



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.



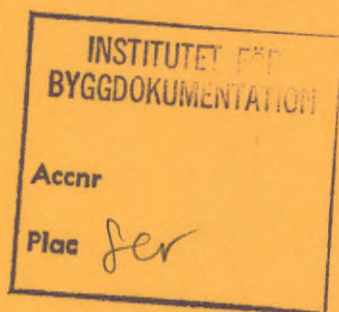
Rapport

R88:1986

**Akviferlager i grusåsen
vid södra delen av Brunnsviken**

Förstudie

**Anders Eriksson
Olof Melin**



K/e
/A

Byggeforskningsrådet

R88:1986

AKVIFERLAGER I GRUSASEN
VID SÖDRA DELEN AV BRUNNSVIKEN

Förstudie

Anders Eriksson
Olof Melin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850380-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Allmänna
Ingenjörbyrån, AIB, Solna.

REFERAT

I utredningen undersöks möjligheten att säsongslagra lågtempererat, max 20°C, vatten i en grusavlagring vid södra delen av Brunnsviken.

Med hjälp av en värmepump höjer man temperaturen till en lagom nivå för uppvärmning och tappvarmvatten. Samma värmepump används sommartid som kylaggregat. På detta sätt återladdas lagret med både värme och kyla som halvårsvis lagras i akviferen.

Räcker inte kylbehovet till för laddning går det även att återladda från Brunnsvikens varma ytvatten under sommaren.

Inom området finns ett antal större fastigheter med både ett kylbehov som ett värmebehov. Det totala värmebehovet beräknas till 17 GWh och motsvarande kylbehov till 4 GWh.

Den största grusvolymen och därmed lagringskapaciteten finns norr om Sveaplan. Den totala lagringspotentialen bedöms här vara mellan 5 och 10 GWh med rimliga temperaturnivåer. Därför bedöms Wenner-Gren Center och Sveaplans gymnasium ha de bästa förutsättningarna att utnyttja grusåsen som värmelager.

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

R88:1986

ISBN 91-540-4638-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
SAMMANFATTNING	4
1. INLEDNING	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte och omfattning	5
1.3 Principen för ett akviferlager	6
2. GEOLOGI	8
2.1 Åsens uppbyggnad och utbredning	8
2.2 Bergnivåer	10
2.3 Material	10
3. HYDROGEOLOGI	13
3.1 Allmänt	13
3.2 Grundvattenobservationer	13
3.3 Temperaturmätningar	14
3.4 Grundvattennivåns avsänkning	15
3.5 Områdets grundvattenbalans	15
3.6 Kända grundvattenuttag	16
4. GRUNDLÄGGNINGSFÖRHÅLLANDEN	18
5. OMRÅDETS VÄRME- OCH KYLBEHOV	20
5.1 Omträsket - Wenner-Gren Center	20
5.2 Cederdal - Sveaplans gymnasium	21
5.3 Getingen 14 - Saxon	21
5.4 Getingen 13 - IBM	21
5.5 Getingen 16 - OK	21
5.6 Getingen 15 - Ericsson	22
5.7 Getingen 11 - Honeywell Bull	22
6. VÄRMELAGRINGSPOTENTIAL	24
7. SYSTEMEXEMPEL WENNER-GREN CENTER	25
7.1 Systemdiskussion	25
7.2 Brunnsplacering	26
7.3 Lagringskapacitet	26
7.4 Värmelagringsbehov	27
7.5 Omsättningar	28
7.6 Grundvattenpåverkan	28
7.7 Vinterfallet-värmepump	29
7.8 Sommarfallet-kylaggregat	31
8. STRÖMNINGS- OCH TEMPERATURFÖRHÅLLANDEN I BRUNNSVIKEN	34
9. REFERENSER	36

SAMMANFATTNING

I följande utredning undersöks möjligheten att säsongslagra lågtempererat, max 20°C, vatten i en grusavlagring vid södra delen av Brunnsviken.

Med hjälp av en värmepump höjer man temperaturen till en lagom nivå för uppvärmning och tappvarmvatten. Samma värmepump används sommartid som kylaggregat. På detta sätt återladdas lagret med både värme och kyla som halvårsvis lagras i akviferen.

Räcker inte kylbehovet till för laddning går det även att återladda via en värmeväxlare med Brunnsvikens varma ytvatten under sommaren.

Inom området finns ett antal större fastigheter med både kylbehov och värmebehov. Det totala värmebehovet beräknas till 17 GWh och motsvarande kylbehov till 4 GWh.

Den största grusvolymen och därmed lagringskapaciteten finns norr om Sveaplan. Den totala lagringspotentialen bedöms här vara mellan 5 och 10 GWh med rimliga temperaturnivåer. Wenner-Gren Center och Sveaplans gymnasium bedöms ha de bästa förutsättningarna att utnyttja grusåsen som värmelager.

Med de värme- och kylbehov som föreligger för Wenner-Gren Center har ett maximalt uttag av 21 l/s studerats. Detta ger en maximal avsänkning av ca 10 cm utanför brunnen, vilket jämfört med de vattenståndsvariationer Brunnsviken orsakar i akviferen är av marginell betydelse.

Någon ekonomisk kalkyl har ej utförts men investeringar för ett utnyttjande av akviferen för kyla och värme bedöms ha en avskrivningstid på ca 5 år.

För att kunna bestämma lämpligt system för lagring av värme och kyla i akviferen vid Wenner-Gren Center erfordras kontrollerande rördrivningar och testpumpningar.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Under de senaste åren har man genom ett antal projekt undersökt möjligheten att lagra energi i akviferer. En akvifer kan definieras som ett grundvattenmagasin i mark. Syftet med dessa undersökningar har varit att säsongslagra energi från sommar till vinter. Även systemlösningar där akviferen utnyttjas för lagring av kyla har studerats. Den halvårsvisa fasförskjutningen mellan behovet och tillgången på naturlig kyla och värme skapar stora fördelar med ett akviferlager. Positiva tekniska och ekonomiska resultat från olika utredningar har lett till att det idag finns åtminstone tre anläggningar i drift i Sverige. Ett flertal förslag ligger på projekteringsstadiet och kommer snart att utbyggas. Så exempelvis projekterar AIB ett kombinerat kyl- och värmelager i en akvifer för SAS nya huvudkontor i Solna.

1.2 Syfte och omfattning

Förstudiens huvudsyfte har varit att undersöka möjligheten att utnyttja grusåsen vid södra delen av sjön Brunnsviken som energilager. Grusåsen utgör en sträcka av Stockholmsåsen (Brunkebergsåsen). Andra partier i samma ås har genom tidigare undersökningar dokumenterats för liknande syften /5/, /7/.

Det undersökta området begränsas av Ynglingagatan i söder och Brunnsviken i norr, se fig 1-1. Inom området har kvarteren Getingen, Ormträsket och Cederdal undersökts. Kvarteret Cederdal utgörs av Sveaplans gymnasium och kvarteret Ormträsket av Wenner-Gren Center. Kvarteret Getingen består av sammanlagt 5 större kontorsfastigheter.



Figur 1-1 Undersökningsområdet

En kartläggning av de geologiska och hydrologiska förutsättningarna har utförts. Till grund för dessa studier ligger tidigare geotekniska undersökningar i området. Även egna mätningar och rördrivningar har gjorts för att komplettera bilden. Syftet har varit att se hur stor lagerkapaciteten är.

En kartläggning av fastigheternas grundläggningsförhållanden samt effekter av grundvattennivåförändringar redovisas.

Vidare har behoven av värme och kyla i området kartlagts. Slutligen lämnas ett förslag till systemlösning för Wenner-Gren Center.

1.3 Principen för ett akviferlager

Principen för ett akviferlager är att infiltrera vatten i en del av ett grundvattenmagasin och pumpa ut motsvarande mängd i en annan del. Härmed fås ett slutet cirkulationssystem. Beroende på inlagrad vattentemperatur används akviferens massa för lagring av värme eller kyla. Utformning av ett lager beror på faktorer som:

- * temperaturen på in- och utlagrat vatten
- * cirkulationsriktning i lagret
- * akviferens volym, egenskaper och utbredning
- * sättet på vilket man använder lagret, t ex för enbart värme eller kombinerat värme/kyla

Är temperaturnivån 10 - 25°C talar man om lågtemperaturlager, varvid värmepump krävs för ett utnyttjande av varmet från lagret. Högtemperaturlagring, 50 - 90°C, är svårt att genomföra i åsakviferer och något sådant lager är ej utfört eller planerat i Sverige.

Beroende på cirkulationsriktning finns två huvudtyper av akviferlager, genomströmningslager och pulserande lager. Som framgår av namnet är cirkulationsriktningen densamma vid både uttag och infiltration i ett genomströmningslager.

I den andra typen växlas cirkulationsriktning vid uttag och infiltration. Det pulserande lagret har ofta bättre verkningsgrad eftersom man tar ut värmen i den brunn där den inlagrades.

Andra varianter har diskuterats där uttag och infiltration görs på olika nivåer i samma brunn.

Troligen kommer det att på visst håll från brunnarna utbildas ett mer eller mindre horisontellt gränsskikt mellan varmt och kallt vatten. Gränsskiktningen beror på akviferens permeabilitet och temperatur eller mer direkt densitets- och viskositetsskillnader mellan vattenmassorna i lagret. Ju större densitetsskillnad

desto mer distinkt skiktning. Vid kraftig pumpning nära Brunnsviken kan saltvatten komma att infiltrera vilket även påverkar skiktningförutsättningarna.

