

## UNDERSÖKNING AV SPRÄNGSPRICKOR FRÅN MEKANISERAD LADDNING MED BULKEMULSION I BERGTUNNEL

Henrik Ittner  
Anders Bouvin

Omslagsbild: Sprängsprickor från konturhål i TASN, Äspö.

**UNDERSÖKNING AV SPRÄNGSPRICKOR FRÅN  
MEKANISERAD LADDNING MED BULKEMULSION I  
BERGTUNNEL**

**Investigation of blast fractures from mechanized  
charging with emulsion during tunnelling**

Henrik Ittner, Svensk Kärnbränslehantering (SKB)

Anders Bouvin, Forcit Sweden

BeFo Rapport 144

Stockholm 2015

ISSN 1104-1773

ISRN BEFO-R—144—SE



## FÖRORD

Den sprängning som utförs i samband med bergarbeten orsakar inte bara det önskade hålrummet utan anslutande berg påverkas naturligtvis också. Den så kallade skadezonen är en påverkad zon med mer eller mindre uppsprucket berg vars betydelse i samband med projektering, byggnation och drift av anläggningen inte bör underskattas. En omfattande skadezon kan innebära att den utsprängda geometrin skiljer sig väsentligt mot den önskade, vidare kan det innebära ett ökat förstärkningsbehov och ökande insatser för bergrensning. Bedömning av hur omfattande skadezonen kommer att bli p.g.a. sprängning utgår idag från en så kallad skadezonstabell som baseras på andra sprängämnen än pumpemulsion som är det vanligaste förekommande idag. Vid dagens bergarbeten används i princip uteslutande pumpemulsion vid sprängning, så här behövs ny kunskap om hur skadezonen påverkas i dessa fall. Dominansen av pumpemulsion beror främst av enklare transport och lagring eftersom materialet i detta skede inte klassas som sprängämne, rationell och effektivt laddning och en relativt låg sprängämneskostnad. En påtaglig nackdel är sprängämnets känslighet mot detonationsavbrott.

Med stöd av en skadezonstabell som är anpassad för pumpemulsion och kontrollerad laddning, skulle skadezon och påverkan på tunnelkontur minimeras vilket innebär vinster i ekonomi, arbetsmiljö och miljö. Fördelar som kommer att bidra till en säkrare och mer effektiv tunnelproduktion med högre kvalitet.

Detta forskningsprojekt syftar till att utvärdera utbredningen av skadezonen för olika koncentrationer av emulsionssprängämne vid tunneldrivning för att få data och en ökad förståelse som underlag för en tillämpbar skadezonstabell. Projektet är ett första av två steg och innebär kartering av sprickor från en sprängd tunnel. Nästa steg, medel beslutades av BeFo november 2015, innebär ytterligare drivning med några salvor med olika sprängämneskoncentration.

Projektet är initierat av SKB men även relevant för konventionell tunneldrivning. Tunnelkarteringen är utförd på en tunnel i Äspölaboratoriet.

Utredningsarbetet har utförts av Henrik Ittner (SKB) och Anders Bouvin (Forcit Sweden AB) tillsammans med flera anlitate specialister. En grupp bestående av Lars Martinsson (Trafikverket), Pål Drevland (Statens Vegvesen Norge), Daniel Johansson (Swebrec/Luleå Tekniska Universitet), Per Eriksson (Northern Rock), Kimmo Lehtola (Adjungerad från Posiva OY Finland) och Per Tengborg (BeFo) har bidragit med värdefull granskning och kommentarer till slutrapporten.

Projektet finansierades av Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo) med kontanta medel medan SKB och Forcit gått in med naturainsats.

Stockholm i december 2015

*Per Tengborg*



## SAMMANFATTNING

Det finns ett behov inom berg- och tunnelbranschen i Sverige av en praktiskt tillämpbar skadezonstabell för moderna emulsionssprängämnen. Behovet är tydligast när krav ställs på minimerad påverkan på kvarstående berg. Minimerad sprängskada i tunnlar kan reducera mängden överberg, oönskade bergutfall samt skrottningsbehov, både under bygg- och driftskede.

Den här rapporten redovisar resultat från det första projektsteget i BeFo-projektet *Underlag till skadezonstabell för emulsionssprängämne i bergtunnlar*, som är ett samarbetsprojekt mellan Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) och Forcit Sweden AB. Steg I omfattade sammanställning av befintlig laddningsdata mot sprängsprickor för två experimenttunnlar som byggdes i Äspölaboratoriet under 2012. Tunnlarna drevs med emulsionssprängämne (Kemitti 810) och dokumentation av bergarbetena under entreprenaden var omfattande. Mängden emulsionssprängämne per hål är därför spårbart i kontur, sula och hjälpare. I Steg II planerar projektet att komplettera och data från steg I med data från en annan site för att ta fram ett mer komplett underlag till en framtida skadezonstabell för emulsionssprängämne.

För att studera sprängsprickor i vägg och sula har 5 slitsar sågats ut i två av de nya experimenttunnlarna på -410 m nivån i Äspölaboratoriet. Snitten lokaliserades genom kontroll av data från sprängning, GPR-reflektorer samt synliga borrhypor. Projektets ambition har varit att data skall ha hög tillförlitlighet och att hela processen skall vara väldokumenterad.

Slitsarna karterades med avseende på både sprängsprickor och geologiska sprickor. Karteringsdata har sedan satts samman med laddningsdata från utbyggnadsprojektet. Kontur- och sulhål i de aktuella tunnlar laddades med 0,35 respektive 0,5 kg/m. Resultatet från karteringen av sprängsprickor visar på en längsta radiell spricklängd om 24,5 cm för laddningskoncentrationen 0,35 kg/m och 24,1 cm för laddningskoncentrationen 0,5 kg/m. Generellt visar resultatet stor spridning med få sprickor längre än 20 cm.

Resultatet är mycket bra för laddning med strängemulsion och den begränsade sprickbildningen tyder på en mycket bra bornoggrannhet, en låg laddningskoncentration och att hålen detonerat momentant. Kontur- och sulhålerna har initierats med elektroniska sprängkapslar och dessa har en mycket låg tändspridning vilket tidigare undersökningar visat ge kortast sprickbildning (Olsson och Ouchterlony, 2003).

*Nyckelord: Skadezon, Emulsionssprängämne, Laddning, Tunneldrivning,*

## SUMMARY

The rock excavation and tunnelling business in Sweden is in need for a blast damage table for emulsion explosives. This is most important when requirements are set to minimize the effect of blasting on the rock mass. Minimized blast damage can reduce the amount of overbreak, fall of ground and the need for scaling, both during the construction and operation phase of an underground facility.

This report presents the results of the first project step in the BeFo project *Input to blast damage table for emulsion explosives in rock tunnels*, which is a cooperation between the Swedish Nuclear Fuel and Waste and Management Co and Forcit Sweden AB. During Step I compilation of existing charging data is correlated to blast fractures for two experimental tunnels, excavated in the Äspö HRL during 2012. The tunnels were excavated with emulsion explosives (Kemitti 810) and documentation of the excavation works was extensive. Therefore, the amount of charged emulsion explosives per hole is traceable in contour, bottom and helpers. A second project step is planned to include collection of data at another site with the aim to extend data for a future blast damage table.

In order to study blast fractures in the wall and floor 5 slots have been sawed out in two of the new tunnels excavated at the -410 m level in the Äspö HRL. The slots were localized through study of blasting data, GPR-reflectors and visible blasting half pipes. The ambition of the project has been to create a data set with a high quality and to assure that the whole process is well documented.

Both blast fractures and geological fractures have been mapped in the slots. The data from mapping was then correlated to charging data from the expansion project. Contour holes were charged with 0,35 kg/m and the charge concentration in the floor holes was 0,5 kg/m. The results from mapping shows a longest blast induced fracture of 24,5 cm for the 0,35 kg/m charge and 24,1 cm for the 0,5 kg/m charged holes. Generally there is a large spread in the results with few fractures longer than 20 cm.

The results are very good considering the blasting method with emulsion explosives and the limited extent of blast fractures indicates good drilling precision, low charge concentration and simultaneous initiation. The contour and floor holes were initiated with electronic detonators. These detonators have a low distribution in the initiation time, which is shown to give shortest length of blast fractures (Olsson and Ouchterlony, 2003).

*Key words: Damage zone, Emulsion explosives, Charging, Tunnel excavation.*



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD.....	i
SAMMANFATTNING.....	iii
SUMMARY .....	iv
1 INLEDNING .....	1
1.2 Kort om bergsprängningsteori och sprängsprickor.....	3
2 BAKGRUND .....	5
2.1 Platsförhållanden .....	5
2.2 Krav och toleranser.....	6
2.3 Sprängdesign .....	8
2.4 Laddning, kalibrering och sprängämnets egenskaper.....	9
2.5 Borming.....	11
2.6 Omskjutningar av konturhålen i studien.....	12
3 UTTAG OCH KARTERING AV SLITSAR.....	13
3.1 Platsval.....	13
3.2 Sågning .....	14
3.3 Kartering av sprängsprickor .....	15
3.4 Geologisk kartering .....	16
4 RESULTAT .....	19
4.1 Laddningsprecision.....	19
4.2 Sprängsprickor.....	20
4.3 Slutsats.....	23
5 DISSKUSION .....	25
5.1 Sprängsprickor.....	25
5.2 Laddning med emulsionsprängämne .....	25
5.3 Förspräckning .....	26
ERKÄNNANDEN .....	27
REFERENSER.....	29
BILAGA I RESULTAT FRÅN KARTERING AV SPRÄNGSPRICKOR .....	31
BILAGA II RESULTAT FRÅN GEOLOGISK KARTERING .....	45
BILAGA III BORRPLAN .....	57
BILAGA IV TÄNDPLAN .....	59



## 1 INLEDNING

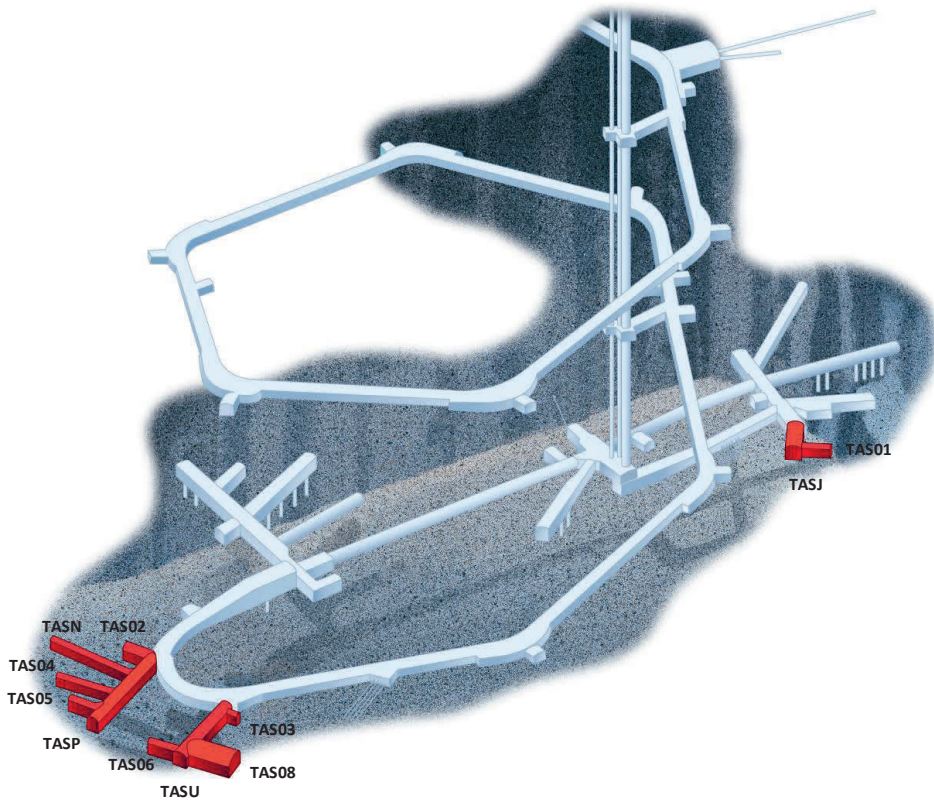
Det finns ett behov inom berg- och tunnelbranschen i Sverige av en praktiskt tillämpbar skadezonstabell för moderna emulsionssprängämnen. Behovet är tydligast när krav ställs på minimerad påverkan på kvarstående berg. Minimerad sprängskada i tunnlar kan reducera mängden överberg, oönskade bergutfall samt skrotningsbehov, både under bygg- och driftskede.

Den här rapporten redovisar resultat från BeFo-projektet *Underlag till skadezonstabell för emulsionssprängämne i bergtunnlar*, som är ett samarbetsprojekt mellan Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) och Forciv Sweden AB. Studien syftar till att utvärdera utbredning av sprängskador från emulsionssprängämne under realistiska förhållanden vid tunneldrivning. Projektets ambition har varit att dokumentera hela processen vid sprängning, från sprängämnets egenskaper till laddningsmängd och påverkan på berget och med detta bidra till en tillämpbar skadezonstabell för moderna emulsionssprängämnen.

SKBs utbyggnad av Äspölaboratoriet under 2012 (Figur 1) har genomförts med unika krav på dokumentation av laddningsarbetet och utbyggnadsområdet lämpar sig därför väl för studier av sprängskador relaterade till emulsionssprängämne.

Projektet har delats upp i två projektsteg där Steg I innefattade undersökning av sprickutbredning från emulsionssprängämne (K810) i två av de befintliga tunnlar i Äspölaboratoriet. Den här rapporten sammanfattar resultaten från Steg I. I Steg II planerar projektet att komplettera data från steg I med data från en annan site för att ta fram ett mer komplett underlag till en framtida skadezonstabell för emulsionssprängämne.

Data för spricklängder orsakade av emulsionssprängämne finns framtaget främst för klenare laddningar ovan jord, exempelvis Ouchterlony et al. 2010. Spricklängd från större laddningar är teoretiskt beräknade genom extrapolering. I det första steget samlades data för laddningskoncentrationen 0,35 kg/m. Ett mindre data-set samlades också in för laddningskoncentrationen 0,5 kg/m. I projektets nästa steg är ambitionen att samla in data från större laddningskoncentrationer samt annan geologi och bergkvalitet för att komplettera underlaget till en skadezonstabell.



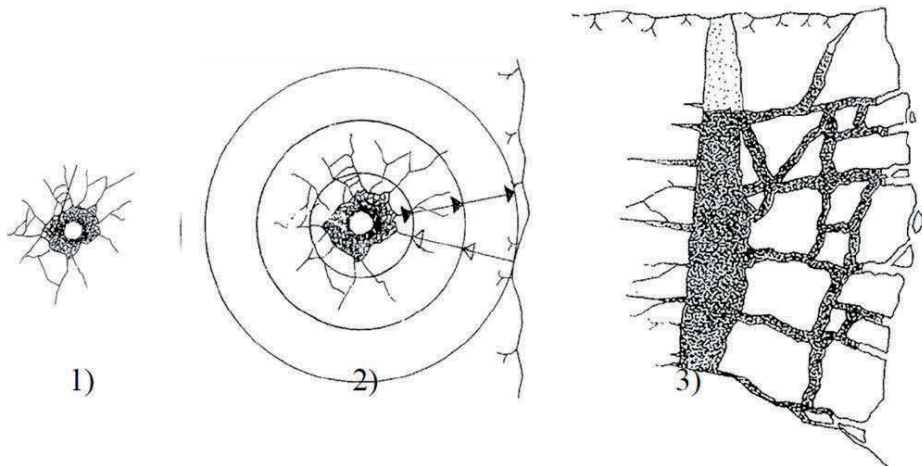
Figur 1. Underjordsdelen av Äspölaboratoriet med Utbyggnadsprojektets tunnlar markerade i rött. Totalt drevs 308 m nya tunnlar inom projektet.

