© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

STURE-PROJEKTET, KYLT UNDERJORDISKT GASLAGER I NORGE MED SVENSK DESIGN.

Bengt Niklasson, Skanska Teknik AB
Björn Stille, Skanska Teknik AB
Lars Österlund, Skanska Teknik AB

Inledning

Ca fem mil NNV om Bergen på en grupp av öar, Øy-garden, ligger Stureterminalen som är en samägd mottagnings- och utskeppningsterminal för nordsjöolja. Terminalen drivs av Norsk Hydro. Oljan kommer in i en 113 km lång pipe line från 5 oljefält ute i Nordsjön, mellanförvaras i fem oljebergrum med en total volym av 1 million m^3 och skeppas därefter ut i oljetankers. Importen från Nordsjön ligger på ca 120.000 m^3 per dag. Inom området finns två kajanläggningar med plats för skepp upp till 300 000 DWT och en utlastningskapacitet av 2 x 11.250 m^3 per timma. Ett nyckeltal i sammanhanget är att ca 1% av världens råolja passerar Sture terminalen.

Figur 1. Fotot visar Stureterminalen.

Under senhösten 1997 avgjordes ett kontrakt på att bygga ett underjordisk kylt LPG lager för propan/butan som gasas av från inkommande råolja. Bland tre olika entreprenadgrupper så fick Raytheon Engineers and Constructors kontraktet som förutom berglagret omfattar anläggningen för avgasning, anläggning för

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Beställare:	Norsk Hydro
Huvudentreprenör:	Raytheon Engineers & Constructors
Underentreprenörer:	
Bergprojektering och nedkylning:	Skanska Teknik AB
Bergarbeten:	Veidekke

Storprojektet

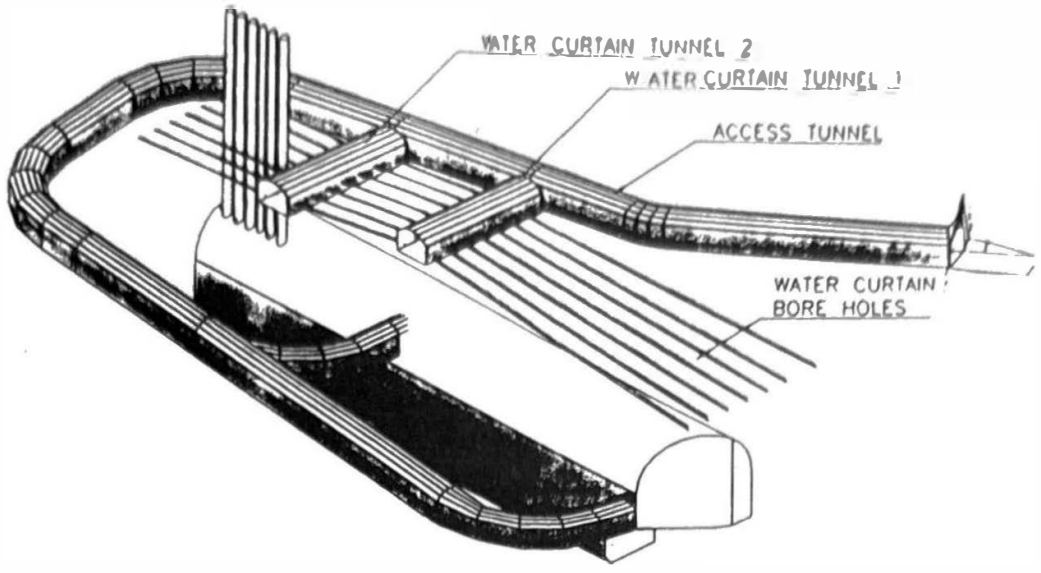
kylvattenintag, rörgator, hamnanläggningar, pumpar mm. Redan i anbudsskedet var Skanska Teknik med som konsult åt Raytheon gällande bergprojektering och nedkylning av bergrummet.
Skanska Teknik har utfört preliminär design, förundersökningar, detaljprojekteringen av samtliga konstruktioner under jord samt kommer ungefär vid tiden för BK-99 att kyla ner lagret till – 20 grader med hjälp av luftnedkylning. Därefter inerteras lagret för att sen fyllas med kyld LPG som ytterligare sänker temperaturen till –35 grader. Professor Håkan Stille, KTH har varit behjälplig som bergteknisk rådgivare. O.T. Blindheim har som underkonsult till Skanska Teknik AB planlagt och utfört förundersökningen. Bergarbetena har utförts av Veidekke som en underentreprenad.
Under hösten 1999 kommer lagret att tas i drift av Norsk Hydro.

