© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

FULLORTSBORRNING VID ÄSPÖLABORATORI

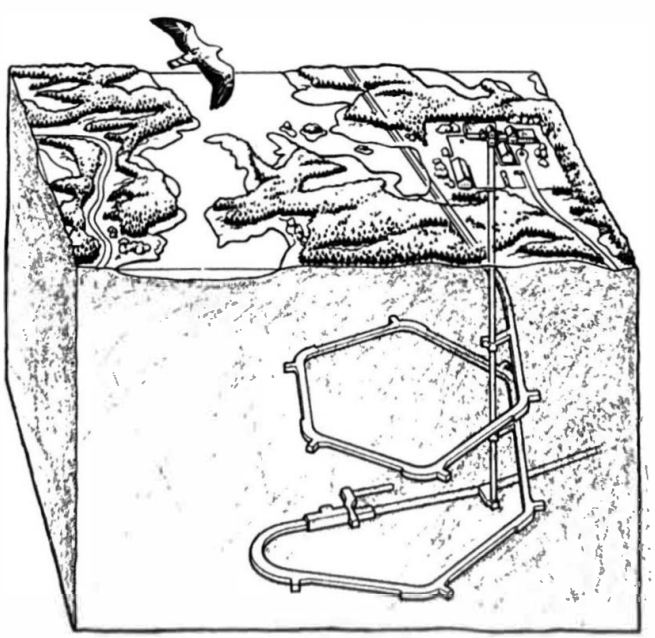
Pär Olsson, Civ.ing, Skanska Stockholm AB
Göran Bäckblom, Bergsingenjör, Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB

Inledning.

Under sommaren 1994 utförde Skanska framgångsrikt en TBM-tunnel vid SKB´s Äspölaboratorie. Arbetet genomfördes på stort djup med en Jarva Mk15 som etablerades ca 420 m under markytan. Den första delen av den 409 m långa tunneln borrades utför med en lutning på ca 13 % för att under senare delen drivas i svagt motlut samt med en horisontalradie på 250 m.

Trots TBM-tunnelns begränsade längd, vilket i princip innebar att projektet endast omfattade ett uppstartskede, har projektet givit viktiga erfarenheter om t.ex montage och demontage under mark, borrning på stort djup med höga vattentryck samt i såväl lutning som i kurva.

I samband med borrningen har SKB genomfört en omfattande datainsamling för att bl.a kunna jämföra skadorna på berget vid en sprängd resp borrad tunnel.



Figur 1. Schakt och tunnlar vid det färdigställda Äspölaboratoriet.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Bakgrund.

Byggnadsarbetena vid Äspölaboratoriet inleddes 1990. Projektet omfattar bergarbeten i form av tunnlar och schakt samt erfoderliga inrednings- och installationsarbeten för att möjliggöra en permanent drift av anläggningen. Innan byggnadsarbetena inleddes hade en omfattande förundersökning genomförts och geologiska modeller upprättats för det aktuella berggrundsområdet.

SKBs övergripande syfte med Äspölaboratoriet är att pröva och utveckla den teknik som kommer att användas i samband med den planerade utbyggnaden av det svenska djupförvaret. Detta avser teknik och metoder för t.ex platsundersökningar, projektering och byggande.

Ursprungligen planerade SKB att samtliga tunnelarbeten vid Äspölaboratoriet skulle genomföras med konventionell sprängningsteknik. Utvecklingen av tunnelborrningsteknik för hårda bergarter har under senare år visat att TBM-teknik kan vara den dominerande tekniken vid utbyggnaden av djupförvaret. Det bedömdes därför vara väl motiverat att pröva TBM-teknik inom ramen för Äspölaboratoriet.

SKB beslutade därför att den avslutande delen av tunnelarbetena vid Äspölaboratoriet skulle utföras med TBM och upphandling genomfördes för de avslutande arbetena. Figur 1 visar hur ett färdigställt Äspölaboratorie ser ut.

Förutsättningarna för tunneln i upphandlingen var i huvudsak enligt följande;

- tunneldiameter min 4.5 m
- cirkulär layout med radien 150 m,
- start vid tunnelsektion 2/600 m, nivå -340 m och slut vid nivå -450 m
- montering av TBM under mark
- granitisk bergrund, tryckhållfasthet 150-250 MPa,
- litet riskavstånd till zonen NE-1
- kraftigt vattenförande N-S strukturer
- ca 2000 l/min inflöde på första 2600 m tunnel
- hydrostatiskt vattentryck några meter från tunnel.

