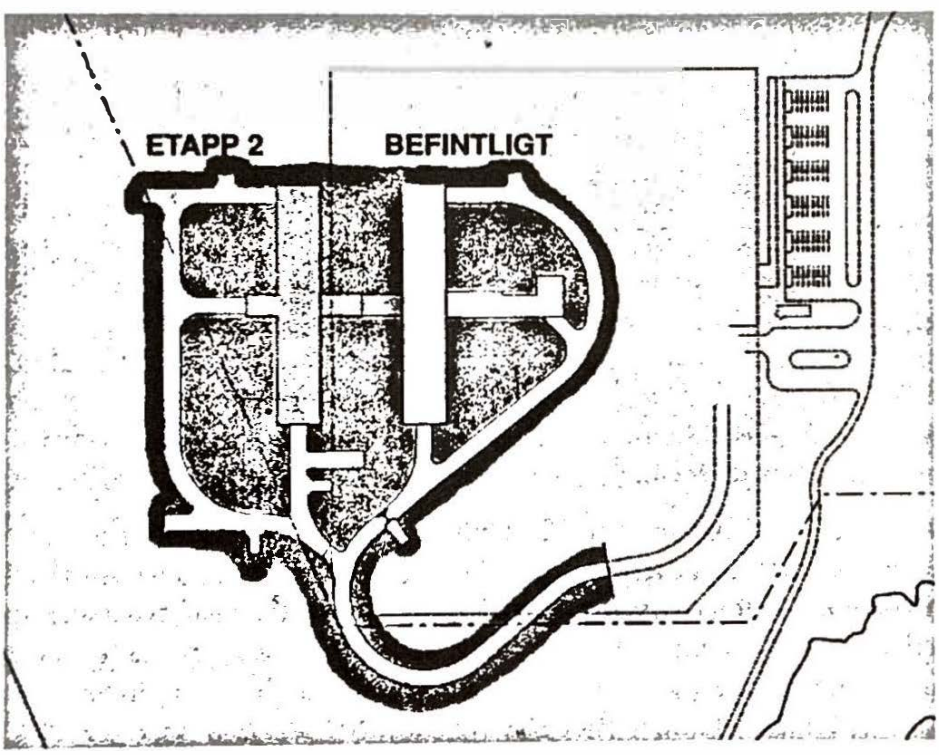
© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Genomslag från CLAB 2 mot CLAB 1

Bengt Niklasson, Skanska Teknik AB
Niclas Lindkvist, Skanska Sverige AB

1 INLEDNING

I anslutning till Oskarshamns kärnkraftverk ligger CLAB 1 (Centralt mellanLager för Använt Bränsle). Där lagras allt använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken, nersänkt i stora betongbassänger. Eftersom nuvarande lagringsutrymme beräknas vara fylld till år 2004 behövs ytterligare ett lager med en lagringskapacitet på ca. 3000 ton. Skanska har, på beställning från SKB, under perioden jan 1999 – okt-2000 sprängt ut ytterligare ett bergrum, CLAB 2, beläget 40 m från och parallellt med det befintliga CLAB 1. Se figur 1. Det nya lagret kommer i likhet med det existerande att inredas med fem vattenbassänger för lagring av bränsleelement. De båda lagringsrummen kommer att sammanbindas med en tvärtunnel som möjliggör transport i vatten av bränsleelementen mellan lagren.
Idag är allt berguttag klart och det som kommer att beskrivas i denna artikel är förutom en kort orientering om hela CLAB 2, det känsliga arbetet vid genomslaget från det nya bergrummet in mot det befintliga kärnbränslelagret. Förutom metodiken med själva losshållningsjobbet så kommer även det förberedande arbetet med dimensioneringar, riskanalys och arbetsberedning att beröras.



Figur 1. Plan över CLAB-lagret. CLAB 1 till höger, CLAB 2 till vänster.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

2 CLAB 2

Bergrummet CLAB 2 ligger parallellt med befintligt lager på ett avstånd av 40 m. Rummet är 120 m långt med en bredd av 21 m och en höjd av 27 m. Tvärsnittsarean är 530 m^2 och volymen 70000 m^3. Transporttunneln, med en area av 37 m^2 är 400 m lång. Totalt är uttagen bergvolym 90000 m^3. Den totala volymen inkluderande befintligt lager kommer att vara knappt 190000 m^3. Avståndet till markytan är 25 – 30 m. Tabell 1 nedan visar planerade data för CLAB lagret. Planerade volymer var något högre än de som nu färdigställs p.g.a. smärre layoutändringar.