Exempel på återladdningskällor är:

- 1) sommarvarmt ytvatten
- 2) värme från lokalkyla
- 3) solfångare.

Temperaturen på ytvattnet i södra Sveriges sjöar varierar under perioden maj-oktober från 10 - 20°C. Den uttagbara energimängden är stor. Inlagring av värme i akviferer kan ske genom värmeväxling mellan grundvattnet och sjövattnet.

Kylaggregat producerar värme som skall transporteras bort. Antingen löser man detta med en luft- eller vattenberörd kondensator eller genom ett kyltorn. Ofta används stadsvatten till de vattenberörda kondensatorerna, vilket blir kostsamt. I dessa fall försvinner värmen ut i atmosfären eller avloppssystemet.

Grundvattentemperaturen är låg efter en vinter när akviferen tömts på energi och lämplig till att utnyttja för kyla. Låter man vattnet passera kylaggregatets kondensator och sedan låter det återinfiltreras i akviferen tillvaratages värmen. Denna kan sedan utnyttjas under den påföljande vintern. Detta utnyttjande bygger dock på att man har ett ungefär lika stort kylbehov som värmebehov under året. Är dessa behov olika, kan underskott på värme justeras med sjövärme eller solfångare. Överskott på värme kan kylas bort mot sjön vintertid eller utnyttjas för att värma tilluften till fastigheter under den kallaste perioden.

Alternativet att erhålla laddningsenergi genom att utnyttja solfångare har översiktligt studerats. Kostnaden för denna energi blir dock fortfarande för stor. Temperaturnivån blir dock hög, vilket kan vara värdefullt om man vill gå upp högre än 20°C i ett akviferlager.

I ett akviferlager utnyttjas både grusmaterial och vatten som energilagrande medium.

En egenskap hos ett akviferlager är att ur- och inladdning sker med en viss tröghet, dvs vattenfronten rör sig fortare än värmefronten. Förhållandet mellan dessa två hastigheter beror på porositet, densitet och värmekapacitet hos både grus och vatten.

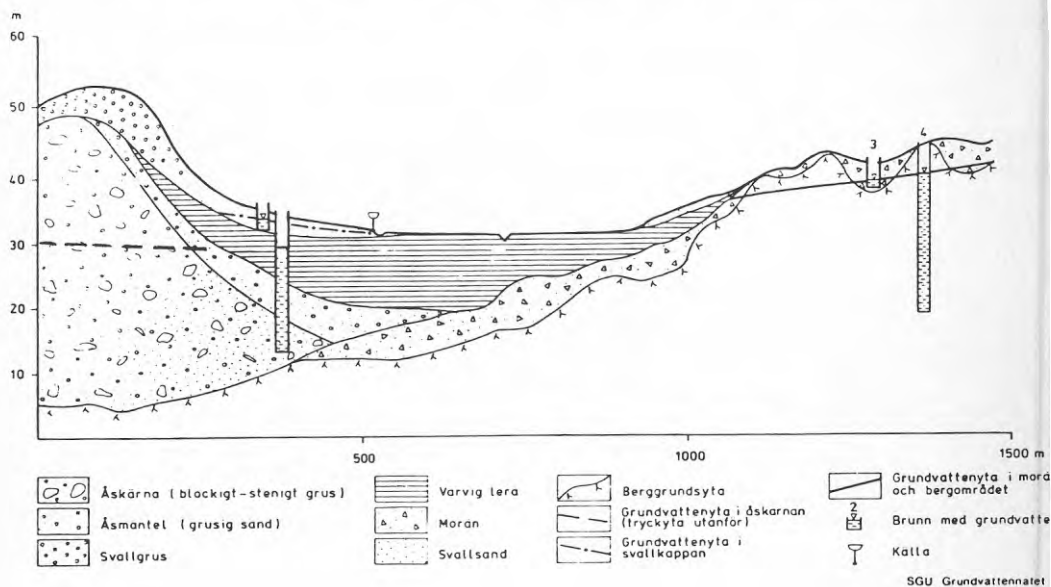
Normalt sett rör sig vattenfronten dubbelt så fort som värmefronten /6/.

2. GEOLOGI

2.1 Åsens uppbyggnad och utbredning

Det undersökta området ligger på och i anslutning till Stockholmsåsen (Brunkebergsåsen). Denna ås går från tull till tull i nord-sydlig riktning rakt igenom Stockholm.

Principiellt är åsar typ Stockholmsåsen uppbyggda enligt tvärsnittet i fig 2-1. Karakteristiskt för dessa är att de har utbildats under högsta kustlinjen.



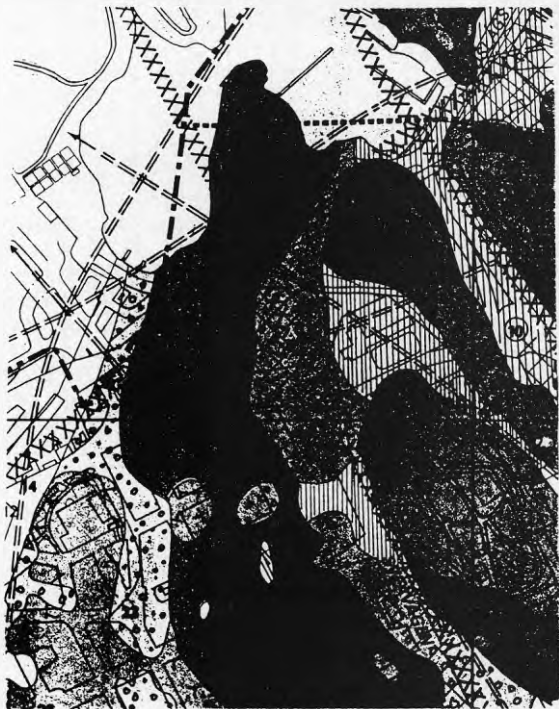
Figur 2-1 Tvärsnitt av rullstensåsen.
(Något modifierad figur från SGU 1975)

Kärnan som oftast är direkt pålagrad berget består av rundat grovt material, dvs blockigt-stenigt grus. Denna centrala del är avsatt under isavsmältningen i isälvtunnelns mynning. En åsmantel av sand avsätts ofta på det grövre gruset. Lera har sedan avsatts på och kring åsen efter isens tillbakagång. Vid landhöjningen har toppen på åsen svallats och sand pålagrats lera på åsslutningarna.

I figur 2-2 ser man åsens utsträckning i det aktuella området. Till stora delar är åsen bortschaktad då den tidigare utnyttjats för stadens grusförsörjning. Man kan dock se kvarlämnade delar vid Norrtulls sjukhus och vid Observatoriekullen. Något väster om dagens

Wenner-Gren Center låg Tullkullen (Generalsbacken), en i norr-söder utsträckt ca 36 m hög och 300 m lång åskulle, vilken nästan nådde ända fram till Brunnsvikens sydligaste vik /2/.

Åsen försätter ut i Brunnsviken och bildar där en mindre halvö vid Bellevueparken. Halvön, som utgör själva åskärnan, är smal och spetsig och upp till 30 m hög. Åsens stäckning fortsätter vidare norrut genom Hagaparken. Norr om Odengatan har åsen avlagrats utmed en mot öster stupande bergyta. Berget framträder vid kvarteret Getingens sydvästra hörn.



Figur 2-2 Stockholmsåsens utsträckning vid södra Brunnsviken (Symbolbeteckningar enligt figur 2-1.

Samtliga i figur 2-1 beskrivna jordlager går att återfinna inom området. I figur 2-2 framträder både svallgrus och lera på sidan av grusåsen. Leran finns i ytan vid Sveaplans gymnasium. Den förekommer även under svallgruset och kilar ut där gränsen mellan svallgrus och åsmaterial går. Åsens topp är numera avschaktad och sidopartierna har fyllts med fyllnadsmassor. En separat grundvattenbassäng finns utbildad på leran.