Skanskas förslag till layout.

Den nya förfrågan bedömdes av Skanska som mycket intressant då man under en längre tid sökt efter ett projekt att göra en nysatsning på TBM.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

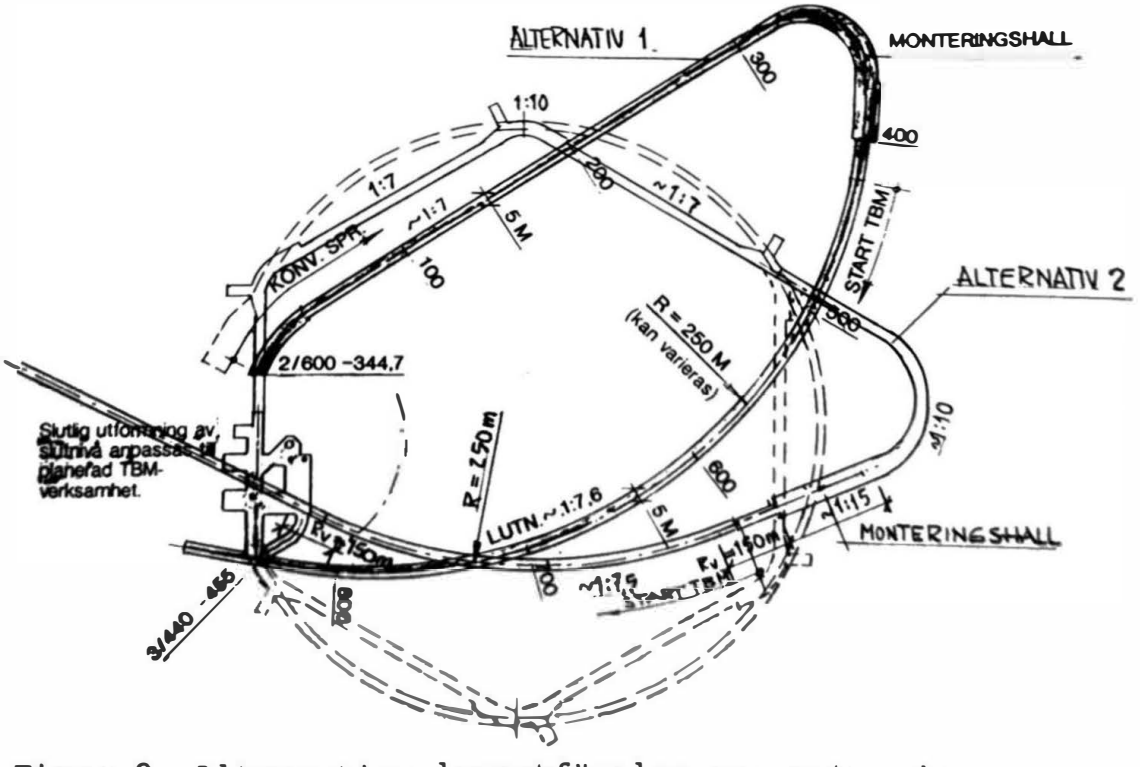
Den aktuella tunneldiametern stämde även någorlunda med ambitionen att i framtiden utnyttja maskinen vid internationella kraftverksprojekt eller "multipurpose" tunnlar.

Projektets storlek och SKB´s uttalade önskemål om TBM-teknik var även avgörande faktorer till Skanska´s stora intresse.

Den i förfrågan föreslagna layouten bedömdes av Skanska som mycket riskfylld. Erfarenheterna av att driva TBM i kurva med radien 150 m samt i detta fall även i 13-14 % lutning nedåt saknas praktiskt taget idag. Konsekvenserna av att ej kunna hålla 150 m kurvradie skulle medföra risk för kontakt med den kraftigt vattenförande zonen NE-1. Denna zon passerades vid den konventionella tunneldrivningen och medförde då mycket omfattande tätningsarbeten.

Den föreslagna cirkulära layouten innebar också att tunneln under en längre sträcka skulle vara orienterad i de närmaste parallellt med konduktiva N-S strukturer med följd att stora tätningsinsatser kunde bli nödvändiga på längre tunnelsträckor.

I Figur 2 visas några av de layoutförslag som lämnades av Skanska. I figuren visas även den ursprungliga, cirkulära, layouten.