Tabell 1 visar huvuddata för CLAB

SKB

CLAB – Etapp 2

HUVUDMÅTT DIMENSIONER OCH DATA

Objekt	Längd m	Bredd m	Höjd m	Area * m²	Volym m³	
BEFINTLIG ANLÄGGNING						
• Bergrum 1	120	21	27	530	70 000	**
• Transporttunnel	500	8	5	37	25 000	
					95 000	
ETAPP 2						
• Bergrum 2	120	21	27	530	70 000	
• Kanaltunnel	40	10	22	190	9 000	
					79 000	
• Transporttunnel	400	8	5	37	16 000	
• Ventilationsschakt inkl kulvert ovan mark					3 000	
					19 000	
					98 000	
TOTALT					193 000	

* Tvärsnittsarea
** Inkl nedre tjälisolering, dryck med

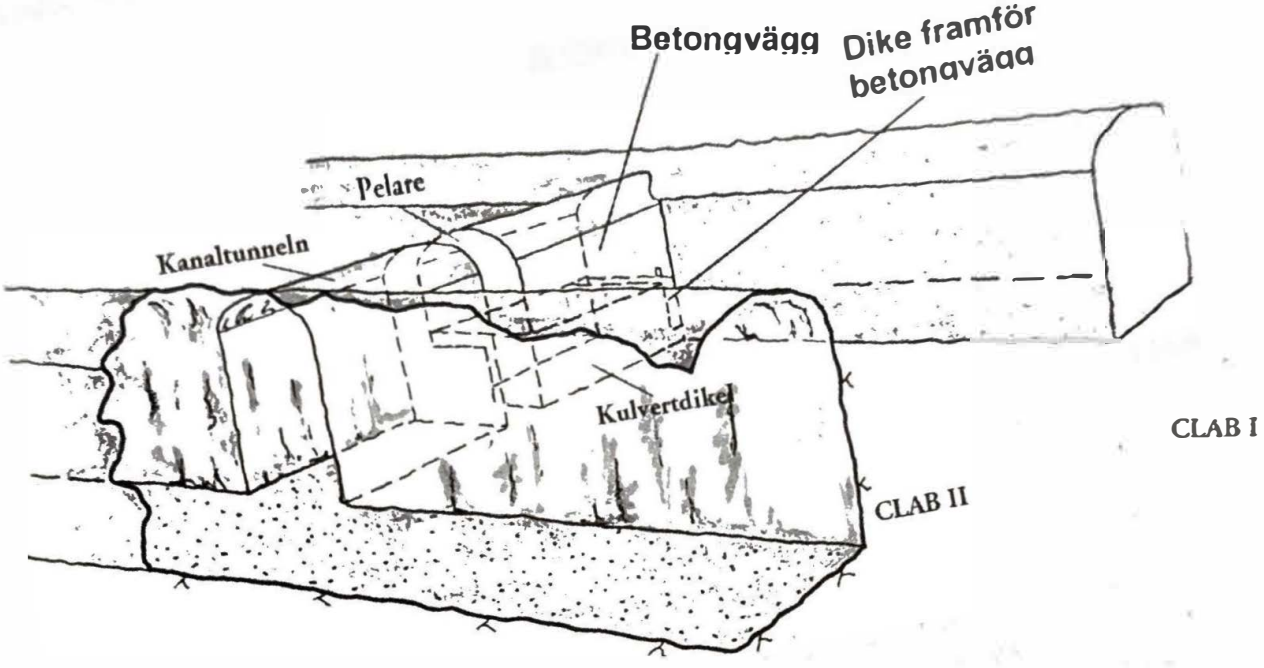
Layout D
OH 54

2.1 Kanaltunneln

Kanaltunneln är 40 m lång, ca 11 m bred och 22 m hög. Ca 20 m av kanaltunneln räknat från CLAB 1 drevs i samband med att CLAB 1 byggdes. Återstående sprängningsarbeten i denna del utgjordes av en avsänkning på drygt 1 m av botten på tunnelns norra halva samt en sänkning på ca 6 m av den södra halvan för det s.k. kulvertdiket, en blivande gångkulvert. Resterande 20 m av kanaltunneln drevs från CLAB 2 där de båda tunneldelarna möttes i den avskiljande pelaren.
Se fig. 2.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

CLAB 1 avskiljes från den befintliga kanaltunneln med en betongvägg som ansluter mot berg i sidorna och slutar ca 4 m ifrån bergtaket. De översta 4 metrarna utgörs av en dubbelvägg av trapetsplåt med mellanliggande isolering vilken tätar mot berg respektive betong. I betongväggen är fortsättningen av kanalen förberedd och anslutningen är skyddad av en vägg gjord av u-balkar.



Figur 2 visar kanaltunnel med den pelare som utgjorde ett temporärt skydd.

3 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SPRÄNGNINGSARBETENA

3.1 Bergmassans egenskaper

Bergmassan i området består av kompetent kvartsmonsonit vilken hållfasthetsmässigt är jämförbar med en medelkornig granit. Bergmassan innehåller även brottstycken av en mörkare bergart, vulkanit, troligen andesit. Kontaktzonerna mellan monsonit och vulkanit är av god kvalitet men vulkaniten är spröd och mer uppsprucken med korta sprickor vilket ger en blockvolym ner till 1dm^3 i kontaktzonerna. Monsoniten är mer grovblockig. Sprickytorna är generellt råa eller belagda med ett tunt lager av klorit eller kalcit. Samtliga sprickor är idag torra.