*The underground part of Äspö HRL with the new tunnels, excavated in the Expansion Project, marked in red. In total 308 meter of new tunnels were excavated.*

## 1.2 Kort om bergsprängningsteori och sprängsprickor

Förloppet vid sprängning sker i tre steg. Figur 2 nedan illustrerar förloppet (Olofsson, 1990).

1. Detonationen skapar ett mycket högt tryck som krossar berget närmast borrhålsväggen varvid borrhålet börjar expandera.
2. Tryckvågen propagerar från borrhålet ut i den fasta bergmassan. När tryckvågen når den fria ytan reflekteras den till en dragvåg. Dragvågen överstiger bergets draghållfasthet och ger upphov till töjningsinducerade sprickor i berget mellan borrhålet och den fria ytan.
3. Gaser som frigörs under detonationen av sprängämnet tränger in i sprickorna och utvidgar dessa och börjar bryta upp bergmassan. Borrhålet expanderar ytterligare vilket ger volymökning åt gaserna som nu kastar fram berget.



Figur 2. Förloppet vid sprängning (Olofsson, 1990).

### *Blasting process.*

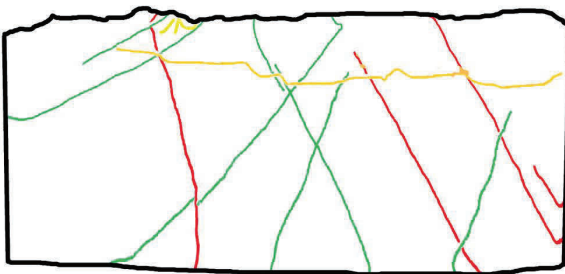
Även om principen är densamma som i Figur 2 varierar graden av sprängskador med parametrar som laddningskoncentration, frikopplingsgrad, initieringstid och geologi. Figur 3 visar exempel på sprängsprickor från kontur respektive bottenladdning i TASN. Den här studien fokuserar på sprängsprickor från pipladdningen, till höger i Figur 3 visas ett exempel.



Figur 3. Exempel på sprängsprickor från bottenladdning (till vänster) och kontur (till höger) i TASN, Äspö.

*Example of blast fractures from the bottom charge (left) and from the column charge (right). Both examples from TASN, Äspö HRL.*

En kombination av sprängning och spänningsomfördelning i samband med berguttaget kan påverka bergets naturliga sprickor och öppna nya. Figur 4 visar ett exempel från karteringen som har gjorts inom det här projektet.



Figur 4. Kartering av snittyta i sula TAS04. Gröna linjer avser naturliga sprickor, röda linjer avser naturliga sprickor som återöppnats på grund av berguttaget. Öppna sprickor som saknar sprickfyllnad och kan vara spränginducerade är markerade med orange.

*Effect on the fracture system from blasting and excavation, example from this project.*

## 2 BAKGRUND

SKBs berglaboratorium på Äspö, utanför Oskarshamn, byggdes i början av 1990-talet ned till nivån -450 meter. I anläggningen bedrivs forskning och utveckling med realistiska förutsättningar som en förberedelse inför byggandet av ett slutförvar för använt kärnbränsle. Anläggningen används också för viss forskning och teknikutveckling inom programmet för låg och medelaktivt avfall, Loma-programmet.

Under 2012 byggdes Äspölaboratoriet ut för att tillgodose behovet av utrymmen för framtida experimentplatser. Nya tunnlar byggdes på -410 och -450 m nivån. De nya tunnarna drevs med emulsionssprängämne (Kemitti 810) och laddning utfördes med en laddutrustning modell Forcitt laddenhet 201 med slangdragarenhet för strängladdade håltyper. Mycket tid och resurser lades på uppföljning och styrning av utförandet, bland annat genom utförandekrav (t.ex. borrh- och laddningstoleranser), kontrollprogram och dokumentation av arbetet. Dokumentation av sprängarbetena omfattade uppföljning av borrhprecision och laddningskoncentrationer per hål med hjälp av loggerdata och fältobservationer.

BeFo har tagit fram en rapport som behandlar erfarenheter från laddning med emulsionssprängämne (Olsson och Niklasson, 2011). I rapporten används utbyggnadsprojektet på Äspö som referens.

### 2.1 Platsförhållanden

Berggrunden på Äspö består av diorit korsad av gångar av granit och pegmatit. Typiska bergmekaniska parametrar för det intakta berget visas i Tabell 1.

Tabell 1. Bergmekaniska parametrar för intakt berg från laboratorietester utförda på kärnor av Äspödiorit från Äspölaboratoriet.

*Intact rock mechanical parameters derived from laboratory tests on core samples of Äspö diorite.*

Parameter	Medelvärde	Intervall
En-axiell tryckhållfasthet, UCS [MPa]	211	187 – 244
Crack Initiation Stress [MPa]	121	80 – 160
Young's modulus [GPa]	76	69 – 79
Poisson's tal	0,25	0,21 – 0,28
Indirekt draghållfasthet [MPa]	14,9	12,9 – 15,9
Friktionsvinkel, intakt berg [°]	49	
Kohesion, intakt berg [MPa]	31	
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2750	2740 – 2800

Spänningssituationen In-Situ på Äspö har beskrivits av bland andra Christiansson & Jansson (2003). Den dominerande horisontalspänningen,  $\sigma_1$ , är Nordväst-Sydostligt orienterad och uppskattades till  $24 \pm 5$  MPa. Resultaten baseras på spänningstester i två ortogonala borrhål på -450 m nivå. På -410 m nivå, där tunnlar i den här studien byggdes, är uppskattningen att  $\sigma_1$  ligger i det lägre intervallet. Vertikalkomponenten uppskattades ligga i intervallet 15-20 MPa och den mindre horisontalspänningen uppskattades till 11-13 MPa på nivån -420 till -450 m i anläggningen.

## 2.2 Krav och toleranser

SKBs krav på bergschakt, som tillämpades i utbyggnadsprojektet på Äspö, är relaterade till KBS-3 metoden för deponering av använt kärnbränsle. Metoden innebär deponering av använt kärnbränsle i kopparkapslar, 500 m under mark i ett system av deponeringstunnlar. Kopparkapslarna skall placeras i vertikala hål, borrhål i tunnelgolvet. Tunnlar kommer sedan att återfyllas med bentonitlera (SKB, 2011).

Kraven på deponeringstunnlar omfattar bland annat geometri och begränsning av sprängskadezon. Kravet på sprängskador är formulerat så att transimivitet i tunnelgolvet i medeltal skall understiga  $10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s på en sträcka av 20 till 30 meter (SKB, 2013). Geometrikravet är relaterat till återfyllningen, där målet är en jämn densitet och att minimera materialanvändning. Till detta kommer också krav på spårbarhet och dokumentation relaterat till arbete i en kärnteknisk anläggning.

Krav för bergschakt under utbyggnadsprojektet på Äspö omfattade:

- Stickning < 25 cm.
- Maximalt 30 % överberg.
- Inget underberg.
- Borrtoleranser enligt Tabell 2.
- Laddningstoleranser enligt Tabell 3.

Inledningsvis tillämpades stickning 25 cm och ansättning på konturen. Under projektet reviderades kravet till 30 cm och påhuggen flyttades ut 10 cm utanför teoretisk kontur för transporttunnlar och 5 cm i experimenttunnlar på grund av att berget inte bröt ut som önskat.

Tabell 2 visar utförandekrav på borrhålsprecision och Tabell 3 toleranser för laddning. Laddningstoleranserna definierades efter vad laddutrustningen klarat vid kalibrering innan utbyggnadsprojektet startade.



Tabell 2. Borrtoleranser som tillämpades i projektet.

*Drilling tolerances applied in the project.*

<b>Borrtoleranser kontur och hjälpare</b>	<b>Radiell avvikelse</b>
Maximal tillåten avvikelse från teoretiskt påhugg	$\pm 7$ cm
Maximal tillåten avvikelse från teoretisk slutpunkt	$\pm 20$ cm

Tabell 3. Laddningstoleranser som tillämpades i projektet.

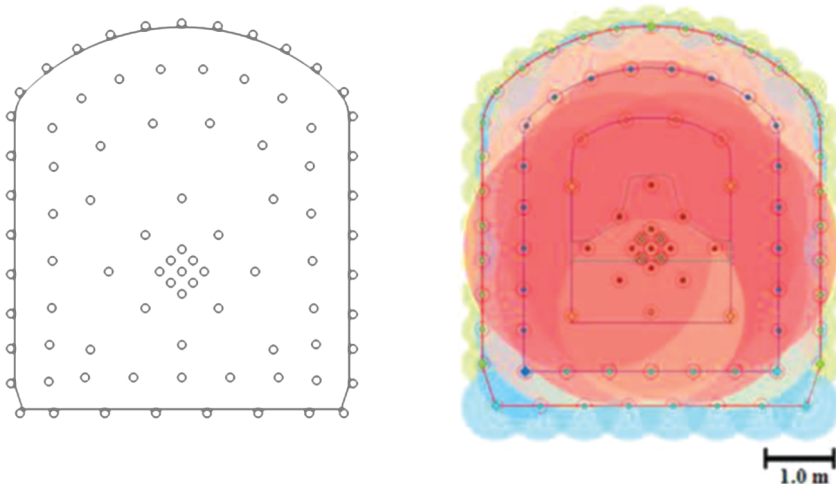
*Charing tolerances applied in the project.*

<b>Håltyp</b>	<b>Laddningstoleranser</b>
Konturhål och sulhål	$\pm 0,05$ kg/m
Hjälpare	$\pm 0,05$ kg/m
Strosshål	$\pm 0,10$ kg/m
Kilhål	$\pm 0,10$ kg/m

### 2.3 Sprängdesign

Sprängdesignen som användes i projektet baserades på tidigare arbeten med skonsam sprängning på Äspö (Karlzén och Johansson, 2010) och (Olsson et al. 2004). Figur 5 visar hålsättning och teoretisk utbredning av sprängskador enligt Ouchterlony et al. 2010 för experimenttunnlarna TASN och TAS04. Tabell 4 visar teoretisk pipladdning och bottenladdning (K 810). Specifik laddning enligt laddplanen var  $2,63 \text{ kg/m}^3$  och teoretisk, specifik borrhning uppgick till  $3,62 \text{ m/m}^3$  för 81 salv- och 4 grovhål (Ø 48 och Ø 102 mm).

Teoretisk salvlängd uppgick till 4,5 m. I praktiken nåddes en indrift av knappt 4 m per salva i dessa två tunnlar (Indriften definierades från salvans navigationsplan). Skadezonsteori tillämpades som ett designkriterium vid utformningen av borr-, ladd- och tändplaner och modifikationer i utförandet kontrollerades av beställaren innan tillämpning i entreprenaden. Initiering gjordes med elektroniska sprängkapslar i konturen och stötvågssprängkapslar i övriga delen av salvan.



Figur 5. Hålsättning (till vänster) och teoretisk utbredning av sprängsprickor enligt Ouchterlony et al. 2010 (till höger) för experimenttunnlarna TASN och TAS04. Cirklarnas olika färger representerar olika håltyper och radien representerar teoretisk utbredning av den längsta sprängsprickan.

*Theoretical drill plan (left) and visualization of theoretical extension of blast damage (right) after Ouchterlony et al. 2010.*

Tabell 4. Teoretisk pipladdning och bottenladdning (uppmätt i fält) för olika håltyper. Pentex 25F har använts som primer.

*Theoretical column and bottom charge.*

Håltyp	Pipladdning [kg/m]	Bottenladdning [kg]
Konturhål	0,35	0,4
Hjälpåre och sulhål	0,5	0,5
Strosshål i TAS04/TASN	1,2	-
Kil/strosshål	1,8*	-

\*Fulladdat hål utan slangdragning.

I salva 3 i TASN initierades konturen innan resten av salvan tändes, så kallad förspäckning. Bakomliggande orsak var att resterande hål oavsiktligt inte kopplats in. I övrigt skilde sig sprängdesignen inte från övriga salvor, dvs konturen laddades med 0,35 kg/m och initierades med elektroniska sprängkapslar.

#### 2.4 Laddning, kalibrering och sprängämnets egenskaper

Forcit Laddenhet 201 (Figur 6) med slangdragarenhet användes för strängladdning. Emulsion (K810) tillsammans med gasningsmedel (N9) användes som sprängämne i salvorna. F-rörladdning Ø17 har använts till konturhål i tak och vägg vid omskjutningar eller vid funktionsproblem med slangdragarenheten. i-kon VS användes som elektronisk tändare och Nonel LP som stötvågssprängkapslar. Vid vattenförekomst i nedåtriktade borrhål (i praktiken främst sulhålen) har hålen försetts med plaströr (Ø 40 mm), som förslutits med ett lock i botten för att förhindra vatteninträning.

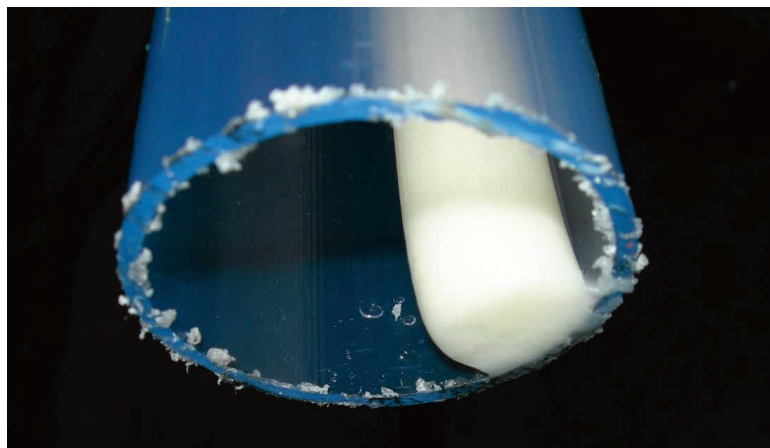


Figur 6. Forcit Laddenhet 201 och laddning med slangdragarenhet i TASJ.

*Charging unit Forcit 201 and retractor unit in TASJ.*

Laddutrustningen kalibrerades varje månad av Forcit. Kalibreringsdata analyserades och därefter gjordes eventuella justeringar. Funktionen verifierades sedan genom ett antal mängd-

och densitetsprov. Laddning i transparenta plexiglasrör (Figur 7) tillämpades för kontroll av bottenladdning och laddkoncentration i pippladdning.



Figur 7. Laddning i plexiglasrör i samband med kalibrering.

*Charging in pipe of acrylic glass during calibration.*

Laddenheten kalibrerades för att ge sprängämnet en medeldensitet så nära  $1,0 \text{ kg/dm}^3$  som möjligt. De densitetsvärden som uppmättes under projektet presenteras i Tabell 5.

Tabell 5. Medeldensitet för K810 från kalibrering under projektet.

