© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

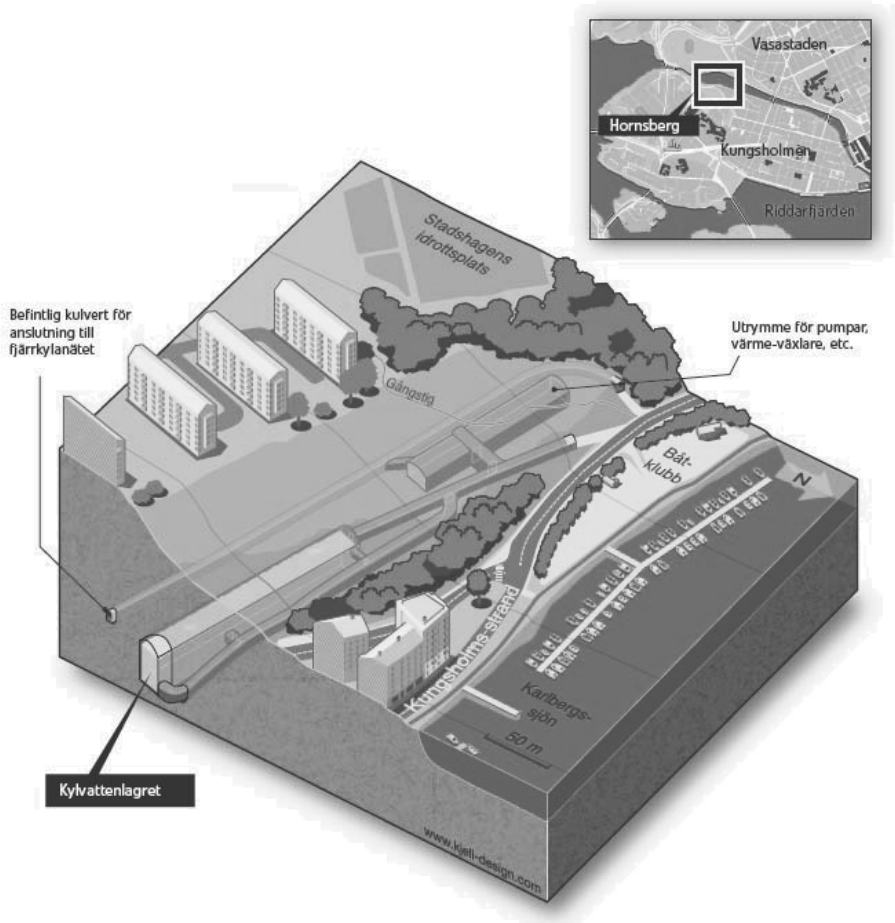
Produktionsanläggning för fjärrkyla i Hornsberg

Malin Svendenius, SWECO, Johan Guthe, SKANSKA

Inledning

Stockholm har världens största fjärrkylanät, räknat till såväl antalet kunder som till nätets utbredning. Alla prognoser pekar på att behovet av fjärrkyla kommer att öka i framtiden, därför har Fortum satsat på att utöka kapaciteten och byggt ett underjordiskt kylvattenlager i Hornsberg på Kungsholmen. Kylvattenlagret, med tillhörande maskinhall, arbets- och anslutningstunnlar har sprängts ut under Stockholms högsta naturliga punkt mellan Stadshagens IP och Karlbergssjön.