Ur sprängteknisk synvinkel är berget lättsprängt beroende på alla de spricksystem och svaghetsplan som genomkorsar bergmassan. Detta har framför allt visat sig genom relativt låg sprängämnesförbrukning.

3.2 Krav

3.1.1 Krav på fysiskt skydd

Eftersom CLAB 1 är en kärnteknisk anläggning ställdes höga säkerhetskrav. Passage in till CLAB 1 från CLAB 2 fick inte vara möjlig förrän i ett mycket sent skede av utbyggnaden då det fysiska skyddet i transportorten skulle upprättas.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

3.2.2 Krav på bergpelaren

När drivningen av bergrummet i CLAB 2 pågick ökades bergpelarens höjd successivt allteftersom pallnivåerna togs ut. Detta ställde särskilda krav på förstärkning av bergpelaren. Bergpelaren dimensionerades så att den bl.a. skulle klara en fri detonation av 225 kg sprängämne, vilket då var den största mängd sprängämne som tilläts transporteras och hanteras i anläggningen under byggtiden.

3.2.3 Skydd av vägg mot CLAB 1

Innan bergpelaren togs ned måste skydd anordnas som minimerade störningar orsakade av arbetena med genomslaget från CLAB 2 till CLAB 1. Skyddet skulle uppfylla följande:

- Motstå en laddning om ca 1 kg som eventuellt kunde frigöras ifrån väggpelaren i samband med att denna sprängdes.
- Klara ev. stenkast och luftstötvåg från en pelarsalva.
- Förhindra att damm trängde in i CLAB 1 i samband med sprängningarna.
- Klara stenkast och luftstötvåg i samband med att bergbotten sänktes och kulvertdiket sprängdes ut i kanaltunneln mellan CLAB 1 och CLAB 2.

3.2.4 Krav på dammtäthet

Samma krav ställdes på skyddet mellan CLAB 1 och CLAB 2 som för den tunga porten i den befintliga nerfartstunneln till CLAB 1. Detta innebar att hygien-gränsvärdena för damning och nitrösa gaser skulle upprätthållas.

3.2.5 Sprängningsinducerade vibrationer

Avståndet mellan befintligt lager och det lager som nu färdigställts är 40 m. På grund av kanaltunneln som förbinder de båda lagren så utfördes sprängning ner till ca 6 meter från CLAB I. En omfattande riskanalys med avseende på vibrationspåverkan utfördes och resultatet av den gav följande maximalt tillåtna svängningshastigheter givna som V_{10}, dvs på 10 meters avstånd:

Bergvägg i CLAB 1	75 mm/s
Bergtak CLAB 2	50 mm/s
Betongyttervägg	75 mm/s
Bassängfundament	70 mm/s

Samtliga salvor har följts upp med avsikten att prognostisera kommande laddningsvikter. Det statistiska underlaget upparbetades kontinuerligt för hur stora salvor som kunde skjutas. Vid 75% av tillåten svängningshastighet utlöstes larmgräns 1 vilket innebär att åtgärd måste vidtagas för att vibrationsnivån inte skulle öka ytterligare. Det kunde innebära förändringar i borr- ladd- eller tändplan. Vid överskridande av 100% av tillåtet värde stoppades sprängningsarbetena, en rapport som förklarade överträdelsen med åtgärder lämnades till beställaren och arbetet fick inte påbörjas igen förrän det att SKI, Statens kärnkraftsinspektion, godkänt åtgärden.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

4 DOKUMENTSTRUKTUR

Metodbeskrivningen fungerade som det övergripande dokumentet och hänvisade till designspecifikationer, ritningar och planer för olika delmoment. Designspecifikationen innehåller förutsättningar för dimensionering, beräkningar och resultat och utgör underlag till ritningar och övriga arbetshandlingar. Arbetsberedning av de olika delmomenten arbetades fram utifrån dessa dokument och kom att underordnas metodbeskrivningen. Kontrollplaner togs fram för varje enskilt arbetsmoment där hänvisning gavs till vilka arbetsberedningar och beredskapsplaner som gällde för varje kontrollplan. Figur 3 visar hur dokumentstrukturen var uppbyggd.
Ett viktigt underlag för metodbeskrivningen var den riskanalys " Riskanalys avseende nertagning av bergpelare i kanaltunnel", som arbetades fram av Riskanalysgruppen för CLAB etapp 2.
Skadeobjektet i denna rapport är givetvis den befintliga anläggningen CLAB 1. De möjliga *skador* som definieras är:

- Inneslutningens integritet blir nersatt. Skalet runt CLAB 1 får en skada. Ex. genom stenkast eller att någon obehörig tar sig in i anläggningen
- Damm eller spränggaser tränger in i bassänghallen.
- Skräp i förvaringsbassängen.
- Skador på bränslet
- Förlust av vatten i förvaringsbassängen.