*Mean density for K810 from calibration.*

<b>Kalibrering (2012)</b>	8/2	13/3	10/4	15/5	14/6	8/8	6/9	11/10	15/11
<b>Densitet [kg/dm<sup>3</sup>]</b>	1,02	0,98	1,05	0,99	0,98	1,01	0,95	0,99	1,02

Emulsionssprängämnet Forcic K810 är speciellt framtaget för mekaniserad underjordsladdning. Underjordsladdning innebär ofta högt ställda krav på ingående råvaror samt på laddutrustningens förmåga att vid varje enskilt tillfälle producera ett högkvalitativt sprängämne. De råvaror som transporteras till arbetsplatsen är okänsliggjord matrisemulsion (ADR 5.1) samt gasningsmedel, N9. Då matrisen inte klassificeras som sprängämne kan den transporteras med en lägre transportklass, ADR 5.1. Dessa råvaror fylls på laddenheten inför laddning. När salvan laddas blandas emulsionen och gasningsmedlet i laddenheten, och doseras i borrhålet via en laddslang. De båda råvarorna, K810 och N9, reagerar tillsammans varvid gasbubblor bildas i emulsionen och förändrar emulsionens startdensitet från ca  $1,4 \text{ kg/dm}^3$  till önskat värde kring  $0,8-1,2 \text{ kg/dm}^3$ . Densitetsförändringen innebär att emulsionen går från oxiderande vara till explosiv vara i borrhålet.

Emulsionsprängämnets slutliga densitet, laddkoncentration (kg/m) och borrhålsdiameter påverkar detonationshastigheten, VOD. Eftersom alla hål laddats med kontrollerad laddning och emulsionen därmed tillåts expandera radiellt i borrhålet kommer egenskaper som gasvolym, viktstyrka och energi i teorin alltid vara de samma. Dock skall det noteras att när volym och VOD varierar så varierar också trycket i borrhålet vilket har direkt koppling till påverkan på berget. Egenskaper för sprängämnet som användes under utbyggnadsprojektet presenteras i Tabell 6.

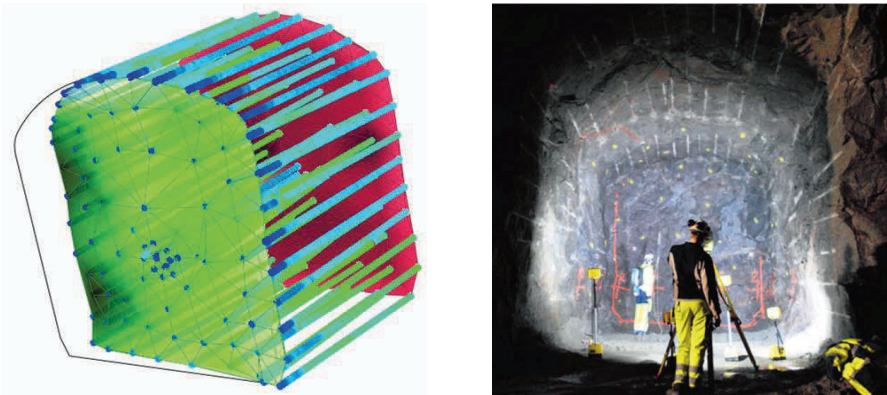
Tabell 6. Egenskaper för F-rör och K810 vid givna densiteter. Se Tabell 5 för en jämförelse med uppmätt densitet för K810 under utbyggnadsprojektet. Värdena gäller för K810 i borrhål Ø 41 mm – 51 mm.

*Parameters for the used emulsion K810 for boreholes Ø 41 mm – 51 mm.*

Sprängämne	Densitet [kg/dm <sup>3</sup> ]	Energi [MJ/kg]	VOD [m/s]	Viktstyrka (ANFO 1,0)	Gasvolym [l/kg]	Strängens diameter [mm]
F-rör 17x500	1,10	2,4	2200	0,58	406	-
K810 0,35 kg/m	0,99	2,9	2100	0,78	1020	20
K810 0,4 kg/m	0,99	2,9	2300	0,78	1020	
K810 0,5 kg/m	0,99	2,9	3500	0,78	1020	25

## 2.5 Borrning

I projektet användes en fabriksny tvåbommsrigg från Sandvik med typbeteckning DT 920i. Riggen var utrustad med mjukvaran iSURE. Uppföljning gjordes på hur väl de uppsatta borrhålsansarna innehölls genom inmätning av påhugg och borrhålsbottnar samt visuell kontroll i maskintillverkarens program iSURE. Figur 8 visar exempel från uppföljningen. Varje salva dokumenterades med fotogrammetri.



Figur 8. Exempel på visualisering av MWD-data från borrhoggen och inmätning av borrhålsbottnar under utbyggnadsprojektet.

*Example of visualisation of MWD-data from the drill log and measuring of blast hole bottoms during the Äspö HRL Expansion project.*

## **2.6 Omskjutningar av konturhålen i studien**

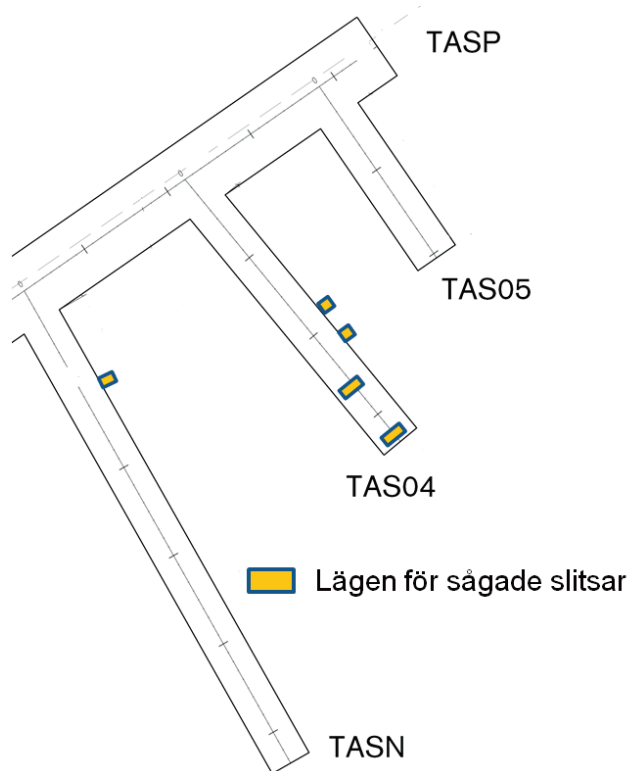
Flertalet omskjutningar av enskilda hål har gjorts under drivning av TASN och TAS04 men endast ett hål som ingår i studien har skjutits om. Ca 1 m av hål nr 1 i slitsen TASN 13 m (Se Bilaga III, Figur 39 för läge i salvan) har skjutits om med 17 mm F-Rör.

### 3 UTTAG OCH KARTERING AV SLITSAR

Totalt 5 slitsar sågades ut i experimenttunnlarna TASN och TAS04 (Figur 9). Två separata karteringar gjordes, en där sprängsprickor karterades och en geologisk kartering för att klassificera övriga sprickor.

#### 3.1 Platsval

Inspektion av sektioner i TAS04 och TASN genomfördes i september 2014. Baserat på inspektionen av möjliga lägen och genomgång av data från tunneldrivningen gjordes en prioriteringslista innehållande 9 möjliga lägen från vilka 5 valdes ut baserat på kriterierna slät yta, antal synliga borrhypor och spårbarhet i dokumentation av laddning.



Figur 9. Lägen för sågade slitsar i experimenttunnlarna TASN och TAS04 på nivån -410 m (ej i skala). Dessa två tunnlar har en geometri som motsvarar den för deponeringstunnlar i det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle.

*Locations for the slots in the experimental tunnels TASN and TAS04. The tunnels have the same theoretical section as the deposition tunnels in the planned repository for spent nuclear fuel.*

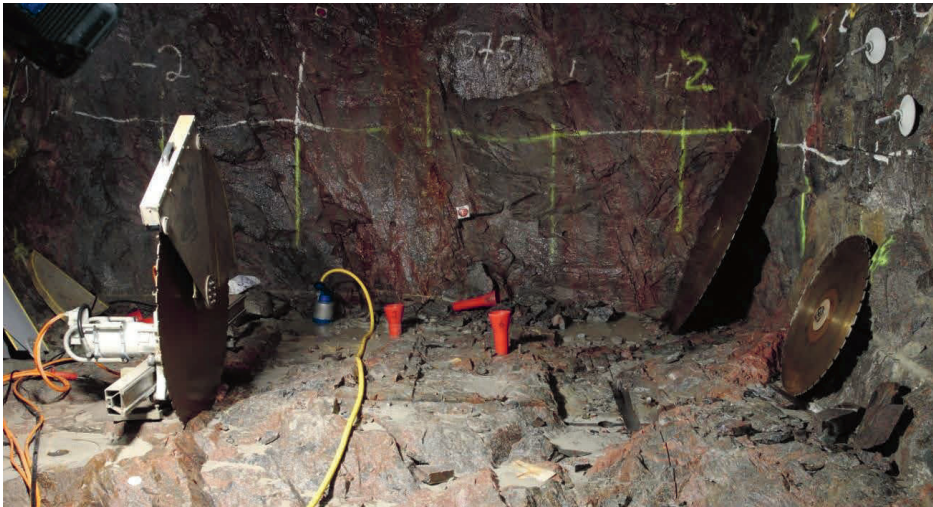
### 3.2 Sågning

Sågningen gjordes med en startklinga som sedan kombinerades med klingor om  $\text{\O} 1200 \text{ mm}$  och  $\text{\O} 1600 \text{ mm}$  för att nå ett maximalt teoretiskt slitsdjup om ca 70 cm. Efter att snittets yttre kanter sågats, sågades ett antal längsgående snitt som sedan kunde tas ut för att blottlägga två karterbara ytor. Figur 10 och 11 visar arbetsplatsen vid sågning i TASN och TAS04. Tabell 7 redovisar slitsarnas placering, djup och antalet synliga borrpipor.



Figur 10. Sågning av slits i väggen, TASN sektion 13 m.

*Sawing of the slot in TASN, section 13 m.*



Figur 11. Pågående arbete med uttag av slits i sulan, sektion 34 m i TAS04.

*Ongoing sawing work in the floor of TAS04, section 34 m.*



Tabell 7. Slitsarnas placering, djup och antalet synliga borrpipor.

*Location, depth and the number of visible half pipes for the slots.*

Tunnel	Sektion [m]	Placering	Djup	Antal synliga borrpipor i snitten (ut och in relativt tunnelriktningen)	
				Ut	In
TAS04	18	Vänster Vägg	50 cm	3	2
TAS04	22	Vänster Vägg	50 cm	3	4
TAS04	25,5	Sula	70 cm	1	-
TAS04	34	Sula	70 cm	2	-
TASN	13	Vänster vägg	70 cm	3	4

### 3.3 Kartering av sprängsprickor

Slitsarnas ytor rengjordes och sprayades därefter med penetrantvätska för att synliggöra sprickorna. Berguttag kan påverka det befintliga spricksystemet och återöppna läkta eller fyllda naturliga sprickor. Figur 12 visar karteringen av sprickorna.



Figur 12. Kartering av sprängsprickor. TAS04, sektion 34 till vänster och sektion 13 i TASN till höger.

*Mapping of blast fractures in TAS04 and TASN.*

Sprickorna klassificerades enligt nedan (Olsson, 2014).

- **Sprängsprickor**

Sprängsprickor saknar per definition sprickfyllning. De utgår från borrhålet och består av radiella sprickor samt ofta av ett antal korta sprickor närmast borrhålsväggen.

- **Naturliga sprickor**

Dessa sprickor kan förekomma i olika varianter men har funnits i berget innan bergguttaget. En del av dessa sprickor är helt fyllda men har trots detta tagit penetrantvätska. Andra naturliga sprickor kan delvis ha öppnats av bergguttaget, skrotning, de bergmekaniska förhållandena på platsen eller genom uttaget av slitsarna. Slutligen förekommer även helt öppna naturliga sprickor. De sistnämnda kan ha funnits innan bergguttaget, eller helt öppnats av bergguttaget.

- **Sprickor som uppkommit vid expanderbultning**

Vid användning av expanderbultar har ett antal kortare sprickor uppstått utgående från borrhålen.

### 3.4 Geologisk kartering

Vid den geologiska karteringen klassificerades sprickorna enligt nedan:

- Naturliga sprickor. (Sluten naturlig spricka)
- Sprickor som kan ha återöppnats på grund av bergguttaget. (Delvis öppen naturlig spricka)
- Öppna sprickor som saknar sprickfyllnad och kan vara spränginducerade. (Öppna sprickor som saknar sprickfyllning)

Sprickkarteringen skiljer på öppna och mekaniskt öppna sprickor baserat på förekomsten av sprickfyllnad. Återöppnade sprickor har någon typ av synlig sprickfyllnad medan mekaniskt öppnade sprickor saknar synlig sprickfyllnad. Sprickor karterades som öppna eller delvis öppna om de uppvisade sprickapertur eller vattenflöde annars karterades de som slutna.

De sågade slitsarna domineras av Äspödiorit med undantag för TAS04 25,5 m som domineras av fin- till medelkornig granit. Tunna ådror av fin- till medelkornig granit påträffades också i TAS04 18 m och TAS04 22 m. Definitionen av mekaniskt öppnade sprickor är att ingen sprickfyllnad påträffats och sprickan därför kan ha öppnats på grund av bergguttaget. Ingen tydligt koppling mellan borrhålen och sprickor definierade som mekaniskt öppnade kunde ses under kartering. Samtliga slitsar ligger i tunnelsektioner där bergklass enligt RMR-systemet bedömts till ca 60, dvs. ”medelbra” till ”bra” berg. Tabell 8 visar en sammanställning av den geologiska sprickkarteringen och RMR från kartering under utbyggnadsprojektet.

Tabell 8. Sammanställning av den geologiska sprickkarteringen.

