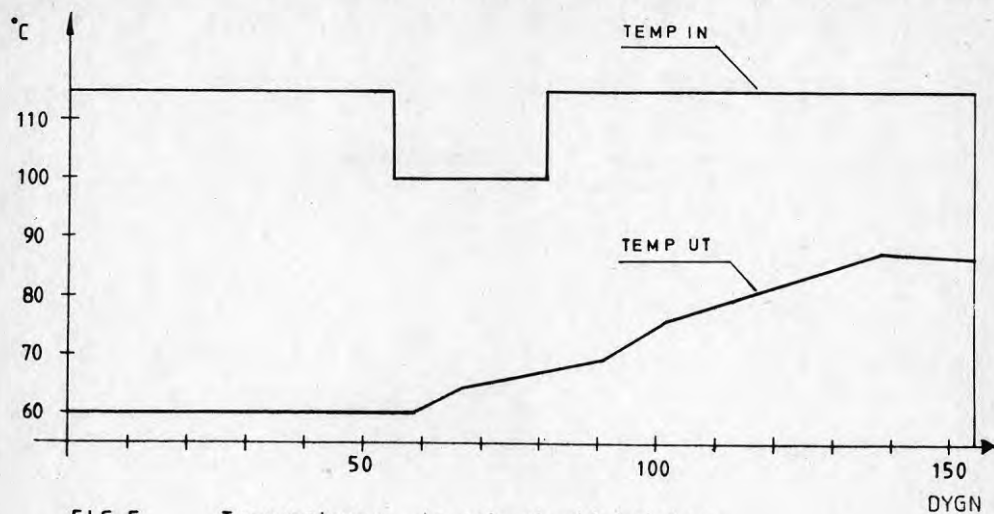


FIG.5 Temperaturer in och ut vid lagring

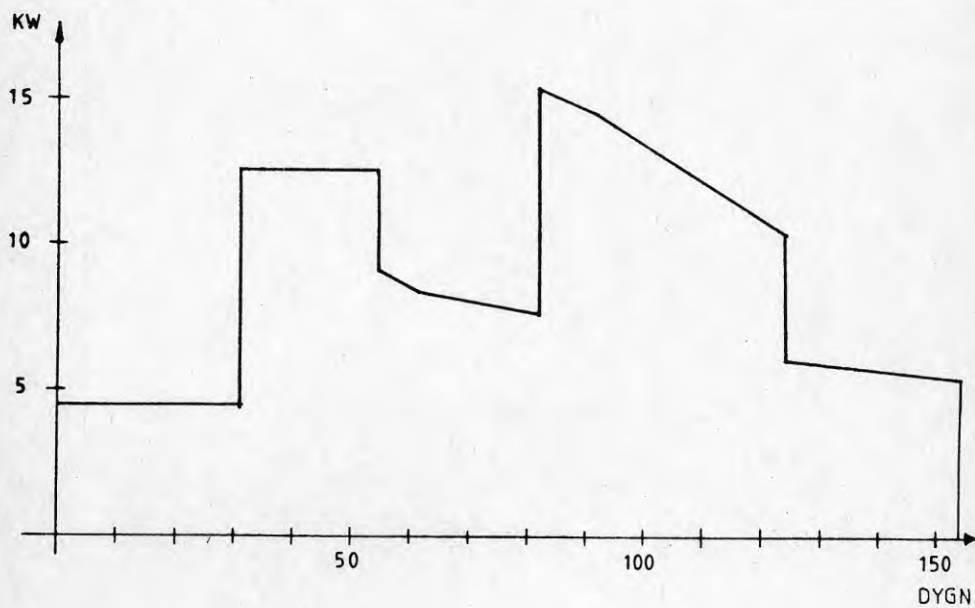


FIG.6 Inlagrad effekt och energi

## 8. SIMULERING AV EN URLADDNINGSPERIOD

Ett urladdningsförlopp kan simuleras analogt med inlagringsförloppet. Ett urladdningsförlopp enligt fig 4, med forcerad uttömning av värmelagret i början av uppvärmningssäsongen, har beräknats. Resultaten redovisas i figurerna 7 och 8. Totalt urladdad energi ur ett borrhål blir ca 28.4 MWh. 1600 st borrhål urladdar således ca  $28.4 \times 1\ 600 = \text{ca } 45\ 500 \text{ MWh} = 45.5 \text{ GWh}$ .

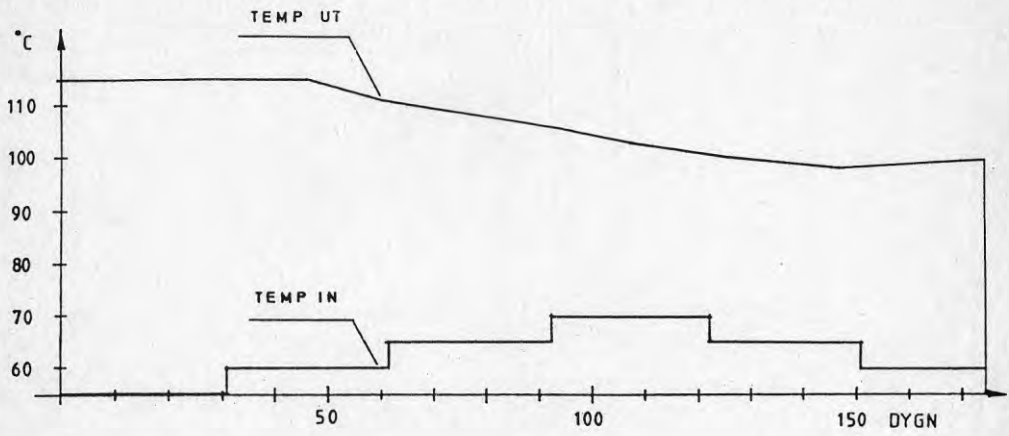


FIG. 7 Temperaturer in och ut vid urladdning

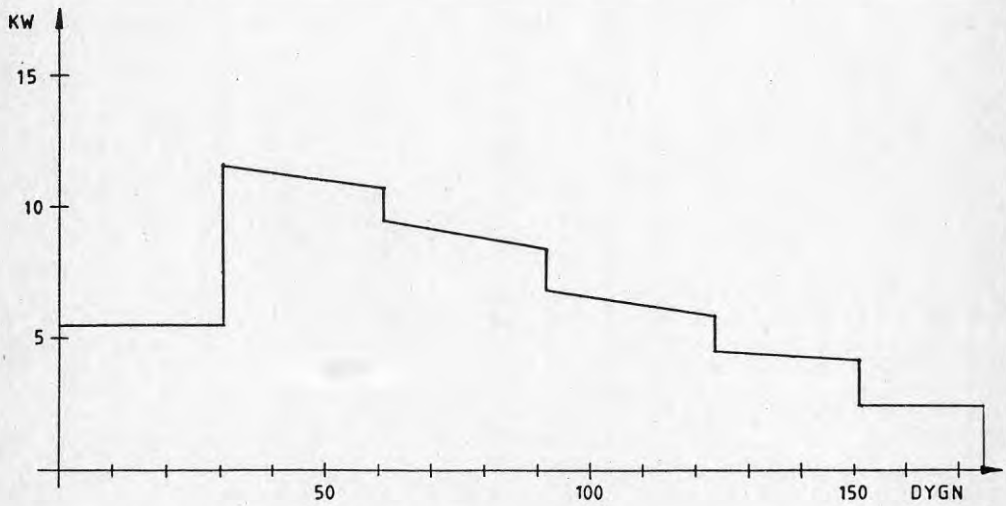


FIG. 8 Urladdad effekt och energi

## BILAGA 3

VÄRMETEKNISKT UNDERLAGRedovisning av driftstatistik för Borlänge fjärrvärmenät under 1982

För fjärrvärmenätet i Borlänge finns driftdata för bl a effekt, fram- och returtemperatur redovisade för ett antal år tillbaka. Avläsningarna görs manuellt en gång per dygn under förmiddagen. Den exakta tidpunkten varierar dock, varför värdena för olika dygn inte är direkt jämförbara.

I bilaga 1-3 har tillgängliga driftdata för 1982 sammanställts grafiskt enligt följande.