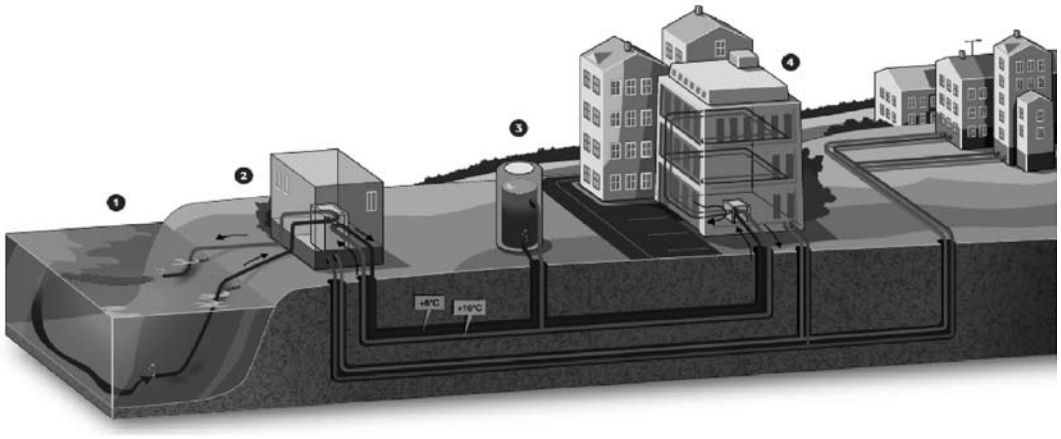
Beställare av anläggningen var AB Fortum Värme samägt med Stockholm stad. Berg- och byggprojekteringen utfördes av SWECO och SKANSKA har varit entreprenör. SWECO påbörjade projekteringen av anläggningen 2005 och bergdriften startades i augusti 2007 och slutfördes i juni 2008. Totalt har drygt 70 000 m^3 berg sprängts ut. I skrivande stund pågår rördragning och installationer. Anläggningen beräknas tas i drift i sommar.



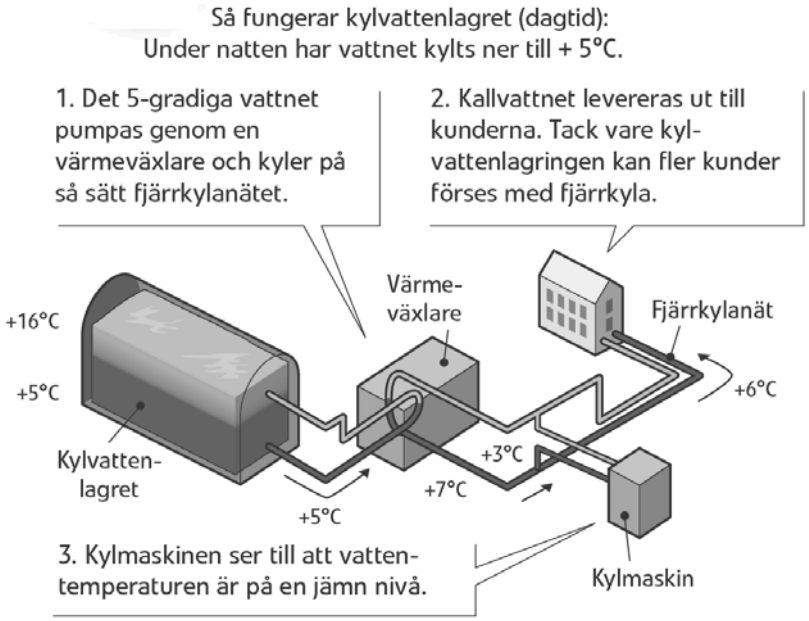
© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Fjärrkyla

På arbetsplatser, i gallerior, livsmedelsbutiker, datacentraler och andra miljöer där människor och maskiner alstrar värme behövs system som kan ta hand om överskottsvärmen. Fjärrkyla är ett miljövänligt och effektivt alternativ. Fjärrkyla bidrar till lägre elförbrukning och minskning av miljöskadliga köldmedier. Då bullrande och utrymmeskrävande kylmaskiner ersätts med fjärrkyla frigörs ytor och bullerfria miljöer skapas. Fjärrkylan bygger till största delen på att utnyttja kallt bottenvatten från Östersjön och växla över havskylan till det stora rörsystem som transporterar kyla till fastigheter.



Kylvattenlagret i Hornsberg kommer bidra till att produktionen av fjärrkyla från Östersjön kan utnyttjas mer effektivt, eftersom kyla kan produceras under den tid av dygnet då användningen är låg och lagras i bergrummet tills efterfrågan ökar.

