© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

LEDNINGSTUNNEL I BERGSHAMRA - ett miljöprojekt

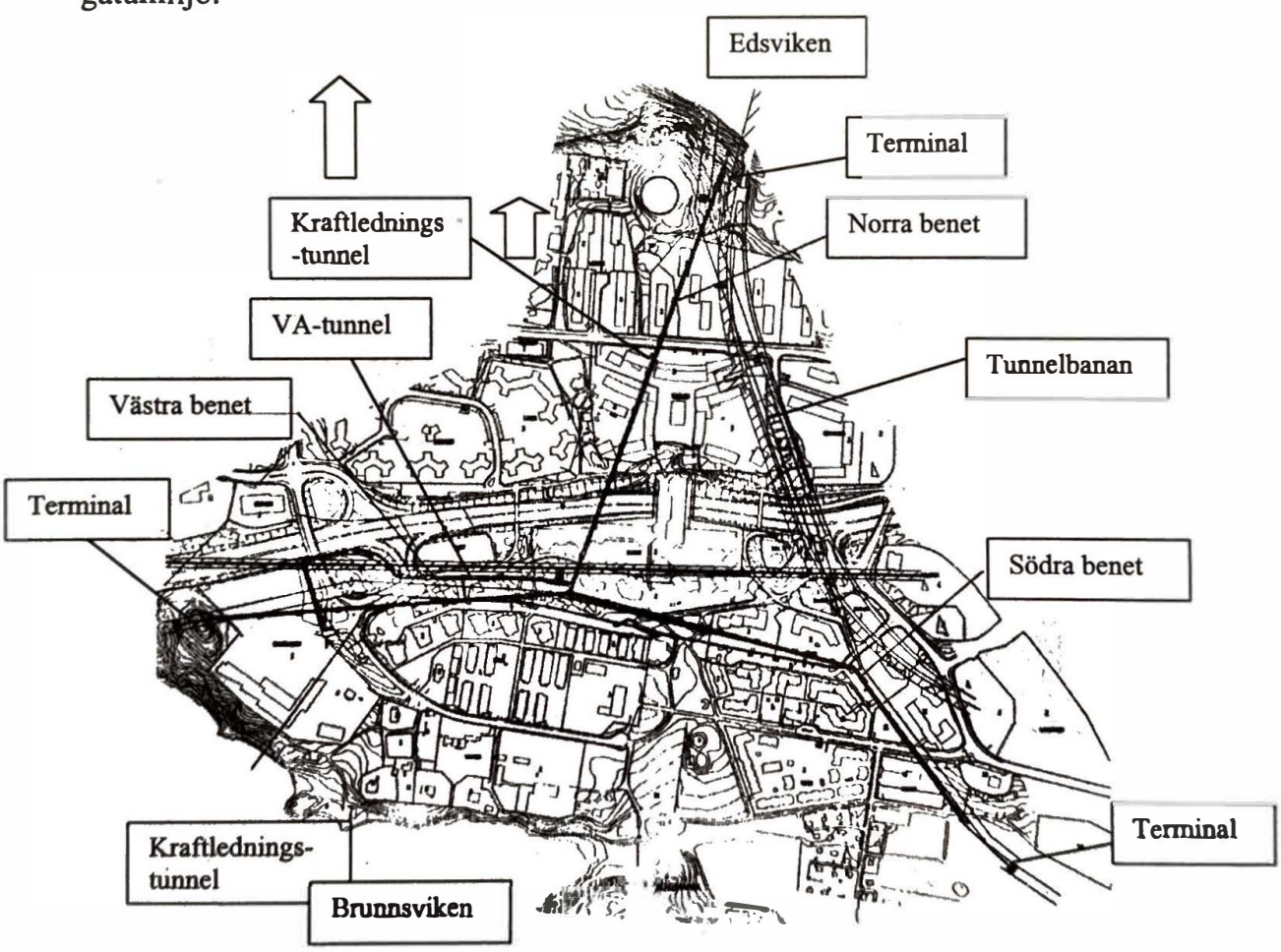
Curt Wichmann, Nitro Consult AB
Sven-Erik Sehlstedt, NCC