1. Fram- och returtemperatur samt utetemperatur
2. Effekt
3. Fram- och returtemperatur som funktion av utetemperaturen

Fjärrvärmeeffekter under 1982

Vid beräkning för det valda referensåret 1984 är det lämpligt att utgå från en motsvarande tidsserie som finns för år 1982. Värdena på utetemperatur och effekt för år 1982 används därför även för referensåret. Vissa justeringar är dock nödvändiga.

Av den redovisade driftstatistiken framgår att fram- och returtemperaturerna i fjärrvärmenätet är förhållandevis höga. Man arbetar med att åtgärda nätet så att returtemperaturen sänks. Därmed kan även framledningstemperaturen sänkas. På grund av att avläsningen av effekten sker under förmiddagen är effekten något högre än dygnsmedeleffekten.

Under 1984, som är lämpligt att välja som referensår, förväntas den totala energiproduktionen bli 334 200 MWh. Totala summan av effektavläsningarna under 1982 var 334 300 MWh. Skillnaden är så liten att värdena utan justering kan anses motsvara dygnsmedeleffekten år 1984.

Fram- och returtemperaturen antas sjunka fram till år 1984 till de värden som redovisas i bilaga 4. Tidsserien över effekt, fram- och returtemperatur för referensåret 1984 redovisas i bilaga 5.

Tillgänglig spillvärme

Inom ramen för BFR-projektet "Absorptionsvärmepump för tillvaratagande av spillvärme från Domnarvets Jernverk" har en översiktlig inventering av spillvärmekällor gjorts. Resultatet redovisas nedan.

Kvarnsvedens Pappersbruk

En översiktlig inventering har utförts varvid följande spillvärmekällor, förutom redan utnyttjat avloppsvatten, finns tillgängliga.

<u>Nr</u>	<u>Typ</u>	<u>Media</u>	<u>Temp</u>	<u>Effekt</u>	<u>Tillgäng- lighet</u>
1.	Kyl- tätningssvatten	Vatten	30°	3500 kW	8000 h
2.	Fuktig avluft från sliperi	Luft	80°C	2000 kW	8000 h
3.	Våtluft från pappersmaskinernas torkpartier	Luft	40°C	35000 kW	8000 h

Domnarvets Jernverk

Vid Domnarvets Jernverk har följande spillvärmekällor noterats.

<u>Nr</u>	<u>Typ</u>	<u>Media</u>	<u>Temp</u>	<u>Effekt</u>	<u>Tillgäng- lighet</u>
1.	<u>Syrgasverk</u>				
	a. Kylningsluft	Luft	+70°C	1000 kW	8000 h
	b. Avblåsning, N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	+17°C	125 kW	8000 h
2.	<u>Plastbeläggning</u>				
	a. Avgaser (gasol)	Avgaser	+450°C	5500 kW	4500 h
3.	<u>Aluzinklinje</u>				
	a. Avgaser (gasol)	Avgaser	+300°C	300 kW	3500 h
4.	<u>Elektrostålverk</u>				
	a. Kylning av paneler och rökgaser	Vatten/ Avgaser	+90°C +300°C	6000 kW	5 500 h
6.	<u>Bredbandverk</u>				
	a. Bandrullar	Vatten	+90°C	3000 kW	6000 h
	b. Kylsystem	Vatten	?	2000 kW	6000 h
7.	<u>Finvalsverk</u>				
	a. Avgaser (Eo5) från Morganugn	Avgaser	+400°C	1400 kW	4700 h
8.	<u>Kallvalsverk</u>				
	a. Avluft från Tandemvalsverk	Luft	+25°C	1500 kW	7000 h

<u>Nr</u>	<u>Typ</u>	<u>Media</u>	<u>Temp</u>	<u>Effekt</u>	<u>Tillgäng- lighet</u>
9.	<u>Kallvalsverk, kontiqlödning</u>				
	a. Snabbkylning	Vatten	+60°C	>3000 kW	4000 h
	b. Kylare	Vatten	+45°C	375 kW	4000 h
	c. Kylare	Vatten	+40°C	2500 kW	4000 h
	d. Avgaser (gasol)	Avgaser	+150°C	800 kW	4000 h
10.	<u>Reningsverket</u>	Avlopps- vatten	+20°C	14000 kW	8000 h

Under hösten 1983 kommer värme från Kvarnsvedens avloppsvatten att tas tillvara med hjälp av värmepumpar och matas in i Borlänges fjärrvärmenät. Denna spillvärmekälla ingår ej i redovisningen ovan.

Två värmepumpar med en total effekt av ca 24 MW kommer att installeras. Troligen finns det så mycket spillvärme i avloppsvattnet att det är möjligt att installera ytterligare en värmepump med effekten 12 MW. Vid byggande av värmepumpanläggningen har man planerat för detta.

Beträffande Domnarvet finns idag värmeåtervinning från en stegbalksugn. Värmen tas tillvara i form av 20 bars ånga och matas in i det ordinarie ång- och hetvattensystem, se bilaga 6.

Denna spillvärmekälla är speciellt intressant eftersom den under vissa tider av året producerar ett överskott av ånga. Detta framgår av bilaga 7 och 8. Energiöverskottet är mycket ojämnt fördelat över året och dygnet. Exakta mätningar varje dag görs ej. För beräkningarna avseende värmelager är det dock önskvärt att man har tillgång till dyngsvärden på samma sätt som för fjärrvärmenätet.

En tidsserie för överskottsenergin har därför sammanställts. Värdena i denna tidsserie avser dygnsmedelvärdena.

Max- och minvärdena för varje månad motsvarar dem som finns redovisade i bilaga 7.

Beträffande de övriga spillvärmekällorna i Domnarvet är det svårt att ange de exakta investeringskostnaderna och varaktigheterna.

Tillvaratagandet av värmen i avloppsvattnet kan ske med konventionell värmepumpsteknik.

Mera intressant från lagringssynpunkt är dock högtemperaturspillvärmekällorna. Elektrostålverket har en förhållandevis hög effekt och lång varaktighet. Effekten är jämnt fördelad under året men



ojämn när man ser på en kortare tidsperiod. Processen är sådan att värmeavgivning pågår under perioder med en längd av ca 45 minuter med avbrott på ca 15 minuter däremellan. Anläggningen är avstängd under semestern. Investeringskostnaden för värmeåtervinningen kan mycket grovt uppskattas till 15 Mkr, d v s 2 500 kr/kW. Troligen måste man räkna med att Domnarvet själva kommer att använda spillvärmén under perioden november-mars. Under övrig tid, förutom semestern, bör dock i genomsnitt ca 4,5 MW spillvärme bli tillgängligt. Alla siffror beträffande spillvärme är dock mycket osäkra.

#### Produktionsanläggning i fjärrvärmenätet

I tabellen nedan redovisas en prognos för vilka produktionsanläggningar som kommer att finnas 1984 samt deras effekt och energiproduktion.

<u>Anläggning</u>	<u>Effekt (MW)</u>	<u>Energi (GWh)</u>
Flis		56,7
Siktrest	18	20,2
Olja (Eo5)	125	72,3
Spillvärme	24	100,0
El till vp		50 0
Spetsning olja (KP)	<u>50</u>	<u>35,0</u>
Summa	217	334,2