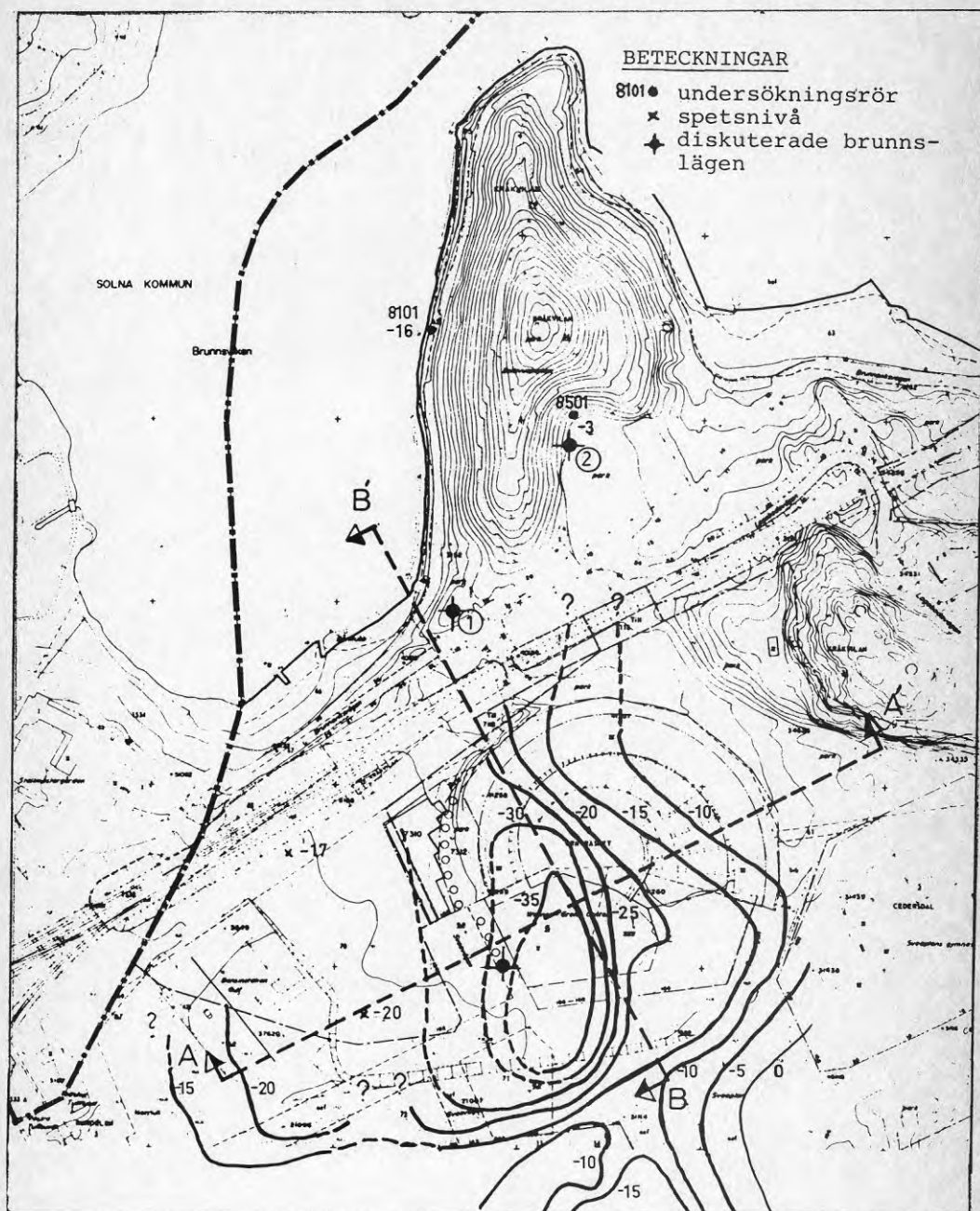
Figur 4-1 beskriver lerans gräns mot gruset dokumenterat genom sonderingar. Gränsen är bäst känd vid Wenner-Gren Center. Längre mot norr kan den antagast ha den utsträckning figuren visar.

2.1 Bergnivåer

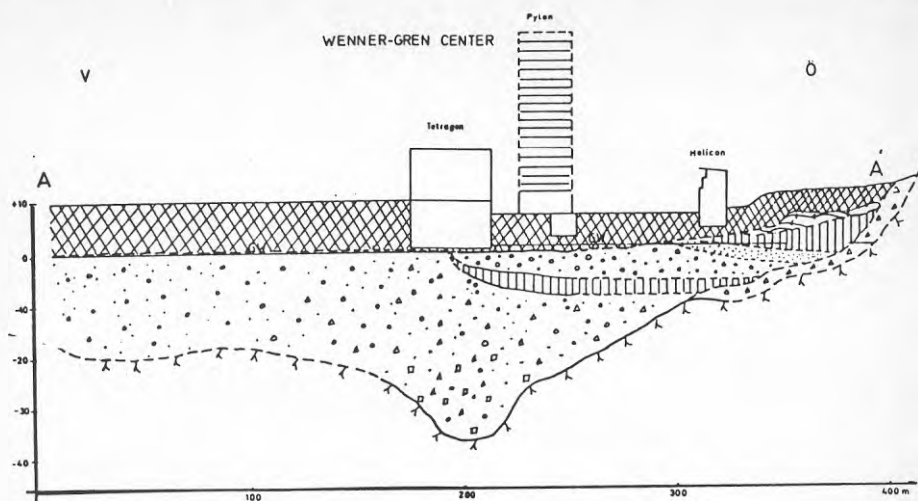
Figur 2-3 visar bergytans nivå i det aktuella området. Geotekniska undersökningar i samband med byggnation av fastigheterna i området ligger till grund för bergnivåbilderna. I områden med osäkra nivåer har kurvorna streckats. Det enda säkra bedömningsunderlaget finns i kvarteren Ormträsket och Getingen. Punkter där sonderingar stoppat på förmodat berg är markerade och djupet har angivits. Figur 2-4 och 2-5 visar två tvärsektioner enligt figur 2-3.

2.2 Material

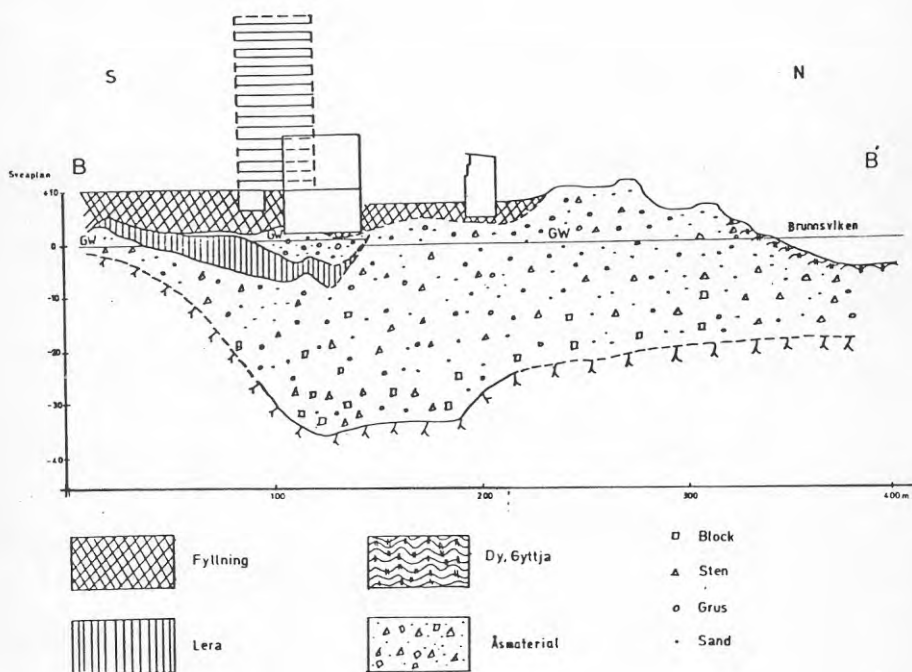
Eftersom grusmaterialet är grövst i de centrala delarna av åsen är den hydrauliska konduktiviteten här störst. Ett K -värde av minst 10^{-2} m/s är att förvänta. De geotekniska undersökningarna visade att grusmaterialet i kärnan bestod av ett sandigt men till övervägande delar grusigt och stenigt material. Detta faktum belyser även förhållandet att det sällan går att driva ner en hejarsondering till berg - ofta träffas grövre block på vägen. Även senare gjorda sonderingar - för den s k Norra Länken - tyder på detta.



Figur 2-3 Förmodade bergnivåer inom området



Figur 2-4 Tvärsektion A-A' enligt 2-3



Figur 2-5 Tvärsektion B-B' enligt 2-3

3. HYDROGEOLOGI

3.1 Allmänt

Åsar är goda grundvattenledare och är ofta dränerande på omgivningen. Så är fallet även för Stockholmsåsen. Vid Observatoriekullen går en grundvattendelare. Vattnet söder om denna dräneras ut i Strömmen. Norr om vattendelaren går grundvattenflödet mot Brunnsviken vid Bellevuehalvön. En sträcka på 100 m utmed uddens nordspets hålls isfri på grund av det utläckande vattnet. Mätningar på platsen visar att temperaturen på grundvattnet är 8,5°C. Detta värde är högre än normalt för Stockholms breddgrad där grundvattentemperaturen är kring +7,0°C. Orsaken här till är troligtvis det värmeläckage som kommer grundvattnet tillgodo från hus och VA-ledningar i innerstaden.

3.2 Grundvattenobservationer

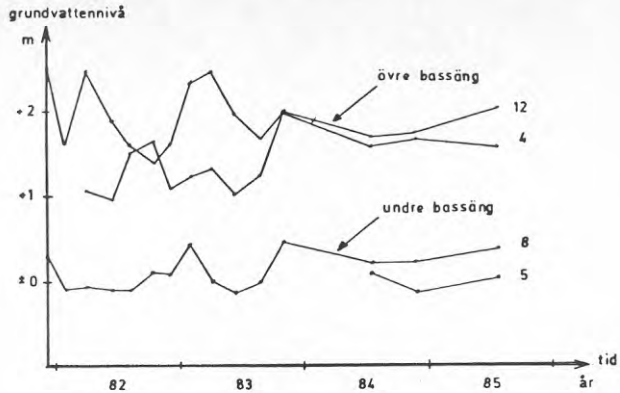
För att klarlägga grundvattenbilden i området har observationsrör loggats med avseende på temperatur och grundvattenyta. De flesta av rören ingår i Stockholms fastighetskontors observationsnät (4, 5, 8 - 12). Figur 4-1 anger observationsrörens och brunnarnas placering. Brunnarna är numrerade från 1 - 12. Två av rören är borrade i samband med en grundvattenundersökning vid Wenner-Gren Center (2, 3). Ytterligare två brunnar finns i gamla Saxonhusets källarplan, Getingen 14, (6, 7) och ett undersökningsrör står på Bellevuehalvöns västsida (1).