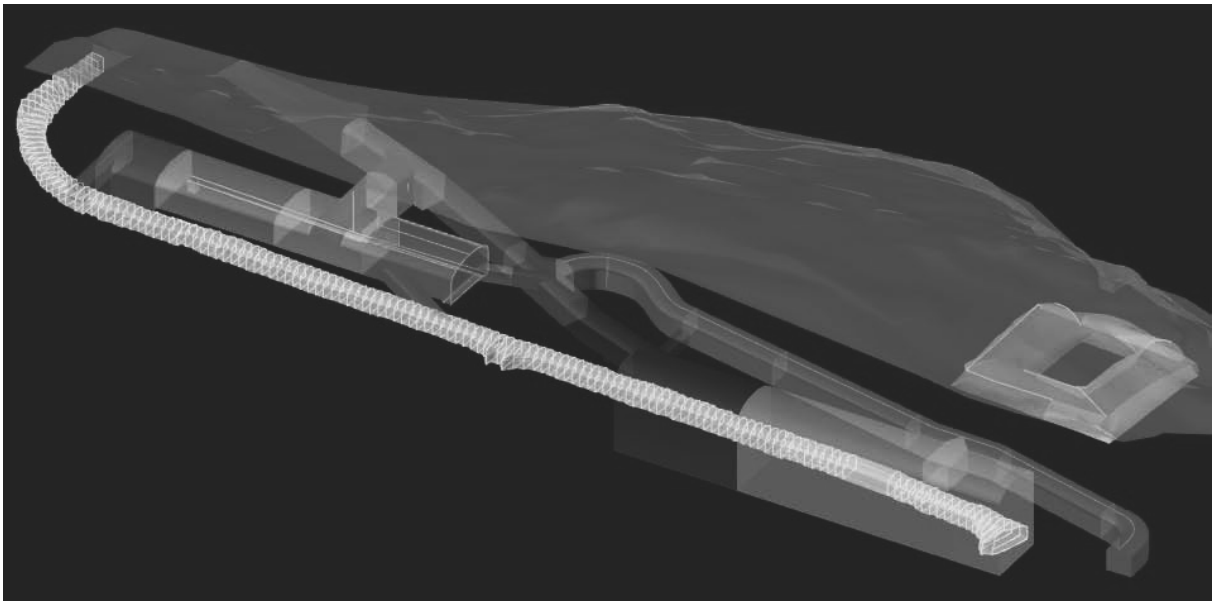


© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Bergprojektering

Under 2005 gjordes kärnborrhål, okulär besiktning av berget och JB-sonderingar. Markytan ovanför det planerade läget av anläggningen mättes in. Förundersökningarna visade på en bergkvalitet av mycket god kvalitet med Q-index på över 10. Utifrån detta togs det fram olika förstärkningsklasser beroende på bergkvalitet och tunneldel.

För att få en korrekt design på anläggningen med rätt lutning på arbetstunnlar och en lättare överblick på avstånd till bergöveryta och intilliggande tunnlar och bergrum ritades först anläggningen upp i en 3D-modell i Microstation. Därefter togs ritningar fram.



Kylvattenlagret ligger under grundvattenytan och har en bergtäckning på cirka 35-40 meter. Lagret projekterades för måtten: 22 meter i höjd, 15 meter i bredd och 125 meter i längd. För att kunna ta ut en så stor volym berg projekterades en arbetstunnel längs med vattenlagret så att lagret skulle kunna sprängas ut i tre höjdetapper med hjälp av galleri- och pallsprängning. Innan anläggningen tas i bruk kommer arbetstunneln stängas igen och bli en del av vattenlagret.