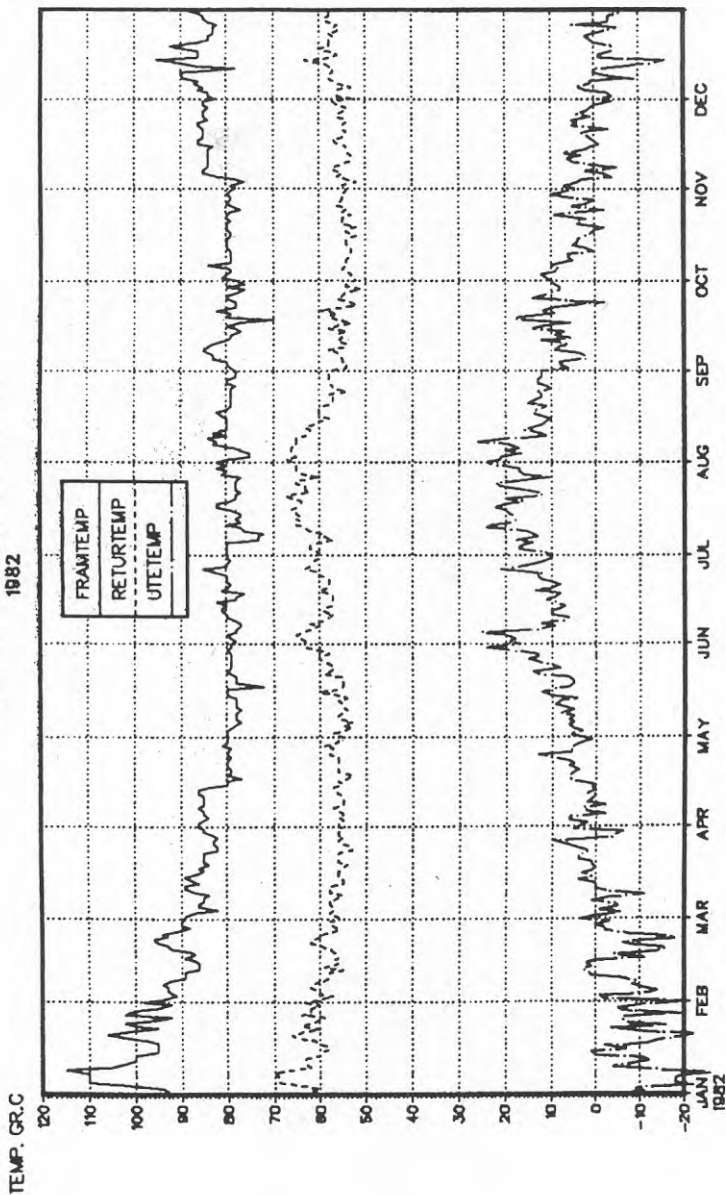
Värmepumpen är tänkt att gå som baslast. Spetsningen med olja (ev kol) måste ske i Kvarnsveden för att man under vintern skall kunna erhålla en tillräckligt hög framledningstemperatur. Man hoppas kunna lagra siktresterna som produceras under sommaren då värmepumpen klarar hela lasten.

(Bilaga 1)

# FJÄRRVÄRME TEMPERATURER

## BÄCKELUNDSVERKET BORLÄNGE

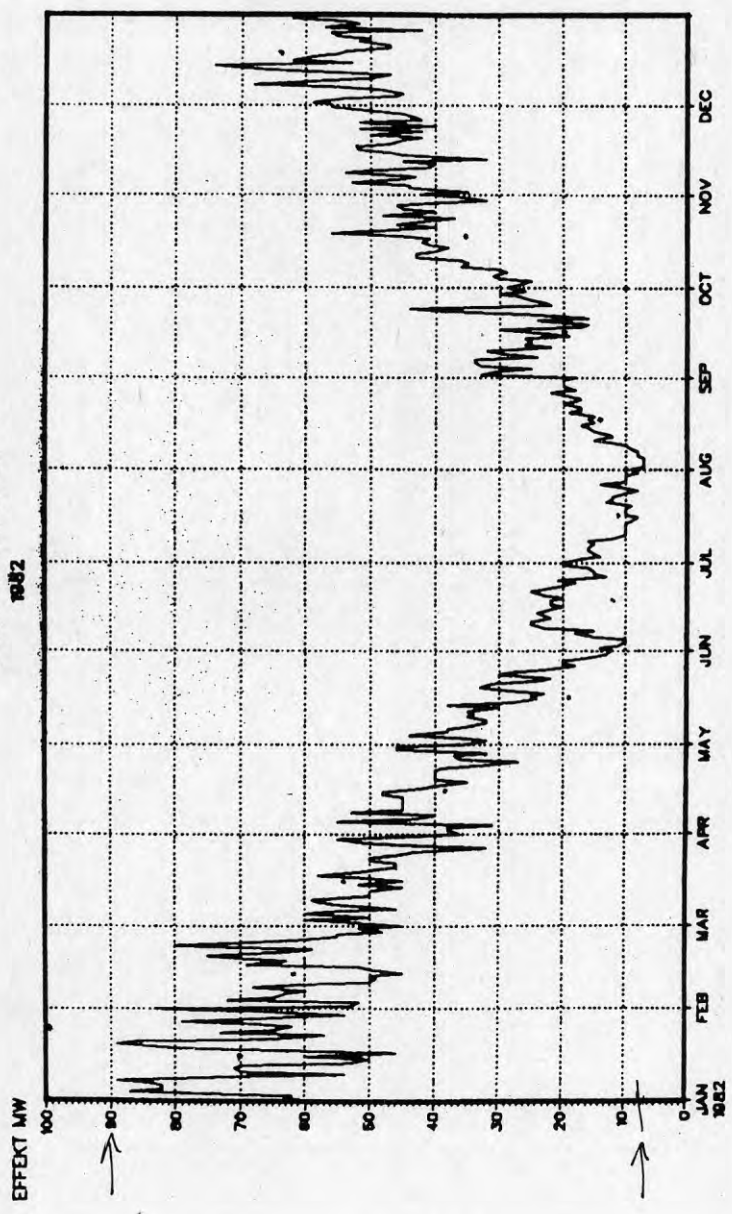
1982



( Bilaga 2 )

# VÄRMEEFFEKT BÄCKELNDSVERKET

1982

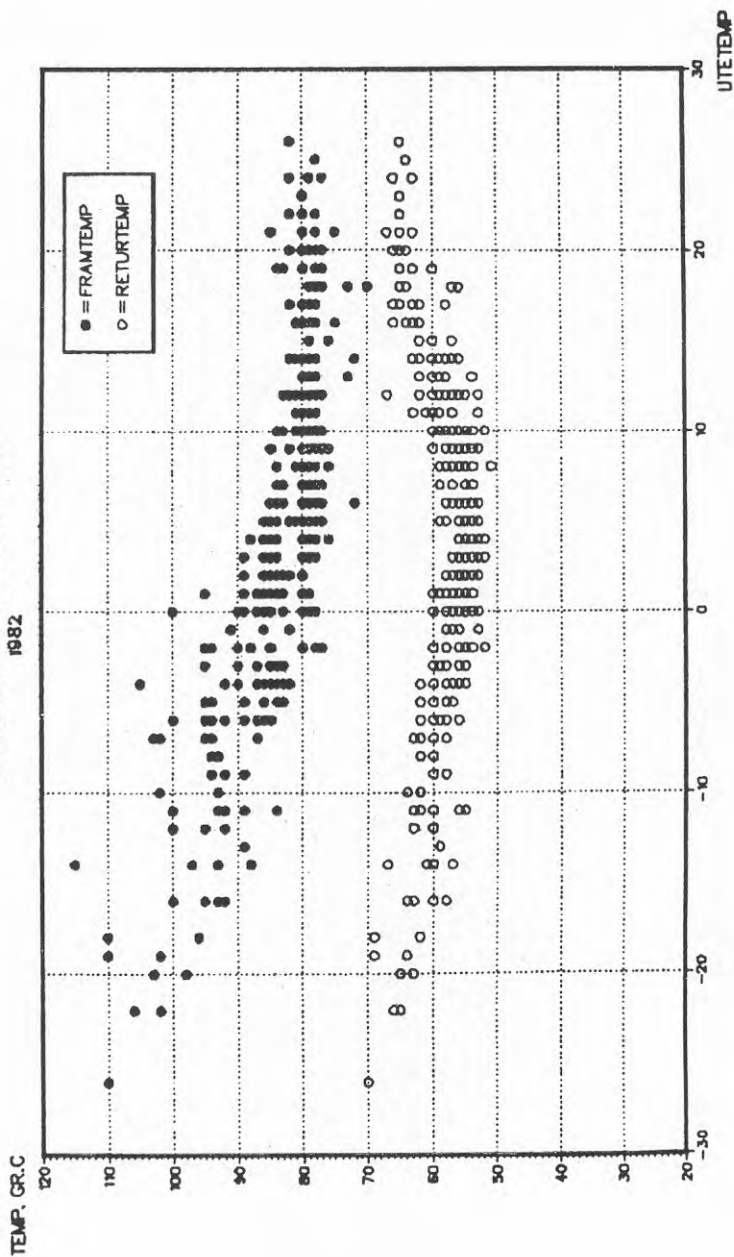


(Bilaga 3)

