

**R-10-31**

# **Slutrapport från drivningen av TASS-tunneln**

Rickard Karlzén, Emmeli Johansson  
Svensk Kärnbränslehantering AB

Maj 2010

**Svensk Kärnbränslehantering AB**  
Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co  
Box 250, SE-101 24 Stockholm  
Phone +46 8 459 84 00



ISSN 1402-3091

SKB R-10-31

# **Slutrapport från drivningen av TASS-tunneln**

Rickard Karlzén, Emmeli Johansson  
Svensk Kärnbränslehantering AB

Maj 2010

## Förord

Tunneldrivningen av TASS-tunneln har varit fokuserad på hur bra en tunnel kan bli och sökandet efter vad som genererar bra tunnelkvalité. För detta har det krävts engagemang, förståelse och öppenhet så att de inblandades kunskaper och erfarenheter kunnat tas om hand. Det har också krävts ett bra samarbete och respekt mellan människor. Trots den annorlunda arbetssituationen som uppstår i ett forskningsprojekt, där det mesta ska dokumenteras, ifrågasättas och analyseras, så har utförandeorganisationen visat sin goda vilja och hela tiden varit motiverade att genom att dokumentera och analysera avvikelser se förbättringsmöjligheter. Denna inställning och de enskildas arbetsinsatser har gjort det möjligt att kunna jobba med mål, löpande kvalitetsuppföljningar och systematiska återkopplingar för att se hur bra en tunnel kan drivas med de förutsättningar som fanns i detta projekt.

Viljan och motivet till att göra en bra arbetsinsats styrs till största delen av samarbete och respekt mellan människor samt förmågan att påverka och få återkoppling på sin situation. Detta är något som projektet har kännetecknats av och varit den största bidragande orsaken till de bra resultat som har uppnåtts.

I projektet skapades en tunneldrivningsorganisation som bestod av: Delprojektledare Bergtag *Christer Andersson*, Delprojektledare Bygg *undertecknad*, sprängtekniker *Leif Harefjord* och entreprenören *Bergteamet*. För bearbetning av data ansvarade *Emmeli Johansson* och *Rolf Christiansson* har bistått med bra infallsvinklar och kommentarer.

Efter mycket bearbetning och genomgång av data insågs att resultaten talade för att en en tunnel som innehöll de flesta kraven på geometri, kontur och skadezon hade uppnåtts. Ju djupare analyser som gjordes insågs också svårigheten att göra enkla samband, samt att nya infallsvinklar upptäcktes.

Ett särskilt tack riktas till Jens Andersson, Stellan Arvidsson, Daniel Lignell och Björn Stjärnström, Bergteamet AB; Leif Harefjord, Göran Karlsson Bergsäker AB; Anders Andersson och Patrik Norén, Orica AB för deras insatser vid bergtaggen och sammanställningen av den dokumentation som ligger till grund för denna rapport.

Äspölaboratoriet maj 2010

*Rickard Karlzén*

Delprojektledare Bygg

## Sammanfattning

Inför byggandet av slutförvaret för använt kärnbränsle är det av avgörande betydelse för SKB att kunna visa att långsiktig säkerhet kan uppnås med de tre barriärerna kapsel, buffert och berg som ingår i KBS-3 konceptet. Återfyllningen refererar till det material som används för att fylla deponeringstunnlarna och dess syfte och funktion är att upprätthålla flerbarriärprincipen genom att hålla bufferten på plats och begränsa vattenflödet i tunnarna. Detta innebär att det är viktigt att uppnå en konturhållning med minimal utbredning av den från sprängningen skadade zonen i det kvarstående berget. Återfyllningens och sprängskadezonens hydrauliska egenskaper påverkar den storskaliga hydrauliska konduktiviteten för deponeringstunnlarna.

Från och med slutet av 2007 till och med slutet av 2008 drev SKB den ca 90 m långa och knappt 19 m<sup>2</sup> stora TASS-tunneln i Äspö på 450 m nivå. Drivningsarbetena ingick i projektet ”Fintätning av tunnel på stort djup” och utförandet styrdes via delprojekt Berguttag och delprojekt Bygg med ambitionen att se hur bra en tunnel kunde utföras. För att klara denna uppgift har delprojekten använt tidigare forskning och erfarenhet inom tunneldrivning för att ställa krav på utförande och dokumentation. På så sätt har det gått att säkerställa att tunneldrivningen genomförts på ett kontrollerat och spårbart sätt, så att det har blivit repeterbart. Detta har gjort det möjligt att bedöma konturhållning samt skadezon.

Det system som utvecklats under tunneldrivningen för att upprätthålla motivation, säkerställa spårbarhet i dokumentation och kvalitetsnivå på utförda arbeten har fungerat bra och bör användas som en grundmall för framtida arbeten. Uppföljningen av de parametrar som är viktiga för utförandet bör ske med relativt korta intervaller. Återkopplingen blir då snabb och precis, vilket höjer motivationen samtidigt som fel inte hinner fortplanta sig särskilt långt. Det administrativa arbetet med strategier, arbetsberedningar och etapprapporter har gett upphov till ett kontinuerligt förbättringsarbete där hela tiden mindre och mindre luckor kunnat täppas till. Kunskaper om projektets syfte och den egna och andras insatser har varit avgörande för att avvikelser ska observeras, dokumenteras och hanteras.

Vid upphandlingen lades stor vikt vid platsledningen och yrkesarbetarnas kompetens samt kvalitet på entreprenörens utrustningar. Detta har gett god utdelning och höjt kvaliteten i utfört arbete avsevärt. Upphandlingen i sin helhet, inklusive hur dess bakomliggande tankar förts vidare in i det praktiska arbetet, har gett beställaren möjlighet att styra utförandet och entreprenören möjlighet att fullfölja ett kvalitetssäkrat arbete utan konflikter rörande ersättningar. Detta har varit en stor bidragande orsak till det goda samarbetet. När beställaren tar ett mera tydligt utförandeansvar förändras rollen för hela organisationen. Bland annat ökar kravet på tillgänglighet för att snabbt kunna föra kommunikationen mellan beställare och arbetet på stuff, samt att samtliga förstår och accepterar beställarens intentioner i de direktiv som ges.

Konturhållningen har lyckats mycket väl och möter i huvudsak de styrande kraven från återfyllningslinjen. Det genomsnittliga överberget för tunneln var drygt 16 % med små mängder av underberg. Tunnelns areavariationer visar att tunnelns area aldrig når ner till teoretisk tunnelarea och den största arean nås ca 0,7m innan gränsen till nästkommande salva. Införandet av elektroniksprängkapslar förbättrade konturhållningen och ökade andel synliga borrhörpipor. Genomsnittet av andel synliga borrhörpipor i konturen som identifierats har varit 78 %. Med den borrhörplan som användes och införandet av elektroniksprängkapslar har det varit möjligt att använda kontursprängämne även i sulan, med bra resultat i form av synliga borrhörpipor. Införandet av elektroniksprängkapslar tog också hand om problemet med ryckare som i princip eliminerades och omskjutningar minimerades. Skadezonen har utvärderats och rapporterats i /Olsson et al. 2009/ och visar att ingen kontinuerlig skadezon har kunnat påvisas.

Den utförda borrhörningen har utvärderats genom att titta på borrhörnoggrannhet och precision. Geodetisk inmätning av påhuggslägena (där borrhörkronan startar borrhörning i berg) för 15–20 jämnt fördelade konturhål, samtliga sulhål samt en varierande mängd hjälparhål och strosshål i varje salva, har utförts varefter borrhörhålets slutpunkter beräknats. Den erhållna datan har sedan utvärderats och även jämförts med erhållna data från borrhörningen över borrhörhålets placering i påhugg och slutpunkter.

Riktsystemet på borrhiggen fungerar bra och hade en noggrannhet på cirka + 2 cm när borkronan navigeras mot påhuggspunkten. Den största svårigheten vid borrhning är att utföra påhugget då kronan kan glida när borrhningen startar, vilket borrhiggen inte registrerar. Den uppmålade kontur som använts ger borrharna omedelbar feedback på eventuella problem och har varit ett värdefullt komplement i strävandena att ligga nära men inte inkräkta på den teoretiska konturen.

Man kan se stora avvikelser när det gäller för borrhiggen att identifiera slutpunkten. För att identifiera slutpunkten är det viktigt att ha ett så rakt borrhål som möjligt så man kan få tillförlitlig data. Rekommendationen för att ha kontroll över borrhålens slutpunkter är att använda sig av målad kontur och utföra noggrann justering av bommen mot LCD-skärm för att få bra förutsättningar från påhugget, för att sedan borra hålet med ett lägre matartryck första metern i berg. Detta ger en bra förutsättning för ett rakt borrhål.

Genom att utveckla ett kontrollprogram för data från borrhiggen skulle man tillsammans med borrharens observationer och dokumentation kunna använda datan för utvärdering av borrhningen innan laddning. Underlaget skulle också kunna användas för att senare kunna bedöma indrifter, borrhmeter per m<sup>3</sup> och sprängämne per m<sup>3</sup>. Med en borrhigg som genererar tillförlitlig data skulle många geodetiska mätningar kunna tas bort och tid med kostnader skulle kunna reduceras.

Med avseende på salvborrning har en stickning på 25 cm fungerat i princip problemfritt. Då stickningen minskades till 20 cm påverkades emellertid borrhprecisionen negativt då det blev svårt att komma åt med bommarna. Hjälparna behöver stickas parallellt med konturen för att ge möjlighet att använda svaga bottenladdningar som inte ökar risken för ökad skadezon. Användandet av parallella hjälpare medför även bra förutsättningar för att kunna bryta berget i slutpunkterna, vilket ger en plan stuff och därmed bättre möjligheter för en god påhuggsnoggrannhet i nästföljande salva.

Med avseende på laddning har den oladdade delen av borrhålen behövt fyllas med grus och frigolit för att få ett bra sprängningsresultat. Åtgärden motiverades till stor del av den relativt stora skillnaden mellan borrhålsdiametern och laddningsdiametern.

# Summary

When building the Final repository for spent Nuclear Fuel it is of importance for Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (SKB) to be able to show that long term safety can be obtained by the three barriers that are included in the KBS-3 final repository. The backfill refers to the material that will be installed in deposition tunnels in order to backfill them and its purpose is to maintain the multiple barrier function by keeping the buffer at place and minimize the water inflow to the tunnel. This means that it is of importance to achieve good contour with minimal dispersal of excavation damaged zone (EDZ). The hydrological properties of the backfill and the EDZ will affect the large scale hydrological conductivity of the deposition tunnels.

From the end of 2007 to the end of 2008 SKB excavated an approximately 90 m long and 19 m<sup>2</sup> cross cut tunnel named TASS at the Äspö Hard rock laboratory. The excavation of the tunnel was made by the project "Sealing of tunnel at great depth". The ambition in the two subprojects that controlled the excavation of the tunnel was to excavate a tunnel in the best possible way. Earlier research and experiences in tunnel excavation has been used to place demands on performance and how it should be documented. By doing so it has been possible to ensure that the excavation of the tunnel was done in a controlled and traceable way so it can be repeatable and that it has been possible to estimate contour and minimize EDZ.

The system that was developed during the excavation of the tunnel to maintain motivation, ensure traceability within the documentation and quality of performed work has worked well and are recommended to be used in future projects. The parameters that are important for the performance should be follow-up with short intervals and the feedback shall be fast and precise, which will increase the motivation at the same time as mistakes won't be systematic in the production. The administrative work with controlling documents has given continuous improvements. The knowledge of the aim for the project and the achievements of those involved have played an important role in detecting, documenting and handling of aberrations.

In the purchasing of the contractor a strong emphasis were placed on the knowledge and skills of the management and workers together with the quality of equipment and machinery for tunnelling. This has given good dividends and improved the quality of work performed considerably. The contract in its entirety, including how its aim has been passed on into the practical work, gave the client the ability to control the execution and the contractor the opportunity to complete a quality-assured work without conflicts regarding compensation. This has been a major contributing factor to the good cooperation. When the client takes a more distinct performance responsibility, the role of the entire organization is changing. Among other things are the demands increasing on the availability in quickly maintaining the communication between the client and the contractor in the field and that all understand and accept the client's intentions in the instructions given.

The work to achieve a good tunnel contour has been very successful and the contour encounters the controlling requirements of the production line of the backfilling method. The average over break in the tunnel was approximately 16% with small amounts of under break. The area variations of the tunnel shows that the tunnel area never reaches the theoretical area and the largest area is reached approximately 0,7 m before the border of the next round. The introduction of electronic detonators improved the tunnel contour and increased the proportion of visible drill holes. The average amount of visible drill holes indentified in the tunnel contour was 78%. With the drilling pattern that were used and the introduction of electronic detonators it has been possible to use contour explosives in the tunnel floor, with good result of visible drill holes. The introduction of electronic detonators also took care of the problem of cut-off holes, which pretty much disappeared and re-blasting was minimized. The EDZ was evaluated in /Olsson et al. 2009/ and shows that no continuous EDZ was found.

The performed drilling has been evaluated by looking at the drilling accuracy and precision. Geodetic surveying was performed of the collaring of 15–20 evenly distributed drill holes in the contour; all the drill holes in the floor and a varying amount of helpers and stope holes in each round. Afterwards the endpoints were calculated. The resulting data has then been evaluated and even compared with obtained data of the location of collaring and endpoints from the jumbo.

The rig control system (RCS) of the jumbo works well and has an accuracy of approximately  $\pm 2\text{cm}$  when the drill bit is navigated against the collaring. The main difficulty when drilling is to perform the collaring, since the drill bit might slip when the drilling starts and which the jumbo doesn't register. The painted contour that was used gives the drillers immediate feedback on any problems and has been a valuable complement in drilling as close as possible but not interfering at the theoretical contour.

One can see big deviations in terms of how the jumbo identifies the endpoint of the drill hole. In identifying the endpoints it is important to get as straight drill holes as possible to achieve reliable data from the jumbo. The recommendation for having control over the endpoints of the drill holes is to use painted contour, performing accurate adjustment of the boom against the LCD screen to get good conditions from the collaring, and by drilling with lower feed pressure the first meter in the rock. Together this provides a good condition in getting a straight drill hole and identifying the endpoint.

By developing a control program for data from the jumbo and together with the observations and documentations from the driller, the data from the jumbo could be used in evaluating the performed drilling before charging. The data from the jumbo could also then be used in evaluating advance per round, drilling meter/ $\text{m}^3$  and specific charge/ $\text{m}^3$ . With a jumbo that generates reliable data many geodetic surveys could be excluded and time and costs could be reduced.

The use of a lookout angle of 25 cm has worked well. When the lookout angle was decreased to 20 cm the drilling accuracy and precision was affected negatively, since it became difficult to achieve enough space for the booms. The helpers' needs to be placed with the same lookout angle and parallel with the boreholes in the contour, to allow the usage of weak bottom charges that doesn't enhance the risk of increased EDZ. The usage of parallel helpers also creates good conditions of breaking the rock at the endpoints, which leads to an even full-face and thereby better opportunity to get a better collaring accuracy in the next round.

With respect to charging, the stemming of the drill hole was done by cellular plastic and gravel to achieve a good rock excavation results. The action was motivated by the relatively large difference between the drill hole diameter and diameter of the charge.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	11
1.1	Syfte	11
1.2	Omfattning	11
<b>2</b>	<b>Förutsättningar</b>	13
2.1	Process-modell för salvcykeln	13
2.2	Förutsättningar för projektet	14
2.2.1	Geologiska förhållanden	14
2.2.2	Injektering	16
2.3	Återfyllnadens krav på tunneln	17
2.3.1	Mål och krav för borrhningsutförande	18
2.3.2	Mål och krav för laddningsutförande	18
2.3.3	Mål och krav för sprängningsutförande	19
2.4	Resurser	19
2.4.1	Maskiner och utrustning	19
2.4.2	Sprängämne och Tändsystem	20
2.4.3	Anskaffning av utföranderesurser	20
2.4.4	Tunneldrivningsorganisationen	21
<b>3</b>	<b>Metoder</b>	23
3.1	Borrning	23
3.1.1	Borrplaner	23
3.1.2	Beräkning av specifik borrning	25
3.1.3	Geodetisk inmätning	25
3.1.4	Kontroll av borrhgen	25
3.2	Laddning	25
3.2.1	Laddplaner	25
3.2.2	Laddning	26
3.2.3	Beräkning av laddningar	26
3.2.4	Tändplaner	27
3.3	Sprängning	29
3.3.1	Vibrationer	30
3.3.2	Luftstövåg	31
3.3.3	Framkast	32
3.3.4	Registrering av borrhpor	32
3.3.5	Inmätning av tunnelgavel	33
3.3.6	Indrift	33
3.4	Metoder för bearbetning av data	34
3.4.1	Borrdata	34
3.4.2	Borrprecision och borrhnoggrannhet	35
3.4.3	Skanning	37
3.4.4	Kontur	38
3.4.5	Geometri	38
3.5	Metod för att kvalitetsäkra genomförandet	39
3.5.1	Styrning av dokumentation	40
3.5.2	Styrning av resurser	41
<b>4</b>	<b>Genomförande</b>	43
4.1	Borrning	43
4.2	Laddning	47
4.3	Sprängning	53
4.4	Övriga förutsättningar	53
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	55
5.1	Kontroller för kvalitetssäkring	55
5.1.1	Geodetiska mätningar	55
5.1.2	Borrhgen	56



5.2	Borrning	59
5.2.1	Specifik borrning	59
5.2.2	Geodetisk inmätning	60
5.2.3	Geodetisk inmätning vs borrhagens inmätning	66
5.2.4	Parallellitet	70
5.3	Laddning	71
5.4	Sprängning	72
5.5	Kontur	76
5.5.1	Areavariationer	76
5.5.2	Överberg	79
5.5.3	Underberg	83
5.6	Registrerade synliga borrhåll	87
5.7	Geometri	90
5.7.1	Minimum bredd	90
5.7.2	Stickning tak	90
5.7.3	Stickning sula	90
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>95</b>
6.1	Borrning	95
6.1.1	Borrprecision/ borrhållsgrannhet	95
6.1.2	Specifik borrning	96
6.2	Laddning	97
6.2.1	Specifik laddning	97
6.3	Sprängning	97
6.4	Kontur	99
6.4.1	Areavariationer	99
6.4.2	Överberg	99
6.4.3	Underberg	101
6.5	Skadezon och synliga borrhåll	101
6.6	Geometri	101
6.6.1	Bredd	101
6.6.2	Stickning i tak	102
6.6.3	Stickning i sula	102
6.7	Resurser	102
6.8	Sammanställning av kvalitetskritiska faktorer	103
<b>7</b>	<b>Rekommendationer</b>	<b>105</b>
7.1	Borrning	105
7.1.1	Utveckling av utrustning	105
7.1.2	Kontroll av borrhåll	106
7.1.3	Förbättring av borrhållsplaner	106
7.1.4	Borrhållsutförande	107
7.2	Laddning sprängning	107
7.3	Krav på tunneldrivning för deponeringstunnlar	108
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	<b>109</b>
<b>Appendix 1</b>	Borrlogg salva 9	111
<b>Appendix 2</b>	Avstånd vibrationsmätare och respektive salva	115
<b>Appendix 3</b>	Erhållna värden från borrhållsloggen	117
<b>Appendix 4</b>	Beräkningar för att klassificera borrhåll enligt träffbildsindelningen	119
<b>Appendix 5</b>	Borrhållsplaner	121
<b>Appendix 6</b>	Borrhållsplacering påhugg	131
<b>Appendix 7</b>	Borrhållsplacering slutpunkter	135
<b>Appendix 8</b>	Träffbildsdiagram påhugg och slutpunkt Berguttag 2	139
<b>Appendix 9</b>	Träffbildsdiagram påhugg Berguttag 3–6	141
<b>Appendix 10</b>	Träffbildsdiagram slutpunkter Berguttag 3–6	145
<b>Appendix 11</b>	Resultat från vibrationsmätningarna samt samverkande laddning	149

# 1 Inledning

Inför byggandet av slutförvaret för använt kärnbränsle är det av avgörande betydelse för SKB att kunna visa att långsiktig säkerhet kan uppnås med de tre barriärerna kapsel, buffert och berg som ingår i KBS-3 konceptet. Återfyllningen refererar till det material som används för att fylla deponeringstunnlarna. Återfyllningens syfte och funktion är att upprätthålla flerbarriärprincipen genom att hålla bufferten på plats och begränsa vattenflödet i deponeringstunnlarna. Detta innebär att det är viktigt att de tunnlar som byggs och ska återfyllas klarar återfyllnadskraven. Vilket innebär att det är viktigt att uppnå konturhållning med minimal utbredning av den från sprängningen skadade zonen i det kvarstående berget. Återfyllningen och sprängskadezonens hydrauliska egenskaper påverkar den storskaliga hydrauliska konduktiviteten för deponeringstunnlarna.

Sambandet mellan återfyllning och bergschakt kan beskrivas på följande sätt:

- Ju snävare tunnelkontur som kan sprängas ut, desto säkrare och effektivare blir återfyllningen.
- Ju mindre omfattande skadezonen blir runt den uttagna tunneln, desto mer begränsas möjligheten för läckagevägar.

Denna rapport beskriver resultaten av arbetena vid Äspölaboratoriet från utförandet av bergschakterna inom projekt SU32516 Fintätning av tunnel på stort djup med ett tunneltvärsnitt som motsvarar de planerade deponeringstunnlarna i ett framtida slutförvar.

Projektets prioriterade mål var att bekräfta att det är möjligt att uppnå en täthet motsvarande ett inläckage på 1 l/min på 60m tunnel med tillämpbara bruk samt testa silica sols användbarhet på slutförvarsdjup (se avsnitt 2.2.2). Detta har inneburit att platsvalet gjordes för det ändamålet, samt att tunneldrivningen genomförts i ett förinjekterat berg.

Projektet har planerats så det har funnits gott om tid för att testa metoder, vilket gett utrymme för god arbets kvalitet, observation och reflektion så att förbättringar kunnat införas efterhand som kunskapen ökat. SKB har haft aktiv ledning och styrning under genomförandet och det har funnits en utförandebaserad återkoppling till entreprenören där avvikelser ses som förbättringsmöjligheter i stället för problem i strävan att erhålla så hög kvalitet som möjligt.

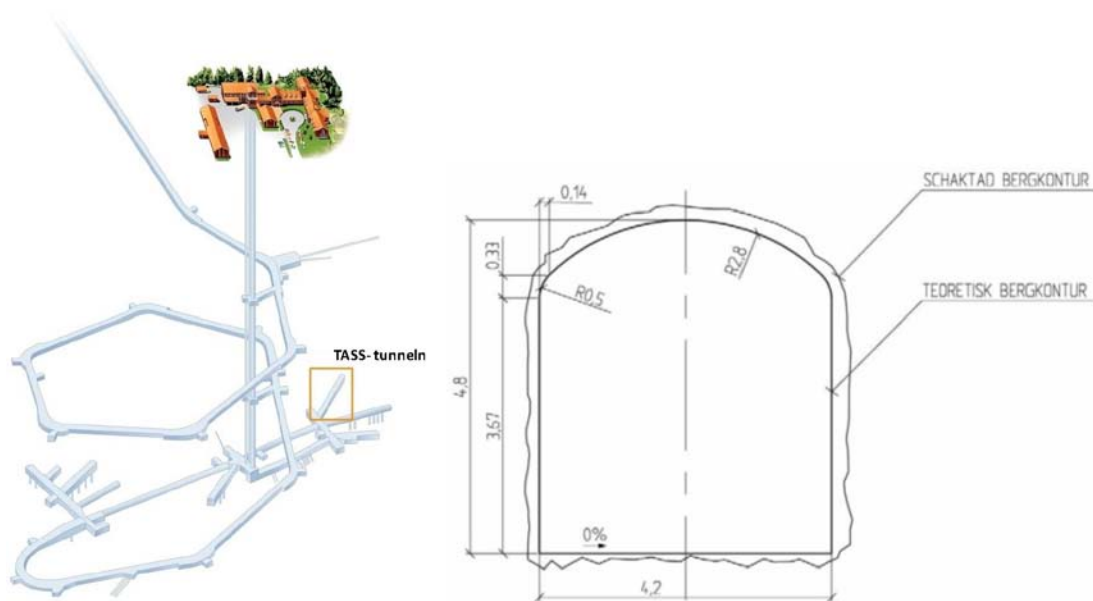
## 1.1 Syfte

Syftet med denna rapport är att redovisa resultat, detaljutförande och mellanliggande samband med avseende på kontur, skadezon och geometri vid ett drivningsförsök av en tunnel med motsvarande area som planeras för deponeringstunnlar, samt att med stöd av dessa resultat ge rekommendationer för framtida drivningar av deponeringstunnlar.

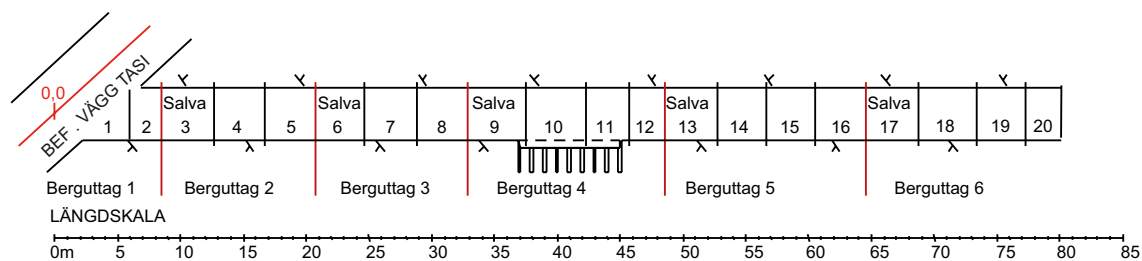
## 1.2 Omfattning

Projektgenomförandet omfattade utförandet av en ca 75 meter lång och cirka 19 m<sup>2</sup> stor tunnel benämnd TASS (Tunnel, Aspö, Site, S-tunnel) på 450-metersnivån i SKB:s anläggning på Äspö, Äspölaboratoriet se figur 1-1.

Bergschakterna har genomförts etappvis om 2–4 salvor per berguttagsetapp, se figur 1-2. Antalet salvor per berguttag har styrts av injekteringsskärmarnas sektionsplacering se figur 2-6. Totalt har 20 salvor genomförts i 6 berguttagsetapper. De inledande salvorna 1 och 2, sprängdes med delad tunnelarea för att rätta upp tunnelgaveln mot tunnelriktningen. Data från dessa två salvor har ej behandlats i rapporten. Tillförlitlig borrhdata från salva 3 och 4 har inte erhållits på grund av att salva 3 ej registrerats av borrhgen samt att det vid salva 4 använts fel navigeringssektion. Data från dessa har därför inte tagits med i fortsatta analyser med undantagsfall för laserskanningen och synliga borrhpipor.



**Figur 1-1.** TV SKB:s anläggning på Äspö, Äspölaboratoriet översikt. Orienteringen av TASS-tunneln är  $230^\circ$  (Äspö 96) eller  $215.8^\circ$  (magnetisk norr). TH: tvärsnittsbild av teoretisk tunnel med höjd och längdmått.



**Figur 1-2.** Salvorna och bergguttagen läge i TASS-tunneln.

För att undersöka skadezonen i berget har bergblock sågats ut och undersökts. Detta genomfördes i bergguttag 4 och schematisk skiss kan ses i figur 1-2. Dessa arbeten redovisas i en särskild rapport /Olsson et al. 2009/. Efter tunneldrivningen har tunneln försetts med permanent förstärkning och driftskrotningar utförts. Påverkan från dessa arbeten är inte medtagna i rapporten.

## 2 Förutsättningar

### 2.1 Process-modell för salvcykeln

För att kunna uppfylla ett projekts mål behöver det finnas kunskap om följande delar:

- hur den process i form av upprepande aktiviteter ser ut som skapar resultaten,
- vilka resurser som processen utförs med,
- under vilka förutsättningar processen genomförs.

De nämnda delarna varierar i olika avseenden under processens genomförande och även möjligheten att styra denna variation, så uppgiften att finna tydliga samband mellan genomförande och resultat är inte enkel.

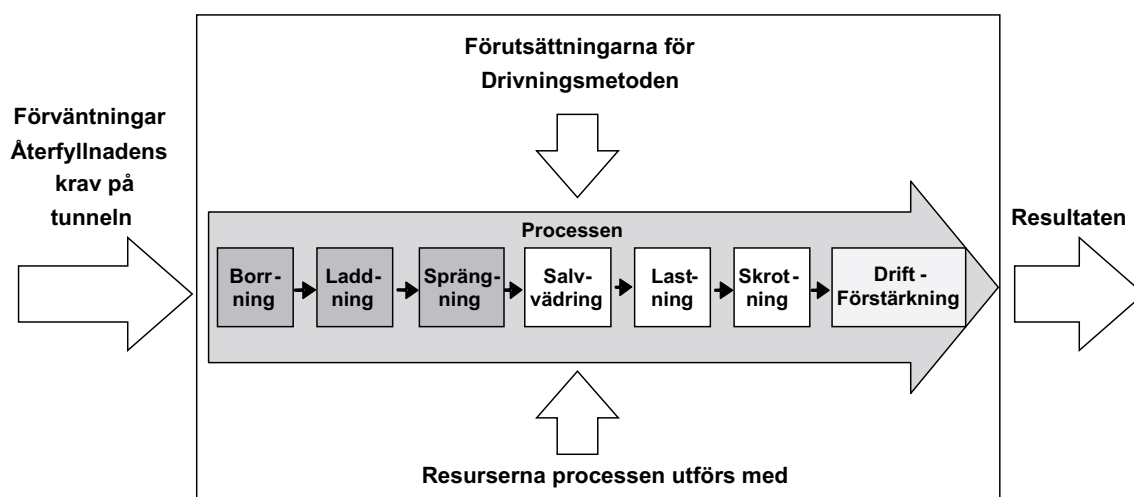
Den process som användes vid utförandet av den valda drivningsmetoden ”borra – spräng” bestod av sju aktivitetssteg. Dessa var: borrhning, laddning, sprängning, salvvädring, lastning, skrotning och driftförstärkning. De aktivitetssteg som stått i särskild fokus är Borrhning, Laddning och Sprängning. Detta illustreras i figur 2-1 nedan.

Modellen beskriver därmed hur processen, dess förutsättningar och tillhörande resurser samverkar mot resultaten. Som helhet byggde detta på följande:

- Variation av processens detaljutförande i ett antal fullskaliga tunnelsalvor.
- Mätning av erhållna variationer i resultaten.
- Analys av hur resultaten samvarierar med detaljutförandet.

Den bakomliggande tanken med detta var att bygga upp kunskaperna om vad som krävs för att åstadkomma den slutliga kvaliteten hos den färdiga tunneln med hänsyn till kontur och skadezon. De resultat som erhålls kan ses som en funktion av alla innefattande parametrar i genomförandet.

Detaljutförandet var beroende av utförandeunderlagen, förutsättningarna och resurserna samt deras styrning. Detta innebär att det är nödvändigt att kunna styra de innefattande parametrarna, i det här fallet resurser samt ha kunskap om platsförhållanden för att i sin tur kunna dokumentera processen, kvalitetssäkra resultaten och införa förändringar för att förbättra kontur och skadezon.



*Figur 2-1. Processchema för drivningsmetoden ”borra – spräng”. De aktivitetssteg som har stått i ett särskilt fokus är gråmarkerade.*

## 2.2 Förutsättningar för projektet

Platsvalet gjordes för att få bästa förutsättningar för att kunna uppnå projektets prioriterade mål att med tillämpbara bruk uppnå en täthet motsvarande ett inläckage på 1 l/min på 60m tunnel. Detta har inneburit att det planerade drivningsområdet var bra karakteriserat och berget har varit förinjekterat under tunneldrivningen. Injekteringsarbetena och dess tillhörande kontroller medförde att det fanns god tid för utvärdering mellan varje berguttag så att förbättringar kunnat införas. Tillsammans har detta gett bra förutsättningar för tunneldrivningen.

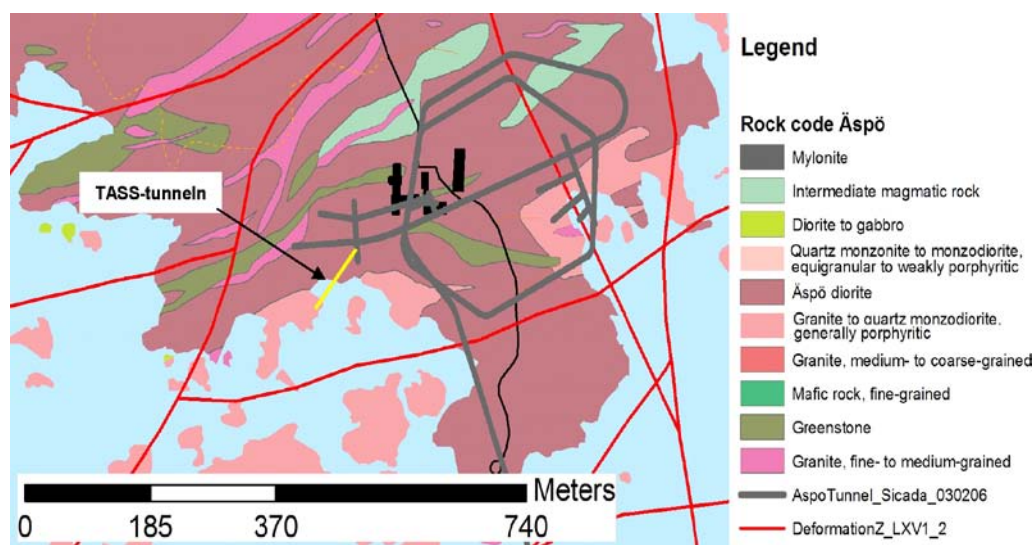
### 2.2.1 Geologiska förhållanden

Det område i vilket TASS-tunneln drevs valdes primärt på grund av att man förväntade sig att redan från början träffa på vattenförande strukturer (såsom sprickor och sprickzoner) samt få höga tryckgradienter (det vill säga få områden med högt respektive lågt vattentryck), som var lämpliga för att testa injekteringsmedel i. Valet av drivningsriktning styrdes främst av behovet att få höga tryckgradienter från början av tunneln, varför drivningen planerades i ett hörn av anläggningen och till ungefär vinkelrätt mot den vattenförande NV-SO sprickgruppen.

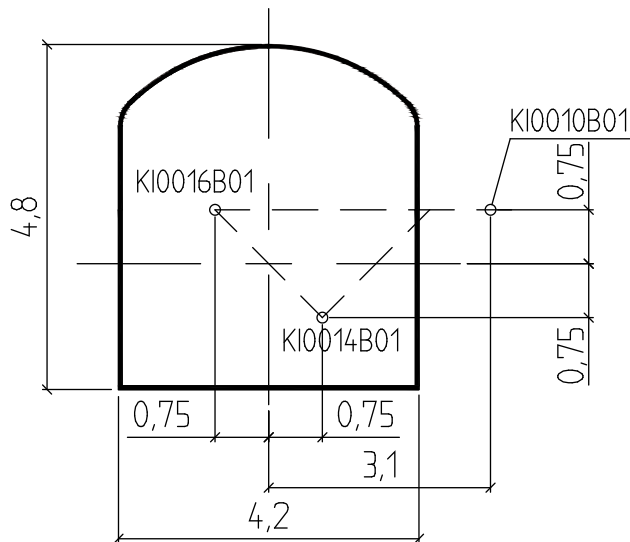
Det planerade drivningsområdet var välkarakteriserat och berget klassificerades som frisk Äspödiorit, se figur 2-2. Bygghälsan bedömdes vara mycket god och med försumbara risker för stabilitetsproblem vilket var bra förutsättningar, då bergarter påverkar resultaten gällande kontur och påverkan på berget närmast konturen. Sprickriktningar och spricktäthet kan både förlänga och hindra sprängsprickor att tränga djupt in i berget då sprängsprickor gärna söker sig mot de befintliga sprickorna /Ouchterlony et al. 2000/.

Innan projektets start genomfördes en förundersökning och 3 kärnborrhål KI0016B01, KI0010B01 och KI0014B01 å 100m borrhållades för att undersöka geologin och hydrogeologin för den tänkta tunneln, se figur 2-3 för placeringen av de tre kärnborrhållen. För utförlig information kring förundersökningen se /Hardenby et al. 2008/. Karteringen av de tre långa borrhållen visade att den dominerande bergarten är Äspödiorit. Två av kärnorna innehåller även mindre mängd av finkornig diorit/gabbro. Pegmatit- och finkorniga granitgångar finns i alla tre kärnor. Mindre vittring/omvandling (såsom oxidering och epidotering) förekom endast i mindre skala. Vid kärnbörningen uppmättes grundvattentrycket till 3,0–3,5 MPa.

Kartering av tunneln har utförts efter hand vid de stopp efter tunneldrivningen och injekteringen som gjordes för rengöring av tunnel och utförande av inflödesmätningar för att se resultaten från injekteringen. Huvudsprickriktningen är 98°–278° (magnetiskt N), det vill säga nästan vinkelrätt mot tunnelns drivningsriktning på 216° se figur 2-4. Sprickplanen har mestadels brant stupning men även flacka plan förekommer.

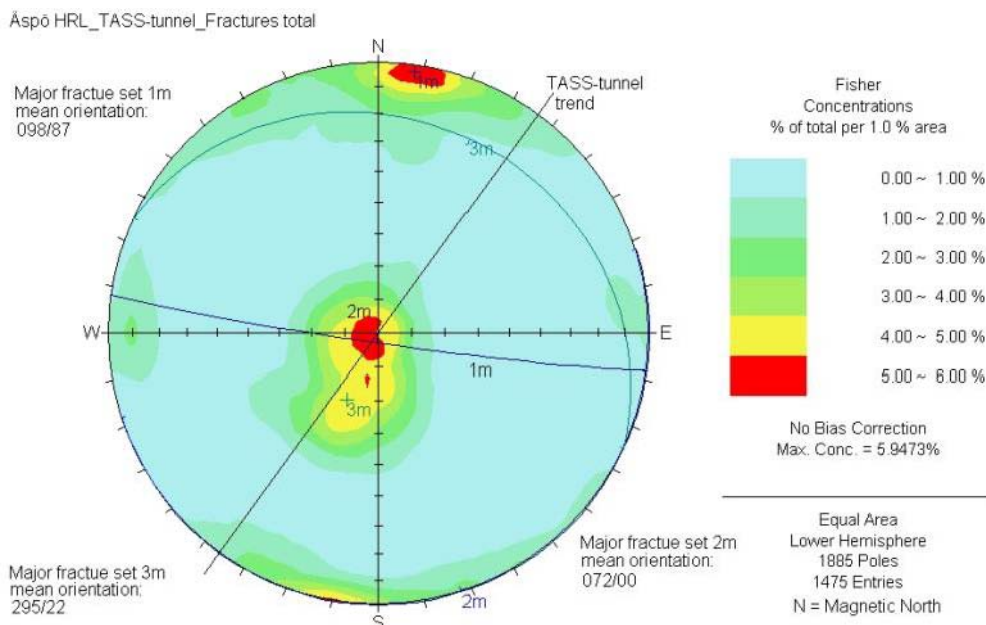


Figur 2-2. Lokal geologi med inlagd tunnel.

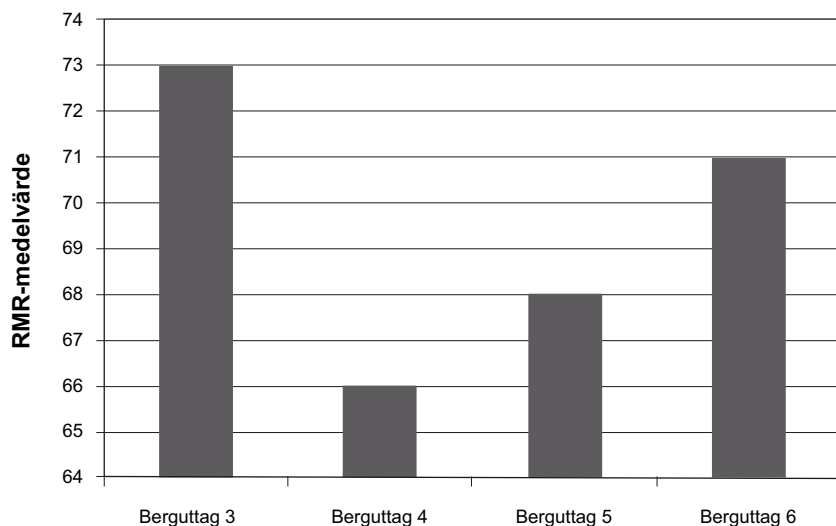


**Figur 2-3.** Placeringen av de tre kärnborrhålen KI0016B01, KI0010B01 och KI0014B01 som borrades i samband med förundersökningen.

För att bestämma bergkvaliteten så har en förenklad version av RMR systemet använts /Bieniawski 1989, Singh och Goel 1999/, se figur 2-5. Medelvärdet för TASS är 70,4 vilket är i mitten av RMR skalan för bra berg (RMR rock mass class "good rock" = 61–80) med en svag negativ trend. Det är bara i sulan i sektion 20,7–48,7 m bergkvaliteten sjunker, för att sedan bli bättre (RMR rock mass class "fair rock" = 41–60). Hade det inte varit för de ogynnsamma subhorisontella sprickorna, hade de uträknade RMR värdena legat 5–10 högre. För utförlig information kring geologi och den kartering som genomförts se /Hardenby och Sigurdsson 2010/.



**Figur 2-4.** Samtliga sprickor i TASS-tunneln (karterade i väggar, tak, sula, EDZ-slitsen och samtliga fronter) plottade i stereonät/diagram (Schmidtnät). Riktningen på TASS-tunneln är  $216^\circ$  (räknat från magnetiskt norr) och är i diagrammen markerad som en rät svart linje. Två tydliga huvudgrupperingar av sprickor med följande orienteringar kan noteras:  $098/87^\circ$  respektive  $072/00^\circ$  samt ytterligare en men inte lika framträdande med orientering  $295/22^\circ$  (markerade med storcirkelarna 1 m, 2 m respektive 3 m i stereodiagrammet) /Hardenby och Sigurdsson 2010/.



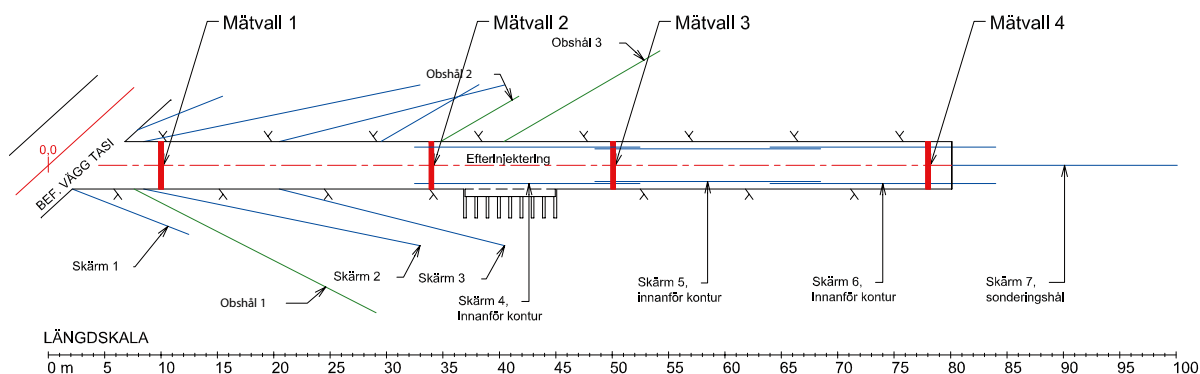
Figur 2-5. RMR diagram. Staplarna representerar medelvärdet för sträckan från föregående punkt till angiven sektionpunkt i respektive bergtagg.

## 2.2.2 Injektering

SKB:s slutförvarsanläggning planeras att förläggas på ca 400–500 m djup och kraven på dess täthet mot inläckande vatten kommer att vara mycket höga. I samband med ansökan för lokalisering och byggande av slutförvaret måste SKB kunna visa att man har kunskap att tätta slutförvaret. Kravet på inläckage i tunneln som projektet arbetat med var 1 l/min och 60 m tunnel. Det finns också ett uttryckt önskemål att använda injekteringsmedel med pH lägre än 11. Fintättningsprojektet, syftar till att utveckla och verifiera att kunskapen för att klara kraven finns.

Injekteringsmedlen som använts är silica sol och cementbaserat bruk med pH under 11. Silica sol har använts för att ta hand om sprickor upp till 150 µm och det cementbaserade över 150 µm. Borrhålen för injekteringen mättes samt testades hydrauliskt för att bedöma sprickvidder och inflöde. Detta för att ge nödvändig information för val av injekteringsmedel och blandningsförhållande/gel tid. När sprickorna varit 0–130 µm så har systematisk injektering med silica sol använts och när sprickvidden legat mellan 130–> 150 µm så har silica sol med kortare geltid och längre pumptid för att motverka erosion använts. Det cementbaserade bruket har använts i en relativ liten omfattning.

Injekteringen har utförts i olika etapper och med olika utformningar av injekteringskärmar. Utformningarna har varierat där skärm 1, 2 och 3 har borrats som en solfjäder runt tunneln och skärm 4, 5 och 6 har borrats innanför tunnelns kontur, se figur 2-6. Skärm 4 utfördes med injekteringshålen 60 cm innanför kontur och skärm 5 och 6 med 30 cm innanför kontur. Den omfattande injekteringen har gett bra förutsättningar för tunneldrivningen, då man har sluppit vatten i borrhålen för sprängningen. Injekteringsresultaten som erhöles visas i tabell 2-1, observera att kravet på 1 l/min och 60 m tunnel har räknats om och anpassats för respektive sektion. För utförlig information kring injekteringen se /Funehag och Emmelin 2010/.



Figur 2-6. Injekteringshålens läge utanför och innanför kontur.

**Tabell 2-1. Erhållna resultat från injekteringen av TASS. Inflödesmätningar utförda mars 2009 då drivningen av tunneln var slutförd.**

Sektion	Skärmtyp	Uppmätt inflöde [l/min]	Krav Inflöde [l/min]
10–34 m	Skärm utanför kontur skärm 1 och 2	0,3	0,4
34–50 m	Skärm innanför kontur 60 cm skärm 4	0,8	0,3
50–80 m	Skärm innanför kontur 30 cm skärm 5 och 6	0,4	0,5
	Totalt	1,5	1,2

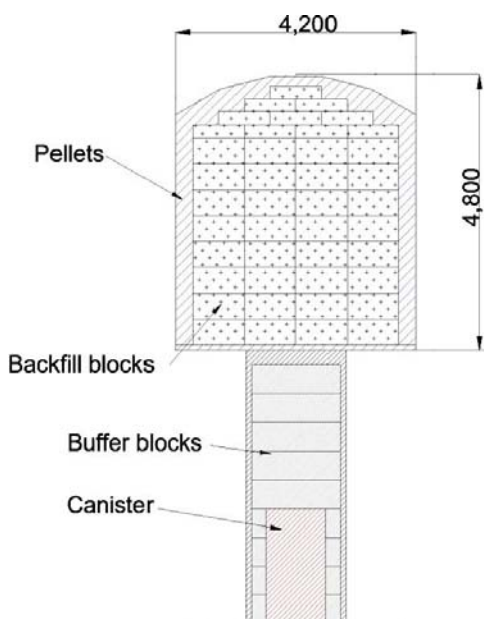
Inflödesmätningar mars 2009. Värdena är omräknade från max värdet 1 liter per 60m tunnel till maxvärdet för den aktuella längden mellan mätvallarna för respektive sektion.

## 2.3 Återfyllnadens krav på tunneln

I detta avsnitt redovisas de styrande egenskaper på vilka det fanns förväntningar inför projektet, det vill säga kontur, skadezon och geometri, samt nämns något om de bakomliggande motiven till dem.

Långsiktig säkerhet i ett slutförvar ställer krav på den utförda och återfyllda tunneln. Detta avser den storskaliga hydrauliska konduktiviteten som en deponeringstunnel ska uppnå genom att återfylla tunnarna samt minimera utbredningen av den från sprängningen skadade zonen i kvarstående berg. De krav som ställs på en framtida deponeringstunnel i ett slutförvar är mer specificerade och detaljanpassade än konventionella krav, för att möta de krav som ställs från deponering av kapsel och återfyllnaden av tunneln.

Återfyllning av deponeringstunnarna avses göras med bentonit med en viss densitet per m<sup>3</sup> tunnel för att hindra eventuella läckagevägar i tunneln. Återfyllnaden har också uppgiften att fungera som ett mothåll för bufferten och kapseln i deponeringshålet. Återfyllnaden sker med bentonitblock som staplas och de tomrum som uppstår mellan block och berg fylls med pelletter, (figur 2-7). Fyllningen med pelletter uppnår dock inte den densitet som block har och därför vill man minimera berg utanför teoretisk tunnelkontur (överberg). Dock vill man inte ha berg innanför teoretisk tunnelkontur (underberg) då detta försämrar det praktiska arbetet med att installera pelletter mellan bentonitblock och bergkontur. Inläckage av vatten i deponeringshål kan påbörja svällningen av bufferten, med risk för att kapseln rör sig vertikalt innan återfyllnaden i tunneln nått den mättade densiteten och kan fungera som mothåll. För att återfyllnaden i tunneln ska kunna fungera som ett mothåll vill man begränsa stickningen till 20 cm i tak. Det finns även önskemål att minska ojämnheter i golv (sula) för att underlätta transporter för återfyllnadsmaterial och kapsel. Detta är anledningen till att försöka begränsa stickningen till 25 cm i sula.



**Figur 2-7. Tvärsnitt av deponeringstunnel och topp av deponeringshål med kapsel.**



Återfyllnaden och risken för läckagevägar ställer stora krav på geometri, kontur och skadezon i berg /Wimelius och Pusch 2008/. Målsättningen var att med detaljkrav och uppföljningar på följande delar kunna nå önskemålen från återfyllningen:

- tunneln fick aldrig vara smalare än teoretisk tunnelkontur dvs 4,20 m,
- tillåten bergvolym utanför teoretisk kontur fick inte överstiga 30 volym-% per salva ("överberg"),
- ingen tillåten bergvolym innanför teoretisk kontur ("underberg"),
- mått utanför teoretisk sulkontur  $\leq 25$  cm,
- mått utanför teoretisk takkontur  $\leq 20$  cm.

Preliminära krav på skadezonens transmissivitet /SKB 2009/:

- Skadezonen längs tunneln bör inte vara kontinuerlig över längre än 20–30 m,
- Dess hydrauliska transmissivitet bör inte vara större än  $10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s.

För att möta dessa krav så sattes mål för borrhings-, laddnings- och sprängningsutförande enligt nedan.

### 2.3.1 Mål och krav för borrhingsutförande

God precision och noggrannhet vid borrhningen av hål i kontur och hålraden närmast (hjälparraden) är en avgörande faktor för att innehålla kraven på kontur, skadezon och geometri. Detta möjliggör inte bara god konturhållning, utan också att laddningarna kan placeras och anpassas för att minimera skadezonen. Målsättningen var att med detaljkrav och uppföljningar på följande delar kunna nå kraven för tunneln.

- Påhugg (där borrhkronan startar borrhning i berg)  
Målsättningen var att borrhålets placering i kontur maximalt fick avvika + 50 mm längs avsedd kontur och + 100 mm utanför teoretisk kontur och 0 mm innanför teoretisk kontur mot teoretiskt planerade läge.
- Stickning  
Målsättningen var att den alltid skulle vara mindre än 35 cm, men med ambitionen att minska den till 20 cm.
- Parallellitet (placering av borrhålen slutpunkter)  
Målsättningen var att få borrhålen slutpunkter för kontur- och hjälparhålerna inom ett radiellt avstånd på + 50 mm från teoretiska slutpunkter.

### 2.3.2 Mål och krav för laddningsutförande

God kontroll av laddningen är också en avgörande faktor för att nå kraven gällande kraven på kontur, skadezon och geometri. Kontrollen berör främst laddningsmängd och typ av sprängämne samt frikoppling (luft kring sprängämnet i borrhålet så att det inte kommer i kontakt med berg).

Målsättningen var att med detaljkrav och uppföljningar på följande delar kunna nå kraven för tunneln.

- Använda patronerat sprängämne i hålen för att säkerhetsställa mängd av sprängämne.
- Använda centreringshylsor på laddningarna i kontur och golv (sula) för att säkerhetsställa god frikoppling.
- Använda förladdning (yttre delen i borrhålet oladdad men packad med frigolit och grus som laddlås) i syfte att få mer sprängenergi in i berget.
- Kontroll och dokumentation av borrhål med inläckage av vatten i borrhålen. Vid inläckage skulle plaströr med slutna ändar och diameter nära borrhålets användas för att säkerhetsställa frikoppling.
- Kontroll och dokumentation av laddningsmängder.

### 2.3.3 Mål och krav för sprängningsutförande

Sprängämnet initieras med hjälp av tändare som har olika tidsfördröjningar för de olika laddningarna i borrhålen. Tidsfördröjningen mellan de olika tändarenumren och exakthet för initieringen av samma tändarenummer har en avgörande faktor för fragmenteringen samt för att nå kraven gällande på kontur, skadezon och geometri. Initieringen har också påverkan på vibrationer och luftstötstågen i samband med sprängningen som i sin tur kan påverka närliggande installationer. För att kontrollera detta enklast kan man använda elektroniska sprängkapslar, som har en exaktare tändspridning (initiering med samma intervalltid) än de med pyroteknisk fördröjning.

Målsättningen var att med detaljkrav och uppföljningar på följande delar kunna nå kraven för tunneln samt säkerhetsställa anläggningen inklusive installationer och personal mot skador som kan orsakas vid sprängningarna.

- Användning av både tändare med pyroteknisk fördröjning och elektroniska för att se skillnader.
- Mätning av vibrationer för kontroll mot anläggningen och installationer.
- Mätning av luftstötståg för att se skillnader mellan olika salvor.
- Mätning av framkast (hur långt berget förflyttar sig vid sprängningarna).

## 2.4 Resurser

Processen utfördes med hjälp av personal och maskinutrustning för drivningsarbetena från entreprenören, samt det material och de produkter som entreprenören använde för tunneldrivningen. Utöver detta ingick även olika stödresurser i form av tjänster som utsättning, mätning och skanning inklusive tillhörande hjälpmedel samt utrustning för mätning av vibrationer och luftstötstågor som beställaren tillhandahöll.

I de följande avsnitten beskrivs hur drivningspersonal och tillhörande maskinutrustning anskaffades, hur arbetet var organiserat och hur de olika resurserna användes. Tekniska data avseende olika utrustningar redovisas enligt nedan.

### 2.4.1 Maskiner och utrustning

I projektet användes:

- Atlas Copco:s borrhög Rocket Boomer E2<sup>C30</sup> med två BUT45 bommar på vilka COP3038 borrhöggregat var monterade som matades med BMH 6900 Series. 3:e generationens RCS borrhögssystem används. Teknisk data se [www.atlascopco.se](http://www.atlascopco.se).
- Vibrationsutrustningen av typ Ava 95, med en samplingsfrekvens på 3 000 Hz per kanal. Geofonerna mätte i området 0–273 mm/s inom frekvensområdet 1–1 000 Hz. Mätaren mäter enligt Svensk Standard 460 48 66 Vibration och stöt för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader. Teknisk data se [www.bergsaker.se](http://www.bergsaker.se).
- Mikrofonen som användes för att mäta luftstötstågen var en 106B52 ICP pressure sensor Rev.A. Teknisk data se [www.pcb.com](http://www.pcb.com).
- Totalstation Trimble S6DR användes för inmätning. Totalstationen var utrustad med automatisk riktningskorrektur för skydd mot vibrationer och sjunkning av stativben efter uppställning samt direktreflexmätning som möjliggjorde mätningar utan prisma. Teknisk data se [www.trimble.com](http://www.trimble.com).
- Skanningsutrustningen som har använts var en Leica Scanner HDS4500. Teknisk data se [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com).

## 2.4.2 Sprängämne och Tändsystem

I projektet användes:

- Nobel Prime användes inledningsvis som bottenladdning i konturen. Teknisk data se [www.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.com).
- Dynamit 30 användes som bottenladdning i hjälpare och stross och senare även i konturen. Teknisk data se [www.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.com).
- Dynorex 25 användes som pipladdning i stross och sula. Teknisk data se [www.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.com).
- Dynotex 22 användes som pipladdning i hjälpare och senare i sulan, Dynotex 17 användes som pipladdning i konturen. Teknisk data se [www.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.com).
- NONEL LP användes som pyroteknisk tändare. Teknisk data se [www.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.com).
- i-kon användes som elektronisk tändare. Teknisk data se [www.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.com).
- NONEL Buntupptändare användes vid sprängningarna. Teknisk data se [www.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.com).

## 2.4.3 Anskaffning av utföranderesurser

Upphandlingen av TASS-arbetena baserades på erfarenheterna från drivningen av TASQ-tunneln som drevs på Äspölaboratoriet 2003. Dessa pekade på att SKB borde ta ett tydligt ansvar för genomförandet genom att stödja utförandet med:

- ledning och kontroll gällande borring och laddning med syftet att dokumentera faktiskt utförande så att valt utförande skulle kunna utvärderas riktigt,
- information, observationer, utvärderingar och resultat förmedlas till utförarna av SKB. Detta för att skapa delaktighet och förståelse för bergguttagens mål samt betydelsen av utförarnas observationer och kunskaper.

### **Före kontrakt**

Förfrågningsunderlaget betonade även följande aspekter:

- platsledningens och yrkesarbetarnas kompetens,
- beskrivning av borrustrustning och övriga tekniska hjälpmedel som skulle användas i projektet (kvalitetspåverkande egenskaper som ålder, riktinstrument respektive sådant som bedömdes viktigt med avseende på omgivningspåverkan som utsläpp),
- pris,
- tillgänglighet för kontraktarbetena, för att hålla projektets tidplan,
- referensobjekt (erfarenhet av projekt med krav på skonsam sprängning, täthet och noggrann kontroll),
- anbudsgivarnas finansiella styrka och tillgång till backup resurser,
- företags kvalitets och miljösystem.

### **Anbudsprövning**

Ett viktningssystem utformades för de olika förmågor som anbudsgivarna skulle beskriva i sina anbud. Syftet med detta var att öka möjligheterna att identifiera den anbudsgivare som var bäst lämpad för uppgiften. De viktade faktorerna presenteras i rangordning nedan.

- 1 *Kompetensen hos platsledningen och yrkesarbetarna samt den erbjudna utrustningens lämplighet.* Motiven för detta var att kvalitet, effektivitet och repeterbarhet i utförandet bedömdes öka med bra kompetens och med bra utrustning, det vill säga de viktigaste parametrarna för att uppnå projektets mål.

2 *Priset, tillgängligheten samt referensobjekten.*

Motiven till detta var att kontraktet till stor del skulle baseras på enhetspris per timme och möjligheterna att få mycket utträttat per timme bedömdes vara större med bra kompetens och utrustning. Tillgänglighet var viktig då både projektets start- och sluttider var viktiga. Detta utvärderades mot entreprenörens bedömning av tidplan, skiftgång och flexibilitet. Referensobjekt var också viktiga då det möjliggjorde en bedömning av anbudsgivarna, men främst för den föreslagna platsledningen och yrkesarbetarnas erfarenheter.

3 *Kvalitets- och miljöledningssystemen, företagets finansiella styrka respektive tillgång till reservresurser.*

Dessa bedömdes som mindre viktiga i jämförelse med övriga parametrar då entreprenören till stor del skulle följa SKB:s ledningssystem och de kontrollprogram som specificerades i arbetsberedningar.

### **Kontrakt**

En central del i det kontrakt som tecknades utgjordes av de ekonomiska incitamenten. Frånsett att de även var knutna till en korrekt dokumentation och dess inlämnande omfattade de även ett mera renodlat bonussystem med inriktning mot de delar av utförandet som krävde mer än vad som normalt förekommer i bergbranschen. Tanken med detta var att det som gav ett mervärde för SKB också skulle stimuleras ut i produktionen.

Bonusen delades in i Borrning, Tid respektive Dokumentation. Indelningen syftade till att bidra till arbetsmotivationen, genom att det skulle vara möjligt att erhålla någon del av bonusen även om någon annan del inte medförde bonus. Man utformade även ett motsvarande system med ”straff”, och som omfattade samma parametrar. Systemet kan översiktligt beskrivas på följande sätt:

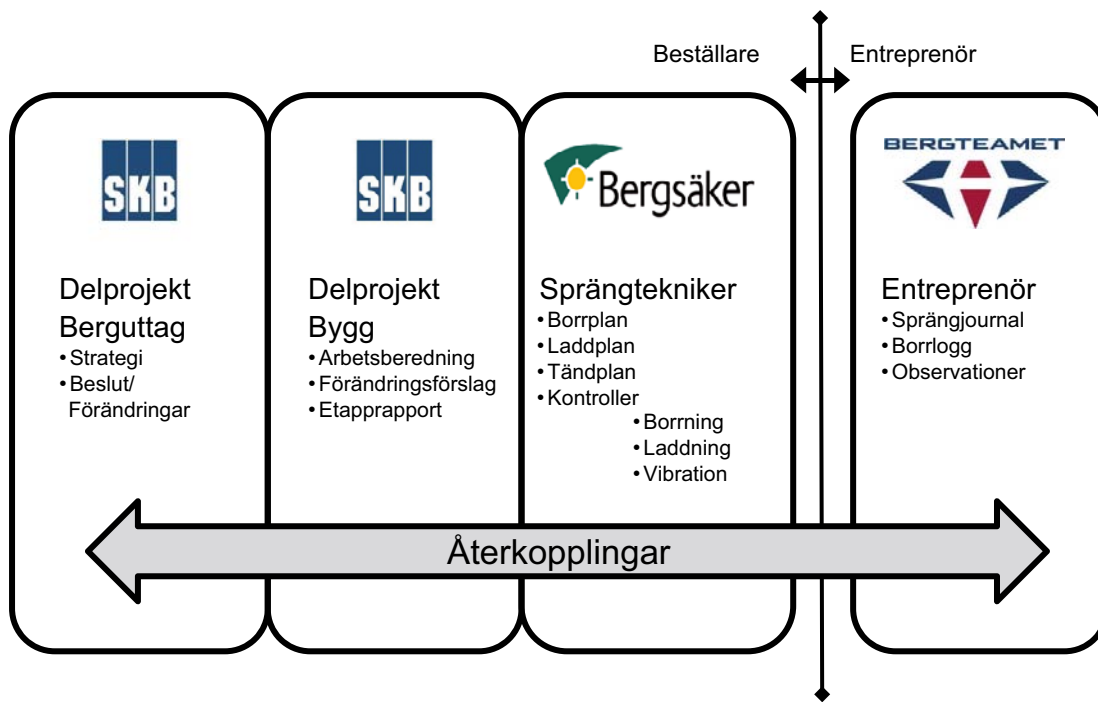
- **Borrning:** borrhingsnoggrannheten bedömdes som den viktigaste aspekten för kvaliteten på konturen och för att kunna minimera skadezonen. Borrningen var därför indelad på de underliggande kraven ansättning, stickning och parallellitet (slutpunkter för kontur- och hjälparhål).
- **Tid:** tidhållning i salvcykeln bedömdes som viktigt med tanke på de tillhandahållna resurserna från SKB, driftpersonalen som skötte utrymning och ventilation under jord samt besöksverksamheten. Tid kopplades till att aktiviteterna borrning, sprängning respektive skrotning skulle vara utförda på utsatta tider och avsåg främst att minimera riskerna för förskjutningar av salvcykeln och oplanerade väntetider.
- **Dokumentation:** den dokumentation som omfattades av bonussystemet var rådata från borrningen, sprängjournaler samt den dagbok som skulle föras (”Daily Log”).

#### **2.4.4 Tunneldrivningsorganisationen**

Organisationen för drivningsarbetena bestod av beställaren (SKB) och entreprenören. I figur 2-8 visas organisationen schematiskt. För beställaren arbetade delprojektledarna för Delprojekt Bergguttag respektive Bygg samt en Sprängtekniker. Dessa arbetade tillsammans med entreprenörens personal och deras respektive ansvarsområden var följande:

- Delprojektledare Bergguttag: fastställde och beslutade om strategierna för vad som skulle testas vid de olika salvorna samt tog beslut till förändringar.
- Delprojektledare Bygg: beslutade och fastställde arbetsberedningar och ansvarade för att de fastställda detaljgenomförandena utfördes som beslutat samt för upprättande av etapprapporter och sammanställning av dokumentationen för samtliga salvor.
- Sprängtekniker: ansvarade för upprättandet av borrhållnings- tänd- och laddplaner, utrustning för mätning och utvärdering av vibrationer samt tillhörande dokumentation.
- Entreprenören ansvarade för att sammanställa rådata från borrhållningen, sprängjournaler och dagbok.

Arbetet med att styra och följa upp utförandet beskrivs mer detaljerat i kapitel 3.5.



Figur 2-8. Schematisk skiss över tunneldrivningsorganisation.

## 3 Metoder

I detta kapitel beskrivs de olika metoder som har använts för att genomföra projektet, de metoder som använts för att bearbeta och kvalitetssäkra data samt de metoder som användes för att styra och kvalitetssäkra detaljutförandet.

Metoden som användes vid tunneldrivningen bestod som tidigare beskrivits av sju steg, där fokus varit på de tre stegen borrhning, laddning och sprängning se figur 3-1. Borr-, ladd- och tändplaner, skisser som visar planen för hur det ska borraras, laddas och vilket hål som ska ha vilken sprängkapsel, upprättas med målet att tillgodose de krav som ställs på tunneln i form av geometri, kontur, skadezon och omgivande miljö.

Utförandet av den valda drivningsmetoden beskrivs nedan under avsnitt 3.1, 3.2 och 3.3.

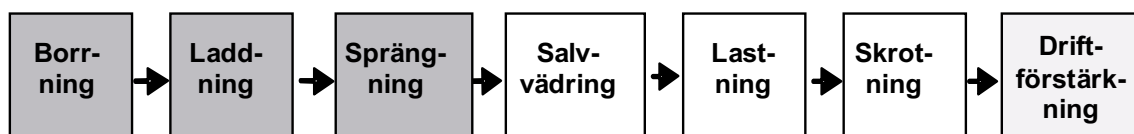
### 3.1 Borrhning

För att det praktiskt ska gå att driva en tunnel utan att minska tunnelarean så behöver man vid borrhningen vinkla hålen på tunnelgaveln, så att slutpunkten på borrhålet kommer utanför teoretisk kontur, så kallad stickning, se figur 3-2 och figur 3-3 där konturhålen kan ses utvinklade. Stickningen medför att efter sprängningen erhålls en tunnelgavel som har en större area än teoretiskt och på så sätt ges utrymme för att kunna få plats med riggens bommar och komma åt att borra på konturlinjen vid nästa salva. Om inte borrhålen vinklas kommer tunnelarean att minska vid varje sprängning och påhuggen kommer att hamna innanför teoretisk kontur. Stickningen är på så sätt en övervägning mellan att få lite överberg, mot att riskera att få underberg som försvårar nästkommande borrhning eller orsakar omskjutningar med förseningar som följd.