Bakgrund

Motiv

I samband med utbyggnaden med bostäder inom Södra Bergshamra beslöt Solna Stad att utreda möjligheten att ersätta de befintliga 220 kV friledningarna inom Bergshamra på annat sätt. Motivet var att eliminera påverkan på de boende från det elektromagnetsiska fält som alstras kring högspänningsledningar. Tidigare utredningar i slutet av 1980-talet visade att det var fullt tekniskt möjligt att förlägga friledningarna som kablar i tunnlar. Dock behövde konceptet prövas bl a ur arbetarskyddssynpunkt.

I början av 1990-talet utreddes ett alternativ med ytförlagda markkablar i gatunätet. Förslaget föll dock på att de boende inte ville ha någon påverkan från magnetfältet i sin gatumiljö.



Figur 1. Kraftledningstunneln i Bergshamra

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Samtidigt skissade entreprenadföretaget Siab på ett tunnelalternativ som skulle kosta något mer än det ytliga kulvertalternativet, varefter ledningshavaren, Stockholm Energi, och Solna Stad ingick en överenskommelse om projektets genomförande. Ett avtal undertecknades 1996 och utgjorde ett startskott för projektets genomförande.

Scandiaconsult ombads samordna markundersökningar samt upprätta ett tekniskt underlag för en Vattendomsansökan. Utifrån resultatet från detta arbete upprättades ett förfrågningsunderlag varefter Siab som entreprenör kunde utses.

Läge

Bergshamra befinner sig mellan Edsviken i norr, Värtan i öster samt Brunnsviken i söder. Området ingår i Nationalstadsparken som sträcker sig ifrån Djurgården i söder och ansluter sig till Järvafältet i norr. Området har genom ett speciellt regeringsbeslut undantagits från vidare exploatering: Nationalstadsparken.

Området karaktäriseras av stadsbebyggelse i naturmiljö. Ett mindre köpcentrum befinner sig centralt i området, men förövrigt består området mellan husen huvudsakligen av naturmark. Ett större trafikstråk genomkorsar området.

Två undermarksanläggningar befinner sig i området. Tunnlar för tunnelbanan befinner sig i områdets östra del och sträcker sig från söder till norr. En avloppstunnel sträcker sig från väster till öster inom området och löper parallellt med och ungefär på samma nivå som den planerade tunneln. Dessa bägge tunnelsystem har påverkat byggandet av kraftledningstunneln.

Geologiska förutsättningar

Bergshamra kännetecknas i norr av ett högländ bergområde med ett tunnare täcke av morän. Mot söder och mot Brunnsviken faller bergnivån undan och området täcks av jord. I kanten av Brunnsviken är jordmäktigheten lokalt upp till 15 meter.

Berggrunden består huvudsakligen av gnejsgranit med inslag av pegmatitgångar. Berggrunden är uppsprucken i två större krosszoner varav det ena är riktat i öst-väst och ett i NW-SO. Dessa krosszoner möts i området för det södra schaktet. Inom detta området är berggrunden kraftigt uppkrossat och vittrat.

Grundvattennivån inom bergplintarna befinner sig nära bergöverytan under det att grundvattenytan i jordarna påverkas av lutningen av markytan och närheten till Brunnsviken. Det finns ett stort överskott av grundvatten inom området och i närheten av Brunnsviken styrs grundvattenytan helt av nivån på havsytan. Berggrunden är i huvudsak sprickfattig och tät. Undantag utgörs av den korta förlängning av tunnelsystemet i söder som utfördes på entreprenörens inrådan. Inom detta området är berget kraftigt uppkrossat och vattenföringen har direkt samband med vattennivån i Brunnsviken. Inom detta området har krävts omfattande förinjektering med cement i berget för att förhindra inläckning av saltvatten.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ägarförhållanden