I figur 4-1 anges ett normalvärde för respektive rörs grundvattennivå. Av värdena framgår det att inom området finns två grundvattenytor, dels en övre grundvattenyta kring +1,5 m, dels en undre nivå kring +0,1 m. Den lägre ytan regleras av Brunnsviken genom åsmaterialet. Den övre grundvattenytan orsakas av det ogenomsläppliga lerskiktet som bildar botten i en separat grundvattenbasäng.

Vid Wenner-Gren Center finns två rör som mäter den övre grundvattenytan, dels ett rör mellan Pylon och Tetragon (3), dels ett rör på planen söder om höguset Pylon (4). Grundvattennivån i motsvarande lerbassäng på andra sidan åsen mäts troligtvis i observationspunkten vid Norrtull (12). Nivån i denna punkt är +1,7 m.

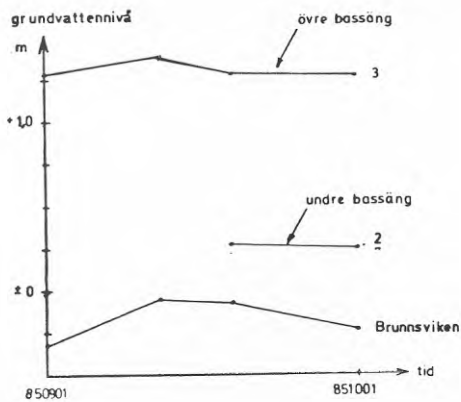
Mätningar i observationsrör (5,9) inom lerområdet längre söderut ger en grundvattenyta som ligger i nivå med den undre grundvattenytan i grusåsen.

Figur 3-1 visar fastighetskontorets avläsningar av observationsrören i området under en 4-års period. Ur figuren konstaterar man förekomsten av de två grundvattenytorna. Numreringen av kurvorna hänför sig till figur 4-1.



Figur 3-1 Grundvattennivåförändringar i fastighetskontorets observationsbrunnar

Under september månad har avläsningar gjorts av de två observationsrören vid Wenner-Gren Center, se figur 3-2. Här finns även variationen av Brunnsvikens nivå inlagd under denna period.



Figur 3-2 Grundvattennivåförändringar i brunnar vid Wenner-Gren Center

3.3 Temperaturmätningar

Vissa av brunnarna (1-3, 6) har temperaturlodats och i figur 4-1 visas medeltemperaturen för dessa. Temperaturmätningarna är gjorda i september 1985. Som

framgår har brunnarna vid kvarteret Getingen en förhöjd temperatur. Denna orsakas av det värmeläckage som sker från husen, VA och fjärrvärmeledningar. Även rören vid Wenner-Gren Center har en något förhöjd temperatur.

3.4 Grundvattennivåns avsänkning

Vid ett uttag/infiltration i en brunn utbildar grundvattenytan en trätt/kon symmetriskt runt denna punkt. Avsänkningens/höjningens storlek avtar snabbt radiellt ut från brunnen enligt följande samband.

$$S = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r}$$

S = avsänkning (m)

Q = uttag/infiltration (m³/s)

T = K * B

K = konduktivitet (m²/s)

B = aktiv höjd (grundvattendjup) på akviferen (m)

R = avstånd till ostörd omgivning (m)

r = aktuell radie (m)

R antas i detta fall vara 1000 m och K kan sättas till $1 \cdot 10^{-2}$ m²/s. Utnyttjar man både infiltration och uttagsbrunn rör sig vattnet efter ett dipolmönster om avlagringen har stor bredd och är förhållandevis homogen. Ett beräkningsmässigt tämligen komplicerat förlopp uppträder härmed. Med hjälp av superpositionsprincipen kan resulterande avsänkning och höjning vid uttags- och infiltrationsbrunn beräknas.

3.5 Områdets grundvattenbalans

För att uppskatta inverkan från tillrinnande grundvatten måste flödet beräknas. Grusåsen tillförs vatten på två sätt

- * infiltration av regnvatten
- * tillskott från läckande VA-ledningar

Infiltration

Eftersom en vattendelare finns i området vid Observatoriekullen avvattnas endast området norr om denna mot Brunnsviken. I öster begränsas området av Vanadislundens-Sveavägen och i väster av en linje Rödabergsskolan-Västmannagatan. I stort sett all denna mark är täckt med fastigheter och gator. De enda större sammanhängande grönområdena är Vanadislundens och Observatorielunden. Dessutom är vissa ytor vid Norrtulls sjukhus ej bebyggda. Följande sammanställning kan göras av ej bebyggda ytor:

Vanadislunden	50 000 m ²
Observatoriekullen	10 000 m ²
Norrtulls sjukhus	8 000 m ²
Övriga ytor	<u>10 000 m²</u>
	78 000 m ² = ca 80 000 m ²

Med ett infiltrationstal av 0,5 och en årlig nederbörd av 570 mm och avdunstning av 370 mm fås den årliga infiltrerade vattenmassan

$$V = 80\,000 * 0,200 * 0,5 = \text{ca } 8\,000 \text{ m}^3/\text{år} = 0,3 \text{ l/s}$$

VA-ledningar

En bedömning av VA-ledningarnas läckning till grusåsen är mycket svår att göra. Det finns gott om grova VA-ledningar i området. I Sveavägens längdsträckning mellan Sveaplan och Norrtull ligger ett utjämningslager för spillvatten. Dessutom finns en stor spillvattenledning parallellt med Sveavägen.

Dessutom finns ett stort antal mindre vatten- och avloppsledningar i området.

Då en rimlig läckning är omöjlig att uppskatta utelämnas denna. Allt läckage från VA-ledningar får därmed en pluseffekt på tillrinningen.

Tunnlar och berggrum

En dränerande effekt på området har tunnlar och berggrum under grundvattenytan. Någon inventering av läckvattenmängder har ej skett.

Grundvattenbalans

Av fig 3-1 och 3-2 framgår att grundvattennivån i aktuellt åsparti regleras av Brunnsviken. Utströmning av grundvatten till Brunnsviken kan iakttagas vid norra udden varför en positiv balans med en grundvattenbildning större än läckaget till berggrum och tunnlar bör föreligga. Vid snabbt stigande vattenstånd i Brunnsviken kan dock under kortare tidsperioder viss infiltration tänkas ske.

3.6 Tidigare grundvattenuttag

I fastigheten Getingen:14 använde tidningsförlaget Saxon & Lindström under åren 1952 - 65 en brunn för uttag av kylvatten till en process i tryckeriet. Brunnen har en diameter på 1,2 m och ett djup av 7 m. Processen krävde 3 - 4 l/s som man efter uppvärmning

pumpade ut i stadens dagvattenledning till Brunns-
viken. Ingen vattendom söktes enligt uppgift för det-
ta uttag.

När man 1964 fann att vattenflödet inte blev till-
räckligt, borrades en ny brunn med en diameter av
30 cm i den södra delen av fastigheten. Brunnen kom
dock aldrig till användning. I stället installerades
ett kyltorn på taket av fastigheten.

1981 gjordes en undersökning för att utreda den hy-
drauliska kontakten brunnarna emellan. Efter pumpning
uppmättes grundvattentemperaturen $+12^{\circ}\text{C}$ enligt upp-
gift.

Vid tomten Riddarsporren 7 ligger f d Hamburgerbryg-
geriet. Inom kvarteret fanns eller finns två stycken
brunnar. En brunn utfördes i början av 1900-talet.
Den andra borrades 1935. Under åren 1968 - 70 togs
kontinuerligt vatten ur den nya brunnen till en kyl-
anläggning. Vattnet återinfiltrerades därefter i den
gamla brunnen. Den nya brunnen går ner till den unge-
färliga nivån -12 , medan den gamla brunnen är betyd-
ligt grundare och går ner till nivån ca $-0,4$.

Enligt vattendom förelåg tillstånd att uttaga ca 12
l/s. Grundvattenytans läge i brunnen kom att ligga på
 $+0$ m vilket även var fallet i närliggande observa-
tionspunkter /3/.

4. GRUNDLÄGGNINGSFÖRHÅLLANDEN

Vid ingrepp i grundvattensystem är det viktigt att känna till näraliggande hus grundläggningsförhållanden. Man kan då bedöma om en förändring av grundvattennivån kan få effekter på husens grundläggning. Stora ekonomiska ersättningskrav ställs vid skador på hus.

Höjning av grundvattennivån kan å andra sidan medföra fuktskador och i extrema fall översvämningar av t ex källare.