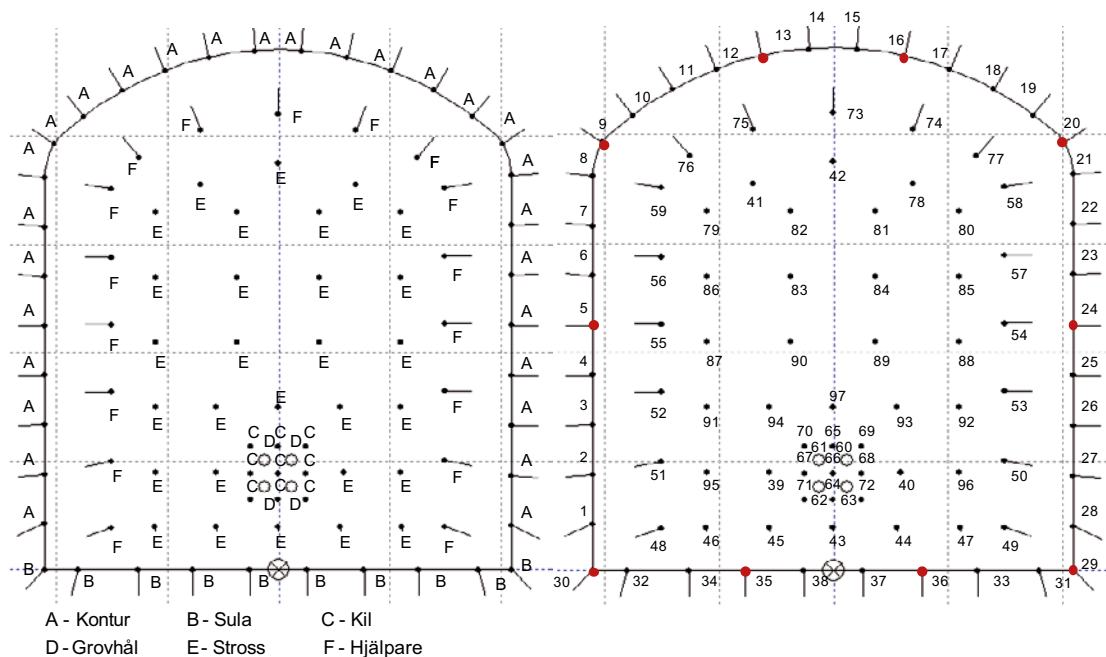
#### 3.1.1 Borrplaner

Borrplanerna som använts upprättades med erfarenheter från drivningen av TASQ-tunneln /Olsson et al. 2004/ samt enligt Modern Bergsprängningsteknik /Olofsson 2007/. Vid tunneldrivning är en fungerande kil viktig för att berget ska få en fri yta att bryta emot (principen beskrivs mer i avsnitt Tändplaner). I detta projekt bestod kilen av 4 stycken 102mm grovhål på en yta av 0,5x0,5m som var omgivna av 9 spränghål se figur 3-2. Då det alltid finns en risk att något hål inte detonerar, så var tanken att de 9 hålen tillsammans med grovhålen ändå skapade tillräckligt bra öppning för omgivande hål/berg att bryta mot. Stickningen på konturhål och hjälpare har varierat men har följt /Olofsson 2007/, där lämplig försättning (avstånd mellan olika håltyper) för 48 mm hål laddade med Dynotex 17 anges vara 0,7–0,9 m. Försök av Swedish Blasting Research Centre (Swebrec) /Olsson och Bergqvist 1995/ visar att ett ökat hålavstånd kan ge bågformade sprickor mellan hålen. Dessa sprickor kan vara mycket lömska ur stabilitetssynpunkt.

Borrplanerna upprättas i ett dataprogram (i detta fall Atlas Copcos´ s Tunnel Manager Lite) avsett för borriggens datasystem. Borrplanerna har innehållit olika antal hål, hålavstånd (avstånd mellan samma håltyp och intervalltid), försättning och håldjup under genomförandet, se vidare kapitel 4 Genomförande. Borrplanen överförs sedan till borriggen så borrooperatören kan se borrplanen på en LCD-skärm och kan navigera bommarna så dessa uppnår rätt stickvinkel samt position för borrkronan, för borrplan i grundutförande se figur 3-2.



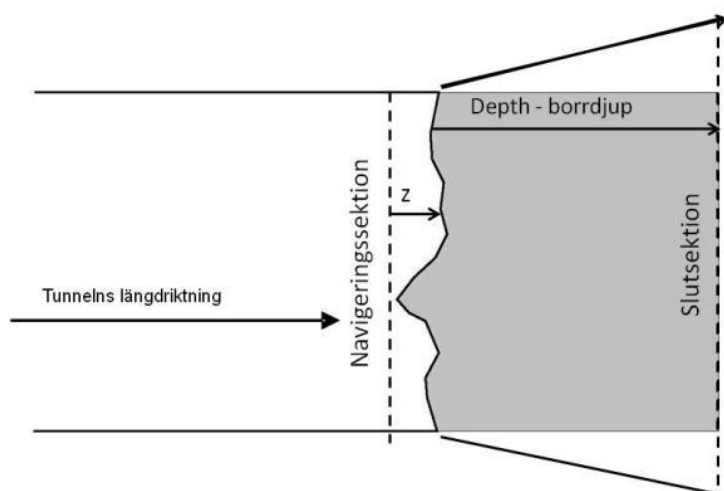
**Figur 3-1.** Processchema för drivningsmetoden "borra – spräng". De aktivitetssteg som har stått i ett särskilt fokus är gråmarkerade.



**Figur 3-2.** Exempel på Borrplan, TV: Borrplan med håltyp utmärkt, TH: Borrplan med hålnummer. Figuren visar även de rödmärkade borrhål med hålnummer som mättes in under kontrollen av borrhigen.

Positioneringen av borrhigen har skett med hjälp av en tunnellaser och totalstation, där tunnellasern sänder ut en laserstråle med teoretisk rikt och lutning för tunneln. Bommen förses med två siktplattor med hårkors som sedan borrararen positionerar bommen emot så laserstrålen korsar dessa. Bergväggen där borkkronan ansattes mättes in med totalstationen för att ge rätt längdläge i tunneln. När dessa steg är klara är borrhigen positionerad i riktning, lutning och längdläge och borrararen kan börja borra efter begärt borkdjup, mätt från en plan navigeringssektion till en plan slutsektion (figur 3-3). Detta innebär att borkhålen som sticker kommer att få en längre borklängd än skillnaden mellan navigerings- och slutsektionen. Navigeringssektionen ska ligga så nära stufven som praktiskt är möjligt om man vill maximera salvlängderna.

När borkningen är klar avslutas borkningen med att grovhål rymmes upp, se figur 3-2. Borrhigen genererar en logg efter varje salvborkning över den verkliga borkningen. Borkloggen visar koordinater, vinklar, borkning från navigeringssektion innan berg kontakt samt borkad längd i berg för respektive borkhål. Borkloggen registrerar även de hål som av olika orsaker fått avbrytas och påbörjats igen, för exempel på borklogg från salva 9, se Appendix 1.



**Figur 3-3.** Schematisk skiss över tunnel sedd från ovan. Inritat ses de mått navigeringssektion, Z- längd innan bergkontakt och Depth- borkdjup, borkad längd i berg från påhugg till hålbotten, som registreras i borkloggen.

### 3.1.2 Beräkning av specifik borrhning

För beräkning av specifik borrhning har borrhöjden i berg hämtats från borrhloggen. Summan av alla borrhöjden för de laddade hålen har delats med tunnelvolymen för varje salva. För beräkning av tunnelvolymen för varje salva har medelarean för respektive stickning 30 cm, 20 cm och 25 cm använts. Den salvlängd som användes var medelborrdjup beräknat från alla borrhål enligt borrhloggen.

### 3.1.3 Geodetisk inmätning

Utvalda borrhål i salvorna har mätts in med totalstation före laddning och sprängning. Inmätningssmetoden var att placera en teleskopisk prismastång i borrhålet med centreringsringar. Genom att mäta in prismet på stången samt avståndet till bergytan har påhuggen kunnat beräknas. Prismastången drogs sedan ut 1m och en ny inmätning gjordes. Med hjälp av dessa två positioner har riktning och lutning på hålet tagits fram, och tillsammans med begärt borrdjup så har slutpunkterna för borrhålet beräknats. Detta kallas extrapolerade slutpunkter i denna rapport. De höjd- och sidomått som fås för påhugg och extrapolerade slutpunkter är för centrum av borrhålet (diameter 48mm). Kontroller genom inmätning av hålbottnar efter sprängning har gjorts för att se precision på denna mätmetod, se kapitel 5.1.1. Vidare har jämförelse gjorts mot vad borrhloggen registrerar, resultaten från dessa redovisas under kapitel 5.2.3.

### 3.1.4 Kontroll av borrhloggen

För att kunna bedöma borrhloggens förmåga att positionera borrhkronan gjordes kontroller under salva 9–13, se figur 1-2 för salvornas läge i tunneln. Kontroller för salva 9–12 gjordes inledningsvis med hjälp av tumstock och mot den målade konturen på hålen markerade röda och gröna i figur 3-2. En bättre kontroll utfördes med geodetisk inmätning av utvalda hål vid salva 13. Kontrollen gjordes genom geodetisk inmätning av borrhstålets läge efter att den positionerats sig med hjälp av tunnel-lasern (längs med tunneln), för de två lägsta konturhålen på vardera tunnelväggen (hål nr 1 och 2 respektive 27 och 28) samt efter att hålen borrats 10 cm. Samtliga mätningar gjordes på borrhstålet. Resultaten från dessa kontroller redovisas under kapitel 5.1.2.

## 3.2 Laddning

### 3.2.1 Laddplaner

Laddplanerna som upprättats har fokuserats på att erhålla en bra kontur samt minimera skadezonen. För att minimera skadezonen är det viktigt att skadeverkan från hjälpare och strosshål inte ska tränga djupare in i berget än den från konturhålen. Spricklängden fördubblas nära nog om laddningsmängden fördubblas /Olsson och Bergqvist 1995/. Det är också stor skillnad på vilken typ av sprängämne som använts då detonationshastigheten, vilken generar olika borrhålsttryck, ger olika längd på sprickor i berget. Försök av Swebrec /Olsson och Bergqvist 1995/ visar att om man jämför 22 mm Dynotex med motsvarande dimension av patronerad emulsion ökar spricklängden med 50 % för emulsionen.

För att ha bra kontroll på sprängämnesmängder och sort, har projektet använt patronerade laddningar. I konturen har ett ”svagare” sprängämne, Dynotex 17 använts. Detta är det vanligast förekommande patronerade sprängämnet för att spränga skonsamt. Hjälparna har också laddats med kontursprängämnet Dynotex 22 för att minimera risken för påverkan i berg längre ut från konturen än vad Dynotex 17 kan förväntas åstadkomma. Sammanställning av föreskrivna sprängämnen se tabell 3-1.

**Tabell 3-1. Sammanställning av data för föreskrivna sprängämnen (nettovikter, d.v.s. exkl. emballage).**

Namn	Typ	Dim x Längd [mm]	Vikt/laddning [kg]	Viktstyrka [%]
Dynomit 30	Bottenladdning	30x380	0,4	100
Nobel Prime 15	Bottenladdning	15x150	0,025	120
Dynorex 25	Pipladdning	25x1 100	0,68	100
Dynotex 22	Pipladdning	22x1 000	0,37	75
Dynotex 17	Pipladdning	17x460	0,095	75



Frikoppling har också stor betydelse för skadezonen, då stor frikoppling ger mindre spricklängd, vilket beror på att borrhålstrycket sjunker. Försök av Swebrec /Olsson och Bergqvist 1995/ visar att man med Dynotex 22 mm i ett 64 mm hål får en spricklängd på ca 0,2 m. Om ett 24mm hål däremot laddas med Dynotex 22 mm, dvs frikopplingsgraden reduceras till nästan 0%, så femfaldigas spricklängden.

Vatten i borrhålen påverkar också spricklängden, genom att borrhålstrycket ökar. Försök av Swebrec /Olsson och Ouchterlony 2003/ där Dynotex 22 mm laddats i ett 64 mm hål med och utan vatten, visar att spricklängden kan bli 3–4 ggr längre i ett vattenfyllt mot ett torrt laddat hål.

Frikoppling har uppnåtts genom att använda centreringsringar i kontur, hjälpare samt sulhål. Då tunneldrivningen utförts i ett förinjekterat berg så har inte problematiken med vattenfyllda hål uppstått utan de har varit torra. Inledningsvis planerades uttagningsslängderna till 4–4,25 m. En laddplan upprättades för 4 m salvor, se tabell 3-2. Laddningsmängden kan bedömas ligga lite i överkant, men är en följd av antalet hål. Dock bedömdes laddningsmängd tillsammans med antal hål och tändplan ge en bra fragmentering av berget utan att riskera kontur eller skadezon, med resultatet att berget blev lättlastat.

**Tabell 3-2. Översiktlig laddplan baserad på en 4 m salva.**

Håltyp	Antal [st.]	Bottenladdning	Pipladdning	Laddningsmängd [kg/hål]	Total laddning [kg]
Kil	9	Dynomit 30	Dynorex 25	2,6	23,6
Stross	32	Dynomit 30	Dynorex 25	2,3	74,2
Sulhål	10	Dynomit 30	Dynorex 25	2,6	26,2
Hjälpare	18	Dynomit 30	Dynotex 22	1,7	30,8
Kontur	28	Nobel Prime 15	Dynotex 17	0,8	23,0

### 3.2.2 Laddning

De borrhålen blåstes rena från kax och vatten med hjälp av högtrycksluft och en kontroll genomfördes för att se att det inte fanns inläckage i hålen. Sedan applicerades tändare i bottenladdningen, som sedan fördes in i borrhålet till botten och packades med hjälp av en laddkäpp (rundstav av trä).

Laddkäppen används även för att föra in resterande laddningar (pipladdning). Efter att sprängämne laddats, trycktes det in ett laddlås (frigolit plugg som är delad och låser när laddkäppen slås mot den) och resterande längd packades med grus av kornstorlek 0–8 mm i den oladdade delen av borrhålen (så kallad förladdning). Tanken med detta var att minimera risken att laddningarna åker ur hålet, vilket kan uppstå när närliggande hål detonerar. Syftet var också att få mer sprängenergi i varje borrhål, främst i hjälpare och konturhål som laddades svagare.

Då det inte är tillåtet att kapa alla sprängämnen på grund av arbetsmiljöaspekter med bland annat risk för stänk i ögonen så har rörladdningarna (Dynotex och Dynorex) endast delats vid skarvarna. Papperspatronerna (Dynomit) har däremot kunnat delas, vilket möjliggjort att använda en halv patron som bottenladdning i konturen. För att få kontroll på laddningsmängderna, så mättes utvalda borrhål av kontur, sul- och hjälparhål in i salva 17–20. Mätningen gjordes manuellt och på längd av borrhål före och efter packad bottenladdning samt på längd på förladdningen, se vidare avsnitt 5.3. Detta har sedan legat till grund vid beräkningar av laddningen se avsnitt 3.2.3.

### 3.2.3 Beräkning av laddningar

Vid beräkning av den specifika laddningen används medelborrlängden från borrhållagen för respektive håltyp och salva. De verkliga värdena på längd och vikt användes för respektive sprängämne. Vidare användes resultaten från inmätningarna i salva 17–20, av medelpackning bottenladdning och medelförladdningslängden för respektive håltyp.

Det teoretiska antalet laddningar beräknades, där det exakt beräknade värdet för vad som kunde laddas användes utan att ta hänsyn till att bara vissa laddningar kan delas. Baserat på vilka typer av laddningar som kan delas och vilka som endast kan läggas in hela bedömdes utifrån vad som var mest logiskt att genomföra hur många laddningar som maximum och minimum kunde laddas i borrhålet för att behålla förladdningslängden.

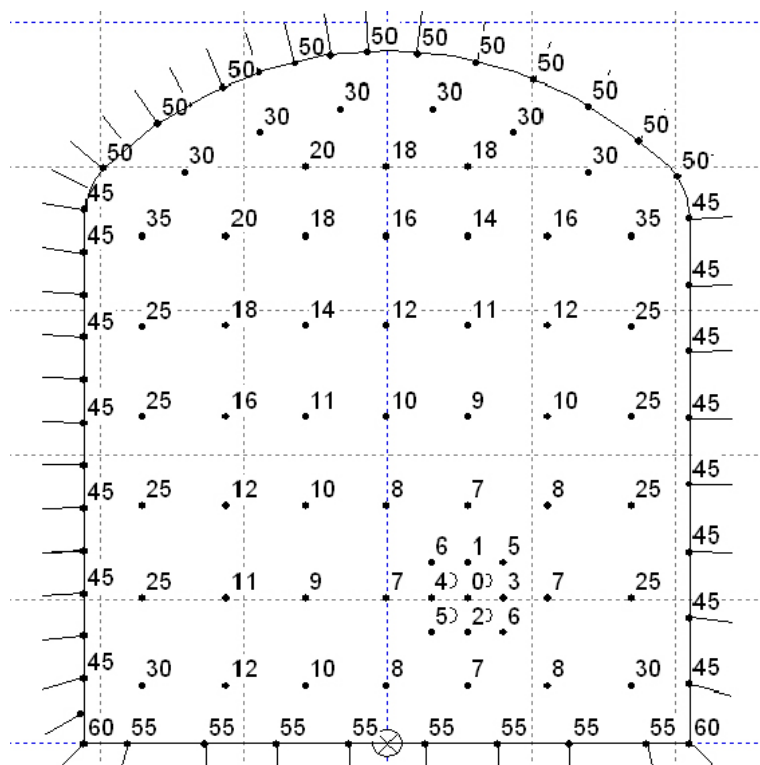
För beräkningen av den specifika laddningen för respektive salva har medelarean för respektive stickning 30 cm, 20 cm och 25 cm använts. Den salvlängd som används var medelborrdjup enligt borrhoggen beräknat på alla borrhål i respektive salva. Den specifika laddningen representeras härnäst av den största mängden laddning som kan användas och ett variationsintervall fås som representerar den avvikelse som kan förekomma ner till den minsta laddningsmängd som kan användas.

### 3.2.4 Tändplaner

Tändplanerna som upprättats har varit fokuserade på att ge bra förutsättningar för att berget ska få fritt utslag samt att vibrationerna inte översteg de gränsvärden som fanns för utrustning (datorer, transformatorer etc) i sprängningarnas närhet. För att uppnå detta har hänsyn tagits till att de pyrotekniska sprängkapslarnas (NONEL) nominella tid innehåller en viss spridning som kan påverka kontur, skadезon och vibrationer se tabell 3-3. För ett exempel på en tändplan upprättad för pyrotekniska sprängkapslar i grundutförande se figur 3-4.

**Tabell 3-3. Intervallnummer och fördröjningstider i den använda tändarserien.**

LP-serien har följande nominella fördröjningstider					
Nr. 0	25 ms	Nr. 7	700 ms	Nr. 16	1 600 ms
1	100 ms	8	800 ms	18	1 800 ms
2	200 ms	9	900 ms	20	2 075 ms
3	300 ms	10	1 000 ms	25	2 500 ms
4	400 ms	11	1 110 ms	30	3 000 ms
5	500 ms	12	1 235 ms	35	3 500 ms
6	600 ms	14	1 400 ms	40	4 000 ms
				Nr. 45	4 500 ms
				50	5 000 ms
				55	5 500 ms
				60	6 000 ms

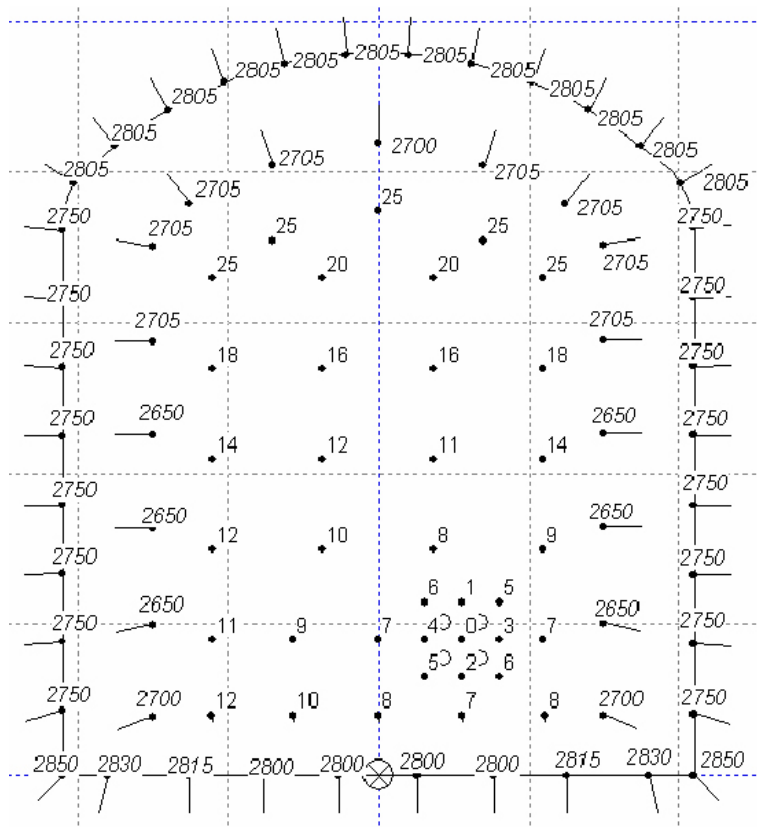


**Figur 3-4. Tändplan med NONEL i grundutförande.**

Principen med tändplanen är att ge fritt utslag mot en öppning i salvan. För att åstadkomma detta borras grovhål i salvan tillsammans med en förtätad borring runt dessa, den så kallade kilen. Tändföljden blir att berget runt kilen bryts först, och sedan i en tidsföljd så att berget lossas och hinner förflyttas innan nästa berg lossas. Det är viktigt att en sprängkapsel med längre fördröjningstid inte detonerar innan en med kortare. Detta med anledningen att då blir brytningsmönstret ogynnsamt och problem som till exempel kvarstående berg, ökad skadezon, oönskad geometri och i vissa fall ökade vibrationer uppstår.

För att minska tidigare beskrivna problem samt få bra geometri och minimera skadezonen användes de elektroniska sprängkapslarna (i-kon) i konturen för salvorna 9–20. De elektroniska sprängkapslarna har en betydligt bättre exakthet i tid för detonation. Se figur 3-5 för exempel på tändplan.

För att reducera vibrationerna för känslig utrustning i närheten, så tillämpades beräkningar av samverkande laddningar för NONEL LP enligt Modern Bergsprängningsteknik /Olofsson 2007/. Enligt Olofsson beräknar man att 1/4 tändare med intervall nr 1–20 detonerar samtidigt och 1/6 med intervall nr 25–60. Tändplanen tillsammans med laddplanen, gav med denna beräkning den högsta samverkande laddningen, se vidare kapitel 5.3 och Appendix 11. Samverkande laddningsmängd har beräknats för varje tändningsintervall utifrån den teoretiska laddningsmängden för respektive håltyp. För de elektroniska tändarna har den samverkande laddningen beräknats genom att tändare med samma intervalltid adderats. Tändspridningen för NONEL med samma nominella tid enligt leverantören, se tabell 3-4.



**Figur 3-5.** Tändplan med användning av i-kon. Tändare 0 t.o.m. 25 är NONEL LP serien. Tändare 2 650 t.o.m. 2 850 är elektronikkapslar.

**Tabell 3-4. Tändspridning i tidigare NONEL LP.**

Intervall nr	Fördröjningstid [ms]	Tändspridning [± ms]
0–2	25–200	5
3–5	300–500	8
6–10	600–1 000	30
11–20	1 100–2 000	50
25–60	2 500–6 000	150

### **Tändapplicering**

#### **NONEL**

Det system som använts för de pyrotekniska tändarna är NONEL LP. Sprängkapselserien är designad speciellt för ortdrivning och serien är numrerad 0–60 (25–6 000 ms), intervallen mellan sprängkapslar är 75–500 ms. Tändarna har applicerats tillsammans med bottenladdningarna, enligt stycke 3.2.2 och har följt de tändplaner som togs fram. Varje sprängkapsel är försedd med NONEL slang (plastslang som fungerar som signalledare). Dessa slangar dras ut genom borrhålen där de sedan sammankopplas med en NONEL -buntupptändare, till vilken man kan koppla maximalt 20 NONEL -slangar. Dessa buntar tänds sedan upp med hjälp av kopplingsblock och med ledare till entändapparat. För mer information se [www.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.com).

#### **i-kon**

Det system som använts för elektroniska sprängkapslar är i-kon<sup>TM</sup>-systemet, som består av programmerbara, digitala sprängkapslar och styrutrustning – i-kon<sup>TM</sup> Logger och Blaster. De elektroniska sprängkapslarna har applicerats på samma sätt som de pyrotekniska, men med skillnaden att kapslarna har kopplats till varandra i den ordningsföljd som initieringstiden ska programmeras. i-kon<sup>TM</sup> kapslarna är fullt programmerbara och försedda med en digital krets (chip) och en kondensator, vilket gör att de kan fungera oberoende av varandra när tändsignalen har skickats. Programmeringen görs med en så kallad Loggerenhet som har en förprogrammerad tändplan. Det går även att programmera kapslarna manuellt med hjälp av loggern utan förprogrammerad tändplan eller att förprogrammera kapslarna innan applicering i borrhål. Projektet valde dock att ha en förprogrammerad tändplan. När programmeringen är klar kopplas buntupptändare från NONEL tändarna tillsammans med upptändningen till de elektroniska sprängkapslarna. Därefter drogs ledare till säker plats, där man med hjälp av loggern kunnat kontrollera att i-kon tändarna är rätt programmerade, genom att loggern läser av och lagrar kapslarnas unika ID-nummer och inställd fördröjningstid. Med enbart Logger-enheten kan man dock inte initiera kapslarna, utan en i-kon<sup>TM</sup> Blaster måste kopplas till loggerenheten. Innan sprängning gör även Blastern ett sista test genom att kontrollera att den har kontakt med tändarna. Efter detta är det klart för sprängning.

### **3.3 Sprängning**

Försök av Swebrec visar att skadezonen minimeras om hålen initieras momentant (lika tändarenummer initieras samtidigt) i konturen /Olsson och Ouchterlony 2003/. De föreslog att skillnaden i intervalltid måste vara < 1 ms mellan närliggande hål för att man ska få kortast möjliga sprickbildning. Detta kan endast åstadkommas med elektroniska sprängkapslar, som har exaktare intervalltid (initiering med samma intervallnummer) än de med pyroteknisk fördröjning. Noggrannheten i precision ligger på ± 0.01% av programmerad intervalltid. Detta ska jämföras med NONEL LP som har en noggrannhet på ± 2–4% beroende på intervalltid. Sprängningarna har som tidigare beskrivits i avsnitt 3.2.4 utförts med både pyrotekniska och elektroniska tändare och för att bedöma skillnader mellan användandet av dessa tändare så har mätningar gjorts av vibrationer och luftstötvtåg i samband med sprängningen.

Efter sprängning har framkastan (hur många meter berget förflyttat sig från tunnelgaveln) och kvarstående borripipor (hålbottnar och synliga borripipor) samt stufflägen beräknats och mätts in. Dessa mätningar har sedan legat som grund för förslag till förändringar.

### 3.3.1 Vibrationer

I närheten av området där tunneldrivningen genomfördes fanns vibrationskänslig utrustning i form av datainsamlingsenheter, datorer, transformatorer etc. Äspölaboratoriet har satt gränsvärden för tillåtna vibrationer. Vibrationsmätningar gjordes på 5 punkter se figur 3-6.

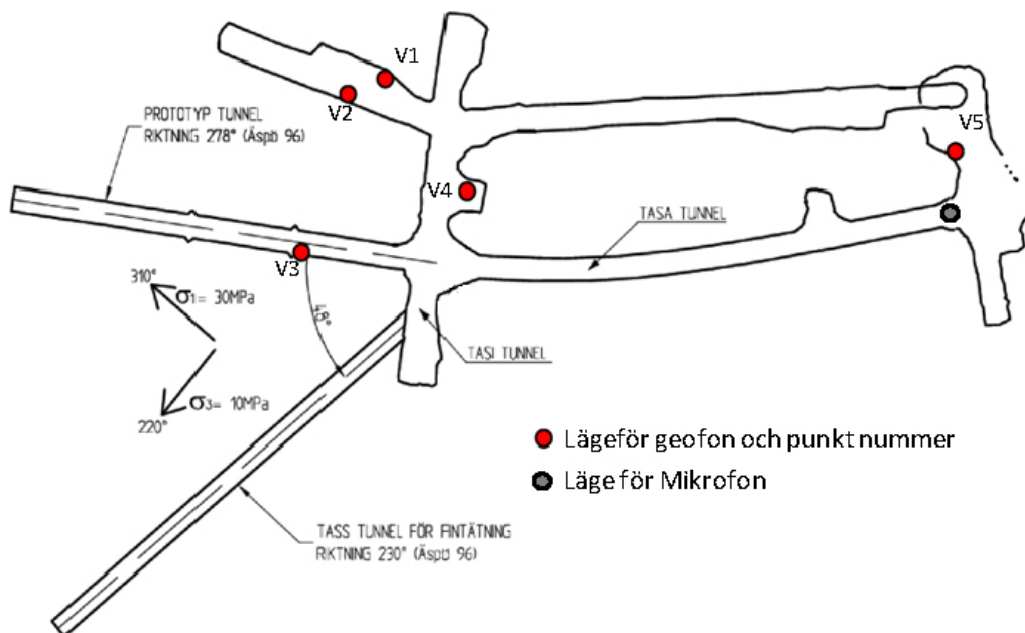
Mätningarnas syfte var främst att ha kontroll så att inte vibrationerna överskred gränsvärdena. De dimensionerande mätpunkternas lägen med de tillhörande gränsvärdena visas i tabell 3-5. För avstånd mellan vibrationsmätare och respektive salva se Appendix 2. Vibrationsvärdena har analyserats vidare med avseende på tändarspridning och samband vibrationer, avstånd och samverkande laddning. Detta har genomförts på vertikala svängningshastigheten som uppmättes av mätpunkt 3, vibrationsmätaren i betongpluggen (V3).

Tabell 3-5. Vibrationsgränsvärden för dimensionerande mätpunkter.

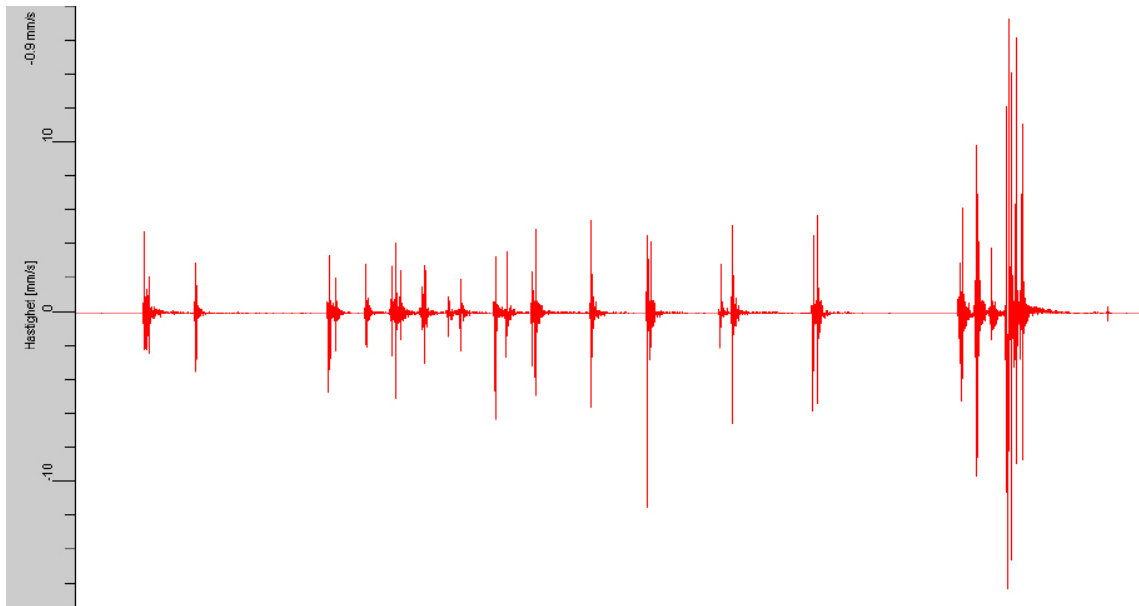
Mät punkt	Gränsvärde	Mät riktning	x	y	z
1. Server i mätcontainer (V1)	2,5 m/s <sup>2</sup>	Vertikal Acceleration	7 303,3	1 949,8	-447,8
2. Instrumenttavla triaxiell mätare (V2)	30 mm/s	Vertikal svängningshastighet	7 298,2	1 939,6	-447,4
3. Betongplugg triaxiell mätare (V3)	30 mm/s	Vertikal svängningshastighet	7 265,7	1 930,0	-447,2
4. Transformator (V4)	30 m/s <sup>2</sup>	Vertikal Acceleration	7 279,8	1 966,3	-448,4
5. Hissport triaxiell mätare (V5)	30 mm/s	Vertikal svängningshastighet	7 286,3	2 075,9	-448,9

#### Tändarspridning

I AvaNet som är den mjukvara som medföljer vibrationsutrustningen Ava 95 så har det varit möjligt att zooma och panorera fritt i vibrationskurvan som genereras, för exempel på vibrationskurva från salva 9 se figur 3-7. Det har varit möjligt att sätta en tidslinje med valfri startpunkt för att enklare lokalisera enskilda tändarintervall genom att utgå ifrån elektronisprängkapslarnas exakthet i tid för att säkerställa intervaller på pyrotekniska tändare. I och med det har det varit möjligt att lokalisera max vibration till rätt intervall. För salvor utan elektroniktändare är det osäkert att hitta rätt intervaller då spridningen för tändare är stor och uteblivna intervall förekommer.



Figur 3-6. Vibrationsmätpunkternas och luftstötsvägsmätarens placering.



Figur 3-7. Exempel på vertikal svängningshastighetskurva för salva 9.

### Samband vibrationer, avstånd och samverkande laddning

Amplitud – avståndsberoende beräknades i termerna av platsspecifika konstanterna A och  $\beta$  i en skallagsformel ursprungligen framtagen av Langefors enligt 3-1,

$$PPV(R, q) = A \cdot q^\alpha / R^\beta \quad (3-1)$$

Där PPV (Peak Particle velocity, [mm/s]) är svängningshastigheten, R(m) är avståndet från laddning till mätutrustningen och q(kg) är vikten för en enskild laddning. Formeln kan oftast förenklas till kvadratrotsskalning, 3-2.

$$R^\beta / q^\alpha \approx (R/q^{0.5})^\beta \quad (3-2)$$

Genom att sätta  $\beta/\alpha = 0.5$ . Detta är ofta en god uppskattning. Samma formel används ofta även till salvor där flera laddningar initieras under samma tändintervall. Den största samverkande laddningen  $q_m$  används och skalningsformeln kan skrivas som 3-3

$$PRV/R, q_m) = A / (R/q_m^{0.5})^\beta \quad (3-3)$$

Genom att logaritmera uttrycket fås formeln 3-4

$$\log PPV \text{ Log } A + \beta \cdot \log \frac{R}{q_m^{0.5}} \quad (3-4)$$

Där A är skärningspunkten,  $\beta$  är lutningen och  $(R/q_m^{0.5})$  är skalfaktorn. Konstanterna A och  $\beta$  beräknades fram genom att en regressionsanalys utfördes. Det normala förfaringssättet är att använda sig av det högsta värdet i salvan för att plotta mot den samverkande laddningen. Dock har projektet plottat alla håltyper mot den samverkande laddningen. För att eliminera vissa osäkerheter har ej resultat där vibrationsnivån understiger 0,5 mm/s använts. Detta på grund av att instrumentets upplösning. Instrumentet har två mätområden 0–27 mm/s och 0–270 mm/s och för att undvika att mätaren ”bottnar” har den varit inställd på 0–270 mm/s vilket medför att man tappar i noggrannhet vid låga nivåer (< 1mm/s) och att brus nivån ligger nära 0,5 mm/s.

### 3.3.2 Luftstötståg

Luftstötstågmätningar utfördes för att se om det gick att mäta skillnader i luftstötstågen när olika ladd- och tändplaner användes samt olika förladdningar och om det fanns samband med vibrationsmätningarna. Utrustningen placerades enligt figur 3-6.

### 3.3.3 Framkast

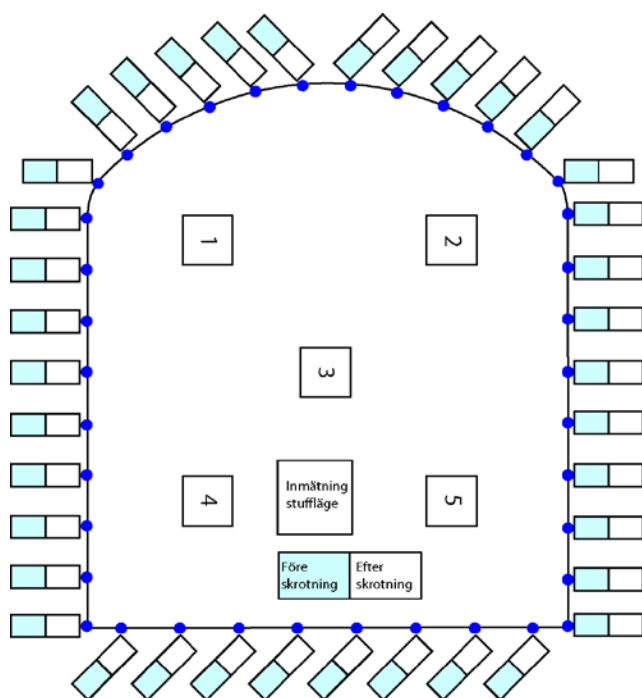
Efter sprängningarna har längden på bergmassornas utbredning registrerats, genom att mäta in salvhögsfrontens placering mot inmätt stuff innan sprängning. Detta för att få information om hur långt från stuff man kan förvänta sig att bergmassorna hamnar. Mätningen av framkast har gjorts med hjälp av stuffläget och sektioner uppmålade på tunnelväggen. Detta gör att bedömningarna är rätt grova och noggrannheten ligger på  $\pm 2$  m.

### 3.3.4 Registrering av borrhålor

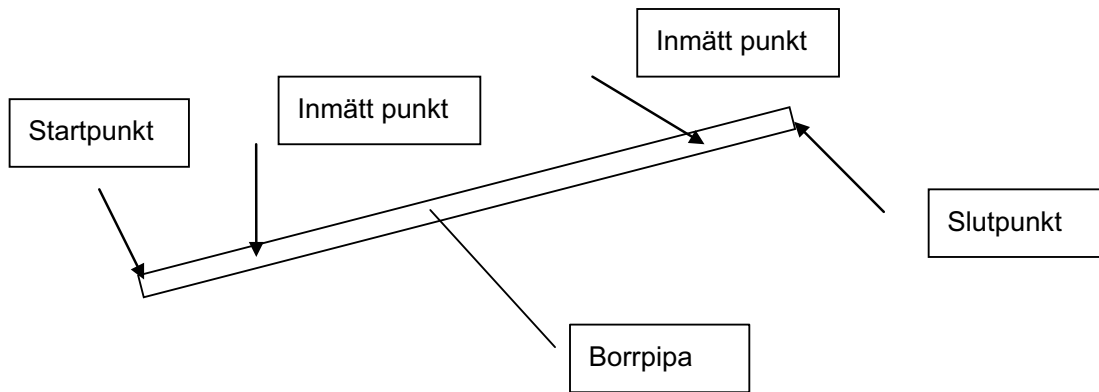
Registrering av synliga borrhål i kontur så kallade borrhålor, har utförts visuellt och med hjälp av geodetisk mätning för att ge ett mått på sprängresultatet. Detta är en enkel metod som anger antal och andel. Tyvärr säger antalet synliga borrhålor inget om sprickbildningen men brukar anses som ett relativt mått på skonsam sprängning. Syftet var att se skillnaden med användning av NONEL mot i-kon med momentan upptändning.

Den visuella karteringen utfördes i samband med drivningen och innebar att de borrhålor som var synliga i en nyss uttagen salva markerades med ett "X" på en särskild blankett se figur 3-8, om de bedömdes vara 50 cm eller längre. Samtliga observationer gjordes efter skrotning.

Den geodetiska mätningen av synliga borrhålor har utförts med totalstation med lasersikte och direktmätare (prismalös avståndsmätning). Mätningen innebär att man med hjälp av lasersikte riktar på två punkter i varje del av en synlig borrhåla, för att sedan addera de synliga längderna för specifikt borrhål, för schematisk skiss se figur 3-9. Startpunkterna som användes var de inmätningar som utfördes innan laddning och sprängning. Mätningen utfördes efter det att hela tunneln var utsprängd och skyddsskrotningar utfördes. Resultatet från den geodetiska inmätningen av synliga borrhålor i form av identifierade borrhål och sammanslagen längd synlig borrhåla, har sedan jämförts mot registrerat borrhåldjup i berg från borrhållagen för respektive borrhål för att beräkna andel synlig borrhåla. Vidare har medelvärdet för andel längd synlig borrhåla beräknats för salva 3–8 där pyrotekniska tändare användes samt för salva 9–20 där elektroniska tändare användes. Andel i procent av antal synliga borrhålor per salva har även beräknats samt medelvärdet för antal synliga borrhålor för salva 3–8, respektive för salva 9–20.



**Figur 3-8.** Visuellt kartering av synliga borrhålor genomfördes genom kryssmarkering enligt figur. Figuren visar även placeringen av de punkter som mättes in på tunnelgaveln.



**Figur 3-9.** Schematisk skiss över borripipan och de punkter som mätts in.

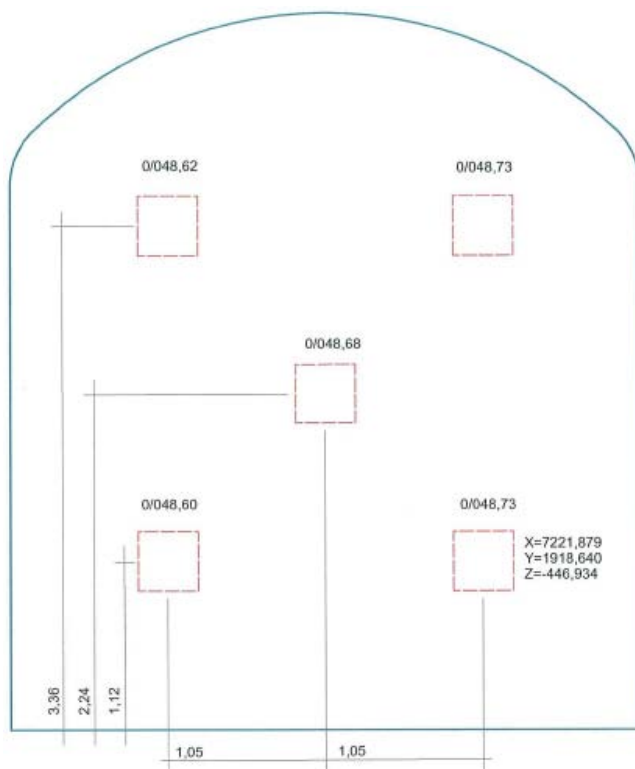
Den geodetiska inmätningen av synliga borripipor och hålbottnar har också använts för att se precision på mätmetoden med extrapolerade slutpunkter, se Geodetisk inmätning 3.1.3. Mätningarna har beräknats om för att få centrum av borrhålet i kontur.

### 3.3.5 Inmätning av tunnelgavel

Geodetiska inmätningar har gjorts på fem punkter (figur 3-10) på varje gavel så kallad stuff, för att kunna beräkna tunnellängd per salva så kallad indrift. Fempunktsinmätningen har senare också använts för att definiera salvornas sektionsmått i tunneln samt för kontroll av borrigg se avsnitt 5.1.

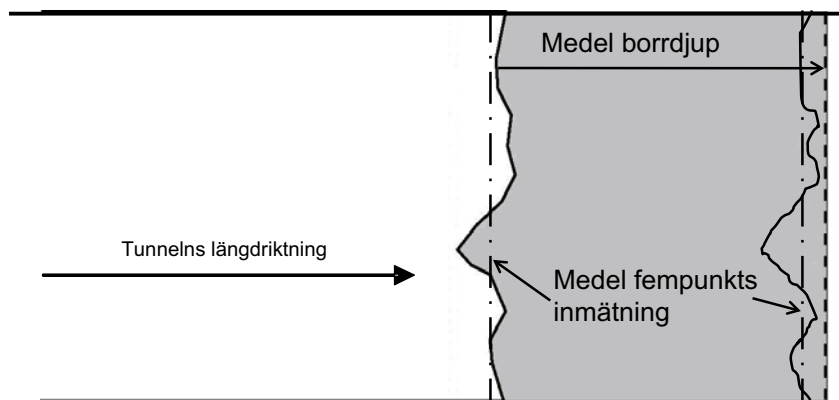
### 3.3.6 Indrift

Vid beräkning av indriften används differensen mellan de inmätta stufflägena från den geodetiska fempunktsinmätningen, som sedan delades med medelborrlängden från borrlaggen beräknat på alla borrhål för respektive salva se schematisk skiss figur 3-11.



**Figur 3-10.** Exempel på var de fem punkterna mättes in på stuff.





Figur 3-11. Schematisk skiss över de värden som använts vid beräkningen av indrift.

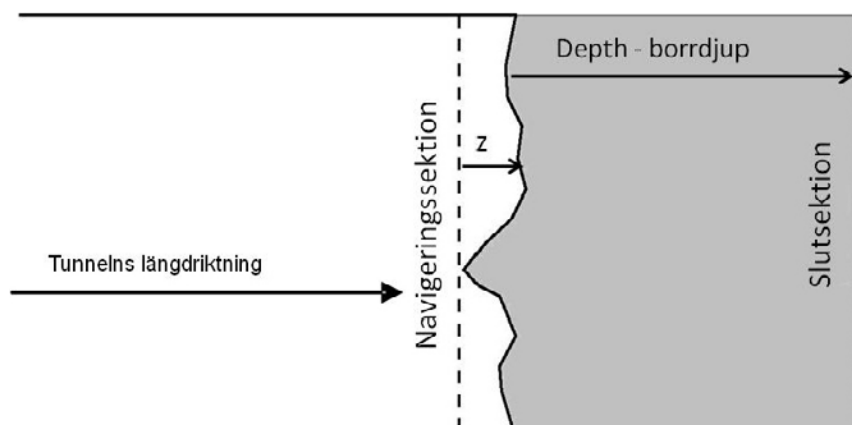
### 3.4 Metoder för bearbetning av data

#### 3.4.1 Borrdatab

Den borrhloggen som borrhiggen genererar efter varje salvborrning och som visar hur riggen har registrerat den verkliga borrhningen, har gått igenom och kontrollerats. För exempel på borrhlogg från salva 9, med medföljande förklaring, se Appendix 1. Borrhål som har kunnat identifieras som hål som av olika orsaker fått avbrytas och påbörjats igen har exkluderats från fortsatta beräkningar.

Som första steg i genomgång av borrhloggen identifierades de olika håltyperna; konturhål, hjälparhål och strosshål. Därefter har medellängden för varje salva beräknats för parametrarna  $Z$  (borrad längd innan bergkontakt) och för borrhjup. Medellängden har beräknats för alla hål, respektive för varje håltyp. För schematisk skiss över parametrarna se figur 3-12. Därefter har navigeringssektionen (den sektion som angavs vid navigeringen) adderats till  $Z$  och borrhjup för att beräkna slutsektion för respektive hål, varefter även medelvärdet beräknades för alla hål och respektive håltyp. För erhållna värden för varje salva se Appendix 3.

De värden som har erhållits från borrhloggen har sedan kunnat användas för att identifiera och kontrollera hur bra riggen kan registrera kontakt med bergyta, genom att jämföra borrhiggens registrering av bergyta (navigeringssektion +  $z$ ) mot den geodetiska inmätningen av fem punkter på stoff för respektive salva.



Figur 3-12. Schematisk skiss av de längdmått som erhålls från borrhloggen Navigeringssektion,  $Z$ -borrad längd innan bergkontakt och Depth- borrhjup samt när dessa tre adderats, den beräknade slutsektionen.

För att kontrollera hur bra borrhigen kan mäta in borrarad längd i berg har borrhjupet jämförts med de kontroller som gjordes med laddkäpp under salva 17–20. Därefter har kontroller gjorts på hur bra borrhigen kan ta sig till sin begärda slutsektion (borrkronans läge vid borrhålsbotten), det vill säga den beräknade slutsektionen från borrhigen då längd borrarad innan bergkontakt samt borrhjup adderats till navigeringssektion. Den beräknade slutsektionen från borrhigen har jämförts med de inmätningar av hålbotten som har genomförts efter sprängning i samband med inmätning av synliga borrhjup.

För vidare beräkningar har sedan borrhogens registrering av borrhjup använts för respektive borrhål och salva, eftersom borrhogen ger mest underlag. Då beräkningar har gjorts på respektive håltyp har borrhogens medelborrdjup för respektive håltyp använts. För att representera ett medelborrdjup per salva har medeldjup för alla hål använts. Vid fortsatta beräkningar kommer den geodetiska fempunktsinmätningen att representera sektionerna för salvgränserna.

### 3.4.2 Borrhprecision och borrhnoggrannhet

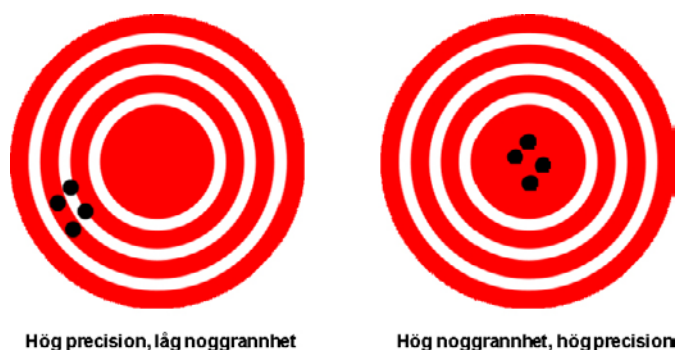
Den geodetiska inmätningen av centrum av påhugg och extrapoleringen av borrhålens slutpunkter har använts för att undersöka borrhnoggrannhet och borrhprecision. De erhållna värdena det vill säga höjdmått (Y-koordinater) och sidomått (X-koordinater) för borrhålens placering från den geodetiska inmätningen, har använts för att jämföra mot den teoretiska placeringen av borrhålen enligt borrhplanen. Utifrån den jämförelsen har det radiella avståndet som borrhålet avviker från den teoretiska placeringen kunnat beräknas fram samt med vilken vinkel borrhålen avviker i X-Y-planet. Vinkeln har använts för att undersöka om borrhålet hamnat innanför den teoretiska konturen.

Hur bra borrhningen har utförts har bedömts i precision och i noggrannhet. Precision är ett mått på hur samlad träffbilden är och noggrannheten är hur nära den teoretiska träffbilden man lyckats borra hålen, se figur 3-13.

Detta har gjort det möjligt att se avvikelser samt hur repeterbart utförandet varit.

Längden från centrum som borrhålet avviker från den teoretiska placeringen (det så kallade radiella avståndet) har använts för att beräkna medel och standardavvikelse per salva samt även per borrhål. Detta har genomförts så att man kan separera och jämföra borrhnoggrannheten för höger respektive vänster bom, samt även kontur, vägg, anfang/tak, och sula.

Utifrån den ursprungliga träffbilden från mål och krav för borrhningsutförande, där ett borrhål ej tilläts avvika mer än  $\pm 5$  cm längs avsedd kontur och 0–10 cm utanför kontur har projektet arbetat fram en ny teori för att selektera ut godkänd respektive ej godkänd träffyta. För att klassificera borrhålens placering för påhugg har träffbildsindelningar skapats utifrån måttet 2,4 cm vilket motsvarar borrhkronans radie, se tabell 3-6. Ett borrhål där borrhkronan har tangerat det teoretiska borrhålens centrum klassificeras som guld det vill säga en cirkel med radie 2,4 cm. Om ett borrhål tangerar det teoretiska borrhålet anses borrhålet ha silverplacering, det vill säga den yttre sektorn upp till cirkelradien av 4,8 cm.



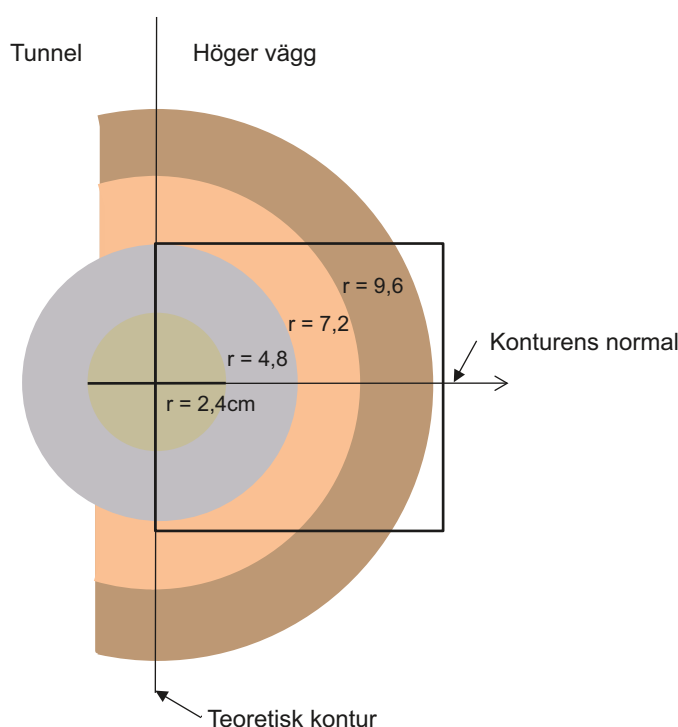
Figur 3-13. Schematisk skiss över träffbilder.

Då ett borrhål kan förflyttas längs avsedd kontur utan att vara innanför kontur har två ytterligare cirkelsektorer med radie 7,2 cm. och 9,6 cm skapats. Detta innebär att ett borrhål anses som godkänt om borrhålets tangerar den teoretiska punkten eller om borrhålets tangerar den teoretiska tunnelväggen och avståndet till den teoretiska punkten ej överskrider en cirkelradie på 9,6 cm. Att avståndet inte ska överstiga 9,6 cm är baserat utifrån den ursprungliga träffbildens med 0–10 cm i sidled, men med borrhålets radie på 2,4 cm som ursprung. Allt utanför dessa beskrivna cirkelsektorer anses som innanför kontur eller att avståndet överskrider, det vill säga ej godkänd träffyta. För schematisk skiss över cirkelarna för guld- och silverplacering samt cirkelsektorerna med radie 7,2 cm samt 9,6 cm se figur 3-14.

För borrhålens slutpunkter finns samma kategorisering, guld, silver, brons och radiellt avstånd < 9,6 cm, dock gäller hela cirkelns yta, det vill säga inga cirkelsektorer har skapats för att identifiera innanför teoretisk kontur. Två kategorier har även lagts till, radiellt avstånd < 12 cm samt radiellt avstånd < 14,4 cm för att använda sig av samma indelning som för påhuggen med 2,4 cm steg. När avståndet överskrider 14,4 cm så anses borrhålet ha ej godkänt träffyta se tabell 3-6.

För att selektera ut om ett påhugg har hamnat innanför kontur i de datamängder som har erhållits, har de vinklar som utgör vinkelgränsen för cirkelsektorerna med radie 7,2 och 9,6 cm beräknats för respektive borrhål, se Appendix 4 för genomförda beräkningar för klassificering av borrhål i träffbildsindelningar.

Borriggen ger även X- och Y-koordinaterna för sidomått och höjdmått för alla borrhålen. Dessa har använts för att jämföra med den geodetiska inmätningen och den teoretiska borrhålsplaceringen. Utifrån X- och Y-koordinaterna, *Angle*- stickvinkel mellan påhugg och hålbotten, *Dir*- Stickriktning mellan påhugg och hålbotten, *AngleEnd* stickvinkel vid borrslut och *Dir.End*- stickriktning vid borrslut (se Appendix 1 för exempel på borrlagg från salva 9), har även borriggens X- och Y-koordinaterna för sidomått och höjdmått för alla borrhålens slutpunkter kunnat beräknats.



**Figur 3-14.** Träffbildsillustration över cirkel och cirkelsektorindelning för klassificering av godkända eller icke godkända placeringar av borrhålens påhugg. Inritat är även konturens normal. Den svarta rutan motsvarar den ursprungliga träffbildens med ± 5 cm längs avsedd kontur och 0–10 cm utanför kontur.

**Tabell 3-6. Tabellen visar den klassificeringen av borrhålen som använts samt indelningen i godkänd respektive ej godkänd träffyta för påhugg respektive slutpunkter.**

Påhugg						
Godkänd träffyta				Ej godkänd träffyta		
GULD	SILVER	BRONS				
Radiellt avstånd < 2,4cm	Radiellt avstånd < 4,8 cm	Radiellt avstånd < 7,2 cm	Radiellt avstånd < 9,6 cm	Innanför teoretisk kontur	Avstånd överskrider 9,6 cm	
Slutpunkter						
Godkänd träffyta						Ej godkänd träffyta
GULD	SILVER	BRONS				
Radiellt avstånd < 2,4cm	Radiellt avstånd < 4,8 cm	Radiellt avstånd < 7,2 cm	Radiellt avstånd < 9,6 cm	Radiellt avstånd < 12 cm	Radiellt avstånd < 14,4 cm	Avstånd överskrider 14,4 cm
Inom 1 borrhkrona		Inom 2 borrhkronor		Inom 3 borrhkronor		

Samma genomgång av borrdata och jämförelser mot de teoretiska höjd och sidomåtten för respektive borrhål har sedan kunnat göras för höjd och sidomått från borrhloggen. Jämförelsen av borrhålets inmätning av borrhål för påhugg mot den geodetiska inmätningen och även de beräknade slutpunkterna från borrhloggen mot de extrapolerade slutpunkterna presenteras i samband med resultaten i kapitel 5.2.3.

För att bedöma parallellitet så har avståndet mellan närliggande borrhål beräknats från borrdata och jämförts mot det avsedda avståndet enligt borrhplanen. De erhållna höjd och sidomått för borrhålen från borrhloggen har använts för att beräkna det radiella avståndet mellan två närliggande borrhål, både för påhugg och slutpunkter. Det radiella avståndet har sedan jämförts mot det teoretiska avståndet från borrhplanen. Detta har medfört att det har gått att beräkna med vilken avvikelse det radiella avståndet mellan två närliggande borrhål avviker mot det teoretiska avståndet. Den absoluta avvikelsen har delats in i fyra kategorier baserat utifrån borrhkronans diameter. Kategorierna var, < 2,4cm, < 4,8 cm, < 9,6 och mer än 9,6 cm.

### 3.4.3 Skanning

Laserskanningen genomfördes med en laser Leica Scanner HDS4500 och har kalibrerats med verktyget Laser Control. Skanningen genererar ett punktmoln i en varierande gråskala som benämns ”Intensity”. Med intensitet menas hur mycket ljus som reflekteras i varje punkt. Utrustningen flyttas successivt för att få heltäckande skanning.

Efter att skanningen är utförd sker en så kallad registrering för att sätta samman flera skann till ett justerat och koordinatsatt punktmoln. Kända positioner/markörer utgör basen för de inmätta punkterna som tilldelas koordinater. Precisionen i en normal skanning ligger på ca ± 3mm på 5-6 m avstånd. Avvikelsen växer med avståndet. Precisionen i ett koordinatsatt punktmoln kan variera mellan 3–8 mm beroende på hur pass noggrant inmätningen är gjord. För registrering användes Luposcan och Light former modeller. Det senare för att kontrollera att de båda verktygen fått fram samma resultat.

För användning i andra typer av mjukvara krävs en exportkonvertering till något av de standardformat som vuxit fram. Leveranserna till projektet har varit i formaten PTX, PTS och PTC så kallade ASCII format. Datat har använts för att skapa en topografisk modell av tunneln. Programmet GEO-Tunnel and mining har använts för att beräkna över- och underberg baserat på teoretisk kontur (differensmodeller), samt omkrets, area och volymer.

När den första kontrollen av tunneltvärsnittet var 5:e cm gjordes visade det sig att programvaran GEO hade svårigheter att skapa en korrekt differensmodell då programmet ville lämna en spalt i centrum av sulan som påverkade beräkningarna. Enligt utvecklaren av mjukvaran så är detta normalt, då man vanligtvis inte skannar och använder data för sulan. För att lösa problemet så delades tunneln

i två halvkor med tak, anfang och halva väggar i den ena och sula och halva väggar i den andra. Beräkningarna från dessa två delar blev felfria och resultaten från dem kunde sedan läggas ihop till en hel tunnel. Genom att plotta tunnelmantelytans längd (omkretsen) för varje 5 cm tvärsnitt genom hela tunneln kunde punktmolnet ytterligare kontrolleras och sektioner med tydliga toppar där omkretsen steg kraftigt till orealistiska nivåer kunde plockas fram. När dessa sektioner var identifierade kunde data gås igenom för ytterligare granskning. I programmet "GEO" kunde punktmolnet rensas från orealistiska punkter, brus och punkter av objekt så som kablar, tidigare stuffar etcetera som ej representerar tunnelkonturen.

För att presentera salvövergångarna skapades 1cm tvärsnitt över en sträcka på 1,6 m för varje salvövergång.

### **3.4.4 Kontur**

#### ***Area variationer***

Modellen baserad på skanningsdata har använts för att bestämma area för varje 5 cm tunneltvärsnitt. De erhållna tunnelareorna för varje 5 cm tvärsnitt har plottats i diagram och jämförts mot beräknad tunnelarea vid 20, 25 och 30 cm stickning samt beräknad tunnelarea vid 30 % överberg.

#### ***Överberg***

Från modellen har man kunnat identifiera areor utanför teoretisk tunnelarea, det vill säga area överberg. Utifrån area överberg har sedan volym överberg beräknats från modellen baserat på de areabestämda tvärsnitten var 5 cm.

Vid beräkning av överberg har tunnelvolymens ökning jämförts mot teoretisk volym. Dock har även andel identifierad volym överberg beräknats, det vill säga andel överberg mot verklig tunnelvolym, för att få fram ett mått som är oberoende av tunnelvolym.

Identifierat överberg har sedan kontrollerats och uppskattats med lasermätare och tumstock på plats i tunneln. Vid identifieringen har även eventuella blockutfall som uppkommit under sprängningen eller lossnat vid de underhållsskrotningar som utfördes kontrollerats.

#### ***Underberg***

Från modellen har man kunnat identifiera areor innanför teoretisk tunnelarea, det vill säga area underberg. Utifrån area underberg har sedan volym underberg beräknats från modellen baserat på 5cm tvärsnitt.

Vid beräkning av underberg har andel identifierad volym underberg jämförts mot teoretisk volym, det vill säga hur stor andel av den teoretiska tunneln som har minskat. Dock har även andel identifierad volym underberg beräknats mot verklig tunnelvolym för att få fram ett mått på hur stor volym av verklig tunneln som är underberg.

Identifierat underberg har sedan kontrollerats och uppskattats med lasermätare och tumstock på plats i tunneln.

### **3.4.5 Geometri**

#### ***Minimum bredd***

För att kontrollera att tunnelns bredd alltid var minst 4,20 m mellan väggarna, har skanningsdata från tunneln snittats längsgående horisontellt i 20 cm steg från teoretisk sula upp till en höjd av 3,60 m, vilket är 7 cm under teoretiskt anfang. På så sätt har det varit möjligt att identifiera var någonstans utefter tunnelns längdaxel minibredden varit underskriden samt vad den aktuella bredden är vid de identifierade lägena.

### Stickning Tak

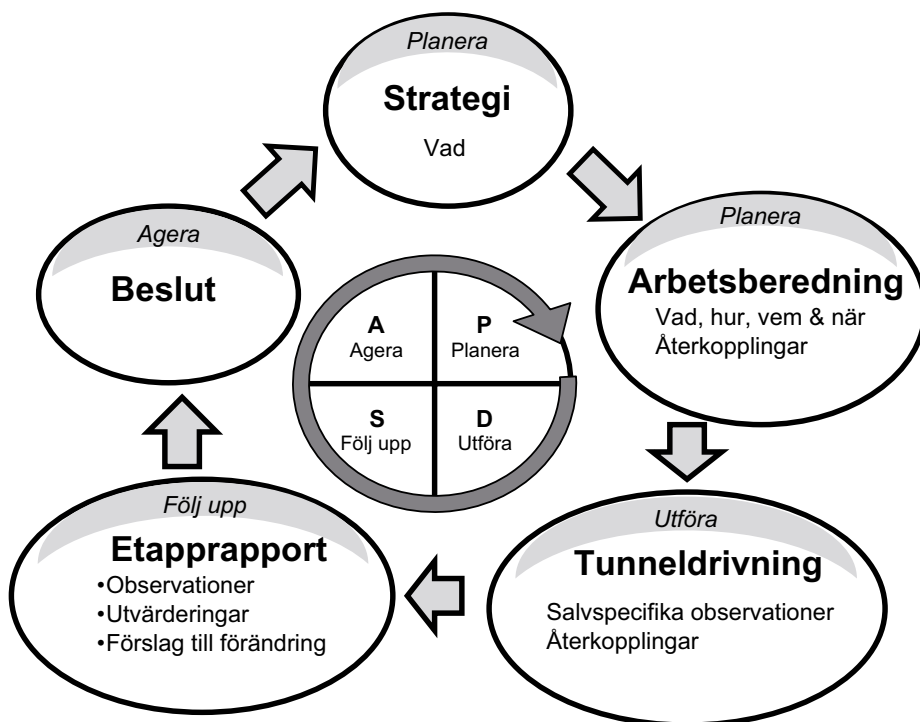
För att kontrollera hur stor andel volym och verklig mantelyta som identifierats utanför 20 cm stickning i tak har punktmolnet och skanningsdata för tunneln kapats mellan borrhål nummer 9 och 10 samt mellan 19 och 20 för att bara innefatta taket (se figur 3-2 för borrhålsplan med borrhålsnummer för schematisk bild). Vidare har tunneloffsetet flyttats från teoretisk kontur till 20 cm stickning. Tunneltvärsnitt har gjorts var 5:e cm längs med tunneln och på så sätt har volym samt andel verklig mantelyta utanför 20 cm stickning kunnat erhållas. Vidare har medelvolym utanför 20 cm stickning för varje salva kunnat beräknas fram.

### Stickning i sula

För att kontrollera hur stor andel volym och verklig mantelyta som identifierats utanför 25 cm stickning i sula har punktmolnet och skanningsdata för tunneln kapats för att bara innefatta sulan. Vidare har tunneloffsetet flyttats från teoretisk kontur till 25 cm stickning. Tunneltvärsnitt har sedan kunnat göras var 5:e cm längs med tunneln och på så sätt har volym samt andel verklig mantelyta utanför 25 cm stickning kunnat erhållas. Vidare har medelvolym utanför 25 cm stickning för varje salva kunnat beräknas fram.

## 3.5 Metod för att kvalitetsäkra genomförandet

Den metod för att kvalitetssäkra genomförandet som användes avsåg att göra det möjligt att knyta samman variationerna i resultaten med förändringar och tester i detaljutförandet. Detta omfattade dels styrningen av resurserna och dels styrningen av dokumentationen i syfte att nå hög samstämmighet mellan planerat, utfört och dokumenterat arbete för att kunna införa förändringar och tester. För att uppnå detta har tunneldrivningen arbetat med följande förbättringscykel som illustreras i figur 3-15. I figuren ses de dokument (strategi, arbetsberedning och etapprapport) som låg som underlag till förbättringar. Dokumenthantering, ansvarsområden, beslutsgång och ärendehantering beskrivs i styrning av dokumentation avsnitt 3.5.1 samt styrning av resurser i avsnitt 3.5.2 och illustreras i figur 3-16 och figur 3-17.



*Figur 3-15. Schematisk skiss över den förbättringscykel som har använts med koppling till PDSA-cykeln (Plan-Do-Study-Act).*

### **3.5.1 Styrning av dokumentation**

#### **Planera**

För att kvalitetssäkra att arbetsberedningen överensstämde med Strategi Berguttag överlämnades arbetsberedningen till Delprojektledare Berguttag för granskning och avstämning mot strategin, varefter Delprojektledare Bygg godkände den. Den godkända arbetsberedningen lämnades till sprängtekniker och till entreprenör före utförandet och genomgång av denna skedde i samband med det arbetsberedningsmöte som beskrivs under styrning av resurser.

#### **Utföra**

Under uttagen av de olika salvorna genomfördes olika mätningar och uppföljningar av sprängtekniker, entreprenör och geodetiker i enlighet med de styrande dokumenten.

Om en avvikelse uppstod gentemot Arbetsberedningen dokumenterades detta. För att öka förståelse samt medvetenheten i tunneldrivningsorganisationen och för att ta till vara på utförarnas kunskap så upprättades ett förändringsförslag som innehöll åtgärd till förbättringar. Som åtgärd kunde till exempel ses förändring av arbetsätt såsom förbättrad kommunikation eller förändrad arbetsfördelning så att avvikelsen ej ska upprepas eller förslag som resulterade i att tunneldrivningen kunde förbättras. Förändringsförslaget godkändes sedan av Delprojektledare Berguttag varefter Delprojektledare Bygg meddelade utförarna om beslutad åtgärd.