*Summary of the geological fracture mapping.*

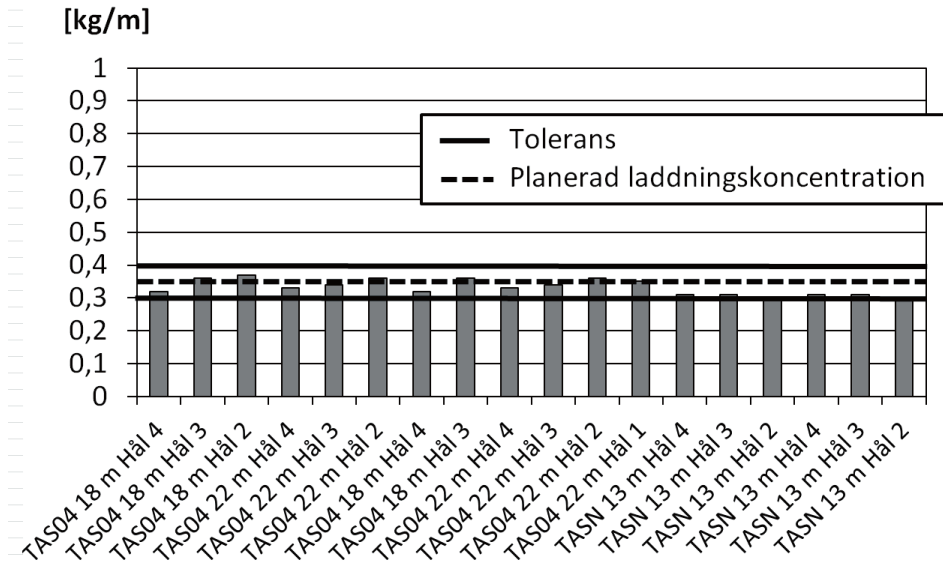
<b>Tunnel/Sektion</b>	<b>Totalt</b>	<b>Slutna</b>	<b>Delvis öppna</b>	<b>Återöppnade</b>	<b>Mekaniskt öppnade</b>	<b>RMR</b>
TASN 13 m	34	10	0	17	7	62
TAS04 18 m	16	8	0	4	4	56
TAS04 22 m	15	5	0	6	4	60
TAS04 25,5 m	41	17	5	13	6	60
TAS04 34 m	31	5	0	19	7	63



## 4 RESULTAT

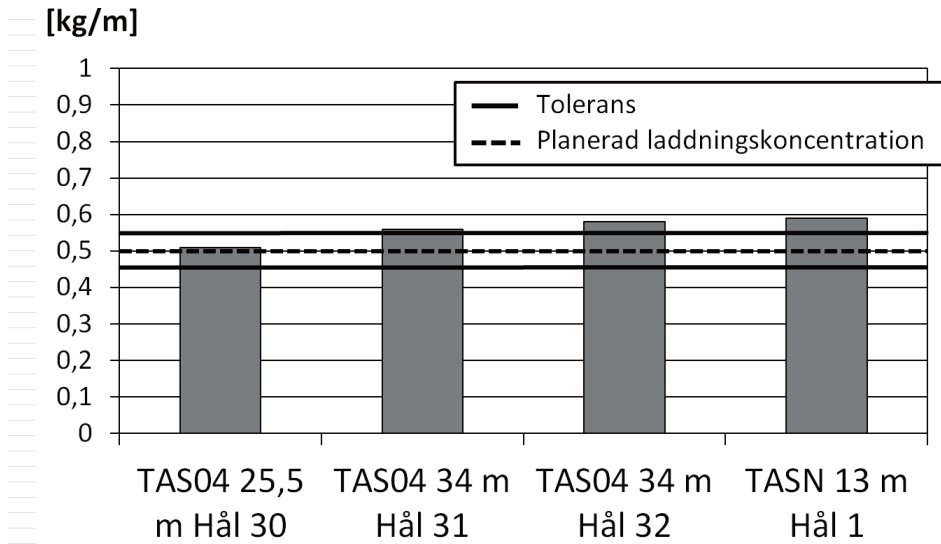
### 4.1 Laddningsprecision

Laddenheten registrerade löpnummer, håltyp, och massa i en laddlogg. Massa för en enskild loggning kunde inte direkt kopplas till ett specifikt hål i borrplanen. För att möjliggöra spårbarhet av respektive laddning per hål kopplat till borrplanen dokumenterades laddföljden som tillämpats för salvan. Laddning per hål kunde sedan spåras till borrhoggens registrering av hållängd och därefter kunde laddningskoncentrationen beräknas. En styrd laddsekvens krävdes för att möjliggöra utvärdering av utförande mot laddlogg. Figur 13 och Figur 14 visar utvärderade laddningskoncentrationer från de kontur- och bottenhål som identifierats i slitsarna. För salvhålens lägen, se Bilaga III.



Figur 13. Utvärderade koncentrationer och toleranser för planerad laddning  $q=0,35$  kg/m.

*Evaluation of charge concentrations for planned charging  $q=0,35$  kg/m.*



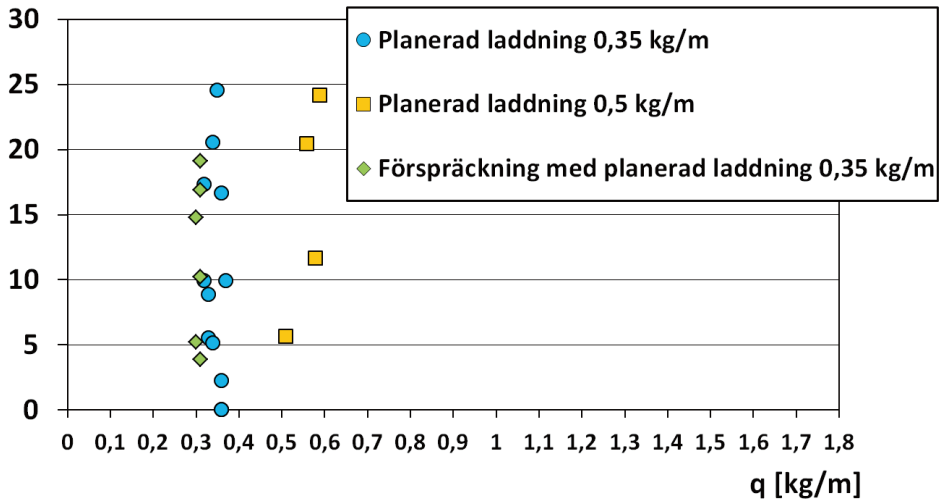
Figur 14. Utvärderade koncentrationer och toleranser för planerad laddningskoncentration  $q=0,5$  kg/m. Notera att hål 1 i slitsen TASN 13 m av misstag laddades som ett bottenhål under entreprenaden.

*Evaluation of charge concentrations for planned charging  $q=0,5$  kg/m.*

#### 4.2 Sprängsprickor

Karteringsdata har kopplats till laddningskoncentrationer för enskilda hål. Figur 15 till 18 visar sammanställning av data för den längsta sprängsprickan, antalet sprickor, ett medelvärde för spricklängd för ett enskilt salvhål och antalet sprickor per längdintervall. Tillsammans med karteringsdata visas sprängämnets koncentration (kg/m) för motsvarande kontur- och bottenhål. Medellängd för de längsta sprickorna, från varje borrhypa, var 10 cm för  $q=0,35$  kg/m, 15,4 cm för  $q=0,5$  kg/m och 10,7 cm för förspräckning med  $q=0,35$  kg/m.

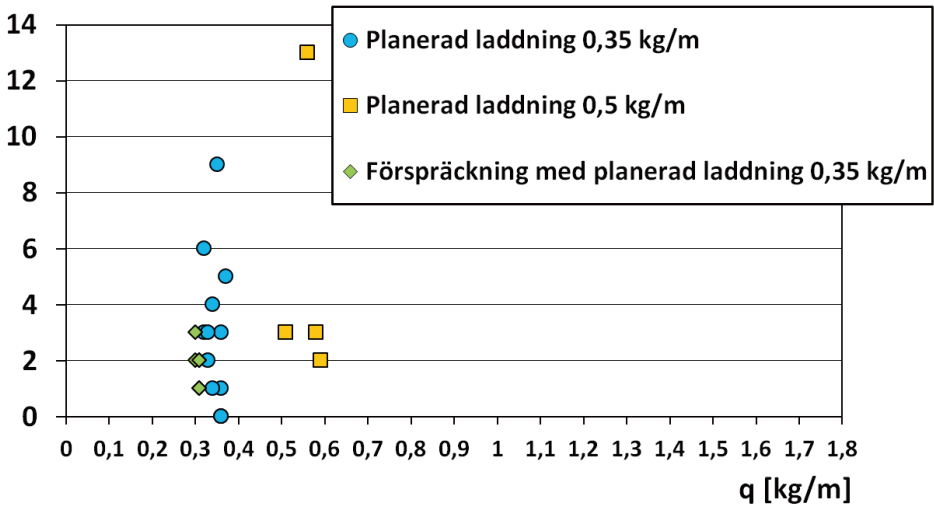
### Längsta sprängsprickan [cm]



Figur 15. Längsta sprängsprickan samt laddkoncentration,  $q$ , för enskilda kontur- och bottenhål. Teoretisk frikopplingsgrad var 0,42 för  $q=0,35$  kg/m och 0,52 för  $q=0,5$  kg/m.

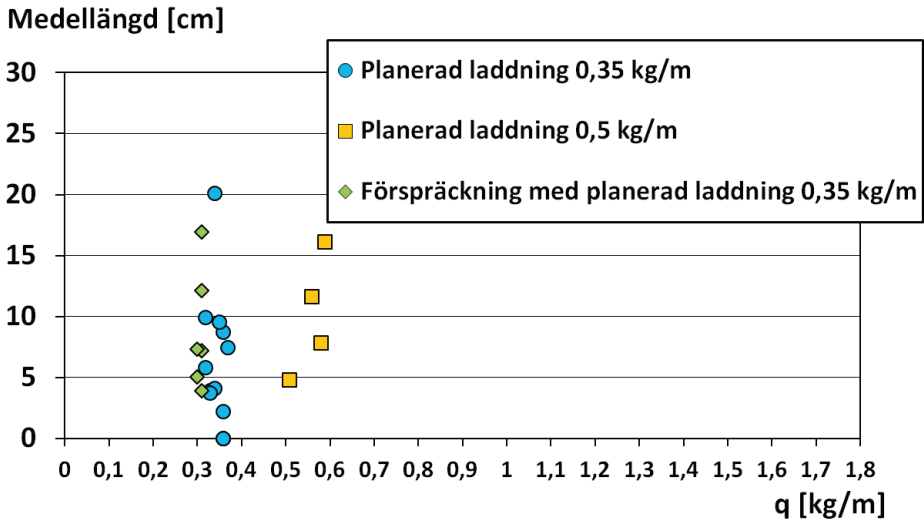
*The longest blast fracture [cm] plotted against the charge concentration,  $q$ .*

### Antal sprickor



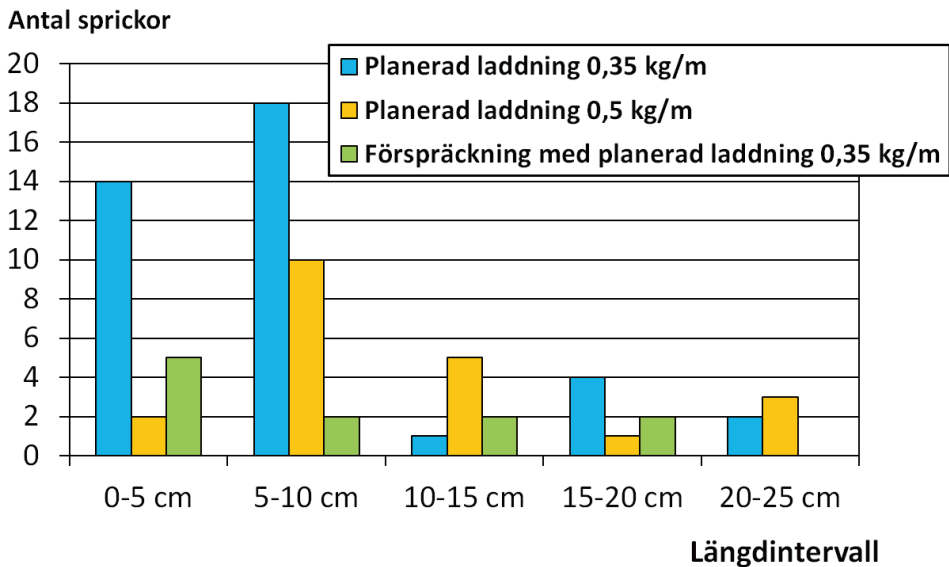
Figur 16. Antalet sprängsprickor samt laddkoncentration,  $q$ , för enskilda kontur- och bottenhål. Teoretisk frikopplingsgrad var 0,42 för  $q=0,35$  kg/m och 0,52 för  $q=0,5$  kg/m.

*Number of blast fracture for each hole plotted against the charge concentration,  $q$ .*



Figur 17. Medelvärde för spricklängd samt laddkoncentration,  $q$ , för enskilda kontur- och bottenhål. Teoretisk frikopplingsgrad var 0,42 för  $q=0,35$  kg/m och 0,52 för  $q=0,5$  kg/m.

*Mean length of the longest blast fractures [cm] for each hole plotted against the charge concentration,  $q$ .*



Figur 18. Sammanställning av samtliga sprängsprickor uppdelade i längdintervall.

*Summary of all blast fractures in length intervals.*



### 4.3 Slutsats

Resultatet är mycket bra för laddning med strängemulsion och den begränsade sprickbildningen tyder på en mycket bra bormingsnoggrannhet, en låg laddningskoncentration och att hålen detonerat momentant. Konturhålen har initierats med elektroniska sprängkapslar och dessa har en mycket låg tändspridning vilket tidigare undersökningar visat ge kortast sprickbildning (Olsson och Ouchterlony, 2003).

I samtliga snitt dominerar de naturliga sprickorna. Dessa kan vara helt slutna, delvis öppnade eller helt öppna. De naturliga sprickorna var ofta vattenförande. De kraftigt vattenförande sprickorna i sulan medförde att det var svårt att helt torka ut sprickorna. Här observerades också att även helt fyllda sprickor var starkt vattenförande. Förbindelser hos sprickorna var mycket tydlig då vatten hela tiden läckte in från de naturliga sprickorna.

Det är svårt att bedöma hur de naturliga sprickorna har påverkats av bergyttaget. Möjligen har en del naturliga sprickor öppnats helt eller delvis av berguttaget.



## 5 DISKUSION

### 5.1 Sprängsprickor

Den längsta sprängsprickan som karterades för laddningarna 0,35 kg/m och 0,5 kg/m var 24,5 cm respektive 24,1 cm lång. Resultaten ligger i linje med teoretiskt beräknade värden för  $q = 0,35$  kg/m (25 cm) men under teoretiskt värde för  $q=0,5$  kg/m (0,5 m) enligt Ouchterlony et al. 2010. För  $q=0,5$  kg/m beror det lägre värdet möjligen på ett för litet statistiskt underlag. Resultaten från den förspräckta salvan i TASN skiljer sig inte nämnvärt från övriga data för  $q=0,35$  kg/m.

Generellt visar resultatet stor spridning med få sprickor längre än 20 cm för samtliga laddningskoncentrationer. Medellängd för de längsta sprickorna, från varje borrhåla, var 10 cm för  $q=0,35$ kg/m, 15,4 cm för  $q=0,5$  kg/m och 10,7 cm för förspräckning med  $q=0,35$ kg/m.

Resultatet från karteringen tyder på att sprängsprickor ofta är orienterade mot närliggande borrhålor, varför karterad spricklängd inte är direkt synonym med djupet av sprängskada i berget. Begreppet ger en konservativ uppskattning av möjligt sprängskadedjup.

Är den längsta karterade sprickan en bra definition för utbredning av sprängskador? Ett större statistiskt urval ger eventuellt en längre längsta spricka och därmed en större utbredning av sprängskador för ett sprängämne i en viss bergart enligt denna definition.

Det faktum att samtliga slitsar ligger i tunnelsektioner där bergklass enligt RMR-systemet bedömts till ca 60 ("medelbra" till "bra" berg) gör att det är möjligt att jämföra data från de olika slitsarna och anta en relativt likartad påverkan från geologin. Det vore intressant att jämföra sprickdata från denna studie med liknande data för lägre respektive högre RMR i en liknande bergart.

Spricklängder från den här studien kan användas som underlag för att verifiera eller förbättra befintliga skadezonsformler, exempelvis Olsson och Ouchterlony, 2003 eller Ouchterlony et al. 2010, varav den senare fokuserar på sprängskador orsakade av strängemulsion. Data bör kompletteras med spricklängder från sprängning med strängemulsion med högre koncentrationer, i andra bergarter och med annan bergkvalitet.