Den anslutande maskinhallen ligger högre upp än vattenlagret och har en bergtäckning på mellan 10-20 meter. I maskinhallen ryms det pumpar, värmeväxlare och diverse utrustning för att hålla anläggningen i drift. Maskinhallen har två anslutningar till befintlig ledningstunnel. I den ena tunneln kommer rören från det befintliga systemet att ansluta till de rör som går ned till vattenlagret. Den andra tunneln ska fungera som nödutrymningsväg

Geologi och förstärkning

Ej klart än

Eftersom det kan finnas risk att bitar av sprutbetong kan komma in i de dosor på rören som ska transportera vatten in och ut i lagret var beställarens önskemål att det skulle vara så lite sprutbetongförstärkning som möjligt i vattenlagret. Eftersom bergets Q-värde ligger så pass högt applicerades endast fiberarmerad sprutbetong i tak och selektiv bultning i tak och väggar.

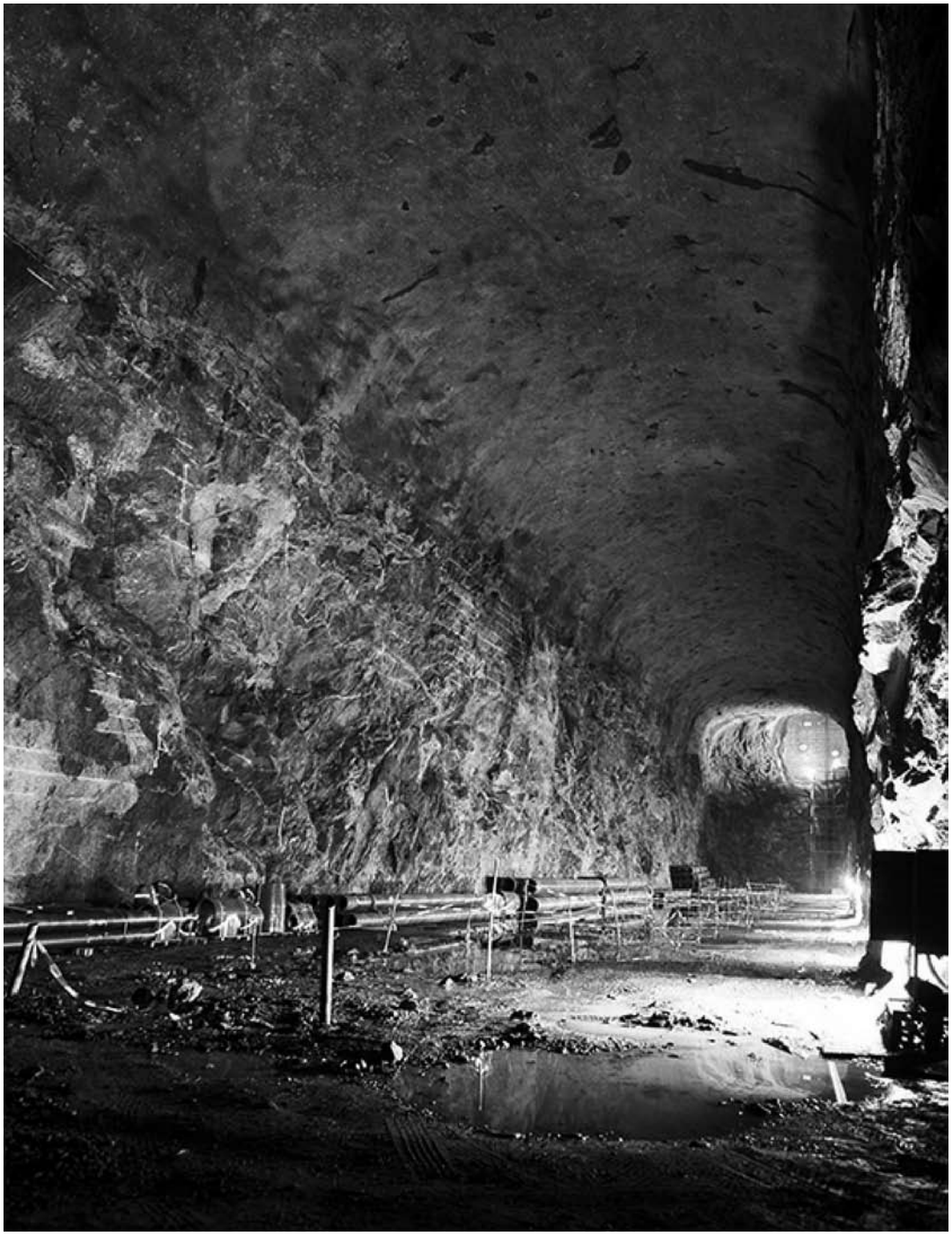
© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Byggskede - Anläggning