Riskobjektet utgörs av arbetet med att losshålla berget i kanaltunneln och de *faror* som förknippades med detta arbete var:

- Skadliga ämnen, t.ex. damm, tappade föremål från skyddsarbeten inne i CLAB 1- eller damm och gaser från sprängningsarbetet.
- Lagrad energi såsom sprängämnen, brännbara ämnen, stenkast, fordons rörelser eller rörelseenergi från ev. rasmassor.
- Sabotage

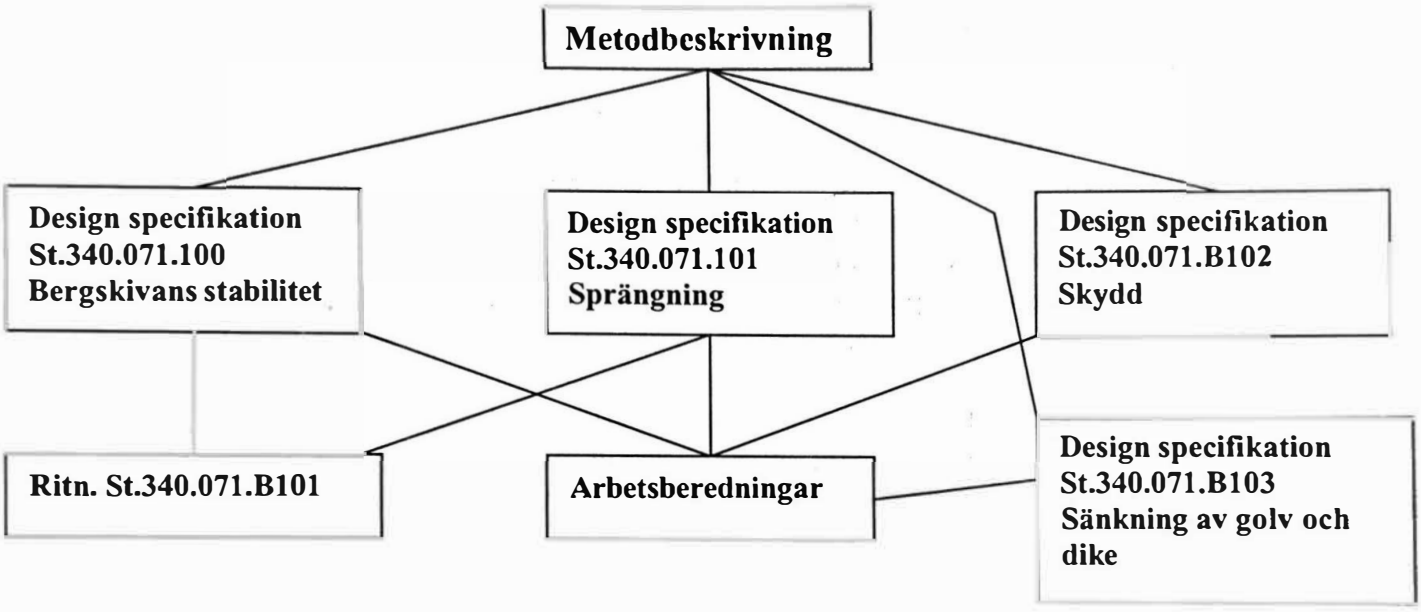
Utifrån de beskrivna farorna identifierades genom felträdsanalys ett antal *skadehändelser*:

1. Skador på bränslet
2. Skador på bassängvattnet
3. Vibrationsskador på CLAB 1
4. Genombrott i vägg mot CLAB 1
5. Intrång/sabotage
6. Bergdeformationer och bassängrörelser som överskrider tillåtna värden.

Detta utmynnade därefter i ett åtgärdsförslag som givetvis syftade till att hantera de potentiella skadehändelserna. Konkret innebar detta att anläggningen kompletterades med vissa fysiska skydd, att vissa restriktioner vad gäller hanteringen av sprängämnen infördes, att befintliga rutiner och skyddsåtgärder vid arbeten i bassänghall utökades, att utökade kontrollprogram tillkom o.s.v.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

För att kontrollera pelarens spänningar och deformationer utförde Golder Grundteknik en numerisk analys av bergpelaren. Syftet med denna modellering var att simulera förändringar av bergspänningarna samt att beräkna deformationerna efter det att bergrummet för CLAB 2 samt kanaltunneln från bergrummet fram till pelaren tagits ut.