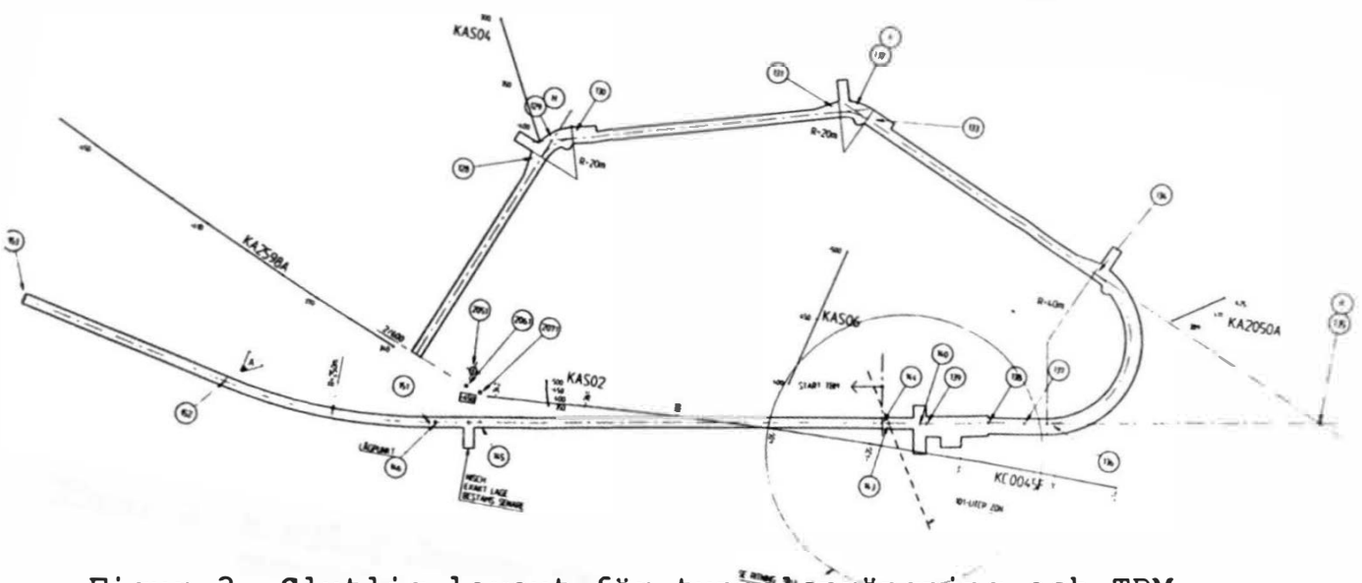


Figur 2. Alternativa layoutförslag presenterade av Skanska i samband med upphandling.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

SKB och Skanska utvärderade i samråd olika layoutförslag under upphandlingsskedet. Den layout som avslutningsvis valdes visas i Figur 3 och kan sammanfattas enligt följande;

- säkerhetsavståndet till NE-1 ökades till ca 50 m
- minsta kurvradie ökades till 250 m
- vattenförande N-S strukturer korsas vinkelrätt
- första 200 m av tunnel i 13 % medlut, sista 200 m svagt uppför, 0,5 % motlut.
- oförändrade förutsättningar för forsknings program
- den konventionella sprängningen av ca 500 m tunnel samt montagehall erbjöd tid för design och leverans av en ny TBM



Figur 3. Slutlig layout för tunnelsprängning och TBM-borrning.

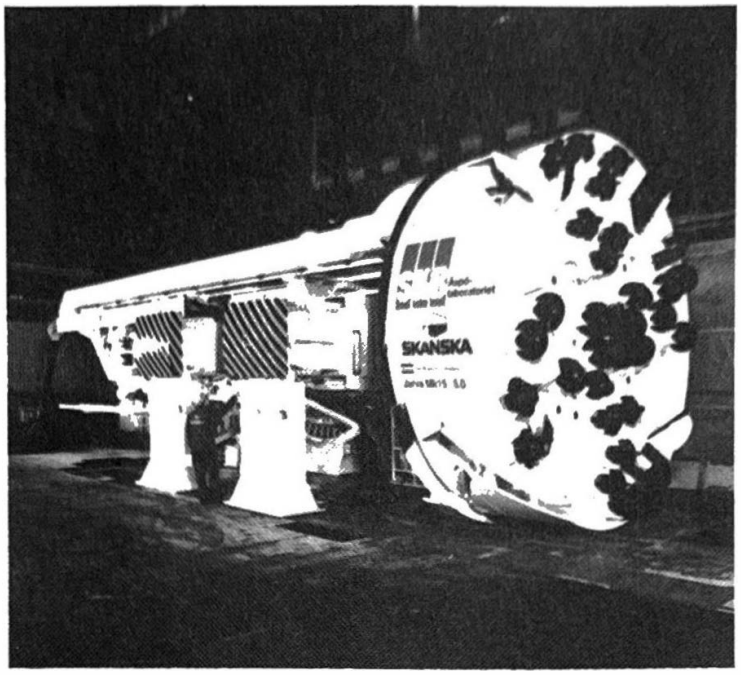
Utformning och val av TBM.