### 5.2 Laddning med emulsionssprängämne

Erfarenheten från utbyggnadsprojektet är att det är möjligt att genomföra laddning med strängemulsion med hög precision och att dokumentera och följa upp arbetet med modern loggerutrustning. Metoden som användes för utvärdering innebar omfattande handpåläggning. När den här rapporten skrivs har metoden automatiserats i Forcits laddutrustning ECM II, vilket innebär att laddkoncentrationer redovisas i laddloggen. Fortfarande finns ingen automatisk koppling mellan laddlogg och borrhåla.

Många parametrar samverkar vid drivning av tunnel. Parametrar som ofta underskattas vid tunneldrivning med emulsionsteknologi är ingående råvarors kvalitet och det system (laddutrustning) som tillverkar och distribuerar emulsionssprängämnet i varje borrhåla. För att säkerställa effektiv och tillförlitlig tunneldrivning med repeterbarhet krävs höga krav gällande

hela systemet. Det innebär full kontroll på råvaror in till emulsionsfabriken, full kontroll på processparametrar under produktion, lagerhållning och logistik. Laddutrustningen skall producera högkvalitativt emulsionssprängämne med samma kvalitet vid varje enskilt tillfälle. Vidare skall laddutrustningen dosera exakt rätt mängd sprängämne i borrhålets olika delar (bottenladdning, pipladdning och avladdning) samt utföra detta exakt beroende på salvans olika håltyper. Det innebär att laddutrustningen måste ta över delar av laddoperatörens traditionella arbete och istället utföra detta automatiskt.

Laddning av sulhålén genomfördes i plaströr ( $\varnothing$  40 mm) för att undvika brott i strängen på grund av vatten i hålen. Detta resulterade i en lägre frikopplingsgrad om 0,83 jämfört med 0,52 för endast strängen. Det är sannolikt att en stor andel av sulhålén varit helt eller delvis vattenfyllda, vilket reducerar frikopplingsgraden ytterligare. Vid tidigare studier, utförda med Gurit, har vattenfyllda hål resulterat i 3-4 gånger längre spricklängd jämför med ett torra hål (Olsson och Ouchterlony, 2003).

### **5.3 Förspäckning**

Resultaten från kartering av sprängsprickor i slitsen TASN 13 m visar liknande fördelning av spricklängd som övriga slitsar, med en möjlig tendens till färre sprickor. Antalet sprickor per hål i den förspäckta slitsen är mindre än motsvarande slitsar i vägg TAS04 (se Figur 16), detta kan tyda på att metoden ger ett bättre resultat avseende färre spränginducerade sprickor.

**ERKÄNNANDEN**

Författarna vill tacka Magnus Fogdeby, Ari Kainulainen, Niklas Nilsson (Forcit Sweden AB) och Emmeli Winter (SKB) för support och goda idéer samt Rickard Karlzén (tidigare Uppländska Bergborrnings AB) för hjälp att koordinera fältarbetena.

Tack riktas också till Bommelins Bygg & Industrihålltagning AB som genomfört sågningen, Mats Olsson (EDZ Consulting AB) och Oskar Sigurdsson (Geological Consulting AB) som karterat slitsarna samt personalen på Äspölaboratoriet som bistått arbetet på olika sätt. Ett varmt tack riktas också till BeFo som delfinansierat projektet.

Ett speciellt tack riktas till projektets referensgrupp som bidragit med viktiga synpunkter under arbetets gång:

Per Tengborg , BeFo

Lars Martinsson, Trafikverket

Pål Drevland, Statens Vegvesen (Norge)

Per Eriksson, Northen Rock AB

Daniel Johansson, Luleå Tekniska Universitet

Kimmo Lehtola, Posiva OY (Finland)



## REFERENSER

**Christiansson, R., och Jansson, T. 2003.** A test of different stress measurement methods in two orthogonal bore holes in the Äspö Hard Rock Laboratory (HRL), Sweden. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.* 40 (7–8):1161–1172.

**Karlzén R., Johansson E. 2010.** Slutrapport från drivningen av TASS-tunneln. SKB R-10-31, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Olofsson, S., O. 1990.** Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Ärla: APPLEX.

**Olsson M., Niklasson B. 2012.** Tunneldrivning med pumpemulsion-Erfarenheter av sprängämne, utrustning och laddningsarbete. BeFo Rapport 115.

**Olsson M. 2014.** EDZ I TASN och TAS04. PM.

**Olsson M., Niklasson B., Wilsson L. Andersson C., Christiansson R. 2004.** Experiences of blasting of the TASQ tunnel. SKB R-04-73, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Olsson M., Ouchterlony F. 2003.** Ny skadezonsformel för skonsam sprängning. SveBeFo Rapport 65. Stockholm.

**Ouchterlony, F., Olsson, M., Svärd, J. 2010.** Crack length or blast damage from string emulsion and electronic detonators. Rock fragmentation by blasting-Sanchidrián (ed.) Taylor and Francis Group, London.

**SKB, 2011.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. Technical Report TR-11-01. Svensk Kärnbränslehantering AB. Uppdaterad 2012-12. Stockholm.

**SKB, 2013.** Design, RD&D Programme 2013, Programme for research, development and demonstration of methods for the management and disposal of nuclear waste. SKB TR-13-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

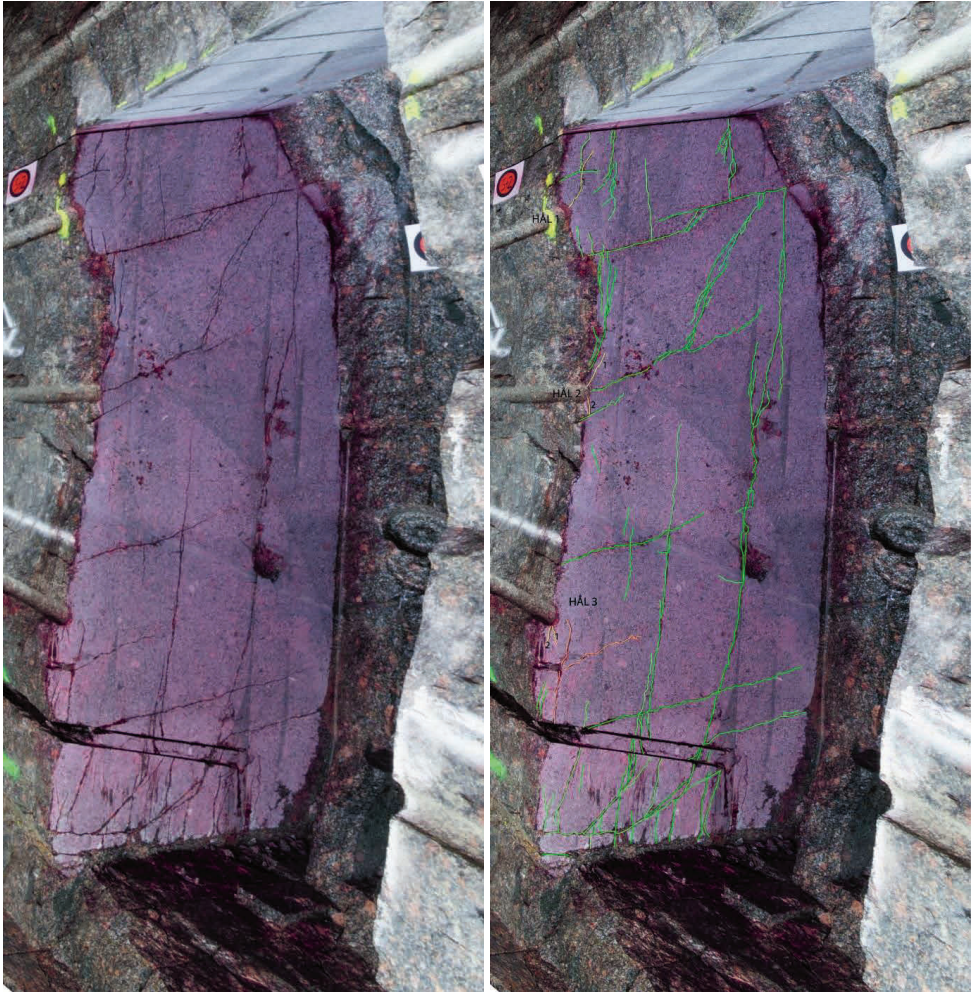




## BILAGA I RESULTAT FRÅN KARTERING AV SPRÄNGSPRICKOR

I den här bilagan presenteras resultat från kartering av sprängsprickor för samtliga slitsytor. Figur 19 till 28 visar ytorna med och utan tolkade sprickor efter applicering av penetrantvätska. Snitten är namngivna med tunnel, sektion och riktning **ut** respektive **in** ur tunneln. Gröna linjer avser tolkade naturliga sprickor och gula linjer avser tolkade sprängsprickor.

Tabell 9 till 13 visar rådata från karteringen (Olsson, 2014) tillsammans med laddningskoncentrationer för enskilda hål.



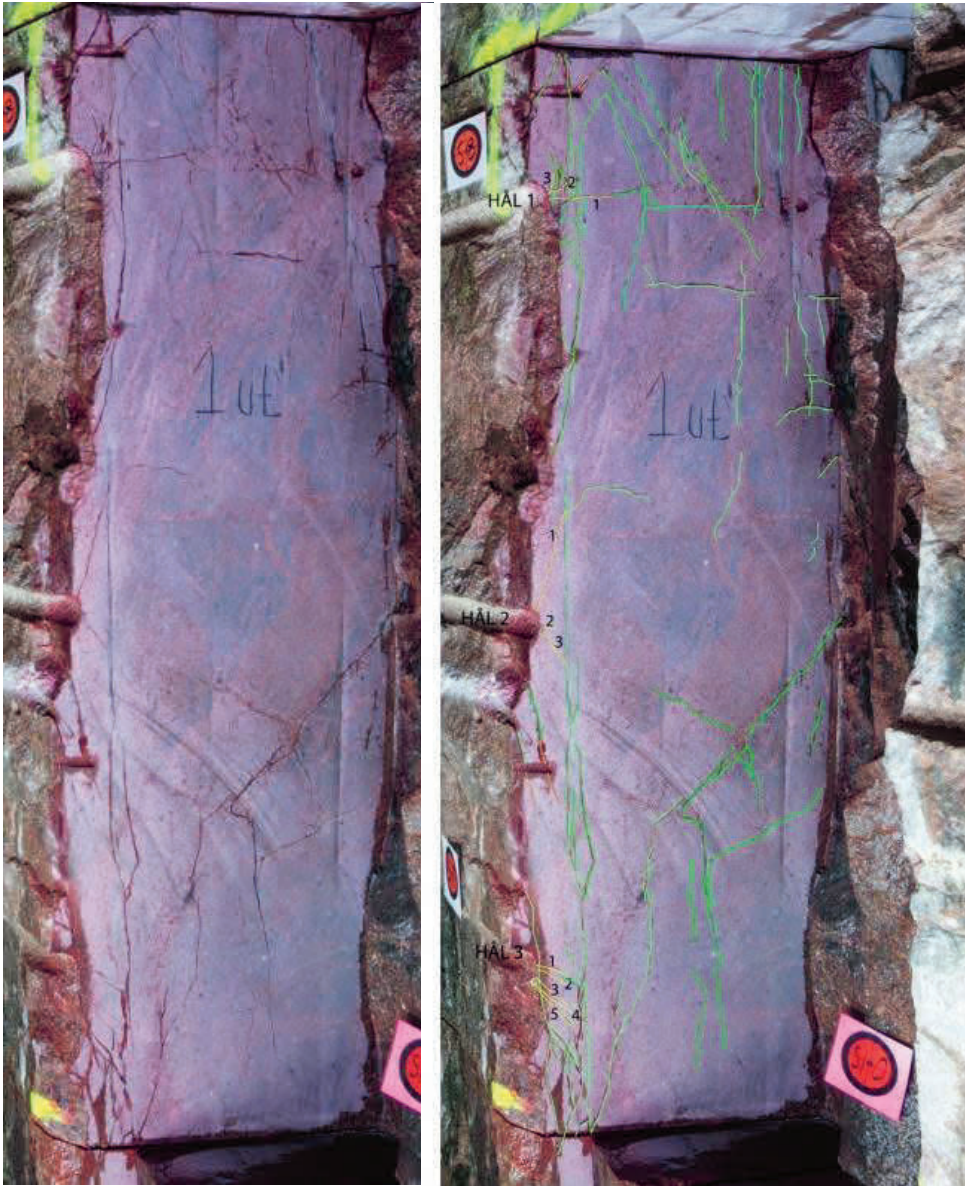
Figur 19. Snittytan TASN 13 m **ut** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TASN section 13 m direction **out** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



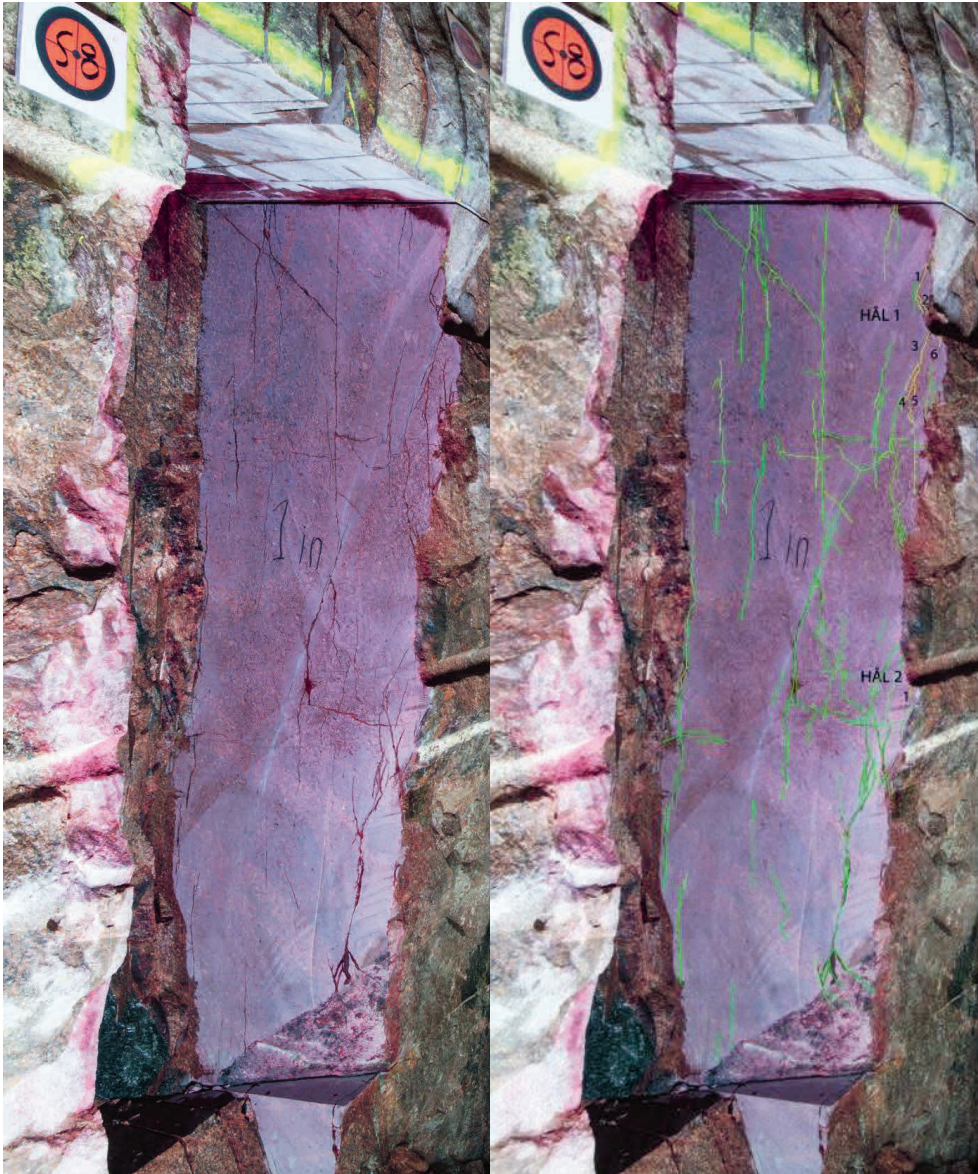
Figur 20. Snittytan TASN **in** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TASN section 13 m direction **in** to the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