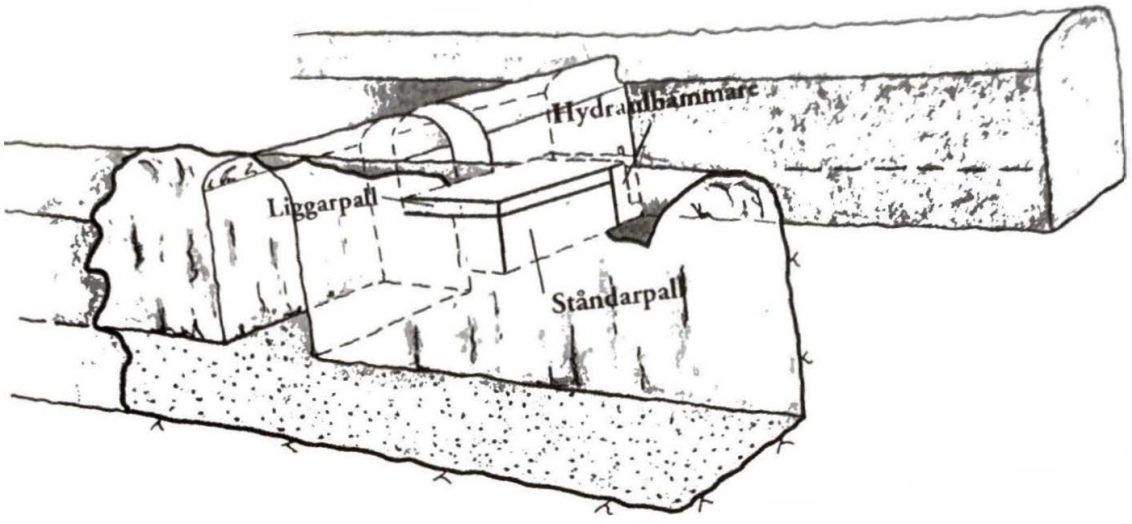
Figur 3 visar dokumentstrukturen för metodbeskrivningen.

5 GENOMFÖRANDE

Berguttaget genomfördes i följande steg, se figur 4:

1. Då ca 2 m återstod av drivningen fram till pelaren delades kanaltunneln upp från 3 st pallar till 6 st lågpallar. Dessa sprängdes skonsamt för att ej skada pelaren.
2. Därefter öppnades pelaren i botten genom att driva in en 4 m lång pilottunnel där kulvertdiket var placerat.
3. Pelaren fälldes.
4. Lågpallen sprängdes. De sista metrarna mot CLAB 1 bilades.
5. Kulvertdiket sprängdes.
6. Resterande berg närmast betongväggen vid CLAB 1 bilades.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 4 visar områdena för liggar-, ståndarpall samt bilning med hydraulhammare.

5.1 Salvor innan pelaren

Allt eftersom galleri och pallar drevs frilades pelaren. Sista salvan innan bergpelaren mättes noggrant in så att rätt salvdjup borrades för att ej understiga den minsta bestämda tjockleken på bergpelaren. Inmätningen av salvan jämfördes med inmätningen av gaveln från det befintliga utrymmet och salvdjupet kunde därigenom bestämmas.

Förstärkning och förborrning av salvhål måste utföras på respektive pallnivå. Pelaren förstärktes med ingjutna bultar c/c 2 m samt fiberarmerad sprutbetong. Syftet med sprutbetongen var främst att säkra mot nedfallande sten. För att förhindra att gaser skulle tränga igenom bergpelaren in i CLAB 1 planerades för att sätta det befintliga utrymmet mellan CLAB 1 och pelaren under övertryck. Planen var att förbinda tunnelventilationen med ett rör som skulle installeras genom bergpelaren. Eftersom dammätningarna inne i CLAB 1 inte visade på förhöjda värden behövdes aldrig denna åtgärd. Se fig 5.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 5 visar borrning av nedre pallen framför pelaren. På fotot ses den uppborrade och förstärkta pelare.

5.2 Öppning av pelaren

Pelaren öppnades upp längst ner i södra hörnan vid läget för kulvertdiket. Öppningen utformades som en pilottunnel 4,5 m bred och 4,8 m hög och drevs in ca 4 m under pelaren i två salvor. Öppningen av pilottunneln utgjordes av 8 st grovhål vars uppgift var att skapa fri volym med en förhållandevis låg laddningskoncentration. De två pilotsalvorna sprängdes i vardera 5 sekvenser under 2 dagar. Därefter gjordes genomslaget snett framåt – uppåt in i den befintliga kanaltunneln. Dessförinnan hade kastskydd i form av lätt täckning monterats upp. Se fig. 6.