Beskrivning av anläggningen

Anläggningen ligger i södra delen av terminalområdet i anslutning till den södra kajen. I den preliminära designen var det tänkt att anslutningstunneln till gaslagret skulle utgå från den befintliga underjordsdelen som ligger norr om läget för gaslagret. Detta skulle då innebära att hela nerfartstunneln till oljebergrummen skulle tömmas på vatten, skrotas och ev. förstärkas upp innan arbetena med den nya tillfarten till gaslagret kunde påbörjas. Skanska Teknik föreslog då att en nerfartstunnel kunde byggas från dagen ner till LPG lagret eftersom topografin i området var lämplig och att man på detta sätt undvek att öppna upp den gamla anläggningen. Nerfartstunneln är på 40 m^2. Från nerfartstunneln utgår två stycken vattenridåtunnlar.

Rummet är på 60000 m^3 effektiv lagringsvolym. Taknivån ligger på –29 m. Gasolen kommer att lagras vid en temperatur på ca – 35 grader och med ett övertryck på 0,1-0,5 bar. Runt rummet fryses vattnet i berget för att täta mot läckage. Ovan lagret läggs en tempererad vattenridå som har två syften: dels att fylla upp en ev. spricka i det frysta berget med vatten som har ett högre

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 2. Allmän layout av Sturelagret.

tryck än det max tryck på 0,7 bar som lagret är konstruerat för, dels för att förhindra att den frysta zonen når markytan med permafrost som följd.

Geologi och förundersökning

Områdets bergarter består i huvudsak av prekambriska gnejser, över 700 millioner år gamla. Gnejsen är medel till grovkornig.
Topografin på Stureön domineras av ett antal bergryggar som löper i riktning NNV formade av isens erosion.
Bergmassans foliation stryker mot NNV och stupar flackt mot öster, 20 – 50 grader.
De huvudsprickriktningar som kan observeras i området stryker alla i riktningar mellan NV och NO och stupar 70 – 90 grader. Antalet sprickor per m^3 berg ligger relativt lågt, runt 2 – 8.
De större svaghetsplanen som genomlöper Sture ön i nord-sydlig riktning är ofta lerfyllda med fyllnadsmäktighet från några decimeter upp till ett par meter. Dessa leror är i de flesta fall svällande.
Vattenförlustmätningar som utförts visar på en låg permeabilitet i bergmassan $10^{-8} – 10^{-9}$ m/s.
Grundvattentransport kunde alltså i huvudsak förväntas i de nord-sydgående relativt glesa spricksystemen.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 3. På bilden framgår bergets gnejsiga struktur svagt stupande mot öster.

Den geotekniska förundersökningen bestod i följande delar:

- undersökningsborrning av observationshål för grundvatten samt kärnborrhål
- bestämning av bergmassans egenskaper
- undersökning av de hydrogeologiska förutsättningarna
- bergklassificering
- bestämning av bergets termiska egenskaper
- bergspänningsmätningar

Det är framför allt två områden som är av speciellt intresse i en förundersökning inför byggandet av ett fryst gaslager. Det ena är bergets termiska egenskaper samt rådande bergspänningar eftersom detta dimensionerar nedkylningsanläggning samt bergförstärkningsinsatsen. Det andra är grundvattensituationen i och omkring anläggningen. Grundvattnet skall hela tiden finnas i och omgiva den kylda bergmassan för att säkerställa lagrets täthet men å andra sidan måste läckaget in i lagret under nedkylningsfasen hållas nere eftersom detta i hög grad påverkar storleken på insatt kyleffekt.