Efter att samtliga salvor i ett berguttag utförts överlämnades dokumentation till delprojektledare Bygg som sedan gjorde en sammanställning av dokumentationen som bestod av:

- Daily log (dagbok).
- Q log så kallad borrhlogg som visar hur borrhullen registrerat borrhålen.
- MWD (Measure While Drilling) log som visar hur borrhullen mätt.
- Inmättningsprotokoll med beräknade radiella avstånd för påhugg och slutpunkter.
- Inmättningsprotokoll av tunnelgavel (fempunktsinmätning).
- Sprängjournal.
- Vibrationsprotokoll.
- Protokoll för synliga borrhull.
- Eventuella sprängjournaler vid omskjutningar.
- Eventuella tändplaner vid omskjutningar.
- Vibrationsprotokoll vid eventuell omskjutning.
- Eventuella avvikelser och förändringsförslag.

#### **Följ upp**

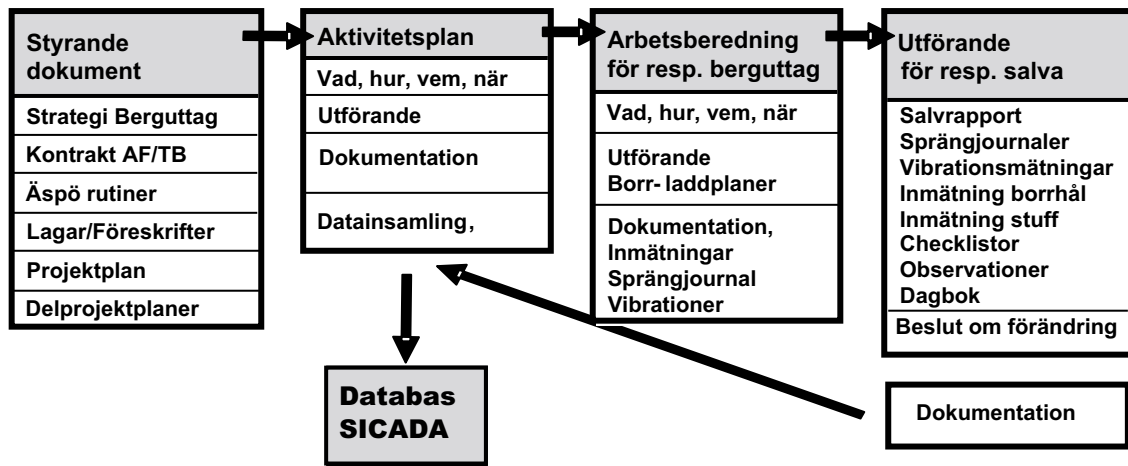
Dokumentationen användes som underlag för avstämningsmöte mellan sprängtekniker och entreprenör, för kompletterande avseende observationer och förbättringsförslag både rörande utförandet samt kommunikation.

Efter mötet sammanställdes en Etapprapport som sammanfattade berguttaget relativt detaljerat som tillsammans med insamlad dokumentation och de preliminära utvärderingarna överlämnades till delprojekt Berguttag.

#### **Agera**

Etapprapporten tillsammans med insamlad dokumentation användes sedan som diskussionsunderlag på referensgruppsmötena, rekommendationer och beslut från referensgruppen gav i sin tur underlag för strategier för ännu inte utförda berguttag.

Den fullständiga dokumentationen arkiverades slutligen i SKB:s databas, SICADA (Site Characterisation Database).



Figur 3-16. Schematisk skiss över hanteringen och ansvarsområden för den dokumentation som producerades under tunneldrivningen.

### 3.5.2 Styrning av resurser

Då genomförandet av projektet skulle ske med många olika kategorier av människor med olika bakgrunder och kunskaper genomfördes en teambuilding med dem som skulle vara med i det praktiska utförandet. Syftet var att presentera beställaren och dess uppgift, projektets mål och organisationen, samt skapa öppenhet och förståelse med avseende på vad som krävs för att genomföra projektet. Det diskuterades vad deltagarna tyckte var viktigt för att samarbetet skulle fungera. Under denna teambuilding gavs deltagarna tillfälle att lära känna varandra, samtidigt som man byggde upp samsynen på projektet och dess mål.

En av de frågor som framhölls som särskilt viktig var att det skulle behöva finnas en hög samstämmighet mellan de planerade berguttagen och de utförda. Om det inte var hög samstämmighet skulle det försvåra möjligheterna att dra korrekta slutsatser och även kunna leda till att fel i utförande skulle komma att föreskrivas i nästkommande berguttag. Deltagarna kom fram till att samarbetet skulle fungera med följande spelregler:

- Goda förberedelser: genomgångar av vad som skulle utföras, tillgång till tidplan (kort och lång) samt att aktiviteter skulle vara planerade.
- Tydlighet: tydliggörande av kravspecifikationer, av vad som skulle dokumenteras samt av roller och ansvar.
- Öppenhet: att kunna säga till, fråga eller föreslå utan att bli tillfrågad och att få dela med sig av såväl goda som dåliga erfarenheter.
- Jävlar anamma: inget skulle anses omöjligt, alla skulle vara beredda att hugga i även om det låg utanför det egna ansvaret samt fokusering och avslutning även om det var "tråkiga" uppgifter.

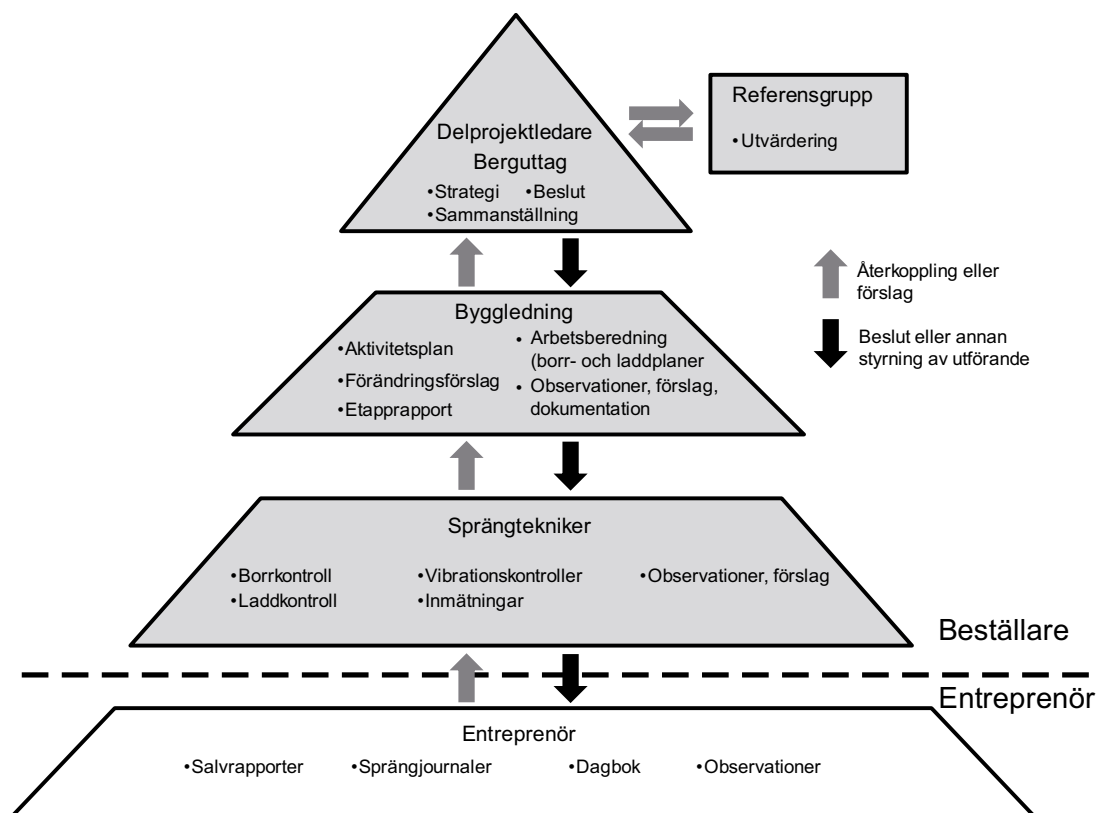
Som en del till de gemensamma spelreglerna som beskrivits ovan, så gjordes återkopplingar till dessa genom arbetsmöten som hölls inför varje berguttag med dem som skulle genomföra det praktiska arbetet och genom besök i fält.

Arbetsmötets syfte var också att säkerställa att de som var inblandade i berguttagen var införstådda med de krav, direktiv och anvisningar som gällde för genomförande och som specificerades i arbetsberedningarna inför varje nytt berguttag. Mötena gav också möjlighet till att ställa frågor, föreslå förändringar samt diskutera och dela med sig av erfarenheter som vunnits och vad som fungerat bra och vad som varit mindre bra.

Besöken i fält var fokuserade på observationer för den pågående salvan, för att sedan kunna göra specifika återkopplingar tillsammans med utförarna. I de fall en observation bedömdes medföra risk för avvikelser från godkänd Arbetsberedning involverades även Delprojektledare Berguttag i samrådet. Ambitionen hos beställaren har varit att vara tillgänglig för tydliga och snabba beslut när avvikelser gentemot Arbetsberedningen uppstått. Sprängteknikern medverkade under utförandet av



samtliga berguttag. Detta innebar att han stod i ständig kontakt med Entreprenören och dennes personal samt med Delprojektledare Bygg. För en schematisk skiss över den hierarkiska organisationen med beslutsgång och återkopplingar samt ansvarsområden se figur 3-17. Figuren visar också hur Delprojektledare Berguttag fick stöd i form av återkopplingar och förslag från Referensgruppen.



Figur 3-17. Beslutsgång och återkopplingar i ärendehantering i genomförandeorganisationen.

## 4 Genomförande

I detta kapitel redovisas de förändringar och tester som styrts i detaljutförandet och som har påverkat tunneldrivningens genomförande, samt andra konstaterade variationer som kan påverka resultaten. Under genomförandet av drivningen förändrades detaljutförandet av borrhning, laddning respektive sprängning på olika sätt. Ändringarna gjordes med utgångspunkt från vad som ursprungligen planerats, samt utifrån de erfarenheter som vanns och de observationer som gjordes efterhand, se figur 3-17.

### 4.1 Borrhning

I detta avsnitt redovisas de olika styrda förändringarna av den borrhning som utfördes i de olika salvorna samt de mätningar och observationer med mera som gjordes. De tester som gjordes avsåg placering, antal hål, olika stickningar på kontur- och hjälparhål samt borrhängd. I salva 3–5 utfördes tester genom att man hade tätare borrhålsplacering i vänster kontur, där endast vartannat hål laddades. De oladdade hålen benämns ledhål. För översikt över de viktigaste styrda förändringar som genomfördes se tabell 4-1. Stickningen för konturhålen har varierat mellan 20–30 cm i de olika salvorna och stickningen av hjälpare har varierat mellan 0–25 cm. De olika förändringarna i borrhnings genomförande som genomförts samt motiven till förändringarna redovisas nedan rubriksvis. För borrhplaner för respektive salva se Appendix 5, observera att borrhplanen i appendix inkluderar ledhålen.

Utöver dessa tester utfördes även visuell kontroll och kontroll av borrhiggens kapacitet för efterjusteringar av konturhålen i salva 6–8 som redovisas under avsnitt Konturhål.

**Tabell 4-1. Översikt över de viktigaste styrda förändringarna i borrhningsutförande.**

Bergtagg [nr]	Salva [nr]	Borrhning					
		Borrhplan (se appendix 5)	Antal ledhål [st.]	Antal laddade hål [st.]	Kilplacering	Stickning kontur [cm]	Stickning hjälpare [cm]
2	3	Borrpl_Fortatvanst_30_R	10	97	Höger	30	–
	4						–
	5						–
3	6	Borrpl_stickn_6_7_8_R1	0	92	Höger	20	20
	7						
	8						
4	9	Borrpl_9_10_11_12_R1	0	93	Centrum	25	25
	10						
	11						
	12						
5	13	Borrpl_15_16_C	0	92	Vänster	25	25
	14						
	15						
	16						
6	17	Bergtagg_6_C	0	93	Centrum	25	25
	18	Bergtagg_6_L					
	19	Bergtagg_6_Crev					
	20	Bergtagg_6_CrevCorner					

Hålavstånd och försättning som låg i grundutförandet se tabell 4-2, innebar att 97 hål skulle borraras och laddas, vilket ligger i överkant för vad som behövs för en 19 m<sup>2</sup> stor tunnel. Detta bedömdes dock som en bra förutsättning för att kunna använda fler fördröjningstider på sprängkapslarna (se princip tändplaner), så mindre berg bryts loss per intervall.

**Tabell 4-2. Hålavstånd och försättning i grund utförande.**

Håltyp	Hålavstånd [m]	Försättning [m]
Konturhål	0,45	0,45
Hjälpare	0,60	0,55
Strosshål	0,60	0,60
Sulhål	0,50	0,45

### Kilens placering

Kilens placering var ursprungligen på höger sida. Anledningen till detta var den sneda bergytan som skulle rätas upp för att få en plan tunnelgavel och för att undvika att spränga sönder vänster vägg som inledningsvis var i sämre bergförhållanden samt smal/tunn mot intilliggande nisch. Placeringen fungerade bra och bibehölls så länge det var möjligt. Den flyttades dock till centrum på tunnelgaveln i salva 15 på grund av att en gång av finkornig granit på höger sidan uppträdde. Detta utförande gällde även i salvorna 16 och 17 för att så få parametrar som möjligt skulle ändras mellan salvorna. Ett brantstående slag gjorde dock att den behövde flyttas igen i salva 18, denna gång till vänster. Efter salva 18 var sprängd uppträdde finkornig granit på vänster sida, så kilen placerades i mitten igen i salvorna 19 och 20.

### Konturhål

Antalet konturhål ändrades inte någon gång under drivningen utan var konstant 28 stycken. De enda avstegen från detta avsåg salvorna 3, 4 och 5 då de utfördes med tio stycken ledhål på vänster sida. Dessa hål var avsedda för att se om de kunde förbättra konturens utseende och skulle tjäna som sprick-anvisning. Avståndet mellan hålen på vänster sida var 30 cm, men endast vartannat hål laddades. Höger vägg borrades med 45 cm mellan hålen och samtliga laddades. Någon förbättring kunde inte ses med ledhål och försöken lades ner efter salva 5.

Konturhålens stickning har också ändrats i ett försök att minska överberget. I salva 1–4 utfördes konturhålen med 30 cm stickning, salvorna 5–8 med 20 cm och 9–20 med 25 cm stickning. Testerna med 20 cm visar att det är möjligt att borra med 20 cm stickning, men att risken för underberg ökar, då tunneln blir så trång att bommarna inte kommer intill tunnelgaveln så dubben kan fästa för att ge ett bra stöd vid påhuggen och så att kronan inte glider iväg. Detta i sin tur ökar risken för att påhugg hamnar innanför kontur. Stickning med 20 cm ökar risken för att sänka kvaliteten, samt att effektiviteten sänks då påhuggen måste göras extra försiktigt och detta var anledningen till att 25 cm stickning användes för salvorna 9–20.

En annan erfarenhet som gjordes under testen med 20 cm stickning i salvorna 6–8, var att ha visuell kontroll vid påhugg för att sedan justera bommen efter borrlan på LCD skärmen i riggen för att få rätt rikt och vinkel (stickningen). Denna erfarenhet vanns efter att först ha testat med att göra visuell kontroll och efter justering på bommen med hjälp av att rikta sig mot en teoretisk uppmålad linje i salva 6 och 7. Resultaten skilde sig dock då det i salva 6 uppstod underberg och i salva 7 överskreds stickningen på 20 cm. Så i salva 8 användes metoden visuell kontroll av påhugg och sedan efter justeringar med hjälp av LCD skärmen. Metoden fungerade bra och användes sedan under salvorna 9–20.

### Hjälparhål

Hjälparhålen var inledningsvis placerade med ett hålavstånd på 45 cm och med ett avstånd på 45 cm till konturhålen, så kallad försättning, och utan stickning. Detta innebar att de teoretiska hålbottarna i hjälparhålen inledningsvis låg på 75 cm från konturhålen då 30 cm stickning användes. Då det var svårt för berget att bryta i konturen i salvbotten, så ändrades först bottenladdningen i konturhålen (se laddning), men problemet kvarstod så vid salva 6 ändrades hjälparhålen till att vara parallella med konturhålen vilket gjorde att stickningen för salva 6–8 gjordes med 20 cm och salva 9–20 med 25 cm. Hjälparna verkade dock påverka konturhålen genom att de förstörde pipladdningen i konturhålen, så inte hela hålen detonerade, så kallade ryckare. Resultatet blir att delar av konturens hål förblir intakta, så kallade glasögon. Detta åtgärdades med att försättningen mellan hjälpare och kontur ökade till 60 cm från och med salva 9 och bibehölls för återstående salvor. Åtgärden innebar

också att antalet hjälparhål minskades från 18 till 17 stycken samt att antalet strosshål kunde minskas då ytan för dessa minskade. I salva 19 och 20 gjordes en förändring i form av att hjälparhålen flyttades ut 5 cm för att minska antalet omskjutningar, som hade samband med att injekteringshålerna var placerade mellan kontur och hjälparhål.

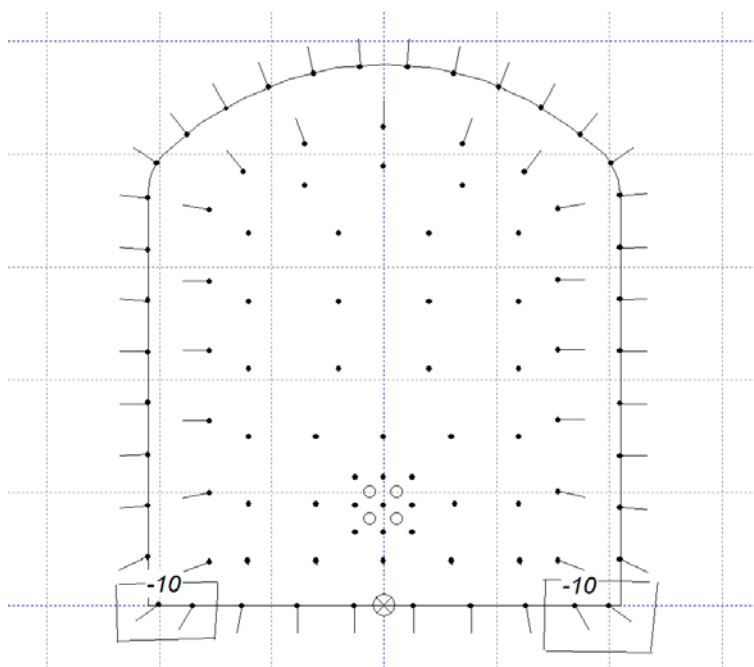
### Sulhål

Sulhålen utfördes med 30 cm stickning i salva 3 och 4. Detta ändrades till 20 cm under salva 5–8. Motivet till detta var de planerade försöken med olika stickningsutföranden. Från och med salva 9 utfördes konturhålen med 25 cm stickning. Förändringar av sulhålens placering gjordes endast i salva 20 och förändringen innebar att hörnhålen flyttades in 10 cm mot tunnelns mittlinje samt de närmaste hålen till dessa (se figur 4-1). Hålen vinklades (sidoriktning) lite mer (15 respektive 10 grader), syftet med detta var att få bort kvarstående berg i hörnen.

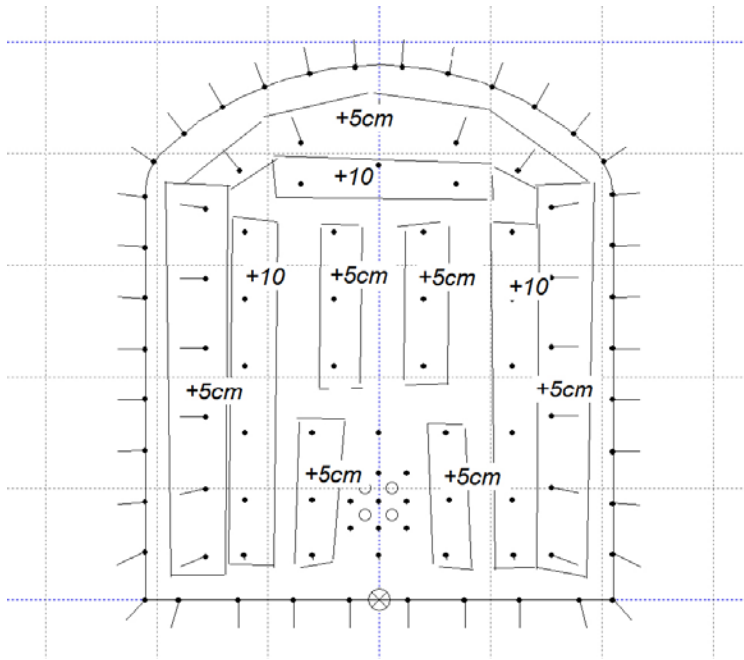
### Strosshål

Inledningsvis var det 32 stycken strosshål, men i salva 9 minskades antalet till 28 stycken på grund av ändringar gällande hjälparhål som gjorde att ytan för strosshålen minskade. I salva 15 ökades antalet till 29 stycken som en konsekvens av att salvan utfördes med kilen i mitten. Även i salvorna 16, 17, 19 och 20 utfördes salvorna med 29 strosshål och kilen i mitten. Mittenutförandena med kilen krävde ett hål mer än höger- respektive vänsterutförandena för att de skulle ge en jämn hålfördelning med bra brytvinklar.

I salva 19 och 20 flyttades samtliga hål ut något för att undvika omskjutningar (se flyttschema figur 4-2). De som var närmast hjälparna flyttades ut 10 cm och de innanför 5 cm. Strosshål utfördes generellt sett inte med någon stickning alls. I salvorna 6–8 provades dock ett utförande som innebar att man skapade en särskilt jämn övergång mellan stickningen i konturen och in mot tunnelns centrum. Detta innebar att de strosshål som låg närmast hjälparna stacks med 10 cm. Med början i salva 6 stacks även de strosshål som låg närmast sulan för att verka som hjälparhål till sulhålen och för att underlätta berget att bryta. Med detta minskade också risken att borra ihop med kilen.



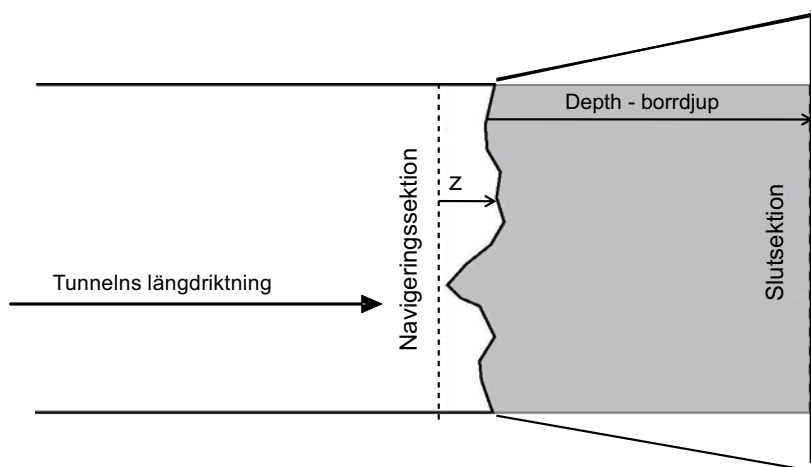
*Figur 4-1. Borrplan som visar förflyttningen av borrhål nr 29 och 31 samt 30 och 32.*



Figur 4-2. Borrplan som visar förflyttningen av hjälparhål och strosshål i salva 19 och 20.

### Borrlängder

De önskade borrlängderna (navigeringssektion till slutsektion se figur 4-3) var inledningsvis 4,4 m men ändrades vid salva 6 och framåt till 4,6 m. Anledningen var att salverna inledningsvis skulle ha en indrift mellan 4–4,25 m för att möta ett av kraven från återfyllnaden se avsnitt 2.3. Kravet ändrades dock då inget behov av begränsad indrift fanns, vilket ledde till att borringarna gjordes så djupa det gick med den bom och borrstål som användes. Anledningen till detta var att maximera indrifterna för salverna. Dock har anpassningar av det begärda bordjupet fått göras för att hamna i rätt sektion för utförande av injekteringskärmarna.



Figur 4-3. Schematisk skiss över tunnel sedd från ovan. Inritat ses borrlängd dvs. , Z- längd innan bergkontakt adderat till Depth- borddjup, borrat håldjup i berg från påhugg till hålbotten.

## 4.2 Laddning

I detta avsnitt redovisas de olika styrda förändringarna av den laddning som utfördes i de olika salvorna, samt de mätningar och observationer med mera som genomfördes. Med avseende på laddningen omfattades de viktigaste förändringarna av bottenladdning, laddning av sulhål, förladdningar med både frigolit och grus eller enbart med frigolit, samt initiering med NONEL och i-kon. Sprängämnesåtgången påverkades till största delen av antalet hål som användes vid de olika salvorna, se tidigare stycke borring. För översikt över de viktigaste styrda förändringar som genomfördes i laddning och sprängning, se tabell 4-3.

**Tabell 4-3. Översikt över de viktigaste styrda förändringarna i laddnings- och sprängningsutförande.**

Berguttag [nr]	Salva [nr]	Laddning		Sprängning				
		Typ av Initiering	Typ av förladdning	Antal skjutomgångar [st.]	Antal omskjutningar [st.]			
2	3	NONEL	Frigolit+ grus	4	2			
	4				2			
	5				1			
6	1							
3	7			Frigolit	1	1		
	8					1		
	9			1				
4	10			i-kon + NONEL		Frigolit+ grus	–	
	11	–						
	12	–						
	13	–						
5	14	i-kon + NONEL	Frigolit+ grus				–	
	15						1	
	16						1	
	17						1	
6	18						i-kon + NONEL	Frigolit+ grus
	19				1			
	20				1			
	20				1			

De olika förändringarna i laddningsgenomförande som gjorts samt motiven till förändringarna redovisas nedan rubriksvis.

### Bottenladdning

Inledningsvis var bottenladdningen i konturen Nobel Prime 15-150 för salvorna 1–3. Dock blev resultatet att berget inte ville bryta bra i konturhålen, trots att salvorna inte sprängdes som en fullortssalva utan istället sprängdes i olika delar så det fanns fritt utslag. För att minimera antal kvarstående hålbottnar så ökades bottenladdningen till en ½ patron Dynamit 30-380 mm. Med denna åtgärd minskade antalet kvarstående hålbottnar och den behölls sedan genom resterande tunneldrivning. Bedömningen var att inga omskjutningar hade behövts göras under salvorna 9–20 om projektet haft tillgång till mekanisk skrotning, som då hade kunnat ta bort det kvarstående berget då det satt löst. För placering och orsak för de omskjutningar som utfördes se tabell 4-4.

**Tabell 4-4. Orsak och placering av de omskjutningar som utfördes.**

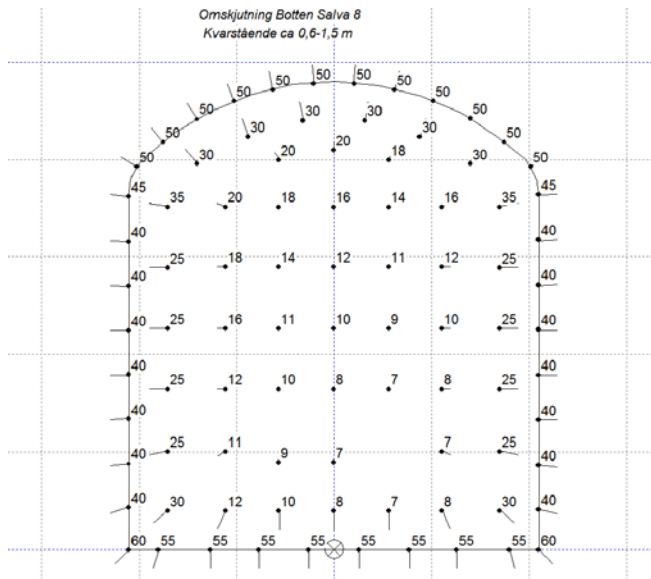
Salva [nr]	Orsak omskjutning	Placering omskjutning
3	1) 12st hålbottnar i kontur. 2) 16 st hålbottnar i kontur.	1) Nedre Höger Vägg och Tak. 2) Nedre Höger/Vänster Vägg, Vänster Anfang/Tak.
4	1) Odetonerat block. 2) 10 st Ryckare.	1) Sula stross. 2) Vänster Vägg/Tak.
5	Glasögon.	Övre Vänster/Höger Vägg, Vänster Anfang/Tak.
6	5st Glasögon.	Tak.
7	3st Glasögon i tak/ Ryckare/ 7st Hålbottnar i kontur längd 0,8 m.	Nedre Höger Vägg, Tak, Nedre Vänster Vägg samt hjälpare.
8	Hålbottnar längd 1 m- omskjutningar gav kratrar i hålbottnarna.	Hela salvan.
9	Hålbottnar, odetonerad tändare i hjälpare Höger Vägg.	Nedre Vänster Vägg, Vänster Tak, Höger Anfang/Tak, Nedre Höger Vägg samt hjälpare Höger Vägg.
10		
11		
12		
13		
14		
15	Hålbottnar längd 0,6–1,2 m.	Nästan hela konturen 4 hjälparhål, 2 st övre Vänster och 2 nedre Höger.
16	3 st Hålbottnar, i Vänster Vägg längd 0,4 m, i tak längd 0,7 m.	Övre Vänster Vägg och Anfang/Tak.
17	25st Hålbottnar i kontur längd 0,4–0,5 m, 4st i kontur längd 0,8 m, 9st i hjälpare.	Nästan hela konturen, 9 hjälparhål, 3 st Vänster Vägg, 2 st Höger Vägg, 4 st Tak.
18	14st Hålbottnar längd 0,5–0,6 m.	Anfang/Tak, 4 hjälpare.
19	3st Hålbottnar längd 0,8–1 m.	Höger Anfang.
20	9st Hålbottnar längd 0,4–0,5 m.	Övre Vänster Vägg och Höger Anfang/Tak, 1 hjälparhål. Omskjutning av båda hörnhålen skulle ha behövt göras om tunneln drivits vidare.

### Laddning sulhål

Med avseende på sulhålerna ändrades den typ av sprängämne som användes som pipladdning i salva 17. Bytet avsåg att den ursprungligt använda Dynorex 25 ändrades till Dynotex 22 och syftade till att förbättra konturhållningen samt reducera skadezonen. Berget bröt loss bra trots den svagare laddningen och synliga borrhålen kunde registreras, ändringen bibehölls ända till och med salva 20.

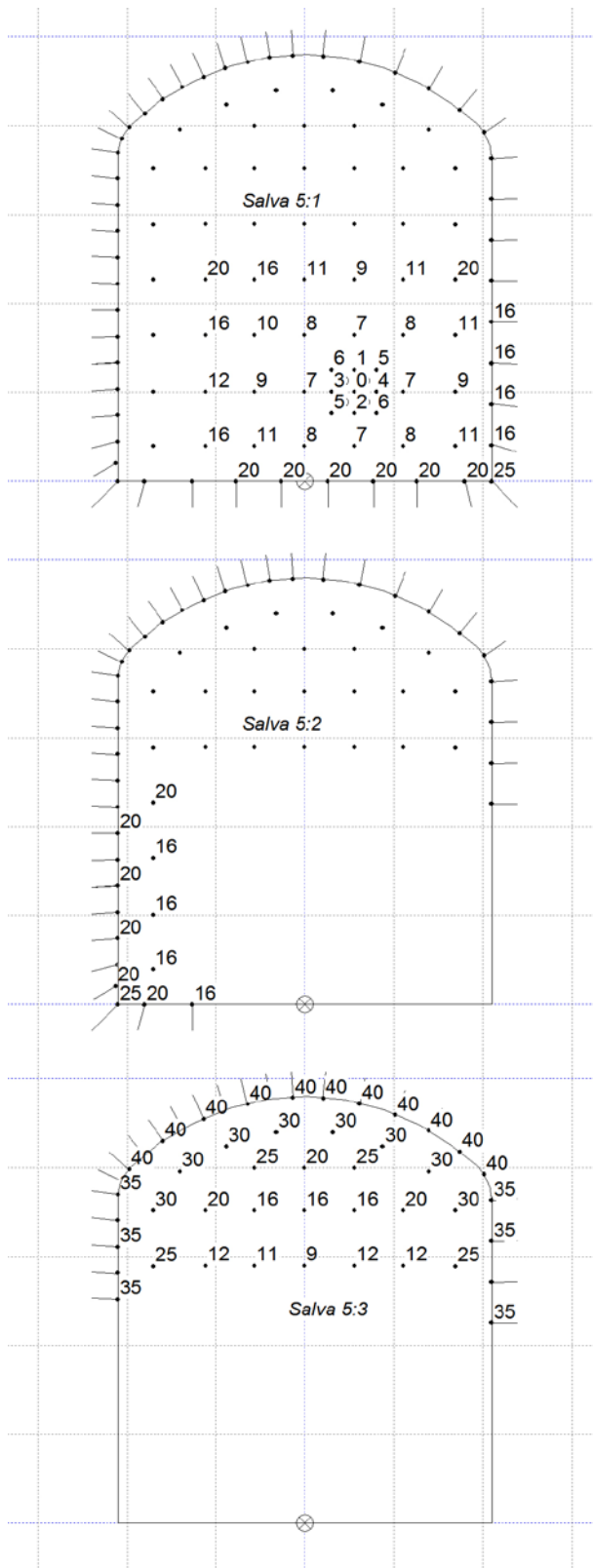
### Förladdning

Grundutförande för den oladdade delen var med ett laddlås av frigolit närmast pipladdningen varefter hålet packades med grus. Tanken var att styra en större andel av sprängenergin in i berget, samt att reducera luftstöt vågorna. I salva 8 provades ett utförande med endast frigolit och inget grus, det vill säga en helt ofylld yttre håldel. Resultatet blev att samliga hålbottnar stod kvar med längder på 0,6 m–1,5 m förutom de 9 hålen runt grovhålen i kilen där berget hade full indrift, se figur 4-4. Det resultatet tillsammans med riskerna för ökad skadezon och tidsförluster, låg till grund för att fortsätta med både frigolit och grus.

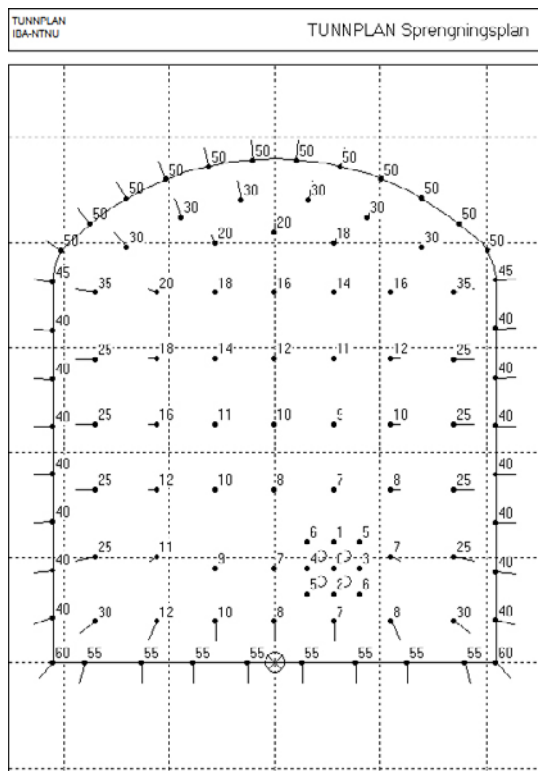


*Figur 4-4. Tändplan för omskjutning salva 8.*





Figur 4-5. Exempel på tändplan för salva 5 som sprängdes i omgångar.



Figur 4-6. Tändplan för salvorna 6–8.

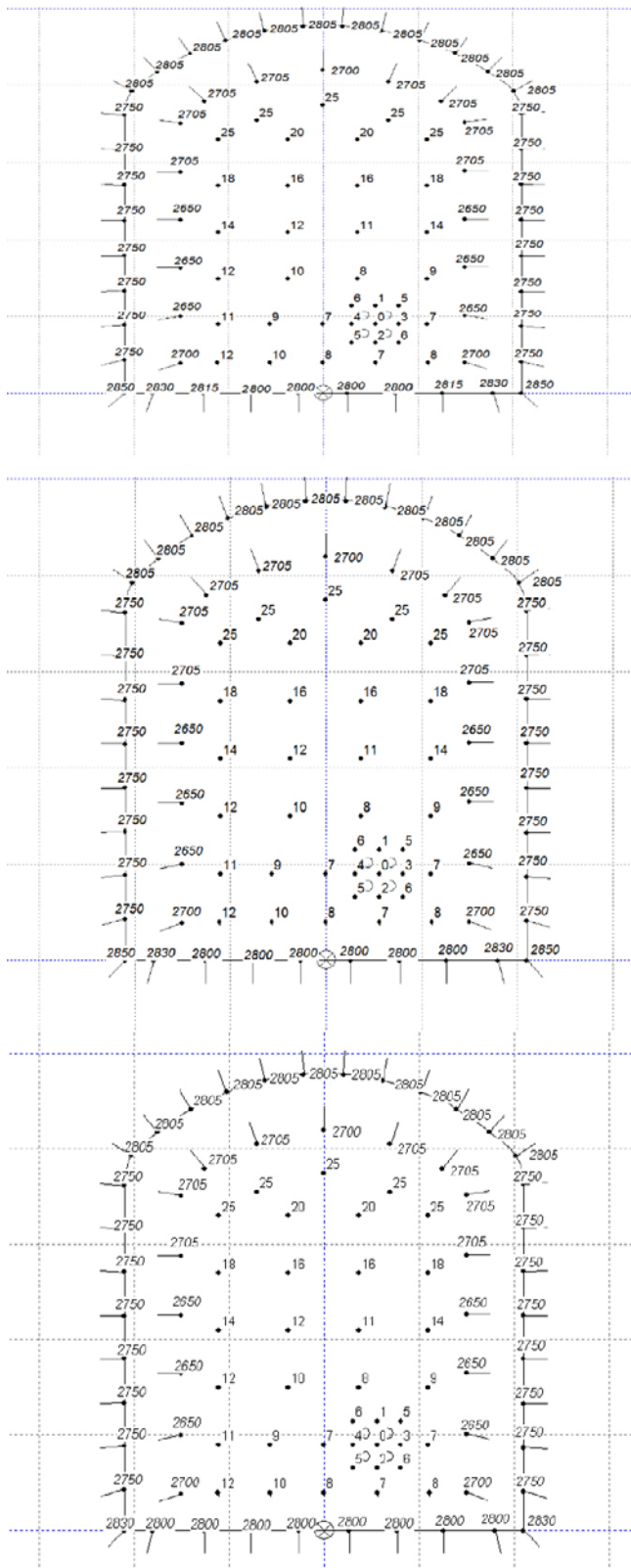
### Initiering

Med avseende på sprängningarna har förändringarna bestått av olika typer av tändare, initieringstiden samt samverkande laddningar. I början användes initiering med hjälp av NONEL (pyrotekniska sprängkapslar) med en fördröjningstid upp till 6 000 ms för att sedan övergå till i-kon (elektroniska sprängkapslar) i kontur och hjälparhål med en fördröjningstid upp till 2 850 ms. De samverkande laddningarna har varierat mellan ca 5–25 kg.

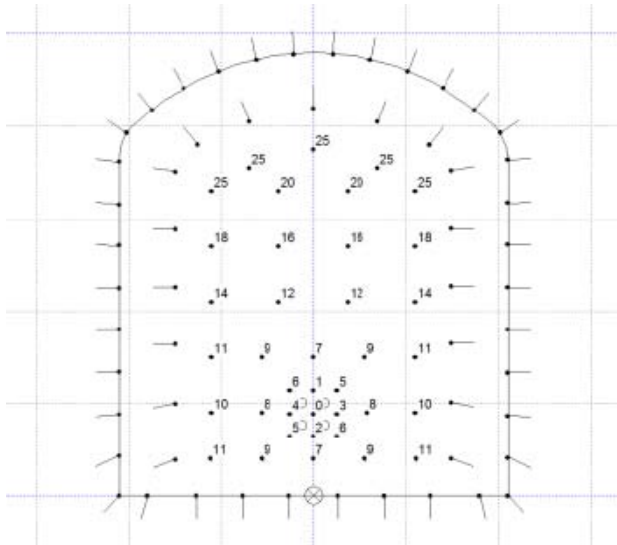
I salvorna 1–8 användes NONEL tändare. Salvorna 1–5 sköts i omgångar, se exempel figur 4-5. Salva 6–8 sköts som en fullortssalva med tändplan enligt figur 4-6.

I salvorna 9–20 användes i-kon tändare i kontur, hjälpare och sula i syfte att se vilken effekt den momentana upptändningen kunde ha på kontur och skadezon. Anledningen till att elektroniska tändare användes i hjälparraden var att minimera risken att hjälparna skulle påverka konturhålen.

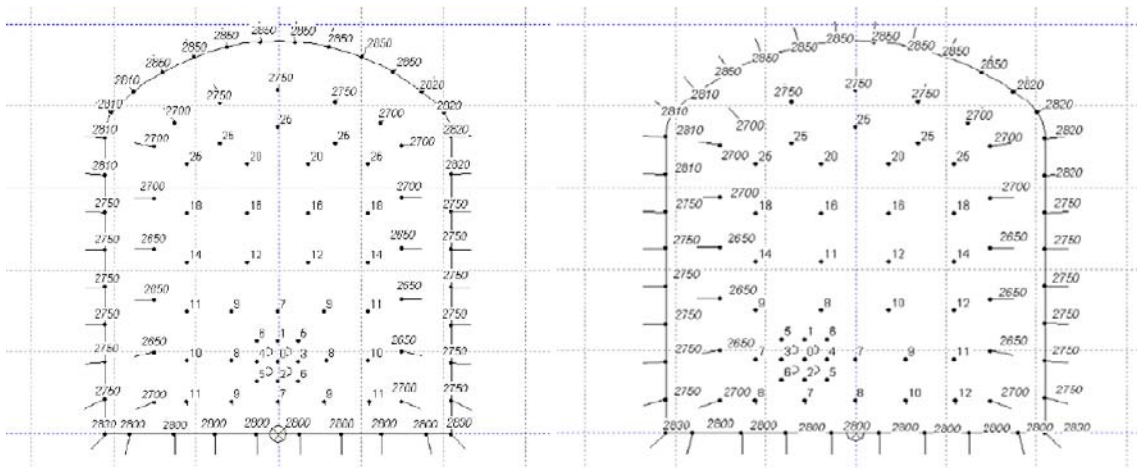
Inledningsvis i salva 9 initierades 4 stycken sulhål samtidigt på 2 800 ms för att säkerställa att den samverkande laddningen inte orsakade vibrationer som överskred gränsvärdena. Då dessa inte överskreds så testades det att ha 6 stycken sulhål i salva 10 och 11 utan att överskrida gränsvärdet. I salva 12 testade man att initiera samtliga 8 sulhål samtidigt på 2 800 ms och även detta utan att överskrida gränsvärdet. Se figur 4-7 för tändplan salva 9–12. Tändplanen låg sedan som grund för kommande salvor, dock gjordes det förändringar i salva 15 på grund av den finkorniga graniten som gjorde att kilen flyttades till centrum och reducerade antalet borrhål med effekten att tändplanen förändrades gällande NONEL tändarna i strossen se figur 4-8. Mittenutförande med kilen behölls till och med salva 17 för att så få parametrar som möjligt skulle ändras. Dock gjordes det förändringar av i-kon tändarna i salva 17 i anfangen. Anledningen till detta var att det var få synliga borrhål och åtgärden var tänkt att ge anfangen längre fördröjningstid och på så sätt en friare brytning. Anfangen tidförsköts sinsemellan, för om möjligt kunna se om något av dem var inspänt och orsakade höga vibrationer. I salva 18 flyttades kilen till vänster och mittenutförandet användes sedan i salva 19 och 20. Tändplan för salvorna 17, 19, 20 och 18 se figur 4-9.



**Figur 4-7.** Tändplan för salvorna 9–12. Högs upp tändplan för salva 9 i mitten salvorna 10 och 11 och längst ner salva 12.



**Figur 4-8.** Förändringar av NONEL tändare i salva 15 och 16. i-kon tändare lika som salva 12.



**Figur 4-9.** Tändplan för salvorna 17–20. Till vänster tändplan för salva 17,19 och 20 och till höger salva 18.

### 4.3 Sprängning

Mätningarna som gjordes under sprängningen var på luftstövå, framkast och vibrationer. Luftstövåsmätningar utfördes när fullortssprängningarna började vid salva 6. När elektroniktändarna introducerades i salva 9, så ökade luftstövåen också till mer än vad mikrofonen var avsedd till. Från och med salva 13 så användes en mikrofon som klarade höga värden.

Framkast kunde först mätas vid salva 12, då salvorna inledningsvis täcktes med körplåt, bergmassor och sprängmattor. En sammanställning av salvorna 6–20 har gjorts för de högsta vibrationerna noterade i salvorna. Resultatet från mätningarna av luftstövå, framkast och vibrationer redovisas i avsnitt 5.4.

### 4.4 Övriga förutsättningar

Genomförandet av tunneldrivningsarbetena bestod, utöver de styrda förändringarna, även av observationer. Dessa avsåg olika typer av avvikelser som ledde till överväganden om hur de skulle hanteras för att påverkan på slutresultaten skulle minimeras.

Med avseende på de geologiska förhållanden gjordes observationer på uppmärksammade förekomster som kunde innebära förändringar. Förändringarna i geologin var små och begränsade sig till de inslag av finkornig granit som påträffades mot slutet av drivningen.

Med avseende på injekteringsborrningen gjordes observationer som avsåg påverkan på drivningsarbetena i form av problem med ihop- och fastborringar på grund av injekteringsborrhålens placering innanför teoretisk kontur. Sådana problem uppstod främst under drivningsarbetets senare del och berodde på att injekteringshålen placerats innanför kontur med varierande påhugg 30–60 cm från konturhålen. De viktigaste observationerna redovisas i tabell 4-5.

**Tabell 4-5. De viktigaste variationerna i förutsättningarna för genomförandet.**

Berg uttag	Salva	Observationer geologi	Injekterings skärm design	Påverkan från injektering
2	3			
	4			
	5			
3	6	Stuff 24,84 plan som en betong vägg.	Utanför kontur	Manschetter kvar i stuff
	7			
	8			
4	9		Innanför kontur 60 cm från kontur hål	
	10			
	11			
	12			
5	13	Finkornig granit	Innanför kontur 30 cm från kontur hål	Styrstång kvar på ett djup av 19 m, många injekteringshål i stuff som störde. Många injekteringshål i stuff som störde. Injekteringshålens placering i kombination med att dessa inte alltid är fyllda med cement
	14			
	15			
	16			
6	17	Finkornig granit		Många injekteringshål i stuff som störde.
	18			
	19			
	20			

## 5 Resultat

### 5.1 Kontroller för kvalitetssäkring

#### 5.1.1 Geodetiska mätningar

##### *Inmätning borrhål och vidare extrapolering*

Kontroller genomfördes efter sprängning på hur väl extrapoleringen av de inmätta borrhålens slutpunkter stämmer överens med verkligheten genom att jämföra med inmätta synliga hålbottnar både för höjdmått, sidomått samt längdsmått i tunneln (slutsektion). Det absoluta medelvärdet av differensen i höjd- och sidomått är 2,3 cm i höjddled och 2,8 cm i sidled. Resultaten för respektive salva ses i tabell 5-1.

**Tabell 5-1. Skillnaden i medel per salva mellan extrapolerade slutpunkter från den geodetiska inmätningen och inmätta synliga hålbottnar.**

Salva	Medel differens höjdmått [m]	Medel differens sidomått [m]	Medel differens slutsektion [m]
3	0,024	0,039	0,003
4	0,020	0,031	0,002
9	0,018	0,022	0,035
10	0,024	0,021	0,001
11	0,029	0,025	0,002

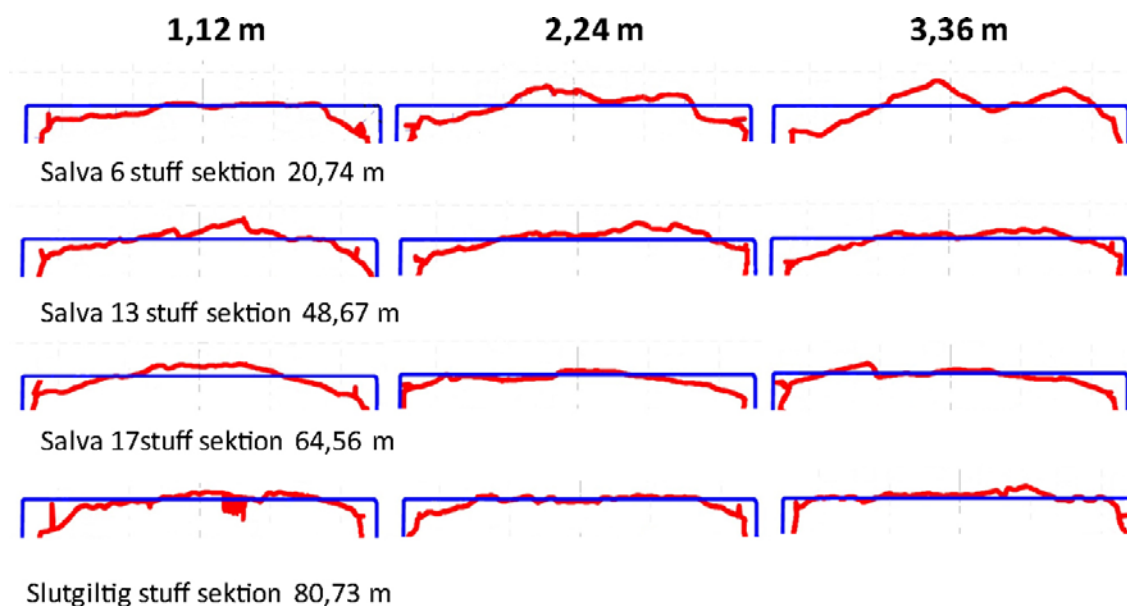
##### *Fempunktsinmätning stuf*

Medelvärdet från inmätningen av fem punkter på stuf, som representerar salvgränserna kan ses i tabell 5-2. I tabellen ses även respektive sektionens mått för respektive punkt, vänster nere, vänster uppe, mitten, höger uppe och höger nere. Vidare ses differensen mellan inmätt punkt med högsta värdet och inmätt punkt med lägsta värde vilket ger ett mått på jämnheten i stuf, se även figur 3-10.

Under laserskanningen skannades 4 stycken stuffar, salva 6, 13, och 17, samt den slutliga stuffen på tunneln. Från skanningsdata har horisontella tvärsnitt skapats på stuf vid samma höjdmått som fempunktsinmätningen se figur 5-1.

**Tabell 5-2. Fempunktsinmätningen av stuf, tabellen visar medel samt alla fem inmätningar samt dess placering.**

Berg- uttag	Salva nr	Start sektion (medel stuf inmätning) [m]	Fempunktsinmätning av stuf					Differens Högsta – lägsta värde [m]
			Vänster nere [m]	Vänster uppe [m]	Mitten [m]	Höger uppe [m]	Höger nere [m]	
2	3	8,60	8,54	8,51	8,53	8,74	8,70	0,23
	4	12,76	12,65	12,75	12,76	12,85	12,81	0,20
	5	16,88	16,91	17,06	16,95	16,78	16,69	0,37
3	6	20,74	20,76	20,73	20,89	20,69	20,61	0,28
	7	24,84	24,93	24,86	24,86	24,82	24,75	0,18
	8	28,94	28,82	28,89	28,99	29,03	28,96	0,21
4	9	32,94	32,99	32,91	32,97	32,90	32,91	0,09
	10	37,50	37,46	37,44	37,77	37,45	37,36	0,41
	11	42,14	42,19	42,03	42,33	42,26	41,91	0,42
	12	45,72	45,76	45,67	45,73	45,71	45,74	0,09
5	13	48,67	48,60	48,62	48,68	48,73	48,73	0,13
	14	52,72	52,85	52,57	52,77	52,50	52,93	0,43
	15	56,77	56,63	56,85	56,91	56,62	56,85	0,29
	16	60,55	60,58	60,53	60,48	60,54	60,62	0,14
6	17	64,56	64,62	64,51	64,60	64,51	64,55	0,11
	18	68,87	68,90	68,82	69,22	68,48	68,93	0,74
	19	73,18	73,17	73,17	73,31	73,14	73,10	0,21
	20	77,14	77,15	77,21	77,21	77,09	77,06	0,15



**Figur 5-1.** Horisontella tvärsnitt från skanningsdata över stufv för salva 6, 13, 17 samt den slutliga stufven på tunneln. Vid höjdmåtten för fempunktsinmätningen enligt figur 3-10 (1,12 m, 2,24 m och 3,36 m över sulan).

### 5.1.2 Borriggen

Kontrollerna som genomfördes under salva 9–13 för att kunna bedöma borriggens förmåga att positionera borrhålen visade att endast en positionering vertikalt (9 cm lågt) av 39 positioneringar hamnade utanför toleransen ( $\pm 5$  cm) och med ett medelvärde på 1,3 cm. Horisontellt visade det sig att 3 av 40 stycken positioneringar inte klarade kravet (0 till  $\pm 5$  cm). En positionering låg utanför kontur med 6 cm och två positioneringar låg 3 cm innanför kontur. Medelvärdet låg på 1,4 cm.

Under salva 13 utfördes en noggrannare kontroll, då borrhålets positionering kontrollerades genom geodetisk inmätning av borrhålets läge efter att den positionerats sig med hjälp av tunnellsern (längs med tunneln). Kontrollen visade att borrhålet inte hade någon avvikelser i sida men hamnade 14 mm högt på 4,6 m vilket motsvarar teoretisk borrhåldjup. Denna mätning kompletterades med inmätningar av borrhålets läge efter att ha positionerats sig mot de två lägsta konturhålen på vardera tunnelvägg (hål nr 1 och 2 respektive 27 och 28), samt efter att hålet var borrhålat 10 cm. Samtliga mätningar gjordes på borrhålet och med 4,6 m som längd. Resultatet av det begränsade antalet kontroller redovisas i tabell 5-3.

**Tabell 5-3. Mätning av avvikelser för lågt sittande konturborrhål på 4,6 m teoretiskt borrhåldjup, salva 13 (+ avser utanför teoretisk slutpunkt, – avser innanför teoretisk slutpunkt).**

Sida av tunneln	Hål [nr]	Höjdavvikelse [mm]	Sidoavvikelse [mm]
Vänster	1	+30	+1
	2	+9	-16
Höger	27	-43	+42
	28	-20	+15

Borriggens registrering av bergyta (navigeringssektion + z) för respektive salva jämfördes mot den geodetiska inmätningen av fem punkter på stufv, för att kontrollera hur väl borriggen kan registrera bergytan. Jämförelsen av differensen mellan hur borriggen mätt in bergytan för alla hål i medel mot medelvärde för bergytan från de inmätta fem punkterna på stufv har genomförts för varje salva. Differensen är i medeltal 2 cm för salva 5–20, se tabell 5-4, det vill säga borriggen registrerar bergytan i medeltal 2 cm innan den inmätta sektionen från fempunktsinmätningen.

**Tabell 5-4. Tabellen visar jämförelsen av medel från fempunktsinmätningen av stuf för varje salva mot medel inmätt bergyta för alla hål samt respektive hålsort. Inmätt bergyta motsvarar navigeringssektion inklusive medel registrerat avstånd från navigeringssektion till bergkontakt av rigg för respektive hålsort.**

Berguttag	Salva nr	Medel stuf fempunkts- inmätning [m]	Bergyta enligt borrigg  Medel alla borrhål [m]	Differens [m]	Bergyta enligt borrigg  Medel kontur borrhål [m]	Differens [m]	Bergyta enligt borrigg  Medel stross borrhål [m]	Differens [m]	Bergyta enligt borrigg  Medel hjälpar borrhål [m]	Differens [m]
2	5	16,88	16,72	0,16	16,52	0,36	16,93	-0,05	16,68	0,20
	6	20,74	20,70	0,04	20,58	0,16	20,77	-0,03	20,75	-0,01
3	7	24,84	24,82	0,02	24,75	0,09	24,88	-0,04	24,80	0,04
	8	28,94	28,93	0,01	28,81	0,13	29,01	-0,07	28,96	-0,02
4	9	32,94	32,96	-0,02	32,90	0,04	33,01	-0,07	32,95	-0,01
	10	37,50	37,51	-0,01	37,39	0,11	37,61	-0,11	37,51	-0,01
	11	42,14	42,04	0,10	41,86	0,28	42,16	-0,02	42,11	0,03
	12	45,72	45,73	-0,01	45,59	0,13	45,84	-0,12	45,76	-0,04
5	13	48,67	48,59	0,08	48,43	0,24	48,71	-0,04	48,61	0,06
	14	52,72	52,62	0,10	52,40	0,32	52,80	-0,08	52,60	0,12
	15	56,77	56,64	0,13	56,46	0,31	56,78	-0,01	56,63	0,14
	16	60,55	60,61	-0,06	60,50	0,05	60,69	-0,14	60,61	-0,06
6	17	64,56	64,62	-0,06	64,52	0,04	64,69	-0,13	64,64	-0,08
	18	68,87	69,03	-0,16	68,90	-0,03	69,11	-0,24	69,07	-0,20
	19	73,18	73,10	0,08	72,93	0,25	73,23	-0,05	73,15	0,03
	20	77,14	77,23	-0,09	77,09	0,05	77,34	-0,20	77,25	-0,11
			Medel salva 5–8	0,06		0,19		-0,05		0,05
			Medel salva 9–20	0,01		0,15		-0,10		-0,01
			Medel salva 5–20	0,02		0,16		-0,09		0,01



I motsats mot negativa differenser där borrhigen har registrerat bergytan efter den inmätta sektionen från fempunktsinmätningen. För konturhål registrerar borrhigen bergytan i medeltal 16 cm framför fempunktsinmätningen, för strosshål registrerar borrhigen bergytan i medeltal 9 cm bakom medel bergyta från de inmätta fem punkterna på stuff.

För att kontrollera hur bra borrhigen kan mäta in borrarad längd i berg har borrhjupet jämförts med resultaten från de kontroller som gjordes med laddkäpp under salva 17–20, se tabell 5-5. Borrhigen mäter i medel in borrarad längd i berg 8 cm kortare än vad kontrollen med laddkäppar gav. För konturhålen är skillnaden mindre och varierar mellan 0 och 4 cm.

**Tabell 5-5. Resultat från inmätningen av borrhål som utfördes i salva 17–20 och jämförelsen mot registrerad längd borrarat i berg från borrhigen för alla borrhål och konturhål.**

Salv nr	Inmätt borrhjup alla borrhål (Medel inmätt borrhjup av 23 hål) [m]	Borrhjup alla borrhål (Medel enligt borrhlogg) [m]	Differens Alla borrhål [m]	Inmätt borrhjup konturhål (Medel inmätt borrhjup av 15 hål) [m]	Borrhjup konturhål (Medel enligt borrhlogg) [m]	Differens kontur [m]
17	4,45	4,40	0,05	4,46	4,47	-0,01
18	4,34	4,24	0,10	4,41	4,37	0,04
19	4,26	4,17	0,09	4,30	4,34	-0,04
20	3,81	3,71	0,10	3,90	3,90	0
Medel salva 17–19			0,08			0

Därefter har kontroller gjorts på hur bra borrhigen kan borra fram till den begärda slutsektionen (borrkronans läge vid borrhålsbotten), som beräknats genom att borrhogens registrerade borrarad längd innan bergkontakt samt borrhjup adderats till navigeringssektionen. Den beräknade slutsektionen för konturhålen har jämförts mot inmätt synlig hålbotten. Man kan se att borrhogens beräknade slutpunkt för konturhål är i medel 11 cm längre in i tunneln vid beräkning för salva 5–19. Salvorna varierar från att borrhogens beräknade slutpunkt är 4 cm längre in i tunneln till 20 cm längre in i tunneln.

De beräknade slutsektionerna har även jämförts mot de inmätningar av hålbottnar av ett antal hål som utfördes i salva 8–11. I denna jämförelse har borrhål jämförts mot varandra och inte medelvärdet för salvan. Borrhogens beräknade slutpunkt är i medel för alla borrhål 7 cm längre in i tunneln, se tabell 5-6.

Slutligen har de beräknade slutsektionerna från borrhigen, där navigeringssektionen har adderats till z och borrhjup, jämförts med fempunktsinmätningarna av stuff. Medel för slutsektionen beräknad på alla borrhål för salva 5–20 är i medel 8 cm längre in i tunneln än fempunktsinmätningen. För konturhål ger motsvarande jämförelse att borrhigen beräknade slutsektion hamnar 7 cm längre in i tunneln, för strosshål 9 cm längre in och för hjälparhål 8 cm längre in i tunneln. Alla värden från borrhigen kan ses i Appendix 3 och erhållna värden från fempunktsinmätningen kan ses i tabell 5-2.

De ovanstående kontroller som gjorts har lett till slutledningen att värdena i borrhlogen är tillförlitliga. De skillnader som setts ligger i medeltal inom intervallet 1–10 cm, och även om vissa salvor har visat avvikelser på uppåt 20 cm har projektet bedömt borrhlogens noggrannhet som acceptabel.

**Tabell 5-6. Jämförelse av inmätta hålbottenar under salva 8–11 mot beräknad slutsektion från borrhigen. H= borrhålsnummer.**

Salva Borrhål (H)	Inmätt Sektion Hålbotten [m]	Borrlogg Sektion (respektive hål) [m]	Differens Sektion [m]	Absolut differens [m]
Salva 8/H22	32,98	32,98	0	0
H23	33,02	33,00	0,02	0,02
H24	32,99	33,00	-0,02	0,02
H25	32,94	33,00	-0,06	0,06
H26	33,00	33,00	0	0
<b>Medel salva 8</b>	<b>32,99</b>	<b>32,99</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Salva 9/H5	37,28	37,39	-0,11	0,11
H9	37,38	37,58	-0,20	0,20
H26	37,42	37,44	-0,02	0,02
H27	37,49	37,50	-0,01	0,01
<b>Medel salva 9</b>	<b>37,39</b>	<b>37,44</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,05</b>
Salva 10/H2	41,87	42,01	-0,15	0,15
H3	41,88	42,03	-0,15	0,15
H4	41,85	42,07	-0,22	0,22
H5	41,76	41,88	-0,13	0,13
H6	42,05	41,89	0,16	0,16
<b>Medel salva 10</b>	<b>41,88</b>	<b>41,99</b>	<b>-0,11</b>	<b>0,11</b>
Salva 11/H4	45,75	45,80	-0,04	0,04
H6	45,73	45,81	-0,08	0,08
<b>Medel salva 11</b>	<b>45,74</b>	<b>45,80</b>	<b>-0,06</b>	<b>0,06</b>
Salva 12/H4	48,69	48,80	-0,11	0,11
H5	48,66	48,81	-0,15	0,15
H24	48,76	48,80	-0,04	0,04
H25	48,75	48,80	-0,06	0,06
H26	48,73	48,79	-0,07	0,07
H27	48,76	48,80	-0,04	0,04
<b>Medel salva 12</b>	<b>48,73</b>	<b>48,80</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,07</b>
		<b>Medel</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,08</b>

## 5.2 Borring

### 5.2.1 Specifik borring

Borrningsutförandet (som redovisas i kapitel 4.1) tillsammans med de utförda borrlängderna i de olika salvorna, resulterade i skillnader i utfört antal borrmeter per borrarad volym (specifik borring). Detta redovisas i följande tabell 5-7.

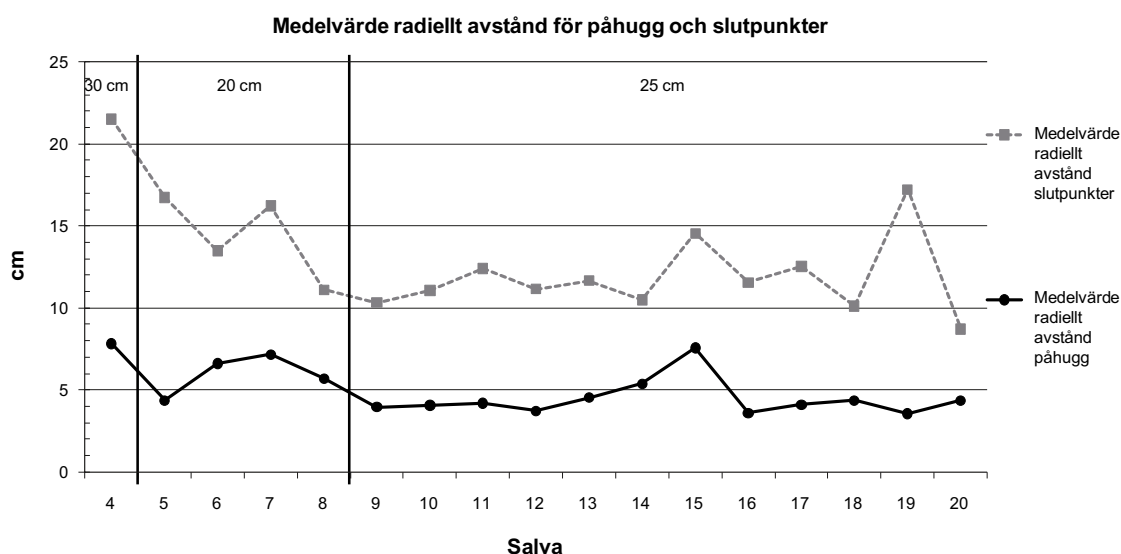
Tabell 5-7. Tabellen visar begärt borrhjup, medelborrdjup enligt borrhoggen och borrhmeter/m<sup>3</sup>.

Berg uttag	Salva nr	Begärt borrhjup [m]	Inmätt salvlängd	Borrhjup alla borrhål	Medel tunnelarea enligt borrhplan [m <sup>2</sup> ]	Antal hål	Summa borrhmeter	Borrhmeter/m <sup>3</sup>		
				Medel enligt borrhlogg [m]					Differens mellan fempunktsinmätningarna [m]	Laddade hål [st]
2	5	4,60	3,86	3,98	20,66	97	391,82	4,77		
	6	4,40	4,10	4,16			424,43	4,94		
3	7	4,40	4,10	4,20			424,55	4,89		
	8	4,40	4,00	4,05			409,96	4,90		
4	9	4,55	4,56	4,52			21,12	92	425,03	4,45
	10	4,60	4,64	4,61					447,57	4,60
	11	4,40	3,58	3,77					362,89	4,56
	12	3,50	2,95	3,07					289,04	4,46
5	13	4,60	4,05	4,34	93	420,93			4,59	
	14	4,60	4,05	4,11		403,95			4,65	
	15	4,60	3,78	3,96		384,03			4,59	
	16	4,60	4,01	4,18		405,71			4,60	
6	17	4,60	4,31	4,40		92			432,29	4,65
	18	4,60	4,31	4,24					403,21	4,50
	19	4,60	3,96	4,17					405,44	4,60
	20	4,10	3,59	3,71					356,71	4,55

## 5.2.2 Geodetisk inmätning

Under genomförandet utfördes mätningar (se kapitel 3.1 geodetisk inmätning) av påhuggslägena för mellan 15–20 jämnt fördelade konturhål, samtliga sulhål samt en varierande mängd hjälparhål och strosshål. Motsvarande utfördes även för slutpunkterna med skillnaden att deras position extrapolerades. I detta avsnitt behandlas endast de mätdata som avser sul- och konturhål.

Bornnoggrannheten i konturhål 1–28 samt sulhål 29–38 förbättrades efter hand och det radiella avståndet (längden från centrum som borrhålet avviker från den teoretiska placeringen) var redan under 5 cm i salva 5. Från och med salva 5 borrhades borrhålen mot målad kontur och med visuell kontroll. Hur de radiella avstånden från den geodetiska inmätningen av påhugg och vidare extrapolering av slutpunkter varierar över salva 4–20 ses i figur 5-2. För standardavvikelse samt max och min värde för respektive salva se tabell 5-8.



Figur 5-2. Medelvärde radiellt avstånd från planerat baserat på den geodetiska inmätningen för påhugg och extrapolerade slutpunkter för konturhål 1–28 och sulhål 29–38. I figuren ses även den stickning som har använts på 30, 20 respektive 25 cm.

Man kan se att det radiella avståndet i påhugg och slutpunkter försämras i salva 6, 7 och 8. Detta kan härledas till att 20 cm stickning användes vilket gav trängre utrymme för bommen och sämre förutsättning att göra påhuggen. De tester som utfördes under salva 6–8 kan också ses i resultaten för det radiella avståndet i slutpunkterna, då man i salva 8 använde sig av metoden att borrhägen får sköta efterjusteringarna själv medan man i salva 6 och 7 använde sig av visuell justering.