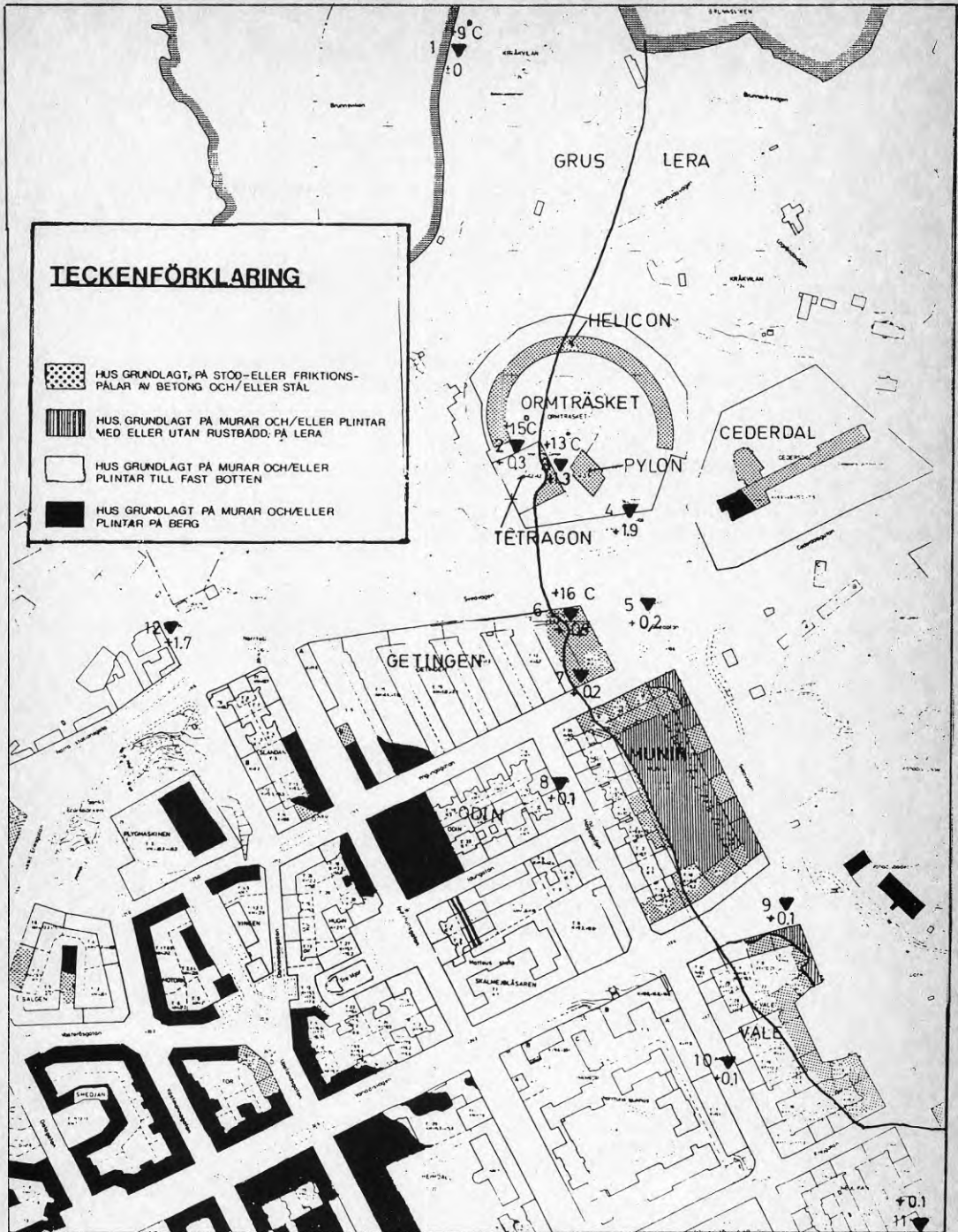
Figur 4-1 visar hur husen är grundlagda runt Sveaplan, dvs inom berört område. Bilden är från Stockholms fastighetskontors sammanställning av innerstadens husgrundläggning.

De finprickade fastigheterna är grundlagda med friktionspålar eller med stödpålar till fast botten. Man har vid geotekniska undersökningar för dessa hus konstaterat lager av lera. Leran är troligtvis sammanhängande med det i kap 2. beskrivna lagret, dvs en utmed åsens sidor pålagrad lerhorisont. En trolig västgräns för lerskiktet har inritats i fig 4-1.

Hus utan symbolbeteckning är grundlagda direkt på friktionsmaterial. Detta friktionsmaterial består huvudsakligen av grus och sand. Grundvattennivåförändringar i sådant material påverkar inte husens grundläggning.

Mörklagda fastigheter är grundlagda direkt på berg och påverkas inte heller av grundvattennivåförändringar.

Inom kvarteren Munin och Vale är vissa fastigheter delvis grundlagda på ett upp till 7 m tjockt lerlager. Berörda hus är streckade i figuren. Dessa fastigheter är känsliga för större grundvattennivåsenkningar och stor hänsyn måste tagas vid ett eventuellt energiutnyttjande av grundvattnet i grusåsen så att inte dessa hus skadas.



Figur 4-1 Husens grundläggning runt Sveaplan
Data från grundvattenobservationer
Lerskiktets västra gräs

5. OMRÅDETS VÄRME- OCH KYLBEHOV

Fastigheterna inom kvarteren Ormträsket, Cederdal och Getingen har undersökts avseende värme- och kylbehov, se tabell 5-1

Ormträsket omfattar hela Wenner-Gren Center med hög-
huset (Pylon), kontorsbyggnaden (Tetragon) och for-
skarbostäderna (Helicon), se figur 4-1. Kv Cederdal
omfattar Sveaplans gymnasium och kvarteret Getingen
består av kontorshuset vid Sveavägen från Sveaplan
till Norrtull.

Fastighet	Värmebehov MWh	Uppskattat kylbehov MWh
W-G Center	4 000	1 500
Sveaplans gymn.	1 200	-
Saxon	ca 2 000	500
IBM	2 050	500
OK	2 700	500
Ericsson	2 750	500
Honeywell Bull	2 170	500
Totalt	16 870	4 000

Tabell 5-1

5.1 Ormträsket - Wenner-Gren Center

Värme: Uppvärmningen sker med eldningsolja. Den årliga förbrukningen är ca 600 m³. Panncentralen är placerad i källaren i höguset Pylon och förser de övriga byggnaderna med värme via ett kulvertsystem. Den nuvarande energiförbrukningen är ca 4 000 MWh/år. Toppeffekten kan beräknas till cirka 1 240 kW.

Kyla: Inget av husen har installerad kyla i ventilationssystemet. Tetragon har ett antal mindre aggregat för lokal kyla över vissa ytor.

Luftbehandling: Den halvcirkelformade byggnaden Helicon, som i huvudsak består av bostäder, har självdragsventilation medan Pylon och kontorsbyggnaden Tetragon är utrustade med FT-ventilation, dvs mekanisk till- och frånluftsventilation. Ventilationssystemet i Pylon är ombyggt och moderniserat och utnyttjar i dag återluft i stor utsträckning för att hålla nere uppvärmningskostnaderna. Ventilationssystemet i Tetragon har nyligen kompletterats med utrustning för värmeåtervinning.

5.2 Cederdal - Sveaplans gymnasium

Värme: Skolan har en egen värmecentral som årligen förbrukar 180 m^3 olja. Toppeffekten är ca 420 kW.

Kyla: Skolan har inget kylbehov eftersom den står tom under sommaren.

Luftbehandling: Fastigheten har mekanisk F/T med återluft från aulan.

5.3 Getingen 14 - Saxon

Allmänt: Sedan 1977 är tryckeriet borta från fastigheten och numera finns endast den redaktionella delen av förlaget kvar. Även denna del kommer att flyttas ut och fastigheten skall byggas om invändigt. Den totala ytan är $13\,000 \text{ m}^2$, varav ca $5\,000 \text{ m}^2$ utgörs av garage, lager och verkstad.

Värme: Den abonnerade effekten fjärrvärme är 1 740 kW. Aktuell energiförbrukning är ointressant eftersom värmesystemet till vissa delar av fastigheten är avstängt.

Kyla: I dagsläget finns det bara några mindre aggregat för komfortkyla på ett plan. Vid en planerad ombyggnad av fastigheten till kontor kan dock ett kylbehov uppstå.

Luftbehandling: I det nuvarande ventilationssystemet finns ingen värmeåtervinning.

5.4 Getingen 13 - IBM

Allmänt: Fastighetens omfattar $11\,000 \text{ m}^2$ kontor samt $10\,000 \text{ m}^2$ övriga utrymmen.

Värme: Den abonnerade fjärrvärmeeffekten är 1 480 kW och energiförbrukningen var 83/84 2 050 MWh.

Luftbehandling: Huset har F/T med ett tilluftflöde av $55\,000 \text{ m}^3/\text{h}$. $34\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ av detta evakueras till garaget. Huset har ingen installerad värmeåtervinning.

Kyla: Fastigheten har likt OK fått ett mindre kylbehov under senare tid eftersom en stor del av datautrustningen flyttats ur huset. För komfortkyla har man ett centralt aggregat i ventilationsutrustningen med ett kyltorn på taket. Dessutom finns ett antal mindre kylaggregat för enstaka ytor. Fastigheten skall byta hyresgäst 860401 och i samband med detta installeras en ny kylutrustning.

5.5 Getingen 16 - OK

Allmänt: Fastighetens totala lägenhetsyta är $24\,000 \text{ m}^2$, varav $14\,000 \text{ m}^2$ är kontor och butiker.

Värme: Fastigheten är ansluten till fjärrvärme med en abonnerad effekt av 1 620 kW. Den årliga energiförbrukningen är ca 2 700 MWh.

Luftbehandling: Ett återvinningsbatteri finns som tar energin ur frånluften och värmer upp tilluften. Den avkylda luften evakueras sedan till garaget.