Bergprojektering

Allmänt

Förundersökningar, platsbesök och den ingenjörsgeologiska slutrapporten från oljelagret Sture 4 har utgjort underlag för projekteringen. Kompletterande riktlinjer för produktion och krav på utförande, kontroller etc. har givits av Norsk Hydro.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

För att metodiskt och stringent utforma konstruktionslösningar har tre olika handlingar upprättats:

- Konstruktionsbeskrivning, där indata, beställarens krav och beräkningar/design redovisas.
- Teknisk beskrivning, bygghandling, där krav på produkten specificeras.
- Ritningar, bygghandling, som beskriver utformning och layout på produkten.

En stor del av designarbetet har varit att definiera och bearbeta de kritiska moment som identifierats i projektets inledningsskede, d v s gastäthet, upprätthållande av grundvattennivå och stabilitet vid nedkylning (permanent).

Täthet

Med indata från förundersökningarna och tidigare erfarenheter från området har en grundvattenmodell upprättats. Bergmassan betraktas som generellt mycket tät med enstaka läckagevägar längs de i stort sett vertikala huvudsprickriktningarna. Ingen större ytakvifer har upptäckts varför området anses känsligt för inläckage och grundvattensänkningar, d v s det kan ta lång tid att bygga upp grundvatten-trycket trots den stora nederbörden i området. Nederbörden bedöms till största del avbördas som ytvatten.

För att klara beställarens inläckningskrav på 40 m^3/vecka och upprätthållande av grundvattennivån bedömdes det nödvändigt med kontinuerlig försondering och inläckagemätning/vattenförlustmätning. Gränser för injektering fastslogs till 1 Lugeons vattenförlust i bergrummet. Trots de hårda inläckagekraven gjordes bedömningen att infiltration var nödvändig för att bibehålla en acceptabel grundvattennivå i bergmassan.

För att klara gastätheten d v s säkerheten mot gasläckage har följande scenarios väglett designarbetet:

1) LPG läcker via en torrlagd spricka.
2) LPG läcker via en krympspricka i den frusna zonen, grundvattentrycket är för lågt för att trycka tillbaka gasen.

Bedömningen gjordes, med bakgrund av den hydrogeologiska modellen och kraven på gastäthet, att en vattenridå var nödvändig. En litteratursökning av liknande projekt/problem gav referenslitteratur som ex. "Gas tightness of unlined hard rock caverns", Kjörholt och "Water curtains in gas storage an experimental study", Söder. Endast ett fåtal frusna gaslager har dock byggts och tillgängliga erfarenheter från dessa var mycket begränsade.
Avgränsning av den frusna zonen ställer särskilda krav på utformning av vattenridån. Med hjälp av kopplade finita element beräkningar, flödesanalys och

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

referenslitteraturen dimensionerades vattenridån för lagret. Under drift kommer temperat vatten att cirkuleras i vattenridån och nerfartstunneln.

Förstärkning

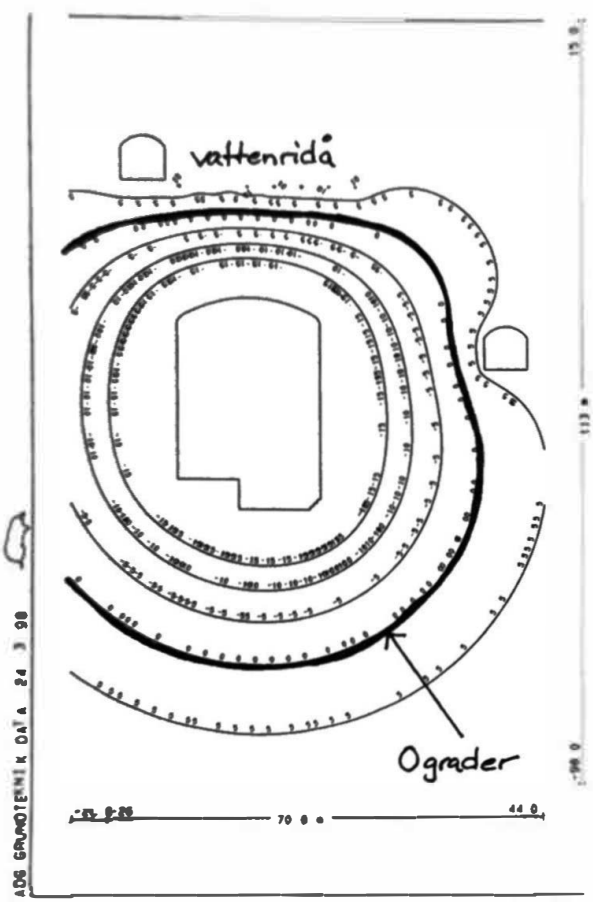
Vid dimensionering av förstärkning delades undermarksarbetena upp i huvudsak i två delar tillfartstunnel och bergrum.