Under salva 15 var borrhagens laserlinje förskjuten 10 cm åt höger vilket påverkade sulhålerna som borrades innan detta justerades.

Under salva 19 ses att slutpunkterna har ett betydligt sämre radiellt avstånd. Två hål i höger anfang har identifierats med avvikelser på upp till 30 cm.

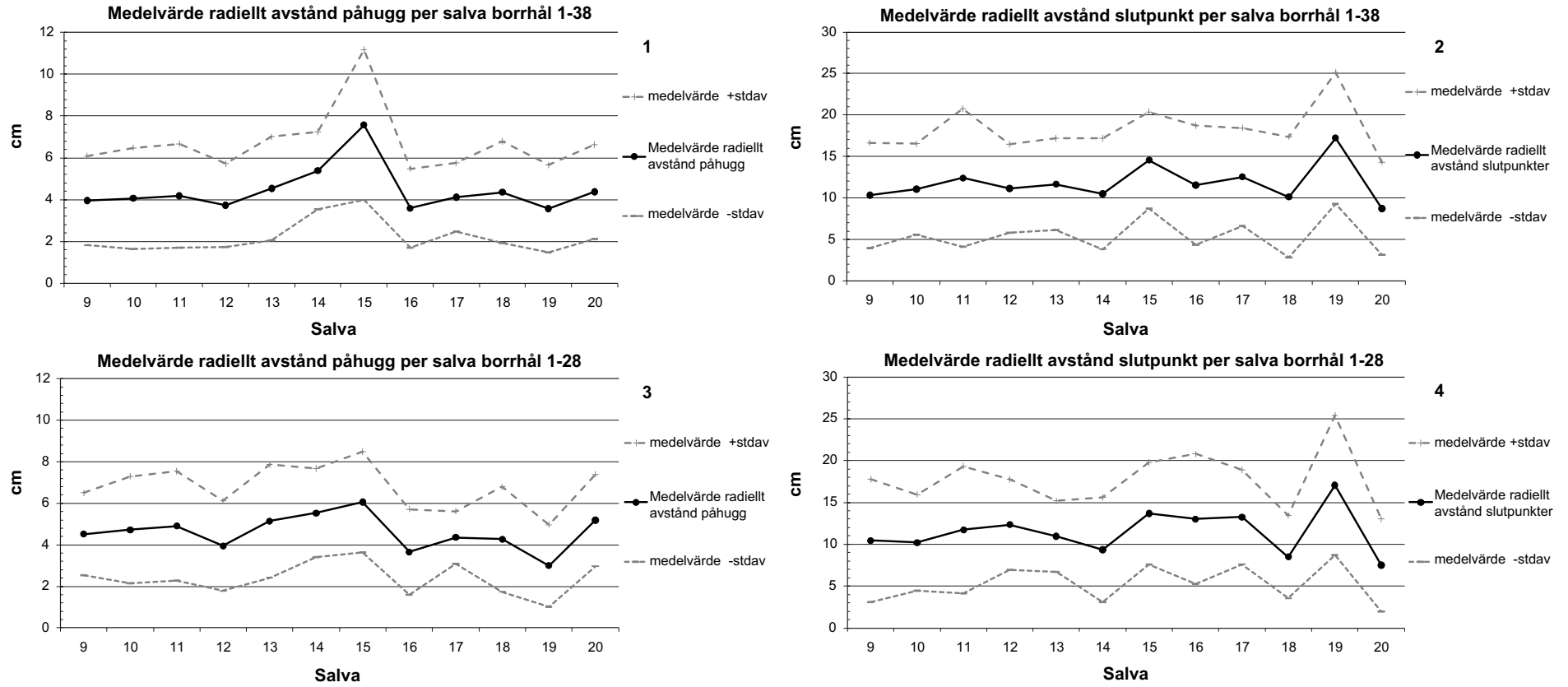
**Tabell 5-8. I tabellen ses standardavvikelsen för salva 4–20 från den geodetiska inmätningen av borrhål för påhugg samt extrapolerade slutpunkter, samt maximum och minimum värde för det radiella avståndet för respektive salva.**

Salva	Antal hål [st]	Antal inmätta hål [st]	Påhugg			Slutpunkter		
			Standardavvikelse [cm]	Max värde [cm]	Min värde [cm]	Standardavvikelse [cm]	Max värde [cm]	Min värde [cm]
4	38	28	3,44	13,84	0,32	10,08	41,46	5,87
5		27	2,87	13,82	0,61	7,21	34,68	4,39
6		25	3,70	13,64	0,78	8,04	37,43	0,64
7		32	4,88	24,55	1,14	8,84	37,94	0,51
8		37	3,94	15,52	0,14	6,63	31,49	0,00
9		27	2,14	8,64	0,22	6,34	24,32	0,89
10		26	2,41	8,88	0,41	5,48	24,19	1,94
11		27	2,48	10,50	0,51	8,34	34,21	2,20
12		27	1,99	7,98	0,20	5,32	26,43	1,32
13		27	2,47	10,42	0,94	5,53	29,12	2,52
14		26	1,85	10,58	2,51	6,86	25,16	0,00
15		27	3,60	15,42	1,90	5,82	28,46	5,20
16		27	1,89	8,04	0,41	7,20	25,99	1,17
17		26	1,63	7,78	0,32	5,91	25,90	1,55
18		26	2,44	9,73	0,67	7,29	33,08	1,70
19		26	2,09	8,42	0,61	7,92	33,71	5,58
20		26	2,26	9,79	0,36	5,59	20,81	1,12

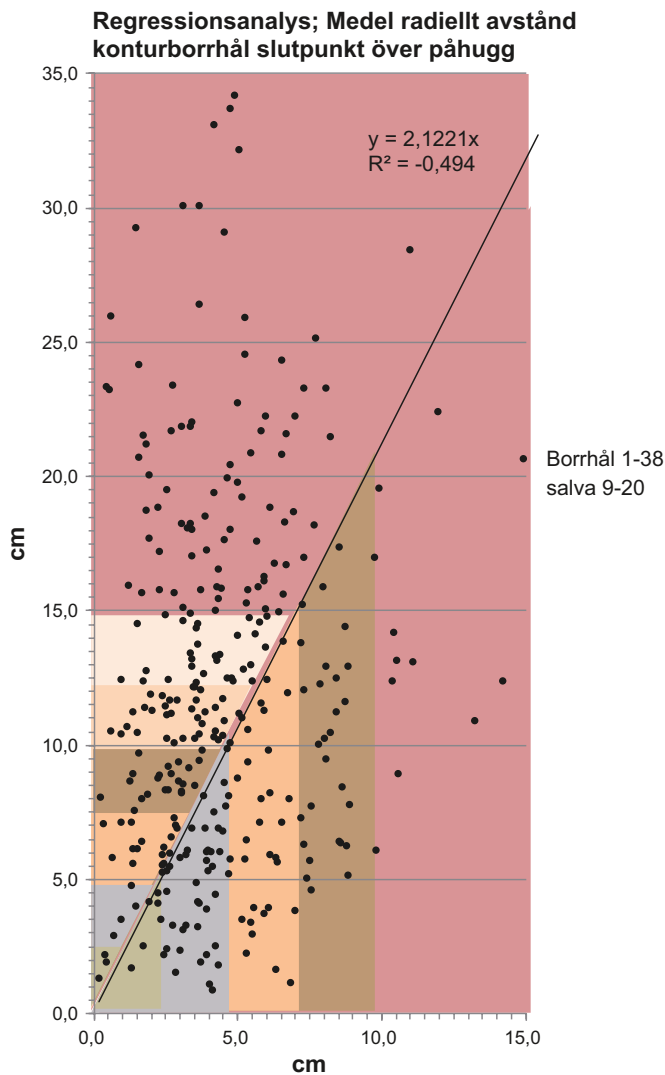
Salva 9–20 har haft samma förutsättningar i form av 25 cm stickning och användning av tändare (i-kon och NONEL), därav har vidare utveckling och analysering av resultaten koncentrerats till dessa salvor.

I figur 5-3 ses medelvärdet för det radiella avståndet för borrhål 1–28 kontur (diagram 1 och 2) och borrhål 1–38 kontur samt sula (diagram 3 och 4) för påhugg samt extrapolerade slutpunkter. I diagrammen ses även medelvärde plus standardavvikelse samt medelvärde minus standardavvikelse för att representera den variation som kan förekomma. Man kan vid en jämförelse av diagram 1 och 3 se att sulhålerna 29–38 medför ökningen i radiellt avstånd vid salva 15 i diagram 1.

En regressionsanalys har utförts mellan påhuggspunkter och extrapolerad slutpunkter, se figur 5-4. I figuren ses även klassificeringen med färgsättning enligt tabell 3-6. Som framgår av figuren finns inget samband, ett bra påhugg kan ge sämre slutpunkt och tvärtom. Dock kan ses att endast en mindre andel av borrhålen har stora avvikelser i det radiella avståndet. Av de geodetiskt inmätta borrhålen ses att endast 3 % av de inmätta borrhålen har ett radiellt avstånd mer än 10 cm i påhuggen och 13 % av de extrapolerade slutpunkterna har ett radiellt avstånd mer än 20 cm.



**Figur 5-3.** Medelvärdet för det radiella avståndet för påhugg och extrapolerade slutpunkter för respektive salva från den geodetiska inmätningen beräknat på salva 9–20 för borrhål 1–38 (1 och 2) och 1–28 (3 och 4).

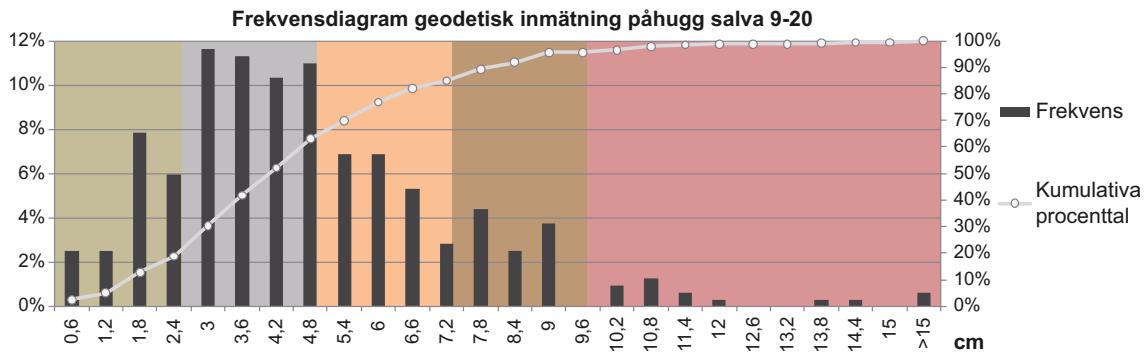


**Figur 5-4.** Regressionsanalys över påhugg (x-axel) och extrapolerade slutpunkter (y-axel) från den geodetiska inmätningen av borrhålen. Analysen har gjorts för konturhål och sulhål, borrhål 1–38 för salva 9–20.

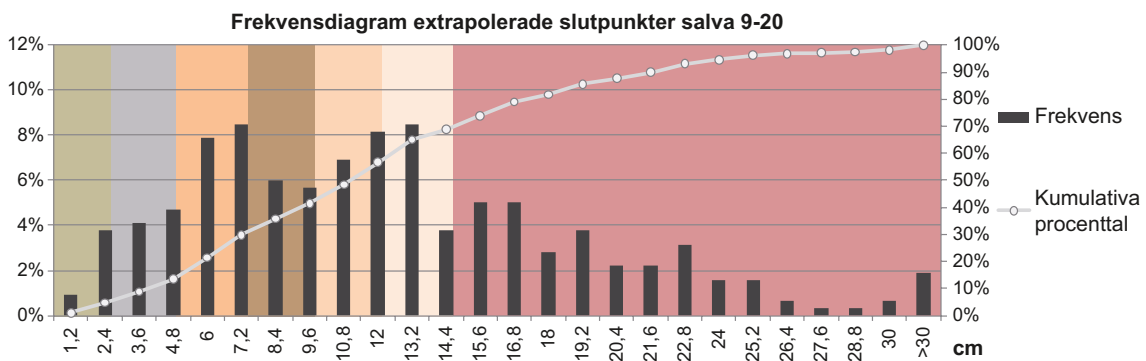
I figur 5-5 och figur 5-6 kan frekvensdiagram ses över geodetiskt inmätta påhugg respektive extrapolerade slutpunkter. Diagrammen visar även kumulativa procenttal. I diagrammen syns även den klassificering som beskrevs i avsnitt 3.4.2. Av de inmätta påhuggen kan till exempel ses att 95,6 % av påhuggen har ett radiellt avstånd mindre än 9,6 cm, vilket motsvarar två borrhonor. Av de extrapolerade slutpunkterna ses att 68,9% har ett radiellt avstånd mindre än 14,4 cm, vilket motsvarar tre borrhonor.

Medelvärdet för det radiella avståndet har även beräknats för respektive borrhål. I figur 5-7 kan medelvärdet ses för konturhål 1–28 och i figur 5-8 kan medelvärdet ses för sulhål 29–38. En tendens kan ses att de största svårigheterna vid borrhning är borrhålen längst ner på höger respektive vänster vägg vid hörnhålen, samt i anfang och tak. I sulhålen kan man se en tendens att borrhål närmast mitten har större avvikelse i radiellt avstånd mot teoretisk placering.

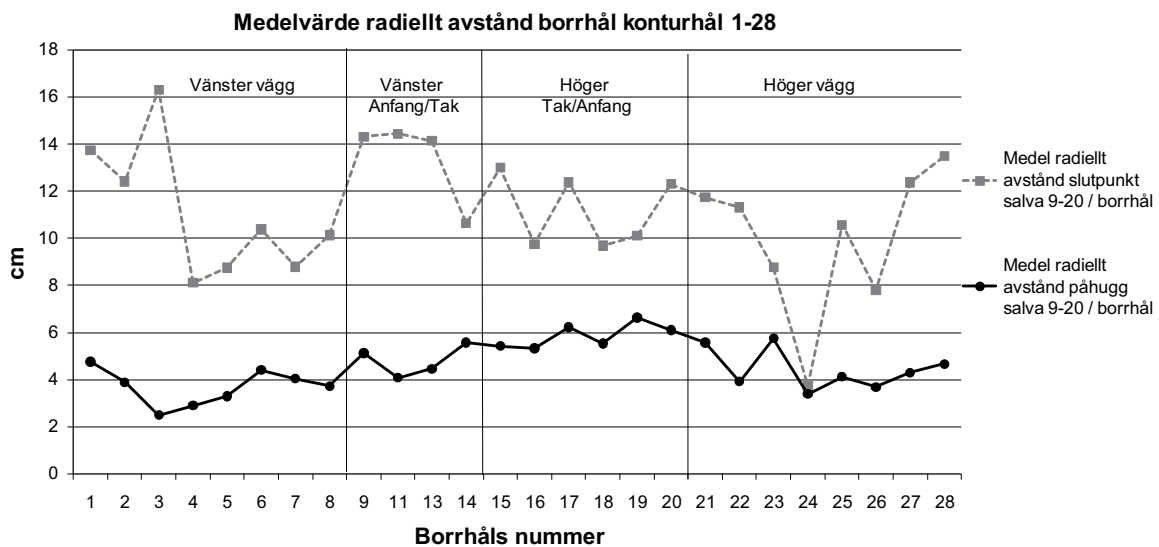
Från den geodetiska inmätningen av påhuggen har ett antal hål identifierats som borrhade innanför teoretisk kontur.



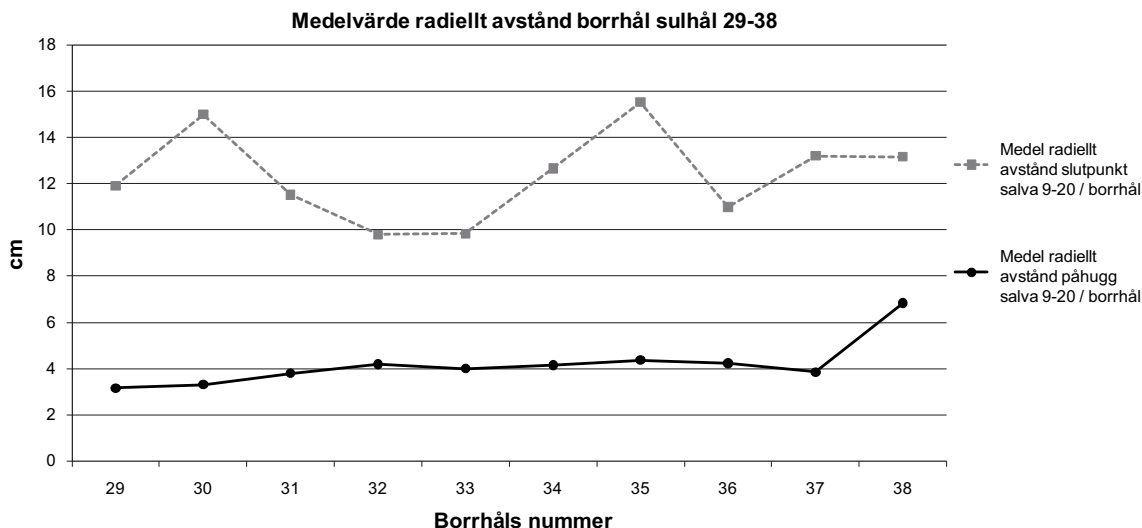
Figur 5-5. Frekvensdiagram över geodetiskt inmätta påhugg i salva 9–20. Diagrammet visar andel i procent för respektive radiellt avstånd indelat i klasser i cm. Grå linje visar även kumulativa procenttal.



Figur 5-6. Frekvensdiagram över extrapolerade slutpunkter i salva 9–20. Diagrammet visar andel i procent för respektive radiellt avstånd indelat i klasser i cm. Grå linje visar även kumulativa procenttal.



Figur 5-7. Medelvärde radiellt avstånd för borrhål 1–28 i konturen över salva 9–20. Hel svart linje visar påhugg, streckad grå linje visar extrapolerade slutpunkter. Observera att borrhål nummer 10 och 12 aldrig blivit inmätta för salva 9–20, därav saknas värden.



**Figur 5-8.** Medel radiellt avstånd för borrhål 29–38 i sulan över salva 9–20. Hel svart linje visar påhugg, streckad grå linje visar extrapolerade slutpunkter.

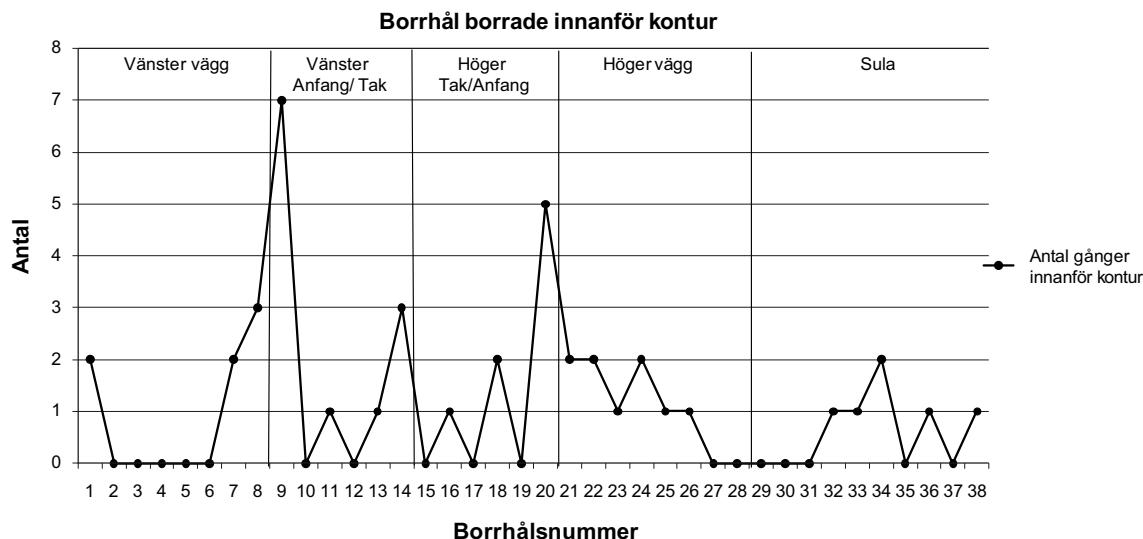
I tabell 5-9 ses antal påhugg som registrerats som borrade innanför teoretisk kontur per salva, samt var de var placerade. Salva 4, 6 och 7 är de salvor där flest borrhål borrats innanför teoretisk kontur. Hål i sulan är de som oftast registrerats innanför teoretisk kontur, dock innefattar det även salva 4 där i stort sätt alla sulhålen borrades innanför. Detta kan härledas till att sulan i salva 3 låg för högt och resulterade i att borrkronan hade svårt att få fäste och rätt påhuggsläge, vid ansättningen i salva 4. Bortser man från detta är vänster anfang/tak den del av salvan där flest hål registrerats innanför teoretisk kontur.

**Tabell 5-9. Antal påhugg borrade innanför teoretisk kontur per salva och deras läge i salvan.**

Salva	Vänster vägg	Vänster Anfang/ tak	Höger Anfang/ tak	Höger vägg	Sula	Total
4	1			2	9	12
5					2	2
6		3	1	3		7
7	1	2	1	5		9
8			1		1	2
9				1		1
10			1			1
11					2	2
12	1	1			1	3
13		1			1	2
14		1				1
15	1	1				2
16	1	1				2
17						0
18	1		3			4
19			1		1	2
20	2	2				4
Total	8	12	8	11	17	–

I figur 5-9 ses påhugg i konturen nr 1–28 samt borrhål nr 29–38 i sulan och hur många gånger respektive påhugg har registrerats som borrat innanför konturen. Man kan se att borrhålen i vänster respektive höger anfang, borrhål 9 respektive 20, är de borrhål som flest antal gånger har borrats innanför konturen.





**Figur 5-9.** Påhugg nr 1–28 i kontur och nr 29–38 i sula och antal gånger de har borrats innanför kontur mellan salva 6–20.

### 5.2.3 Geodetisk inmätning vs borrhagens inmätning

Den geodetiska inmätningen har även jämförts med borrhagens inmätning av borrhål. I Appendix 6 kan figurer ses över påhuggens lägen för kontur och sula i salva 3–20, och jämförelse mellan borrhålets teoretiska placering av påhugg, de geodetiska inmätta borrhålen samt borrhagens registrerade placering av borrhålets påhugg. Se även Appendix 7 för figurer över slutpunkternas placering för kontur och sula i salva 3–20, och jämförelse mellan borrhålets teoretiska placering av slutpunkter, placeringen av de extrapolerade slutpunkterna samt de beräknade slutpunkter för borrhålen från borrhagen.

Vid inmätningen av borrhålets påhuggslägen visar borrhagen lägre medelvärde för det radiella avståndet än den geodetiska. Skillnaden ligger mellan 1–2 cm för påhuggen beroende på vilken grupp av borrhål man tittar på, se tabell 5-10.

Vid en jämförelse av de extrapolerade slutpunkterna och de från borrhagen beräknade slutpunkterna, visar borrhagen lägre medelvärde för det radiella avståndet än de extrapolerade slutpunkterna. Skillnaden ligger mellan 4–10 cm för slutpunkterna beroende på vilken grupp av borrhål man tittar på, se tabell 5-11.

Denna jämförelse av påhugg och slutpunkter från den geodetiska inmätningen och av borrhagen registrerade kan även ses i figur 5-10 för påhugg och Figur 5-11 för extrapolerade och beräknade slutpunkter. Heldragen svart linje visar medelvärdet för hur borrhagen har registrerat borrhålen per salva och grå streckad linje visar medelvärdet för den geodetiska inmätningen av borrhålen. Den svarta punktmarkerade linjen är det radiella avståndet mellan de geodetiska inmätta borrhålen och borrhagens registrering av borrhålen.

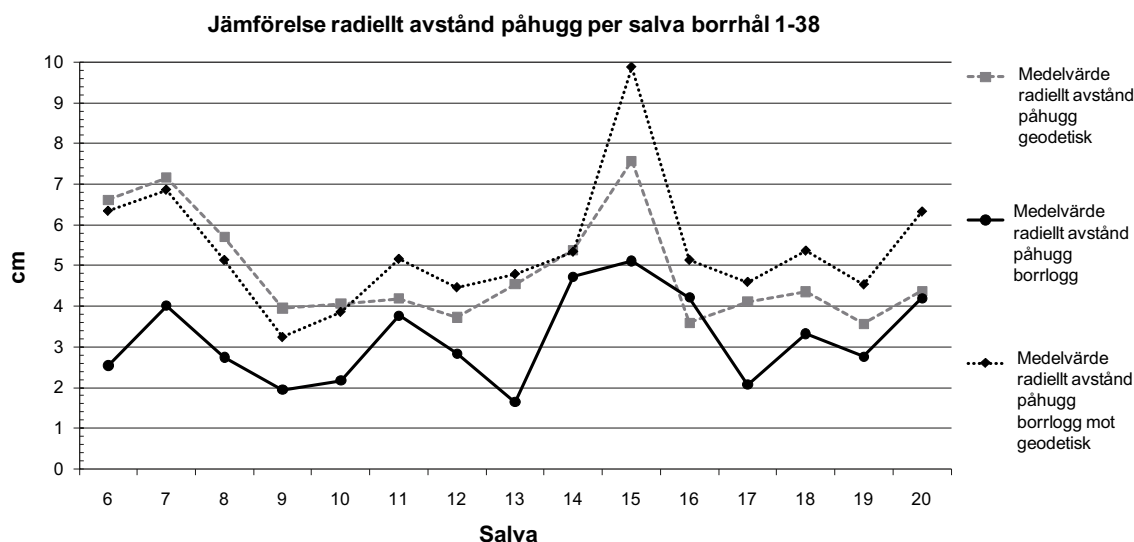
Om detta medelvärde är det högsta ger detta en indikation att avvikelsen mellan hur borrhagen registrerar borrhålet och den geodetiska inmätningen och vidare extrapolering av borrhålet är stor. Vid låga medelvärden för den punktmarkerade linjen så indikerar det att borrhagen registrerar borrhålet och den geodetiska inmätningen och vidare extrapolering av borrhålet ligger nära varandra.

**Tabell 5-10. Jämförelse av samt differensen mellan medelvärden av radiella avstånd till den teoretiska borrhållsplaceringen, för den geodetiska inmätningen och borrhagens inmätning av borrhålens placering i påhugg för salva 9–20.**

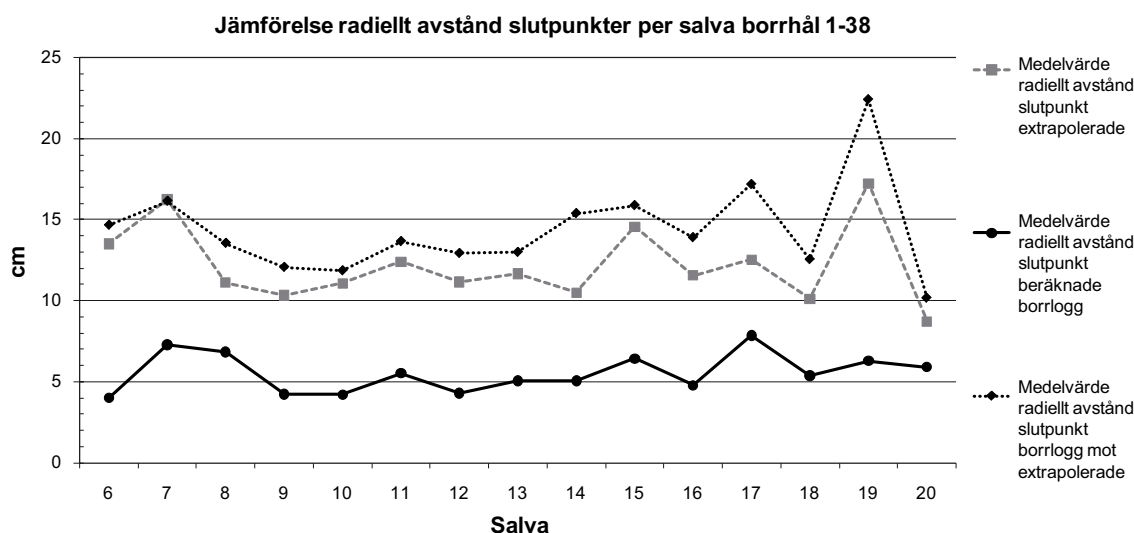
Medelvärde radiellt avstånd påhugg	Geodetisk [cm]	Borrloggen [cm]	Differens [cm]
<b>Vänster vägg</b>	3,85	3,20	0,65
standardavvikelse	2,08	2,46	
<b>Höger vägg</b>	4,60	3,22	1,38
standardavvikelse	2,60	2,47	
<b>Vänster anfang/tak</b>	4,73	3,67	1,06
standardavvikelse	2,01	2,12	
<b>Höger anfang tak</b>	5,77	3,07	2,70
standardavvikelse	2,24	2,13	
<b>Sula</b>	4,19	3,10	1,09
standardavvikelse	2,78	1,88	
<b>Vänster sula</b>	4,57	2,91	1,66
standardavvikelse	2,68	1,77	
<b>Höger sula</b>	3,80	3,30	0,51
standardavvikelse	2,86	1,99	
<b>Vänster bom</b>	4,35	3,27	1,08
standardavvikelse	2,32	2,20	
<b>Höger bom</b>	4,57	3,19	1,38
standardavvikelse	2,71	2,24	
<b>Kontur borrhål 1–28</b>	4,61	3,28	1,33
standardavvikelse	2,34	2,32	
<b>Kontur borrhål 1–38</b>	4,45	3,23	1,22
standardavvikelse	2,52	2,22	
<b>Alla inmätta borrhål</b>	4,84	2,82	2,02
standardavvikelse	2,98	2,78	

**Tabell 5-11. Jämförelse av samt differensen mellan medelvärden av radiella avstånd till den teoretiska borrhållsplaceringen, för extrapolerade slutpunkter och de från borrhagen beräknade placeringarna av borrhålens slutpunkter för salva 9–20.**

Medelvärde radiellt avstånd slutpunkt	Extrapolerade slutpunkter [cm]	Borrloggen [cm]	Differens [cm]
<b>Vänster vägg</b>	11,15	5,65	5,50
standardavvikelse	6,55	4,14	
<b>Höger vägg</b>	10,66	6,56	4,11
standardavvikelse	6,57	4,48	
<b>Vänster anfang/tak</b>	13,71	3,75	9,96
standardavvikelse	7,18	2,42	
<b>Höger anfang tak</b>	10,82	4,20	6,62
standardavvikelse	6,00	2,54	
<b>Sula</b>	12,37	6,04	6,32
standardavvikelse	6,92	4,48	
<b>Vänster sula</b>	13,24	4,92	8,31
standardavvikelse	7,46	4,11	
<b>Höger sula</b>	11,50	7,16	4,33
standardavvikelse	6,28	4,60	
<b>Vänster bom</b>	12,59	4,86	7,74
standardavvikelse	7,10	3,74	
<b>Höger bom</b>	11,01	5,97	5,04
standardavvikelse	6,30	4,17	
<b>Kontur borrhål 1–28</b>	11,49	5,19	6,30
standardavvikelse	6,66	3,79	
<b>Kontur borrhål 1–38</b>	11,82	5,41	6,40
standardavvikelse	6,76	4,00	
<b>Alla inmätta borrhål</b>	12,50	4,99	7,51
standardavvikelse	7,31	4,03	



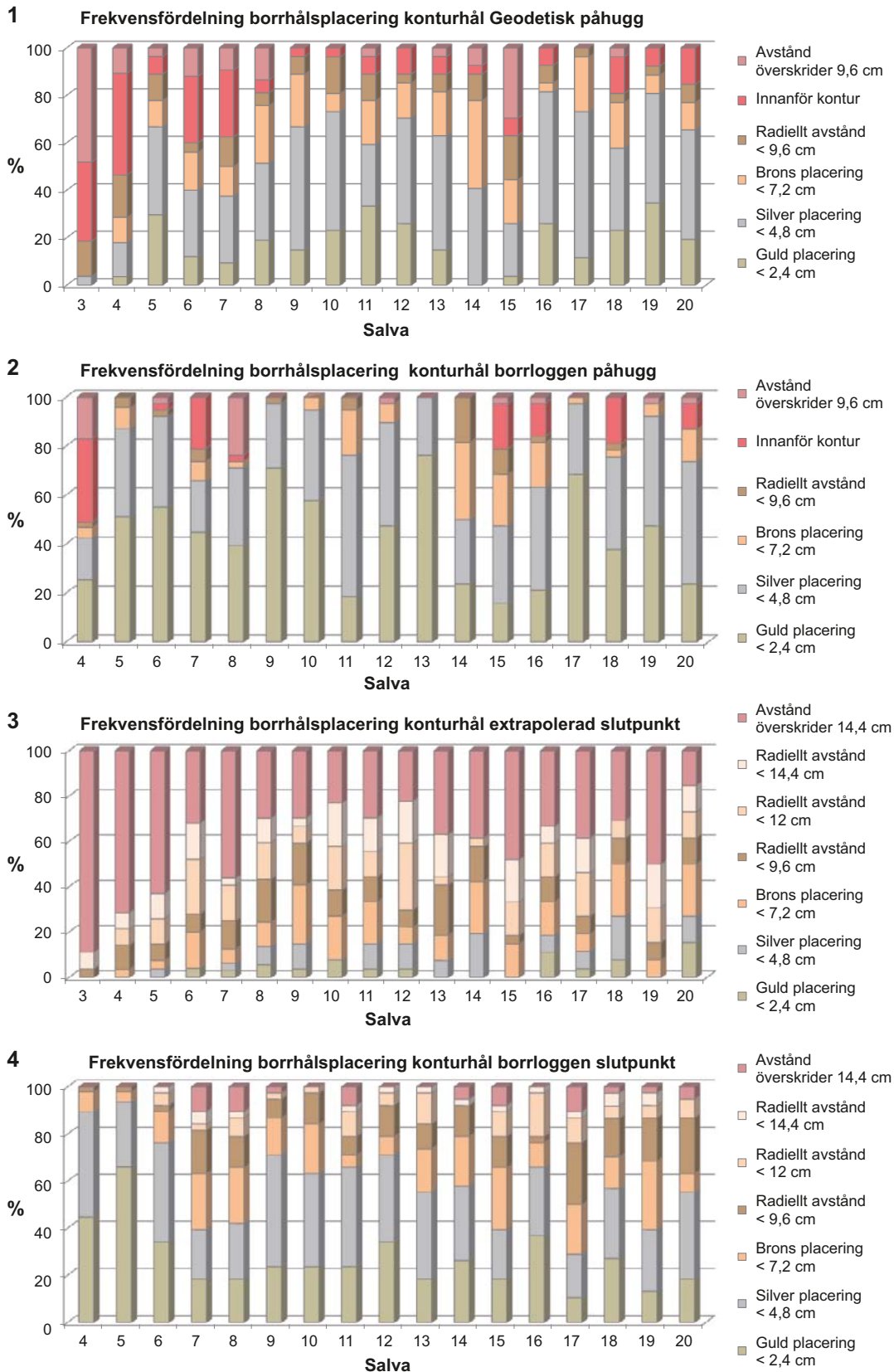
**Figur 5-10.** Jämförelse av medelvärde av radiella avstånd mellan inmätta borrhål och teoretisk borrhåls-placering för påhugg, beräknat på borrhål 1–38. Geodetisk inmätning (grå streckad linje), borrhiggens registrering (svart linje). Figuren visar även medelvärdet av radiella avstånd mellan borrhiggens registrering av borrhål och den geodetiska inmätningen (svart punktmarkerad linje).



**Figur 5-11.** Jämförelse av medelvärde av radiella avstånd mellan inmätta borrhål och teoretisk borrhåls-placering för slutpunkter, beräknat på borrhål 1–38. Extrapolerade slutpunkter (grå streckad linje), beräknade slutpunkter från borrhiggens registrering (svart linje). Figuren visar även medelvärdet av radiella avstånd mellan från borrhiggens registrering beräknade slutpunkter och extrapolerade slutpunkter (svart punktmarkerad linje).

I Appendix 8–10 redovisas träffbildsdiagram för geodetiskt inmätta och av borrhigen registrerade påhugg, samt extrapolerade slutpunkter och från borrhlogen beräknade slutpunkter. I Appendix 8 redovisas träffbildsdiagram för påhugg och slutpunkter från berguttag 2, i Appendix 9 redovisas träffbildsdiagram för påhugg från berguttag 3–6 och i Appendix 10 redovisas träffbildsdiagram för slutpunkter från berguttag 3–6. I origo är det teoretiska borrhålet och diagrammet visar radiellt avstånd samt vinkel från den teoretiska placeringen. Diagrammen är delade i höger vägg, vänster vägg, anfang/tak samt sula, detta då den accepterade vinkeln är olika för respektive del, se Appendix 4.

Utifrån godkänd och icke godkänd träffyta som beskrevs i avsnitt 3.4.2 kan frekvensindelningen för den geodetiska inmätningen av borrhålens påhugg och vidare extrapolering av slutpunkterna, samt borrhiggens inmätta påhugg och vidare beräknade slutpunkter ses i figur 5-12. Borrhiggens inmätning av borrhål överskattar precisionen jämfört med den geodetiska inmätningen.

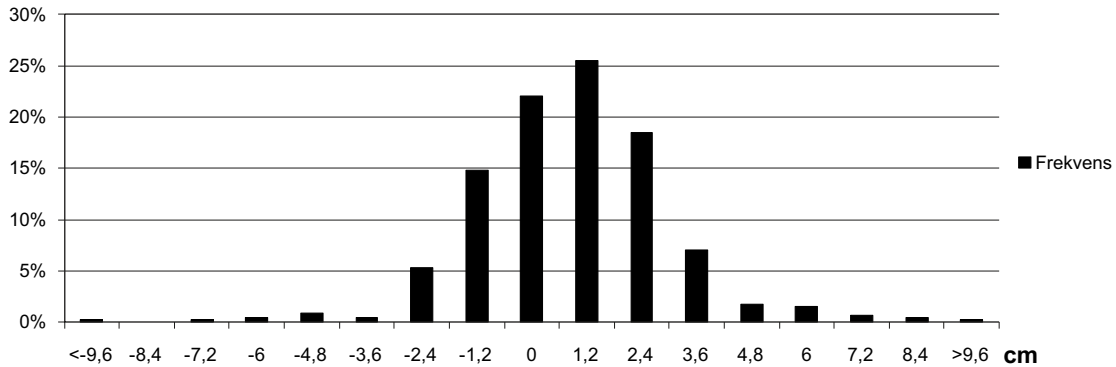


**Figur 5-12.** Frekvensfördelning av borrhål enligt : den geodetiska inmätningen av borrhål 1) Påhugg, 3) Extrapolerade slutpunkter samt borrhoggens inmätning av borrhål 2) Påhugg, 4) Slutpunkter.

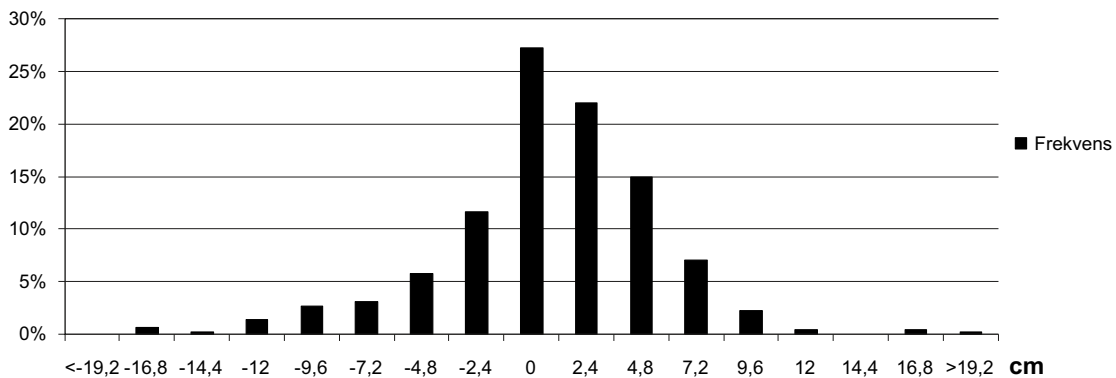
## 5.2.4 Parallellitet

För att bedöma parallelliteten för konturhål har det radiella avståndet mellan närliggande borrhål beräknats ur data från borrhägen och sedan jämförts mot det teoretiska avståndet enligt borrhägen. I figur 5-13 ses fördelningen av avvikelser mot teoretisk borrhägen i radiellt avstånd mellan två närliggande hål för påhugg. Man kan se att avvikelserna fördelas som både kortare och längre avstånd än teoretisk borrhägen. Endast 2 % av påhuggen har en avvikelse < -4,8 cm och 3 % en avvikelse > 4,8 cm.

I figur 5-14 ses fördelningen av avvikelserna mot teoretisk borrhägen i radiellt avstånd mellan två närliggande hål för slutpunkter. Endast 5 % av slutpunkterna har en avvikelse < -9,6 cm och 1 % en avvikelse > 9,6 cm.



**Figur 5-13.** Fördelningen i procent av avvikelserna mot teoretisk borrhägen i radiellt avstånd mellan två närliggande hål för påhugg. Negativa värden = borrhägen registrerar kortare avstånd än teoretisk borrhägen. Positiva värden = borrhägen registrerar längre avstånd än teoretisk borrhägen.



**Figur 5-14.** Fördelningen i procent av avvikelserna mot teoretisk borrhägen i radiellt avstånd mellan två närliggande hål för slutpunkter. Negativa värden = borrhägen registrerar kortare avstånd än teoretisk borrhägen. Positiva värden = borrhägen registrerar längre avstånd än teoretisk borrhägen.

### 5.3 Laddning

Resultatet från den manuella inmätningen av borrhålslängd, kvarvarande piplängd efter packning av bottenladdning samt längd på förladdning som genomfördes i salva 17–20 kan ses i tabell 5-12. Dessa längder användes sedan för beräkningen av specifik laddning.

**Tabell 5-12. Resultat från inmätningen av utvalda borrhål i salva 17–20, Borrlängd, förladdning och packning.**

Salva	Borrlängd [m]	Förladdnings Längd [m]	Packning [m]
<b>Konturhål</b>			
17	4,44	0,35	0,05
18	4,40	0,37	0,05
19	4,31	0,32	0,04
20	3,85	0,31	0,04
Medel salva 17–20	4,15	0,34	0,05
<b>Sulhål</b>			
17	4,54	0,35	0,15
18	4,43	0,37	0,15
19	4,27	0,41	0,16
20	4,03	0,36	0,16
Medel salva 17–20	4,32	0,37	0,15
<b>Strosshål</b>			
17	4,35	0,41	0,14
18	4,13	0,44	0,13
19	4,09	0,45	0,14
20	3,59	0,40	0,16
Medel salva 17–20	4,04	0,43	0,14
<b>Hjälpåre</b>			
17	4,50	0,45	0,15
18	4,28	0,45	0,16
19	4,30	0,47	0,13
20	3,68	0,44	0,13
Medel salva 17–20	4,19	0,45	0,14

Det laddningsutförande som redovisas i avsnitt 4.2 resulterade tillsammans med de utförda borrlängderna i skillnader i specifik laddning per borrar volym i de olika salvorna. Den teoretisk beräknade laddningsmängden är den exakta laddningsmängden där ingen hänsyn tas till att vissa laddningar ej kan delas, se avsnitt 3.2.3. Då det ej är praktiskt genomförbart att ladda med den teoretiska mängden, har den största laddningsmängden som kan användas beräknats och presenteras i tabell 5-13 som max laddningsmängd per salva. I tabellen ses även eventuellt förekommande lägre avvikelse, som är det variationsintervall i % som kan förekomma ner till den lägsta laddningsmängd som kan användas. Resultatet blir då att den specifika laddningen kan ha ett variationsintervall mellan största och lägsta laddningsmängd.

**Tabell 5-13. Laddningsmängd per salva, specifik laddning (kg/ m<sup>3</sup>) med variationsintervall samt specifik laddning enligt den ursprungliga laddplanen baserad på en 4 m salva. Tabellen visar även använda borrhjup och medeltunnelarea.**

Salva nr	Max Laddningsmängd per salva [kg]	Borrhjup i berg [m]	Medel tunnelarea [m <sup>2</sup> ]	Specifik laddning [kg/m <sup>3</sup> ]	Variationsintervall [%]	Specifik laddning enligt ursprunglig laddplan baserat på 4 m salva [kg/m <sup>3</sup> ]
4	205,2	4,30	21,58	2,21	-6,9	2,06
5	188,6	3,98		2,29	-9,7	
6	191,2	4,16	20,66	2,22	-3,2	2,15
7	205,2	4,20		2,36	-9,9	
8	188,6	4,06		2,25	-1,8	
9	192,2	4,52		2,01	0	
10	192,2	4,61		1,97	0	
11	167,2	3,77		2,10	-7,7	
12	133,4	3,07		2,06	-0,0	
13	192,2	4,34	21,12	2,10	-6,7	2,10
14	179,6	4,11		2,07	0	
15	179,4	3,96		2,15	-2,0	
16	182,0	4,18		2,06	-3,4	
17	185,9	4,40		2,00	-7,0	
18	170,6	4,24		1,90	0	
19	173,0	4,17		1,96	0	
20	151,2	3,71		1,93	0	

## 5.4 Sprängning

Resultaten från mätningarna av luftstövåg, kast och högst uppmätta vibration (Peak Particle Velocity, ppv [mm/s]) per salva kan ses i tabell 5-14. När elektroniktändarna introducerades i salva 9, så överskred luftstövågen mikrofonens mätområde. Från och med salva 13 så användes en mikrofon med högre mätområde. Luftstövågen fördubblades och ett samband kan ses till att tändplanen som inledningsvis var med endast pyrotekniska tändare (NONEL) använde initieringstid 6 000 ms för salvan, medan när de elektroniska tändarna användes så sjönk initieringstiden till 2 850 ms. Detta medförde att fler hål initieras på samma intervallnummer vilket ledde till en stor ökning av samverkande laddningsmängd och till att luftstövågen ökade.

**Tabell 5-14. Sammanställning av uppmätta luftstövåg och längd på framkast. Samt högsta uppmätta vertikala vibration.**

Salva nr	Luftstövåg [Pa]	Framkast [m]	Högst uppmätt vertikal vibration [ppv mm/s]
5	ej registrerad	täckning	-
6	840	täckning	17,2
7	744	täckning	13,4
8	940	täckning	7,5
9	> 1 023	täckning	17,3
10	> 1 023	täckning	26,5
11	> 1 023	täckning	13,9
12	> 1 023	35	18,3
13	1 611	26	15,0
14	1 750	26	13,7
15	2 356	24	10,0
16	1 617	27	13,3
17	1 790	26	9,8
18	1 463	26	10,0
19	1 365	26	9,2
20	2 857	40	8,7

## Vibrationer

En sammanställning av salvorna 6–20 har gjorts för de högsta vibrationerna noterade i salvorna samt avstånd till givaren (V3) som var placerad vid betongpluggen i tunneln bredvid TASS se tabell 5-15. Med hjälp av vibrationsdiagram har sedan bedömningar gjorts på var i salvan den högsta vibrationen noterats och sedan har den samverkande laddningen beräknats enligt /Olofsson 2007/. Uppmätta vibrationer och samverkande laddningar för de olika salvdelarna redovisas i Appendix 11. I tabellerna i Appendix 11 presenteras även uppmätt vertikal svängningshastighet per kg, beteckningen används för att visa förhållandet mellan vibration och samverkande laddning [ppv/kg].

I salvorna 6–8 har tändare av NONEL typ använts upp till 6 000 ms och det har varit svårt att göra bedömningar då spridningen är stor och uteblivna intervaller förekommer. Salvorna 9–20 har tändare av NONEL typ upp till 2 500 ms och i-kon tändare mellan 2 650 ms till 2 850 ms. För tändplaner se avsnitt 4.2 Laddning/ Initiering. i-kon tändarna har en mycket exakt fördröjningstid vilket underlättar bedömningen, men fördröjningstiden mellan sula och tak har endast varit 5 ms för salvorna 9–16 och en viss osäkerhet finns om dessa samverkar. Högst samverkande laddningsmängd för salvorna 6–8 är i sulan (intervall 5 500), för salva 9 är den i vägg (intervall 2 750) då endast fyra hål i sulan hade samma initieringstid. I salvorna 10–16 är den högst samverkande laddningsmängd i sulan (intervall 2 800) och för salvorna 17–20 i hjälpare/kontur (intervall 2 750 ms) som en följd av att laddningsmängden i sulan reducerades. Dock har inte alltid den högst samverkande laddningsmängden gett den högst registrerade vibrationen se tabell 5-15.

**Tabell 5-15. Sammanställning av högsta vibrationen (vertikala svängningshastigheten) för salva 6–20, samt avstånd och vinkel till givare.**

Salva	Vinkel [°]	Avstånd lutande längd (radiellt avstånd) (till givare V3) [m]	Högst uppmätt vibration [ppv mm/s]	Samverkande laddningsmängd för högst registrerad vibration [kg]	Placering	Högst Samverkande laddningsmängd i salva [kg]	Placering
6	66	28,8	17,2	2,5	kil	5,3	sula
7	60	30,3	13,4	5,3	sula	5,3	sula
8	54	32,3	7,5	3,3	hjälpåre	5,2	sula
9	48	34,5	17,3	11,4	sula	16,6	kontur vägg
10	43	37,7	26,5	17,2	sula	17,2	sula
11	40	40,9	13,9	14,8	sula	14,8	sula
12	37	43,5	18,3	16,2	sula	16,2	sula
13	35	45,9	15,0	22,6	sula	22,6	sula
14	32	49,2	13,7	21,7	sula	21,7	sula
15	30	52,7	10,0	11,4	kontur tak	20,6	sula
16	28	55,8	13,3	21,4	sula	21,4	sula
17	28	59,4	9,8	14,6	sula	17,7	kontur vägg
18	26	63,5	10,0	14,4	sula	17,0	kontur vägg
19	24	67,2	9,2	17,2	hjälpåre/ kontur vägg	17,2	kontur vägg
20	23	70,8	8,7	13,0	sula	15,3	kontur vägg

En sammanställning av vertikala och horisontella (transversella och longitudinella) maximala vibrationsnivåer har gjorts på salvorna 6–20, se tabell 5-16. I sammanställningen har de högsta vibrationerna i varje salva och för de olika riktningarna jämförts. Intervallen har också sammanställts för respektive riktning i salvorna 14–20, (data saknas för övriga salvor). Uppmätta maximala vibrationsnivåer skiljer mellan riktningarna och det förekommer att uppmätta horisontella vibrationer är större än uppmätta vertikala vibrationer (salvorna 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 och 15). För salvorna 15, 17, och 18 har de högsta vibrationerna i respektive riktning uppmätts i olika intervaller.



**Tabell 5-16. Sammanställning av maximala vibrationsnivåer för horisontella och vertikala riktningar samt vilka fördröjningstider som orsakat dessa.**

Salva	Vmax Horisontell transversell	Vmax Horisontell Longitudinell	Vmax vertikal	Intervall Horisontell transversell	Intervall Horisontell Longitudinell	Intervall Vertikal
6	12,0	9,6	17,2			1 200
7	9,8	14,9	13,4			5 500
8	5,9	13,9	7,5			3 000
9	15,6	> 27,8	17,3			2 800
10	26,7	26,0	26,5			2 800
11	14,2	24,6	13,9			2 800
12	19,9	22,2	18,3			2 800
13	24,7	21,4	15,0			2 800
14	23,9	26,3	13,7	2 800	2 800	2 800
15	10,6	12,1	10,0	2 800	2 650	2 805
16	11,1	12,1	13,3	2 800	2 800	2 800
17	8,8	6,2	9,8	2 650	2 700	2 800
18	8,8	6,9	10,0	2 800	2 650/2 700	2 800
19	9,0	6,8	9,2	2 800	2 800	2 800
20	7,1	4,1	8,7	2 800	2 800	2 800

Resultaten visar att vibrationerna ej överstiger gränsvärdet för vertikal mätriktning på 30 mm/s för givaren (V3) vid betongpluggen. I resultaten ses också att den högsta samverkande laddningsmängden ej alltid ger högsta vibrationen. Dock bör man ha i beaktande att den samverkande laddningsmängden har beräknats enligt den tändarspridning som beskrivs i /Olofsson 2007/ och ett antagande har gjorts att elektroniska tändare med samma fördröjningstider detonerar samtidigt, så kallad momentan upptändning. Detta ledde till att vidare undersökningar gjordes gällande tändarspridning och samband vibrationer, avstånd och samverkande laddning.

### Tändarspridning

En sammanställning har gjorts över tändarintervallen för NONEL LP för att kontrollera hur spridningen var samt om de överlappade varandra. Detta för att se hur bra tändspridningen för NONEL enligt /Olofsson 2007/ stämmer med dessa sprängningar (nummer 0–20 ger 1/4 samt 25/60 ger 1/6). Teorier om samverkan 1/4 och 1/6 kan inte verifieras med stöd av dessa mätdata. Tabell 5-17 visar en sammanställning av intervallen 700 till 6 000 med NONEL tändare och spridningen inom intervallen. I snitt är avvikelserna ca 4% av fördröjningstiden. Tabellen visar att tändarna kommer sent i nominell initieringstid men även att intervall överlappar varandra.

**Tabell 5-17. Sammanställning av tändarintervallen 700 till 6 000 med NONEL tändare och spridningen inom intervallen.**

Intervall	Lägsta	Högsta	Medel	Avvikelse [%]	Antal	Överlappar föregående	Överlappar kommande
700	681	792	733	4,7	42		
800	805	894	847	5,9	41		x
900	873	981	940	4,4	36	x	
1 000	996	1 096	1 045	4,5	35		x
1 100	1 092	1 229	1 163	5,7	40	x	x
1 200	1 209	1 341	1 270	5,8	40	x	
1 400	1 400	1 533	1 460	4,3	27		
1 600	1 596	1 699	1 661	3,8	29		
1 800	1 845	1 976	1 894	5,2	30		x
2 000	1 960	2 206	2 119	6,0	27	x	x
2 500	2 142	2 715	2 491	-0,4	42	x	
3 000	2 957	3 200	3 078	2,6	30		
3 500	3 566	3 649	3 605	3,0	6		
4 000	4 035	4 246	4 145	3,6	30		
4 500	4 568	4 743	4 651	3,4	7		
5 000	5 092	5 251	5 163	3,3	28		
5 500	5 603	5 831	5 703	3,7	20		
6 000	6 175	6 347	6 265	4,4	6		

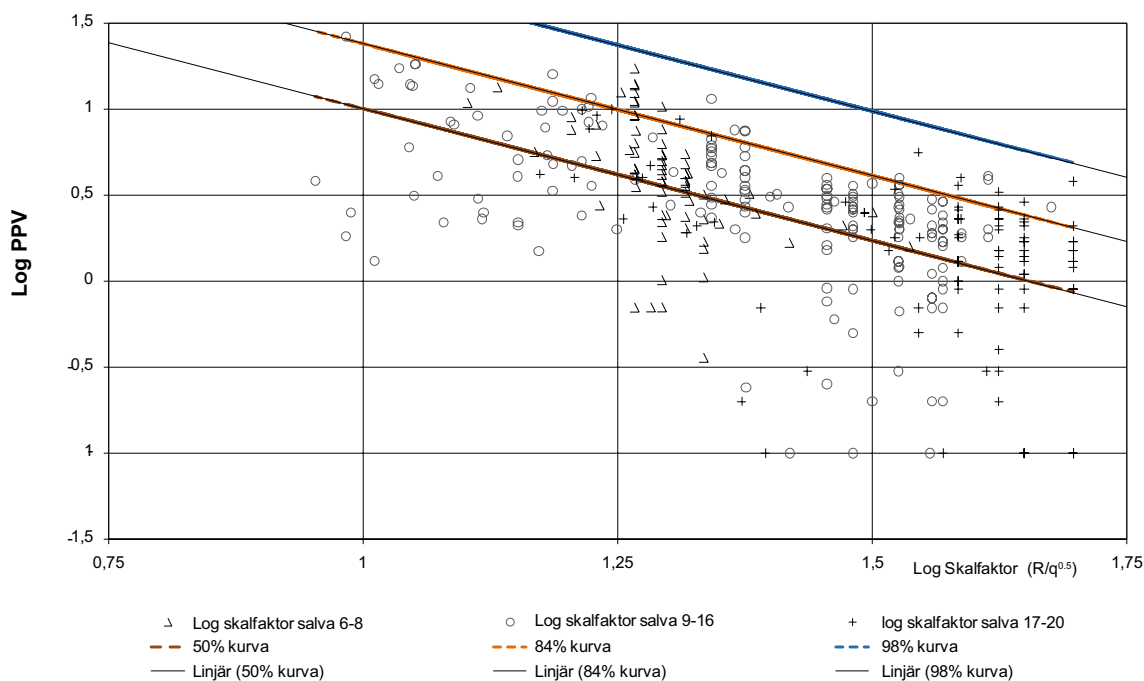
## Samband vibrationer, avstånd och samverkande laddning

Amplitud- avståndsberoende beräknades utifrån  $PPV(R, q_m) = A/(R/q_m^{0.5})^\beta$ .

Konstanterna A och  $\beta$  är platsspecifika och påverkas bland annat av geometri, geologi och sprängtekniska förhållanden. För att hitta A och  $\beta$  utfördes en regressionsanalys. I regressionsanalysen har toppvärden för samtliga intervall i salvorna 6–20 tagits med. Hänsyn har inte tagits till typ av tändare. Samverkande laddningsmängd har beräknats enligt tändarspridning  $\frac{1}{4}$  för intervall 0–20 och  $\frac{1}{6}$  för intervall 25–60. I figur 5-15 ses log (PPV) som en funktion över log skalfaktor ( $R/q^{0.5}$ ). Därefter har en regressionskurva beräknats för 50 % -kurvan, 84 % -kurvan och 98 % -kurvan. 50 % -kurvan representerar ett medelvärde, 84 % -kurvan representerar kurvan som ligger 1 standardavvikelse ovanför (med endast övre begränsning) och 98 % -kurvan representerar kurvan som ligger 2 standardavvikelser ovanför (med endast övre begränsning).

## Indrift

Det borrhingsutförande tillsammans med laddningsutförande som redovisas i avsnitt 4.1 respektive 4.2 resulterade tillsammans med de utförda borrhängderna i skillnader i indrift för de olika salvorna, se tabell 5-18. Det kan ses att indriften ligger strax under 100 % med några värden som överstiger 100 %. Värden som överstiger 100 % kan kopplas till den differens som uppstår mellan fempunktsinmätningen av stuf och borrhjupet. Borrigen registrerar borrhjupet för betydligt fler punkter (alla borrhål) och den inmätta salvlängden baseras på fempunktsinmätningen av stuf som beskrevs i avsnitt 3.3.6. Den ojämnhet i stuf som ses i resultaten från fempunktsinmätningen (tabell 5-2) och den differens som har identifierats vid kontrollen av borrhigen, se avsnitt 5.1.2 medför vissa felkällor. Bedömningen att indriften i salvorna är likvärdig och bedöms vara bra.



**Figur 5-15.** Log PPV (mm/s) som en funktion över Log skalfaktor ( $R/q^{0.5}$ ) för salva 6–8 (NONEL), salva 9–16 respektive 17–20 (NONEL och i-kon). Värden för 84 % - kurvan  $A=800,2$   $\beta=-1,53$ ,  $S=0,37$  och antal=383.

**Tabell 5-18. Indrift per salva, borrhjup medel från borrhoggen samt inmätt salvlängd för salva 5–20.**

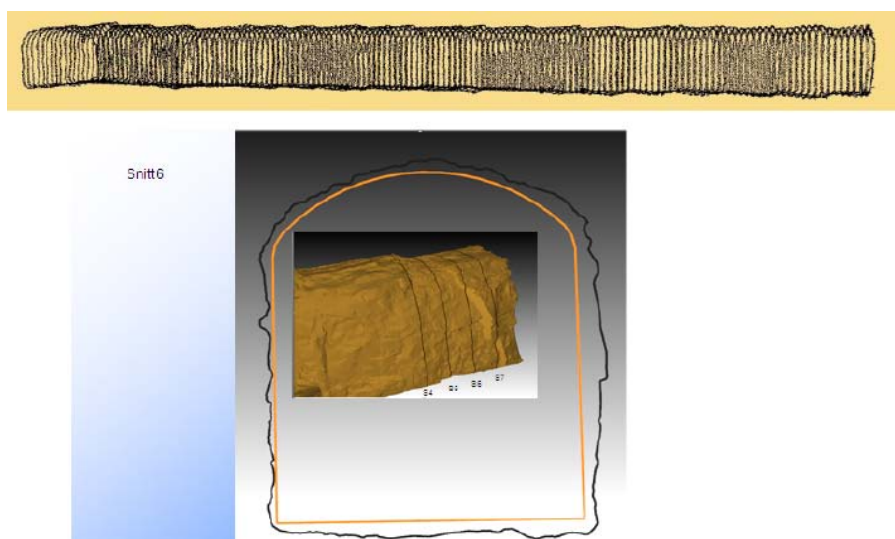
Salva nr	Inmätt salvlängd (Medelavstånd stuf till stuf från fempunktsinmätningen) [m]	Borrhjup Medel borrhogg alla borrhål [m]	Indrift [%]
5	3,86	3,98	97
6	4,10	4,16	99
7	4,10	4,20	98
8	4,00	4,06	99
9	4,56	4,52	101
10	4,64	4,61	101
11	3,58	3,77	95
12	2,95	3,07	96
13	4,05	4,34	93
14	4,05	4,11	99
15	3,78	3,96	96
16	4,01	4,18	96
17	4,31	4,40	98
18	4,31	4,24	102
19	3,96	4,17	95
20	3,59	3,71	97

## 5.5 Kontur

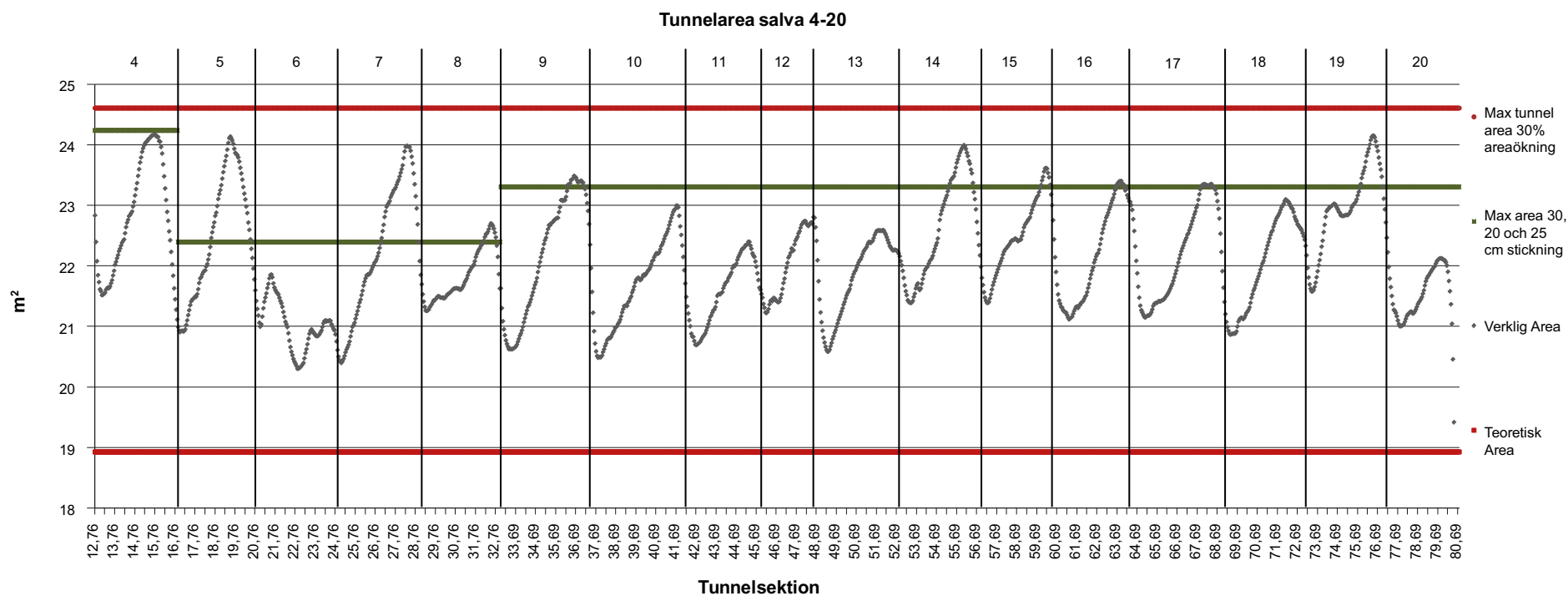
Från skanningsdata för tunneln har tvärsnitt skapats var 5:e cm, se figur 5-16, för att beräkna areor och volymer utanför och innanför kontur. Anledningen till att salva 20 inte används vid beräkningar av underberg och överberg är att tunnelgaveln registreras som underberg och inte representerar salva 20, och den verkliga volymen för salvan fås ej förrän nästkommande salva har sprängts. Detta kan ses i figur 5-17 och figur 5-18 där tunnelarea minskar i slutet av salva 20.

### 5.5.1 Areavariationer

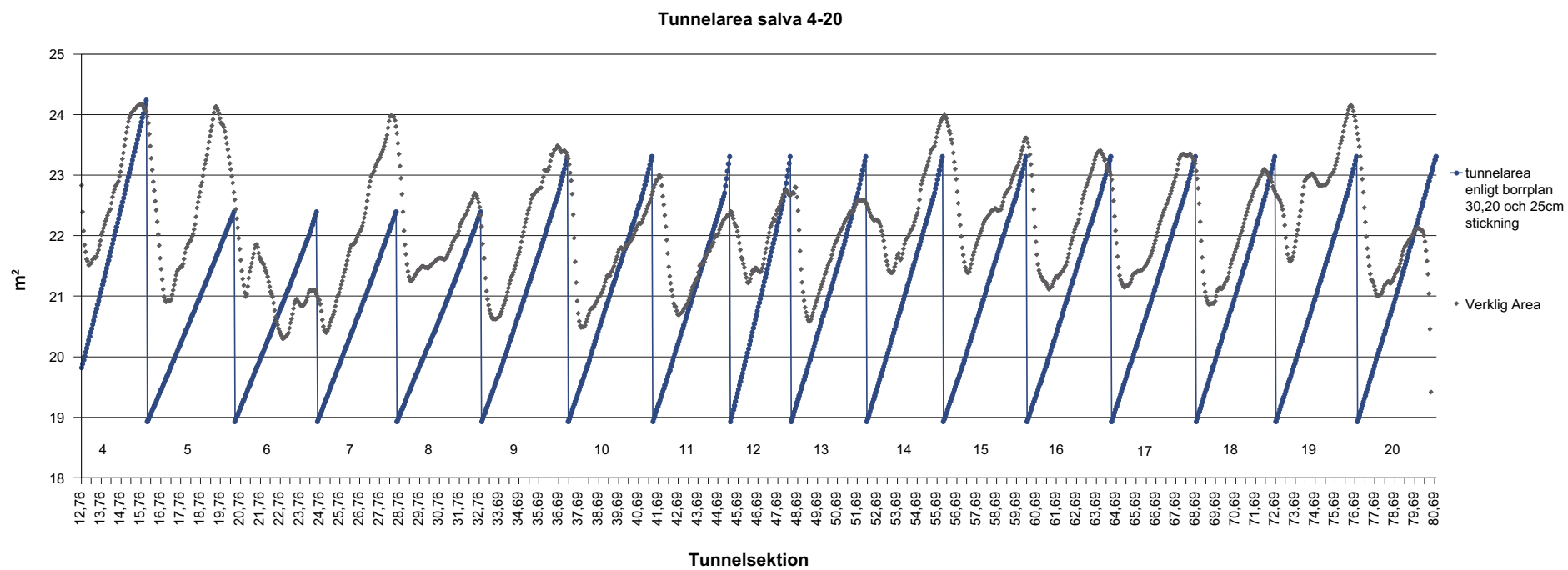
Tunnelareorna har sammanställts och jämförts mot kravet på max 30 % överberg, se figur 5-17. Resultatet visar att tunnelarean klarar kravet, men även att det syns att tunnelns area aldrig når ner till den teoretiska tunnelarean på 18,9 m<sup>2</sup>. Areavariationen visar också att den största arean registreras innan sektionen för nästkommande salva börjar. I inledningen av salva 6 och i salva 19 kan toppar ses i början av salvan vilka är blockutfall, se även figur 5-20. En sammanställning av areavariationerna har också gjorts mot den teoretiska borrhplanen (figur 5-18) för att se skillnader mellan den planerade ytan och volymen som borrades, mot skannad area. Resultatet visar att försöken med 20 cm stickning (salva 5–8) också gett större areavariationer än de med 25 cm stickning (salva 9–19).