Kyla: Efter utflyttning av OKS dataavdelning har kylbehovet minskat. Fastigheten har 2 större aggregat för komfortkyla i ventilationssystemet samt mindre aggregat för punktvisa kylbehov. Fastigheten upplevs dock av personalen som varm under sommaren.

De två stora aggregaten kyls med en luftkyld kondensator på taket och de övriga med mindre, separata luftkondensorer. Installationerna är i det närmaste 15 år gamla.

5.6 Getingen 15 - Ericsson

Allmänt: Huset har en total lägenhetsyta på 27 200 m², varav 11 500 m² kontor och resten garage, verkstad och lager.

Värme: Fastigheten är ansluten till fjärrvärmenätet med en abonnerad effekt av 1 700 kW. Energiförbrukningen var kalenderåret 84 2 725 MWh. Av detta beräknas 1 700 MWh åtgå till uppvärmning av ventilationsluft, 900 MWh för transmission och 200 MWh för varmvatten.

Luftbehandling: Tilluftflödet är 157 000 m³/h. Några av tilluftsaggregaten utnyttjar återluft.

Kyla: Eftersom inga stora datatanläggningar finns i huset finns endast behov av komfortkyla. För detta finns några mindre aggregat installerade.

5.6 Getingen 11 - Honeywell Bull

Allmänt: Den totala golvytan är 32 000 m², varav 9 500 m² är kontor och resterande lager, industri, garage m m.

Värme: Fjärrvärme med en abonnerad effekt av 1400 kW. Energiförbrukningen var 84/85 2170 MWh efter ombyggnad av ventilationsutrustningen.

Kyla: Fastigheten som beskrivs som mycket varm har ett komfortkylbehov samt ett behov för kyla av datautrustning. Ett antal mindre aggregat samt ett större besörjer detta. Dessutom finns ett pålsförvaringsutrymme i fastigheten. Det stora aggregatet förbrukar 24 000 m³ stadsvatten årligen.

Ventilation: Ventilationssystemet har nyligen omgjorts. Man har återluft från kontor samt resterande luft evakueras till garaget. Innan man blåser ut luften från garaget låter man den passera en värmepump som värmer tilluften.

6 VÄRMELAGRINGS-POTENTIAL

Man kan konstatera att det i området dels finns en stor lagerkapacitet i form av en akvifer och dels ett antal fastigheter som kan utnyttja denna tillgång. I första hand bedöms fastigheterna norr om Sveaplan ha dom bästa förutsättningarna. Dessa är Wenner-Gren Center och Sveaplans gymnasium. I framtiden kan eventuellt ytterligare fastigheter tillkomma. Så blir fallet om tomtmarken väster om Wenner-Gren Center bebyggs. Följande faktorer talar till deras fördel.

- Akvifervolymen är störst i detta område.
- Det avskilda läget innebär att de sättningsbenägna fastigheterna vid kv. Munin inte påverkas.
- Närhet till Brunnsviken med återladdnings- eller kylenergi.

Även fastigheterna söder om Sveavägen- Sveaplan kan utnyttja samma lagervolym. En sådan lösning innebär en något ökad kostnad på grund av att ledningen troligen måste passera en livligt trafikerad gata. Det går emellertid även att utnyttja akviferen under kvarteret Getingen men dock inte i samma omfattning eftersom akvifervolymen och därmed lagerkapaciteten är mindre. Med ett kombinerat kyl-/värmelager i mindre skala kan man dock erhålla en god systemlösning.

Möjligheten att utnyttja akviferen är inte obegränsad. Kapaciteten bestäms dels av hur stor aktiv lagervolym grus (akvifer) som kan utnyttjas i området, dels av hur stort "temperatursvinget" är mellan inladdat och uttaget vatten. Det inlagrade vattnets temperatur beror på återladdningskällan, med sjö- vatten eller från lokalkyla blir det ca +15 - 20°C.

Storleken av aktiv lagervolym beror på placeringen av brunnarna. Skall fastigheterna i området utnyttja åsen för energilagring måste de använda markområden utanför sin egen tomtmark. Ett utnyttjande i full skala för berörda fastigheter kommer att kräva ett minsta avstånd mellan infiltration och uttagsbrunnar av åtminstone 200 m. Bergytans topografi bestämmer vidare lämpligaste placering av brunnarna.

Det är tekniskt möjligt för flera fastigheter att samtidigt utnyttja åsen som energilagring. En gemensam finansiering av brunnar och övriga installationer ger lägre totalkostnad.

Systemlösningen varierar beroende på vilken eller vilka fastigheter som utnyttjar akviferen, om man lagrar både kyla och värme m m. Det är inte möjligt att redogöra för alla systemlösningar. I följande beskrivning kommer systemlösningar för Wenner-Gren Center att redovisas.

7 SYSTEMEXEMPEL WENNER-GREN CENTER

7.1 Systemdiskussion

Principellt kan tre olika systemutformningar tänkas för Wenner-Gren Center:

- genomströmningslager
- pulserande lager
- horisontalskiktat lager

Genomströmningslager

Ett genomströmningslager med uttag i en brunn intill Brunnsviken och injektering i en brunn vid Wenner-Gren Center ger en höjning av grundvattenytan kring Wenner-Gren Center. Med det cirkulationsflöde som framgår av figur 7-2 blir höjningen/sänkningen av grundvattennivån vid injektion/uttag obetydlig.

Pulserande lager

Vid ett pulserande lager utnyttjas en varm brunn och en kall brunn. I exemplet nedan har valts att lägga den kalla brunnen vid Wenner-Gren Center och den varma brunnen närmast Brunnsviken. Systemet beskrivs närmare i följande kapitel.

Horisontalskiktat lager

Vid mäktiga akviferer och speciellt om horisontella tätare jordlager förekommer, som försvårar vattenutbytet i vertikalled, kan man tänka sig att lagra varmt vatten på kallare vatten. Fördelen med ett sådant system är att den varma brunnen och den kalla brunnen kan ligga nära varandra eller utgöras av samma brunn delad på två våningar. I fallet Wenner-Gren Center skulle en tvåvåningsbrunn innebära att man ej behöver förhandla med någon annan markägare. Någon påverkan på grundvattennivån erhålles ej.

Nackdelen är att uttag och injektion måste ske med reducerade flöden för att ej blanda kallt och varmt vatten vid uttag och injektion. Problemen kan minskas genom att dela upp cirkulationsflödet på flera brunnar.

System av denna typ är under utveckling i Danmark. Vid fortsatt utredning av värme- och kylagring för Wenner-Gren Center bör detta system finnas med i bilden.

För att kunna bestämma lämpligt system för lagring av värme och kyla i akviferen vid Wenner-Gren Center erfordras kontrollerande rördrivningar och testpumpningar.

7.2 Brunnsplacering

Följande beskrivning anger lämpliga lägen för en "varm" brunn och en "kall" brunn enligt den pulserande lagermodellen. En lösning med flera "kalla" respektive "varma" brunnar kan naturligtvis även tänkas. För placeringarna hänvisas till figur 2-3.

Ett tänkbart läge för en kall brunn är vid Wenner-Gren Centers västsida. I detta läge ligger man utanför lerlinsens utbredningsområde och i ett område med stort grundvattendjup. Det stora grundvattendjupet (ca 30 m) gör det möjligt att inlagra det kalla vattnet i botten av akviferen. Dessutom ligger man nära höghuset Pylons panncentral, vilket ger en kort rördragning. Den varma brunnen kan vara placerad vid några alternativa punkter. Två av dessa lägen diskuteras nedan.

1. Ett läge vid sjön är positivt då varmt sjövatten kan användas för återladdning. Värmeväxlaren placeras i direkt anslutning till brunnen. En risk finns dock för att kallt sjövatten till viss del läcker in i magasinet vid uttag vintertid.
2. Placering vid Bellevues bollplans norra hörn ger en större lagervolym mellan varm brunn och strand. Delen inläckande sjövatten vid uttag från brunnen bör därför minska. Resultat från en rördrivning på platsen tyder på att fast botten av berg eller morän ligger på tämligen hög nivå (-3 m) varför ett nytt läge för uttagsbrunn bör sökas.

Det kalla vattnet som infiltreras i botten på akviferen vid Wenner-Gren Center kommer att förstöra en del av den höga temperaturnivån hos grundvattnet i denna del av akviferen. Genom pumpning sommartid kan det dock vara möjligt att utnyttja det kalla vattnet för kylbehovet som föreligger i fastigheten. Genom infiltration av det uppvärmda kylvattnet i den varma brunnen vid Brunnsviken byggs ett nytt värmelager upp.

Alternativt, om kylbehovet är otillräckligt för återladdning, uttages motsvarande flöde och värme genom värmeväxling mot Brunnsviken före infiltration i den varma brunnen.