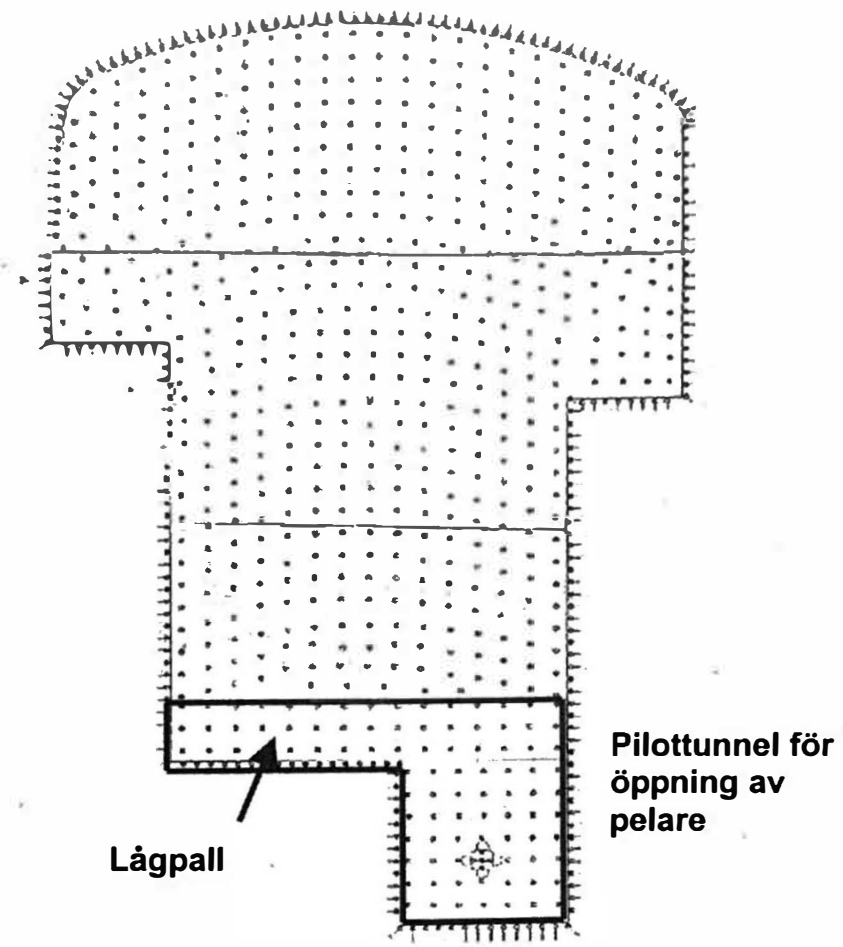
5.3 Pelaren

Salvborrningen omfattade ca 1000 borrhål som inte genomborrades utan minst 0,5 m berg återstod. En mycket noggrann inmätning av pelaren utfördes så att genomborrning kunde undvikas. De salvor som drivits innan pelaren låg till grund för beräkningen av största samverkande laddning som kunde nyttjas vid pelarfällningen. Prognosen pekade mot ca 0,5 kg samverkande laddning som då inrymde en viss säkerhet med tanke på pelarens ringa inspänning i förhållande till de tidigare galleri och pallsalvorna som prognosen var baserad på. Hållängderna varierade runt 3-4 m beroende på pelarens mäktighet. Försättning och hålavstånd sattes till 0,7 m vilket möjliggjorde laddningskoncentrationer ner mot 0,2 kg/m. Pelaren fälldes rad för rad vilket motsvarade ca 15 – 25 hål per salva. Totalt sprängdes ca 60 salvor mellan 19/6 och 4/7 2000. I huvudsak användes detonerande stubin 80 g/m för pelarfällningen.
Mycket låga vibrationsvärden uppmättes. Då pelaren fällts förstärktes väggar och tak. Se fig. 6.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

5.4 Lågpallen

Lågpallen, 1.2 m hög omfattade ca 140 m³ på en area av ca 6 x 20 m. Pallen drevs om liggarpall och borrades med tunnelborrningsaggregat. Håldiametern var 48 mm. Två rader sprängdes i varje salva. Samverkande laddningen var 0,5 kg. Se fig. 8.



Figur 6 visar borrplan för pelaren. I nedre högra hörnet ses pilottunneln som utgör öppningen av pelaren.

5.5 Kulvertdiket

Kulvertdiket drevs som två tremeters ståndarpallar. Diket var 4,5 m brett och ca 20 m långt. Borrningen utfördes med ett pallaggregat ROC 722. Håldiametern var 51 mm och hålsättningen ca 0,7x0,7 m. Den samverkande laddningen varierade mellan 1,1 kg och 0,25 kg beroende på avståndet till CLAB 1. De sprängämnen som användes var DX 25, Gurit 17 samt detonerande stubin 80g/m. I syfte att öka dämpningen av de sprängningsinducerade vibrationerna utfördes slitsborrning utefter kulvertdikets bakkant samt utefter dikets sidor närmast CLAB 1. Underborrningen av slitsen var ca 1,5 m. Se fig. 8.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

5.6 Bilning med hydraulhammare

Bilningen utfördes med en 40 tons hydraulhammare monterad på en grävmaskin Komatsu PC400. För att möjliggöra och underlätta losshållningen borrades ett antal tätsömmar i den kvarstående bergmassan med 64 mm borrhål. Avståndet mellan varje söm var ca 0,5 m. Tiden för att bila bort ca 30 m^3 var ca 2 dagar.