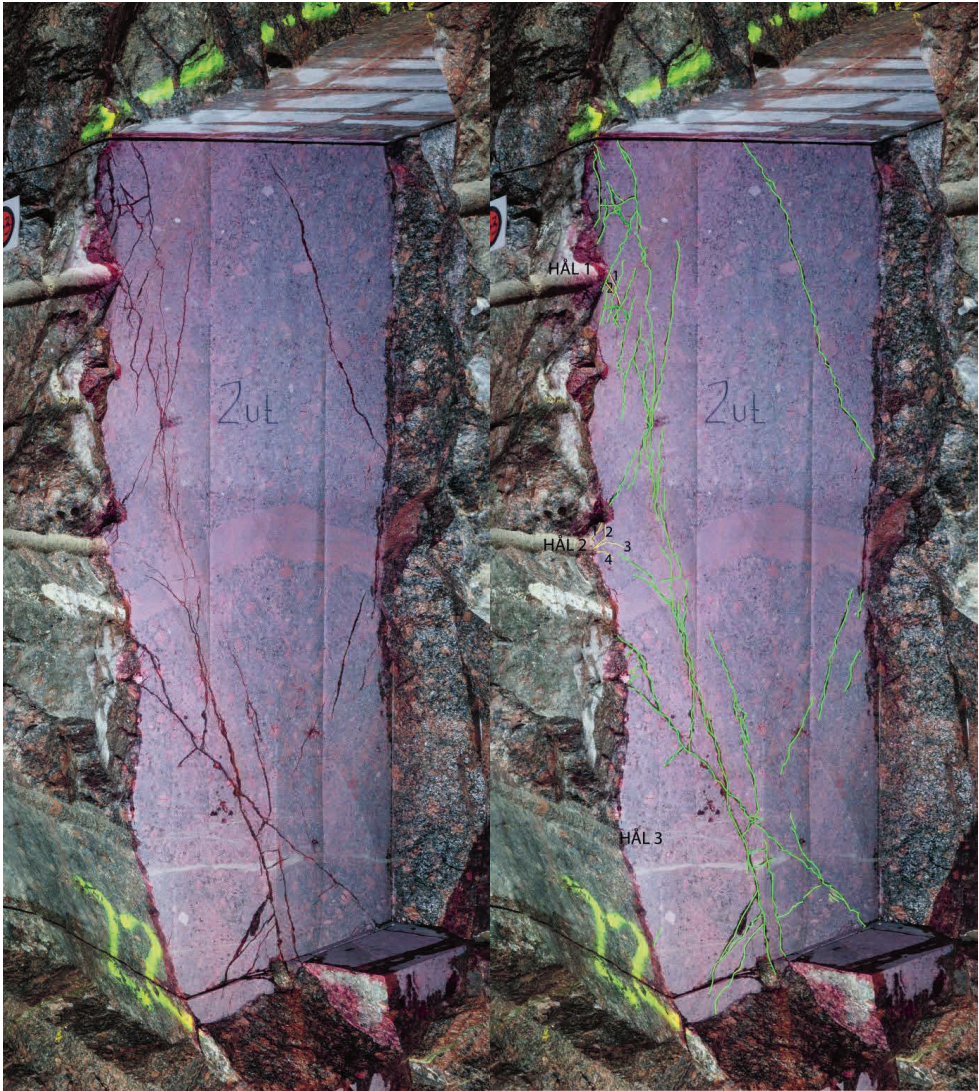
Figur 21. Snittytan TAS04, sektion 18 **ut** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 18 m direction **out** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



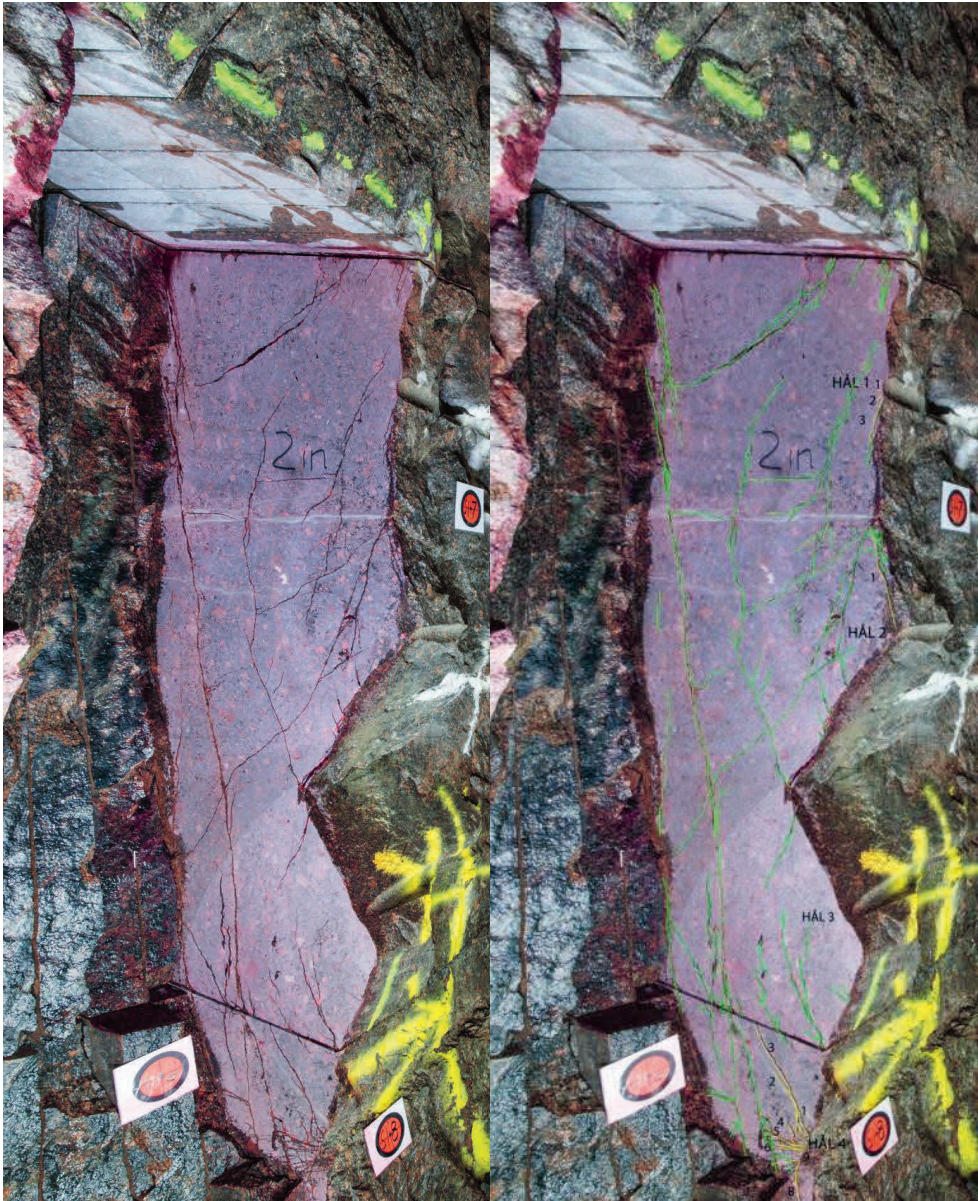
Figur 22. Snittytan TAS04, sektion 18 **in** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 18 m direction **in** to the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 23. Snittytan TAS04, sektion 22 **ut** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 22 m direction **out** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 24. Snittytan TAS04, sektion 22 **in** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 22 m direction **in** to the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 25. Snittytan TAS04, Sula sektion 25,5 ut med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 25,5 m direction out of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 26. Snittytan TAS04, Sula sektion 25,5 **in** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 25,5 m direction **in** to the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*





Figur 27. Snittytan TAS04, Sula sektion 34 **ut** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 34 m direction **out** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 28. Snittytan TAS04, Sula sektion 34 **in** med penetranter samt med inlagda spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 34 m direction **in** to the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*

Tabell 9. Sprängsprickor och laddmängder, TAS04 25,5 m.

*Blast fractures and charge concentrations for the slot TAS04 25,5 m.*

Ort	Sektion (m)	Snitt	Sula/Vägg	Hål ID (Borrplan)	Laddningsmängd [kg/m]	Spricknummer	Spricklängd (cm)
<b>TAS04</b>	<b>25,2</b>	<b>1 ut</b>	<b>Sula</b>	30	0,51	1	5,2
						2	3,5
						3	5,6
<b>TAS04</b>	<b>25,5</b>	<b>1 in</b>	<b>Sula</b>	Inga pipor identifierade i detta snitt			

Tabell 10. Sprängsprickor och laddmängder, TAS04 34 m.

*Blast fractures and charge concentrations for the slot TAS04 34 m.*

Ort	Sektion (m)	Snitt	Sula/Vägg	Hål ID (Borrplan)	Laddningsmängd [kg/m]	Spricknummer	Spricklängd (cm)
<b>TAS04</b>	<b>34</b>	<b>2 ut</b>	<b>Sula</b>	31	0,56	1	3,3
						2	18,9
						3	13,7
						4	9,4
						5	10,6
						6	10
						7	8,3
						8	11,7
						9	6,3
						10	9,7
						11	20,4
						12	20,2
						13	8,2
				32	0,58	1	5,1
						2	6,8
						3	11,6
<b>TAS04</b>	<b>34</b>	<b>2 in</b>	<b>Sula</b>	Inga pipor identifierade i detta snitt			

Tabell 11. Sprängsprickor och laddmängder, TAS04 18 m.

*Blast fractures and charge concentrations for the slot TAS04 18 m.*

Ort	Sektion (m)	Snitt	Sula/Vägg	Hål ID (Borrplan)	Laddningsmängd [kg/m]	Spricknummer	Spricklängd (cm)
<b>TAS04</b>	<b>18</b>	<b>1 ut</b>	<b>Vägg</b>	4	0,32	1	9,9
						2	3,8
						3	3,7
				3	0,36	1	16,6
						2	2,2
						3	7,2
				2	0,37	1	5,5
						2	5,5
						3	6,4
						4	9,9
						5	9,6
<b>TAS04</b>	<b>18</b>	<b>1 in</b>	<b>Vägg</b>	4	0,32	1	9,5
						2	3,5
						3	11,8
						4	15,3
						5	17,3
						6	2
				3	0,36	1	2,2

Tabell 12. Sprängsprickor och laddmängder, TAS04 22 m.

*Blast fractures and charge concentrations for the slot TAS04 22 m.*

Ort	Sektion (m)	Snitt	Sula/Vägg	Hål ID (Borrplan)	Laddningsmängd [kg/m]	Spricknummer	Spricklängd (cm)
<b>TAS04</b>	<b>22</b>	<b>2 ut</b>	<b>Vägg</b>	4	0,33	1	5,5
						2	2,2
				3	0,34	1	3,3
						2	4,7
						3	5,1
						4	3,2
				2	0,36		0
<b>TAS04</b>	<b>22</b>	<b>2 in</b>	<b>Vägg</b>	4	0,33	1	1
						2	1,3
						3	8,8
				3	0,34	1	20,5
				2	0,36		0
				1	0,35	1	5,5
						2	15,6
						3	24,5
						4	6,4
						5	8,4
						6	6,7
						7	5,5
						8	7,4
						9	5,1

Tabell 13. Sprängsprickor och laddmängder, TASN 13 m.

*Blast fractures and charge concentrations for the slot TASN 13 m.*




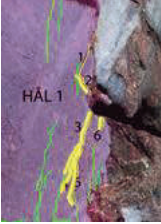


Ort	Sektion (m)	Snitt	Sula/Vägg	Hål ID (Borrplan)	Laddningsmängd [kg/m]	Spricknummer	Spricklängd (cm)
<b>TASN</b>	<b>13</b>	<b>1 ut</b>	<b>Vägg</b>	4	0,31	1	16,9
				3	0,31	1	10,2
						2	4,2
				2	0,3	1	4,9
						2	5,2
<b>TASN</b>	<b>13</b>	<b>1 in</b>	<b>Vägg</b>	4	0,31	1	3,9
				3	0,31	1	19,1
						2	5,1
				2	0,3	1	3,8
						2	14,8
						3	3,4
				1	0,59	1	24,1
						2	8,1

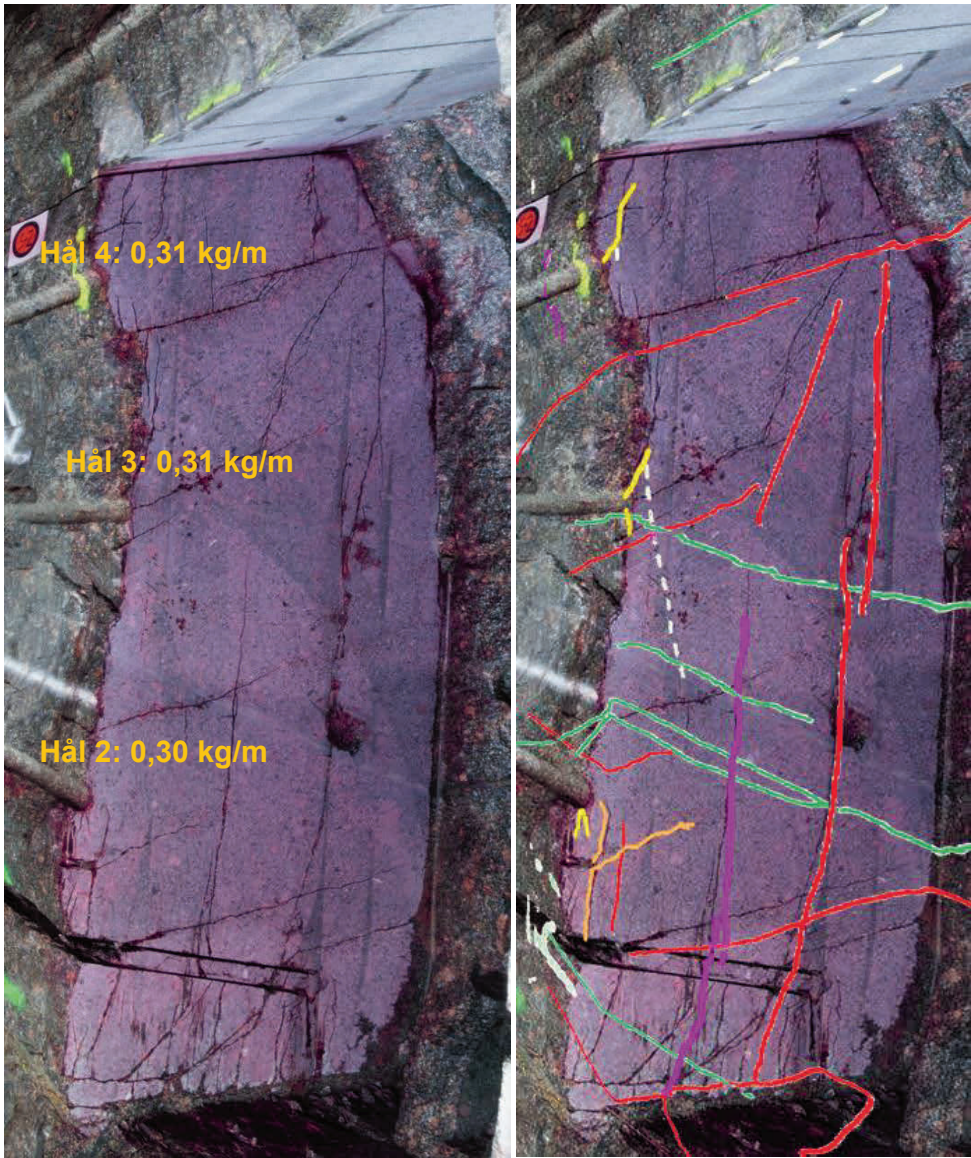
## BILAGA II RESULTAT FRÅN GEOLOGISK KARTERING

I den här bilagan presenteras resultat från geologisk kartering av samtliga slitsytor. Figur 29 till 38 visar ytorna med och utan tolkade sprickor efter applicering av penetrantvätska. Samtliga av de på bilderna synliga sprickorna är inte karterade eftersom den geologiska karteringen genomfördes innan penetrantvätska påförts.