Skanska investerade för projektet i en ny Jarva Mk 15 som levererades av Atlas Copco, Figur 4. (Vid tidpunkten för upphandlingen samordnades Atlas Copcos verksamhet med Robbins Company för att idag arbeta under namnet Robbins Europe.) Maskinen utformades med en diameter på 5 m med möjlighet till framtida ombyggnad inom intervallet 4.5-6 m.

Skälen till att välja en Jarva Mk 15 var att tekniken bedömdes vara väl beprövad med en mängd lyckade referensprojekt genomförda. Närheten till leverantören och dess deltagande i projektet var även positiva faktorer.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ett tekniskt skäl som bedömdes vara viktigt ur Äspöprojektets synpunkt var att Jarva modellerna har ett horisontellt conveyerband på TBMen. Med tanke på förväntade vattenförhållanden samt att tunneln under stor del skulle borras i lutning gjorde att ett lutande conveyerband kunde innebära problem med masstransporten bakom borrhuvudet.



Figur 4. Atlas Copco Jarva Mk 15 uppställd vid Götaverken i samband med provmontage.

För att anpassa maskinen till förhållandena vid Äspölaboratoriet försågs den med en rad specialfunktioner, t.ex;

- genomföringar i borrhuvudet för sonderings- och injekteringsborrning i stuff
- två st COP 1238 borrmaskiner för sonderings- och injekteringsborrning
- frekvensomvandlare för steglös ändring av varvtal
- loggningsprogram för TBM- och sonderings borrning
- kort bakrigg med endast 6 däck
- bakrigg på medar, jämfört med normalt på hjul och räls
- reservdieselaggregat med kapacitet för dränagepumpar
- operatörshytt utformad som räddningskammare.

Möjligheten att sonderingsborra genom borrhuvudet samt utformning av loggningsprogram var föreskrivet av SKB.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Erfarenheter från genomförandet.

Skiftgång.

Montage och tunneldrift var planerad att följa normal bergskiftsgång, dvs med 2 skift om totalt 72 timmar per vecka. I ett tidigt skede av driften utökades dock detta till att även omfatta ett nattskift som i huvudsak utförde sonderingsborrning och kutterbyten.

Vid montaget var bemanningen större, särskilt på elsidan.

Varje skift omfattade följande bemanning;

- operatör
- elektriker
- berg/grovarbetare/hydrauliker
- injekterare (Stabilator)
- lastmaskinist
- instruktör från leverantör

För drift och underhåll av transporttunneln fanns ytterligare ett dagskift att tillgå vid behov.

Montage och demontage

I samband med tillverkningen av maskinen genomförde leverantören ett provmontage av maskinen vid Götaverken. Vid detta montage deltog nyckelpersoner ur Skanska´s planerade driftsorganisation.

Vid arbetsplatsen vid Äspölaboratoriet utfördes största delen av montaget för bakriggen ovan mark. Nedtransporten i tunneln av bakriggen gjordes med ett däck i taget som försetts med ett hjulaxelpar. Däcken drogs därefter ned med en hjullastare.

Nedtransporten av TBMen gjordes i princip i så stora delar som möjligt med hänsyn till vikter och transporttunnelns storlek. De största individuella delarna var "mainbody" med en vikt av ca 50 ton samt "center section" på ca 30 ton. Dessa delar lastades i Götaverken för direkt transport ned till montagehallen. För transporterna utnyttjades en lågbyggd trailer med hydraulisk styrning på samtliga axelpar, Figur 5.

För montaget-, och senare demontage, monterades en 50-tons travers i montagehallen. Som komplement till traversen monterades även särskilda lyftok i taket.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 5. 50 ton "main body" på väg ned till montage-hallen.