## FJÄRRVÄRME TEMPERATURER – UTETEMPERATUR

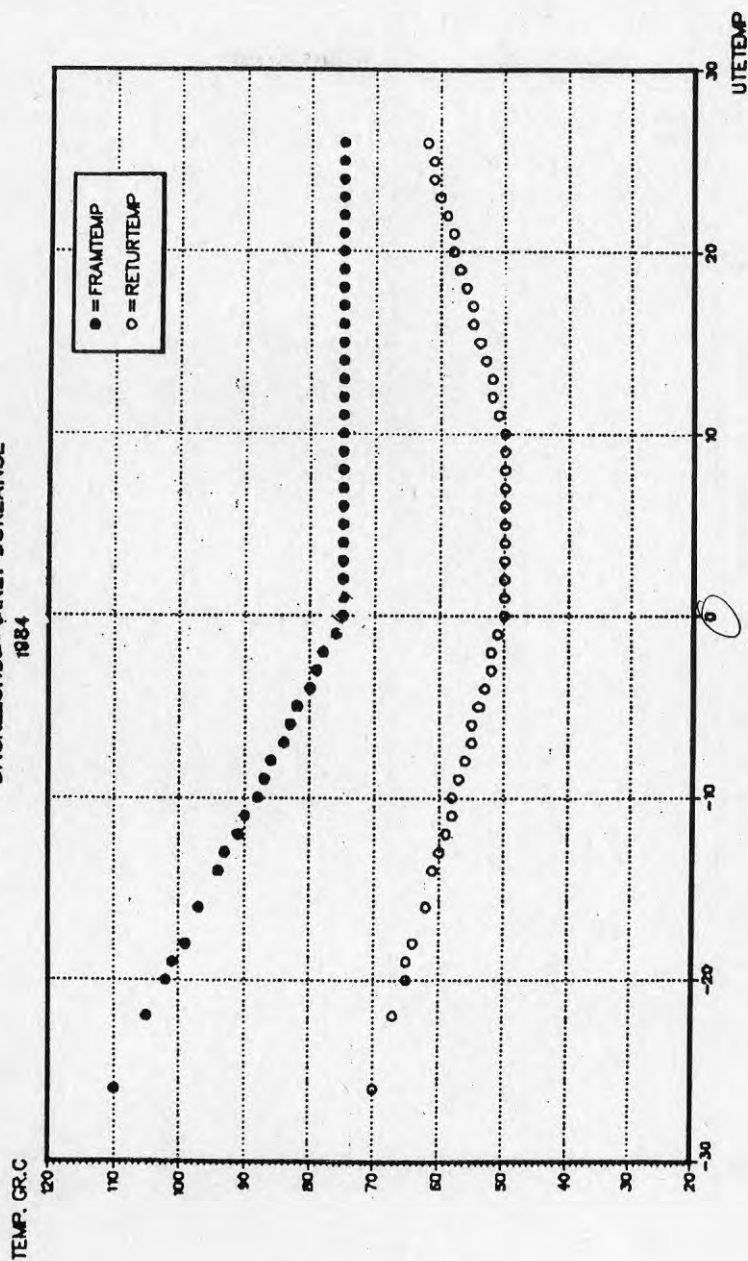
BÄCKELUNDSVERKET BORLÄNGE

1982



(Bilaga 4)

# FJÄRRVÄRME TEMPERATURER – UTETEMPERATUR 1984 BÄCKELUNDSVERKET BORLÄNCE



## (Bilaga 5:1)

MÅNAD:	1	1984				
DATUM	FRAMTEMP.	RET.TEMP.	FJÄRRV.	UTETEMP.	SPILLV.	
	(GR.C)	(GR.C)	EFFEKT (MW)	(GR.C)	EFFEKT (MW)	
84820101	82.	54.	58.	-5.	0.	
820102	90.	58.	63.	-11.	0.	
820103	87.	57.	62.	-9.	0.	
820104	105.	67.	87.	-22.	0.	
820105	99.	64.	82.	-18.	0.	
820106	99.	64.	82.	-18.	0.	
820107	101.	65.	84.	-19.	0.	
820108	110.	70.	89.	-26.	0.	
820109	94.	61.	72.	-14.	0.	
820110	80.	53.	54.	-4.	0.	
820111	84.	55.	70.	-7.	0.	
820112	91.	59.	71.	-12.	0.	
820113	90.	58.	70.	-11.	0.	
820114	75.	50.	53.	0.	0.	
820115	75.	50.	50.	1.	0.	
820116	84.	55.	60.	-7.	1.	
820117	78.	52.	46.	-2.	0.	
820118	91.	59.	64.	-12.	0.	
820119	94.	61.	80.	-14.	0.	
820120	102.	65.	89.	-20.	0.	
820121	105.	67.	86.	-22.	0.	
820122	88.	58.	65.	-10.	0.	
820123	79.	52.	57.	-3.	0.	
820124	97.	62.	73.	-16.	0.	
820125	84.	55.	65.	-7.	0.	
820126	83.	55.	62.	-6.	0.	
820127	83.	55.	68.	-6.	0.	
820128	101.	65.	79.	-19.	0.	
820129	83.	55.	64.	-6.	0.	
820130	82.	54.	54.	-5.	0.	
820131	90.	58.	67.	-11.	0.	

## (Bilaga 5:2)

MÅNAD: 2 1984

DATUM	FRAMTEMP. (GR.C)	RET.TEMP. (GR.C)	FJÄRRV. EFFEKT (MW)	UTETEMP. (GR.C)	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW) STEBALKUGN	ELEKTROSTÅL. ELEKTROSTÅL.
840201	102.	65.	83.	-20.	0.	.0
840202	78.	52.	53.	-2.	0.	.0
840203	76.	51.	52.	-1.	0.	.0
840204	91.	59.	72.	-12.	0.	.0
840205	94.	61.	65.	-14.	0.	.0
840206	88.	58.	63.	-10.	0.	.0
840207	86.	56.	60.	-8.	0.	.0
840208	87.	57.	68.	-9.	0.	.0
840209	83.	55.	62.	-6.	0.	.0
840210	75.	50.	50.	1.	0.	.0
840211	75.	50.	49.	2.	1.	.0
840212	75.	50.	50.	3.	0.	.0
840213	75.	50.	45.	1.	0.	.0
840214	75.	50.	50.	2.	0.	.0
840215	75.	50.	52.	0.	0.	.0
840216	90.	58.	69.	-11.	0.	.0
840217	80.	53.	63.	-4.	0.	.0
840218	94.	61.	70.	-14.	0.	.0
840219	97.	62.	75.	-16.	0.	.0
840220	86.	56.	63.	-8.	0.	.0
840221	83.	55.	59.	-6.	0.	.0
840222	99.	64.	80.	-18.	0.	.0
840223	97.	62.	72.	-16.	0.	.0
840224	84.	55.	62.	-7.	0.	.0
840225	78.	52.	55.	-2.	0.	.0
840226	78.	52.	55.	-2.	0.	.0
840227	75.	50.	48.	0.	0.	.0
840228	79.	52.	52.	-3.	0.	.0

## (Bilaga 5:3)

MÅNAD:	3 1984					
DATUM	FRAMTEMP. (GR.C)	RET.TEMP. (GR.C)	FJÄRRV. EFFEKT (MW)	UTETEMP. (GR.C)	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)	
					STEBALKUGN	ELEKTROSTÅL.
840301	75.	50.	45.	3.	0.	0.
840302	75.	50.	50.	1.	0.	0.
840303	83.	55.	60.	-6.	0.	0.
840304	76.	51.	50.	-1.	0.	0.
840305	82.	54.	60.	-5.	0.	0.
840306	80.	53.	56.	-4.	0.	0.
840307	75.	50.	46.	1.	1.	0.
840308	79.	52.	55.	-3.	0.	0.
840309	90.	58.	58.	-11.	0.	0.
840310	79.	52.	59.	-3.	0.	0.
840311	75.	50.	50.	0.	0.	0.
840312	75.	50.	50.	0.	1.	0.
840313	75.	50.	50.	0.	0.	0.
840314	75.	50.	45.	4.	0.	0.
840315	75.	50.	52.	1.	0.	0.
840316	75.	50.	45.	3.	0.	0.
840317	75.	50.	50.	1.	0.	0.
840318	75.	50.	58.	0.	0.	0.
840319	75.	50.	52.	1.	0.	0.
840320	75.	50.	49.	1.	1.	0.
840321	75.	50.	46.	4.	0.	0.
840322	75.	50.	46.	4.	0.	0.
840323	75.	50.	50.	2.	1.	0.
840324	75.	50.	50.	2.	0.	0.
840325	75.	50.	45.	5.	0.	0.
840326	75.	50.	43.	7.	0.	0.
840327	75.	50.	32.	10.	0.	0.
840328	80.	53.	43.	-4.	0.	0.
840329	80.	53.	51.	-4.	0.	0.
840330	83.	55.	55.	-6.	0.	0.
840331	75.	50.	45.	5.	0.	0.