**Figur 5-16.** Tunnel tvärsnitt var 5cm över hela tunnelsträckan.



**Figur 5-17.** Tunnelareans variation för salva 4–20. Teoretisk tunnelarea 18,93  $m^2$  och max tunnelarea 24,61  $m^2$  vid 30 % area ökning. I diagrammet ses även störst tunnelarean vid 30 cm stickning 24,24 $m^2$ , 20 cm stickning 22,40  $m^2$  och 25cm stickning 23,31  $m^2$ .



**Figur 5-18.** Tunnelareans variation för salva 4–20. I diagrammet ses även tunnelarean enligt borrplanen för 30, 20 och 25 cm stickning.

Genom att skapa 1 cm tvärsnitt över salvövergångarna, har avståndet mellan största och minsta tunnelarean, samt mellan största tunnelarean och salvgränsen kunnat beräknas. Resultaten från dessa beräkningar kan ses i tabell 5-19. Man kan se att salvans maxarea nås i medel 69 cm innan salvgränsen, vilket betyder att salvan inte bryter fullt ut. I tabellen redovisas även avståndet mellan minsta arean mellan två efterföljande salvor.

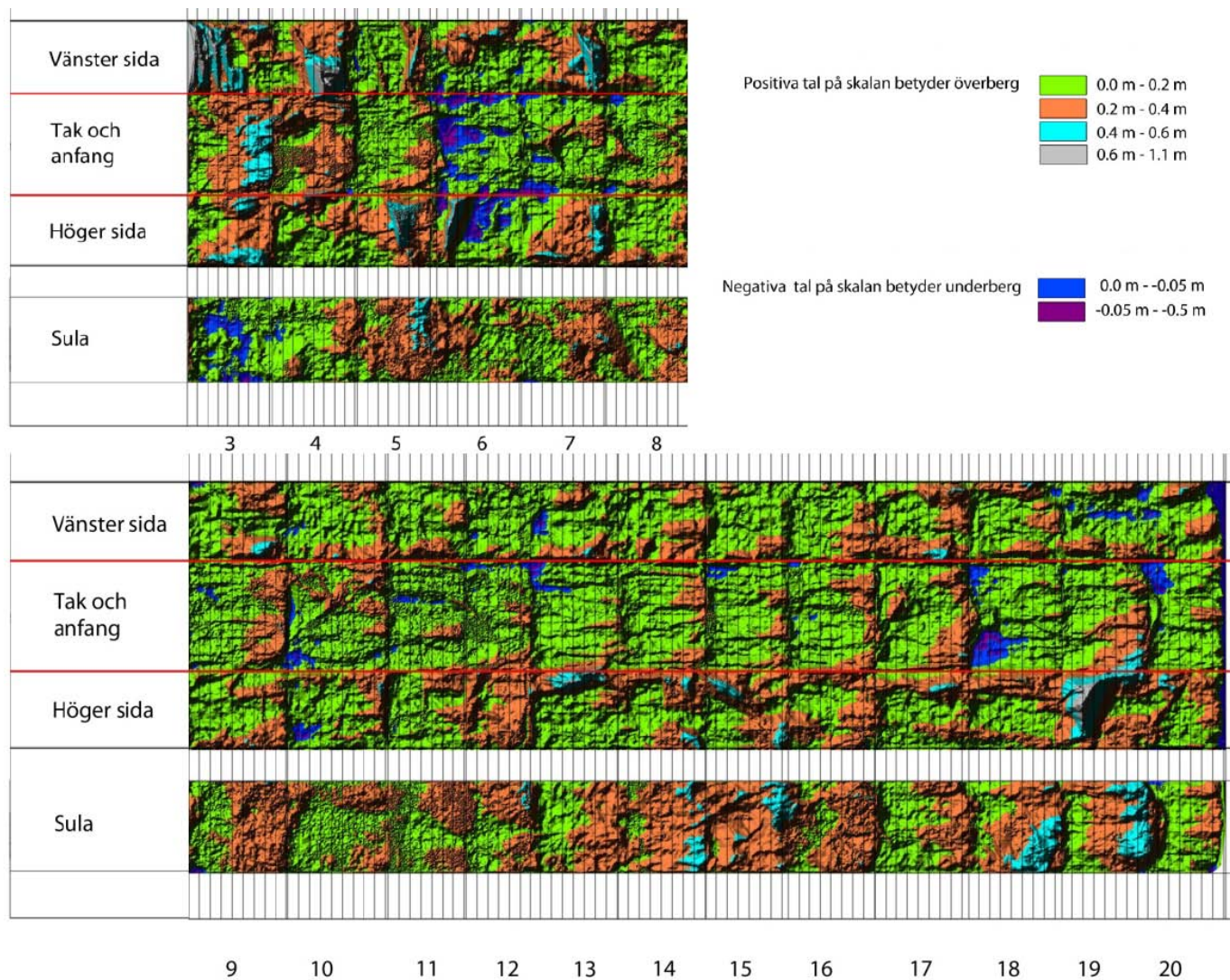
**Tabell 5-19. Salvövergångar, tabellen visar avstånd i m mellan Max tunnelarea, Min tunnelarea samt salvgränsen.**

Salv- övergångar	Max Tunnelarea [m <sup>2</sup> ]	Min Tunnelarea [m <sup>2</sup> ]	Avstånd mellan Max och Min [m]	Avstånd mellan Max och Salvgräns [m]	Avstånd mellan Min och Min [m]
4/5	24,18	20,90	1,23	1,11	
5/6	24,12	20,92	1,45	1,20	3,99
6/7	21,10	20,39	0,79	0,58	4,06
7/8	23,98	21,25	0,97	0,62	4,24
8/9	22,71	20,61	0,91	0,41	4,15
9/10	23,46	20,47	1,15	0,86	4,35
10/11	22,97	20,57	1,06	0,44	4,97
11/12	22,35	21,21	0,96	0,46	3,46
12/13	22,84	20,58	1,09	0,52	3,02
13/14	22,60	21,39	1,40	0,71	4,17
14/15	24,00	21,39	1,20	0,73	3,83
15/16	23,64	21,19	1,16	0,44	4,03
16/17	23,45	21,15	1,28	0,75	3,82
17/18	23,37	20,85	0,94	0,49	4,23
18/19	23,10	21,57	1,31	1,08	4,09
19/20	24,16	21,00	1,35	0,68	4,40
	Medel salva 4–20		1,14	0,69	
	Standardavvikelse		0,19	0,25	
	Medel salva 9–20		1,17	0,65	
	Standardavvikelse		0,15	0,20	

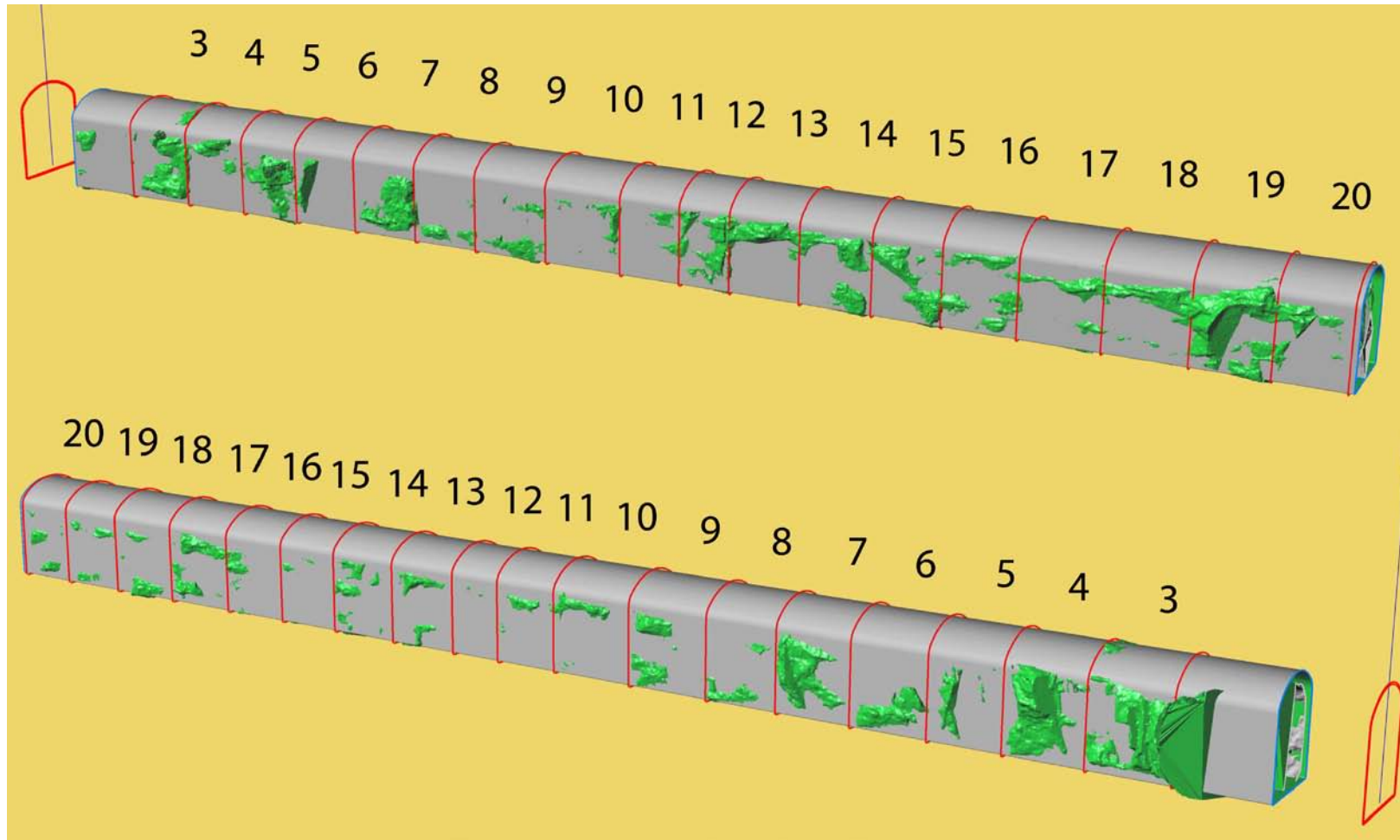
### 5.5.2 Överberg

En figur har tagits fram från skanningsdata för att visa topografin för tunnelns mantelyta, se figur 5-19. I figuren kan överberg över 0,2 m identifieras som orangea turkosa och gråmarkerade ytor. I figuren ses topografin av tunneln med en viss skuggeffekt, vilket medför att mörkgråa, svarta ytor endast ska ses som förstärkning av skrovligheten i tunneln. Beräkningarna som beskrevs i avsnitt 3.4.4 visar att med en stickning på 20 cm i sektion 16,91–32,94 m (salva 5–8) blev det en ökning av tunnelvolymen med 15,5 %, med 25 cm stickning i sektion 32,94–77,14 m (salva 9–19) så blev det en ökning av tunnelvolymen med 17 %. Som beskrevs i avsnitt 3.4.4 kan även överberg mätas som andel identifierad volym överberg mot verklig tunnelvolym. Andel identifierad volym överberg mot verklig tunnelvolym var i salva 5–8 med 20 cm stickning 13,7 % och i salva 9–19 med 25 cm stickning 14,6 %.

Större blockutfall och större ytor med överberg redovisas i figur 5-20 och tabell 5-20. I tabellen ses även beräknad volym från inmätningarna av blockutfall och överberg som uppskattades med lasermätare och tumstock på plats i tunneln, samt möjliga identifierade anledningar i form påverkan av geologi, borring och omskjutningar.



**Figur 5-19.** Färgkarta över skanningsresultatet för överberg och underberg över hela tunnelsträckan med indelade salvgränser. Salva 3 och 4 utfördes med 30cm stickning, salva 5–8 med 20 cm stickning och salva 9–20 med 25 cm stickning.



**Figur 5-20.** Tunneln presenterad från höger sida (ovan) respektive vänster sida (nedan). Gröna ytor representerar överberg som överskrider ett tillägg på 25cm till teoretisk tunnel, i syfte att presentera större blockutfall.



**Tabell 5-20. Identifierade blockutfall med placering och uppskattad volym samt möjliga identifierade anledningar. För lokala strukturer, blankslag och sprickor se /Hardenby och Sigurdsson 2010/.**

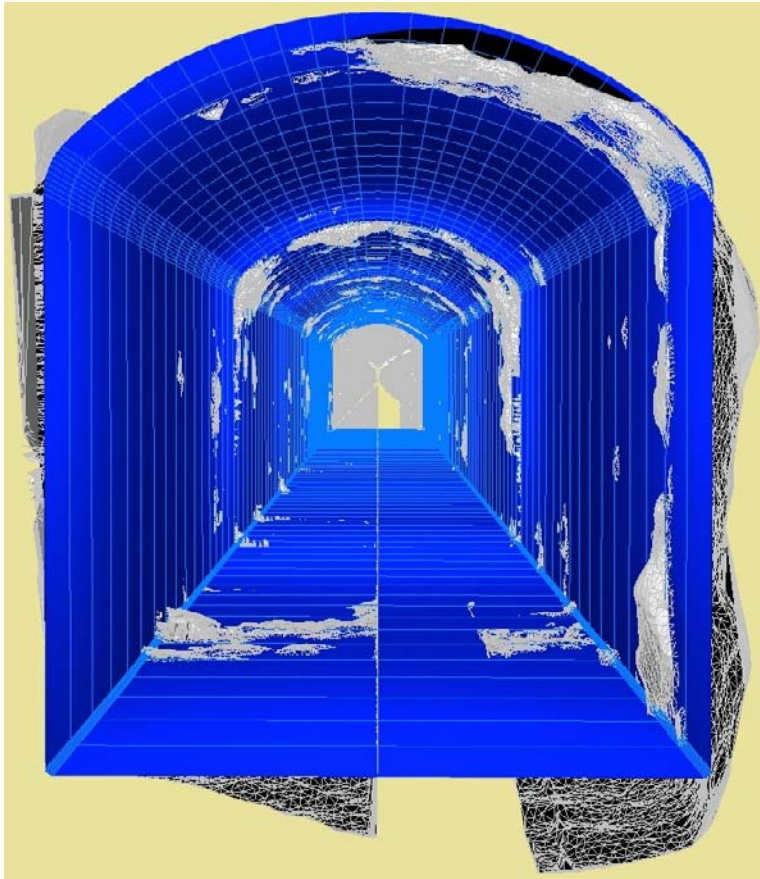
Salva	Start Sektion	Slut Sektion	Placering	Block utfall	Beräknad volym [m <sup>3</sup> ]	Geologi	Eventuell påverkan från borrning	Omskjutningar	Kommentar
4	14,00	15,00	HA		0,5				
4	14,26	16,38	VV	x	0,89	Blankslag G14	Slutpunkter hela vänster vägg med radiellt avstånd 20–30 cm	Vänster vägg	
5	18,38	19,88	HV	x	1,22	Ej tydligt Spricka G39 1 av deformations zonerna	Slutpunkter höger vägg radiellt avstånd ~15cm	Vänster vägg, övre Höger vägg + hål 15 och 16	Påverkan av injekterings skärm
5	19,38	19,88	VV	x	0,14	Blankslag G44	Slutpunkter vänster vägg radiellt avstånd ~15 cm		Påverkan av injekterings skärm
6	21,24	22,24	HV		0,31	Blankslag P2a–24	Borrning innanför kontur		Påverkan av injekterings skärm
7	25,34	26,84	HV		0,08	Kvartslinser och pegmatit gångar möts	Borrhål 28; slutpunkt radiellt avstånd 19,71 cm	Nedre Höger vägg	
7	27,09	27,84	VV		0,05	Blankslag eventuell liten inverkan från den nedan	Slutpunkter stora radiella avstånd ~30cm		Ven av äspögranit, igenom sektionen
7	27,59	28,94	VV	x	0,14	Blankslag P2a–24 kloritfyllt spricka	Slutpunkter stora radiella avstånd ~30cm	Nedre Vänster vägg + hjälpåre	
7	28,09	28,94	HV		0,09	Blankslag kombination	Slutpunkter stora radiella avstånd ~19 cm		Eventuellt Inspänt borrhål- intervall nr 4 000 (14 borrhål kontur vägg inklusive Borrhål 22) 5,8 mm/s. En antydning kan ses vid jämförelse mot salva 6 och 8 ca 2,5 mm/s en föröppning i vibration, även föröppning mot närstående intervall.
9	35,94	36,94	VV		0,14		Borrhål 6 påhugg radiellt avstånd 8,22 cm slutpunkt radiellt avstånd 21,50 cm borrhål 4 slutpunkt radiellt avstånd 8,36 cm innanför		
13	49,67	52,17	HV/ anfang		0,14	Blankslag P3–32, 33	Borrhål 22 påhugg radiellt avstånd 8cm slutpunkt 11 cm. Borrhål 21, 22 ej synlig borrripa		
14	55,72	56,22	HV		0,29	Blankslag samband P3–54	Borrhål 22 påhugg radiellt avstånd 10,58cm slutpunkt radiellt avstånd 8,96cm		

Salva	Start Sektion	Slut Sektion	Placering	Block utfall	Beräknad volym [m <sup>3</sup> ]	Geologi	Eventuell påverkan från borrning	Omskjutningar	Kommentar
14	55,72	56,72	HV		0,42		Borrhål 27, 28 slutpunkt radiellt avstånd 25 och 22 cm		
15	56,77	58,77	HV	x	0,56	Blankslag P3–54	Borrhål ej inmätta geodetiskt. Borrhål 22 och 24 ej synliga borripopor		
15	59,77	60,55	HV	x	0,24	Blankslag P3–64	Borrhål 27, 28 påhugg radiellt avstånd 8 och 10 cm slutpunkt radiellt avstånd 17 och 28 cm	Nedre Höger vägg + hjälpare	Glasögon 1,3 m lång
17	66,56	68,06	VV		0,34	Eventuell påverkan av deformationzon G4–Z1	Borrhål 8 slutpunkt radiellt avstånd 18,26 borrhål 6, 7 ej synlig borripipa, borrhål 8 endast synlig 0,48 cm		
17	67,06	68,56	HV		0,42	3Sprickor P4–15	Borrhål 21, 22 slutpunkt radiellt avstånd 15 cm		
19	73,18	75,18	HV	x	0,61	Blankslag P4–71	Borrhål 20, 21 slutpunkt radiellt avstånd 30, 33 cm		
19	75,18	77,14	HV anfang tak		0,66	Eventuell påverkan av deformationzon G4–Z0	Anfang/Tak stora radiella avstånd	Höger anfang borrhål 20,21,22,	
20	77,64	78,14	HV		0,48	Blankslag G4–10	Borrhål 21 och 22 ej synliga borripopor		

### 5.5.3 Underberg

Med hjälp av den övergripande figuren som har tagits fram från skanningsdata för att visa topografin för tunnelns mantelyta, se figur 5-19, har även underberg identifieras som blåa och violetta ytor. Beräkningarna som beskrevs i avsnitt 3.4.4 visar att med en stickning på 20 cm i sektion 16,91–32,94 m (salva 5–8) så var det en minskning av den teoretiska tunnelvolymen med 0,15 %. Med 25 cm stickning i sektion 32,94–77,14 m (salva 9–19) så blev det en minskning av tunnelvolymen med 0,02 %. Som beskrevs i avsnitt 3.4.4 kan även underberg mätas som andel identifierad volym underberg mot verklig tunnelvolym. Andel identifierad volym underberg mot verklig tunnelvolym var i salva 5–8, 0,13 %. I salva 9–19 var andel underberg 0,02 %. I figur 5-21 ses tunneln inifrån, grå ytor mot den blåa tunnelkonturen visar underberg exemplet visar salva 6 och inåt mot salva 20.

I tabell 5-21 ses identifierade områden där större andel underberg kan ses, samt möjliga identifierade anledningar. I salva 6 har volymen uppskattats.



*Figur 5-21. Skannad tunnel med identifierade volymer innanför teoretisk kontur. Tunneln ses från salva 6 mot salva 20, grå ytor mot den blåa tunnelkonturen visar underberg.*

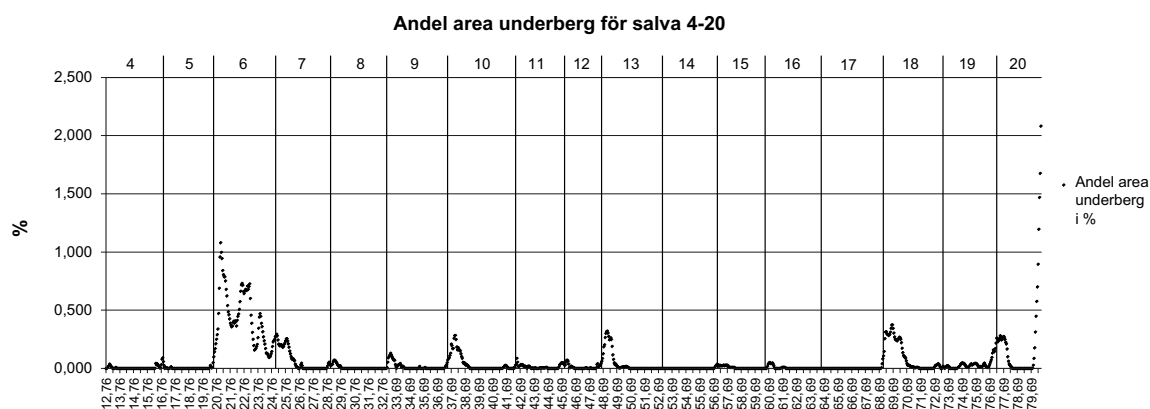
**Tabell 5-21. Identifierade sektioner med underberg med uppskattad beräknad volym.**

Salva	Sektion Start	Sektion Slut	Placering	Beräknad volym [m <sup>3</sup> ]	Eventuell påverkan från borring	Kommentar
3	9,6	12,76	Sula		Borrhål 38–44 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd ca 10 cm, slutpunkter innanför borrrplan radiellt avstånd ca 30 cm.	
6	20,74	24,84	Tak	0,36	Borrhål 13 och 14 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd ca 10 cm även slutpunkter innanför borrrplan radiellt avstånd 25 och 17 cm	
6	22,24	24,84	Höger vägg	0,44	Borrhål 22, 24, 26 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 14, 13 och 7 cm, slutpunkter innanför borrrplan 22, 37 och 8 cm, även slutpunkt borrhål 28 innanför borrrplan radiellt avstånd 11 cm	
6	20,74	24,84	Vänster anfang		Borrhål 9 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 7 cm, även slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 24 cm	
7	24,84	29,84	Vänster anfang		Borrhål 8, 9 påhugg innanför kontur radiellt avstånd 5 och 9 cm	
7	25,34	26,34	Tak		Borrhål 15 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 7cm, slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 15 cm	
7	24,84	30,84	Höger anfang		Borrhål 20 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 15 cm, slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 18 cm	
8	28,94	29,94	Vänster anfang /Höger anfang		Borrhål 9 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 3cm, slutpunkt innanför radiellt avstånd 13 cm, borrhål 20 slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 10 cm.	
9	28,94	29,94	Vänster vägg/ Sula		Borrhål 30 slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 9 cm	
9	32,94	34,94	Tak		Inga borrhål innanför teoretisk kontur.	Borrhål 30 glasögon
10	37,5	38,5	Vänster vägg/ Tak/ Höger anfang/ Höger vägg		Tak- inga borrhål innanför, Vänster vägg: borrhål 1 slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 24 cm. Höger anfang: borrhål 20 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 9 cm. Höger vägg: borrhål 23, 25, och 28 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 3cm slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 7, 6 och 22 cm.	Glasögon borrhål 12
11	42,64	44,64	Tak		Borrhål 13 och 14 slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 22 och 32 cm	Höger vägg glasögon hål 26, Tak glasögon flacka slag
12	45,72	48,67	Vänster anfang		Borrhål 9 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 5 cm, slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 19 cm.	
13	48,67	49,67	Vänster vägg/ Tak		Borrhål 2,4 och 6 samt 9 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 4 samt 9 cm, slutpunkt borrhål 11 innanför borrrplan radiellt avstånd 19 cm	Afang känsligt område
13	48,67	50,67	Tak		Borrhål 13 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 5 cm Slutpunkt borrhål 11 innanför borrrplan radiellt avstånd 19 cm	
15	56,77	58,27	Vänster anfang		Borrhål 8, 9 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 6 och 5 cm, slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 16 och 14 cm	Glasögon borrhål 5
18	68,87	69,87	Vänster tak		Borrhål 9, 11 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 3 och 6cm, slutpunkt borrhål 9 innanför borrrplan radiellt avstånd 11 cm	
18	68,87	71,37	Höger tak		Borrhål 16, 18, 20 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 8, 8 och 6 cm, slutpunkt innanför borrrplan radiellt avstånd 9, 18 och 7 cm	
19	73,18	77,14	Vänster vägg		Borrhål 1 och 3 slutpunkter innanför borrrplan radiellt avstånd 20 och 29 cm	
20	77,14	78,14	VA		Borrhål 9 och 11 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 6 och 7 cm, slutpunkt borrhål 11 innanför borrrplan radiellt avstånd 21cm	
20	77,14	77,64	VV		Borrhål 1 påhugg innanför teoretisk kontur radiellt avstånd 10 cm	

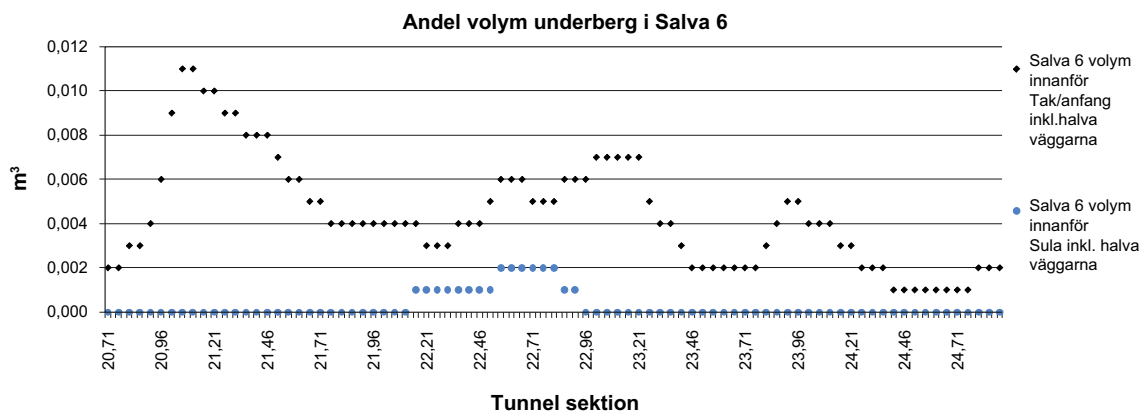
I figur 5-22 presenteras andel volym underberg mot verklig tunnelvolym i procent från skanningsdata. Där ses att störst andel underberg har uppstått i salva 6. Salva 5 till 8 borrades med 20 cm stickning. I salva 6 och 7 upplevdes det att borrningen försvårades på grund av att det var svårt att få fast bommen, med anledning av att utrymmet mellan väggkontur och stuff var snävt. Detta var ett resultat av att tidigare salva borrats med 20 cm stickning. I salva 8 var inte detta problem lika påtagligt då salva 7 borrats med större stickning än planerat 20 cm, vilket kan ha lett till att inte lika stor volym underberg uppstod i salva 7.

Från figur 5-22 kunde ses att Salva 6 är den salva där störst andel underberg har uppstått. I figur 5-23 ses volym kubikmeter underberg som har uppstått i övre respektive nedre halvan av tunneln.

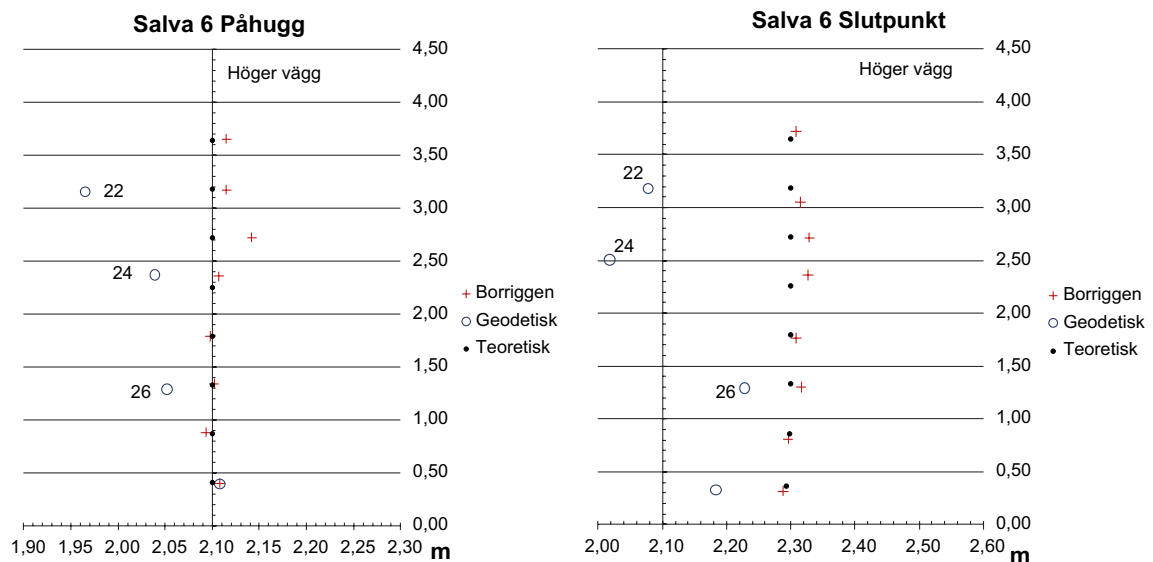
Borrhål 22, 24 och 26 är borrade innanför teoretisk kontur se figur 5-24. Även slutpunkterna är borrade innanför den teoretiska placeringen av slutpunkterna.



Figur 5-22. Andel underberg i % mot verklig tunnelvolym för salva 4–20.



Figur 5-23. Andel volym underberg i salva 6. Svarta punkter visar andel i  $m^3$  som registrerats i tak och anfang samt ner på den övre delen av väggarna. Blå punkter visar andel i  $m^3$  som registrerats på de nedre delarna av väggarna samt i sulan.

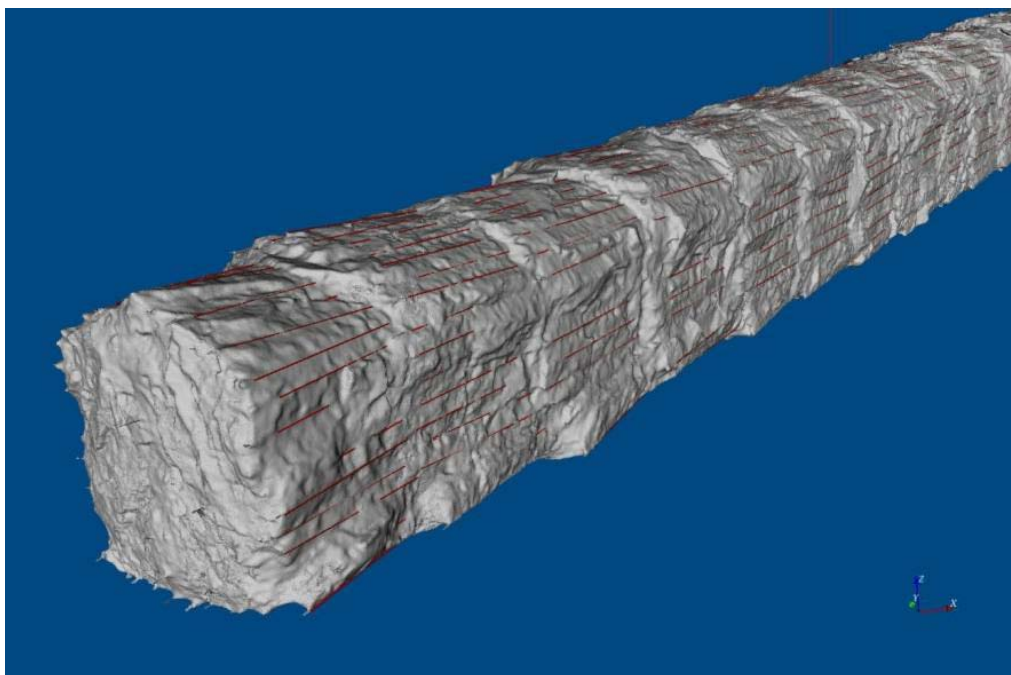


**Figur 5-24.** Placering av borrhålen i påhugg och slutpunkter i höger vägg där störst andel underberg är lokaliserad. Y-axeln representerar teoretisk tunnelkontur.

## 5.6 Registrerade synliga borrhypor

Resultatet från den geodetiska inmätningen av synliga borrhypor har sammanställts tillsammans med resultatet från scanningen, se figur 5-25.

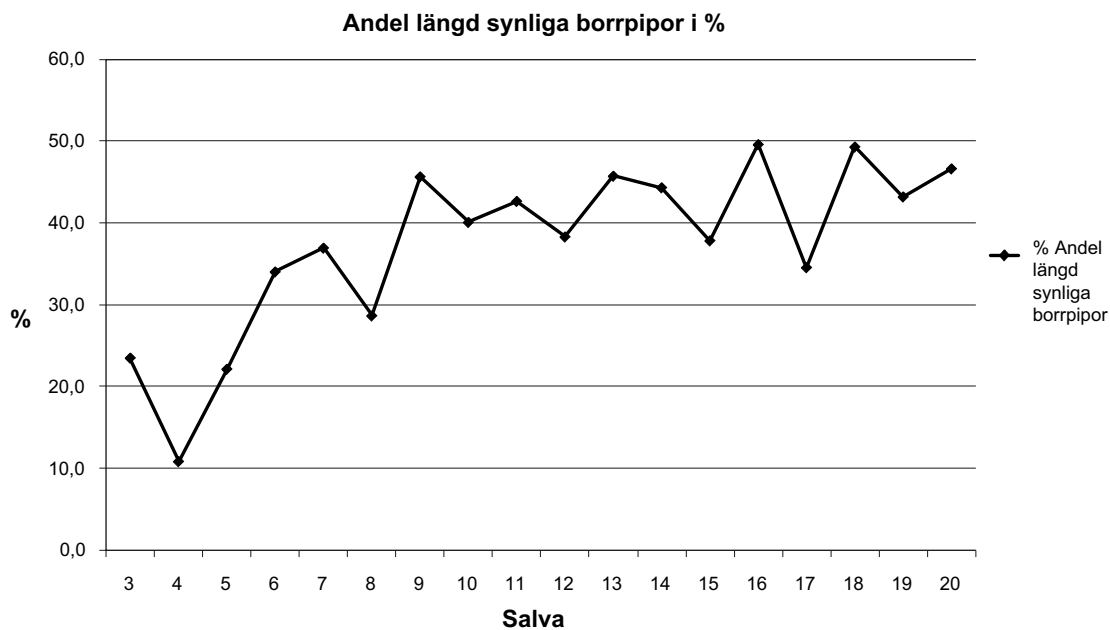
Resultaten från den geodetiska inmätningen av synliga borrhypor kan ses i tabell 5-22. I salva 3–8 är 66,5 % av antal konturhål nummer 1–28 synliga (medel andel synliga borrhypor). När i-kon tändare användes ökar resultatet till 85,7 % synliga borrhypor. 26 % av borrhypornas längd är synlig i salva 3–8 mot 43,2 % av borrhypornas längd vid användandet av i-kon i salva 9–20. Hur längden synliga borrhypor varierar i procent mellan salva 3–20 kan ses i figur 5-26.



**Figur 5-25.** Figuren visar tunnelkonturen från skanningen med synliga borrhypor markerade i rött.

Tabell 5-22. Inmätta synliga borrhåll. Tabellen visar längd och andel för salva 3–20.

Salv nr	Antal kontur borrhål [st]	Antal synliga borrhål [st]	Andel synliga borrhåll [%]	Medel andel synliga konturhål [%]	Summa borrhåll 1–28 [m]	Summa inmätt längd synliga borrhåll [m]	% Andel längd synliga borrhåll [%]	Medel andel längd synliga borrhåll [%]	Medelvärde längd synlig borrhåll [m]
3	37	22	59,5		161,15	37,88	23,5		1,02
4		14	37,8		161,15	17,48	10,8		0,47
5		23	62,2		151,47	33,54	22,1		0,91
6	28	26	92,9	salva 3–8 66,5	119,26	40,59	34,0	salva 3–8 26,0	1,44
7		21	75,0		118,66	43,84	36,9		1,57
8		20	71,4	116,50	33,39	28,7	1,19		
9		26	92,9		127,60	58,26	45,7		2,08
10	21	75,0		128,79	51,63	40,1		1,84	
11	25	89,3		111,40	47,52	42,7		1,70	
12	26	92,9		91,69	35,13	38,3		1,25	
13	28	22	78,6		126,85	58,02	45,7		2,07
14		26	92,9		122,54	54,31	44,3		1,94
15		23	82,1		116,11	43,94	37,8		1,48
16		25	89,3		118,86	58,94	49,6		2,11
17	20	21	75,0	salva 9–20 85,7	124,99	43,19	34,6	salva 9–20 43,2	1,62
18		23	82,1		117,63	58,00	49,3		2,13
19		26	92,9	122,54	52,94	43,2	1,97		
20		24	85,7	107,91	50,32	46,6	1,80		

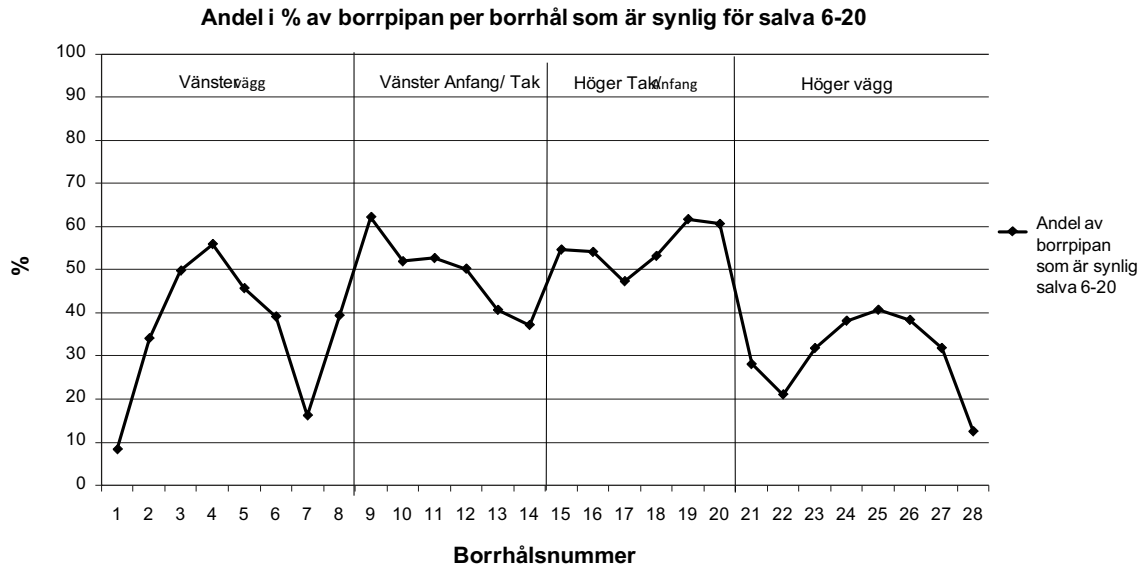


Figur 5-26. Andel längd synliga borrhåll i % och variationen över salva 3–20.

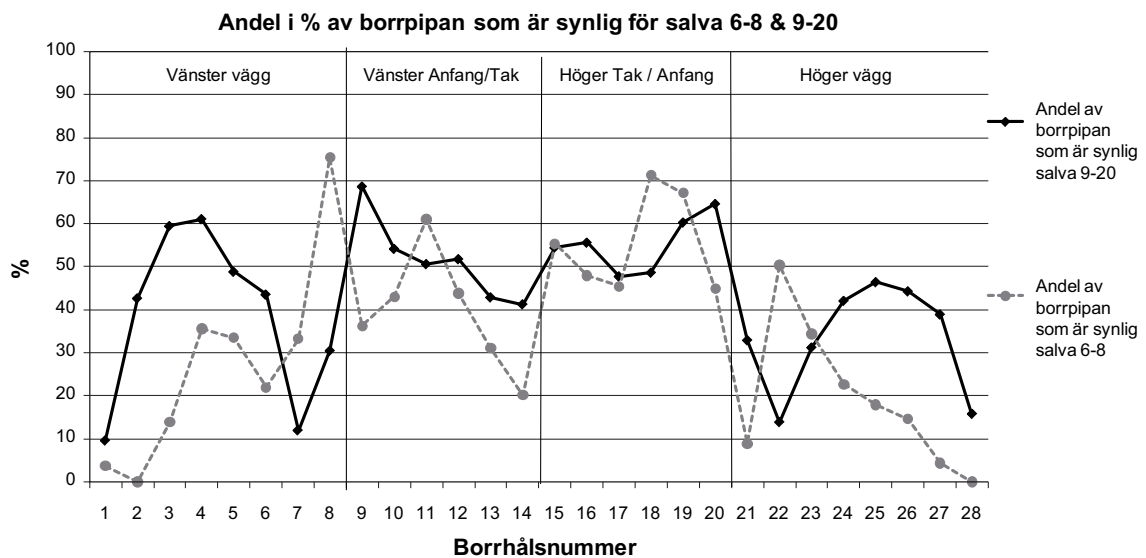
Vidare har resultat tagits fram baserat på respektive borrhål. I figur 5-27 ses hur medel andel synlig längd av borrhönan över salva 6–20 varierar för borrhål 1–28 i konturen.

I figur 5-28 kan skillnaden ses i medel andel synlig längd av borrhönan mellan salva 6–8 och användandet av NONEL och salva 9–20 där i-kon tändare användes. Man kan se att andelen längd synlig borrhöna ökar i vägghålen vid användande av i-kon. Vid jämförelse med figur 5-7 inses att problem att borra som avsett i första hand är i hörn (anfang samt övergång vägg – sula).

Som tidigare beskrivits i avsnitt 4.2 så ändrades typ av sprängämne i sulan från Dynorex 25 till Dynotex 22 under salvorna 17–20. Detta resulterade i att fler synliga borrhönan uppstod, vilket kan ses i fotot som togs över sulan i salva 20, se figur 5-29.



**Figur 5-27.** Andel i % av borrhönan som är synlig för konturhål 1–28 för salva 6–20.



**Figur 5-28.** Andel i % av borrhönan som är synlig för konturhål 1–28 för salva 6–8 med 20 cm stickning och NONEL grå streckad linje och för salva 9–20 med 25 cm stickning och i-kon heldragen svart linje.





Figur 5-29. Foto över sulan salva 20.

## 5.7 Geometri

### 5.7.1 Minimum bredd

För att undersöka om kravet på minimum bredd på 4,20 m har uppnåtts så har skanningsdatan från tunneln snittats längsgående horisontellt var 20 cm från sulan upp till höjd 3,60 m vilket motsvarar höjden för anfangen. De områden där tunnelns bredd understiger 4,20 m har identifierat, se figur 5-30. I figuren ses att områdena sammanstämmer med salva 6 där störst andel underberg har identifierats. Utöver salva 6 understigs minimibredden i salva 10, även där är underberg registrerat, se figur 5-30.

### 5.7.2 Stickning tak

Från skanningsdata har ett vertikalt längsgående snitt kunnat göras i profil vid centrumlinjen, se figur 5-31. I figuren ses hur stickningen i tak och sula varierar mot den teoretiska tunnelprofilen.

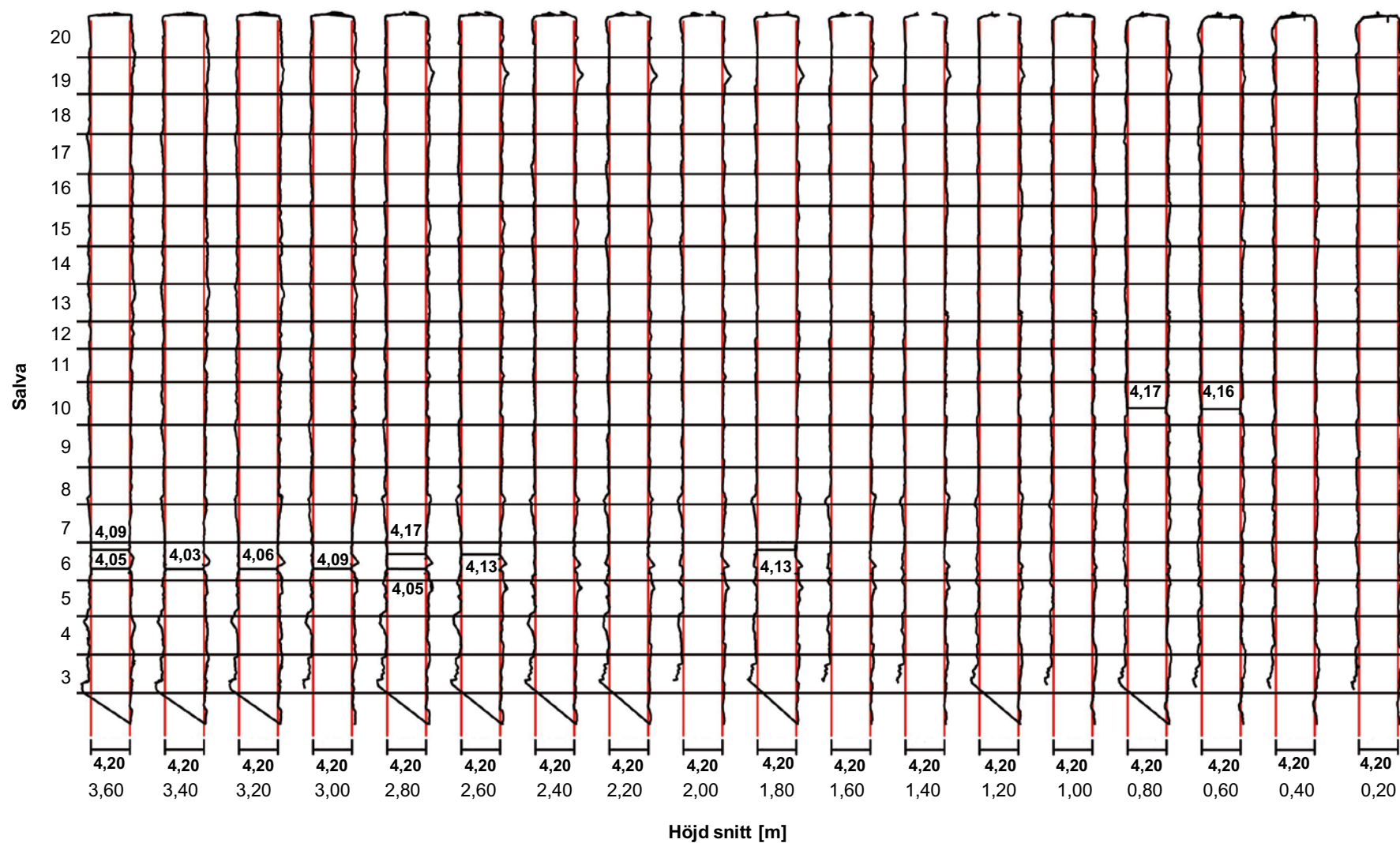
Andel volym utanför 20 cm stickning i tak var maximalt 0,065 m<sup>3</sup> i salva 3. I alla salvor förutom salva 4 återfinns sektioner där kravet på ingen volym utanför 20 cm uppnås, se figur 5-32. I salva 6 finns identifierade sektioner med underberg som påverkar andel volym. Mellan salva 5 och 20 är det i medel max 5 dm<sup>3</sup> som registrerats utanför 20 cm stickning.

I figur 5-33 ses hur area verklig mantelyta utanför 20 cm stickning varierar över salva 3–20. Ytan i taket som påfinns utanför 20 cm stickning uppnår i vissa sektioner i salva 3, 4 och 9 till 0,3 m<sup>2</sup>.

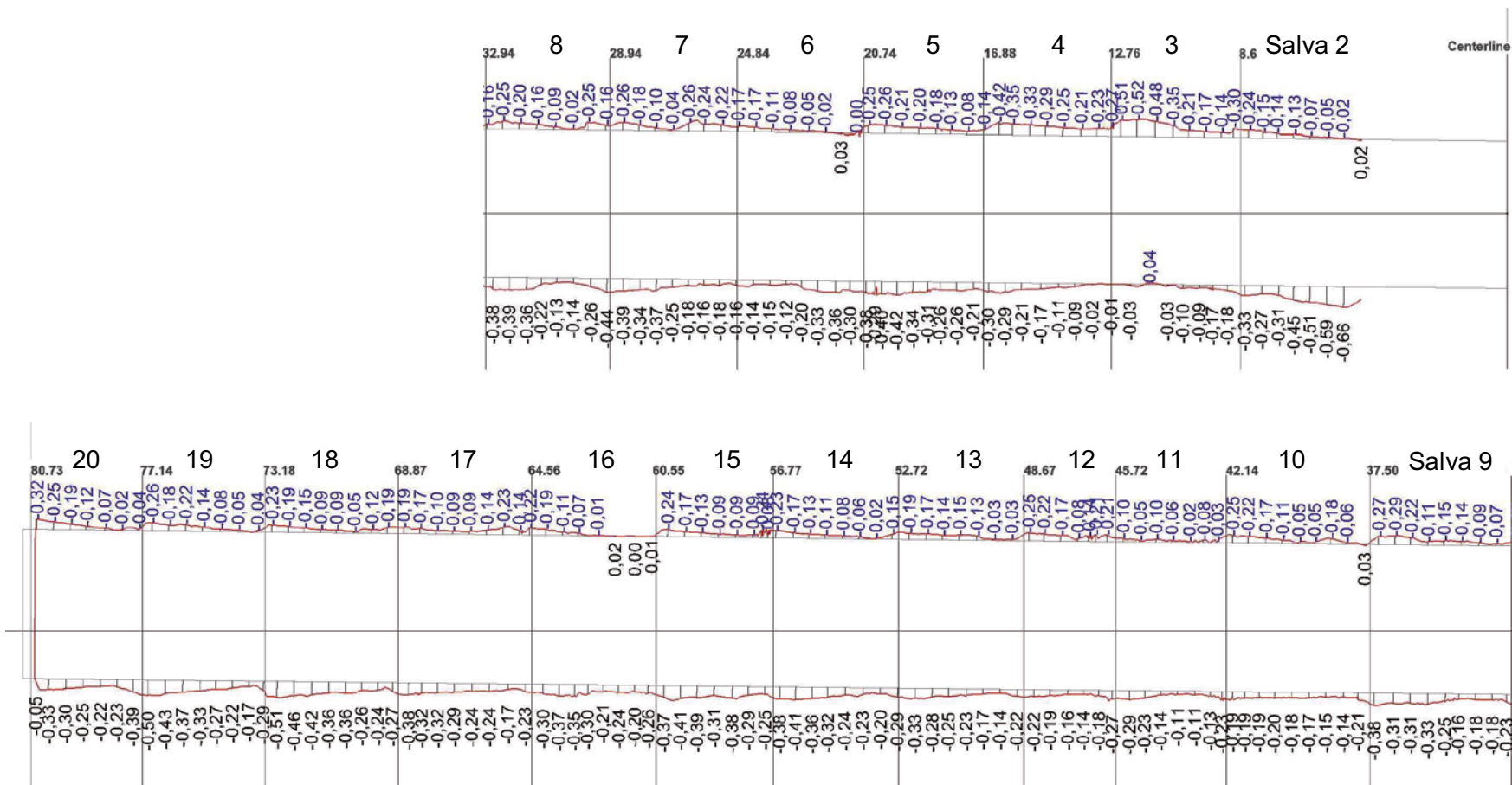
### 5.7.3 Stickning sula

Andel volym utanför 25 cm stickning i sula var maximalt 0,045 m<sup>3</sup> i salva 19, se figur 5-34. Salva 5, 14, 15, 18 och 19 är de salvor som har mest ojämn sula.

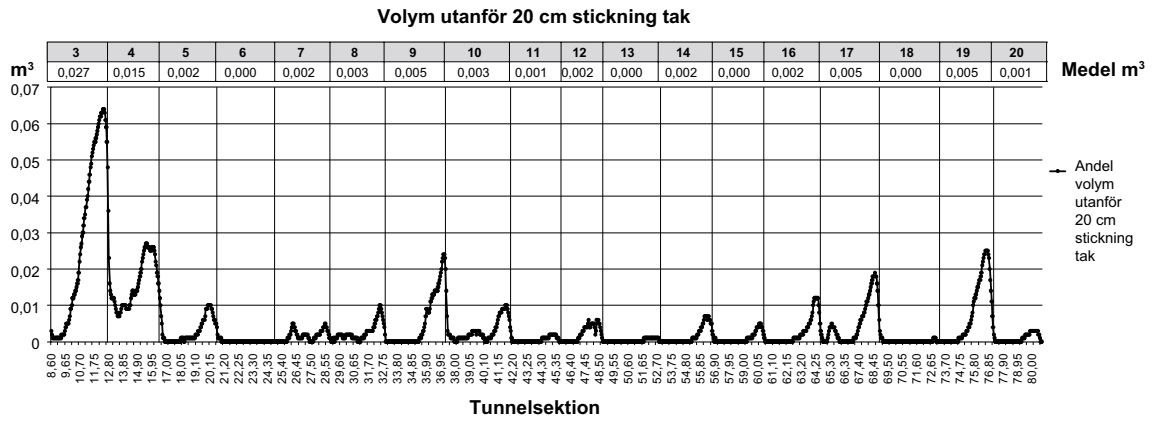
Dock kan man se att den yta som registreras utanför 25 cm stickning är 0,25 m<sup>2</sup>, med ett undantag av en liten pik i slutet av salva 5 där ytan går upp emot 0,35 m<sup>2</sup>, se figur 5-35.



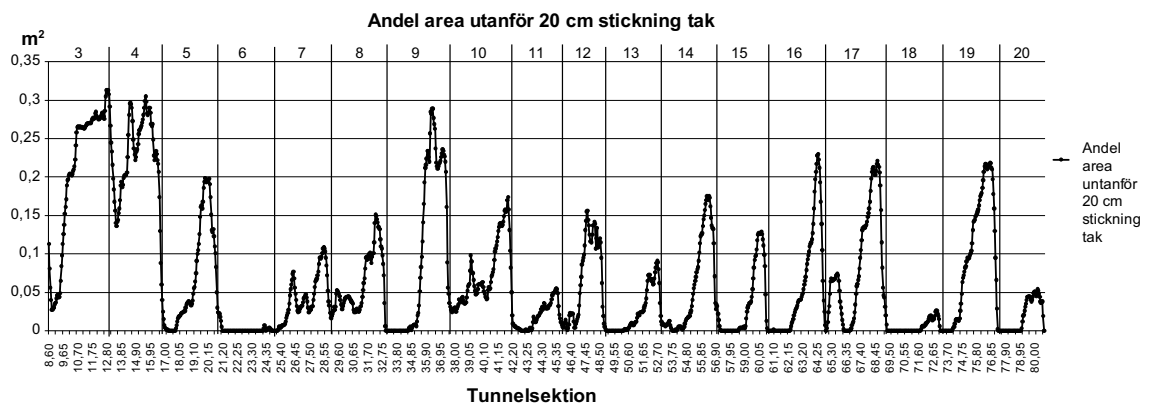
**Figur 5-30.** Horisontella tunnelsektioner längs med tunneln från 0,20 m upp till höjd 3,60 m (x-axeln). Y-axeln representerar tunneln från salva 3 till salva 20. Utmärkta streck med angiven bredd representerar de identifierade områden där tunnelbredden underskrider 4,20 m.



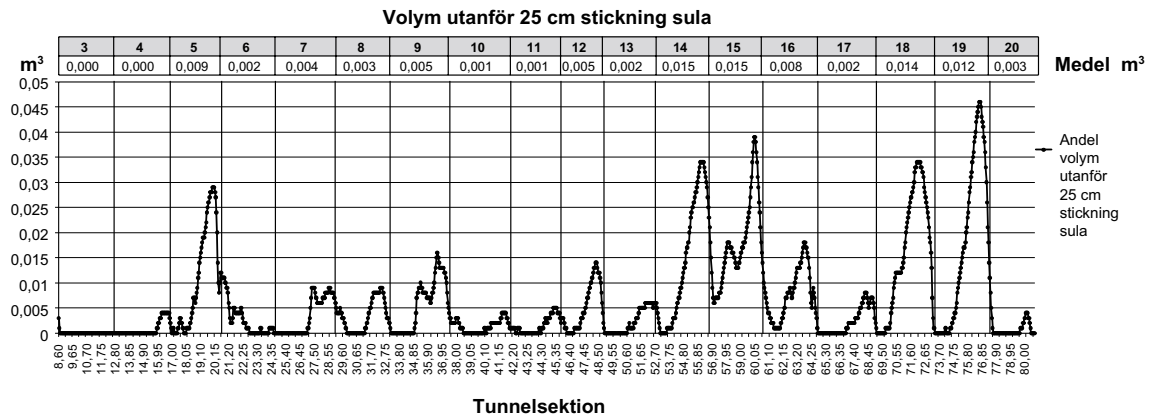
Figur 5-31. Längsgående vertikalt snitt av tunneln. Snittet är skapat i centrumlinje.



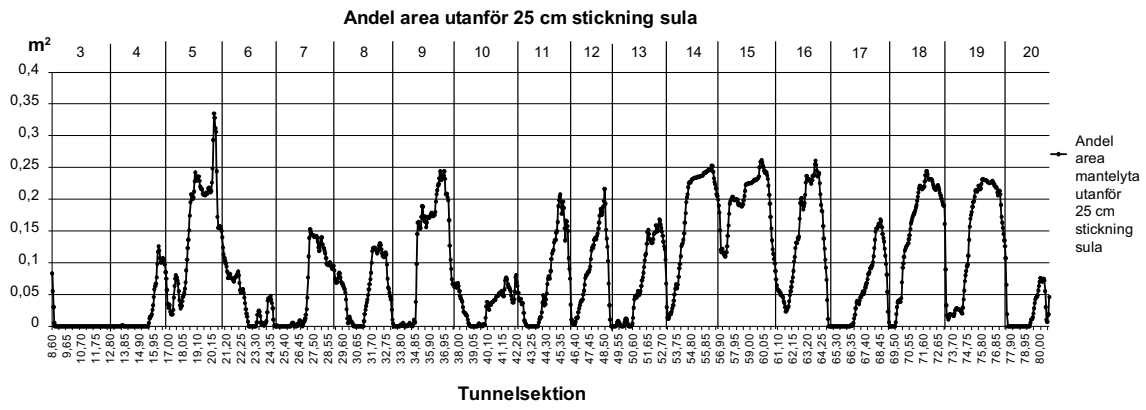
*Figur 5-32. Andel volym utanför 20 cm stickning tak för salva nr 3–20.*



*Figur 5-33. Andel area utanför 20 cm stickning tak.*



*Figur 5-34. Andel volym utanför 25 cm stickning i sula för salva nr 3–20.*



*Figur 5-35. Andel area utanför 25 cm stickning sula.*

## 6 Diskussion

Projektet har levererat en tunnel som klarar de flesta önskemålen från återfyllnaden. En del av de mål och detaljkrav som skapades inledningsvis har dock fått omprövas då vissa varit för högt ställda. Detta gäller främst borrhingsutförandet vilket ledde till ett nytt angreppssätt för att utvärdera borrhprecision och noggrannhet har använts. Utvärderingen av resultaten har även lett till att alternativa angreppssätt skapats för beräkningar av olika enhetsmått gällande borrhning, laddning, överberg och underberg.

### 6.1 Borrhning

#### 6.1.1 Borrhprecision/ borrhnoggrannhet

Det tidigare målet var att borrhålets placering för påhuggen i kontur maximalt fick avvika + 5 cm i höjddled och + 10 cm i horisontalled utanför teoretisk kontur och 0 cm innanför teoretisk kontur mot teoretiskt planerade läge. Vid en genomgång av resultaten från den geodetiska mätningen sågs att många borrhål ansågs som borrhade utanför detta mål, vilket ledde till framtagandet av en träffbild baserad på cirkelsektorer med radiellt avstånd motsvarande en borrhkrona på 4,8 cm, se avsnitt 3.4.2. En stor anledning till detta var att många borrhål enligt det tidigare tänket ej klassificerats som godkända trots att borrhkronan träffat det teoretiska borrhålet men ej exakt i teoretiska centrum. Detta medför att detta angreppssätt för att selektera ut borrhål kan behöva modifieras om andra förutsättningar råder, såsom annan dimension av borrhkrona. Resultaten visar att 63,2 % av borrhålen har ett radiellt avstånd mindre än 4,8 cm. Med 25 cm stickning och målrad kontur (salva 9–20) har det varit möjligt att göra påhuggen enligt den geodetiska inmätningen med ett radiellt medelavstånd på 4,2 cm och med en standardavvikelse på 2,2 cm (här har salva 15 ej tagits med på grund av det identifierade utsättningsfelet). Det ska också hållas i minnet att detta är hur centrum av borrhålet förhåller sig mot centrum av det teoretiska borrhålet.

Målsättningen var att få slutpunkterna för kontur- och hjälparhålen inom ett radiellt avstånd på + 5 cm från teoretiska slutpunkter. Vid en genomgång sågs att denna målsättning ej har nåtts. Endast 13,5 % av slutpunkterna ligger inom 4,8 cm från det teoretiska centrum av borrhålet. De extrapolerade slutpunkterna hade ett radiellt avstånd på 11,6 cm med standardavvikelsen på 6,8 cm (här har salva 15 ej tagits med på grund av det identifierade utsättningsfelet). Även här användes samma cirkelsektorer som skapats för träffbilderna för påhuggen för att se eventuella samband. En närmare analys visar dock att de största problemen med konturhållning är i hörn, det vill säga anfang och övergång vägg – sula, se figur 5-7 och figur 5-9. Möjligheten att justera tunnelkonturen i hörnen för att underlätta borrhning bör studeras.

Vid jämförelsen av borrhiggens inmätning och den geodetiska inmätningen av borrhålen sågs att borrhiggens registrering av borrhål överskattar precisionen jämfört med den geodetiska inmätningen. En av förklaringarna för påhuggen kan vara att borrhiggen kan positionera sig bra i höjd och sidled för borrhning av borrhålet, men när väl borrhstålet tar i bergytan finns alltid en risk att borrhstålet glider iväg. Detta registreras dock inte alltid av borrhiggen då bommen står kvar i positioneringsläget. De stora avvikelserna där borrhiggens registrering av borrhålet överskattar det radiella avståndet för slutpunkten beror troligtvis på att borrhiggens mätmetod som registrerar positionen på bommen (lutning och riktning) samt borrhad längd och inte borrhkronans verkliga slutläge på grund av eventuell borrhålskrökning. Genom att göra en jämförelse av det radiella avståndet för de geodetiska inmätta borrhålen och borrhiggens registrerade borrhål samt det beräknade radiella avståndet dem emellan som presenterades i figur 5-10 och figur 5-11 kan man se hur den geodetiska inmätningen och borrhiggens inmätning avviker mot varandra. Denna jämförelse av det radiella avståndet kan ge en indikation på om borrhiggen systematiskt registrerar borrhålet åt något håll.

Parallelliteten har bedömts genom att se hur borrhålen förhåller sig till varandra, det vill säga om det finns systematiska avvikelser i borrhningen kan ändå hålens avsedda avstånd bli ungefär som planerat. Detta medför att den planerade ladd- och tändplanen fortfarande är lika aktuell för att ge förväntat borrhålsavstånd och minimera skadezonen. Om borrhålen placeras för nära eller för långt

ifrån varandra kan detta medföra att berget ej bryts enligt planerat vilket kan resultera i oönskat bergutfall och bergkontur. Det kan även medföra ökad skadezon då laddningskoncentrationerna lokalt blir fel. Krav på hur stor avvikelse det får finnas innan risken ökar går dock inte att fastställa då borringen och laddning utförts bra i projektet.

Från resultaten av bedömningen av parallellitet ses att borrhigen registrerar avståndet mellan borrhålen både längre och kortare än teoretisk borrhplan. För att minska överskattningen av precisionen från borrhigen, så kan den identifierade differensen mellan de geodetiskt inmätta borrhålen och borrhigens registrerade (se tabell 5-10 och tabell 5-11) adderas till avståndet mellan närliggande hål. I påhuggen ses då att andelen som har en avvikelse mot teoretisk borrhplan  $< -4,8$  cm kvarstår vid 2 %. Andelen som har en avvikelse mot teoretisk borrhplan  $> 4,8$  cm ökar endast från 3 % till 5 %. Detta styrker borrhigens förmåga att navigera och registrera påhuggslägena. Däremot kan man se i slutpunkterna att andelen en avvikelse mot teoretisk borrhplan  $< -9,6$  cm ökar mer från 5 % till 22 % och andelen som har avvikelse  $> 9,6$  cm ökar från 1 % till 20 %. Detta kan härledas till borrhigens svårighet med att registrera borrhkronans verkliga läge i slutpunkten.

Den uppmålade kontur som använts ger borrooperatörerna omedelbar feedback på eventuella inriktningsproblem. Den uppmålade konturen har varit ett värdefullt komplement i strävandena att ligga nära men inte inkräkta på den teoretiska konturen. Ett sätt att minska spridningen i avstånd mellan konturborrhålen är att inte bara rita ut konturen utan även var borrhålen ska huggas på. Förutom detta bedöms det som svårt att kunna skärpa utförandet av borringen ytterligare med den typ av utrustning som används i projektet.

Med dagens utrustning klarar man av att utföra en bra borring om man har kontroll och uppföljning. En snabbare kontroll och uppföljning skulle kunna göras om positionering gjordes med en totalstation som är integrerad med borrhigen, till exempel där inmätta punkter automatiskt förs över till borrhigens datasystem. Detta skulle minska risken att fel navigeringssektion uppstår samt skulle minska etableringstiden då borrooperatören kan ha kontrollen utan stöd av manuell utsättning. Vidare genom att förse riggen med en kamera kan borrooperatören visuellt kontrollera påhuggen bättre och snabbare vid anfang och tak, då han slipper att gå ut till stuff eller ta hjälp av annan personal.

De kontroller som genomfördes för att bedöma borrhigens förmåga att positionera sig och registrera rätt läge visade att de skillnader som erhöles var så pass låga att de med hänsyn till de felkällor som finns kunde ses som hanterbara. Vid jämförelse med fempunktsinmätningen kan vissa skillnader som ses bero på att borrhigen registrerar lägen för betydligt fler punkter (borrhålens påhugg). Borrlaggen borde räkna som ett underlag för både utvärdering och dokumentation gällande borrhprecision och borrhnoggrannhet. De beskrivna riskerna för påhugg och slutpunkter kan tas om hand genom att skapa skarpare krav för borrlaggen som fångar upp den felkällan som kan uppkomma om borrhkronan glider iväg vid påhuggen. För slutpunkterna bör inga efterjusteringar av bommen göras efter en meter borring och där efterjusteringar ändå behövs göras ska borrhålen dokumenteras.

Med avseende på salvboring har en stickning på 25 cm fungerat i princip problemfritt. En stickning på 20 cm påverkade borringen negativt i salva 6,7 och 8 då det testades. Detta kan härledas till att 20 cm stickning gav trängre utrymme för bommen och sämre förutsättning att göra påhuggen. Hjälparna behöver stickas parallellt med konturen för att kunna bryta berget bra i hålbottarna. Detta för att få en planare stuff och därmed ge bättre möjligheter för en god påhuggsnoggrannhet.

### 6.1.2 Specifik borring

Enligt /Olofsson 2007/ benämns specifik borring som borrhmeter per kubikmeter loss-sprängt berg. Projektet har ansett att det är lämpligt att uttrycka sig i ett mått som byggs på volymen berg som planerades och registrerades av borrhigen för att tas ut. Det vill säga den faktiska borringen (summa registrerad borrhmeter i berg) per volym, som beräknats som medelarean för den planerade salvan gånger medelborrdjup i berg registrerat av borrhigen. Detta inkluderar således även överberg, vilket medför att redovisad specifik borring ligger lägre än om man beräknar mot den teoretiska tunneln.