6 RESULTAT

Arbetet med det som många trodde skulle bli den svåraste sprängningstekniska utmaningen under hela projektet visade sig gå mycket smärtfritt. Orsakerna till detta är flera. Först och främst så var detta projekt ovanligt väl igenomarbetet med en bra integrering mellan riskanalys, vald metodik, arbetsberedningar, kontrollplaner och inte minst det praktiska utförandet. Samtliga handlingar har granskats av beställaren SKB's referensgrupp samt därefter av SKI's projektreferensgrupp vilket ytterligare förstärker kvaliteten på handlingar och höjer säkerheten i utförandet. Detta system var väl inarbetat vid detta slutskede av projektet. En annan orsak var det lättsprängda berget. Låga laddningskoncentrationer bröt förhållandevis stor bergmassa. Pelaren fälldes med ca 0,25 – 0,35 kg/m^3. Goda dämpningsegenskaper av bergmassan i vissa riktningar bidrog även till ett lättsamt berguttag.

Vibrationsvärden

Uppmätta vibrationsvärden var lägre än de prognostiserade. Liggarpallens värden låg i medel på 28% av larmgräns 1 vilket utgjorde 70 % av larmgräns 2, vilket var maximalt tillåtet värde. Standardavvikelsen var 0,09. Motsvarande värde för ståndarpallen var 37% och en avvikelse av 0,19. Larmgräns 1 överskreds 1 gång under arbetet. De prognoser på största tillåtna samverkande laddning som gjorts baseras på ett konfidensintervall av 98% vilket utgör en hög sannolikhet för att huvuddelen av värdena kommer att ligga betydligt under tillåtna nivåer.
Prognosen, se figur 7 som upprättades på basis av salvorna före pelaren gav en samverkande laddning på ca 1 kg vid ett avstånd på 18 – 20m. Prognosen tog då inte hänsyn till den slits som omgärdade ståndarpallen närmast CLAB 2. Det kan tyckas att prognosen var lite för defensiv med tanke på resultatet men då skall man ha i åtanke att prognosen även måste inrymma några enstaka höga värden som alltid förekommer vid sprängningsarbeten, orsakade av omständigheter som vanligtvis är svåra att förutsäga.
Effekten av slitsborrningen är svår att tolka. Några tydliga skillnader mellan liggarpallen på norra halvan av kanaltunneln och ståndarpallen som var slitsad på den södra delen kan inte ses. En orsak till detta kan vara det ca 1,5 m breda dike som korsade kanaltunneln omedelbart framför betongväggen i CLAB 1. Detta utgjorde i sig en avskärmning för stötvågor in mot CLAB 1.
Diket avskärmade dock inte i sidled vilket var det håll som vibrationsmätarna var placerade varför inverkan av detta dike borde varit begränsat. Figur 8 visar den borrade slitsen.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Försiktig pallsprängning av kanaltunnel Clabll
Avstånd, borr- och laddningsuppgifter

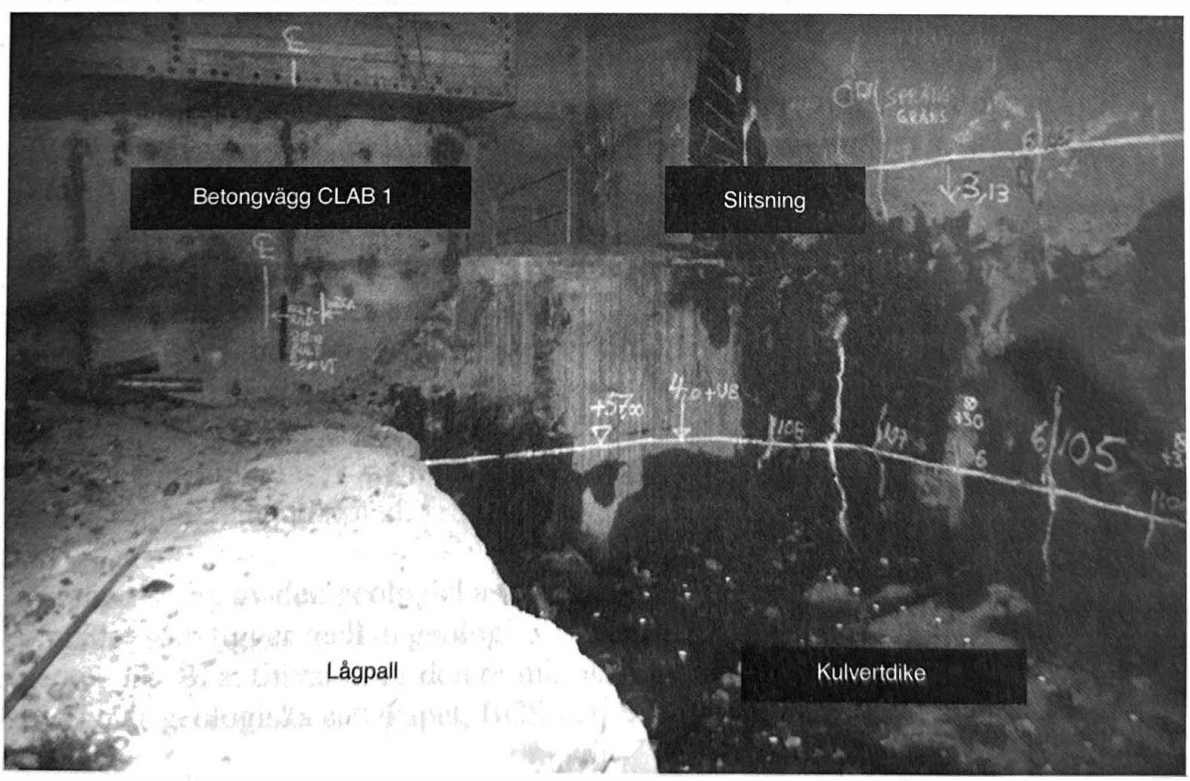
Avstånd	Laddningn kg		Vibration	Pallhöjd	Försättnin	Hålavstån	Vol/hål	Håldjup	
R (m)	Q (kg)	Delladdn.	max (mm/	K (m)	V (m)	E (m)	m^3/hål	(m)	Bm/m^3
2	0,04	1	117	0,5	0,36	0,45	0,072	0,8	11,1
4	0,12	1	97	0,5	0,62	0,77	0,216	0,8	3,7
6	0,23	1	85	1,5	0,50	0,62	0,414	1,8	4,3
8	0,37	1	80	1,5	0,63	0,79	0,666	1,8	2,7
10	0,52	1	75	1,5	0,74	0,93	0,936	1,8	1,9
12	0,68	1	67	3	0,60	0,75	1,224	3,6	2,9
14	0,85	1	63	3	0,67	0,84	1,530	3,6	2,4
16	1,04	1	60	3	0,74	0,93	1,872	3,6	1,9
18	1,23	1	57	3	0,81	1,01	2,214	3,6	1,6