## (Bilaga 5:4)

MÄNAD:	4 1984					
DATUM	FRAMTEMP. (GR.C)	RET.TEMP. (GR.C)	FJÄRRV. EFFEKT (MW)	UTETEMP. (GR.C)	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)	
					<u>STEBALKUGN</u>	<u>ELEKTROSTÅL</u>
840401	75.	50.	36.	4.	0.	4.5
840402	75.	50.	38.	2.	0.	4.5
840403	75.	50.	38.	6.	2.	4.5
840404	75.	50.	31.	6.	0.	4.5
840405	78.	52.	55.	-2.	0.	4.5
840406	75.	50.	43.	2.	2.	4.5
840407	75.	50.	40.	3.	0.	4.5
840408	78.	52.	53.	-2.	0.	4.5
840409	75.	50.	45.	2.	0.	4.5
840410	75.	50.	45.	1.	6.	4.5
840411	75.	50.	45.	0.	0.	4.5
840412	75.	50.	45.	2.	0.	4.5
840413	75.	50.	45.	0.	1.	4.5
840414	75.	50.	48.	1.	0.	4.5
840415	75.	50.	48.	0.	0.	4.5
840416	75.	50.	42.	5.	2.	4.5
840417	75.	50.	40.	6.	0.	4.5
840418	75.	50.	35.	6.	0.	4.5
840419	75.	50.	40.	5.	5.	4.5
840420	75.	50.	40.	4.	0.	4.5
840421	75.	50.	40.	6.	0.	4.5
840422	75.	50.	40.	5.	0.	4.5
840423	75.	50.	39.	6.	0.	4.5
840424	75.	50.	31.	10.	0.	4.5
840425	75.	52.	27.	13.	1.	4.5
840426	75.	50.	36.	5.	0.	4.5
840427	75.	50.	37.	6.	0.	4.5
840428	75.	50.	32.	5.	0.	4.5
840429	75.	50.	46.	3.	0.	4.5
840430	75.	50.	46.	1.	2.	4.5

## (Bilaga 5:5)

MÅNAD: 5 1984

DATUM	FRAMTEMP. (GR.C)	RET. TEMP. (GR.C)	FJÄRRV. EFFEKT (MW)	UTETEMP. (GR.C)	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)	
					STEGBALKUGN	ELEKTROSTÅL.
840501	75.	50.	35.	3.	3.	4.5
840502	75.	50.	32.	6.	2.	4.5
840503	75.	50.	36.	3.	4.	4.5
840504	75.	50.	44.	5.	2.	4.5
840505	75.	50.	38.	6.	2.	4.5
840506	75.	50.	38.	5.	2.	4.5
840507	75.	50.	35.	6.	3.	4.5
840508	75.	50.	32.	5.	2.	4.5
840509	75.	50.	32.	8.	4.	4.5
840510	75.	50.	35.	5.	1.	4.5
840511	75.	50.	34.	7.	1.	4.5
840512	75.	50.	35.	9.	5.	4.5
840513	75.	50.	30.	8.	1.	4.5
840514	75.	50.	38.	4.	4.	4.5
840515	75.	50.	28.	10.	3.	4.5
840516	75.	52.	24.	12.	3.	4.5
840517	75.	50.	25.	10.	6.	4.5
840518	75.	50.	23.	6.	4.	4.5
840519	75.	50.	30.	5.	8.	4.5
840520	75.	50.	33.	5.	2.	4.5
840521	75.	50.	31.	6.	3.	4.5
840522	75.	52.	24.	13.	1.	4.5
840523	75.	53.	22.	14.	3.	4.5
840524	75.	50.	30.	8.	2.	4.5
840525	75.	50.	28.	10.	1.	4.5
840526	75.	52.	23.	12.	2.	4.5
840527	75.	54.	18.	15.	3.	4.5
840528	75.	52.	20.	13.	4.	4.5
840529	75.	52.	20.	13.	1.	4.5
840530	75.	57.	15.	19.	2.	4.5
840531	75.	61.	13.	24.	3.	4.5

## (Bilaga 5:6)

MÅNAD: 6 1984

DATUM	FRAMTEMP. (GR.C)	RET.TEMP. (GR.C)	FJÄRRV. EFFEKT (MW)	UTETEMP. (GR.C)	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW) STEGBALKUGN	ELEKTROSTÅL.
840601	75.	55.	12.	17.	4.	4.5
840602	75.	57.	14.	19.	3.	4.5
840603	75.	56.	11.	18.	3.	4.5
840604	75.	58.	10.	20.	2.	4.5
840605	75.	61.	10.	25.	7.	4.5
840606	75.	52.	15.	13.	2.	4.5
840607	75.	50.	18.	9.	5.	4.5
840608	75.	52.	15.	12.	6.	4.5
840609	75.	50.	23.	7.	4.	4.5
840610	75.	50.	25.	6.	3.	4.5
840611	75.	50.	25.	10.	7.	4.5
840612	75.	50.	22.	10.	2.	4.5
840613	75.	50.	23.	8.	4.	4.5
840614	75.	50.	24.	7.	5.	4.5
840615	75.	50.	22.	9.	3.	4.5
840616	75.	51.	20.	11.	5.	4.5
840617	75.	50.	22.	9.	7.	4.5
840618	75.	50.	22.	8.	0.	4.5
840619	75.	53.	20.	14.	0.	.0
840620	75.	50.	23.	10.	0.	.0
840621	75.	50.	25.	8.	0.	.0
840622	75.	50.	23.	10.	0.	.0
840623	75.	52.	21.	12.	0.	.0
840624	75.	52.	18.	13.	0.	.0
840625	75.	52.	21.	12.	0.	.0
840626	75.	58.	13.	21.	0.	.0
840627	75.	55.	15.	17.	0.	.0
840628	75.	53.	15.	14.	0.	.0
840629	75.	51.	16.	11.	0.	.0
840630	75.	50.	20.	10.	0.	.0

## (Bilaga 5:7)

MÅNAD: 7 1984							
DATUM	FRAMTEMP. (GR.C)	RET.TEMP. (GR.C)	FJÄRRV. EFFEKT (MW)	UTETEMP. (GR.C)	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)		
					STEBALKUGN	ELEKTROSTÅL.	
840701	75.	50.	20.	10.	0.	.0	
840702	75.	52.	17.	12.	0.	.0	
840703	75.	55.	14.	17.	0.	.0	
840704	75.	55.	15.	17.	0.	.0	
840705	75.	53.	16.	14.	0.	.0	
840706	75.	56.	16.	18.	0.	.0	
840707	75.	52.	15.	13.	0.	.0	
840708	75.	53.	16.	14.	0.	.0	
840709	75.	54.	12.	15.	0.	.0	
840710	75.	61.	10.	24.	0.	.0	
840711	75.	60.	10.	23.	0.	.0	
840712	75.	56.	10.	18.	0.	.0	
840713	75.	56.	10.	18.	0.	.0	
840714	75.	56.	10.	18.	0.	.0	
840715	75.	57.	9.	19.	0.	.0	
840716	75.	58.	8.	20.	0.	.0	
840717	75.	59.	10.	22.	0.	.0	
840718	75.	58.	10.	20.	0.	.0	
840719	75.	55.	10.	16.	0.	.0	
840720	75.	58.	9.	20.	0.	.0	
840721	75.	52.	13.	12.	0.	.0	
840722	75.	52.	12.	12.	0.	.0	
840723	75.	55.	12.	16.	0.	4.5	
840724	75.	58.	10.	21.	3.	4.5	
840725	75.	59.	8.	22.	7.	4.5	
840726	75.	56.	10.	18.	8.	4.5	
840727	75.	50.	14.	10.	8.	4.5	
840728	75.	55.	10.	16.	5.	4.5	
840729	75.	55.	10.	17.	10.	4.5	
840730	75.	55.	10.	17.	6.	4.5	
840731	75.	59.	8.	22.	7.	4.5	