## 6.2 Laddning

Mål och krav för laddningsutförande var att ha kontroll över laddningsmängderna, ha frikoppling samt använda proppning i syfte att få mer sprängenergi in i berget. Genom att projektet har använt patronerat sprängämne har det varit god kontroll på laddningskoncentrationen per meter. Vid beräkningen av laddningsmängd per hål har teoretisk laddningsmängd beräknats, samt den minsta och största laddningsmängd som praktiskt kunnat laddas i borrhålets längd. Detta har lett till att ett variationsintervall har fått som blir störst för Dynorex 25 som har kapats och packats. Detta sprängämne har även använts i strosshålen. I kontur och hjälparhålen som har den största inverkan på kontur och skadezon har det använts Dynotex 17 och 22, som ej har delats på grund av arbetsmiljöaspekter, vilket leder till att den teoretiska beräkningen ej blir aktuell i kontur och hjälparhålen. Vidare ger detta vid beräkningen av laddningsmängd per salva och specifik laddning att variationsintervallet som fås i enstaka hål medföljer och ger ett variationsintervall i den specifika laddningen för salvan. Den osäkerhet som finns ligger i borrhållslängden som registreras av borrhjulen. En godare kontroll av sprängämnesåtgången kan fås genom att samtliga hål mäts in och laddningsmängderna räknas på plats och förs in i sprängjournalen. En idé för att skapa bättre kontroll över laddningsmängderna vore att kontursprängämne tillverkas som slang på rulle med möjlighet att kapas i valfri längd och som skulle kunna bäras av en laddtruck.

I kontur och hjälpare samt sula har kontursprängämne med centreringsfjädrar använts, detta tillsammans med inget inläckage av vatten har möjliggjort god frikoppling i borrhålen. Den oladdade delen av borrhålen har proppats med grus för att få ett bra sprängningsresultat. Med grusproppen och frigolit som laddlös skapas tillräckligt mothåll för att sprängämnena ska undvika att tryckas ut vid detonation. Grusproppen tar dock en del tid i anspråk vid installation, så för att förbättra detta skulle utrustning kunna utvecklas för detta ändamål.

Bottenladdningarna som användes inledningsvis orkade ej bryta berget och åstadkom många kvarstående hålbottnar, vilket resulterade i omskjutningar som ökade risken för sämre kontur och ökad skadezon. Bytet av bottenladdning till en ½ patron Dynamit 30mm gav bättre resultat än den föreslagna Nobel Prime. Dock satt det fortfarande kvar berg som kunde ha hanterats genom mekanisk skrotning, om sådan utrustning hade funnits på plats. Resultaten från undersökningen av skadezonen som utfördes i salva 9, 10 och 11 visar att bottenladdningen ger ca 4 gånger längre sprickor än pipladdningen, men att sprickorna från bottenladdningen inte påverkar mer än ca 0,5 m kring bottenladdningarna i konturhålen /Olsson et al. 2009/. Ett alternativ till att minska mängden bottenladdning skulle kunna vara att ha kvar försättningen i påhuggen men ändra borrhjulen så att försättningen minskar mellan slutpunkterna för kontur och hjälpare och eventuellt strosshålen närmast hjälpare. På detta sätt skulle det bli mindre berg att bryta mellan hålen. Dock bör man vara observant så laddningsmängderna ej orsakar större skadezon än bottenladdningen i konturen.

### 6.2.1 Specifik laddning

Enligt /Olofsson 2007/ benämns specifik laddning som sprängämnesåtgång per kubikmeter sprängt berg räknat i kilogram. Projektet har ansett att det är lämpligt att uttrycka sig i ett mått som byggs på volymen berg som planerades och registrerades av borrhjulen för att tas ut. Det vill säga laddningsmängd som användes per volym, som beräknas som medelarean för den planerade salvan gånger medelborrdjup i berg registrerat av borrhjulen. Detta inkluderar således även överberg på grund av stickning, vilket medför att redovisad specifik laddning ligger lägre än om man beräknar mot den teoretiska tunneln.

## 6.3 Sprängning

Målsättningen var att jämföra tändare med pyroteknisk och med elektronisk fördröjning. Under sprängningarna mättes vibrationer, luftstöt våg och framkast. Efter sprängningarna beräknades även indriften för varje salva.



## **Vibrationsmätningar**

Resultaten visar att vibrationerna ej översteg gränsvärdena, se tabell 5-15 och tabell 3-5. I resultaten ses också att den högsta samverkande laddningsmängden ej alltid ger högsta vibrationen. Laddningsmängden som har använts i kontur och hjälpare för att minimera skadezon och förbättra konturhållning har varit svag i de enskilda hålen. Men vid användandet av elektronisprängkapslarna uppstår en hög samverkande laddningsmängd som inte har genererat höga vibrationsnivåer. Den troliga anledningen bör vara att man spränger en begränsad mängd berg i konturen med ett begränsat mothåll, då strosshålen redan har detonerat. Liknande förhållanden kan ses i salva 17–20 där patronerat kontursprängämne även har använts i sulan, men på grund av användning av elektroniska sprängkapslar så får man en hög samverkande laddningsmängd. Den samverkande laddningsmängden bör således inte vara en restriktion vid upphandlingar, utan att utformningen av en ladd- och tändplan skulle kunna göras med utgångspunkt från håltypsspecifik regressionsanalys. Genom att beräkna fram håltypsspecifika konstanter  $A$  och  $\beta$ , skulle man kunna anpassa laddningsmängderna till de olika salvdelarna. Genom att öka den samverkande laddningsmängden i konturen bör man kunna minska laddningsmängden per hål för att minimera skadezon och förbättra konturhållning. Genom standardiserad analys av vibrationsdata, samt designade tändplaner så att man med säkerhet kan identifiera specifika hål/hålgrupper, skulle det vara möjligt att utveckla en automatiserad analysmetod som aktivt återmatar och uppdaterar parametrar inför kommande salvor.

Genom att titta på förhållandet mellan vibrationsvärden och den samverkande laddningsmängden för ett visst intervall, kan man få en indikation på att berget kan ha varit inspänt. Vid höga värden för PPV/kg bör borrhålsdata kontrolleras varefter en justering av tändplanen kan övervägas för att få berget att bryta lättare och minska vibrationer och skadezon.

Resultaten från vibrationsmätningarna visar att den horisontella vibrationen emellanåt är högre samt kommer tidigare än den vertikala vibrationen som är gränsvärdet, se tabell 5-16. Dock har vinkel och avstånd till mätpunkter varierat från salva till salva, vilket medför osäkerheter. Därför är det viktigt att mätprogram utformas där utrustning, avstånd och placering utformas så att triaxiella mätningar kan göras på strategiska punkter för bättre analyser och utvärderingar.

Resultaten har visat en viss osäkerhet i tändarspridning då tändarintervall har överlappat varandra se tabell 5-17. Beräkningarna av samverkande laddningsmängd enligt /Olofsson 2007/ där 0–20 ger 1/4 samt 25–60 ger 1/6 kan ge fel antagande av samverkande laddningsmängd. Statistiska undersökningar och tester för att finna standardavvikelsen för variationsvidden bör göras för att bättre kunna bestämma den samverkande laddningsmängden, och genom regressionsanalys med håltypsspecifik formel optimera ladd- och tändplanen.

## **Luftstötståg**

Luftstötstågen vid användningen av NONEL var mellan 800–1 000 Pa se tabell 5-14. Luftstötstågen fördubblades vid användningen av elektronisprängkapslar och sambandet kan ses till att tändplanen som inledningsvis var med endast pyrotekniska tändare (NONEL), använde initieringstid 6 000 ms för salvan medan när de elektroniska tändarna användes så sjönk initieringstiden till 2 850 ms. Detta medförde att fler hål initieras på samma intervallnummer vilket ledde till en stor ökning av samverkande laddningsmängd och till att luftstötstågen ökade. Luftstötstågen låg ganska konstant vid samma värde förutom de höga värdena som mättes i salva 15 och 20 på 2 356 respektive 2 857 Pa.

Höga värden kan sättas i samband med geologiska förhållanden såsom den röda finkorniga graniten som verkar lättspräng samt effekten när man laddar i ihopborrade hål. En åtgärd för att minska risken för att hål borras ihop i kilen är att ytan för kilen görs större.

En åtgärd för anläggningen att hantera höga luftstötstågar är att använda sig av skyddsmattor för att dämpa luftstötstågen och styra den åt önskad riktning för att på så sätt skydda känslig utrustning.

## **Framkast**

Framkastlängderna kan mätas när täckning med körplåt och bergmassor i deponeringstunnlarna kan upphöra. Framkasten har mätts i salva 12–20, se tabell 5-14. Det har varit svårt att bedöma om det finns ett samband mellan långa framkast och låga vibrationer. I salva 20, där en gång av finkornig granit går igenom salvan, kan man se att framkastet uppnådde längden av 40 m med en max vibration

på 8,7 mm/s och max samverkande laddning 15,3 kg. I salva 19 å andra sidan, där samma ven med finkorning granit återfinns, ser man att kastet endast nådde 26 m med en vibration av 9,2 mm/s och max samverkande laddning 17,2 kg. Avståndet till vibrationsmätaren skiljer sig med 67,2 m (lutande längd) för salva 19 till 70,8 m (lutande längd) för salva 20. Notera även att kastlängden inte varierade trots att berget bör ha gått lätt i salvorna med finkornig granit, som exempel kan ses att i salvorna 13–19 var framkastlängd på 24–27 m, trots att salva 15 och 19 innehöll finkorning granit.

### **Indrift**

Den design av kil med 4 grovhål med diameter 102 mm som användes av projektet har fungerat bra och har bedömts varit den störst bidragande anledningen till bra indrifter. Vilket stämmer överens med den beräkning utifrån fiktiv grovhålsdiameter som kan ses i /Olofsson 2007/ och bedöms ge en indrift på 80–90% se formeln 6-1 och formel 6-2.

$$D = \phi\sqrt{n} \quad (6-1)$$

$D$  = Fiktiv grovhålsdiameter  
 $\phi$  = borrhålsdiameter (102 mm)  
 $n$  = Antal grovhål (4 st)

$$\text{Och } a = 1,5D \quad (6-2)$$

$a$  = c-c avstånd mellan hål

Dock har den lilla ytan för kilen skapat problem med att fel hål upprymmes och ihopborrningar med spränghål har skett. Detta har i sin tur lett till att en del anpassningar gällande laddningsmängden behövs göras. Bedömningen för att undvika detta är att avståndet mellan grovhålen bör ökas så att ytan för kilen blir större. Enligt Olofssons beräkningar borde ytan för kilen kunna öka från 0,5·0,5 m till minst 0,9·0,9 m utan risk för sämre indrifter. Effekten skulle också bli att antalet strosshål skulle kunna minskas med resulterande mindre specifik laddning, samt tidsvinster.

## **6.4 Kontur**

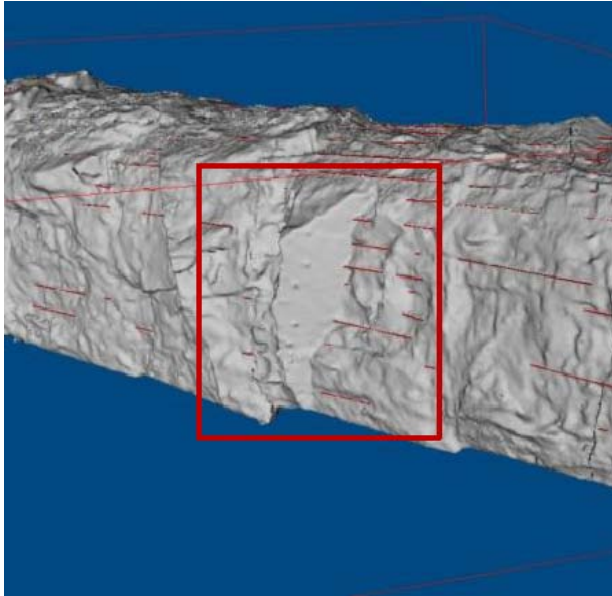
### **6.4.1 Areavariationer**

Variationerna av tunnelarean som presenteras i figur 5-17 och figur 5-18, visar att tunnelarean aldrig når ner till den teoretiska arean i början av en salva samt att den tenderar att nå den teoretiska borrhålsplanen (med stickning) innan nästa salvgräns. Att arean aldrig når ner till teoretisk area kan ha samband med sprängningen av salvan innan, då detta är effekten av att bottenladdningar ger uppsprucket berg som faller ut i samband med skrotning. Att tunnelarean minskar i slutet av salvan kan härledas till kvarstående hålbotten utanför kontur. Genom att öka stickningen på hjälparna så att försättningen till konturhålen minskar, skulle man troligtvis kunna få berget att bryta så att antalet kvarstående hålbotten minskar. Detta skulle också kunna minimera risken för en välvd stuff och ge bättre förutsättningar för att göra påhuggen, då dubben på bommen kan få fäste för att ge ett bra stöd så att kronan inte glider iväg.

### **6.4.2 Överberg**

Kravet på överberg var max 30 % (volym ökning från teoretisk tunnelvolym). Resultatet visar att kravet nåtts med de olika metoderna som använts och att skillnaden i överberg mellan att använda 20 cm eller 25 cm stickning endast är 1,5 %, se avsnitt 5.5.2. De blockutfall som har identifierats har ej varit i stora volymer, se tabell 5-20. En av orsakerna till blockutfall och identifierade områden med överberg kan vara när borrning med för stora avvikelser sammanfaller med ogynnsamt orienterade sprickplan vilket presenterats i tabell 5-20. För visuellt exempel se figur 6-1.

Genom att ha kontroll över slutpunkterna vid borrningen och tunnelns orientering relativt dominerande strukturer, kan man troligen minska risken för stora borrhålsavvikelser som medför att stora överbergsvolymer uppstår. En bra förutsättning för att få till slutpunkterna är att få ett borrhål enligt planerat (påhugg, lutning och riktning) första metern, då detta ger borrhåll och krona bra stöd för att få bra slutpunkter. Att borra första metern med ett lägre mataretryck och ta sig tid för korrigerande observationer bedöms förbättra möjligheterna för god borrhållsprecision.



*Figur 6-1. Blankslag i kombination av synliga hålbottnar.*

Det kan också ses att identifierade områden med överberg även är lokaliserade till områden där omskjutningar har genomförts. Då dessa omskjutningar hade kunnat undvikas om projektet hade haft tillgång till mekanisk skrotning, finns även en möjlighet att dessa områden med överberg varit mindre. Man kan även se att injekterings-skärmar har haft påverkan på andel överberg, när berget har brutit ut till injekteringshål som var placerade utanför borrade konturhål. Även här kan ses fördelen med att ändra borrarplanen så att försättningen till konturhålen minskar och omskjutningar kan undvikas och risker för ökad skadezon samt oönskade bergutfall minimeras. Borrarplanerna för injekteringen och tunneldrivningen måste integreras så att bättre kontroll fås av borrhålens placering.

Ett alternativ för att minska överberg vore att ansätta innanför teoretisk kontur, då man kan se i areavariationerna att tunneln aldrig når ner till teoretisk tunnelarea. Dock bedöms detta alternativ öka risken för underberg, på grund av att den 1,5 m<sup>2</sup> yta som i medel överskrider den teoretiska tunnelarean är så pass liten att när den fördelas jämnt runt tunneln hamnar inom träffbilderna för borrarprecisionen.

Kravet på överberg, max 30 % volymökning, är hanterbart. Att minska detta krav är ej något projektet rekommenderar, då en bra borrarning och anpassade ladd- och tändplaner ändå kan resultera i blockutfall. Det är viktigt att fokusera på borrarprecision, laddningsmängder och initieringsmetod, med andra ord parametrarna som är viktiga för tunneldrivning. Dessutom kan man behöva se över den föreslagna normalsektionen, så att det blir lättare att borra hörnhålen. På detta sätt läggs fokus på de viktiga parametrarna för ett bra sprängresultat och det går att hålla isär vad som orsakas av utförande och vad geologin påverkat. Med kravet ställt på utförandet så finns förutsättningarna för att andel överberg innehålls per automatik.

Uttrycket överberg som används inom bergbranschen bör förtydligas då det egentligen är ett uttryck för hur många procent ökning man fått mot teoretisk tunnel. Detta mått blir då beroende av vilken tunnelarea man använder och på så sätt kan en tunnel med större teoretisk area ha en större volymökning än en mindre utan att det syns i procent. Vidare gör detta det svårt att jämföra tunnlar. Ett alternativ för uppföljningar och utvärderingar skulle vara att utföra regelbunden laserskanning av tunneln efter ett antal salvor. Skanningsdata kan då gås igenom och mått på areavariationer, andel överberg samt underberg erhållas, för att på så sätt få systematisk återkoppling, vilket vidare skulle kunna leda till att man kan börja mäta andel överberg och underberg istället för volymökning respektive volymminskning, där man jämför andelen berg utanför respektive innanför teoretisk tunnel mot verkligt uttag. Genom vidare studier av fler tunnlar där laserskanning har genomförts skulle man kunna ta fram kvalitetsmått baserat på areavariationen i tunneln, andel area och volym underberg respektive överberg för begränsade sträckor istället för något medel för hela tunneln.

### 6.4.3 Underberg

Kravet på att inget underberg fick förekomma, uppnåddes ej. Underberg har uppstått i salva 6 samt mindre volymer i tak och anfang i början av andra salvor, se figur 5-19. En orsak till underberg har identifierats till borrning. Det är dock ej så enkelt som att bara ställa krav på att inte borra innanför teoretisk kontur då det vid en genomgång av borrdatabas sågs en antydning till att ett påhugg behöver placeras uppåt 10 cm innanför teoretisk kontur för att det ska uppkomma underberg. Det är också viktigt att ha i beaktande att endast centrumpunkten av ett borrhål har mätts in, vilket innebär att borrkronan kan ha tangerat tunnelns kontur. Vid de identifierade sektionerna där underberg har uppkommit kan ses att även slutpunkterna är hade stora radiella avstånd innanför den teoretiska placeringen av slutpunkten (tabell 5-21). Om då även påhugget placerats innanför teoretisk kontur resulterar detta i att delar av borrhålet hamnar innanför teoretisk tunnelkontur. Detta medför att tendensen visar att borrhålens slutpunkter verkar ha stor påverkan på underberg och det är minst lika viktigt att ställa krav samt ha uppföljning och kontroll på borrhålens slutpunkter och inte bara påhugg.

I salva 6 uppstod störst mängd underberg, och där har även flera borrhål identifierats som borrade innanför kontur. Dock borrades flest borrhål innanför kontur i salva 7 (tabell 5-9), där 5 borrhål (nr 21–25) registrerats som borrade innanför kontur med upp till 25 cm i radiellt avstånd utan att några större mängder underberg har uppstått. Orsaken till att flera borrhål borrades innanför kontur var att påhugget fick göras utan stöd då dubben på bommen ej fått fäste.

Den mängd underberg som uppkommit skulle kunna hanteras genom mekanisk bearbetning, och då glasögon uppstår kan det hanteras genom hydraulisk spräckning för att undvika risken för ökad skadezon vid omskjutningar och även tidsförseningar och störningar för övrig produktion.

## 6.5 Skadezon och synliga borripipor

För att undersöka skadezonen i tunneln har bergblock sågats ut i salvorna 9–11 och undersökts, se /Olsson et al. 2009/. Resultaten visar att det inte finns någon kontinuerlig skadezon längs sträckan från sprängningarna. De spränginducerade sprickorna från pipladdningen som identifierades var sporadiska och inte längre än 15 cm från pipan, medan det från bottenladdningen blev längre sprickor. Åtgärden för att minimera effekten av bottenladdningarna skulle kunna vara att även här ändra på borrplanen så att försättning mellan hjälparna och konturhålen i slutpunkterna minskar. Eventuellt skulle även hålen innanför hjälparna kunna ha stickning för att på så sätt minimera bergvolymen mellan hålen och även laddningsmängderna.

Projektet har registrerat synliga borripipor som ett mått på bra kontur. Dock säger detta inte något om sprickbildningen men har gett ett mått på skillnaden mellan användandet av pyrotekniska respektive elektroniska tändare. Från resultaten (tabell 5-22) kan ses att användandet av elektroniska sprängkapslar har gett större andel synliga borripipor. Införandet av de elektroniska sprängkapslarna kan vara en bidragande orsak till att areavariationerna har minskat i salva 9–19, detta tillsammans med fler synliga borripipor kan ses som förbättrad konturhållning. Dock har anfangen en tendens till lägre andel synliga borripipor. Detta skulle kunna åtgärdas genom att fördröjningstiden ökar för tändare i anfang och intilliggande hål för att minska risken för inspänt berg, alternativt en översyn av borrplanen.

Vid användandet av elektroniska sprängkapslar i kontur och hjälparhål har problemet med ryckare och sprängämne i bergmassorna i princip eliminerats och bedömningen är att sprängämnet har detonerat i hålen och enligt tändplan.

## 6.6 Geometri

### 6.6.1 Bredd

Kravet att tunneln aldrig fick understiga 4,2 m bredd har uppnåtts i alla salvor utom en med 25 cm stickning, där två punkter identifierats i salva 10 med en bredd på 4,16 och 4,17 m. För 20 cm stickning understegs kravet i salva 6 vilket ej är oväntat då den största volymen underberg är lokaliserad

där. Dock är volymerna som understiger minimibredden så pass små att bedömningen är att det kan åtgärdas mekaniskt med skrotning. Projektet utförde tester med att hörnhålen flyttades in i salva 20 för att få berget att bryta loss bättre och minska inspända hål, utan att minimibredden understegs. Vidare tester förespråkas.

I övrigt anser projektet att kravet gällande tunnelbredd ej är relevant eftersom kravet att inget underberg får förekomma innanför teoretisk kontur automatiskt tar hand om kravet på minimum bredd.

### **6.6.2 Stickning i tak**

Kravet att måttet utanför teoretisk kontur i tak ej fick vara över 20 cm är inget projektet aktivt har arbetat med då det efter salva 8 beslutades att 25 cm stickning skulle användas. Dock har resultat från skanningsdata bearbetats så att sektioner där kravet ej uppnås har kunnat identifieras. I resultatet (figur 5-32) ses att det är inga stora volymer och areor som uppkommer utanför 20 cm. Projektet kan inte se några större förbättringar i resultaten från salva 5–8 där 20 cm stickning användes mot salva 9–20 med 25 cm stickning.

Med dagens utrustning är bedömningen att det är svårt att förbättra borrhningen i tak. Åtgärden för att nå kravet skulle kunna vara att använda sig av sprutbetong i de begränsade ytor och volymer som överstiger 20 cm. I resultaten ses att kravet är svårast att nå i slutet av salvorna. Sprutbetongen skulle då förutom att hjälpa till att uppnå kravet även kunna fungera som bergförstärkning, då det är i detta område som löst berg kan uppkomma på grund av bottenladdningen.

### **6.6.3 Stickning i sula**

Kravet att måttet utanför teoretisk kontur i sula ej fick vara över 25 cm är inget projektet aktivt har arbetat med. Dock har resultat från skanningsdata bearbetats så att sektioner där kravet ej uppnås har kunnat identifieras ut. I resultatet (figur 5-34) ses att det är inga stora volymer och areor som uppkommer utanför 25 cm. Projektet kan inte se några större förbättringar i resultaten från salva 5–8 där 20 cm stickning användes mot salva 9–20 med 25 cm stickning. En försämring i resultaten kan ses i salvorna 14, 15, 18 och 19 vilket bland annat kan härledas till den finkorniga graniten som fanns där. Trots att salva 18 och 19 laddades med kontursprängmedel så ses ingen skillnad mellan salva 14,15 och 18,19. Man kan förvänta sig att geologiska förhållanden kan göra att kravet inte uppnås trots bra borrhning och skonsam sprängning.

Med dagens utrustning är bedömningen att det är svårt att förbättra borrhningen i sula och åtgärden för att nå kravet skulle kunna vara att använda sig av mekanisk brytning av berg där transportväg behöver göras. Förslagsvis kan de största ojämnheter hanteras med betongutfyllnad.

## **6.7 Resurser**

Det system som utvecklats under bergguttagen för att upprätthålla motivation, säkerställa spårbarhet i dokumentation och kvalitetsnivå på utförda arbeten har fungerat bra och bör användas som en mall för framtida arbeten. Vid upphandlingen lades stor vikt vid platsledningen och yrkesarbetarnas kompetens samt kvalitet på entreprenörens utrustningar. Detta har gett god utdelning och skapat förutsättningar för hög kvalitet i utfört arbete. Dock ska det understrykas att en viktig resurs som inte ska glömmas bort vid upphandlingen är serviceteknikern som kontrollerar och underhåller borrhningen. Upphandlingen i sin helhet, inklusive hur dess bakomliggande tankar förts vidare in i det praktiska arbetet, har gett beställaren möjlighet att styra utförandet och entreprenören möjlighet att fullfölja ett kvalitetssäkrat arbete utan konflikter rörande ersättningar. Detta har varit en stor bidragande orsak till det goda samarbetet.

Påverkan från det bonussystem samt straffsystem som beskrevs i avsnitt 2.4.3 har inte fungerat som drivkraft för tunnelorganisationen. Utan den öppenhet och gemenskap som skapades i tunneldrivningsorganisationen har varit den främsta bidragande orsaken till de goda resultaten. Dock bör ett bonussystem ha fokus och vara kopplat till de olika aktivitetssteg som bygger upp processen istället för fokus på resultaten.

Det administrativa arbetet med strategier, arbetsberedningar och etapprapporter har gett upphov till ett kontinuerligt förbättringsarbete där hela tiden mindre och mindre luckor kunnat täppas till. När beställaren tar ett mera tydligt utförandeansvar förändras rollen för entreprenörens arbetsledare något, bland annat ökar kravet på tillgänglighet för att snabbt kunna föra kommunikationen mellan beställare och arbetet på stuff. Det blir därmed extra viktigt att arbetsledaren förstår och accepterar beställarens intentioner i de direktiv som ges.

I centrum för möjligheterna att uppnå givna kvalitetskrav inom givna toleranser på en given tid och till givna kostnader står hur de tekniska, organisatoriska och mänskliga förutsättningarna är samordnade för att stödja detta. Detta ställer därmed krav på:

- hur verksamheten leds, det vill säga att detta är inriktat mot att främja motivation och önskvärda beteenden hos människor över tiden och att lämpliga tekniska hjälpmedel tillhandahålls,
- att de människor som arbetar i processen har rätt kompetens för sin uppgift och att de utför såväl rutinuppgifter som avvikelshantering enligt i förväg träffade överenskommelser på ett sätt som stödjer verksamheten,
- att de maskiner och den utrustning som används är utformade så att de stödjer operatören så långt som möjligt vid utförandet av såväl rutinuppgifter som avvikelshantering.

## 6.8 Sammanställning av kvalitetskritiska faktorer

Det är svårt att finna klara enskilda samband mellan alla olika aktiviteterna som leder fram till och bygger upp drivningsarbetet, utan alla aktiviteter i hela kedjan är viktiga att ha kontroll på.

Den viktigaste lärdomen som projektet vill framhålla framför de andra är vikten av motivationsskapande arbete. Slutresultatet är beroende av den enskilde individens arbetsinsats. Viljan och motivet till att göra en bra arbetsinsats styrs till största delen av samarbete och respekt mellan människor, samt förmågan att påverka och få återkoppling på sin situation. Utförandeorganisationen bör ta fasta på detta och lägga de resurser som krävs för att upprätthålla motivationen och därmed säkerställa att slutresultatet blir det önskade. En viktig del av arbetet för att nå ett bra resultat är de ansträngningar som görs för att skapa en laganda i utförandet där beställare och entreprenör jobbar tillsammans mot samma mål. Att arbeta med motivationsfrågor under ett så långt projekt som slutförvarsbygget kommer att vara mycket viktigt för att upprätthålla den kvalitet som kommer att krävas.

För själva drivningsarbetet gäller att ha god kontroll på påhuggen och slutpunkterna vid borrning, vilket leder till att överberg och underberg kan minimeras. En bra borrhöggrannhet och borrhöprecision ger också bra förutsättningar att optimala ladd- och tändplaner kan användas. Med optimal laddplan avses minimal laddningsmängd per respektive hål, tillsammans med momentan upptändning så att tillräcklig samverkande laddningsmängd kan uppnås för att bryta berget utan att riskera försämrade kontur och skadezon. Detta leder i sin tur till att skadezonen minimeras och sannolikheten för en bra kontur med mindre areavariationer ökar, vilket vore en stor fördel för att uppnå bra densitet i återfyllnaden och att den hydrauliska konduktiviteten inte ökar.

## 7 Rekommendationer

Som tidigare beskrivits, så har projektet klarat de flesta kraven från återfyllnaden. En förutsättning för att nå dessa goda resultat har varit den öppenhet för ständiga förbättringar som funnits inom projektet. Det har dock krävt stora insatser på uppföljningar och utvärderingar som behöver effektiviseras och vara tillämpbara i mer industriella tunneldrivningar, för att även i fortsättningen ha bra kontroll men utan tidsfördröjningar.

Grunden för ett lyckat projekt läggs redan i förfrågningsunderlaget och upphandlingen där fokus ska vara att stödja den målsättning man har i projektet. Till exempel att ha god kontroll på borring, laddning och sprängning så prognoser stämmer överens med de förväntade resultaten. Målbilden blir då klar för entreprenör och beställare. Organisationen spelar också stor roll, där målbilden, ansvar och befogenheter ska tydliggöras. Uppföljningen av de parametrar som är viktiga för utförandet bör ske med relativt korta intervaller. Återkopplingen blir då snabb och precis vilket höjer motivationen och kunskaperna, samtidigt som åtgärder kan införas innan fel hinner fortplanta sig särskilt långt. För kvalitetsarbetet rekommenderas följande tre hörnplare:

- Tydlig målbild.
- Löpande kvalitetsuppföljning.
- Systematisk återkoppling.

En organisation som lyckas att upprätthålla målbild, kvalitetsuppföljningar och systematiska återkopplingar med fokus på förbättringar kan gå hur långt som helst i sitt kvalitetsarbete.

Resultaten visar att projektet oftast har uppnått kraven från återfyllnaden med bred marginal. Med enkla medel har man kunnat åtgärda avvikelser som uppkommit. Detta har medfört att det är svårt att fastställa exakta krav för borring, laddning och sprängning som kan kopplas till direkta kritiska och avgörande faktorer för kontur, geometri och skadezon. Fortsatta studier för att identifiera en tydligare kravbild kopplat till avgörande faktorer behövs. Projektet har identifierat ett antal rekommendationer och utvecklingsområden som skulle kunna användas för att underlätta repeterbarheten med fokus på ständiga förbättringar.

### 7.1 Borring

För drivningsarbetet gäller att ha god kontroll på borrhningen då detta är grunden till att kunna använda rätt laddningsmängder och tändplaner för att nå minimal skadezon och bra konturhållning på ett kontrollerat och effektivt sätt. Projektet har identifierat flera områden där utveckling och förbättringar kan genomföras så som utrustningen och dess kontroll, utveckling av borrhplaner samt borrhningsutförandet. Två kvalitetskritiska faktorer som projektet har identifierat för att förbättra borrhningsgenomförandet är att använda sig av målad kontur och att borra första metern med lägre matartryck.

#### 7.1.1 Utveckling av utrustning

- En totalstation som är integrerad med borrhigen för att underlätta vid positionering både för att ta bort risker för felnavigering samt minska uppställningstiden.
- Kamera på tredje bommen istället för laddkorg för att underlätta visuell kontroll vid påhuggen.
- Borrhigen ska inte vara utrustad med onödig utrustning som inte ska användas för salvborring, till exempel skarvsystem (Rod Adding System). Detta tar utrymme och försvårar borrhningen.
- Bommar och borrhstål ska vara anpassade i längd för de salvlängder som förväntas tas ut.

### 7.1.2 Kontroll av borrhigen

Projektet rekommenderar att ett kontrollprogram utformas för borrhigen där nedanstående punkter tas om hand innan start av första salvan samt vid vissa stickprovskontroller och fastlagda serviceintervaller.

- Kontroll av förmåga att positionera sig och kunna bestämma navigeringspunkt.
- Kontroll av påhuggs positionering samt förmåga att få bom i rätt lutning och riktning, lämpligtvis med fokus på hål där bom och leder får vridas mest som till exempel anfang, hörnhål och sula.
- Kontroll av förmåga att göra påhugg i berg samt borrhining i rätt rikt och lutning i berg.
- Kontroll av förmåga att registrera längd innan bergkontakt och längd i berg.

Med ovanstående kontrollprogram som underlag skulle man sedan kunna använda borrhigen tillsammans med borrhagens observationer och dokumentation som underlag för utvärdering av borrhiningen innan laddning. Underlaget skulle också kunna användas för att senare kunna bedöma indrifter, bormeter per m<sup>3</sup> och sprängämne per m<sup>3</sup>. Med en borrhigg som genererar tillförlitlig data skulle många geodetiska mätningar kunna tas bort och på så sätt skulle tid och kostnader kunna reduceras.

### 7.1.3 Förbättring av borrhplaner

- Borrhplaner med olika utformningar ska finnas förberedda för att kunna hantera förändringar i geologin. Borrhplanerna ska vara upprättade i syfte att ge bra kontur och minimera skadezonen och på detta sätt kan beslut tas på plats utan att öka risker för sämre kontur eller ökad skadezon.
- Borrhplaner ska vara avstämda och synkroniserade med andra borrhningar till exempel injekteringshålens placeringar för att få bra brytningsmönster (påhugg och slutpunkter enligt plan) och ge förutsättningar för att använda minimalt med sprängämne i varje enskilt hål och på så sätt minimera skadezonen och få bra kontur.
- Borrhplaner med mindre försättning mellan hjälpare och kontur i slutpunkter bör testas för att på så sätt kunna undvika kvarstående borrhpipor i slutet av salvan vilka kan försvåra påhuggen i nästkommande salva, kunna minimera bottenladdningar med möjlighet att minimera skadezon samt orsaka berg som behöver skrotas vilket tar tid. Skrotning av sönderskjutet berg från bottenladdningarna har även potential att orsaka den lokalt största arean i tunneln.
- Test med en kil med större avstånd mellan hålen skulle behöva göras för att undvika riskerna för ihopborrningar med följande konsekvenser; att beslut för hantering av borrhning eller laddning behöver tas på plats, risken ökar för salvan att inte gå ut, höga vibrationer, höga luftstöt vågar. Detta innebär att man kan undvika extraarbete i form av omskjutningar. En fördel med en större kil är även reduktion av strosshål vilket också minskar bormeter per m<sup>3</sup> och sprängämne per m<sup>3</sup>. En större kil skulle på så sätt leda till vinster i form av tid och lägre kostnader.
- Kilens placering bör läggas lågt både för att underlätta täckning samt underlätta sprängningen av sulan. Dock får inte laddningsmängden i kilen öka risken för större skadezon än laddningsmängden från konturhålen.
- 25 cm stickning rekommenderas då det ger bra förutsättningar för nästkommande salva. Fördelarna med 20 cm stickning motiverar inte den ökade risken för underberg och tidsförseningar.
- En översyn av borrhplanen för aktuell tunnel bör göras föra att om möjligt underlätta borrhning av hörnhålen, som hade du största utförande problemen.



#### 7.1.4 Borrningsutförande

- Målningen av kontur har fungerat som ett bra stöd för att få bra påhugg samt att det utgör en god kontroll av borrhagens positionering. Rekommendationen är att ett sådant visuellt stöd genom målning eller projicering även finns i framtiden både för bra kontroll på påhuggen samt borrhagens förmåga att navigera.
- Rekommendationer för att ha kontroll över borrhålens slutpunkter är att använda sig av målad kontur, utföra noggrann justering av bommen mot LCD-skärm, för att sedan borra hålet med ett lägre matartryck första metern. Det vill säga skapa bra förutsättningar för att få ett rakt borrhål och även få tillförlitlig data från borrhagen.
- Kontroll av borrningsutförandet i samtliga kontur- och hjälparhål bör göras för bedömning av brytmönster och eventuella åtgärder som inte riskerar sämre kontur och ökad skadezon.
- Ett rimligt krav på borrningen är att påhuggen ska ligga inom en radie av 10 cm och att slutpunkterna ska ligga inom en radie av 20 cm från de teoretiska lägena. Om kravet inte hålls ska kontroller göras för bedömning hur hålen intill ligger i förhållande till det felborrade. Det är inte automatiskt bara att borra om hålet. Istället kan det vara mer fördelaktigt att ändå skjuta för att hålla bra kontur utan risk för ökad skadezon.
- Parallellitet rekommenderas att följas upp vid borrning då ett systematiskt fel inte innebär att det ökar risken för sämre kontur och större skadezon, då laddningsförhållande i förhållande till mängd berg fortfarande är det samma. Dock skulle det behövas fortsatta studier för att identifiera de hålavstånd som ökar skadezonen samt risken för en kontinuerlig skadezon, så att krav för parallellitet fastställas för borrning och vad för åtgärd som kan göras för att bibehålla förväntad kontur och minimera skadezonen.

## 7.2 Laddning sprängning

Att använda patronerat sprängämne är ett bra sätt att ha kontroll på mängder, men tar mycket tid i anspråk vid laddning. För att effektivisera hanteringen rekommenderas att göra en förstudie för att se möjligheten att använda rörladdningar på rulle eller längre rörladdningar som passar vald salvlängd. Förstudien skulle också se på möjligheterna att använda patronerat emulsionsprängämne. På så sätt skulle det också underlätta att föra sprängjournaler och eventuella osäkerheter skulle minskas gällande den totala mängden sprängmedel. Rörladdningarna ska gå att kapa så att bra arbetsmiljö kan uppnås samt att laddningarna ska vara försedda med centreringsfjädrar så god frikoppling kan uppnås. Möjligheten att tillverka ännu svagare sprängämne för kontur skulle också ses över och hur man i kombination med svagare laddningsmängder även i hjälpare tillsammans med momentan upptändning kan minimera skadezonen. Dessutom bör rutiner utvecklas för att bättre dokumentera verkligt förbrukad sprängämnesmängd.

För den oladdade delen av borrhålen rekommenderas att man även i fortsättningen använder laddlås av gruspropp och frigolit. För att effektivisera hanteringen bör utrustning kunna utvecklas då installationen tar en del tid i anspråk. Denna utrustning skulle även kunna kontrollera längden på förladdningen.

Projektet rekommenderar användandet av elektronisprängkapslar med momentan upptändning i kontur, hjälpare och sula. Den momentana upptändningen ger bra förutsättningar för att även använda kontursprängämne i sula. Tändplanen kan dock utvecklas genom att testa med fördröjning av anfangshål så att dessa går sist och förbättrad kontur kan erhållas där.

Mätningen av vibrationer bör utföras med triaxiella mätare med strategisk placering för att även mäta och utvärdera de horisontella vibrationerna i olika vinklar och avstånd och på så sätt se dess påverkan på anläggningen och installationer.

Projektet rekommenderar vidare analyser för att titta på hur förhållandet mellan vibration och samverkande laddning kan utnyttjas för indikation för övervägning av ändrade borr- eller tändplaner. Förhållandet ppv/kg skulle också kunna nyttjas för extrakontroller av borrhålen för att identifiera systematiska felregistrerade borrhål som kan passera kontrollprogrammet för borrningen, med åtgärden att kontrollprogrammet för borrningen kan förbättras.

Luftstötstågen ökar i samband med användandet av elektroniska sprängkapslar och rekommendationen är att man redan från start hänger upp sprängmattor för att styra luftstötstågen från känslig utrustning. Vibrationsmätare rekommenderas också att placeras på den utrustning som ska mätas för att ge rätt värden istället för på fundament till exempel container innehållande datorer för att mäta om gränsvärdet för utrustningen nås.

Genom att frångå den gängse metoden att analysera toppvärdet för vibrationen i varje salva och istället analysera flera separata, väl definierade intervall i en salva kan man erhålla mycket högre exakthet i sin regressionsanalys vid undersökandet av samband vibrationer, avstånd och samverkande laddning och även erhålla ”tyspecifika parametrar”. Detta öppnar för möjligheten att optimera varje del av salvan. Det borde gå att produktionsanpassa regressionsanalysen och framtagandet av platsspecifika/tyspecifika parametrar så att man kontinuerligt kan uppdatera värdet på dessa parametrar och ladda varje del för sig efter hur verkligheten ser ut. Vid beräkning av tillåten samverkande laddning bör man även ta hänsyn till de olika salvdelarna (kil, stross, hjälpare, kontur). Genom att standardisera hur vibrationsanalysen ska gå till samt designa tändplanerna så att man med säkerhet kan identifiera specifika hål/hålgrupper skulle det vara möjligt att utveckla en automatiserad analysmetod som aktivt återmatar och uppdaterar parametrar inför kommande salvor.

### **7.3 Krav på tunneldrivning för deponeringstunnlar**

Genom att följa rekommendationerna för bättre kontroll och utförande för borring, laddning och sprängning som beskrivits ovan skulle många krav på tunneln gällande kontur, geometri och skadezon kunna nås. Dock råder en del osäkerheter gällande kraven från återfyllnaden. Som exempel kan ses stickning i sula och tak, där projektet för det mesta når kravet, men att måttet lokalt kan överskridas och bedömningar av nyttjandegraden för en deponeringstunnel försvåras. I nuläget innehålls kravet på 30 % överberg, trots att det lokalt finns stora blockutfall vilket man rimligtvis får förvänta sig även i framtida tunneldrivningar. Projektet rekommenderar att använda sig av areavariationer som ett mått på kontur och geometri, då det ger ett bättre helhetsperspektiv på tunneln samtidigt som man kan göra bedömningar lokalt.

## 8 Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer).

**Bieniawski Z T, 1989.** Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. New York: Wiley.

**Funehag G, Emmelin A, 2010.** Injekteringen av TASS-tunneln. Design, genomförande och resultat från förinjekteringen. SKB R-10-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Hardenby C, Sigurdsson O, 2010.** Äspö Hard Rock Laboratory. The TASS-tunnel. Geological mapping. SKB R-10-35, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Hardenby C, Sigurdsson O, Hernqvist L, Bockgård N, 2008.** Äspö Hard Rock Laboratory. The TASS-tunnel project "Sealing of tunnel at great depth". Geology and hydrology – results from the pre-investigations based on the boreholes KI0010B01, KI0014B01 and KI0016B01. SKB IPR-08-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Olofsson S O, 2007.** Modern bergsprängningsteknik. Ärla: APPEX.

**Olsson M, Bergqvist I, 1995.** Sprickutbredning vid flerhålssprängning. SveBeFo rapport 18, Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning.

**Olsson M, Ouchterlony F, 2003.** Ny skadezonsformel för skonsam sprängning. SveBeFo rapport 65, Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning.

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

**Olsson M, Markström I, Pettersson A, Sträng M, 2009.** Examination of the Excavation Damaged Zone in the TASS tunnel, Äspö HRL. SKB R-09-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Ouchterlony F, Olsson M, Båvik S O, 2000.** Perimeter blasting in a 130 m road cut in gneiss with holes with radial bottom slots. In: Holmberg (ed). Proceedings of the 1st World Conference on Explosives & Blasting Technique, Munich, Germany, 6–8 September 2000. Rotterdam: Balkema, pp 225–234.

**Singh B, Goel R K, 1999.** Rock mass classification: a practical approach in civil engineering. Amsterdam: Elsevier.

**SKB, 2009.** Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analyses. SKB TR-09-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Wimelius H, Pusch R, 2008.** Backfilling of KBS-3V deposition tunnels – possibilities and limitations. SKB R-08-59, Svensk Kärnbränslehantering AB.





## Förklaring av \*.LOG filer från RCS3.4

Headern borde sett ut så här:

[VERSION 3.0]	Version av filformatet. OBS LOG filerna har ett internt Atlas Copco filformat som kan förändras mellan RCS versioner. För kompatibilitet med andra system rekommenderas att man använder IREDES filformat ( <a href="http://www.iredes.org">www.iredes.org</a> ).
RCS 3.4	Version av riggens program.
[ROUNDADATA]	Avgränsare.
Drillplan	Namn på borrplanen som användes.
Tunnel	Namn på tunnellen som användes.
Laser	Namn på lasern som användes.
24630	Sektionsnummer * 1000. Den sektion som ni uppgav vid navigeringen.
2008-04-17 11:29:06	Datum och tid när nytt sektionsnummer sattes, normalt när ni navigerade.
2008-04-21 15:12:51	Datum och tid när denna fil lagrades. Om filnamnet avslutas med ett A (1234529A.LOG) är det en automatsparad log som sparas när nästa navigering görs. Om filnamnet avslutas med ett M är det en log som operatören manuellt sparar.
8991420600	Riggens serienummer.
0	Antal hål som en blivit loggade, pga något "fel". Kan vara programfel, hanteringsfel eller annan orsak.

---

Header1	Förklaring av kommande rader del 1.
Header2	Förklaring av kommande rader del 2. Dessa två rader är lagda så att det växelvis blir rubrik från 1:a och 2:a raden. Se följande:

<i>Number</i>	<i>Y</i>	<i>Angle</i>	<i>Depth</i>	<i>Bit</i>	<i>AvgPen</i>	<i>TypeOfDepth</i>	<i>Auto</i>	<i>Time</i>	<i>CalcDepth</i>	<i>NavIndex</i>	<i>Dir:End</i>
<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>Dir</i>	<i>Type</i>	<i>DriTime</i>	<i>Status</i>	<i>ReqDepth</i>	<i>Date</i>	<i>Stops</i>	<i>TypeOfDrilling</i>	<i>AngleEnd</i>	

[BOOM1]	Hål och hålordning för bom 1.
55	Antal hål för bommen.
38	<b>Number</b> tas från borrplanen om hålet har infångas. Annars är det ett negativt nummer som automatiskt stegas upp. Luckor kan förekomma i den negativa sekvensen.
24730	<b>X</b> -koordinat, vid bergkontakt. Sort mm, Borrplanens origo ligger på 25000,25000,9.
25001	<b>Y</b> -koordinat, vid bergkontakt.
155	<b>Z</b> -koordinat, vid bergkontakt.
33	<b>Angle</b> Stickvinkel, mellan påhugg och hålbotten. Grader *10.
-1004	<b>Dir</b> Stickriktning, mellan påhugg och hålbotten. Grader *10.

4413	<b>Depth</b> Borrat håldjup, mm. Från påhugg till hålbotten.
8	<b>Type</b> håltyp. 0 referenshål 1 Kilhål 2 Sonderingshål 3 Grovhål 4 Strosshål 5 Bulthål 6 Injektionshål 7 Andra kontur 8 Bottenhål 9 Konturhål 10 Ospecificerade
0	<b>Bit</b> typ av krona. Beroende på vilken krona som är vald i riggen.
307	<b>DrTime</b> Borrtid i sekunder. Start: bergkontakt, Stopp: matarn i viloläge.
109	<b>AvgPen</b> 100* meter/minut. Medelborrsjunkning.
1	<b>Status</b> Hålstatus. 0 Oborrat 1 Borrat manuellt (Lyckat) 2 Misslyckat 3 Avbrutet 4 Borrat i auto (Lyckat)
3	<b>TyeOfDepth</b> Begärt referensplan. Val gjort av operatör på riggen.  0 Berg/Meny 1 Berg/Borrplan 2 Ref.plan/Meny 3 Ref.plan/Borrplan
4400	<b>ReqDepth</b> Programmerat djup från borrplan eller rigginställning. 0 om inget programmerat djup.
0	<b>Auto.</b> 0 ingen auto (1–9 olika varianter av auto).
2008-04-17 11:47	<b>Date-Time</b> Datum och tid när aktuellt hål är färdigt borrat.
5	<b>Stops</b> antalet gånger slagverkstrycket går ner till noll under hålets borrhning.
4245	<b>CalcDepth</b> Beräknat borrhdjup.
0	<b>TypeOfDrilling</b> Typ av borrhning. 0 Salv 1 Bultning 2 Sondering 3 Injektering
1	<b>NavIndex</b> Hålet borrat efter Upställning/Navigering 0 till 5. 0 om salvan är borrad utan navigering.
30	<b>AngleEnd</b> Stickvinkel, vid borrslut. Dessa två poster är för att jämföra med vinkel och riktnign vid bergkontakt (ovan). Detta visa om man har ändrar riktning under borrhningen.
-953	<b>Dir.End</b> Stickriktning, vid borrslut.

## Avstånd vibrationsmätare och respektive salva

Salva Nr stuff	Teoretisk sektion [m]	Inmätt sektion Höger nere [m]	Avstånd horisont. längd Givare V3 [m]	Avstånd lutande längd (radiellt avstånd) Givare V3 [m]	Avstånd höjd Givare V3 [m]	Avstånd horisont. längd Givare V2 [m]	Avstånd lutande längd (radiellt avstånd) Givare V2 [m]	Avstånd höjd Givare V2 [m]
2	0/006,16	0/006,42	27,89	27,91	0,95	51,38	51,40	1,12
3	0/008,47	0/008,70	27,55	27,57	0,97	52,35	52,37	1,15
4	0/012,47	0/012,81	27,36	27,38	1,02	54,50	54,51	1,19
5	0/016,47	0/016,69	27,81	27,83	1,06	56,85	56,85	1,23
6	0/020,47	0/020,61	28,79	28,81	1,10	59,25	59,26	1,27
7	0/024,47	0/024,75	30,26	30,28	1,14	61,83	61,84	1,31
8	0/028,47	0/028,96	32,25	32,27	1,18	64,66	64,67	1,35
9	0/032,47	0/032,91	34,52	34,54	1,22	67,51	67,52	1,39
10	0/036,47	0/037,36	37,64	37,67	1,27	71,10	71,11	1,44
11	0/040,47	0/041,91	40,91	40,93	1,31	74,63	74,65	1,48
12	0/044,47	0/045,74	43,50	43,52	1,35	77,34	77,35	1,52
13	0/048,47	0/048,73	45,83	45,85	1,38	79,73	79,74	1,55
14	0/052,47	0/052,93	49,18	49,20	1,42	83,10	83,11	1,59
15	0/056,47	0/056,85	52,67	52,69	1,46	86,58	86,59	1,63
16	0/060,47	0/060,62	55,75	55,77	1,49	89,62	89,64	1,67
17	0/064,47	0/064,55	59,37	59,39	1,53	93,18	93,20	1,71
18	0/068,47	0/068,93	63,51	63,53	1,58	97,22	97,24	1,75
19	0/072,47	0/073,10	67,22	67,24	1,62	100,85	100,86	1,79
20	0/076,47	0/077,06	70,81	70,82	1,66	104,33	104,35	1,83
21	0/080,47	0/080,67	74,01	74,03	1,70	107,45	107,46	1,87



## Erhållna värden från borrloggen

Berg uttag Alla borrhål	Salv nr	Navigerings sektion [m]	Z [m]	Bergyta enligt borrhög Navigeringssektion + z [m]	Borrdjup [m]	Slutsektion [m]
2	5	16,10	0,621	16,72	3,98	20,70
3	6	20,45	0,246	20,70	4,16	24,86
	7	24,63	0,19	24,82	4,20	29,02
	8	28,60	0,333	28,93	4,06	32,99
4	9	32,86	0,095	32,96	4,52	37,48
	10	37,15	0,362	37,51	4,61	42,13
	11	41,40	0,638	42,04	3,77	45,81
	12	45,29	0,437	45,73	3,07	48,80
5	13	48,35	0,239	48,59	4,34	52,93
	14	52,13	0,494	52,62	4,11	56,73
	15	56,00	0,636	56,64	3,96	60,59
	16	60,20	0,405	60,61	4,18	64,78
6	17	64,42	0,197	64,62	4,40	69,02
	18	68,68	0,347	69,03	4,24	73,27
	19	72,68	0,424	73,10	4,17	77,28
	20	76,80	0,426	77,23	3,71	80,94
<b>Kontur</b>		<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
2	5	16,10	0,424	16,52	4,17	20,70
3	6	20,45	0,127	20,58	4,27	24,85
	7	24,63	0,116	24,75	4,26	29,01
	8	28,60	0,214	28,81	4,17	32,99
4	9	32,86	0,038	32,90	4,55	37,44
	10	37,15	0,244	37,39	4,60	41,99
	11	41,40	0,458	41,86	3,94	45,80
	12	45,29	0,295	45,59	3,21	48,80
5	13	48,35	0,08	48,43	4,51	52,94
	14	52,13	0,274	52,40	4,33	56,73
	15	56,00	0,461	56,46	4,13	60,59
	16	60,20	0,301	60,50	4,27	64,78
6	17	64,42	0,098	64,52	4,47	68,99
	18	68,68	0,221	68,90	4,37	73,27
	19	72,68	0,251	72,93	4,34	77,28
	20	76,80	0,292	77,09	3,90	81,00

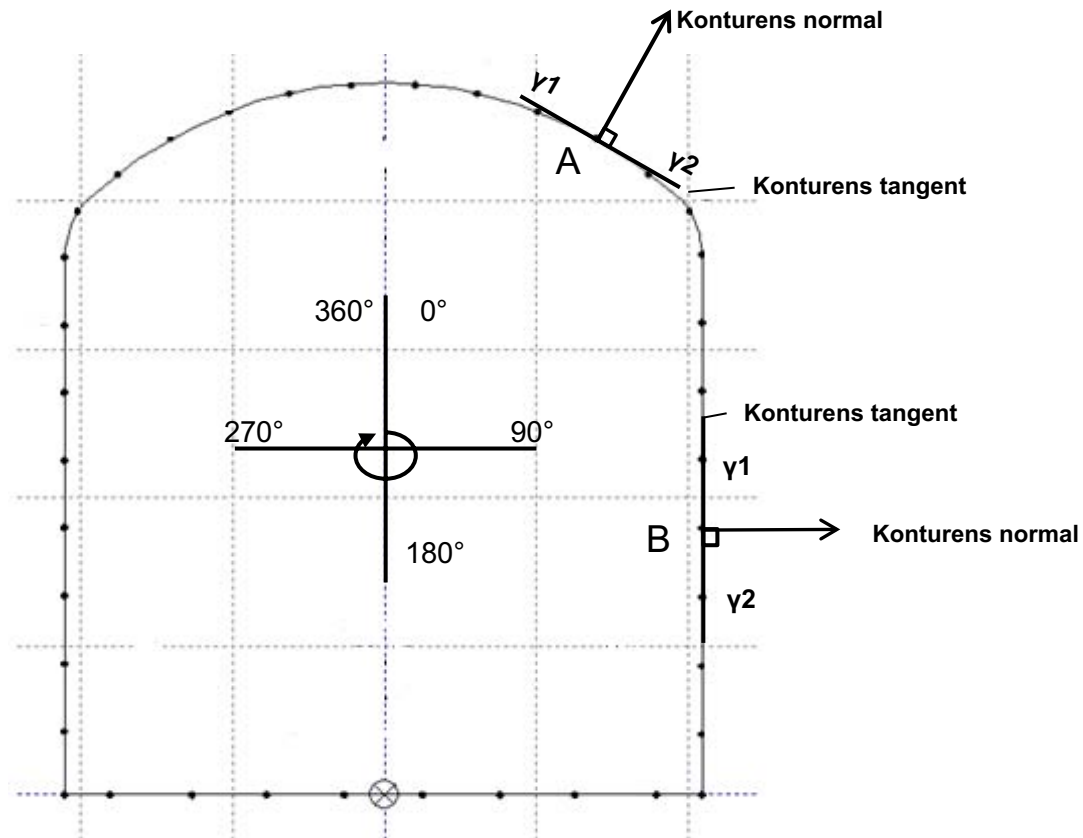
Berguttag Stross	Salv nr	Navigerings sektion [m]	Z [m]	Bergyta enligt borrhigg Navigeringssektion + z [m]	Borrdjup [m]	Slutsektion [m]
2	5	16,10	0,825	16,93	3,78	20,70
3	6	20,45	0,317	20,77	4,09	24,86
	7	24,63	0,252	24,88	4,14	29,03
	8	28,60	0,413	29,01	3,97	32,98
4	9	32,86	0,146	33,01	4,51	37,52
	10	37,15	0,458	37,61	4,60	42,21
	11	41,40	0,761	42,16	3,66	45,83
	12	45,29	0,546	45,84	2,96	48,79
5	13	48,35	0,363	48,71	4,23	52,94
	14	52,13	0,672	52,80	3,93	56,73
	15	56,00	0,777	56,78	3,81	60,59
	16	60,20	0,485	60,69	4,11	64,79
6	17	64,42	0,267	64,69	4,35	69,04
	18	68,68	0,433	69,11	4,07	73,27
	19	72,68	0,547	73,23	4,05	77,28
	20	76,80	0,536	77,34	3,57	80,90
<b>Hjälpare</b>		<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
2	5	16,10	0,582	16,68	4,02	20,70
3	6	20,45	0,299	20,75	4,11	24,85
	7	24,63	0,171	24,80	4,23	29,03
	8	28,60	0,36	28,96	4,05	33,01
4	9	32,86	0,085	32,95	4,49	37,44
	10	37,15	0,358	37,51	4,69	42,20
	11	41,40	0,709	42,11	3,69	45,80
	12	45,29	0,471	45,76	3,04	48,80
5	13	48,35	0,257	48,61	4,25	52,86
	14	52,13	0,466	52,60	4,15	56,75
	15	56,00	0,627	56,63	3,98	60,60
	16	60,20	0,413	60,61	4,16	64,77
6	17	64,42	0,218	64,64	4,39	69,03
	18	68,68	0,389	69,07	4,22	73,28
	19	72,68	0,468	73,15	4,14	77,29
	20	76,80	0,448	77,25	3,66	80,91

## Beräkningar för att klassificera borrhål enligt träffbildsindelningen

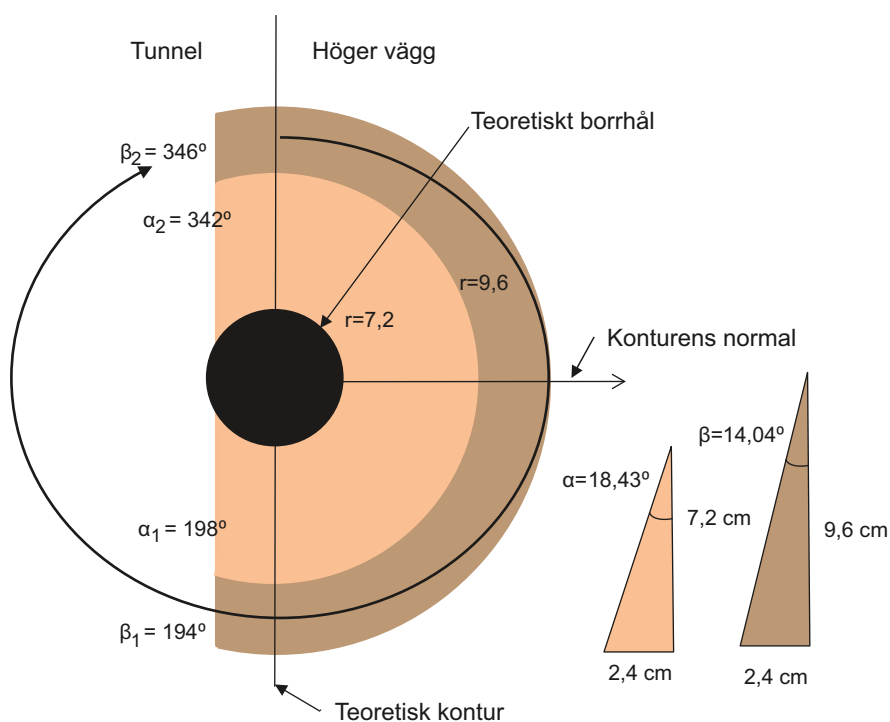
För att snabbt selektera ut vilka borrhål som borrats innanför kontur samt i respektive träffbildsklass ur stora datamängder har dessa beräkningar genomförts och sedan applicerats på varje salva. Tangenten till den teoretiska konturen samt konturens normal har identifierats för varje borrhål i alla salvor, för schematisk skiss se figur A4-1. Vinkeln för konturens normal samt tangentens vinklar  $\gamma_1$  och  $\gamma_2$  för respektive borrhål kan ses i tabell A4-1. Två undantag finns vilka är borrhålen nr 29 och 30, de två hörnhålen. Där kan inte tunnelkonturen representeras av tangenten med ett spann på  $180^\circ$  grader utan vinkelgränserna ökar till ett spann av  $270^\circ$  då godkänd yta både är i sulan samt följer konturen upp längs respektive vägg.

Träffbildsklassificering innebär att borrkronan kan tangera den teoretiska tunnelväggen och borrhålet anses som godkänd. Vilket medför att vinklarna  $\alpha$  och  $\beta$  för respektive cirkelsektor har lagts till tangentens vinklar för att utöka vinkelgränserna och skapa vinkelgränserna för cirkelsektorerna för respektive borrhål för schematisk skiss se figur A4-2. För varje inmätt borrhål beräknas sedan det radiella avståndet och placeringen av borrhålet i förhållande till det teoretiska borrhålet i form av en vinkel som visar om borrhålen ligger i kvadranten  $0-90^\circ$ ,  $90-180^\circ$ ,  $180-270^\circ$  eller  $270-360^\circ$ .

Med hjälp av vinkelgränserna för cirkelsektorerna och det radiella avståndet har sedan de borrhål som hamnat innanför kontur kunnat identifieras ut ur datamängderna. Exempelvis för borrhål nummer 3 i vänster vägg blir då tangentens vinklar  $\gamma_1 = 180^\circ$  och  $\gamma_2 = 360^\circ$  och vidare blir då för cirkelsektor radiellt avstånd  $\alpha_1 = 360^\circ + 18^\circ = 18^\circ$  och  $\alpha_2 = 180^\circ - 18^\circ = 162^\circ$ . Vid identifieringen faller borrhålet innanför kontur om borrhålet avviker från det teoretiska med en vinkel ( $V$ ) som är  $18^\circ < V < 162^\circ$ . För konturens normal samt tangentens vinkel samt vidare beräknade vinklar  $\alpha_1$  och  $\beta_1$  och motsvarande vinkel vid andra vinkelgränsen  $\alpha_2$  och  $\beta_2$  från klassificeringen se tabell A4-1.



**Figur A4-1.** Schematisk bild som visar konturens normal samt konturens tangent och vidare tangentens vinklar ( $\gamma_1$  och  $\gamma_2$ ) för ett borrhål i A) borrhål 18 i höger tak och B) borrhål 25 i höger vägg.



**Figur A4-2.** Schematisk skiss över ett teoretiskt borrhål i höger vägg med cirkelsektorerna med radie på 7,2 cm och 9,6 cm och respektive vinklar  $\alpha_1$  respektive  $\alpha_2$  och  $\beta_1$  respektive  $\beta_2$  som används vid selekteringen om borrhålet hamnat innanför kontur. Vid sidan ses även de ursprungliga vinklarna  $\alpha$  och  $\beta$  för respektive cirkelsektor.

**Tabell A4-1.** Tunnelkonturens normal samt vinklarna för konturens tangent ( $\gamma_1$  och  $\gamma_2$ ) för respektive borrhål i konturen. Samt vidare uträknad enligt träffbildsteorin vinkelgränserna  $\alpha$  och  $\beta$  för cirkelsektorerna vid radiellt avstånd < 7,2 cm och < 9,6 cm. Värdena gäller för påhuggen.