7.3 Lagringskapacitet

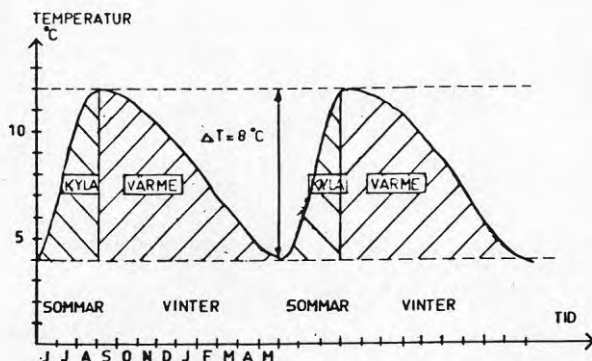
Den lagringsbara energimängden i akviferen beräknas ur följande samband.

$$Q = V * c * \Delta T$$

Q	= energimängd	kJ
V	= volym	m ³
c	= värmekapacitivitet	kJ/m ³ , °C
ΔT	= temperaturdifferens	°C

ΔT är temperaturdifferensen mellan den högsta och den lägsta temperaturen i åsen under året. Akviferervattnets temperatur kommer successivt att sjunka fram till uppvärmningssäsongens slut. Den genomsnittliga temperaturen för hela lagret antages följa kurvan enligt figur 7-1. ΔT blir då 8°C .

Värmekapacitiveteten, c , för akviferen har ett cirka-värde av $0,7 \text{ kWh/m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figur 7-1 Akviferens temperaturvariation

Med utgångspunkt från resultatet av de geotekniska undersökningarna i området kan en volymberäkning av tillgänglig akvifervolym enligt ovanstående brunnsplacering göras. Lagervolymens längd och i viss mån dess bredd kan relativt exakt beräknas. Djupet är däremot svårare att bestämma. Med utgångspunkt från figur 2-3 och en placering enligt 1 fås att volymen och lagringskapaciteten blir:

$$L = 210 \text{ m} \quad B = 100 \text{ m} \quad H = 20 \text{ m} \quad V = 420\,000 \text{ m}^3$$

$$\text{Lagringskapacitet } Q = 2\,300 \text{ MWh} \quad (\text{vid } \Delta T = 8^{\circ}\text{C})$$

Med en placering enligt 2, vid Bellevues bollplan, kan en större lagervolym erhållas.

$$L = 320 \text{ m} \quad B = 100 \text{ m} \quad H = 20 \text{ m} \quad V = 640\,000 \text{ m}^3$$

$$\text{Lagringskapacitet } Q = 3\,600 \text{ MWh} \quad (\text{vid } \Delta T = 8^{\circ}\text{C})$$

7.4 Värmelagringsbehov

Uppvärmningssäsongen förutsätts vara mellan september-maj, 9 månader. Eftersom den troliga toppeffekten för hela Wenner-Gren Center är ca 1300 kW och en lämplig effekttäckningsgrad på värmepumpen är 50 %, kan värmepumpens värmeeffekt ansättas till 650 kW. För en värmepump med värmeeffekten $P_v/650 \text{ kW}$ blir kyleffekten $P_k/430 \text{ kW}$ enligt följande samband.

$$P_k = \frac{P_v (\phi - 1)}{\phi}$$

Värmefaktorn antas med hänsyn tagit till den höga förångningstemperaturen bli så stor som ca 3. Med denna effekt och en drifttid t av 4550 h, värmepumpen beräknas gå 70% under 9 månader ($0,7 * 6500$), tas energimängden Q , ($Q = P_k * t$) = lagringsbehovet 2 000 MWh ur lagret. (Vid kapacitetsreglering går värmepumpen kontinuerligt). Lagringsbehovet illustreras i figur 7-3 av det glest snedsträckade området till vänster. Härav framgår att lagringskapaciteten 3 600 MWh enligt placering 2 klart överstiger lagringsbehovet. Det erforderliga cirkulationspumpflödet i åsen beräknas ur sambandet.

$$P_k = m * c * \Delta T$$

P_k = kyleffekt kW

m = massflöde kg/s

c = värmekapacitivetet kJ/kg, °C

ΔT = temperaturfall °C

c och ΔT fås från föregående sida. Flödet blir då 21 kg/s eller ca 21 l/s. Detta flöde är det maximala som blir under topplastperioden.

7.5 Omsättningar

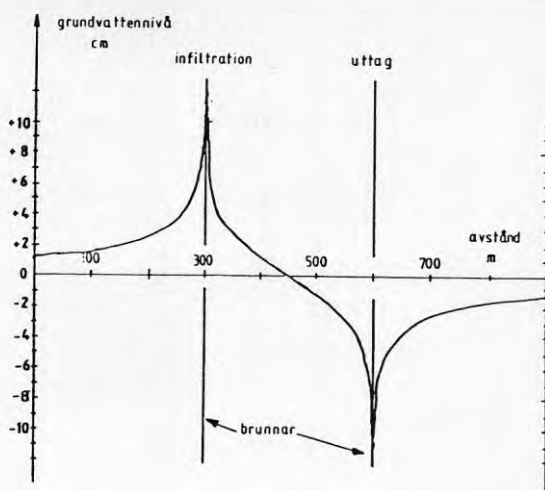
Om man räknar med den större akvifervolymen 640 000 m³ och en effektiv porositet av 20 % fås en vattenvolym av 130 000 m³.

Ur brunnen tas i genomsnitt ca 13 l/s under 6500 h = 304 000 m³. Härmed fås att 2,3 omsättningar görs per vinter av vattenvolymin i lagret. Vattenomsättningen är cirka 2 ggr så snabb som energiomsättningen i lagret.

7.6 Grundvattenpåverkan

Beräknar man avsänkningen och gör motsvarande superpositionering vid ett uttag/infiltration av 21 l/s, enligt formeln i kap 3 - 4, fås förloppet enligt figur 7-2. Övriga parametrar har ansatts till $K = 1 * 10^{-2}$ m²/s, $B = 20$ m, $R = 1000$ m.

Ur figuren framgår att påverkan 200 m utanför brunnarna blir ca 1 cm. Detta läge motsvarar avståndet till det känsliga kvarteret Munin. Eftersom Brunnsvikens yta varierar med +/- 0,5 m och grundvattenytan regleras av Brunnsviken kan man påstå att en infiltration/uttag av 21 l/s har en marginell effekt.

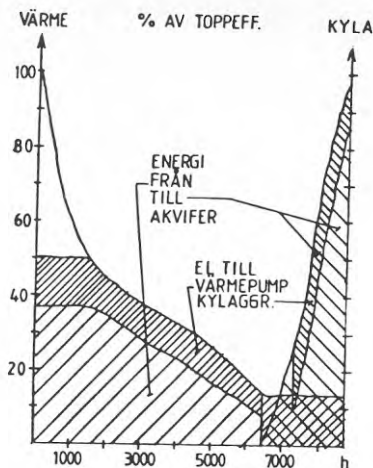


Figur 7-2 Grundvattennivåns påverkan vid ett maxflöde av 21 l/s.

7.7 Vinterfallet - värmepump

En målsättning för en värmepump är att hålla en så hög förångningstemperatur och en så låg kondenseringstemperatur som möjligt. Härmed fås den högsta värmefaktorn och därmed den bästa driftekonomin. Större värmepumpar kapacitetsregleras ofta. På detta sätt regleras värmepumpens kondenseringstemperatur efter husets effektbehov. Härmed optimeras årsmedelvärmefaktorn och kompressorn slits inte av för många på- och avslag.

De värmepumpar som har R12 som arbetsmedium kan arbeta med utgående värmebärartemperatur upp mot 70°C. Detta arbetsmedium bör väljas för äldre värmesystem som är dimensionerade för höga temperaturer. Ofta väljer man av ekonomiska skäl värmepumpens effekt-täckningsgrad till cirka 50 %. Den resterande effekten täcks med en olja- eller elpanna. Varaktighetskurvan i figur 7-3 vänstra del belyser hur en värmepump med 50% effekt-täckningsgrad kan tänkas fungera i en fastighet typ Wenner-Gren Center.

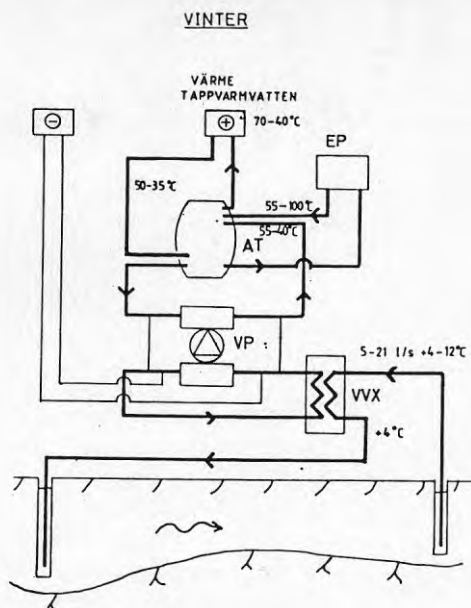


Figur 7-3 Varaktighetskurva

Trots den låga effekttäckningsgraden tas huvuddelen av energin (>90%, gles och tät snedsträckt yta till vänster) från värmepumpen. Som synes fås en stor del av denna energi (>60%, gles snedsträckt yta till vänster) från akviferen. Mellan 6 500 - 8 760 h, dvs 3 månader under sommaren används aggregatet istället för kyl drift. En elpanna går då in för att värma tappvarmvattnet (krysstreckat).

Flödet följer de grova linjerna. Vidare har, för överskådlighetens skull, ventiler och pumpar utelämnats.