För nedfartstunneln användes Q-metoden som bas för förstärkningsinsatserna där bergklasserna definierades som;

Förstärkningsklass 1:	storblockigt berg Q>4, selektiv bultning
Förstärkningsklass 2:	småblockigt berg 1<Q<4, systemförstärks i tak
Förstärkningsklass 3:	småblockigt berg, delvis omvandlat med lerfyllda sprickor, 0,1<Q<1, systemförstärks tak och vägg.

Tidigare projekt i området har haft problem med svällande leror. Särskild utformning av förstärkning vid större lerfyllda slag utfördes i enlighet med Broms och Heiners rekommendationer ("Förstärkning av lerzoner i berganläggningar", -79).

För bergrummet krävdes en noggrann undersökning av bergförhållanden och påverkan av frysning. Därför genomfördes en FEM beräkning där termiska och bergmekaniska egenskaper kopplats för att studera totalstabiliteten vid nedkylning. Kilstabiliteten utreddes för de huvudsprickriktningar som observerats. FEM beräkningarna och kilstabilitetsanalysen låg sedan till grund för dimensioneringen av den förstärkning som utfördes. Förstärkning av bergrummets tak utformades som



Figur 4. Plotten visar den kylda zonens utbredning efter 10 år. Nerfartstunneln är fylld med tempererat vatten.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

systemförstärkning. Väggförstärkning utformades på plats efter samråd mellan Skanska Teknik och underentreprenören. Enbart fiberarmerad sprutbetong användes i bergrummet och all sprutbetong bergförankrades med 4 – 6 m långa CT-bult.

Kontrollprogram

Kontroller av grundvatten i observationsbrunnar utförs regelbundet för att fastlägga grundvattennivåer och påverkan från berguttaget.

Konvergensmätning och optiska mätningar utfördes för att verifiera bergspänningar och totalstabilitet.

Deformationsmätning med miniextensiometer under nedkylningsfasen kommer att utföras för att kontrollera bergmassans uppförande vid låga temperaturer.
Temperaturmätare kommer att installeras för att kontrollera bergmassans termiska egenskaper.
Närliggande installationer övervakades under sprängningsarbetet med vibrationsmätare.

Produktion

Berguttaget har utförts med konventionell borr- och sprängteknik. Borrning är utförd dels med Atlas Copco Rocket Boomer 353, vilket omfattar salv-, sonderings-, injekterings- och bultborrning. Dels med Atlas Copco Roc 742/642 HC för pallborrning av översta pallen samt med brunnsborrningsaggregat Boart Aquamaster 300TS med sänkhammare för borrning av vattenridåhålen.
Bergarbetena påbörjades i februari 1998 och avslutades i november samma år.
Bergdriften är utförd med nordsjöskift till och med uttaget av bergrummet. Under tiden för arbetena med pumpgropen har arbetena bedrivits med förlängda dagskift.
All bergdrift, inkluderande borrning/laddning/utlastning samt förstärkning, är utförd av samma personal.

Nerfartstunneln har en tvärsnittsarea om 40 m^2, cirka 6.5*6.5 m, och är 380 meter lång. Från nerfartstunneln utgår två vattenridåtunnlar om vardera 30 meter långa med en tvärsnittsarea på 38 m^2. Från vattenridåtunnlarna har totalt 21 vattenridåhål borrats som en täckande skärm över bergrummet. Dessa hål har en diameter på 110 mm.

Från nerfartstunneln finns två ingångar till bergrummet, dels till galleriet dels till översta pallen. Dessa tunnlar har en tvärsnittarea på 25m^2 och är 25 meter långa. Orsaken till den mindre arean är att betongpluggarna in till lagret är placerade här.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 5. Fotot är taget från rummets västra gavel.