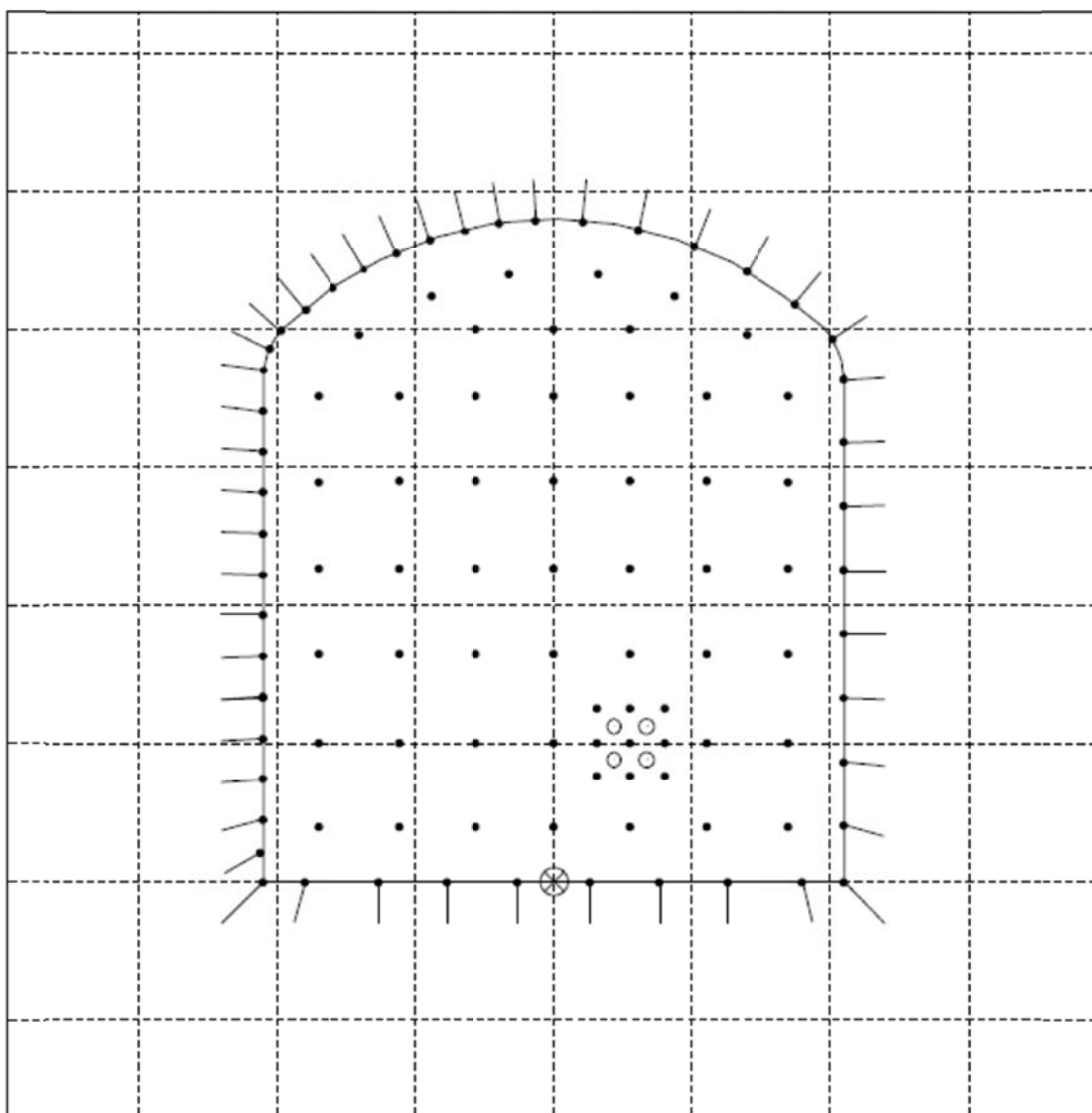
borrhål	Konturens normal	Konturens Tangent vinklar		Radiellt avstånd < 7,2 cm		Radiellt avstånd < 9,6 cm	
		$\gamma_1$	$\gamma_2$	Erhållen vinkel < $\alpha_1$	Erhållen vinkel > $\alpha_2$	Erhållen vinkel < $\beta_1$	Erhållen vinkel > $\beta_2$
1-8	270	180	360	18	162	14	166
9	303	213	33	52	195	47	199
10	321	231	51	70	213	65	217
11	330	240	60	78	221	74	226
12	338	248	68	87	230	83	234
13	347	257	77	96	239	91	243
14	356	266	86	104	247	100	252
15	4	274	94	113	256	108	260
16	13	283	103	121	264	117	269
17	21	291	111	130	273	126	277
18	30	300	120	139	282	134	286
19	39	309	129	147	290	143	295
20	57	327	147	165	308	161	313
21-28	90	0	180	198	342	194	346
29	180	0	270	288	342	284	346
30	180	90	360	18	72	14	76
31-38	180	90	270	288	72	284	76

## Borrplaner

## Borrplan salva 3-4 Borrpl\_Fortat\_vanst\_30\_R

<b>Atlas Copco</b>	<b>Borrplan</b>	01/08/10 09:22:24
		Borrpl_Fortatvanst_30_R.dpc

Projektinformation	Salvdata
Arbetspl:TASS	Tvårsnitt: 18,9 m <sup>2</sup>
Front: TASS 1	Håldjup: 4,4 m
Datum: 2007-10-31	Håldiameter: 48,0 mm
Planl: L R Harefjord	Totalt laddade hål: 107
Anm: Bergsäker AB	Oladdade hål: 4
	Skala: 1 : 40
	Borrhålsskala: 1 : 1
	Avstånd rutnät: 1,0 m



**Atlas Copco****Borrplan**

04/12/10 15:58:01

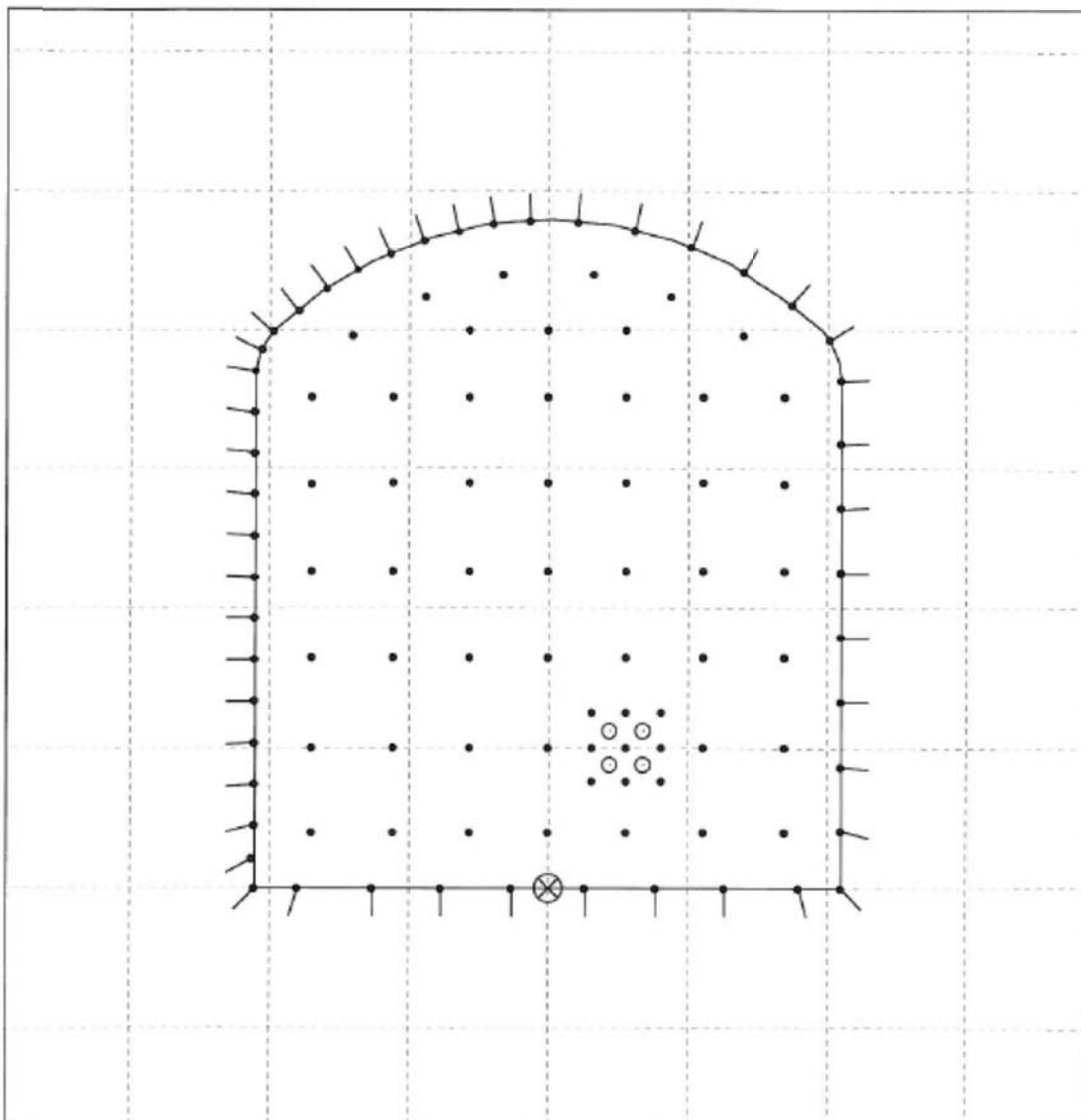
Borrpl\_Fortatvanst\_20\_R.dpc

## Projektinformation


ArbetsplTASS  
Front: TASS 1  
Datum: 2007-10-31  
Plan: L R Harefjord  
Anm: Bergsäker AB

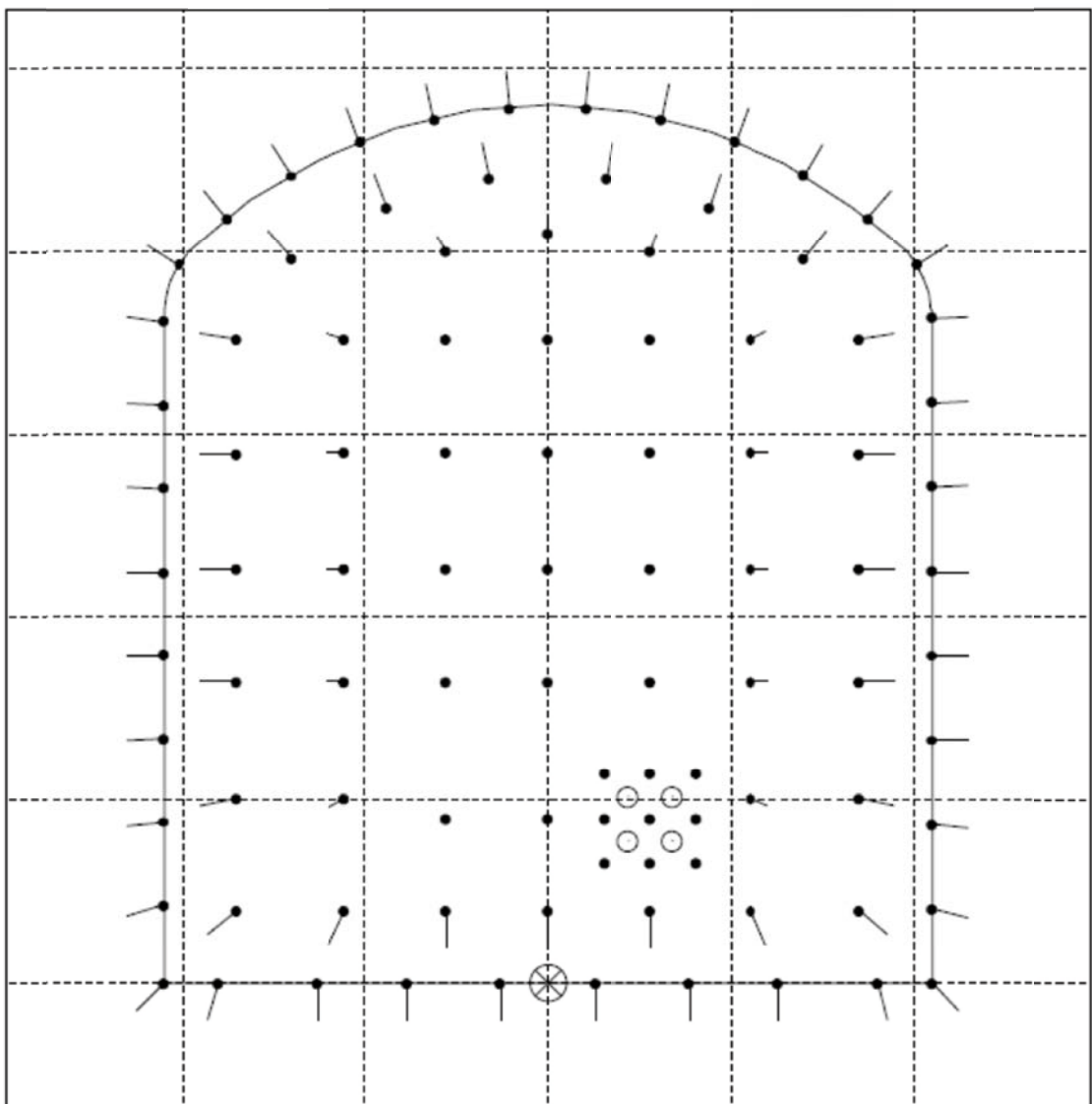
## Salvdata

Tvärsnitt:	18,9 m <sup>2</sup>
Håldjup:	4,4 m
Håldiameter:	48,0 mm
Totalt laddade hål:	106
Oladdade hål:	4
Skala:	1 : 40
Borrhålsskala:	1 : 1
Avstånd rutnät:	1,0 m



# Borrplan salva 6-8 Borrpl\_stickn\_6\_7\_8\_R1

	<h2>Borrplan</h2>	01/08/10 09:23:14 Borrpl_stickn_6_7_8_R1.dpc
<b>Projektinformation</b> ArbetsplTASS Front: TASS 1 Datum: 2007-10-31 Plan: L R Harefjord Anm: Bergsäker AB		<b>Salvdata</b> Tvärsnitt: 18,9 m <sup>2</sup> Håldjup: 4,4 m Håldiameter: 48,0 mm Totalt laddade hål: 97 Oladdade hål: 4 Skala: 1 : 30 Borrhåisskala: 1 : 1 Avstånd rutnät: 1,0 m



# Borrplan salva 9-14 Borrpl\_9\_10\_11\_12\_R1

**Atlas Copco**

## Borrplan

01/08/10 09:24:14

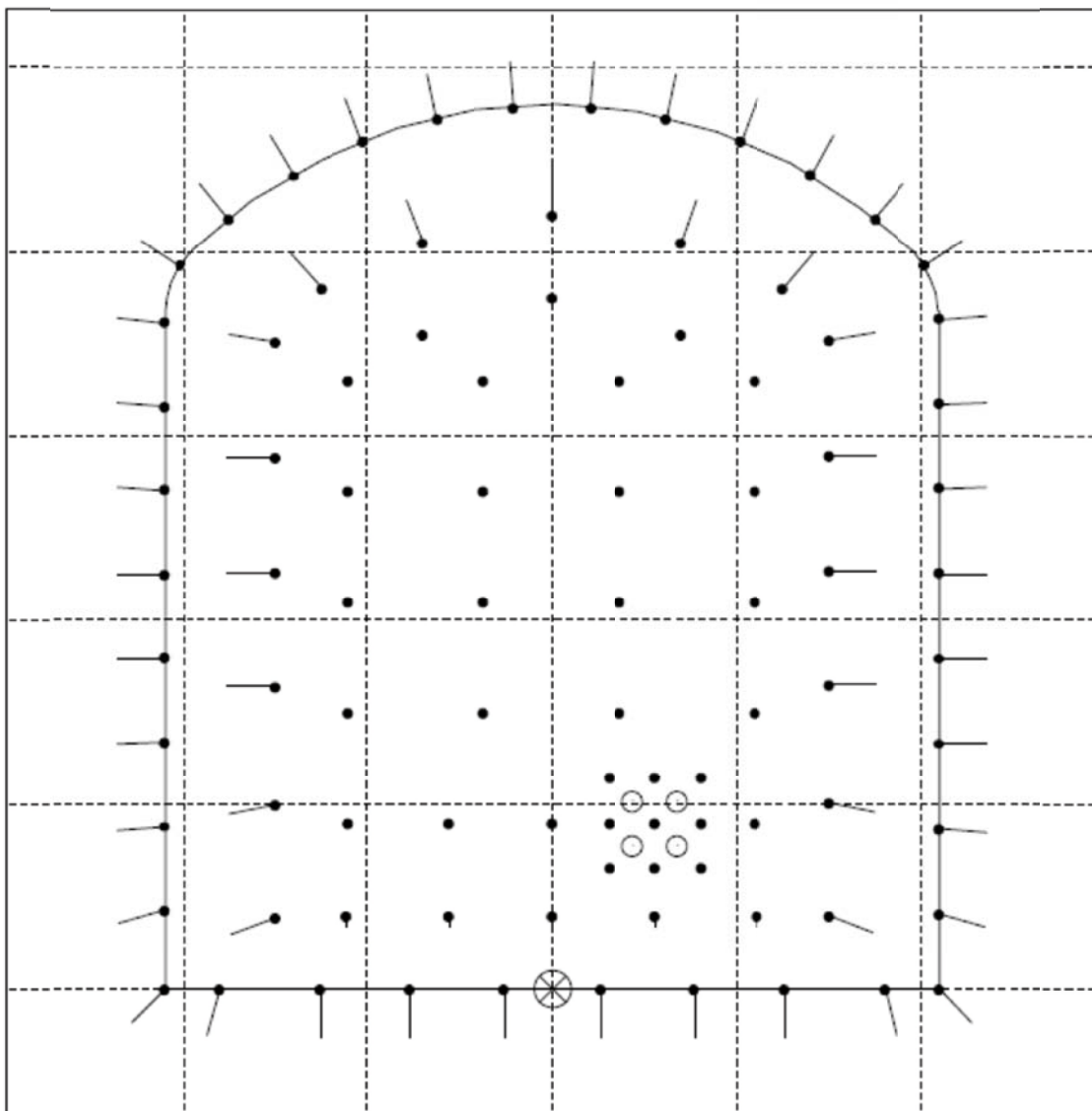
Borrpl\_9\_10\_11\_12\_R1.dpc

### Projektinformation

ArbetsplTASS  
Front: TASS 1  
Datum: 2007-10-31  
Plan: L R Hareford  
Anm: Bergsäker AB

### Salvdata

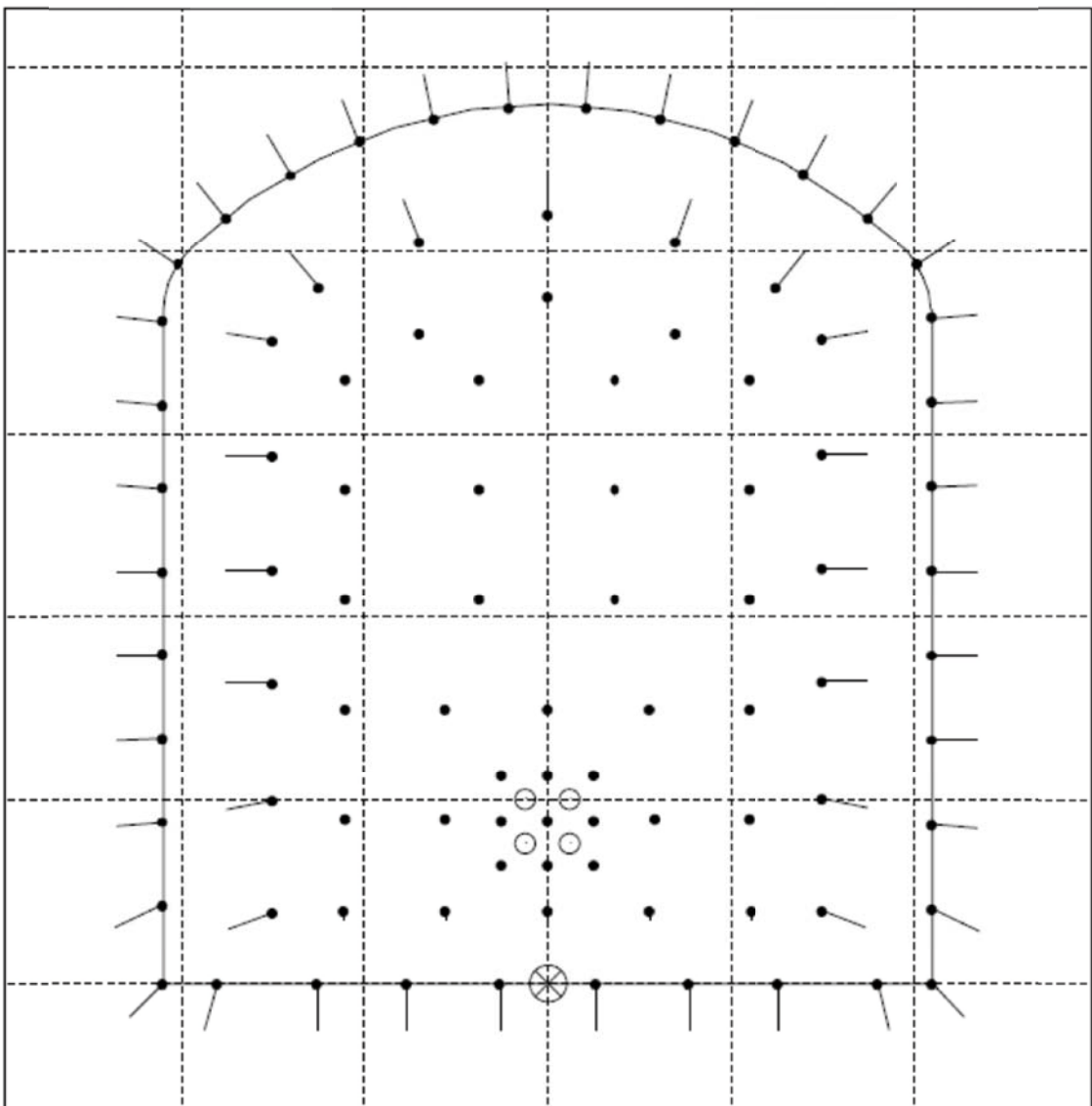
Tvärsnitt:	18,9 m <sup>2</sup>
Håldjup:	4,4 m
Håldiameter:	48,0 mm
Totalt laddade hål:	92
Oladdade hål:	4
Skala:	1 : 30
Borrhålsskala:	1 : 1
Avstånd rutnät:	1,0 m





<b>Atlas Copco</b>	<b>Borrplan</b>	01/08/10 09:32:01 Borrpl_15_16_C.dpc
--------------------	-----------------	---

Projektinformation	Salvdata
ArbetsplTASS	Tvärsnitt: 18,9 m <sup>2</sup>
Front: TASS 1	Håldjup: 4,6 m
Datum: 2007-10-31	Håldiameter: 48,0 mm
Plan: L R Harefjord	Totalt laddade hål: 93
Anm: Bergsäker AB	Oladdade hål: 4
	Skala: 1 : 30
	Borrhålskala: 1 : 1
	Avstånd rutnät: 1,0 m





# Borrplan

01/08/10 09:20:24

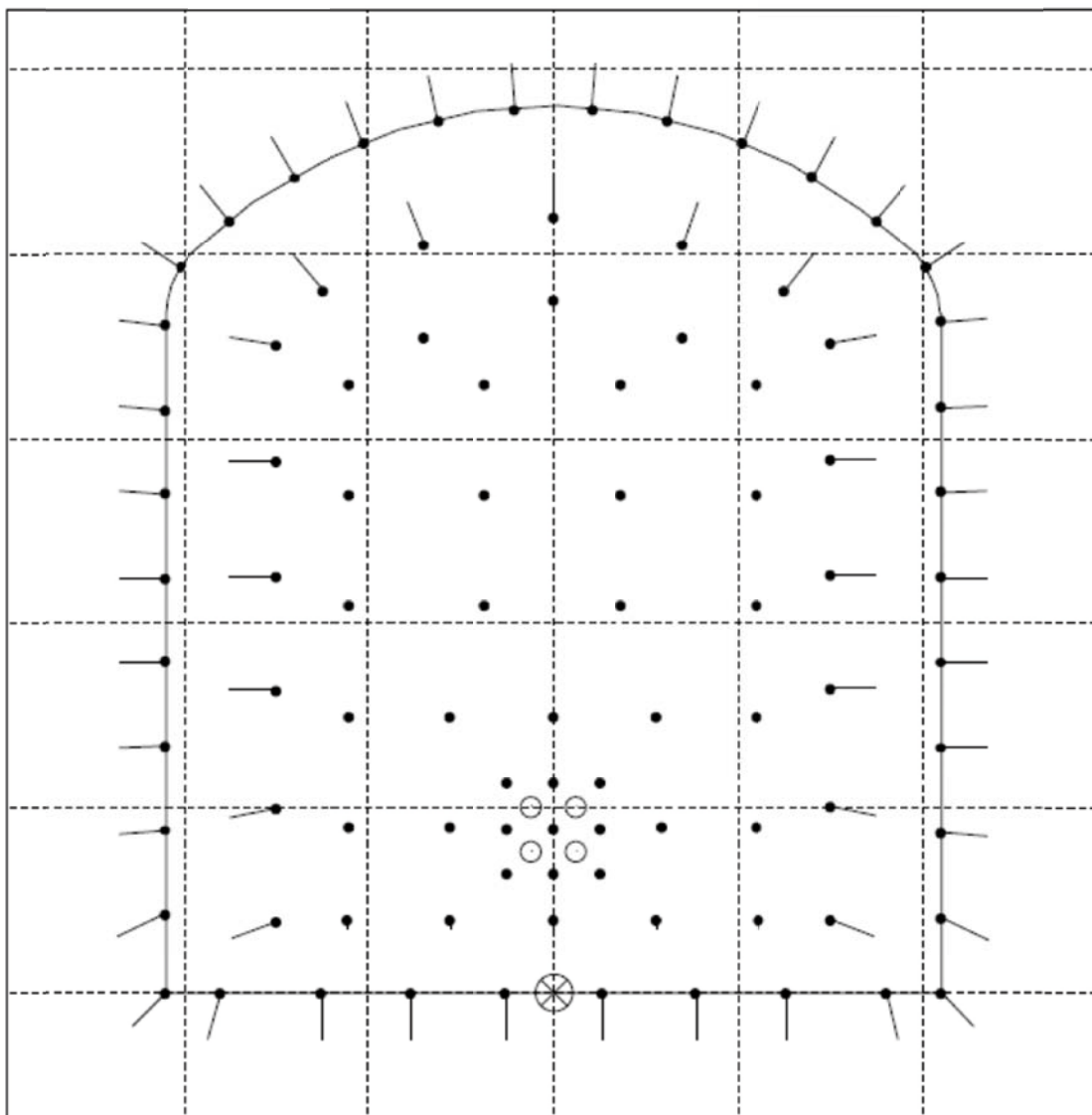
Berguttag\_6\_C.dpc

Projektinformation

ArbetsplTASS  
 Front: TASS 1  
 Datum: 2007-10-31  
 Plan: L R Harefjord  
 Anm: Bergsäker AB

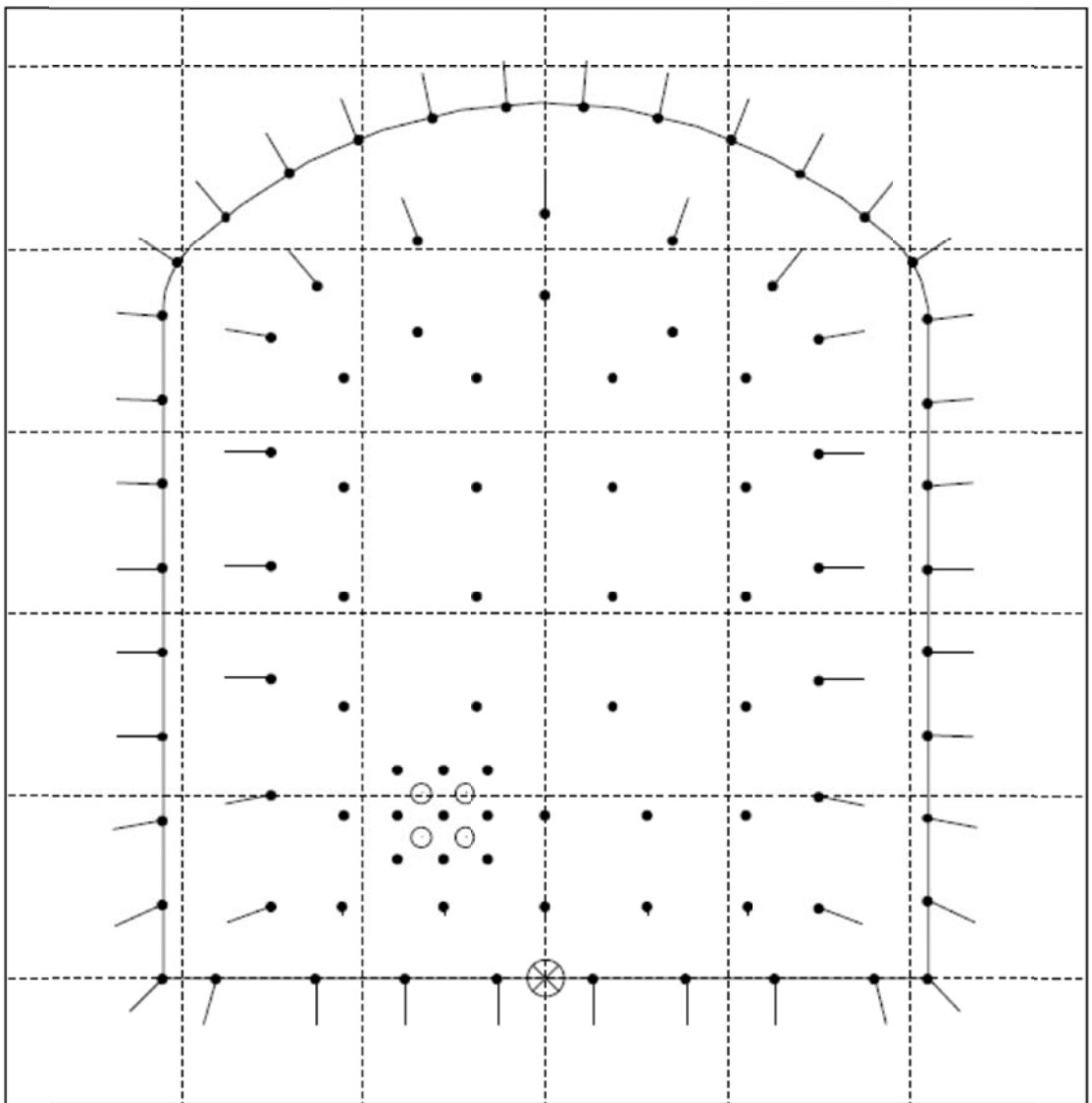
Salvdata

Tvärsnitt: 18,9 m<sup>2</sup>  
 Håldjup: 4,6 m  
 Håldiameter: 48,0 mm  
 Totalt laddade hål: 93  
 Oladdade hål: 4  
 Skala: 1 : 30  
 Borrhållsskala: 1 : 1  
 Avstånd rutnät: 1,0 m



<b>Atlas Copco</b>	<b>Borrplan</b>	01/08/10 09:21:09 Berguttag_6_L.dpc
--------------------	-----------------	--

Projektinformation	Salvdata
ArbetsplTASS	Tvärsnitt: 18,9 m <sup>2</sup>
Front: TASS 1	Håldjup: 4,6 m
Datum: 2007-10-31	Håldiameter: 48,0 mm
Planl: L R Hareford	Totalt laddade hål: 92
Anm: Bergsäker AB	Oladdade hål: 4
	Skala: 1 : 30
	Borrhålsskala: 1 : 1
	Avstånd rutnät: 1,0 m



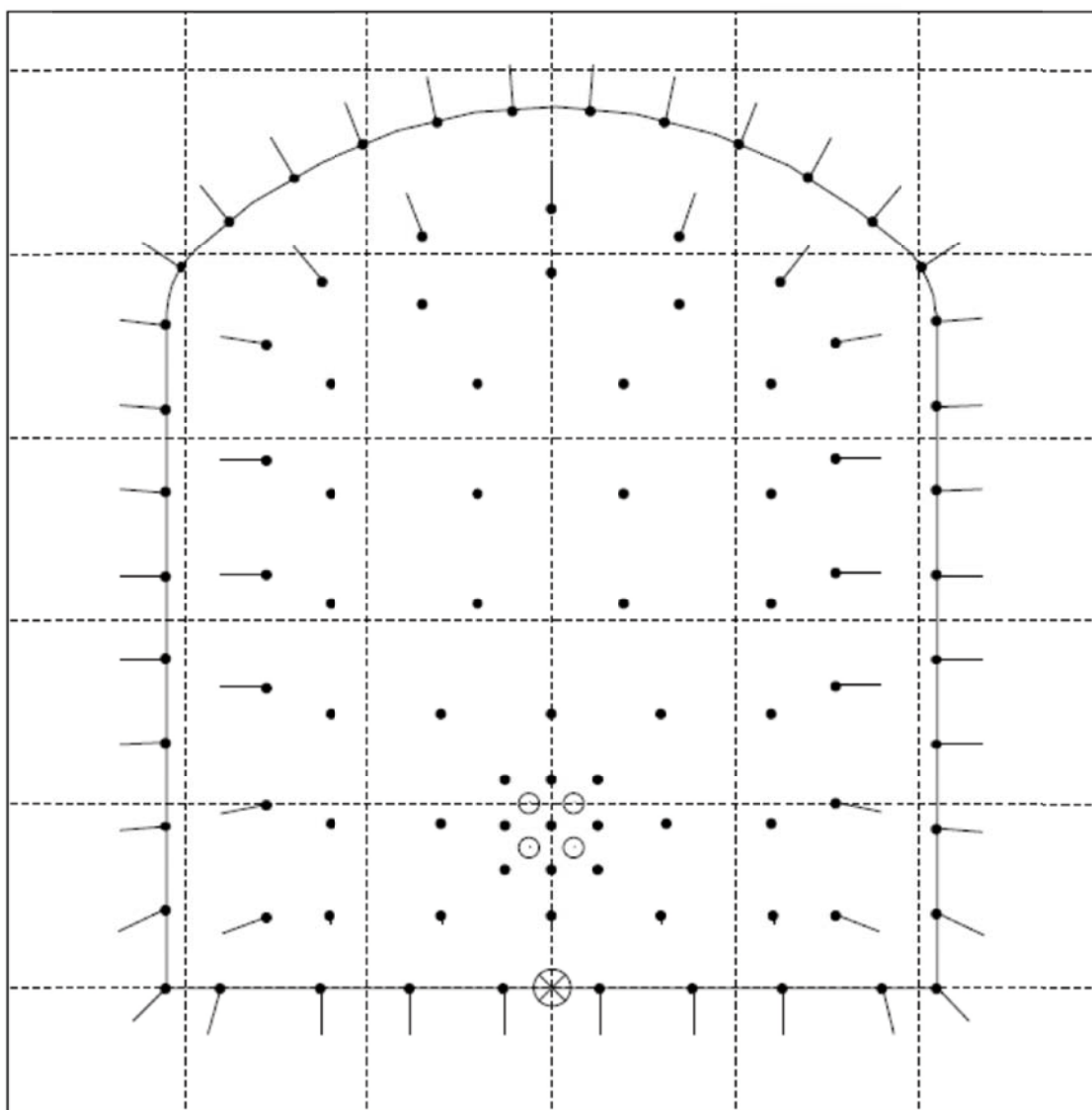


# Borrplan

01/08/10 09:18:31  
Berguttag\_6\_Crev.dpc

Projektinformation	
Arbetspl	TASS
Front:	TASS 1
Datum:	2007-10-31
Planl:	L R Hareford
Anm:	Bergsäker AB

Salvdata	
Tvärsnitt:	18,9 m <sup>2</sup>
Håldjup:	4,6 m
Håldiameter:	48,0 mm
Totalt laddade hål:	93
Oladdade hål:	4
Skala:	1 : 30
Borrhålskala:	1 : 1
Avstånd rutnät:	1,0 m





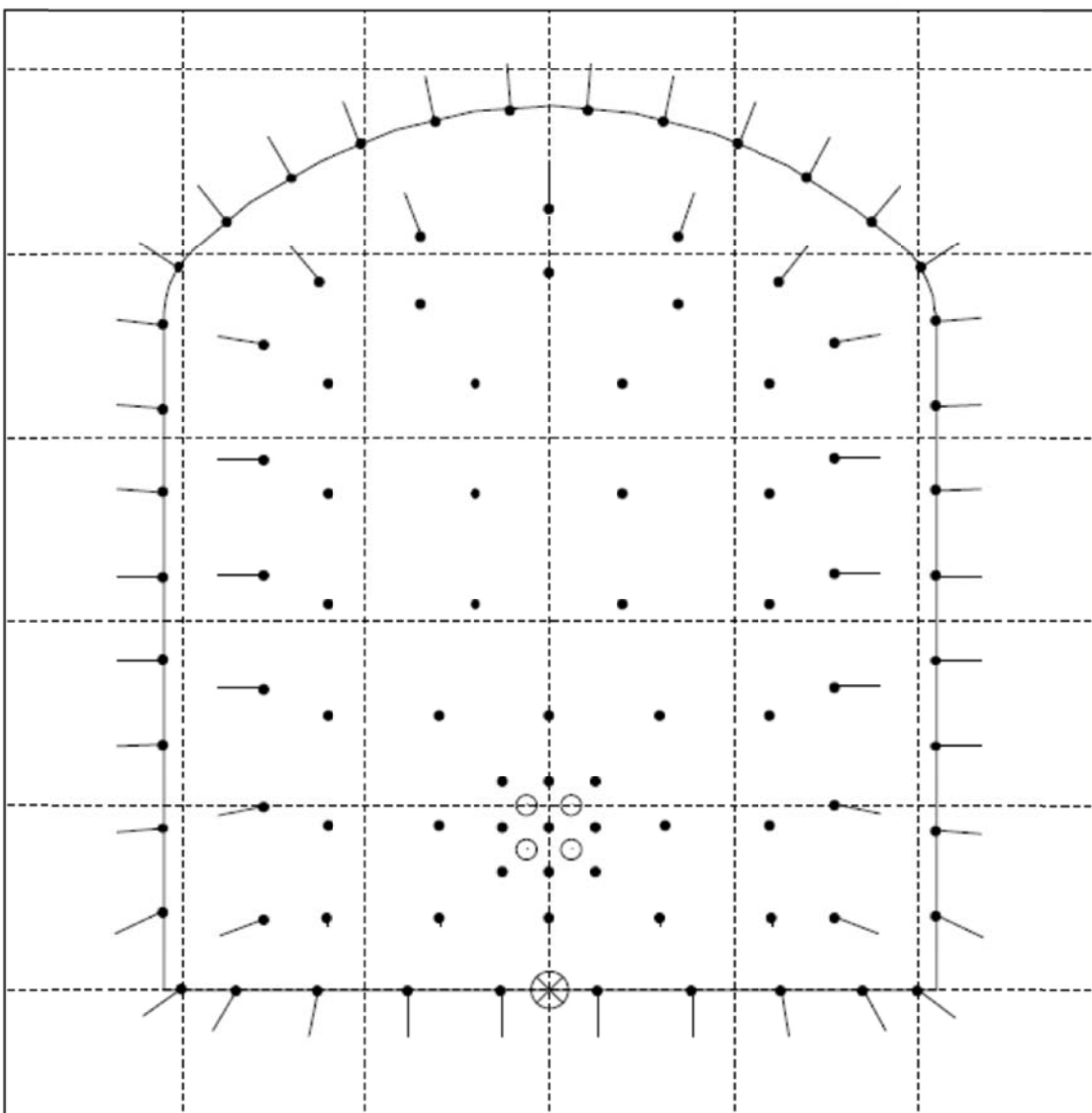
# Borrplan

01/08/10 09:19:46

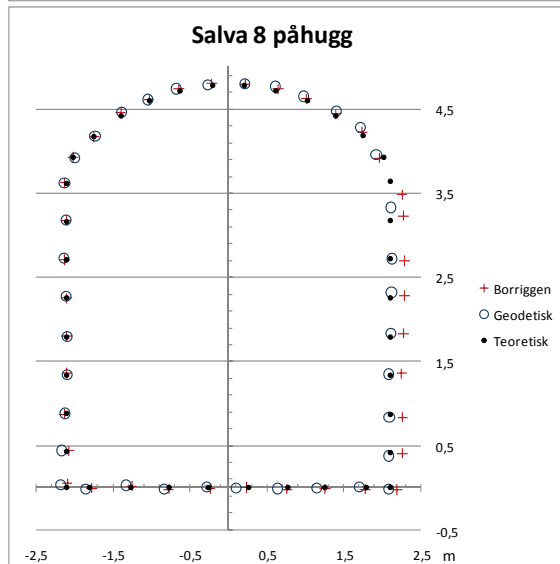
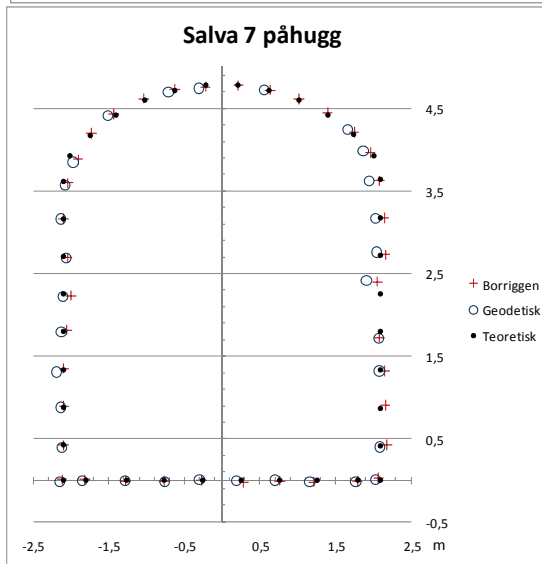
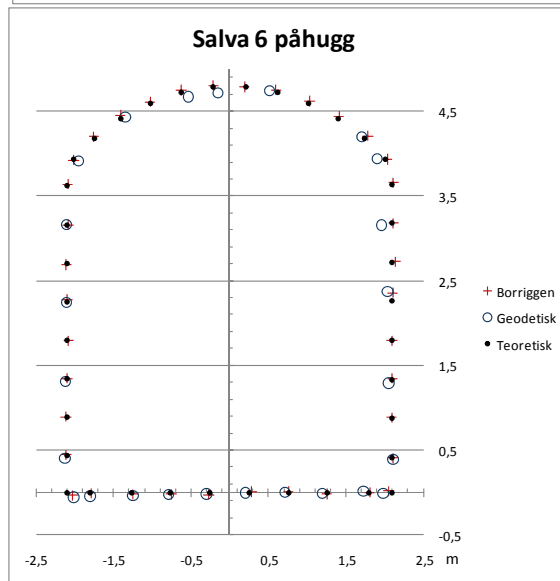
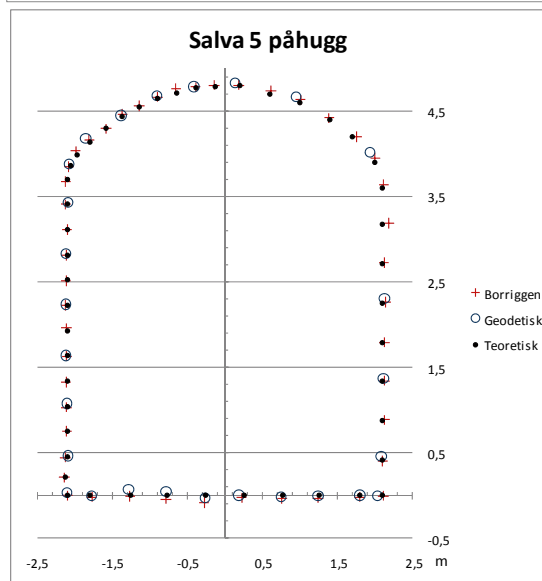
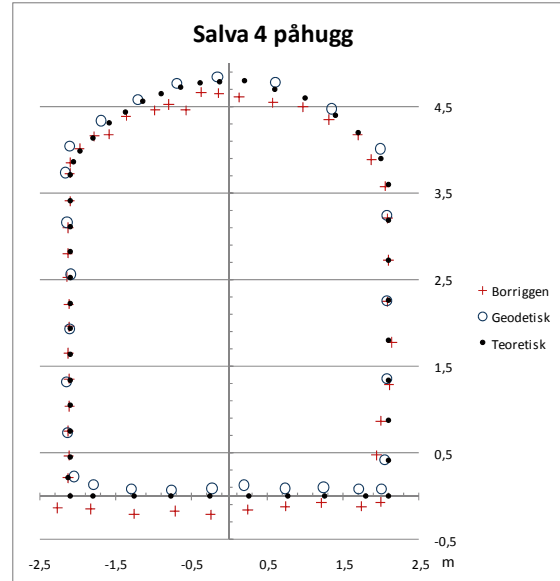
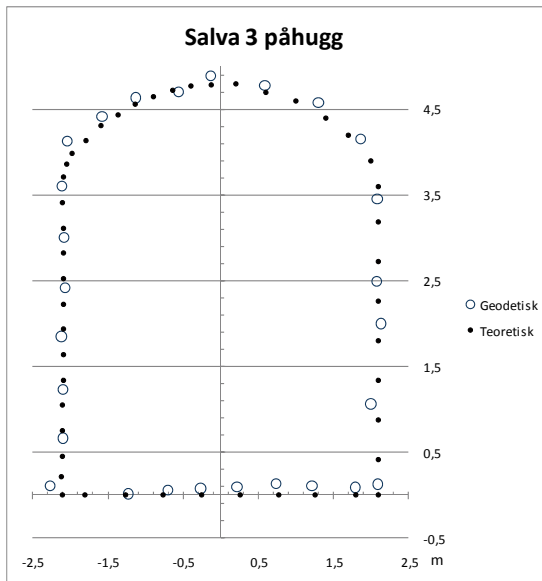
Berguttag\_6\_CrewCorner.dpc

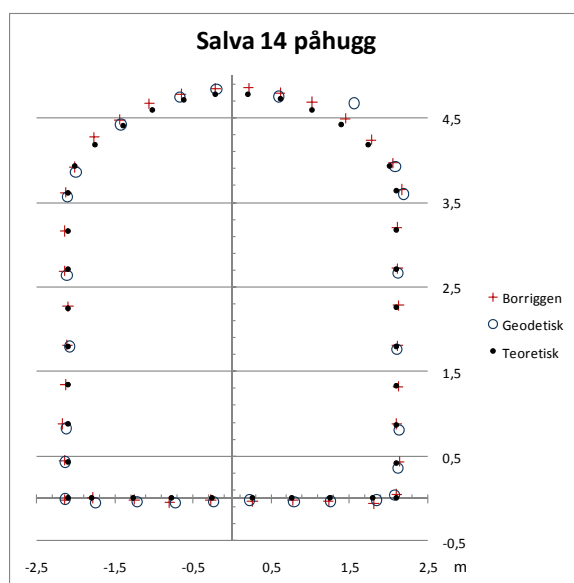
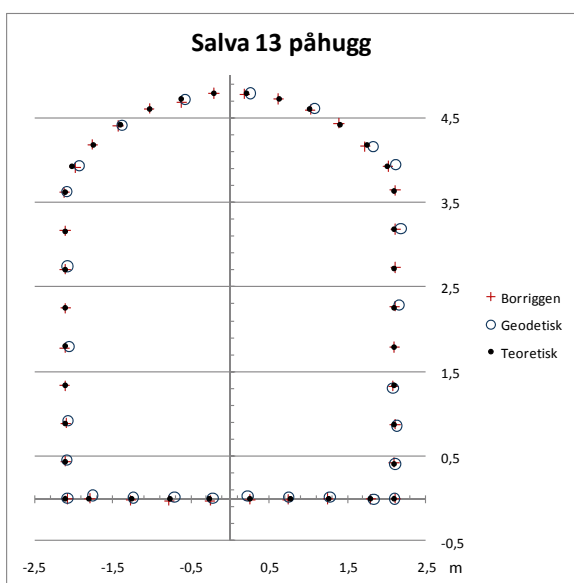
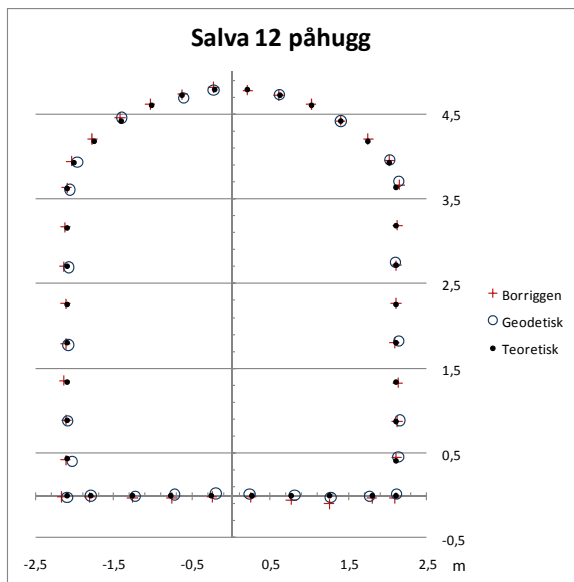
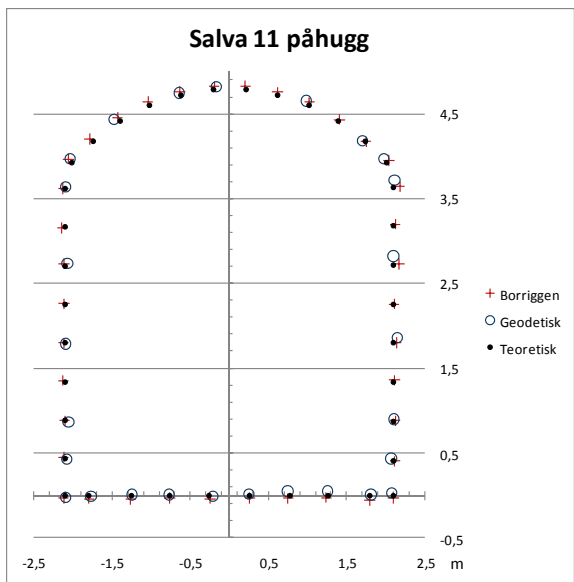
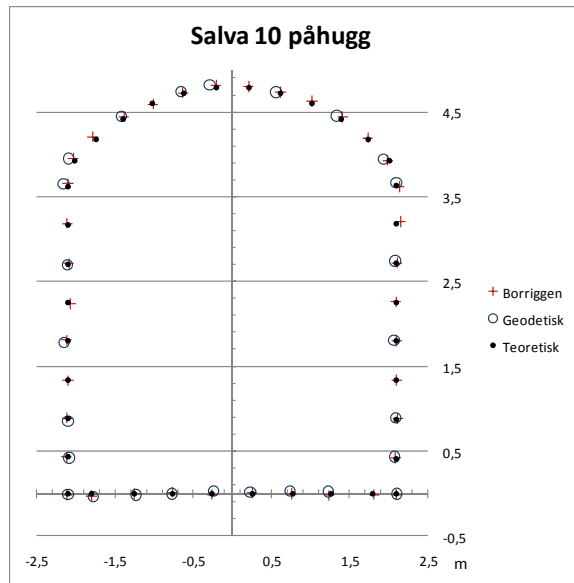
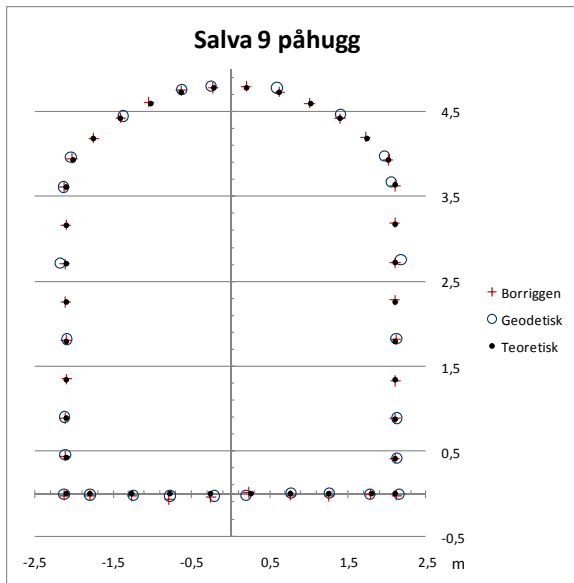
Projektinformation	
Arbetspl	TASS
Front:	TASS 1
Datum:	2007-10-31
Planl:	L R Harefjord
Anm:	Bergsäker AB

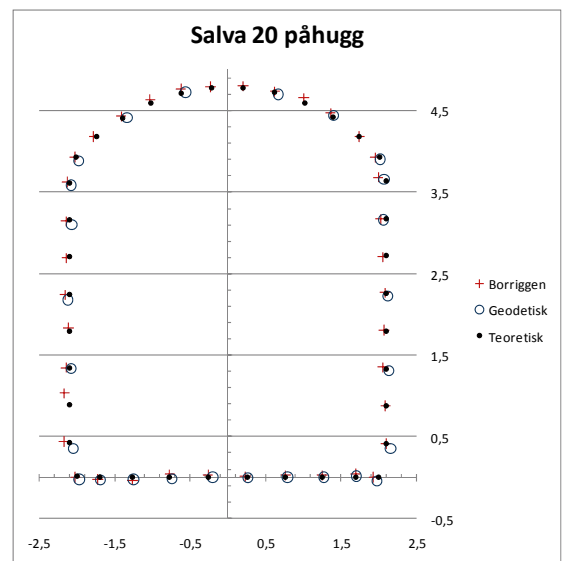
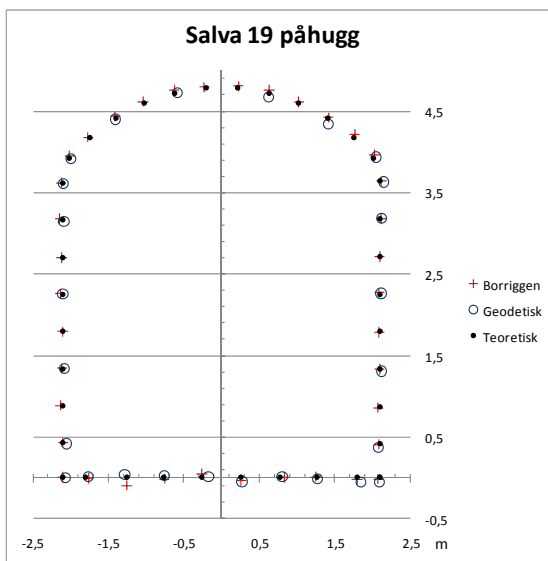
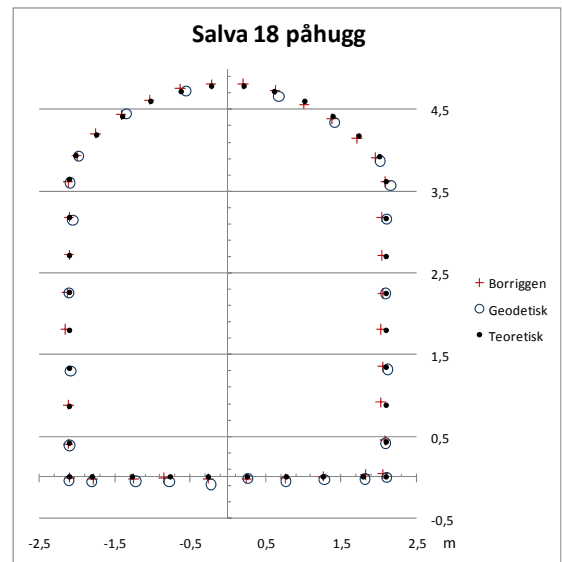
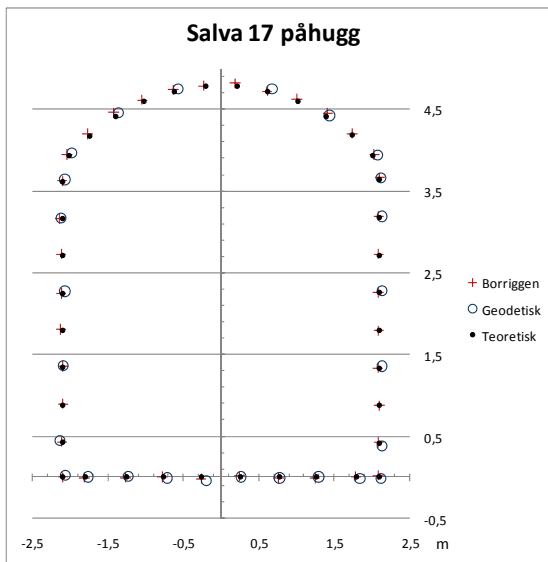
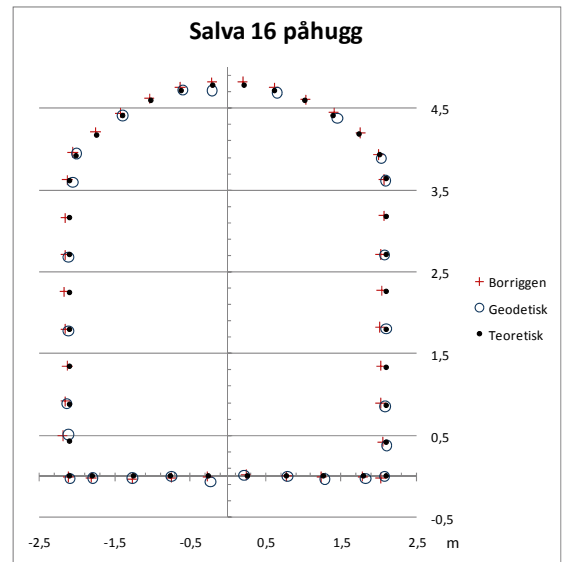
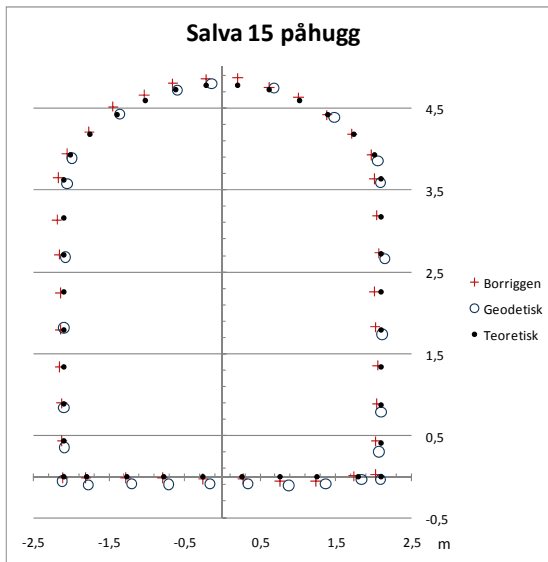
Salvdata	
Tvärsnitt:	18,8 m <sup>2</sup>
Håldjup:	4,6 m
Håldiameter:	48,0 mm
Totalt laddade hål:	93
Oladdade hål:	4
Skala:	1 : 30
Borrhåisskala:	1 : 1
Avstånd rutnät:	1,0 m



Borrhålsplacering påhugg

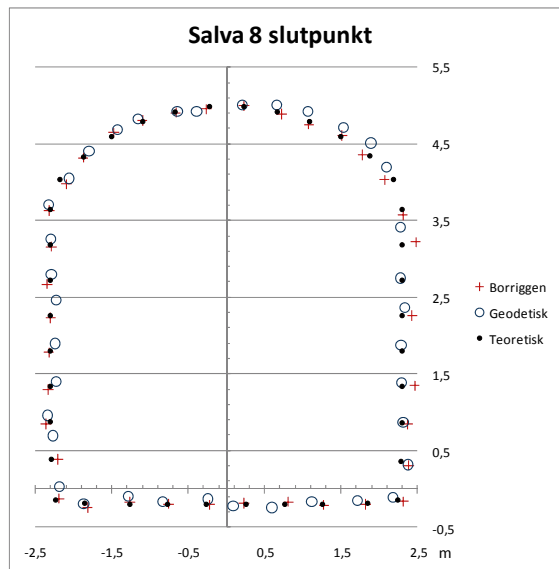
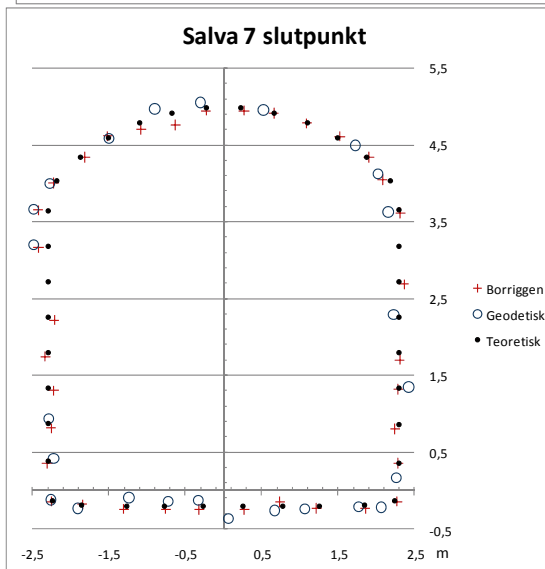
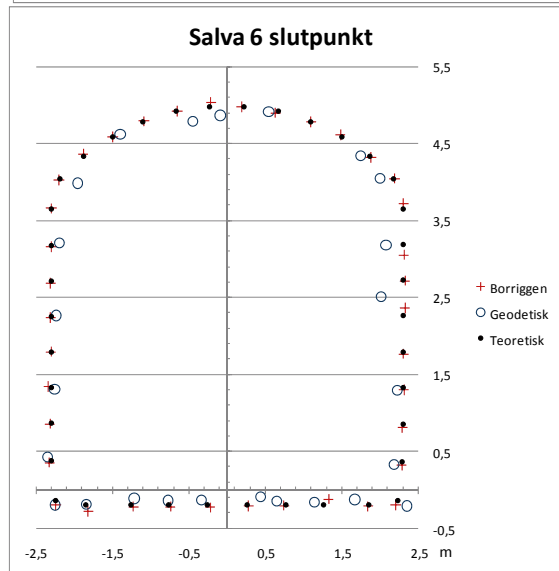
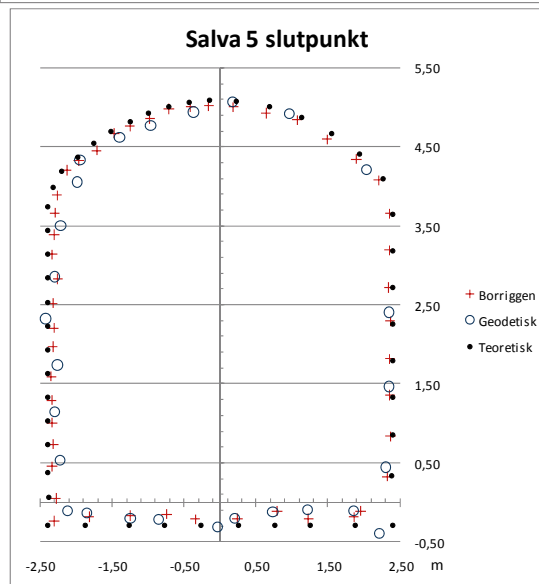
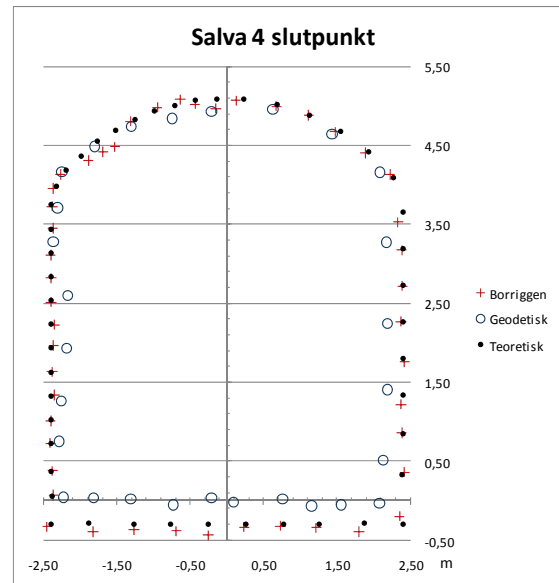
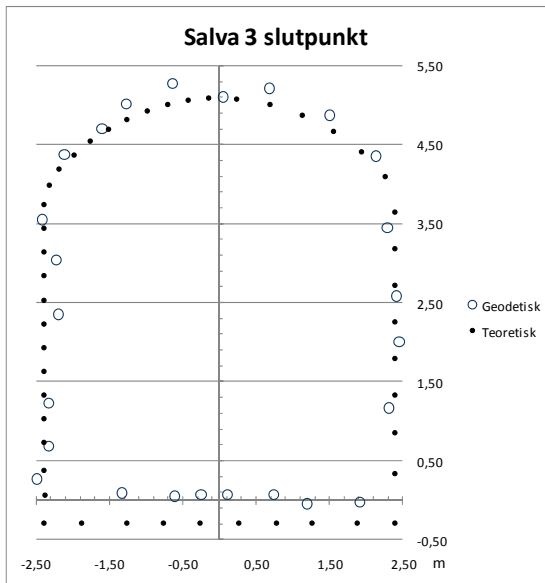


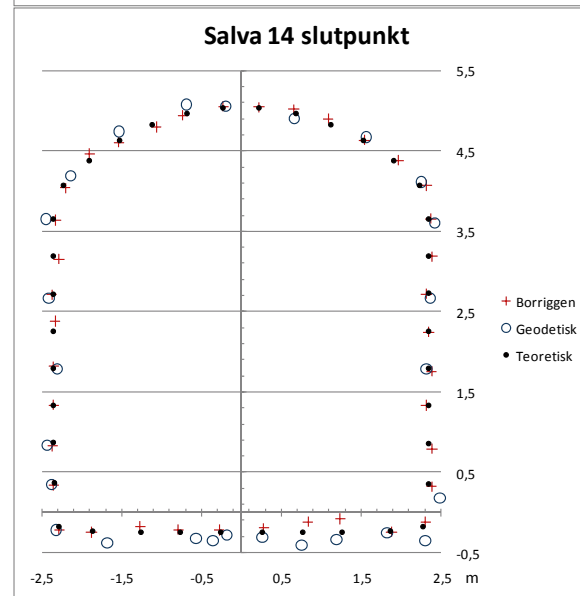
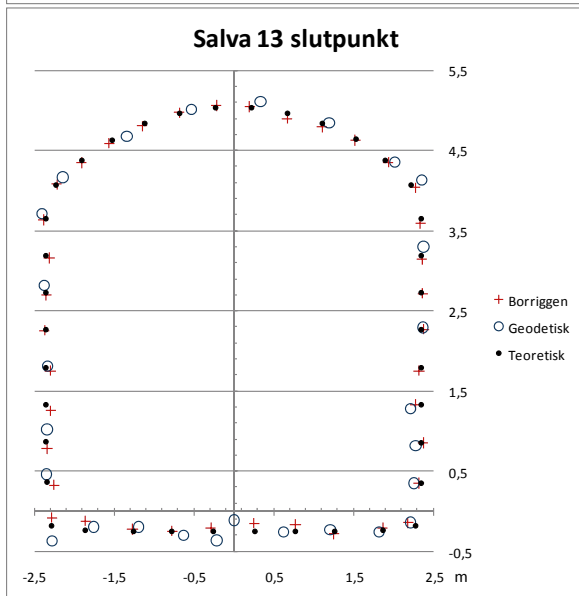
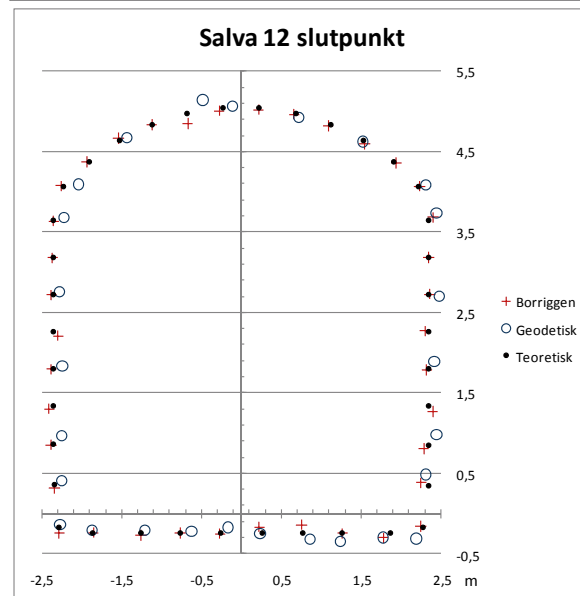
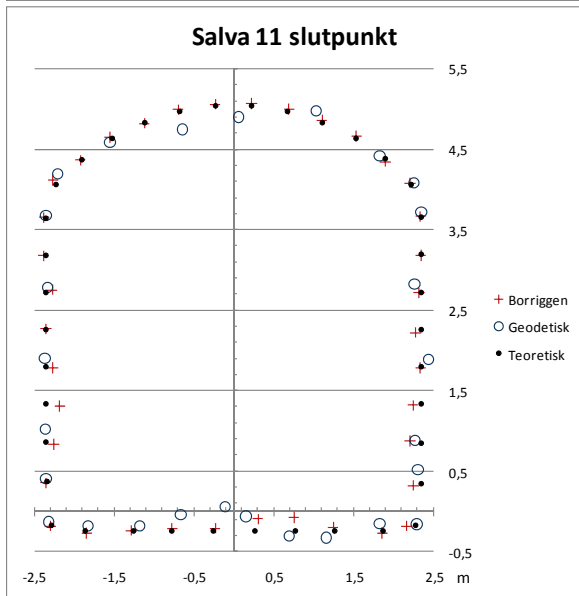
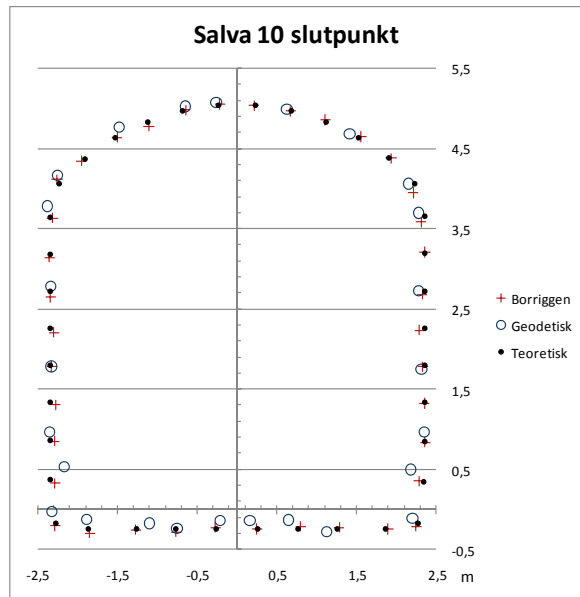
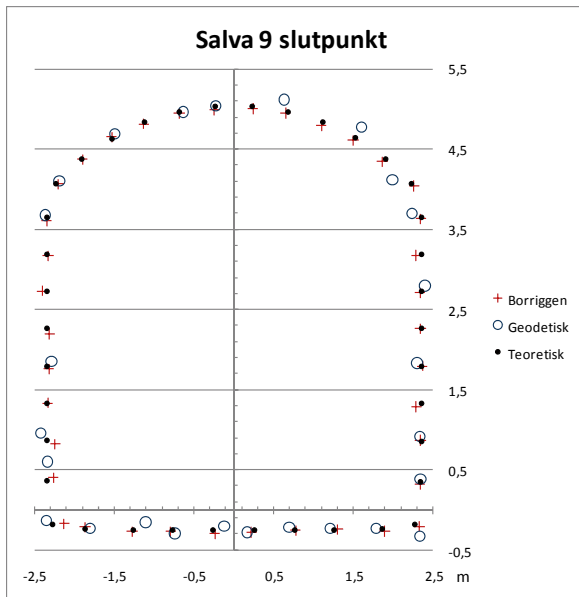