## (Bilaga 5:8)

MÅNAD: 8 1984

DATUM	FRAMTEMP. (GR.C)	RET.TEMP. (GR.C)	FJÄRRV. EFFEKT (MW)	UTETEMP. (GR.C)	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)	
					STEGBALKUGN	ELEKTROSTAL.
840801	75.	61.	9.	24.	1.	4.5
840802	75.	58.	7.	21.	4.	4.5
840803	75.	58.	7.	21.	6.	4.5
840804	75.	55.	7.	16.	7.	4.5
840805	75.	58.	7.	20.	2.	4.5
840806	75.	55.	8.	17.	1.	4.5
840807	75.	57.	8.	19.	8.	4.5
840808	75.	62.	9.	26.	9.	4.5
840809	75.	57.	10.	19.	10.	4.5
840810	75.	51.	12.	11.	11.	4.5
840811	75.	52.	15.	12.	4.	4.5
840812	75.	55.	12.	16.	3.	4.5
840813	75.	53.	13.	14.	4.	4.5
840814	75.	52.	15.	12.	5.	4.5
840815	75.	51.	16.	11.	8.	4.5
840816	75.	50.	17.	10.	7.	4.5
840817	75.	52.	15.	12.	6.	4.5
840818	75.	53.	16.	14.	5.	4.5
840819	75.	52.	15.	13.	3.	4.5
840820	75.	51.	19.	11.	2.	4.5
840821	75.	54.	17.	15.	1.	4.5
840822	75.	53.	17.	14.	1.	4.5
840823	75.	52.	20.	12.	6.	4.5
840824	75.	52.	18.	12.	4.	4.5
840825	75.	52.	17.	13.	5.	4.5
840826	75.	50.	20.	10.	2.	4.5
840827	75.	51.	22.	11.	7.	4.5
840828	75.	52.	18.	13.	8.	4.5
840829	75.	52.	20.	13.	3.	4.5
840830	75.	52.	20.	12.	2.	4.5
840831	75.	52.	20.	12.	1.	4.5

## (Bilaga 5:9)

MÄNAD: 9 1984

DATUM	FRAMTEMP.	RET. TEMP.	FJÄRRV.	UTETEMP.	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)	
	(GR.C)	(GR.C)	EFFEKT (MW)	(GR.C)	STEGBALKUGN	ELEKTROSTAL.
840901	75.	52.	18.	12.	0.	4.5
840902	75.	50.	33.	6.	3.	4.5
840903	75.	50.	30.	8.	2.	4.5
840904	75.	50.	25.	8.	0.	4.5
840905	75.	50.	33.	2.	4.	4.5
840906	75.	50.	34.	2.	5.	4.5
840907	75.	50.	34.	4.	3.	4.5
840908	75.	50.	24.	9.	5.	4.5
840909	75.	50.	30.	8.	1.	4.5
840910	75.	50.	32.	6.	5.	4.5
840911	75.	52.	22.	12.	2.	4.5
840912	75.	50.	26.	5.	5.	4.5
840913	75.	50.	25.	9.	6.	4.5
840914	75.	50.	26.	7.	5.	4.5
840915	75.	53.	19.	14.	4.	4.5
840916	75.	52.	23.	12.	3.	4.5
840917	75.	50.	30.	5.	5.	4.5
840918	75.	56.	17.	18.	3.	4.5
840919	75.	55.	16.	17.	2.	4.5
840920	75.	50.	24.	9.	0.	4.5
840921	75.	52.	16.	12.	4.	4.5
840922	75.	50.	26.	9.	2.	4.5
840923	75.	50.	38.	4.	4.	4.5
840924	78.	52.	44.	-2.	5.	4.5
840925	75.	53.	22.	14.	7.	4.5
840926	75.	52.	23.	12.	1.	4.5
840927	75.	50.	25.	10.	3.	4.5
840928	75.	50.	27.	8.	4.	4.5
840929	75.	50.	30.	8.	1.	4.5
840930	75.	50.	26.	9.	3.	4.5

## (Bilaga 5:10)

MÅNAD: 10 1984

DATUM	FRAMTEMP.	RET.TEMP.	FJÄRRV.	UTETEMP.	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)	
	(GR.C)	(GR.C)	EFFEKT (MW)	(GR.C)	STEGBALKUGN	ELEKTROSTÅL.
841001	75.	50.	29.	10.	0.	4.5
841002	75.	51.	27.	11.	3.	4.5
841003	75.	52.	25.	12.	2.	4.5
841004	75.	50.	30.	9.	3.	4.5
841005	75.	50.	31.	8.	0.	4.5
841006	75.	50.	29.	10.	1.	4.5
841007	75.	50.	30.	8.	0.	4.5
841008	75.	50.	36.	5.	4.	4.5
841009	75.	50.	35.	6.	4.	4.5
841010	75.	50.	36.	6.	5.	4.5
841011	75.	50.	43.	0.	0.	4.5
841012	75.	50.	43.	2.	3.	4.5
841013	75.	50.	40.	5.	2.	4.5
841014	75.	50.	38.	4.	4.	4.5
841015	75.	50.	41.	4.	0.	4.5
841016	75.	50.	42.	3.	2.	4.5
841017	75.	50.	41.	1.	3.	4.5
841018	75.	50.	46.	0.	0.	4.5
841019	78.	52.	56.	-2.	4.	4.5
841020	75.	50.	46.	4.	0.	4.5
841021	75.	50.	40.	4.	5.	4.5
841022	75.	50.	46.	2.	0.	4.5
841023	75.	50.	41.	9.	3.	4.5
841024	75.	50.	37.	5.	0.	4.5
841025	78.	52.	48.	-2.	0.	4.5
841026	75.	50.	40.	5.	10.	4.5
841027	75.	50.	45.	2.	3.	4.5
841028	75.	50.	46.	0.	0.	4.5
841029	75.	50.	40.	6.	2.	4.5
841030	75.	50.	32.	10.	3.	4.5
841031	75.	50.	36.	6.	0.	4.5

## (Bilaga 5:11)

MÅNAD: 11 1984

DATUM	FRAMTEMP. (GR.C)	RET.TEMP. (GR.C)	FJÄRRV. EFFEKT (MW)	UTETEMP. (GR.C)	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)	
					STEGBALKUGN	ELEKTROSTÅL.
841101	75.	50.	42.	4.	2.	.0
841102	75.	50.	35.	7.	0.	.0
841103	75.	50.	44.	4.	0.	.0
841104	75.	50.	44.	3.	1.	.0
841105	80.	53.	53.	-4.	0.	.0
841106	78.	52.	45.	-2.	2.	.0
841107	75.	50.	43.	2.	0.	.0
841108	82.	54.	54.	-5.	1.	.0
841109	75.	50.	49.	1.	0.	.0
841110	75.	50.	41.	5.	0.	.0
841111	75.	50.	40.	6.	2.	.0
841112	75.	50.	45.	3.	0.	.0
841113	75.	50.	32.	7.	2.	.0
841114	75.	50.	45.	2.	1.	.0
841115	75.	50.	47.	1.	1.	.0
841116	76.	51.	52.	-1.	2.	.0
841117	75.	50.	52.	0.	0.	.0
841118	75.	50.	47.	1.	0.	.0
841119	75.	50.	45.	2.	0.	.0
841120	75.	50.	42.	3.	0.	.0
841121	79.	52.	50.	-3.	0.	.0
841122	75.	50.	42.	5.	1.	.0
841123	75.	50.	52.	4.	0.	.0
841124	75.	50.	40.	5.	0.	.0
841125	75.	50.	52.	1.	1.	.0
841126	75.	50.	42.	4.	0.	.0
841127	75.	50.	43.	2.	2.	.0
841128	75.	50.	45.	1.	0.	.0
841129	75.	50.	49.	0.	2.	.0
841130	80.	53.	56.	-4.	0.	.0