Pumpning av dränagevatten.

Ett fungerande pumpsystem var en förutsättning för projektets genomförande.

För att säkerställa elmatning till pumpsystemet i tunneln gjordes en särskild överenskommelse med OKG om en prioriterad reservmatning vid ett utslag av den normala elmatningen. Som tidigare nämnts var det totala inläckaget till tunneln redan innan starten av TBM driften ca 2000 liter/min.
I tunneln etablerades dubbla pumpsystem, dels för att klara tillfälligt stora inflöden till tunneln, dels för att ha ett reservsystem vid normal inläckning. Systemen dimensionerades totalt för ett inflöde på maximalt 4000 l/min.

Trots ett ambitiöst program för att säkerställa pumpningen ur tunneln uppstod under en natt ett ca 6 timmar långt pumpstopp. TBM-tunneln hade då passerat sin lågpunkt och större delen av TBM och bakrigg befann sig då på väg uppför. Bakre delen av bakriggen översvämmades till viss del. Inga skador uppstod dock och borrningen fortsatte vid efterföljande skift.

Sonderings- och injekteringsarbete.

För sonderings- och injekteringsborrning vid TBM-drivning hade två st COP 1238 borrmaskiner monterats bakom borrhuvudet. Dessa maskiner kunde borra en skärm runt tunneln samt även rakt fram genom borrhuvudet i åtta förbestämda positioner.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Kurvtagning

Problem uppstod i den första delen av kurvan med att hålla den avsedda 250 m kurvradien. I den första delen av kurvan var medelradien ca 470 m för att i senare delen av kurvan vara ca 230 m.

Orsaken till styrproblemen är svåra att entydigt förklara. Mekaniska felaktigheter, t.ex för lågt ställda grippertryck, kan vara en viktig orsak. En annan förklaring är inkörnings- och upplärningsproblem för operatör och utsättare.

Förhållandena för styrningen måste också anses som generellt svåra då TBM och bakrigg till viss del samtidigt befunnit sig i både vertikal- och horisontalkurva.

Kuttrar

Redan efter 26 m borrning inträffade ett första kutterhaveri då samtliga periferikuttrar blockerades. Problem med kuttar fortsatte under de första 200-300 m av projektet. Totalt byttes ca 90 kuttrar under projektet.

Utlastning

För projektet valde Skanska att ej etablera något särskilt utlastningssystem. Utlastningen genomfördes med Toro 500 E som hämtade och bar massorna från bakrigg till montagehall där lastning skedde på lastbil. Samma lastmaskin användes även vid den konventionella tunneldrivningen.

Utnyttjandegrad

För projektet uppnåddes en utnyttjandegrad på ca 30 %, Figur 6. Arbetstiden under nattskiftet är då ej medräknad.

Stora störningar förekom särskilt pga elektriska och mekaniska fel på TBM och bakrigg. Den största enskilda posten utgjordes av frekvensomvandlaren, VSD, som svarade för drygt 10 % av totalt arbetstiden. Dessa fel avtog till viss del under projektets gång men visar ändå att de tekniskt mest avancerade systemen på TBM och bakrigg är mycket känsliga för en krävande tunnelmiljö.

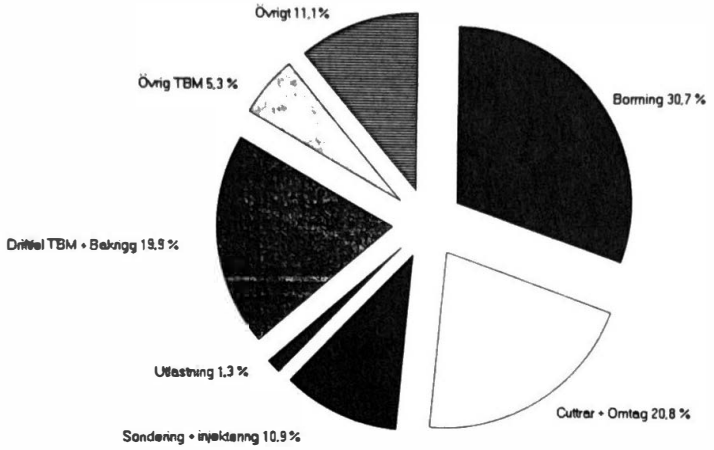
Kutterbyten och omtag svarade också för en stor andel av störningarna (20,8%). Problemen med de inledande kutterproblemen har tidigare redovisats. Den stora

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

tidsandelen för kutterbyten och omtag kan även förklaras med projektets karaktär av upplärningsprojekt och att det för den korta tunneln ej bedömdes vara nödvändigt med särskilda anordningar för att effektivisera kutterbyten.