Entreprenadens omfattning

Entreprenaden omfattade uttag av ungefär 70000 tfm3 berg under jord samt 1100 tfm3 i förskärning. Till detta kom betongarbeten samt en del byggnads och installationsarbete såväl under jord som i förskärning. Under större delen av entreprenaden kunde det närliggande båtklubbsområdet nyttjas som etableringsplats.

Kontraktet var ett traditionellt mängreglerat baserat på AB92, det vill säga en utförandeentreprenad, och uppbyggt kring Sweco's egna mät- och ersättningregler.



Färdigt vattenlager, ca 40000 tfm3

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Risker

Avseende utförandet av entreprenaden var den största risken tiden. Beställaren hade stipulerat en mycket aggressiv tidplan. Den planerade tidsåtgången är som bekant till stor del kopplad till den förväntade produktionskapaciteten vad gäller berguttaget. Den geologiska risken betecknades som relativt liten då berget var förhållandevis väl känt. I anbudsskedet gjordes bedömningen att förstärkningsmängderna förmodligen skulle bli mindre än vad som hade angetts i förfrågningsunderlaget. Den stipulerade kontinuerliga förinjekteringen förväntades vara fullgod och att ytterligare injektering endast marginellt skulle komma att behövas. Dessa bedömningar visade sig sedan i stort vara riktiga.

Resonemanget ovan gav att de för entreprenaden mest betydande riskfaktorerna var:

- Buller: Styrdes av ordningsstadgan och ett relativt kort avstånd till närboende vilket skulle påverka möjliga arbetstider
- Stomljud: Hus grundlagda direkt på berg på ett avstånd av ca 40 meter från sprängfronten vilket även det skulle begränsa den tillgängliga borrtiden
- Vibrationer: Begränsningar på grund av närliggande byggnader men i första hand Fortums tunnel med en gräns på 70mm/s på ett avstånd av 10m från sprängfront vilket skulle begränsa den möjliga samverkande laddningen.
- Trafik: Styrs av vägklassning och Stockholms miljöförvaltning vilket styr möjligheterna till utlastning, både i fordonsval och tillgänglig utlastningstid

Utförande

På ett tidigt stadium insågs att tidplanen inte skulle kunna garanteras om man inte vidtog åtgärder. De som i det här fallet bedömdes effektiva var:

- Utlastning nattetid
- Dubbla borr-riggar
- Byggnadsarbeten parallellt med bergarbete
- Prefabricering i förskärningen
- Ersättning av dräner med tunnelduk

Utlastning nattetid

För att hantera ovan nämnda risker valdes en arbetscykel som innebar att all borrning och sprängning skedde dagtid på grund av stomljudsbegränsningen. All utlastning förlades däremot nattetid. Detta var möjligt efter att en dispens för tung trafik hade utfärdats. På detta sätt kunde de närboende förskonas tung trafik dagtid och framför allt under rusningstid. Att förlägga utlastningen till nattetid fick även den positiva konsekvensen att färre fordon krävs jämfört med utlastning dagtid då trafiksituationen skulle kräva betydligt fler fordon i omlopp för motsvarande utlastningskapacitet. Utlastning nattetid gav därmed en miljövinst för projektet. Detta fungerade mycket väl när väl tunnelfronten var så belägen att all lastning kunde ske under jord och därmed bullret reduceras.