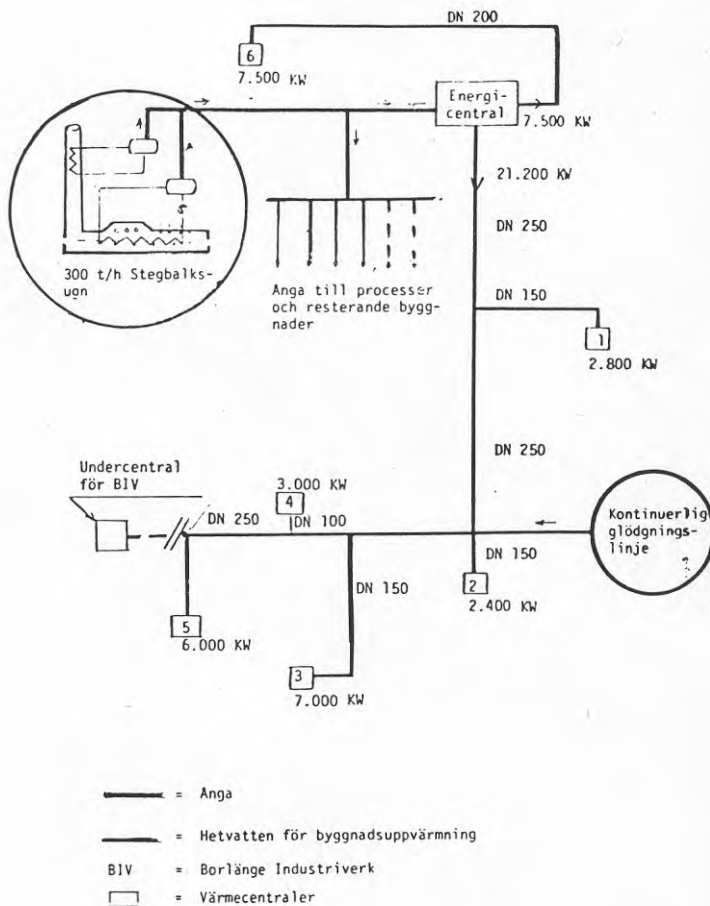
## (Bilaga 5:12)

MÅNAD: 12 1984

DATUM	FRAMTEMP.	RET.TEMP.	FJÄRRV.	UTETEMP.	SPILLVÄRMEEFFEKT (MW)	
	(GR.C)	(GR.C)	EFFEKT (MW)	(GR.C)	STEGBALKUGN	ELEKTROSTÅL.
841201	76.	51.	56.	-1.	0.	.0
841202	80.	53.	59.	-4.	0.	.0
841203	79.	52.	54.	-3.	0.	.0
841204	75.	50.	46.	2.	0.	.0
841205	75.	50.	45.	4.	0.	.0
841206	75.	50.	48.	1.	0.	.0
841207	75.	50.	55.	1.	0.	.0
841208	87.	57.	68.	-9.	0.	.0
841209	78.	52.	57.	-2.	0.	.0
841210	75.	50.	50.	0.	0.	.0
841211	75.	50.	47.	0.	2.	.0
841212	84.	55.	58.	-7.	0.	.0
841213	93.	60.	67.	-13.	0.	.0
841214	97.	62.	74.	-16.	0.	.0
841215	76.	51.	53.	-1.	0.	.0
841216	76.	51.	62.	-1.	0.	.0
841217	80.	53.	59.	-4.	0.	.0
841218	80.	53.	55.	-4.	0.	.0
841219	80.	53.	54.	-4.	0.	.0
841220	75.	50.	47.	0.	0.	.0
841221	75.	50.	47.	1.	0.	.0
841222	75.	50.	52.	2.	0.	.0
841223	75.	50.	50.	0.	0.	.0
841224	79.	52.	55.	-3.	0.	.0
841225	82.	54.	56.	-5.	0.	.0
841226	75.	50.	42.	5.	0.	.0
841227	79.	52.	57.	-3.	0.	.0
841228	79.	52.	52.	-3.	0.	.0
841229	79.	52.	54.	-3.	0.	.0
841230	83.	55.	62.	-6.	0.	.0
841231	82.	54.	57.	-5.	0.	.0

(Bilaga 6).

## BLOCKSCHEMA ÖVER DOMNÄRVETS FÖRSÖRJNING AV ÅNGA OCH HETVATTEN



## (Bilaga 7)

SVENSKI STÅL

MEDDELANDE 16/1981

Bilaga

Energi och yttre miljö, Domnarvet

1981-02-12

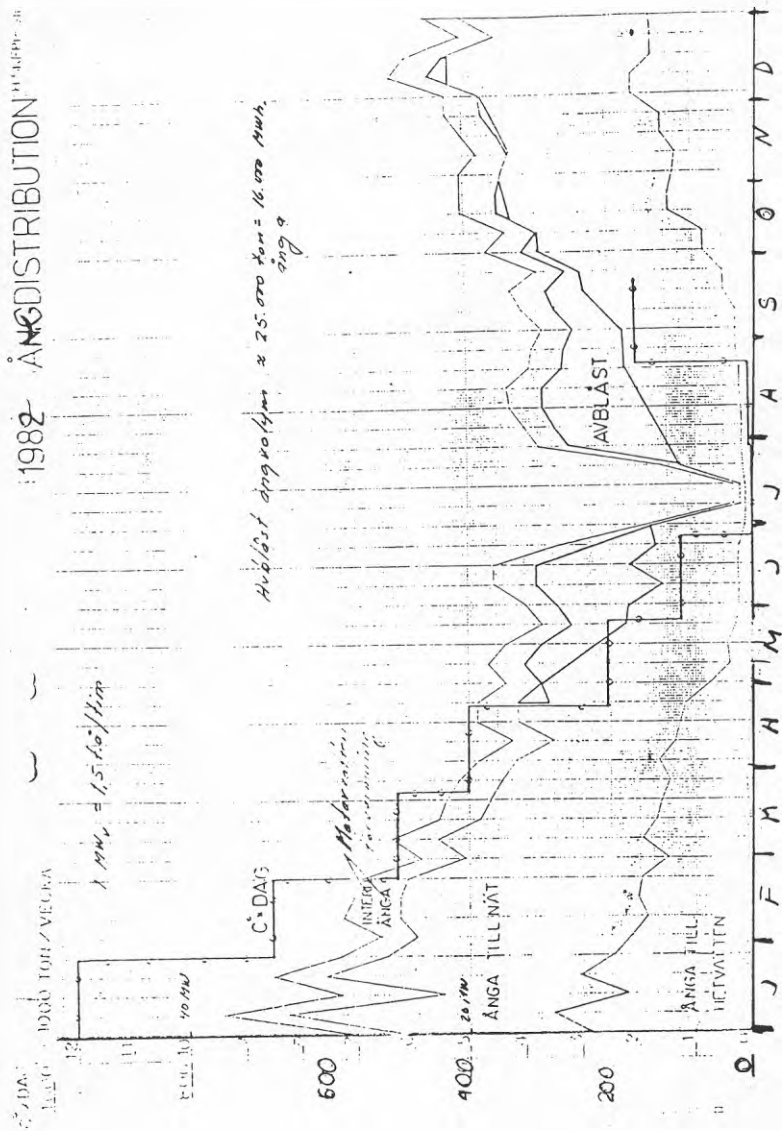
125 TV Göran Andersson, ah

Kontakt

M: Faxnr

PROGNOSEERAD RESTENERGILEVERANS FRÅN DO TILL BIV. AVSER DIREKTLEVERANS  
ÖVER VVX-STATION UTAN T EX VÄRMEPUMPAR. BASÅR 1982/83

Månad	Energi mängd Mwh	S:a lev.tid per månad Tim (%)	Lev. värmeeffekt		
			Max MW	Min MW	Medel MW
Januari	10	22 (3)	2	0	0,5
Februari	30	40 (6)	3	0	0,8
Mars	100	89 (12)	5	0	1,1
April	500	245 (34)	9	0	2,0
Maj	2100	610 (82)	14	0	3,4
Juni	<del>1200</del> 2200	<del>368</del> 480 (100)	18	2	4,6
Semesteruppehåll från midsommar - W 30					
Juli	1300 1800	210 290 (100)	23	5	6,2
Augusti	3500	744 (100)	19	1	4,7
September	2300	610 (485)	15	0	3,8
Oktober	1600	520 (70)	13	0	3,1
November	500	245 (34)	9	0	2,0
December	50	60 (8)	4	0	0,8
Ar	14690 13690	3955			3,7
April - Okt.	14000	3500			4,0



## BILAGA 4

Värmeförlusternas beroende av temperatursvinget i ett berggrumslager vid fjärrvärmeställningar.