Den berörda delen av friledningen utgör dels en del av ringen för kraftförsörjning till Stockholm och dels en gren för försörjning till Danderyd och Täby. Hela systemet löper samman vid Värtans energianläggning. De parter som berörs av omläggningen är Solna Stad, Birka Energi (tidigare Stockholm Energi) samt Svenska Kraftnät. För att komma överens om ägarförhållanden, ansvar och kostnader för det nya tunnelprojektet har ett avtal upprättats mellan Solna Stad och Birka Energi. Projektet hade budgeterats till 100 miljoner kronor.

Av avtalet framgår följande huvudsakliga punkter:

- Solna Stad svarar för byggande och drift av tunnel med tillhörande anläggningar.
- Birka Energi svarar för installation och drift av kablar och anslutningar
- Birka Energi bidrar med 30 miljoner kronor till projektet.

Miljöanpassning

Vattendom

Enligt tidigare Vattenlagen skall undermarksanläggningar som påverkar grundvatten prövas enligt vattenlagen. I ett tunnelprojekt skall man visa att verksamheten inte negativt påverkar grundvattensituationen samt att man under genomförandet inte orsakar skada på recipienterna i området. De punkter som har betydelse för ansökan handlar om tätning av berget för att eliminera risken för skadlig grundvattensänkning samt hantering av det processvatten som pumpats ut från tunneln i samband med drivning. Detta vatten innehåller huvudsakligen föroreningar av kväve, olja samt slam.

Vattendom för anläggningen beviljades i april 1997.

Elektromagnetiskt fält

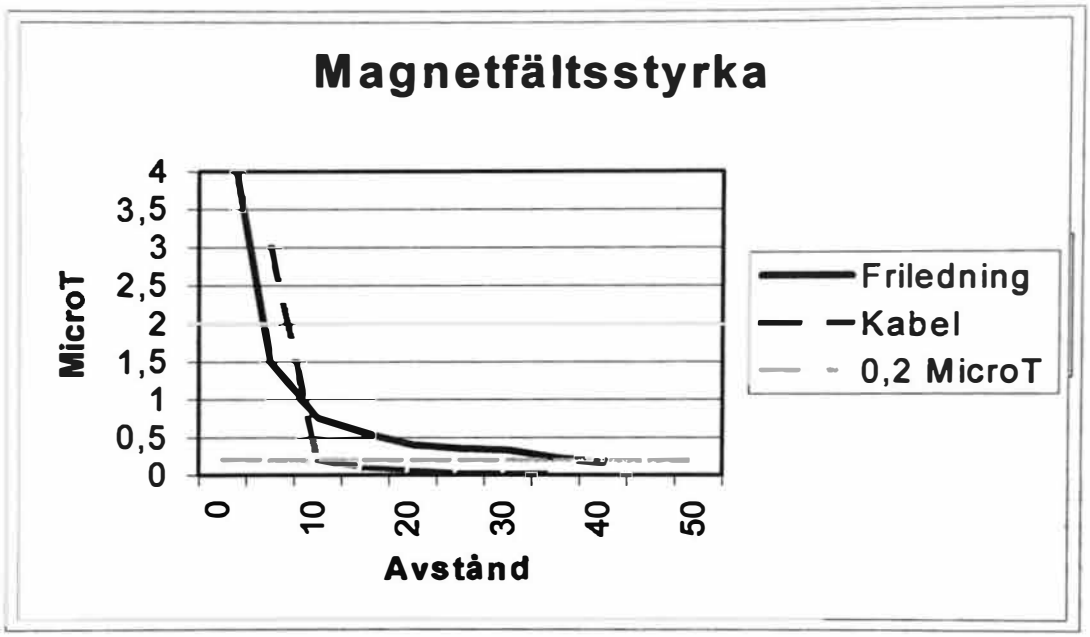
Elektricitet som leds i ledningar alstrar ett magnetiskt spänningsfält kring ledaren. Ju större strömmängd som transporteras desto större blir magnetfältet. Det finns vissa givna hygienvärden hur nära bebyggelse en högspänningsledning får vara. Under 1980-talet fanns en utbredd rädsla för dessa elektromagnetsiska fält. Magnetfält mäts i Tesslan (T) och ett framtaget medicinskt gränsvärde på 0.2 μT antas inte ge några medicinska skador på människor.