Bergrummet har en effektiv lagringsvolym på 60.000 m^3 med måtten 118*21*29.5 m (L*B*H). Berguttaget är uppdelat på galleri och två pallar samt pumpgrop. Höjden på galleriet har varit 8.5 meter, översta pallen utfördes med en höjd på 10 meter och bottenpallen utfördes med en höjd på 11 meter. Borrning för galleri och botten pall är utförd med liggarborrning medan översta pallen är borrad med stående borrning. Sprängning av översta pallen har utförts med förspräckning av konturen medan galleri och bottenpall är sprängda med konventionell teknik. Borrningen av översta pallen är utförd med 51 mm borrkrona i kontur och hjälparrad och med 76 mm borrkrona i salvhålen. Borrning av galleri och bottenpall har utförts med 51 mm borrkrona i samtliga hål.

Figur 6. Fotot visar lastning med gripskopa i den 15 m djupa pumpgropen.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Laddning av borrhål har utförts enligt följande:

konturhål – "gula rör"
hjälparhål – "vita rör"
salv- och öppningshål – ANFO.

Lastning av sprängmassor har utförts med Caterpillar 980 med sidtippande skopa. Uttransport har skett med Iveko lastbilar med en lastvolym på cirka 10 m^3.

Schakterna för installation av pumpar och mätutrustning är utförda med raiseborrning teknik, detta för att erhålla så raka schakt som möjligt. Totalt har sex schakt borrats vid östra gaveln av bergrummet.

Erfarenheter

Det upplägg för designarbetena som tillämpats har fungerat mycket bra. En mycket snabb uppstart av projektet har medfört en forcerad konstruktionsfas. Granskningsförfarandet har lösts på ett smidigt sätt genom täta besök från Hydro's och Raytheon's representanter hos Skanska Teknik i Stockholm. Eventuella revideringar har gjorts under sittande granskningmöte och godkända ritningar har kunnat gå vidare till Norge samma dag. På plats i Norge har Skanska Teknik haft en person vars uppgift varit att fungera som länk mellan designer och byggare samt att kontrollera underentreprenörens utförande under de mest tidskritiska inledande produktionsmomenten. På detta sätt har ett aktivt designarbete tillämpats. Skanska Teknik's "site engineer" har ingått i Raytheon's byggledarorganisation.

Erfarenheterna från förundersökningen har framför allt visat på svårigheter när det gäller vissa provningsmetoder för att på ett korrekt sätt återge bergets termiska egenskaper. Proven har utförts på borrkärnor som därefter analyserats av två av varandra oberoende laboratorier som tillämpat två olika analysmetoder. Tyvärr har analyserna visat olika resultat och i vissa fall inte heller stämt överens med de värden för aktuell bergart som finns beskriven i referenslitteratur. Vid den uppföljning som kommer att ske under nedkylningsfasen under våren 1999 kommer bl.a. temperaturmätningar att utföras. Genom bakåträkningar kommer vi då att få en kontroll på bergmassans termiska egenskaper.

I en tät bergmassa är det av stor vikt att kontrollera grundvattnets trycknivå i samband med berguttaget. Det kan vara svårt att genom observationshål kontrollera detta eftersom vattnet endast förkommer lokalt i de sprickor som kan föra grundvatten och det kan vara svårt att träffa dessa med observationshålen. Ett hål kan uppvisa en oförändrad vattennivå - bergmassan några meter ifrån hålet kan ha en betydligt lägre nivå. Av denna anledning upprättades ett program för att kunna mäta portrycket inne i tunneln och i bergrummets galleri.

© 1999 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Berguttaget har gått bra. Noterbart är att de förspräckningar i bergrummet och i pumpgropen som genomförts har gett mycket bra resultat i form av jämna väggar. De antagna mängderna för bult och sprutbetong har i stort sett stämt. Mycket lite injekteringsarbete har utförts.

I den kommande nedkylningsfasen kommer bergmassans temperatur i och utanför bergrummet att mätas. Dessutom kommer deformationen i taket att loggas. På detta sätt kommer de beräkningar som inledningsvis gjordes i designfasen att kunna kontrolleras och svar kan ges om designen hade rätt ingångsparametrar. På detta sätt hoppas Skanska Teknik på att förbättra kunskapen om kylda LPG lager.