Vibrationerna begränsades genom delade salvor och strängladdningar på sedvanligt sätt. För att bibehålla ett med avseende på tidplanen acceptabelt berguttag bedrevs arbete på upp till 5 fronter samtidigt då stundtals varje enskild laddning kunde vara relativt begränsad.

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Dubbla borr-riggar

Den stora mängden borrning som krävdes per dag för att kunna säkerställa den ovan diskuterade cykeln krävde att det under produktionstoppen engagerades två borr-riggar. Detta krävde en del logistik med tanke på det mycket begränsade arbetsutrymmet men var i övrigt ett naturligt beslut.

Dubbla borr-riggar var en del i att klara tidplanen

Byggnadsarbete parallellt med bergarbete

Teoretiskt självklar lösning som i praktiken innebär en hel del koordination då samtliga transporter skall samordnas genom i detta fallet en enda öppning. Väsentliga kapacitetssänkningar fick accepteras jämfört med normala byggkapaciteter vilket blev kostnadsdrivande.

Prefablösning i förskärning

För att minimera tiden då den enda accessen in till tunnelsystemet blockerades föreslogs att ändra den befintliga designen till en lösning där vägarna kunde byggas var för sig och prefabplankor lyftes på de platsgjutna väggarna, varefter en ingjutning kunde ske. På detta sätt blockerades infarten endast då anslutning mot berg gjöts. I tillägg till detta skedde en hel del optimeringar av den i anbudet avgivna designen för att på kunna dels förenkla byggandet samt förbättra slutresultatet för kund.

Ersättning av dräner med tunnelduk

En sådan i förväg ej planerad men i utförandet framtagen lösning var borttagning av insprutade dräner och tillägg av tunnelduk. Detta beslut tog bort en stor osäkerhet i utförandet och gav en betydligt bättre slutprodukt. En stor del i detta beslut var att beställaren krävde ett 100% droppsäkrat bergrum, vilket är svårt och i många fall mycket kostsamt att uppnå med hjälp av dräner. En stor nackdel med dräner är att kvantiteten är svårbedömd och ett 100%-igt resultat är svårt att uppnå. Normalt ligger även insprutningen av dräner på kritiska linjen då det är svårt att bedriva andra arbeten i anslutning medan dessa monteras och framför allt sprutas in.

I detta fall framkom även ett önskemål från Beställaren att måla bergrummet för att skapa en ljusare miljö. Detta befanns dock onödigt tack vare användandet av tunnelduk.

© 2009, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Montage av tunnelduk i maskinhall

Resulterande kapaciteter

Att diskutera uttag i form av m/dygn blir ointressant då bergrummets geometri var så pass varierad. Uppföljning skedde istället på tfm3/dag. Under full produktion var det genomsnittliga berguttaget ca 900 tfm3/dygn.

Generellt kan sägas att uttaget motsvarade i anbudet förväntade kapaciteter. Den senarelagda starten var beroende av en geologisk komplikation i förskärningen.

Erfarenheter

En tydlig erfarenhet är att av central betydelse i ett pressat projekt (i detta fall pressat på grund av tidsbrist) är att en förståelse av de inblandade i slutmålet och en respekt för varandras roller är mycket betydande. Denna förståelse låg i detta projekt till grund för ett konstruktivt samarbete vilket möjliggjorde betydande förbättringar av konstruktionen. Det är förenat med mycket möda att förändra konstruktionen under pågående produktion, något inte alla klarar med bibehållen måluppfyllnad för de inblandande. Detta klarades dock här vilket i grund och botten handlar om individens inställning till samarbetet. Även ett klart och tydligt kontrakt är av vikt för att etablera klara spelregler som förstås av alla inblandande.

En annan klar erfarenhet är att det vid användning av dräner måste det i kontraktet vara mycket väl definierat när dränsättning skall ske och när arbetsmängden dräner skall fastställas. Detta för att undvika diskussioner huruvida dränsättningen är utförd eller ej. För beställaren är detta också en uppenbar källa till funktionsproblem och oönskade underhållskostnader alternativt kompletteringskostnader.