Förväntade störningar från sonderings- och injekteringsarbeten förekom i liten utsträckning då stor del av dessa arbeten utfördes utanför normal skiftgång samt till viss del samtidigt med pågående tunnelborrning.

En låg nettoindrift under projektet innebar att väntetid pga utlastningen endast inträffade under borrningens sista två veckor.



Figur 6. Utnyttjandegrad under projektet, nattskift ej medräknat.

Indrift

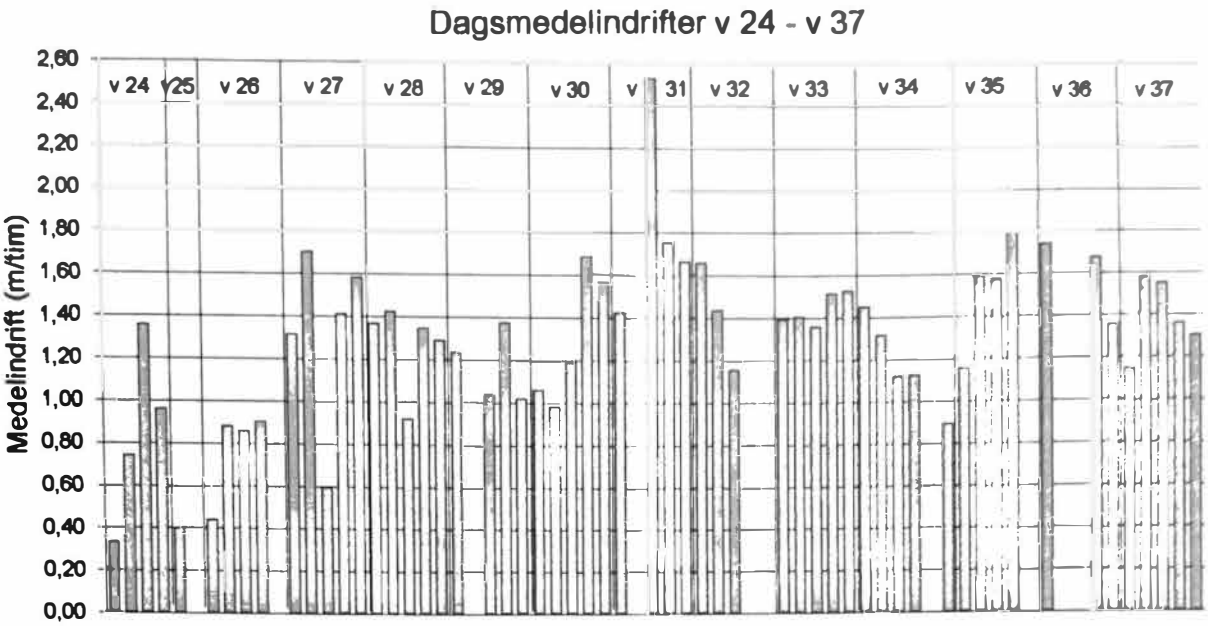
Resultatet av tunneldrivningen visar att en dagsmedelindrift på i medeltal ca 1.36 m/tim uppnåddes (effektiv borrtimma).

Högsta dagsmedlindrift uppgick till ca 2,5 m/tim, Figur 7.

Det avgörande skälet till den förållandevis låga nettoindriften förklaras delvis med det cutterproblem som tidigare omnämts.
Cutterproblemet skapade en stor osäkerhet hos TBM-operatören som även under den senare delen av projektet, när rätt typ av cuttrar användes, strävade efter viss återhållsamhet till att utnyttja maskinens fulla kapacitet.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Andra förklaringar är bergets höga hållfasthet samt att en stor del av tunneln gick i vertikal- och/eller horisontalkurva.



Figur 7. Dagsmedelindrifter redovisade som medelnettoindrift per effektiv borrtimma.