Magnetfältets storlek är beroende på strömstyrka samt avståndet till ledaren. Inom Bergshamra har man klarat av satta gränsvärden genom att hålla bebyggelsen på tillräckligt avstånd från friledningarna. Detta avståndet för de berörda friledningar är ca 50 meter.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ett annat sätt att minska det elektromagnetiska fältet är att lägga samman ledningarna och fasförskjuta strömmen på ett sådant sätt att magnetfältet från de tre ledarna motverkar varandra. Detta kan bara låta sig göras om ledningarna monteras som isolerade kablar och buntas ihop tre och tre till ett förband. Effekten av detta är att det elektromagnetsiska fältet reduceras avsevärt. Det kritiska avståndet till gränsnivån 0.2 µT blir då ca 10 meter.

Mot denna bakgrund har tunnlarna förlagts till 10 meter under bebyggelse som har människor stadigvarande.



Figur 2: Elektromagnetiska fältets styrka i förhållande till avståndet vid 220 kV

Vibrationsrestriktioner

Sprängningsarbetena påverkas huvudsakligen av närheten till byggnader och andra tunnlar. Inom området finns också ledningar för försörjning av vatten till området. Dessa ledningar är lokalt gamla och vibrationskänsliga.

Eftersom entreprenaden skulle komma att genomföras i ett bostadsområde med känsliga naturvärden valdes konservativa världen vid sättande av maximalt tillåtna vibrationsvärlden. Vi kunde samtidigt konstatera att projektet hade ett stort värde för de boende och man kunde med andra ord göra bedömningen att en viss förståelse för projektet var att vänta från de boende.

Två objekt kom att styra sprängningsarbetena: Befintligt vattentorn och Tunnelbanan.

Vi kunde efter besiktning av vattentornet på nära håll konstatera att nedbrytningen av betongen hade gått så långt att armeringen är exponerad samt att vattnet läcker genom betongen. Konstruktionen är också underdimensionerad efter en utbyggnad för att ta

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

emot ytterligare ca 30% vatten. För att klara tornet var vi tvungna att jämställa tornet med ruin.

Gamla bestämmelser för sprängning intill tunnelbanan anger att om man spränger intill dess tunnlar med pågående trafik får inte den vibrationsalstrande sprängningen ge en högre amplitud än 10 mm/sek. En ny utredning från utbyggnaden av tunnelbanan vid Hjulsta visar dock att man kan tillåta högre gränsvärden vid sprängning intill tunnelbanan i drift. Ett mer realistiskt gränsvärde hade varit 50 mm/sek.

Generellt i området sattes lägsta gränsvärdet till 35 mm/sek räknat på 10 meters avstånd. Inom området fanns nämligen flera känsliga anläggningar och byggnader med bl a känslig fasadbeklädnad.

Entreprenadupphandling med funktionskrav

I avtalet mellan Solna Stad och Birka Energi anges att tunneln ska vara färdig för kabelmontage senast 30 juni 1998 samt att anläggningen ska tas i drift senast 31 december 1998. För att klara denna snäva tidplan beslutades inom projektet att upphandla tunnelentreprenaden på det underlag som förelåg (Vattendomsansökan) i kombination med vissa funktionella krav samt av entreprenören köpa detaljprojekteringen. Entreprenören kunde därmed starta förberedelserna (etableringar och jordavrymning) samtidigt med detaljprojekteringen. Montering av kablar och byggande av terminaler utgjorde ytterligare två entreprenader inom projektet.