Spec.ladd 0,5 kg/m^3
Sprängämne Gurit 11 och 17, alt. Dynocord 40 och 80 g/m
Borrhålsdiameter 38 mm

Figur 7 visar de prognostiserade laddningsmängderna samt förslag till borrgeometri. De faktiska värdena för samverkande laddning varierade mellan 0,24 och 1,1 kg. Borrgeometrin var 0,7 x 0,7m.

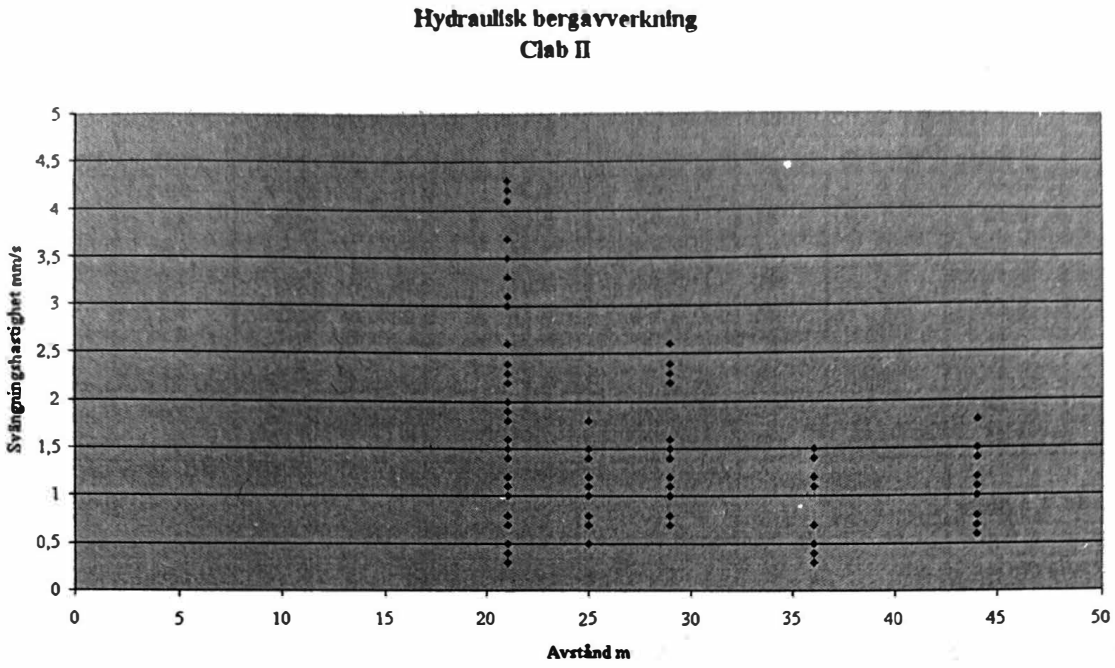
Bilning

Den mekaniska losshållningen med bilning fungerade bra förutsatt att den bilade bergmassan borrats upp med ett antal tätborrade rader. En kort analys av svängningshastigheter i samband med bilningen visar på värden upp till 4,5 mm/s vid avstånd strax över 20m. Se fig. 9.



Figur 8 visar kulvertdiket till höger, lågpallen till vänster. Slitsraden i bakkant av kulvertdiket skall senare bilas bort. Till höger om betongväggen ses en dörr in till CLAB 1.

© 2001 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 9 visar vibrationsvärden som funktion av avståndet vid bilning med hydraulhammare