När aggregatet vintertid används som värmepump uttages grundvatten från brunnen närmast sjön. Med hjälp av en pump belägen antingen i brunns omedelbara närhet eller i Pylons panncentral fås grundvattnet att cirkulera genom en värmväxlare och injekteras i brunnen närmast huset. Detta flöde styrs så att utgångstemperaturen från värmväxlaren blir +4°C. Med en kapacitetsreglerad värmepump varierar flödet då mellan 5 - 21 l/s. Detta infiltrerade vatten kommer att utbilda en kall zon kring botten av brunnen. Zonen sprids sedan sakta mot uttagsbrunnen under vintern. Det eventuella tillskottet av varmt grundvatten från söder kommer att inblandas i den kalla zonen eller flyta över denna.



Figur 7-4 Flödesschema för värmepumpsdrift under vintern.

Värmeväxlaren har valts därför att kylbatterierna under sommaren är inkopplade i denna krets, se figur 7-5. Nackdelarna med detta blir dock, dels att det fördyrar anläggningen, dels att man förlorar 1 - 2°C av förångningstemperaturen. Eventuellt går problemet att lösa på ett annat sätt.

Värmepumpen arbetar mot en ackumulatortank. I denna hålls varmt, 70 - 40°C, och kallare, 50 - 35°C returvattnet åtskilt. Man kan även använda två ackumulatortankar eftersom det är svårt att hålla vattnet skiktat i endast en tank.

Så länge den 55°C-iga temperaturen från värmepumpen är tillräcklig för fastigheten arbetar denna direkt mot värmesystemet. Så snart som temperaturkravet blir högre späder en oljepanna, eller i vårt fall en elpanna, in högre temperatur in i ackumulatortanken.

Det returnerade, 50 - 35°C, vattnet matas sedan ånyo in i ackumulatortanken för att uppvärmas.

7.8 Sommarfallet - kylaggregat

Så fort värmebehovet på försommaren upphör kopplas aggregatet in för kyl drift. Vattenflödet går då genom aggregatets kondensorsida där det upptar värme från

kyldriften. Cirkulationsriktningen i akviferen växlas men flödet varierar mellan 5 - 21 l/s beroende på kylbehovet. Denna värme återladdas sedan via värmeväxlaren ner i akviferen. KYLA är inkopplat direkt eller via värmeväxlare på aggregatets förångarsida. På motsvarande sätt som aggregatet kapacitetsregleras vid värmedrift är kyldriften reglerad efter behovet.

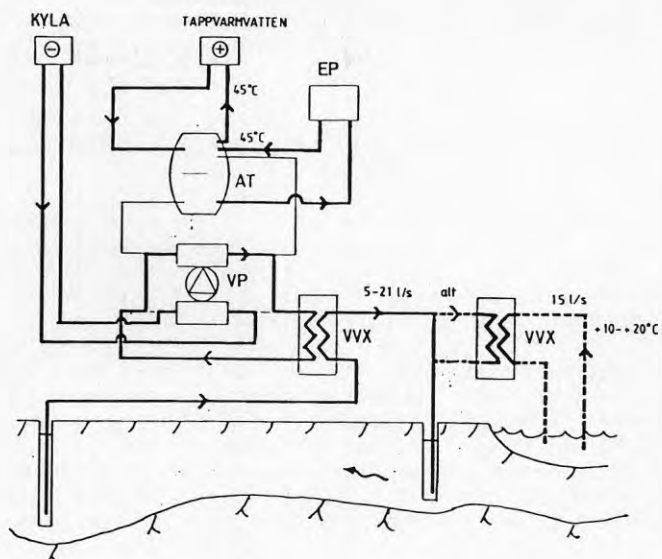
Eventuellt kan man i början av kyla-säsongen direktkondensera bort värmen över grundvattnet. Den låga grundvattentemperaturen (+4°C) är då tillräcklig för det aktuella kylbehovet. En kostnadsbesparing görs eftersom man slipper driftskostnaderna av kylaggregatet.

Den högra delen av figur 7-3 visar motsvarande varaktighetskurva för kylbehovet under året. Det bör poängteras att i detta projekt har ingen kylbehovsberäkning av Wenner-Gren Center gjorts. Kurvans utseende är därför osäker. Toppkyleffekten har dock antagits vara lika stort som toppvärmeeffekten, vilket kan vara rimligt.

En förutsättning för att lagret till fullo skall återladdas är att kylenergiebehovet är nästan lika stort som värmeenergiebehovet. Den glest snedsträckt ytan till vänster bör då vara lika stor som ytan under kylbehovets varaktighetsdiagram till höger i figur 7-3. Vid balansberäkningen måste även hänsyn tagas till det positiva bidrag den naturliga värmetransporten från omgivande mark och atmosfär ger. Visar det sig vid en närmare undersökning vara obalans mellan ytorna, kan man tänka sig att återladda eller kyla akviferen via värmeväxlare mot Brunnsvikens ytvatten.

Figur 7-5 visar inkopplingen av en värmeväxlare som tar värmen ur sjön på detta sätt. En värmeväxlare är nödvändig eftersom man inte vill blanda grund- och sjövattnet. Den ingående värmeväxlartemperaturen varierar mellan +13 - +20°C och flödet görs så stort att den utgående temperaturen av +4°C erhålles. Med ett medelflöde av 15 l/s under sommaren kommer då en större del, eller ca 1 600 MWh, att återladdas till akviferen. I avsnitt 8 beskrivs den naturliga förutsättningen för uttag i Brunnsviken.

SOMMAR



Figur 7-5 Flödesschema vid kyl drift under sommaren

8. STRÖMNINGS- OCH TEMPERATURFÖRHÅLLANDEN I BRUNNSVIKEN

Brunnsviken bildar vid Wenner-Gren Center och Stallmästargården en mindre vik. Dess yta är ca 62 000 m² och djupet varierar mellan 0 - 6 m. Uppskattningsvis är medeldjupet 3 m, vilket gör att totalvolymen i viken blir $1,9 \cdot 10^5 \text{ m}^3$.

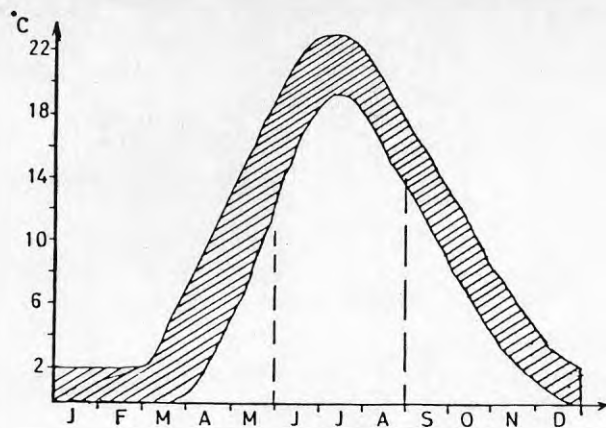
Denna volym kan jämföras med den under sommaren omsatta för återladdning av lagret. Med ett flöde av 15 l/s under 3 månader omsätts då $1,2 \cdot 10^5 \text{ m}^3$.

Vikens vattenutbyte med övriga Brunnsviken bedöms som god. Eventuellt utbildas inget språngskikt eftersom viken inte är tillräckligt djup. VA-verkets mätningar visar att språngskiktet utbildas på mellan 4 - 6 m djup i Brunnsvikens centrala delar.

Spårämnesförsök /1/ har visat att den inre vattenomsättningen över språngskiktet är mycket god. Ström- hastigheten varierar med vindhastighet och vatten- ståndsnivåer i Saltsjön. Mätningar från liknande platser i Brunnsviken visar att ström- hastigheten varierar från 0,5 - 5 cm/s beroende på ovanstående fak- torer. Någon risk för att man kommer att kyla av vi- ken föreligger inte. In- och utlopp bör dock inte placeras med allt för kort avstånd från varandra.

Vattenkvaliteten analyseras kontinuerligt av VA-ver- ket. Härav framgår att saliniteten varierar mellan 0,5 - 3,0 ‰ i det övre skiktet. Höga halter av fosfater och andra närsalter har uppmätts i de djupa delarna av Brunnsviken. Material i värmeväxlare bör väljas med hänsyn till vattnets kvalitet.

Figur 8-1 illustrerar inom vilket intervall tempera- turen varierar under en årscykel. Mätningarna är gjorda av VA-verket från en punkt ungefär mitt i Brunnsviken på 0,5 m djup.



Figur 8-1 Brunnsvikens temperaturvariation

9. REFERENSER

1. Anders Brännström, Patrik Hult;
Vattenomsättning i Brunnsviken, examensarbete i
vattenbyggnad KTH, nr 225 1977
2. H Möller, Göran Stålhös;
Beskrivning till geologiska kartbladet Stockholm
NO, 1964, Ser Ae nr 1
3. Anders Nordström;
Grundvattenuttag i Stockholms City, Rapport
898860, Geologiska Inst, Stockholms Universitet
4. Sören Andersson m fl;
Värmelagring i konstgjorda grundvattenmagasin,
BFR-rapport R78:1980
5. Sören Andersson m fl;
Naturvärmekällor i Sollentuna, BFR-rapport
R95:1983
6. Sören Andersson m fl;
Värmelager i naturliga grundvattenmagasin,
NE-projekt
7. Eriksson A m fl;
Brunkeberg Aquifer Thermal Energy Storage in
central Stockholm, ENERSTOCK 85, Toronto 1985

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850380-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Allmänna
Ingenjörbyrå AB, AIB, Solna.

R88: 1986

ISBN 91-540-4638-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706088

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 30 kr exkl moms