Karteringen är utförd i 3D med karteringsverktyget RoCS (Rock Characterization System), vilket kan bidra till att samtliga sprickmarkeringar inte ligger exakt i motsvarande sprickspår när 3D-kartingen projekteras på ett 2D-foto av respektive snitt. De färgade sprickspåren har gjorts tjockare än de faktiska sprickorna för att underlätta för läsaren.

Snitten är namngivna med tunnel, sektion och riktning **ut** respektive **in** ur tunneln. Laddningskoncentrationer och hål-ID enligt borrplan (jämför bilaga III) är angivna bredvid respektive borrhypa. Tolkade sprickor är färgkodade enligt nedan:

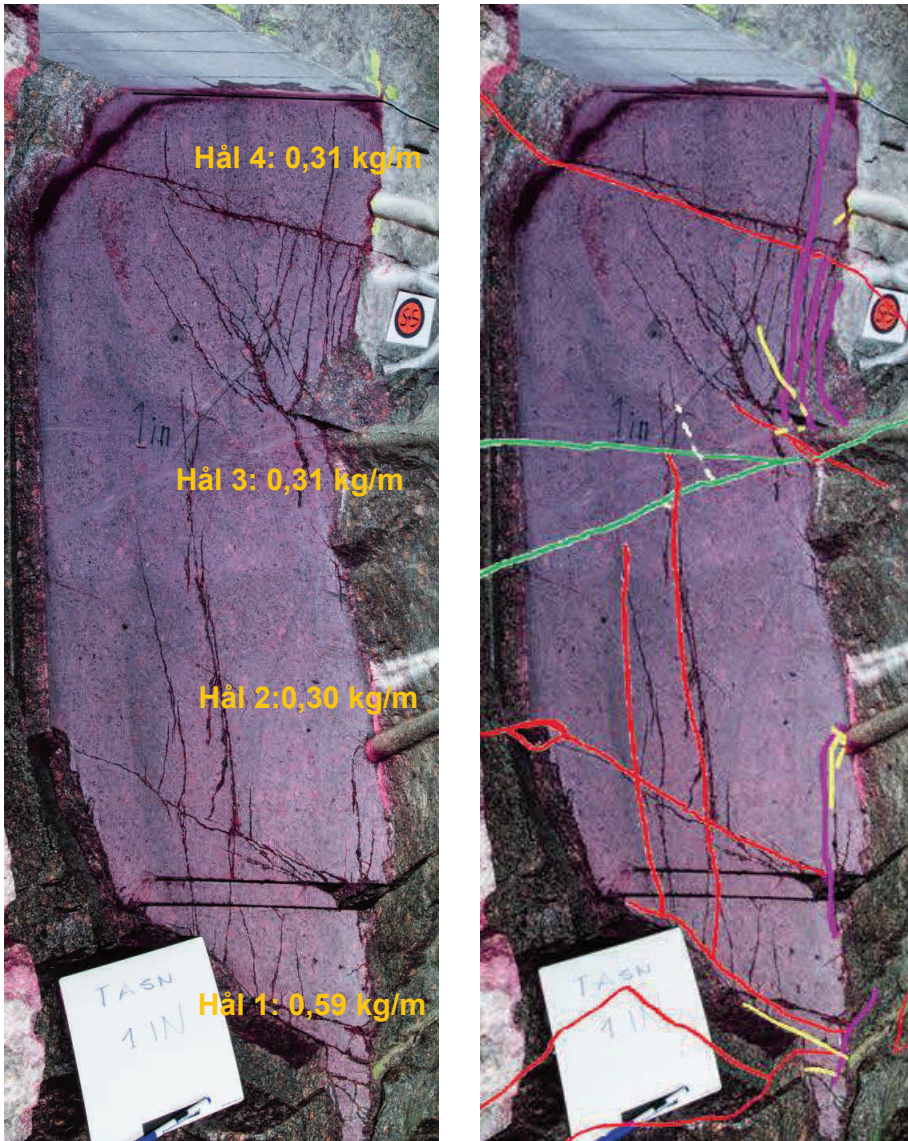
	Naturliga sprickor som karterats i slitsarna.
	Sprickor som återöppnats på grund av berguttaget.
	Öppna sprickor som saknar sprickfyllnad och kan vara spränginducerade.
	Sprängsprickor enligt definition i kapitel 1.2.
	Gång med finkornig granit eller pegmatit.
	Sprickor som uppkommit vid uttag av slits eller orsakats av expandrar är markerade med orange.



Figur 29. Snittytan TASN sektion 12 m, riktning **ut** med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

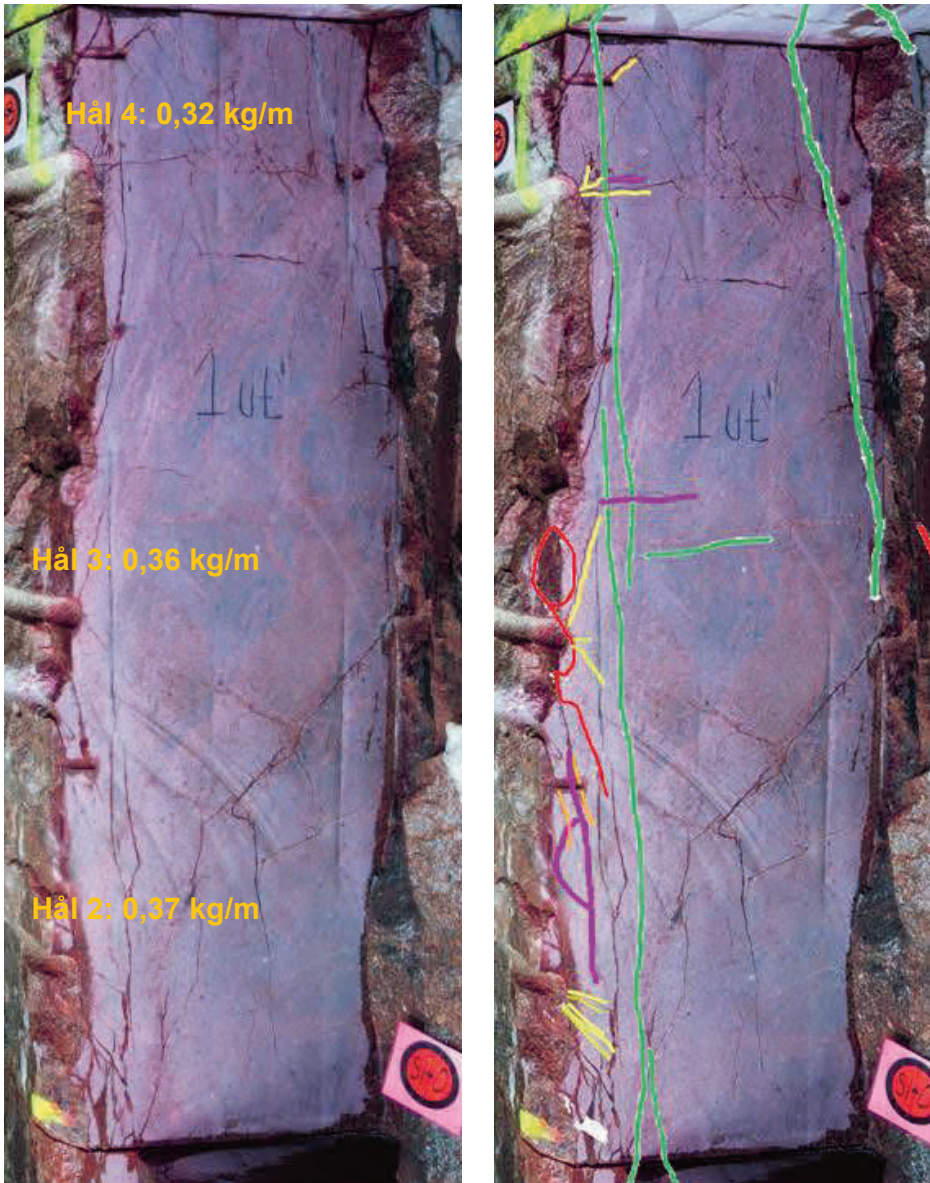
*Cut surfaces in TASN section 12 m direction **out** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*





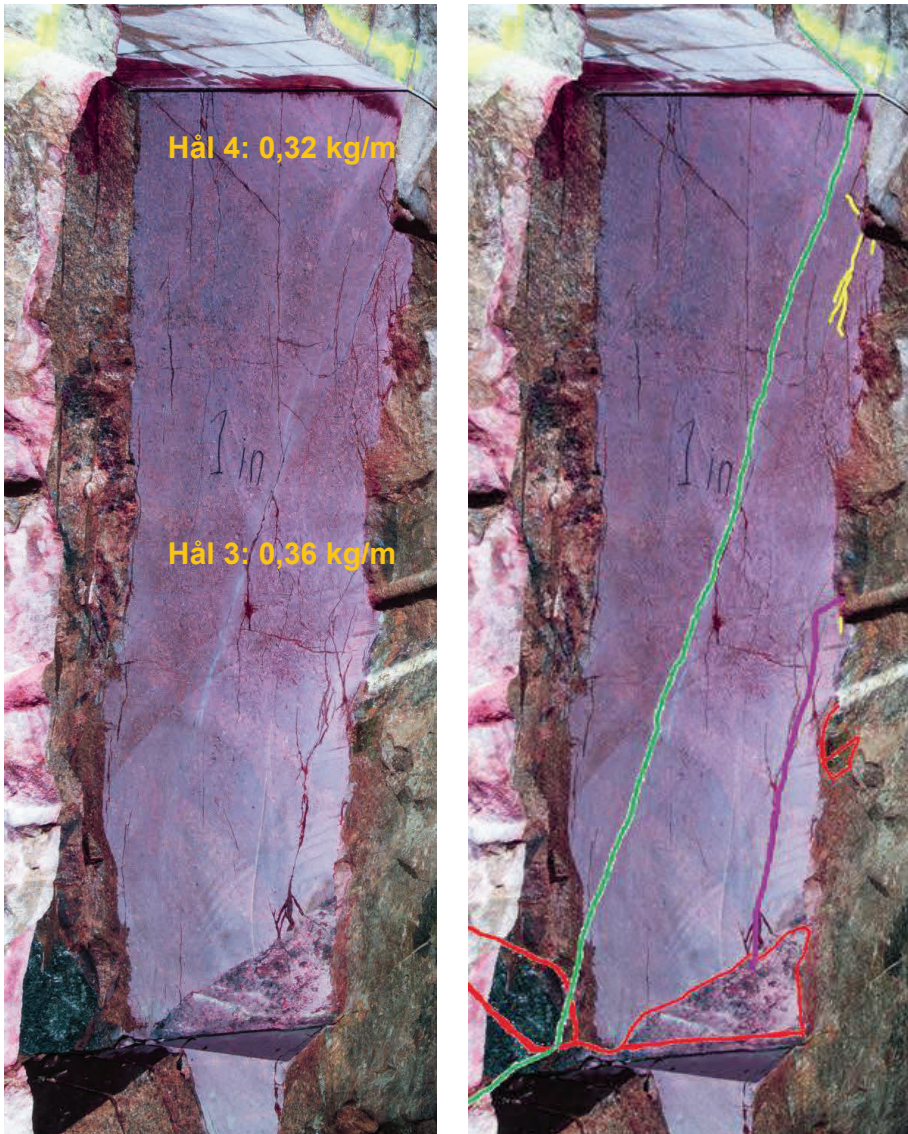
Figur 30. Snittytan TASN sektion 12 m, riktning **in** med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TASN section 12 m direction **into** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



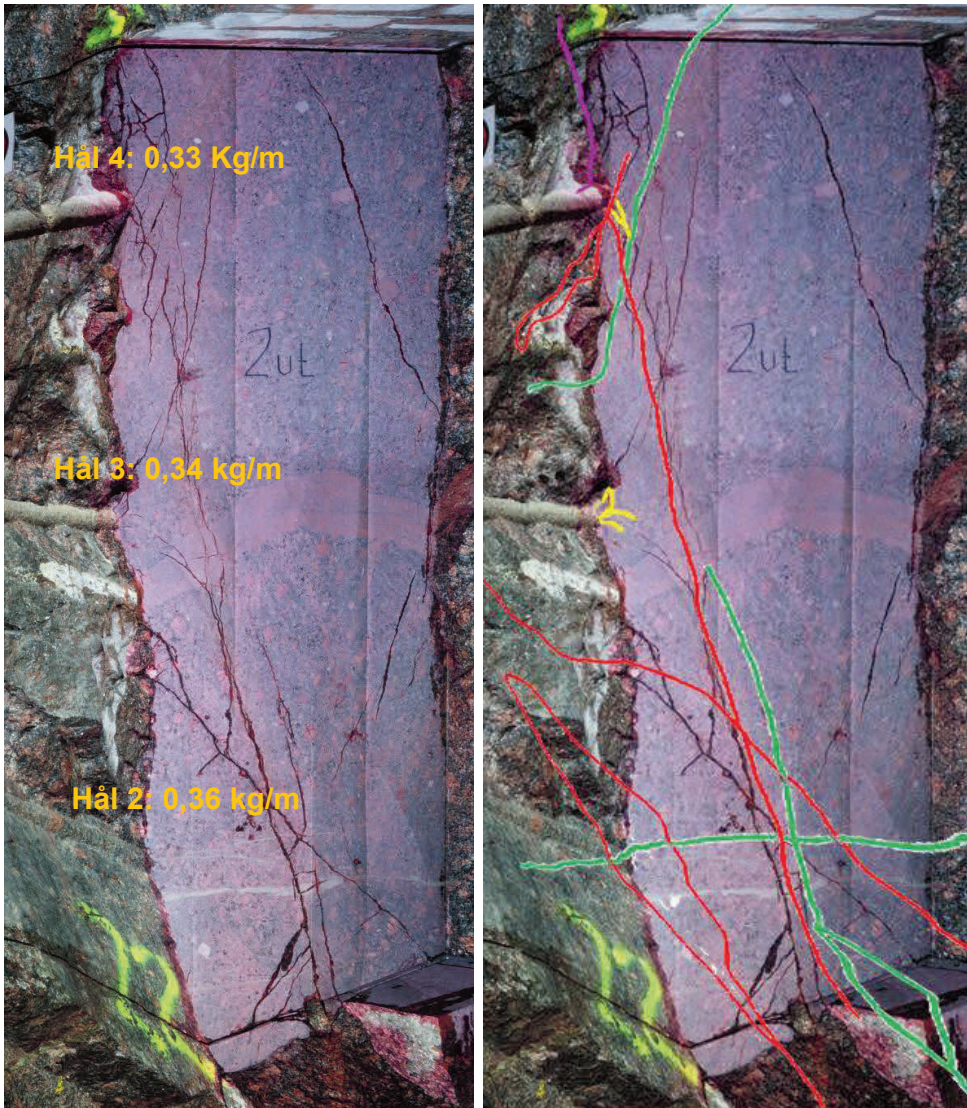
Figur 31. Snittytan TAS04, sektion 18 m riktning **ut** , med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 18 m direction **out** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