För dimensionering av systemet med konsoler och kabelinstallationen samt terminalpunkterna fanns mer tid. Därför upphandlades dessa entreprenader på färdiga byggritningar.

För att hinna med hela projektet i enlighet med en mycket pressad tidplan krävdes att de tre entreprenörerna skulle gå om lott i såväl tunneln som vid terminalerna. Samordningen av entreprenaderna låg under hela entreprenadtiden på Solna Stad och Birka Energi.

Entreprenadens genomförande

Efter etablering och trafikomläggning startade tunneldrivningen i oktober 1997 från väster med en 25 m^2 tunnel i lutning 1:7 ned till en lastficka på nivå ca +5 som rymmer ca 3 salvor varifrån berget lastades på bilar för vidare transport.

Efter lastfickan minskar arean till ca 17 m^2 och går med svag lutning nedåt mot söder, där den efter 1200 meter når sin lägsta punkt 24 meter under havsytan. I denna lägsta punkt befinner sig en pumpgrop. De sista 65 metrarna stiger tunneln med 1:10 för att möjliggöra ett kortare avslutande schakt.

Den södra tunneldelen var tänkt att avslutas före en svaghetszon varefter ledningarna skulle markförläggas sista delen ner mot Ålkistan. Efter förslag från NCC och

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

noggrannare bergsonderingar beslutades om en förlängning av tunneln med ca 120 meter varvid man kunde korta de 9 kablarna med 30m /st. Berget inom detta området var kraftigt vittrat och uppkrossat, varvid reducerad tunnelindrift och omfattande förinjektering fick tillgripas.

575 meter från tunnelmynningen delar tunneln sig , den norra delen går först plant i 35 meter, tills den passerar under en avloppstunnel för att sedan gå med en stigning som anpassats till att passera det sista husets källargolv med 10m marginal, varefter tunnelns lutning ökar till1:10 uppåt på de sista 60 meter för att avslutas med ett schakt.

Från förgreningen till Ålkistan i söder går en 700 meter lång mellanvägg av minerit i syfte att brandavskilja de 3 kablar som går norr- söder från de 6 som går väster- söder.

I vardera änden avslutas tunneln med en byggnad och ett terminalområde för övergången mellan frihängande ledningar och isolerade kablar.

Under byggtiden gick allt processvatten genom sedimenteringsbassänger och oljeavskiljare innan det pumpades till Käppala reningsverk. Miljövänliga hydrauloljor användes i maskinerna och vattenprov togs 1 gång/mån. Tillåten oljemängd i vattnet var 50 mg/liter och högsta uppmätta värde var 13 mg/liter.

Kontinuerlig förinjekteringen med 3 meters överlapp på skärmarna utfördes efter var 3:dje eller 4:de salva och antalet hål i en skärm varierade mellan 4 och 20, allt beroende på aktuell bergbeskaffenhet. Största injekteringsbehovet var som väntat vid de sista 200 meter ner mot Ålkistan där det gick i 300 kg cement/meter tunnel vilket motsvarar 19 kg/borrmeter.

Vid passagen av avloppstunneln där vi teoretiskt hade 7 meter upp till tunneln använde vi, på grund av risken för aggressivt vatten, sulfat resistent cement i stället för vanlig mikrocement.

Sprängningsarbetet reglerades av de vibrationsrestriktioner som var satta på byggnader, tunnelbanan och vattenledningar och övervakades genom ett system av utplacerade vibrationsmätare som via GSM-telefon stod i kontakt med en central server. På detta vis kunde vi erhålla resultaten från mätningen av den aktuella salvan till arbetsplatsens dator inom 30 min och efter analys göra de ändringar som eventuellt erfordrades. Vid vattentornet, som i riskanalysen jämfördes med en ruin, och husen i norr fick vi både förkorta salvorna och blocka tändningen. Men trots våra ansträngningar föll en och annan tavla i golvet.