Framdrift

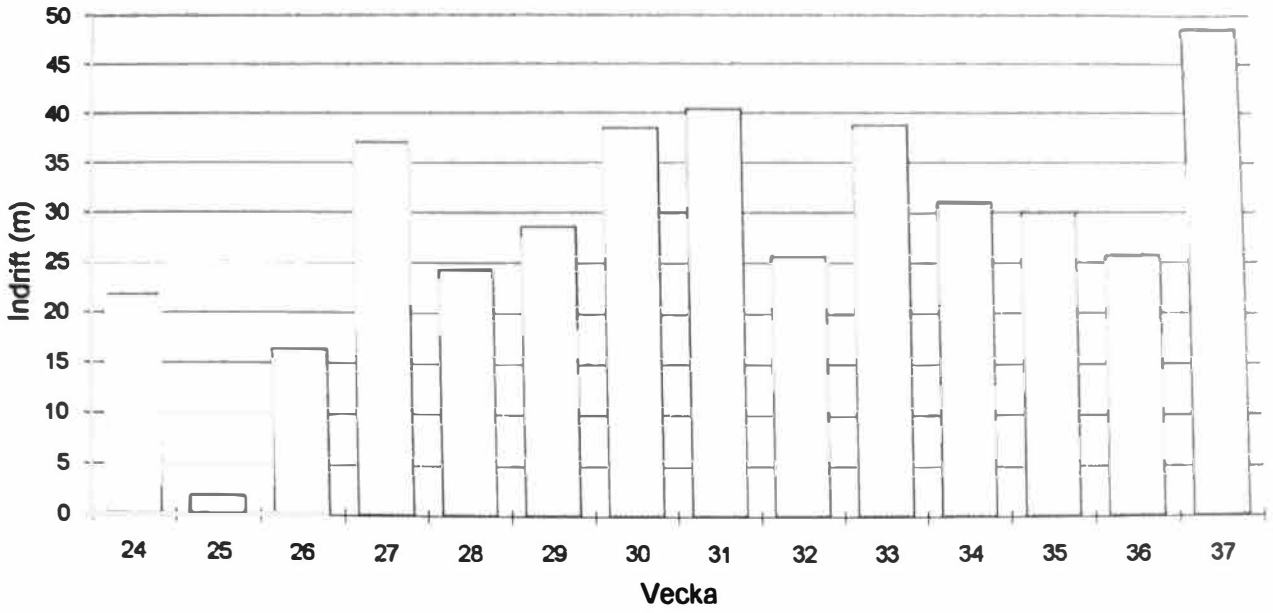
Den låga indriften i kombination med uppnådd utnyttjandegrad gjorde att medelveckoindriften uppgick till ca 32 m. De två inledande veckorna är då ej inräknade då dessa störddes av montagearbete samt midsommarhelg.

Bästa dagsframdrift var 14,7 m. Under den sista borrveckan uppnåddes bästa veckoframdrift motsvarande 48,7 m, Figur 8.

Störningar i berget p g a borrning.

I samband med TBM-divningen genomförde SKB en jämförande studie, även kallad ZEDEX, mellan skador på berget vid borrad och sprängd tunnel. Den preliminära utvärderingen av den omfattande datainsamlingen vid TBM-användningen visar på nästan obefintlig påverkan av berget med TBM; motsvarande utvärdering pågår för den sprängda tunneln.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 8. Veckoindrifter vid TBM-drift.

Slutsatser

I Äspölaboratoriet har SKB erhållit en anläggning där fortsatt forskning och utveckling kring det svenska djupförvaret kan ske både för sprängd och borrad tunnel under realistiska förhållanden.

I samband med TBM-montage och TBM-start genomfördes med utmärkt gott resultat den kvalificerade jämförelsen mellan skador på berget vid borrad resp sprängd tunnel. Den noggranna planeringen och ömsesidiga respekten för varandras arbete var en viktig grund för det goda resultatet.

Skanska äger numera en TBM-utrustning och har under en kort men intensiv tid skaffat sig värdefull erfarenhet som kommer att vara till stor nytta i framtiden. Projektets många svåra moment, t.ex montage under mark, tunneldrivning på stor djup och höga vattentryck gjorde att projektet var utmärkt för att på kortast möjliga tid ge största möjliga kunskap.

TBM-tunnelns korta längd gjorde att projektet fick en karaktär av att endast omfatta ett uppstartskede. Uppnådda kapaciteter är därför inte representativa för maskinen eller för den miljö som projektet genomfördes i. Viss förhoppning fanns hos Skanska om att få ett bättre underlag för dessa frågeställningar än vad som erhölls.