---

Nedan analyseras hur förlusterna påverkas av valet av ett lagers temperatursving (temperaturskillnad botten/topp) vid det temperaturområde som är aktuellt i fjärrvärmesammanhang.

Det framgår av analysen att sambandet mellan ändringar av temperatursving och de totala förlusternas ändring är desamma för ett sfäriskt lager som för ett cylinderformat med höjd lika med diameter.

## DEFINITIONER:

$T_2$  = Max. temp. lager

$T_1$  = Min. temp. lager

$\Delta T$  =  $T_2 - T_1$  = temp.diff. som utnyttjas för värmelagring

$\underline{T_m}$  =  $(T_2 + T_1)/2 = (T_2 - T_1 + 2T_1)/2 = \underline{\underline{\Delta T/2 + T_1}}$   
 = Lagrets medeltemp under året

$T_0$  = Temp. omgivning, ungefär grundvattentemp.

## ANTAG:

$T_0$  = konst.

$T_1$  = konst., bestämd av fjärrvärmeretur

$Q_L$  = konst., lagrad energimängd per säsong (MWh)

$C_V$  = konst., lagrets specifika värmekapacitet  
 (MWh/m<sup>3</sup> x °C)

## SFÄRISKT BERGRUM

Om bergrummet är klotrunt så är erforderlig volym:

$$V = \frac{Q_L}{C_V \times \Delta T} = \frac{4\pi r^3}{3}$$

Erforderlig radie är således:

$$r = \left[ \frac{3 \times Q_L}{4\pi \times C_V \times \Delta T} \right]^{1/3}$$

Omslutningsarean för detta klotrunda bergrum är:

$$A = 4\pi r^2 = 4\pi \times \left[ \frac{3 \times Q_L}{4\pi \times C_V \times \Delta T} \right]^{2/3} = \frac{C' \times \Delta T^{-2/3}}$$

$$C' = \text{konst.}$$

Värmeförlusterna från lagret kan approximativt tecknas:

$$Q_F = C'' \times A \times (T_m - T_0) \quad \text{där } C'' \text{ är konst.}$$

$C''$  är ett "k-värde" definierat för bergrummets totala omslutningsarea

$$Q_F = C'' \times A \times (T_m - T_0) = \frac{C''}{2} \times A \times (\Delta T + 2(T_1 - T_0)) = C''' \times \Delta T^{-2/3} \times (\Delta T + 2(T_1 - T_0))$$

$C'''$ ,  $T_1$  och  $T_0$  är alla konst.  $\longrightarrow$

$$\frac{dQ_F}{dT} = \left[ C''' \times \frac{-2}{3} \times \Delta T^{-5/3} \times (\Delta T + 2(T_1 - T_0)) \right] + \left[ C''' \times \Delta T^{-2/3} \right]$$

Således:

$$\frac{dQ_F}{Q_F} = \frac{C'''' \times -\frac{2}{3} \times \Delta T^{-5/3} (\Delta T + 2(T_1 - T_0)) + C'''' \times \Delta T^{-2/3}}{Q_F} d\Delta T$$

$$\frac{dQ_F}{Q_F} = \left[ \frac{2 \times C'''' \times \Delta T^{-5/3} \times (\Delta T + 2(T_1 - T_0))}{-3 \times C'''' \times \Delta T^{-2/3} \times (\Delta T + 2(T_1 - T_0))} d\Delta T + \right. \\ \left. + \frac{C'''' \times \Delta T^{-2/3}}{C'''' \times \Delta T^{-2/3} \times (\Delta T + 2(T_1 - T_0))} \right] d\Delta T$$

$$\frac{dQ_F}{Q_F} = \left[ -\frac{2}{3} \frac{1}{\Delta T} + \frac{1}{\Delta T + 2(T_1 - T_0)} \right] d\Delta T$$

$$\frac{dQ_F}{Q_F} = \left[ -\frac{2}{3} + \frac{\Delta T}{\Delta T + 2(T_1 - T_0)} \right] \frac{d\Delta T}{\Delta T}$$

$$\frac{dQ_F}{Q_F} = \left[ \frac{\Delta T}{2(T_m - T_0)} - \frac{2}{3} \right] \frac{d\Delta T}{\Delta T}$$

Exempel:

$$\text{Om } T_0 = 10^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 60^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 110^\circ\text{C}$$

$$\implies T_m = 85^\circ\text{C}, \Delta T = 50^\circ\text{C}$$

Då är:

$$\frac{\Delta T}{2(T_m - T_0)} - \frac{2}{3} = \frac{50}{2(85-10)} - \frac{2}{3} = \frac{50}{150} - \frac{2}{3} = -\frac{1}{3}$$

Detta visar att om temperatursvinget  $\Delta T$  ökas med ca 10%, vilket motsvarar en ökning med  $0.10 \times 50 = 5^\circ\text{C}$  (d v s  $T_2$  ökar från  $110^\circ\text{C}$  till  $115^\circ\text{C}$ ), kan man förvänta att de totala förlusterna från ett lager minskar med:

$$10\% \times 1/3 = \underline{\underline{\text{ca } 3\%}}$$



## STÅENDE CYLINDER

Antag att berggrundslagret skall vara utformat som en cylinder sådan att höjden =  $2 \times r$  (den cylinder som ger den minsta omslutningsarean vid given volym)

I detta fall är erforderlig volym:

$$V = \frac{Q_L}{C_V \times \Delta T} = \pi r^2 \times 2r = 2\pi r^3$$

Erforderlig radie är då:

$$r = \left[ \frac{Q_L}{2\pi \times C_V \times \Delta T} \right]^{1/3}$$

Omslutningsarean för denna cylinder är:

$$A = 2 \times \pi r^2 + 2\pi r \times 2r = 6\pi r^2 =$$

$$= 6\pi \times \left[ \frac{Q_L}{2\pi \times C_V \times \Delta T} \right]^{2/3} = \frac{C'''' \times \Delta T^{-2/3}}{C'''' = \text{konst}}$$

Värmeförlusterna från lagret kan approximativt också i detta fall tecknas:

$$Q_F = C'''' \times A \times (T_m - T_o)$$

Förhållandet mellan ändringar i temperatursving och värmeförluster blir detsamma som för ett klotrunt lager. Däremot blir förlusterna i absoluta tal större för det cylinderformade bergrummet jämfört det klotrunda. Detta visas av att:

$$C'''' > C'$$

$$6\pi \left[ \frac{Q_L}{2\pi \times C_V \times \Delta T} \right]^{2/3} > 4\pi \left[ \frac{3 \times Q_L}{4\pi \times C_V \times \Delta T} \right]^{2/3}$$

$$6\pi \times \left[ \frac{1}{2\pi} \right]^{2/3} > 4\pi \times \left[ \frac{3}{4\pi} \right]^{2/3}$$

$$5.54 > 4.84$$

Det cylinderformade bergrummets omslutningsarea är  $5.54/4.84 \sim 1.14$  ggr större än det klotrunda lagrets.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830220-0  
från Statens råd för byggnadsforskning till VIAK AB  
Energi/VVS-avd, Falun.**

**Art.nr: 6705019**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**R19: 1985**

**ISBN 91-540-4340-9**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Cirkapris: 35 kr exkl moms**