Vårt förhållande till allmänheten var genom våra informationsdagar och det efterlängtade borttagandet av kraftledningen mycket gott.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Mätning av miljöpåverkan

Grundvatten

Inom området befinner sig byggnader inom kv Vetet som är delvis grundlagda på fast mark och delvis med pålar. Skulle marken sätta sig intill byggnaderna riskerade anslutande ledningar att gå av. Därför fastställdes i vattendomen en lägsta tillåtna grundvattennivå, varunder grundvattnennivån aldrig fick gå. Det visade sig dock att grundvattenbildningen inom södra Bergshamra mycket styrdes av närheten till Brunnsviken. Grundvattennivån kunde genom regelbundna mätningar aldrig påvisas påverkas av arbetena med tunneldrivningen.

Inläckning

Inläckningen till tunneln mättes regelbundet i dammar. Dammarna byggdes tvärs tunneln och på ett inbördes avstånd av ca 200 meter. Dammarna är konstruerade som tvärgående betongvallar och berget är såväl ridå- som kontaktinjekterat. I vattendomen var gränsvärdet 5 l/min, 100 meter satt för projektet. I tunnelns södra del intill Brunnsviken, fanns en uppenbar risk för saltvatteninträngning. Där skärptes kravet till 2 l/min, 100 meter för att motverka korrosivt saltvatten i tunnelmiljön. Inläckningen var under hela genomförandet i medeltal 1.8 l/min, 100 meter.

Inläckande vatten till tunneln tillsammans med det processvatten som utnyttjades för bl a borrning i tunneln avleddes efter sedimentering och oljeavskiljning till Käppalaverket. Inläckande vatten under tunnelns drifttid avleds till Brunsviken.

Vibrationsmätning

Vibrationsmätning utfördes i den takt som tunnelfronten gick framåt. Ett remote system utnyttjades för att centralt kunna utvärdera varje salva med avseende på vibrationshastighet och frekvens. Skador orsakade av sprängningsarbetet kunde såväl härledas till överskridande av satta gränsvärden som underskridande.

Projektets miljöpåverkan

Bergshamraprojektet var motiverat utifrån de boendes oro för påverkan från det elektromagnetiska fältet kring friledningarna. Detta har nu lösts genom att förlägga strömförsörjningen som kablar i tunnlar. Andra effekter av kabelförläggningen är att man frigjort mark för annan användning. Inom södra Bergshamra har dock fastslagits i stadsplanen att marken inte får användas för bebyggelse, vilket vore det naturligaste. Däremot kan marken användas för t ex lek, sport eller allmän rekreation.

En annan positiv effekt av projektet är att intresset för att bo inom området har ökat. Priset på bostadsrätterna inom området har ökat till nytta för de boende.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Projektet har genomförts inom ett tättbefolkat bostadsområde inom Nationalstadsparken. Stora risker för skada har bedömts på grund av närheten till vattentorn i dåligt skick, känsliga byggnader samt dåligt berg i närheten till Brunnsviken. Trots detta har projektet kunnat genomföras utan större miljöpåverkan eller skador på tredje man. Nedan har sammanställts alla de skadeståndskrav som ställts på projektet efter genomförandet.

Adress	**Skadans art**	**Kostn (kr)**
Björnstigen 117	Spegel med ram, bordslampa	2 000
Björnstigen 26	Spegelglas i badrum	152
Björnstigen 30	Kinesiskt och rysk t fat, blåvitt fat, trasig TV	5 900
Björnstigen 113	Vas, äkta Delfts, keramiklykta, trollgubbe, tennvas, repor i vitrinskåp	3 300
Björnstigen 28	Reparation av ram, stilspegel	6 200
Björnstigen 28	Glasbringare, terrakottaljusstake, affischramar	1 200
Björnstigen 26	Krossad spegel	152
Äspholmsv 24	Skadad ugn	1 741
Villa Klinten	Målning och tapetsering	6 000
Bsf Signalisten	Div skador i lägenheter	5 630
	Summa	**32 275**