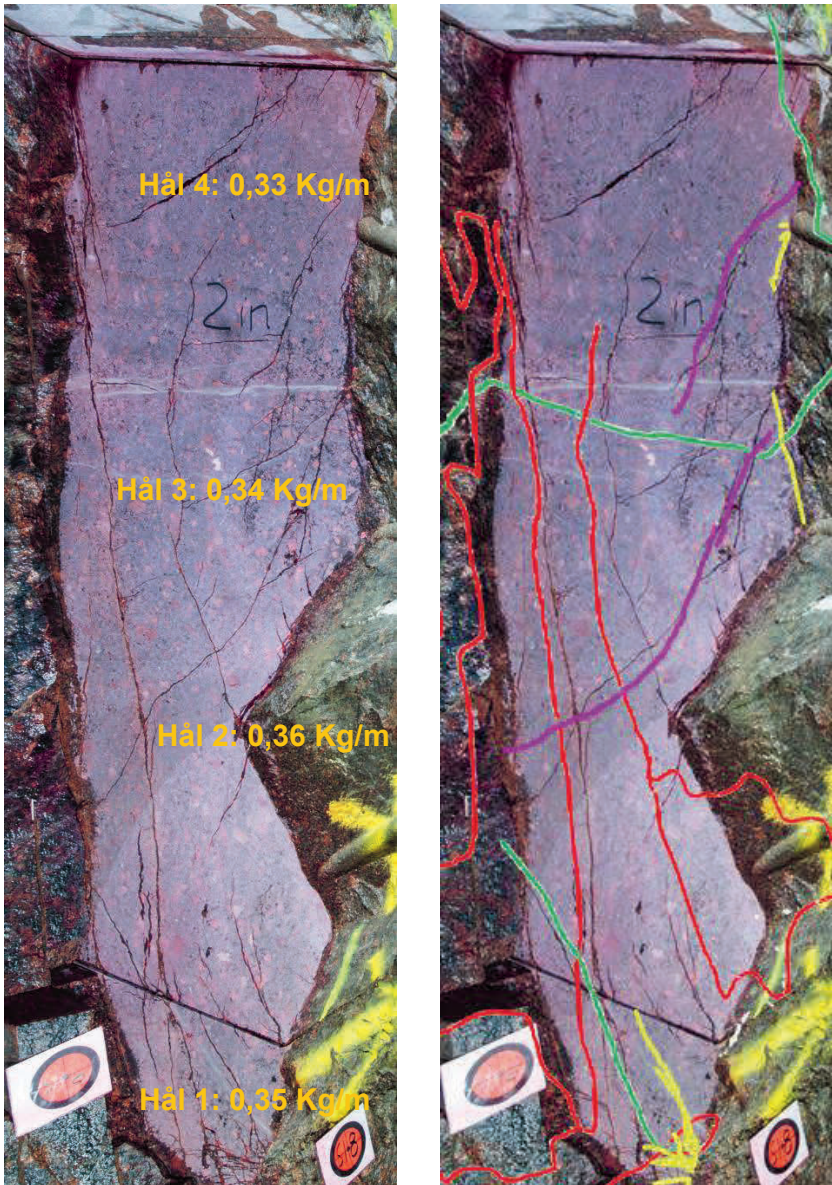
Figur 32. Snittytan TAS04, sektion 18 m, riktning **in** med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 18 m direction **into** the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 33. Snittytan TAS04, sektion 22 m riktning **ut** med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 18 m direction **out** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 34. Snittytan TAS04, sektion 22 m riktning **in** med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 22 m direction **into** the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



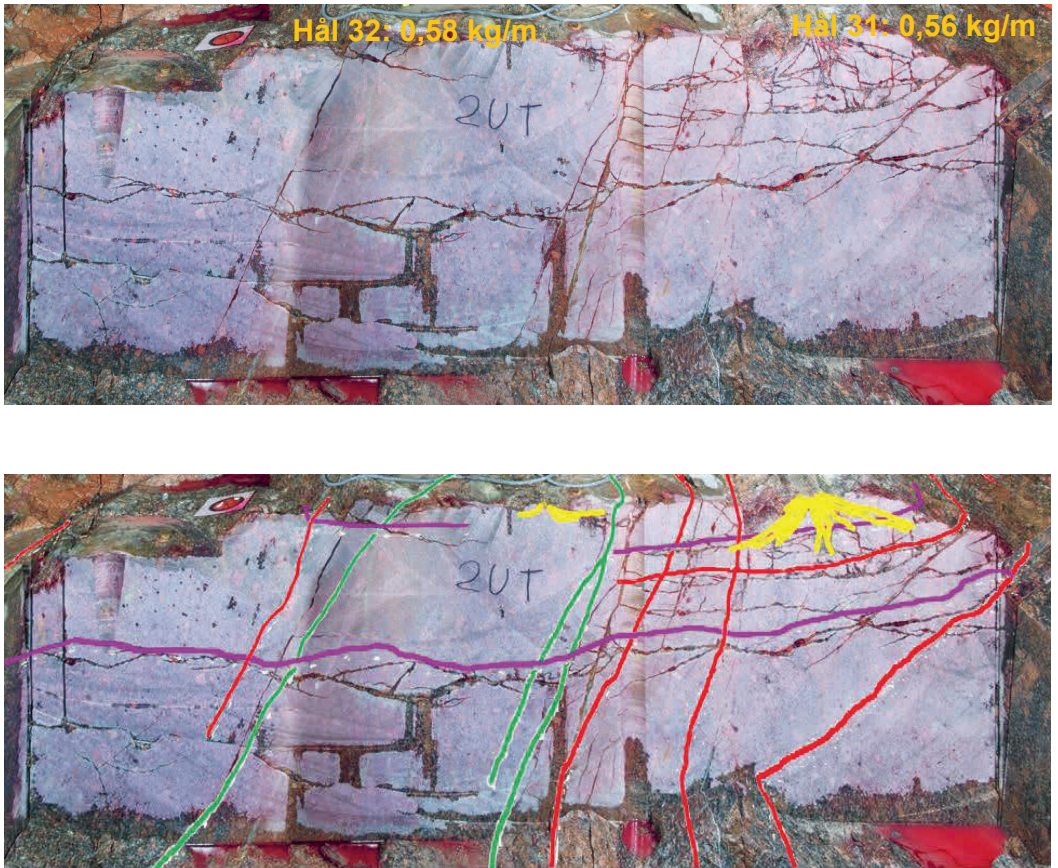
Figur 35. Snittytan TAS04, Sula sektion 25,5 m, riktning **ut** med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 25,5 m, direction **out** of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 36. Snittytan TAS04, Sula sektion 25,5 m, riktning **in** med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 25,5 m, direction **into** the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



Figur 37. Snittytan TAS 04, Sula sektion 34 m, riktning **ut** med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 34 m, direction out of the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*





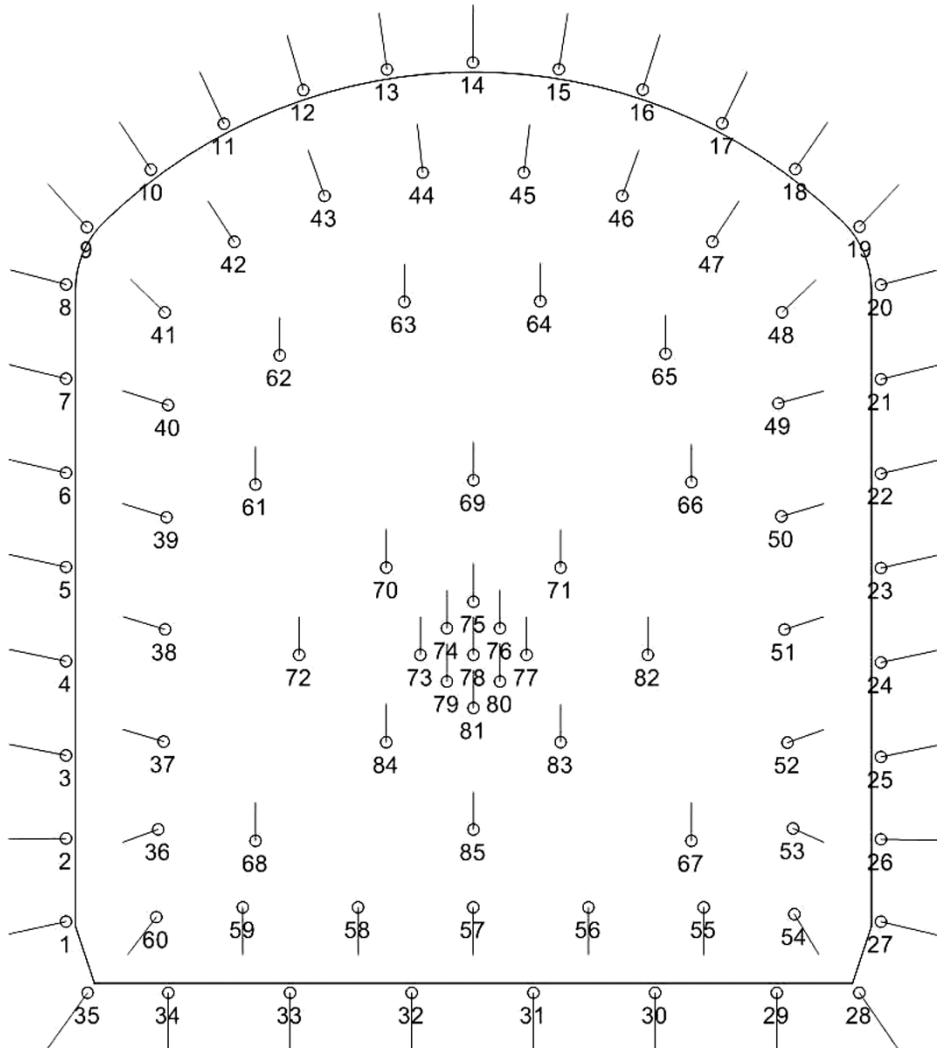
Figur 38. Snittytan TAS 04, Sula sektion 34 m riktning in med penetrantvätska samt tolkade spricktyper.

*Cut surfaces in TAS04 section 34 m, direction **into** the tunnel. Penetration fluid is applied to the surface and interpretation of fractures is indicated in the figure.*



### BILAGA III BORRPLAN

I den här bilagan visas den teoretiska borrplanen som användes vid drivning av TASN och TAS04. Stickning och hålnummer är noterade i figuren.



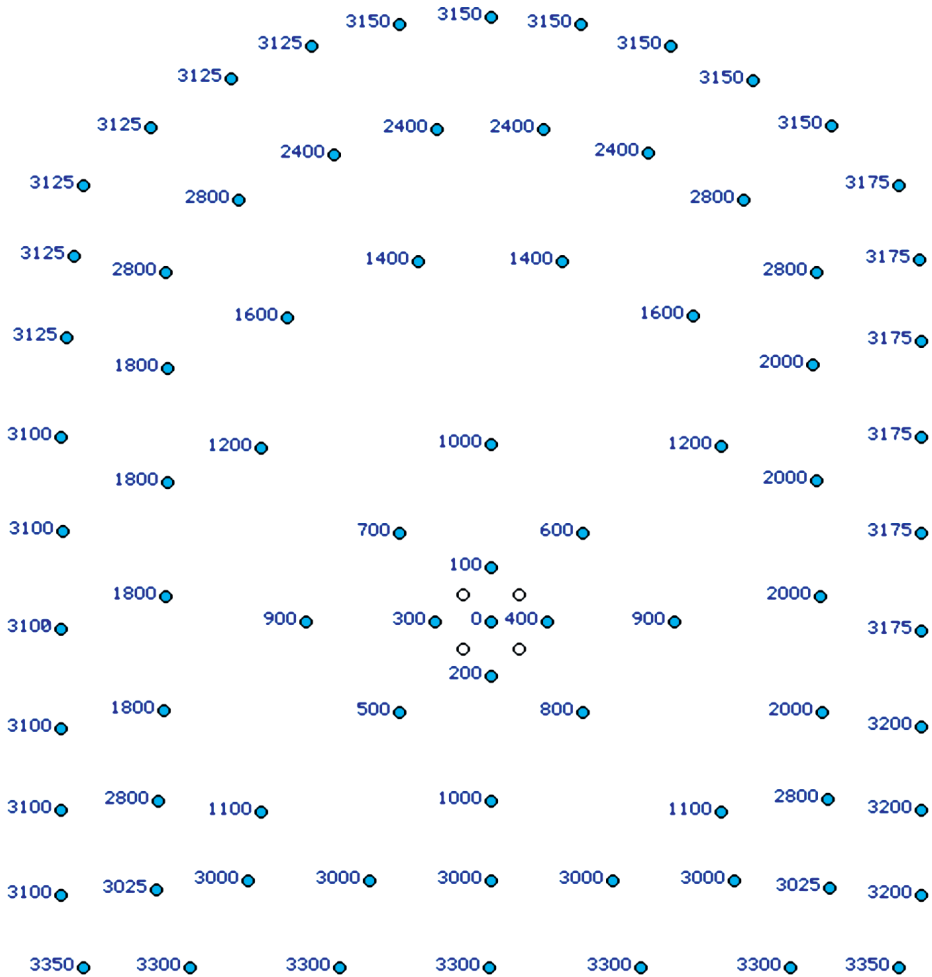
Figur 39. Teoretisk borrplan för TASN och TAS04.

*Theoretical drill plan for the tunnels TASN and TAS04.*



## BILAGA IV TÄNDPLAN

I den här bilagan visas tändplanen som användes vid drivning av TASN och TAS04. Elektroniska tändare (i-kon VS) används i kontur och botten. För resterande hål användes Nonel LP-serien.



Figur 40. Tändplan för TASN och TAS04.

*Initiation plan for the tunnels TASN and TAS04.*







Box 5501  
SE-114 85 Stockholm

info@befonline.org • www.befonline.org  
Besöksadress: Storgatan 19

ISSN 1104-1773