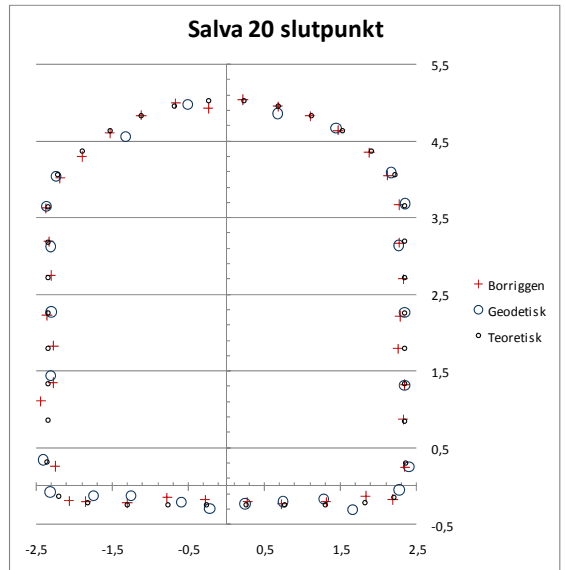
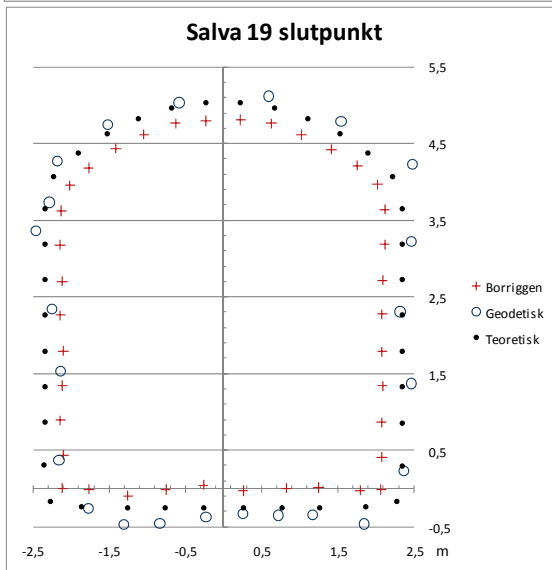
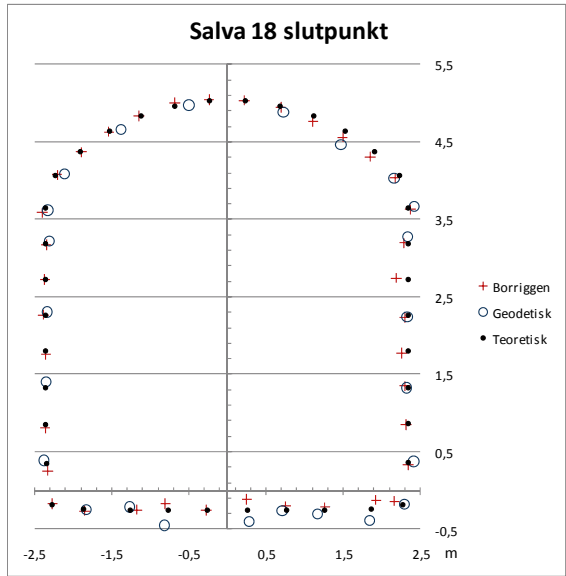
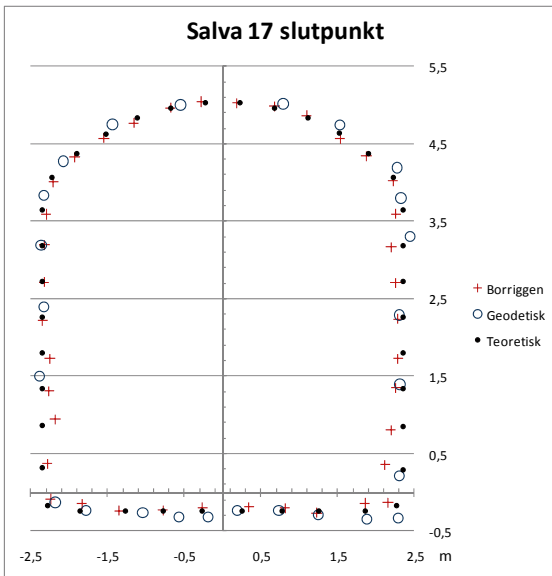
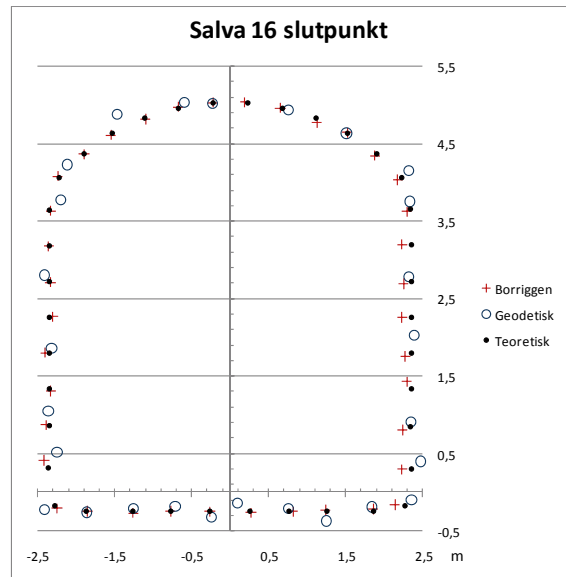
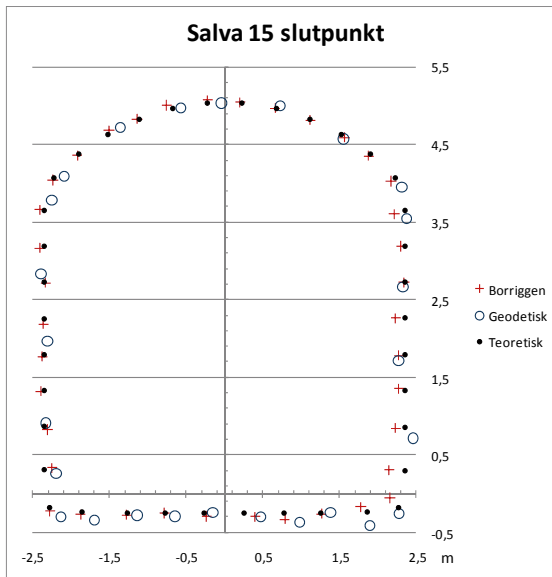




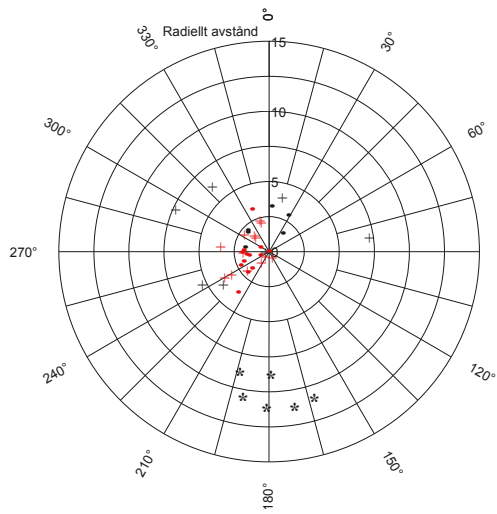
Borrhålsplacering slutpunkter





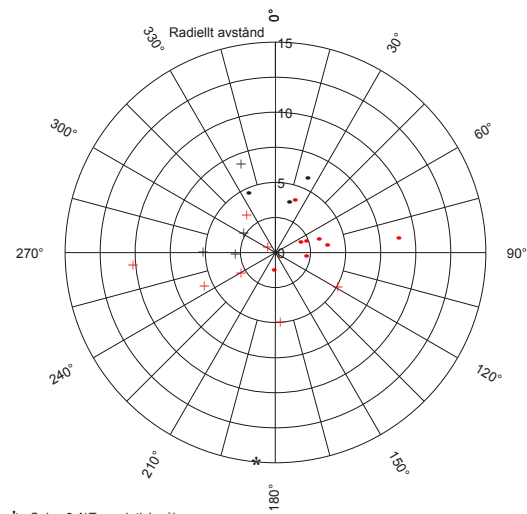


## Träffbildsdiagram påhugg och slutpunkt Bergguttag 2



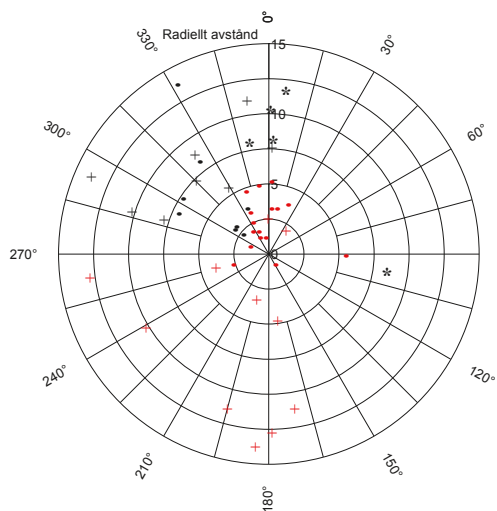
- \* Salva 3 VV geodetisk påhugg
- + Salva 4 VV geodetisk påhugg
- Salva 5 VV geodetisk påhugg
- + Salva 4 VV påhugg borrfoggen
- Salva 5 VV påhugg borrfoggen

Bergguttag 2  
Vänster vägg



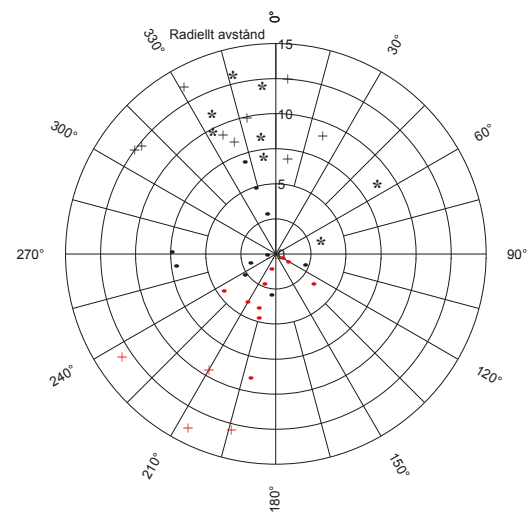
- \* Salva 3 HV geodetisk påhugg
- + Salva 4 HV geodetisk påhugg
- Salva 5 HV geodetisk påhugg
- + Salva 4 HV påhugg borrfoggen
- Salva 5 HV påhugg borrfoggen

Bergguttag 2  
Höger vägg



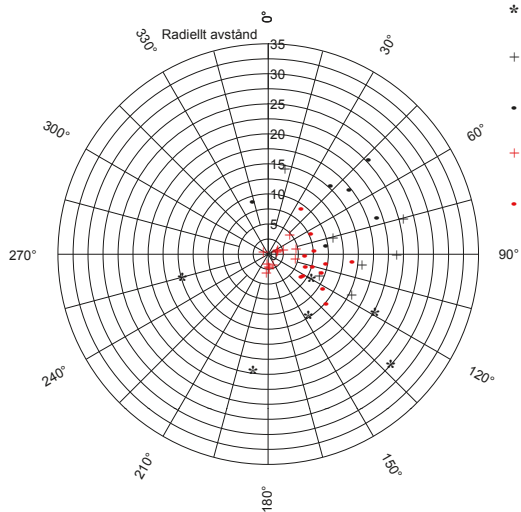
- \* Salva 3 AIT geodetisk påhugg
- + Salva 4 AIT geodetisk påhugg
- Salva 5 AIT geodetisk påhugg
- + Salva 4 AIT påhugg borrfoggen
- Salva 5 AIT påhugg borrfoggen

Bergguttag 2  
Anfang Tak



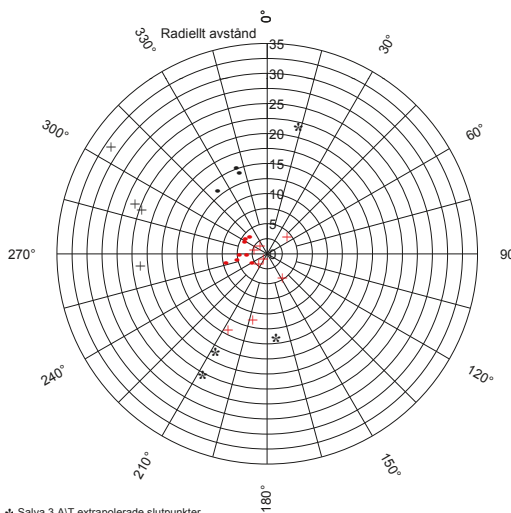
- \* Salva 3 sula geodetisk påhugg
- + Salva 4 sula geodetisk påhugg
- Salva 5 sula geodetisk påhugg
- + Salva 4 sula påhugg borrfoggen
- Salva 5 sula påhugg borrfoggen

Bergguttag 2  
Sula



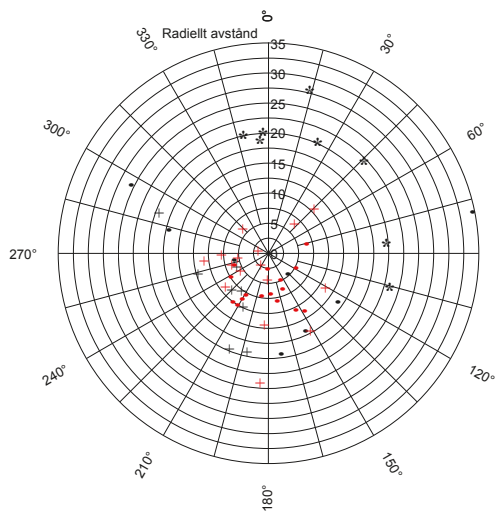
- \* Salva 3 VV extrapolerade slutpunkter
- + Salva 4 VV extrapolerade slutpunkter
- Salva 5 VV extrapolerade slutpunkter
- + Salva 4 VV slutpunkter borrioggen
- Salva 5 VV slutpunkter borrioggen

**Bergttag 2  
Vänster vägg**



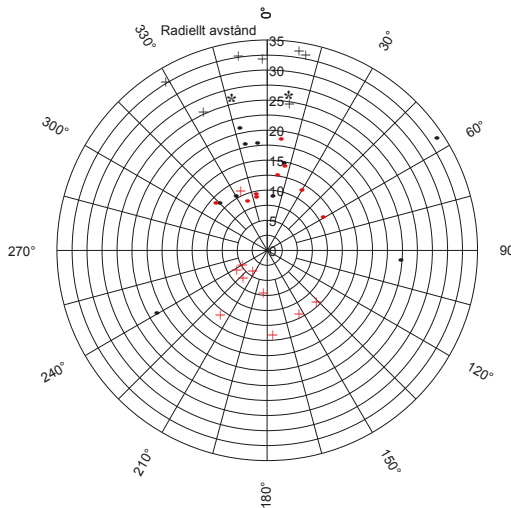
- \* Salva 3 HV extrapolerade slutpunkter
- + Salva 4 HV extrapolerade slutpunkter
- Salva 5 HV extrapolerade slutpunkter
- + Salva 4 HV slutpunkter borrioggen
- Salva 5 HV slutpunkter borrioggen

**Bergttag 2  
Höger vägg**



- \* Salva 3 AIT extrapolerade slutpunkter
- + Salva 4 AIT extrapolerade slutpunkter
- Salva 5 AIT extrapolerade slutpunkter
- + Salva 4 AIT slutpunkter borrioggen
- Salva 5 AIT slutpunkter borrioggen

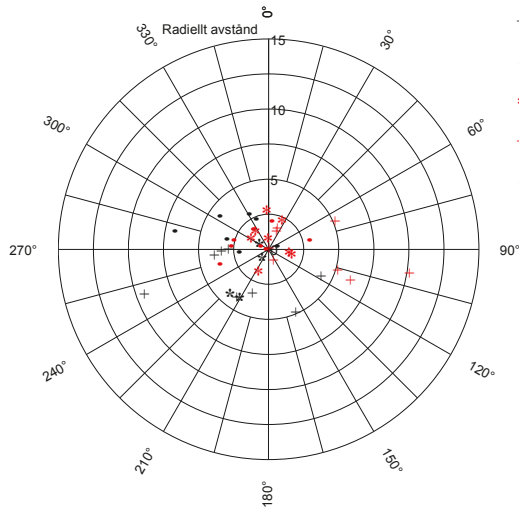
**Bergttag 2  
Anfang Tak**



- \* Salva 3 sula extrapolerade slutpunkter
- + Salva 4 sula extrapolerade slutpunkter
- Salva 5 sula extrapolerade slutpunkter
- + Salva 4 sula slutpunkter borrioggen
- Salva 5 sula slutpunkter borrioggen

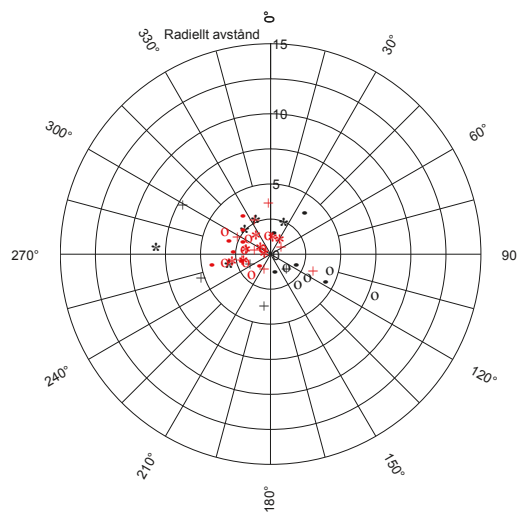
**Bergttag 2  
Sula**

## Träffbildsdiagram påhugg Berguttag 3–6



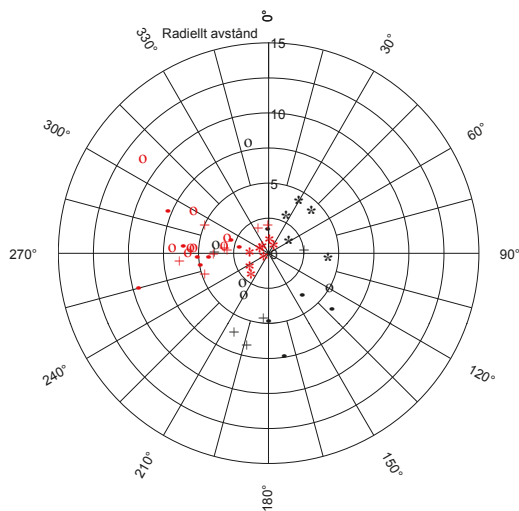
- \* Salva 6 VV geodetisk påhugg
- + Salva 7 VV geodetisk påhugg
- Salva 8 VV geodetisk påhugg
- \* Salva 6 VV påhugg borrfoggen
- + Salva 7 VV påhugg borrfoggen
- Salva 8 VV påhugg borrfoggen

Berguttag 3  
Vänster vägg



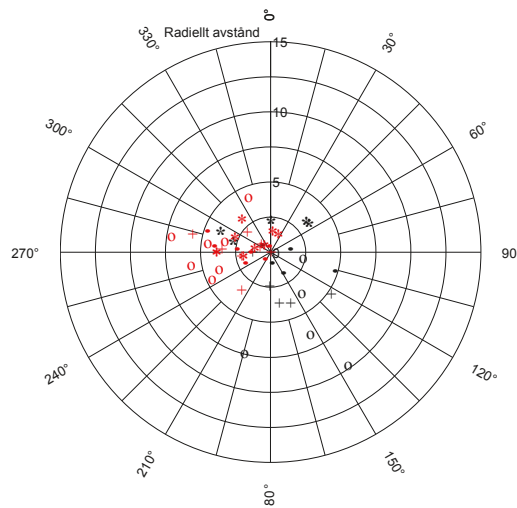
- \* Salva 9 VV geodetisk påhugg
- + Salva 10 VV geodetisk påhugg
- Salva 11 VV geodetisk påhugg
- 0 Salva 12 VV geodetisk påhugg
- \* Salva 9 VV påhugg borrfoggen
- + Salva 10 VV påhugg borrfoggen
- Salva 11 VV påhugg borrfoggen
- 0 Salva 12 VV påhugg borrfoggen

Berguttag 4  
Vänster vägg



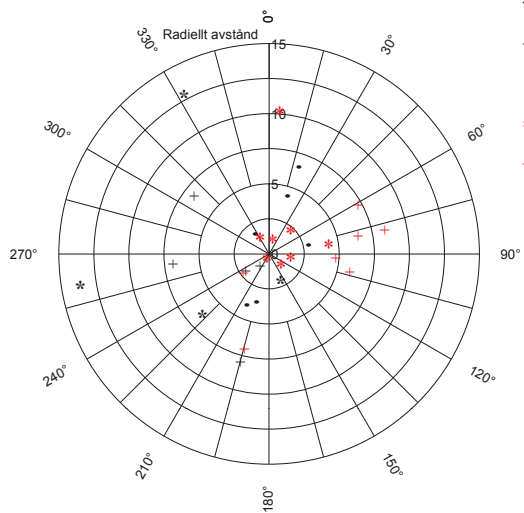
- \* Salva 13 VV geodetisk påhugg
- + Salva 14 VV geodetisk påhugg
- Salva 15 VV geodetisk påhugg
- 0 Salva 16 VV geodetisk påhugg
- \* Salva 13 VV påhugg borrfoggen
- + Salva 14 VV påhugg borrfoggen
- Salva 15 VV påhugg borrfoggen
- 0 Salva 16 VV påhugg borrfoggen

Berguttag 5  
Vänster vägg



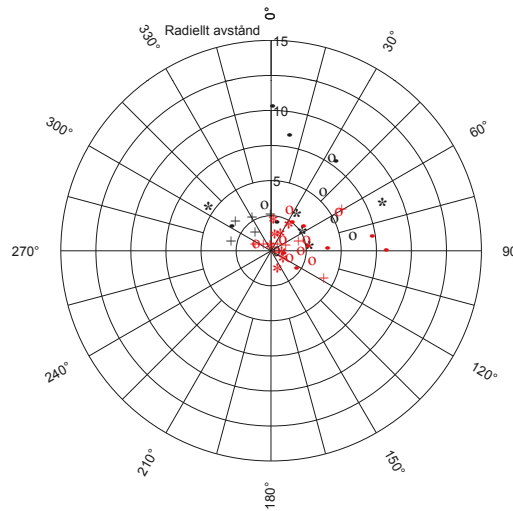
- \* Salva 17 VV geodetisk påhugg
- + Salva 18 VV geodetisk påhugg
- Salva 19 VV geodetisk påhugg
- 0 Salva 20 VV geodetisk påhugg
- \* Salva 17 VV påhugg borrfoggen
- + Salva 18 VV påhugg borrfoggen
- Salva 19 VV påhugg borrfoggen
- 0 Salva 20 VV påhugg borrfoggen

Berguttag 6  
Vänster vägg



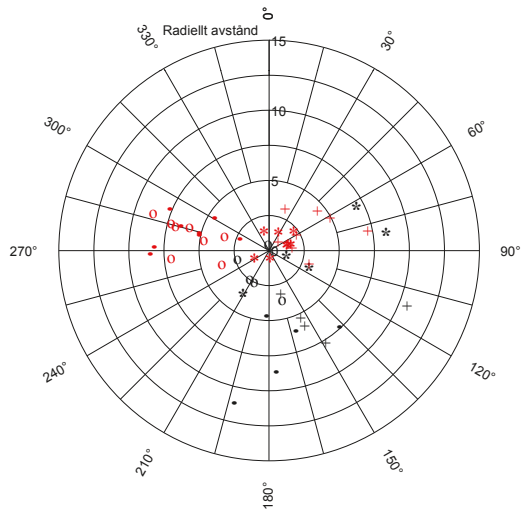
- \* Salva 6 HV geodetisk påhugg
- + Salva 7 HV geodetisk påhugg
- Salva 8 HV geodetisk påhugg
- \* Salva 6 HV påhugg borrfoggen
- + Salva 7 HV påhugg borrfoggen
- Salva 8 HV påhugg borrfoggen

**Bergguttag 3  
Höger vägg**



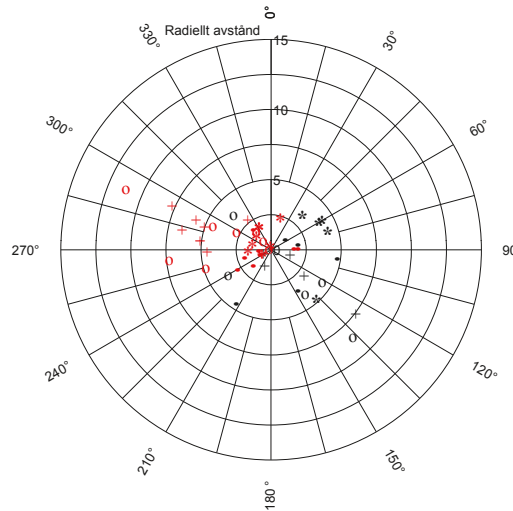
- \* Salva 9 HV geodetisk påhugg
- + Salva 10 HV geodetisk påhugg
- Salva 11 HV geodetisk påhugg
- Salva 12 HV geodetisk påhugg
- \* Salva 9 HV påhugg borrfoggen
- + Salva 10 HV påhugg borrfoggen
- Salva 11 HV påhugg borrfoggen
- Salva 12 HV påhugg borrfoggen

**Bergguttag 4  
Höger vägg**



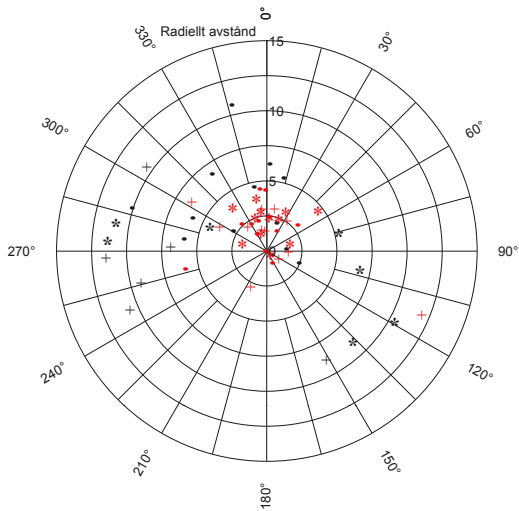
- \* Salva 13 HV geodetisk påhugg
- + Salva 14 HV geodetisk påhugg
- Salva 15 HV geodetisk påhugg
- Salva 16 HV geodetisk påhugg
- \* Salva 13 HV påhugg borrfoggen
- + Salva 14 HV påhugg borrfoggen
- Salva 15 HV påhugg borrfoggen
- Salva 16 HV påhugg borrfoggen

**Bergguttag 5  
Höger vägg**



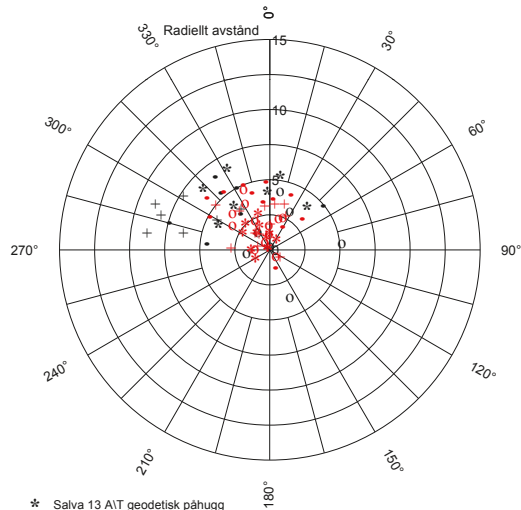
- \* Salva 17 HV geodetisk påhugg
- + Salva 18 HV geodetisk påhugg
- Salva 19 HV geodetisk påhugg
- Salva 20 HV geodetisk påhugg
- \* Salva 17 HV påhugg borrfoggen
- + Salva 18 HV påhugg borrfoggen
- Salva 19 HV påhugg borrfoggen
- Salva 20 HV påhugg borrfoggen

**Bergguttag 6  
Höger vägg**



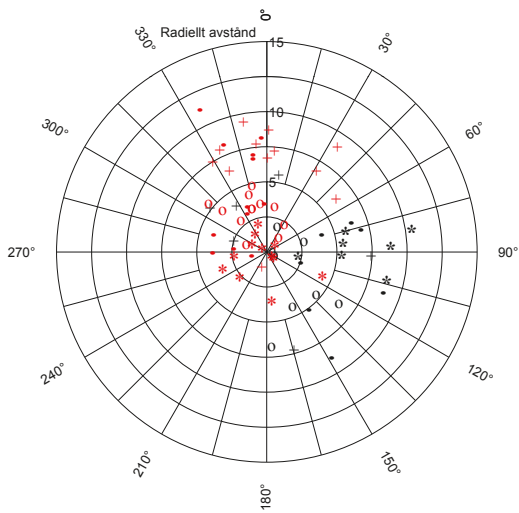
- \* Salva 6 AIT geodetisk p hugg
- + Salva 7 AIT geodetisk p hugg
- Salva 8 AIT geodetisk p hugg
- \* Salva 6 AIT p hugg borrlaggen
- + Salva 7 AIT p hugg borrlaggen
- Salva 8 AIT p hugg borrlaggen

**Berguttag 3  
Anfang Tak**



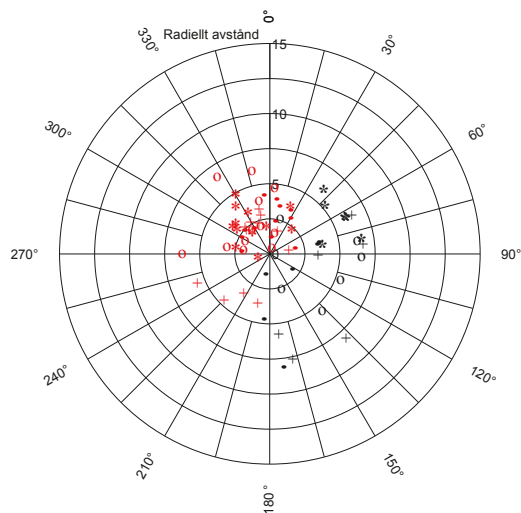
- \* Salva 9 AIT geodetisk p hugg
- + Salva 10 AIT geodetisk p hugg
- Salva 11 AIT geodetisk p hugg
- o Salva 12 AIT geodetisk p hugg
- \* Salva 9 AIT p hugg borrlaggen
- + Salva 10 AIT p hugg borrlaggen
- Salva 11 AIT p hugg borrlaggen
- o Salva 12 AIT p hugg borrlaggen

**Berguttag 4  
Anfang Tak**



- \* Salva 13 AIT geodetisk p hugg
- + Salva 14 AIT geodetisk p hugg
- Salva 15 AIT geodetisk p hugg
- o Salva 16 AIT geodetisk p hugg
- \* Salva 13 AIT p hugg borrlaggen
- + Salva 14 AIT p hugg borrlaggen
- Salva 15 AIT p hugg borrlaggen
- o Salva 16 AIT p hugg borrlaggen

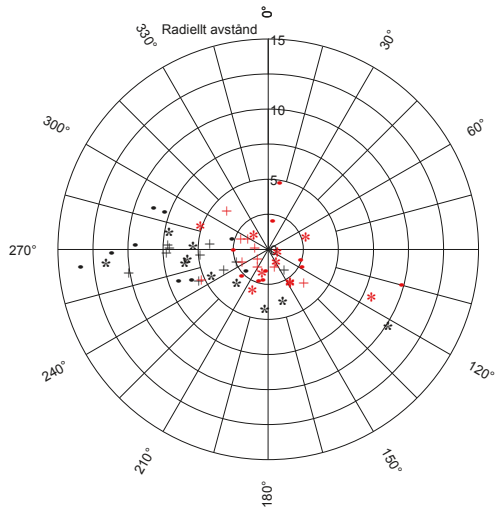
**Berguttag 5  
Anfang Tak**



- \* Salva 17 AIT geodetisk p hugg
- + Salva 18 AIT geodetisk p hugg
- Salva 19 AIT geodetisk p hugg
- o Salva 20 AIT geodetisk p hugg
- \* Salva 17 AIT p hugg borrlaggen
- + Salva 18 AIT p hugg borrlaggen
- Salva 19 AIT p hugg borrlaggen
- o Salva 20 AIT p hugg borrlaggen

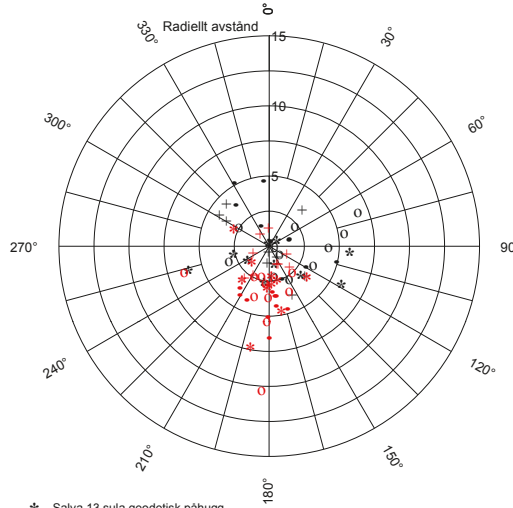
**Berguttag 6  
Anfang Tak**





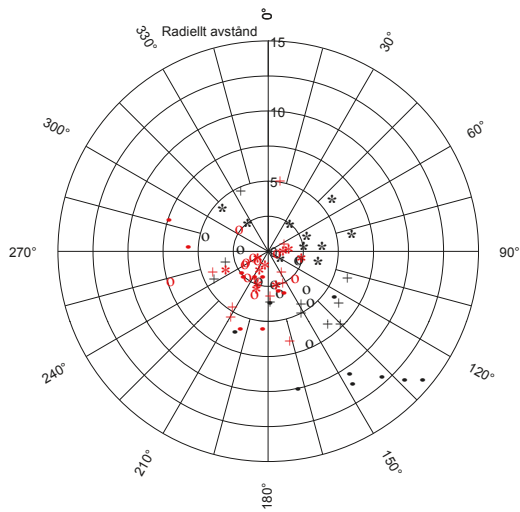
- \* Salva 6 sula geodetisk páhugg
- + Salva 7 sula geodetisk páhugg
- Salva 8 sula geodetisk páhugg
- \* Salva 6 sula páhugg borrfoggen
- + Salva 7 sula páhugg borrfoggen
- Salva 8 sula páhugg borrfoggen

### Bergguttag 3 Sula



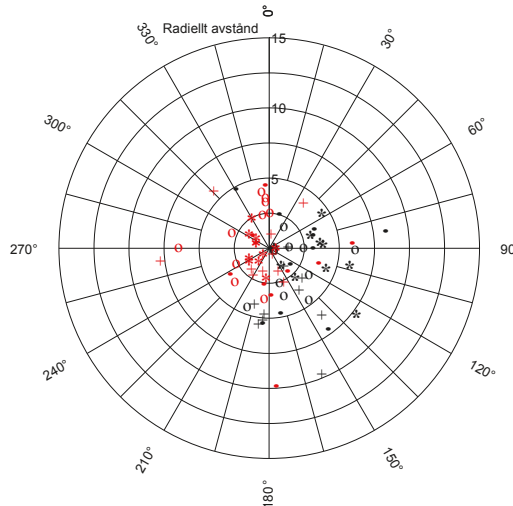
- \* Salva 9 sula geodetisk páhugg
- + Salva 10 sula geodetisk páhugg
- Salva 11 sula geodetisk páhugg
- Salva 12 sula geodetisk páhugg
- \* Salva 9 sula páhugg borrfoggen
- + Salva 10 sula páhugg borrfoggen
- Salva 11 sula páhugg borrfoggen
- Salva 12 sula páhugg borrfoggen

### Bergguttag 4 Sula



- \* Salva 13 sula geodetisk páhugg
- + Salva 14 sula geodetisk páhugg
- Salva 15 sula geodetisk páhugg
- Salva 16 sula geodetisk páhugg
- \* Salva 13 sula páhugg borrfoggen
- + Salva 14 sula páhugg borrfoggen
- Salva 15 sula páhugg borrfoggen
- Salva 16 sula páhugg borrfoggen

### Bergguttag 5 Sula

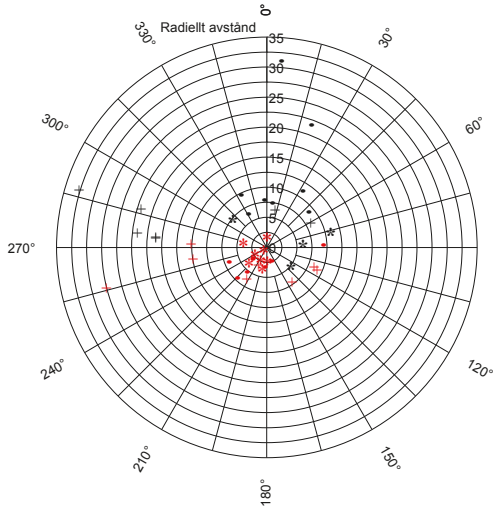


- \* Salva 17 sula geodetisk páhugg
- + Salva 18 sula geodetisk páhugg
- Salva 19 sula geodetisk páhugg
- Salva 20 sula geodetisk páhugg
- \* Salva 17 sula páhugg borrfoggen
- + Salva 18 sula páhugg borrfoggen
- Salva 19 sula páhugg borrfoggen
- Salva 20 sula páhugg borrfoggen

### Bergguttag 6 Sula

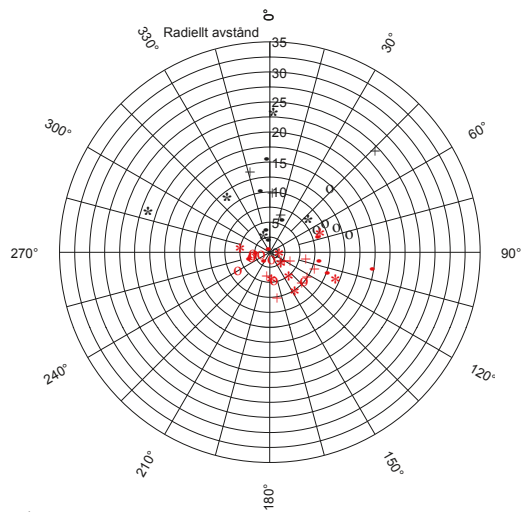
Träffbildsdiagram slutpunkter Bergguttag 3–6

- \* Salva 6 VV extrapolerad slutpunkt
- + Salva 7 VV extrapolerad slutpunkt
- Salva 8 VV extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 6 VV slutpunkt borrlaggen
- + Salva 7 VV slutpunkt borrlaggen
- Salva 8 VV slutpunkt borrlaggen



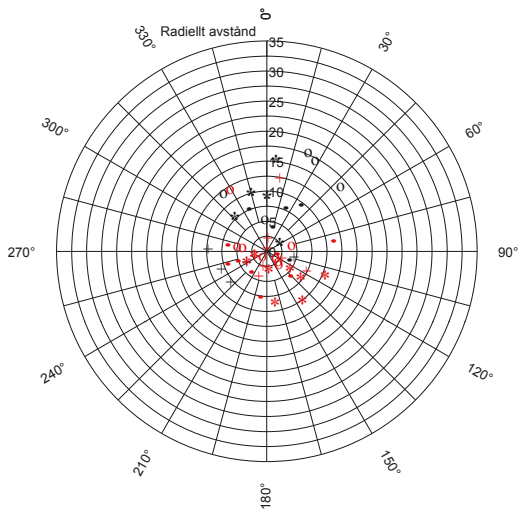
Bergguttag 3  
Vänster vägg

- \* Salva 9 VV extrapolerad slutpunkt
- + Salva 10 VV extrapolerad slutpunkt
- Salva 11 VV extrapolerad slutpunkt
- o Salva 12 VV extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 9 VV slutpunkt borrlaggen
- + Salva 10 VV slutpunkt borrlaggen
- Salva 11 VV slutpunkt borrlaggen
- o Salva 12 VV slutpunkt borrlaggen



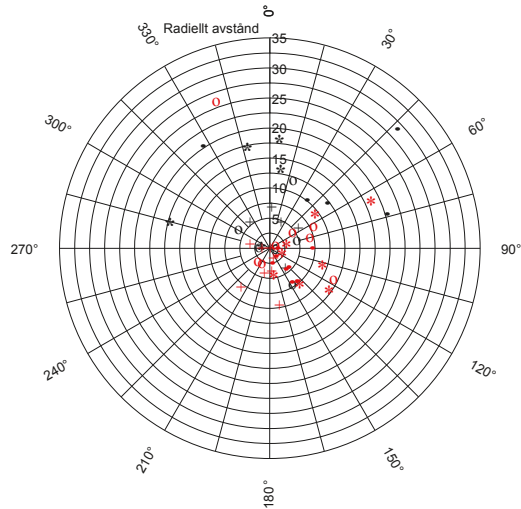
Bergguttag 4  
Vänster vägg

- \* Salva 13 VV extrapolerad slutpunkt
- + Salva 14 VV extrapolerad slutpunkt
- Salva 14 VV extrapolerad slutpunkt
- o Salva 15 VV extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 13 VV slutpunkt borrlaggen
- + Salva 14 VV slutpunkt borrlaggen
- Salva 15 VV slutpunkt borrlaggen
- o Salva 16 VV slutpunkt borrlaggen

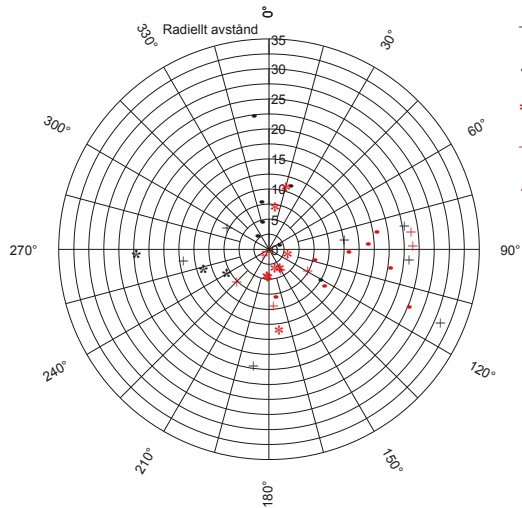


Bergguttag 5  
Vänster vägg

- \* Salva 17 VV extrapolerad slutpunkt
- + Salva 18 VV extrapolerad slutpunkt
- Salva 19 VV extrapolerad slutpunkt
- o Salva 20 VV extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 17 VV slutpunkt borrlaggen
- + Salva 18 VV slutpunkt borrlaggen
- Salva 19 VV slutpunkt borrlaggen
- o Salva 20 VV slutpunkt borrlaggen

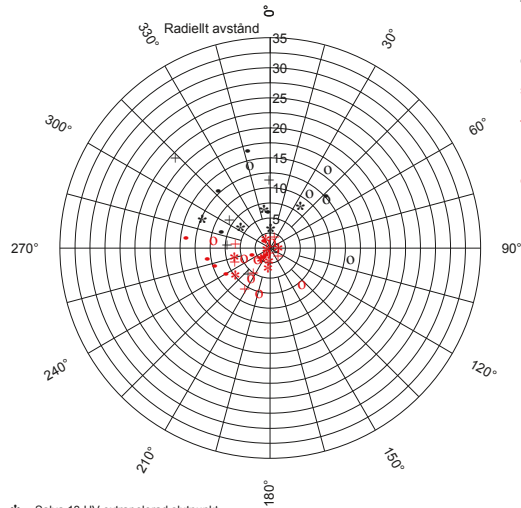


Bergguttag 6  
Vänster vägg



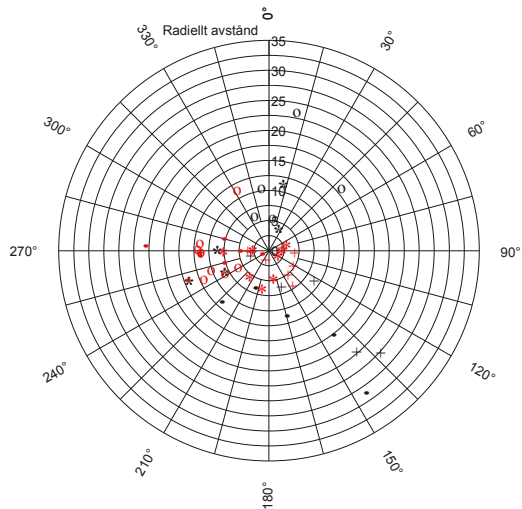
- \* Salva 6 HV extrapolerad slutpunkt
- + Salva 7 HV extrapolerad slutpunkt
- Salva 8 HV extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 6 HV slutpunkt borrlaggen
- + Salva 7 HV slutpunkt borrlaggen
- Salva 8 HV slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 3 Höger vägg



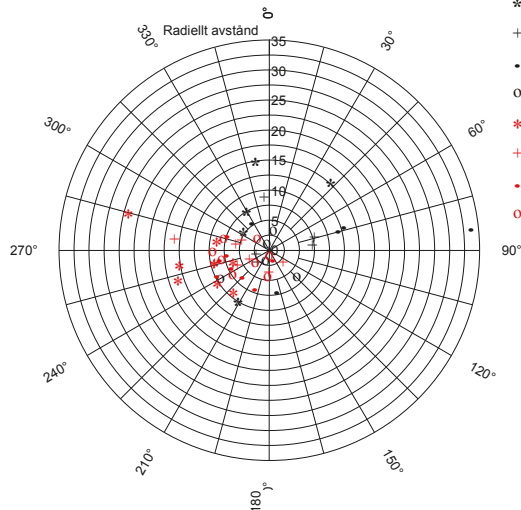
- \* Salva 9 HV extrapolerad slutpunkt
- + Salva 10 HV extrapolerad slutpunkt
- Salva 11 HV extrapolerad slutpunkt
- o Salva 12 HV extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 9 HV slutpunkt borrlaggen
- + Salva 10 HV slutpunkt borrlaggen
- Salva 11 HV slutpunkt borrlaggen
- o Salva 12 HV slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 4 Höger vägg



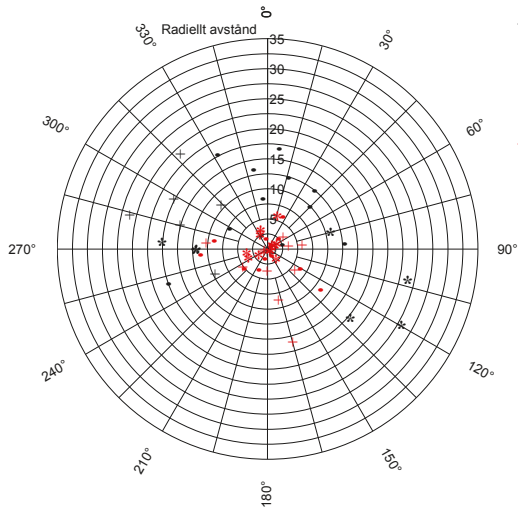
- \* Salva 13 HV extrapolerad slutpunkt
- + Salva 14 HV extrapolerad slutpunkt
- Salva 15 HV extrapolerad slutpunkt
- o Salva 16 HV extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 13 HV slutpunkt borrlaggen
- + Salva 14 HV slutpunkt borrlaggen
- Salva 15 HV slutpunkt borrlaggen
- o Salva 16 HV slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 5 Höger vägg



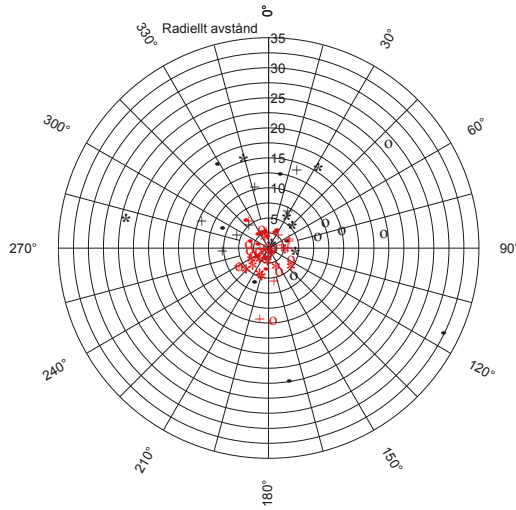
- \* Salva 17 HV extrapolerad slutpunkt
- + Salva 18 HV extrapolerad slutpunkt
- Salva 19 HV extrapolerad slutpunkt
- o Salva 20 HV extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 17 HV slutpunkt borrlaggen
- + Salva 18 HV slutpunkt borrlaggen
- Salva 19 HV slutpunkt borrlaggen
- o Salva 20 HV slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 6 Höger vägg



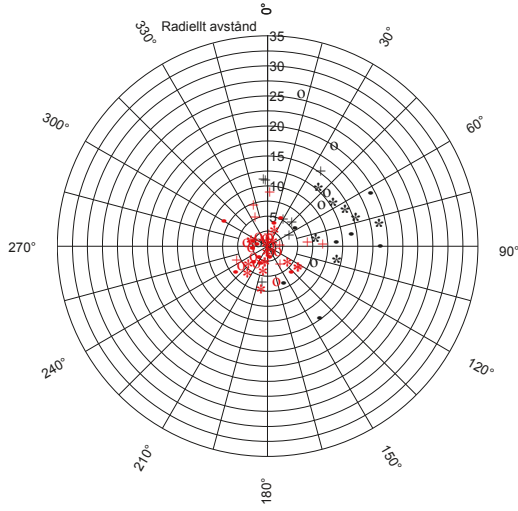
- \* Salva 6 AIT extrapolerad slutpunkt
- + Salva 7 AIT extrapolerad slutpunkt
- Salva 8 AIT extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 6 AIT slutpunkt borrlaggen
- + Salva 7 AIT slutpunkt borrlaggen
- Salva 8 AIT slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 3 Anfang Tak



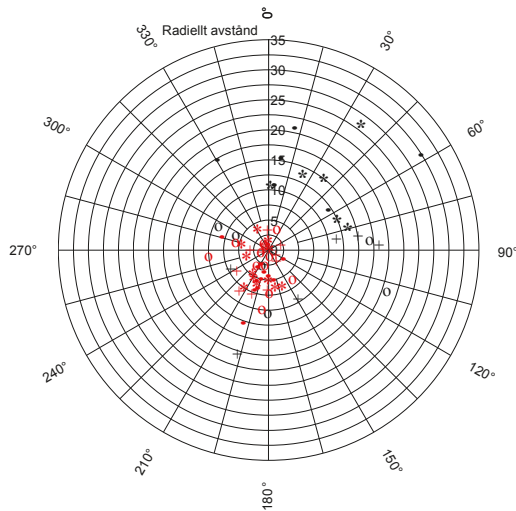
- \* Salva 9 AIT extrapolerad slutpunkt
- + Salva 10 AIT extrapolerad slutpunkt
- Salva 11 AIT extrapolerad slutpunkt
- o Salva 12 AIT extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 9 AIT slutpunkt borrlaggen
- + Salva 10 AIT slutpunkt borrlaggen
- Salva 11 AIT slutpunkt borrlaggen
- o Salva 12 AIT slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 4 Anfang Tak



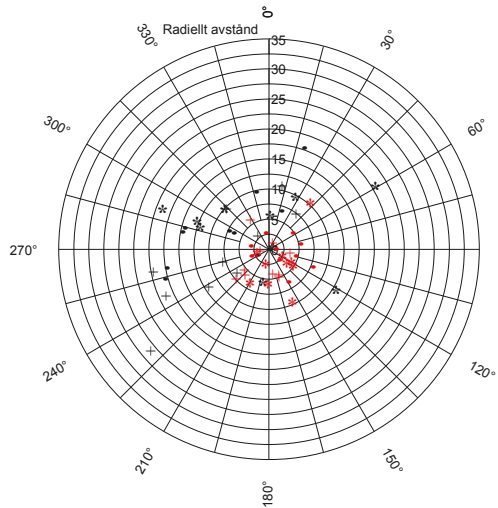
- \* Salva 13 AIT extrapolerad slutpunkt
- + Salva 14 AIT extrapolerad slutpunkt
- Salva 15 AIT extrapolerad slutpunkt
- o Salva 16 AIT extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 13 AIT slutpunkt borrlaggen
- + Salva 14 AIT slutpunkt borrlaggen
- Salva 15 AIT slutpunkt borrlaggen
- o Salva 16 AIT slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 5 Anfang Tak



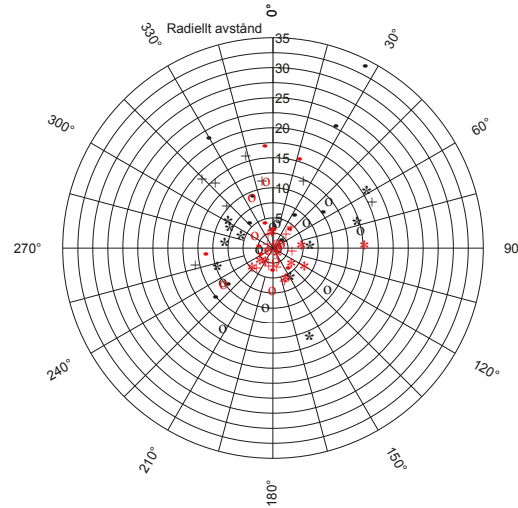
- \* Salva 17 AIT extrapolerad slutpunkt
- + Salva 18 AIT extrapolerad slutpunkt
- Salva 19 AIT extrapolerad slutpunkt
- o Salva 20 AIT extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 17 AIT slutpunkt borrlaggen
- + Salva 18 AIT slutpunkt borrlaggen
- Salva 19 AIT slutpunkt borrlaggen
- o Salva 20 AIT slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 6 Anfang Tak



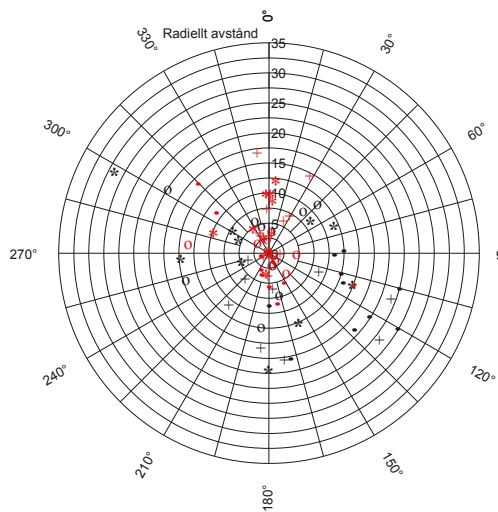
- \* Salva 6 sula extrapolerad slutpunkt
- + Salva 7 sula extrapolerad slutpunkt
- Salva 8 sula extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 6 sula slutpunkt borrlaggen
- + Salva 7 sula slutpunkt borrlaggen
- Salva 8 sula slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 3 Sula



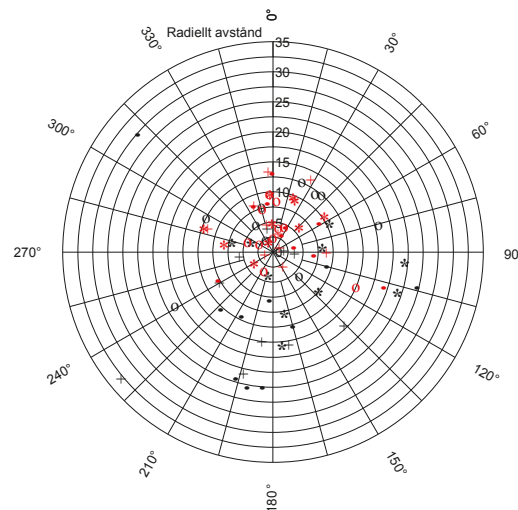
- \* Salva 9 sula extrapolerad slutpunkt
- + Salva 10 sula extrapolerad slutpunkt
- Salva 11 sula extrapolerad slutpunkt
- Salva 12 sula extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 9 sula slutpunkt borrlaggen
- + Salva 10 sula slutpunkt borrlaggen
- Salva 11 sula slutpunkt borrlaggen
- Salva 12 sula slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 4 Sula



- \* Salva 13 sula extrapolerad slutpunkt
- + Salva 14 sula extrapolerad slutpunkt
- Salva 15 sula extrapolerad slutpunkt
- Salva 16 sula extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 13 sula slutpunkt borrlaggen
- + Salva 14 sula slutpunkt borrlaggen
- Salva 15 sula slutpunkt borrlaggen
- Salva 16 sula slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 5 Sula



- \* Salva 17 sula extrapolerad slutpunkt
- + Salva 18 sula extrapolerad slutpunkt
- Salva 19 sula extrapolerad slutpunkt
- Salva 20 sula extrapolerad slutpunkt
- \* Salva 17 sula slutpunkt borrlaggen
- + Salva 18 sula slutpunkt borrlaggen
- Salva 19 sula slutpunkt borrlaggen
- Salva 20 sula slutpunkt borrlaggen

### Bergguttag 6 Sula

### Resultat från vibrationsmätningarna samt samverkande laddning

Salva 6									Salva 7									Salva 8								
300 Hz									278 Hz									400 Hz								
intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Samverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 6	intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Samverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 7	intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Samverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 8
0		1	kil	2,51	2,5	1,7	4,2	14%	0		1	kil	2,54	2,5	0,3	0,7	2%	0		1	kil	2,43	2,4	0,6	1,5	5%
100		1	kil	2,51	2,5	4,9	12,4	41%	100		1	kil	2,54	2,5	0,7	1,8	6%	100		1	kil	2,43	2,4	1,3	3,2	11%
200	14	1	kil	2,51	2,5	5,6	14,0	47%	200		1	kil	2,54	2,5	2,2	5,5	18%	200		1	kil	2,43	2,4	0,7	1,7	6%
300		1	kil	2,51	2,5	0,3	0,7	2%	300		1	kil	2,54	2,5	0,4	1,0	3%	300		1	kil	2,43	2,4	0,0	0,0	0%
400		1	kil	2,51	2,5	0,0	0,0	0%	400		1	kil	2,54	2,5	1,0	2,4	8%	400		1	kil	2,43	2,4	0,1	0,4	1%
500		2	kil	2,51	2,5	2,2	5,6	19%	500		2	kil	2,54	2,5	1,7	4,4	15%	500		2	kil	2,43	2,4	0,9	2,3	8%
600		2	kil	2,51	2,5	1,8	4,5	15%	600		2	kil	2,54	2,5	0,9	2,2	7%	600		2	kil	2,43	2,4	0,4	1,1	4%
700		4	stross	2,51	2,5	3,6	9,2	31%	700		4	stross	2,54	2,5	3,0	7,6	25%	700		4	stross	2,64	2,6	2,1	5,5	18%
800		4	stross	2,51	2,5	5,5	13,7	46%	800		4	stross	2,54	2,5	1,9	4,7	16%	800		4	stross	2,64	2,6	1,8	4,8	16%
900		2	stross	2,51	2,5	1,8	4,5	15%	900		2	stross	2,54	2,5	4,1	10,3	34%	900		2	stross	2,64	2,6	0,9	2,4	8%
1000		4	stross	2,51	2,5	2,5	6,3	21%	1000		4	stross	2,54	2,5	1,5	3,8	13%	1000		4	stross	2,64	2,6	1,6	4,2	14%
1100		3	stross	2,51	2,5	3,7	9,2	31%	1100		3	stross	2,54	2,5	2,0	5,0	17%	1100		3	stross	2,64	2,6	1,4	3,6	12%
1200		4	stross	2,51	2,5	6,9	17,2	57%	1200		4	stross	2,54	2,5	1,6	4,2	14%	1200		4	stross	2,64	2,6	0,8	2,0	7%
1400		2	stross	2,51	2,5	0,0	0,0	0%	1400		2	stross	2,54	2,5	1,3	3,3	11%	1400		2	stross	2,64	2,6	1,5	3,8	13%
1600		3	stross	2,51	2,5	4,4	11,1	37%	1600		3	stross	2,54	2,5	2,5	6,3	21%	1600		3	stross	2,64	2,6	1,2	3,3	11%
1800		3	stross	2,51	2,5	4,3	10,9	36%	1800		3	stross	2,54	2,5	2,1	5,4	18%	1800		3	stross	2,64	2,6	1,4	3,7	12%
2000		3	stross	2,51	2,5	1,7	4,2	14%	2000		3	stross	2,54	2,5	1,5	3,8	13%	2000		3	stross	2,64	2,6	1,6	4,2	14%
2500		8	hjälp.	1,67	3,3	2,3	7,6	25%	2500		8	hjälp.	1,71	3,4	1,6	5,3	18%	2500		8	hjälp.	1,65	3,3	1,1	3,5	12%
2650	i-kon tändare								2650									2650								
2700	i-kon tändare								2700									2700								
2705	i-kon tändare								2705									2705								
2750	i-kon tändare								2750									2750								
2800	i-kon tändare								2800									2800								
2805	i-kon tändare								2805									2805								
2810	i-kon tändare								2810									2810								
2815	i-kon tändare								2815									2815								
2820	i-kon tändare								2820									2820								
2830	i-kon tändare								2830									2830								
2850	i-kon tändare								2850									2850								
3000		8	hjälp.	1,67	3,3	2,7	9,0	30%	3000		8	hjälp.	1,71	3,4	2,4	8,1	27%	3000	7,5	8	hjälp.	1,65	3,3	2,3	7,5	25%
3500		2	hjälp.	1,67	1,7	1,8	3,0	10%	3500		2	hjälp.	1,71	1,7	1,9	3,2	11%	3500		2	hjälp.	1,65	1,7	1,0	1,7	6%
4000		14	kont.v	0,98	2,9	0,9	2,8	9%	4000		14	kont.v	0,98	2,9	2,0	5,8	19%	4000		14	kont.v	0,96	2,9	0,8	2,4	8%
4500		2	kont.v	0,98	1,0	2,2	2,1	7%	4500		2	kont.v	0,98	1,0	2,6	2,5	8%	4500		2	kont.v	0,96	1,0	1,7	1,6	5%
5000		12	kont.t	0,98	2,0	1,5	2,9	10%	5000		12	kont.t	0,98	2,0	1,1	2,2	7%	5000		12	kont.t	0,96	1,9	1,3	2,5	8%
5500		8	sula	2,67	5,3	2,0	10,9	36%	5500	13,4	8	sula	2,67	5,3	2,5	13,4	45%	5500		8	sula	2,61	5,2	1,1	5,6	19%
6000		2	sula	2,67	2,7	4,7	12,5	42%	6000		2	sula	2,67	2,7	0,3	0,7	2%	6000		2	sula	2,61	2,6	1,6	4,2	14%

Färgmarkering kolumn "Notes"

- Högsta registrering i salvan
- Ingen registrering
- Frekvens Hz mätt på singelhål i kilen av numren 1 2 3 eller 4

Tändarspridning enligt: nr 0 - 20 1/4 nr 25 - 60 1/6

Mätpunkt:	V3- ATB Plugg vertikal svängningshastighet	PA3535AO1:1	X=	7265
Gränsvärde:	30 mm/s		Y=	1930
			Z=	-447

Salva 9									Salva 10									Salva 11									
354 Hz									265 Hz									297 Hz									
intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 9	intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 10	intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 11	
0		1	kil	2,77	2,8	1,68	4,7	16%	0		1	kil	2,83	2,8	0,6	1,8	6%	0		1	kil	2,25	2,3	0,3	0,8	3%	
100		1	kil	2,77	2,8	0,00	0,0	0%	100		1	kil	2,83	2,8	0,0	0,0	0%	100		1	kil	2,25	2,3	1,5	3,4	11%	
200		1	kil	2,77	2,8	1,30	3,6	12%	200		1	kil	2,83	2,8	1,0	2,7	9%	200		1	kil	2,25	2,3	1,2	2,8	9%	
300		1	kil	2,77	2,8	0,00	0,0	0%	300		1	kil	2,83	2,8	0,9	2,5	8%	300		1	kil	2,25	2,3	0,1	0,3	1%	
400		1	kil	2,77	2,8	0,00	0,0	0%	400		1	kil	2,83	2,8	2,7	7,5	25%	400		1	kil	2,25	2,3	0,0	0,0	0%	
500		2	kil	2,77	2,8	0,00	0,0	0%	500		2	kil	2,83	2,8	0,0	0,0	0%	500		2	kil	2,25	2,3	0,4	0,9	3%	
600		2	kil	2,77	2,8	1,76	4,9	16%	600		2	kil	2,83	2,8	0,0	0,0	0%	600		2	kil	2,25	2,3	0,7	1,5	5%	
700		3	stross	2,77	2,8	1,01	2,8	9%	700		3	stross	2,83	2,8	1,1	3,0	10%	700		3	stross	2,25	2,3	1,5	3,4	11%	
800		3	stross	2,77	2,8	1,92	5,3	18%	800		3	stross	2,83	2,8	2,1	6,0	20%	800		3	stross	2,25	2,3	1,2	2,6	9%	
900		2	stross	2,77	2,8	1,11	3,1	10%	900		2	stross	2,83	2,8	1,9	5,3	18%	900		2	stross	2,25	2,3	1,4	3,1	10%	
1000		2	stross	2,77	2,8	0,84	2,3	8%	1000		2	stross	2,83	2,8	1,3	3,6	12%	1000		2	stross	2,25	2,3	0,7	1,6	5%	
1100		2	stross	2,77	2,8	2,21	6,1	20%	1100		2	stross	2,83	2,8	1,2	3,3	11%	1100		2	stross	2,25	2,3	1,2	2,7	9%	
1200		3	stross	2,77	2,8	1,76	4,9	16%	1200		3	stross	2,83	2,8	1,6	4,4	15%	1200		3	stross	2,25	2,3	1,5	3,4	11%	
1400		2	stross	2,77	2,8	2,04	5,7	19%	1400		2	stross	2,83	2,8	2,6	7,4	25%	1400		2	stross	2,25	2,3	0,9	2,0	7%	
1600		2	stross	2,77	2,8	4,14	11,5	38%	1600		2	stross	2,83	2,8	1,4	4,0	13%	1600		2	stross	2,25	2,3	1,8	4,0	13%	
1800		2	stross	2,77	2,8	2,41	6,7	22%	1800		2	stross	2,83	2,8	1,2	3,4	11%	1800		2	stross	2,25	2,3	1,6	3,6	12%	
2000		2	stross	2,77	2,8	2,14	5,9	20%	2000		2	stross	2,83	2,8	1,6	4,4	15%	2000		2	stross	2,25	2,3	1,3	3,0	10%	
2500		5	stross	2,77	2,8	0,00	0,0	0%	2500		5	stross	2,83	2,8	0,6	3,6	12%	2500		5	stross	2,25	2,3	4,5	1,0	4,3	14%
2650		6	hjälp.	1,81	10,9	0,55	6,0	20%	2650		6	hjälp.	1,89	11,3	0,4	4,1	14%	2650		6	hjälp.	1,52	9,1	0,4	4,1	14%	
2700		3	hjälp.	1,81	5,4	1,81	9,8	33%	2700		3	hjälp.	1,89	5,7	2,0	11,6	39%	2700		3	hjälp.	1,52	4,6	0,6	2,8	9%	
2705		8	hjälp.	1,81	14,5	0,13	1,8	6%	2705		8	hjälp.	1,89	15,1	0,1	1,3	4%	2705		8	hjälp.	1,52	12,2	0,7	8,1	27%	
2750		16	kont.v	1,04	16,6	0,23	3,8	13%	2750		16	kont.v	1,05	16,8	0,1	2,5	8%	2750		16	kont.v	0,91	14,6	0,2	3,1	10%	
2800	17,3	4	sula	2,84	11,4	1,52	17,3	58%	2800	26,5	6	sula	2,87	17,2	1,5	26,5	88%	2800	13,9	6	sula	2,47	14,8	0,9	13,9	46%	
2805		12	kont.t	1,04	12,5	1,12	14,0	47%	2805		12	kont.t	1,05	12,6	1,5	18,3	61%	2805		12	kont.t	0,91	10,9	0,8	9,2	31%	
2810									2810									2810									
2815		2	sula	2,84	5,7	0,59	3,4	11%	2815									2815									
2820									2820									2820									
2830		2	sula	2,84	5,7	2,81	16,0	53%	2830		2	sula	2,87	5,7	1,8	10,3	34%	2830		2	sula	2,47	4,9	1,4	6,9	23%	
2850		2	sula	2,84	5,7	1,96	11,1	37%	2850		2	sula	2,87	5,7	1,5	8,4	28%	2850									

Färgmarkering kolumn "Notes"

- Högsta registrering i salvan
- Ingen registrering

Tändarspridn enligt: nr 0 - 20 1/4 nr 25 - 60 1/6

Mätpunkt:	V3- ATB Plugg vertikal svängningshastighet	PA3535AO1:1	X=	7265
Gränsvärde	30 mm/s		Y=	1930
			Z=	-447

Salva 12										Salva 13						Salva 14									
intervall nr	notes	antal	typ	Q hål kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 12	notes	antal	typ	Q hål kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 13	intervall nr	notes	antal	typ	Q hål kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 14
0		1	kil	1,81	1,8	0,4	0,7	2%		1	kil	2,59	2,6	1,0	2,7	9%	0		1	kil	2,41	2,4	0,4	1,0	3%
100		1	kil	1,81	1,8	1,2	2,2	7%		1	kil	2,59	2,6	1,2	3,2	11%	100		1	kil	2,41	2,4	0,5	1,3	4%
200		1	kil	1,81	1,8	2,0	3,6	12%		1	kil	2,59	2,6	0,2	0,5	2%	200		1	kil	2,41	2,4	1,3	3,2	11%
300		1	kil	1,81	1,8	0,0	0,0	0%		1	kil	2,59	2,6	0,0	0,1	0%	300		1	kil	2,41	2,4	0,9	2,2	7%
400		1	kil	1,81	1,8	0,0	0,0	0%		1	kil	2,59	2,6	0,0	0,1	0%	400		1	kil	2,41	2,4	0,5	1,2	4%
500		2	kil	1,81	1,8	0,0	0,0	0%		2	kil	2,59	2,6	0,3	0,9	3%	500		2	kil	2,41	2,4	0,1	0,3	1%
600		2	kil	1,81	1,8	1,3	2,4	8%		2	kil	2,59	2,6	0,8	2,0	7%	600		2	kil	2,41	2,4	0,7	1,8	6%
700		3	stross	1,81	1,8	1,2	2,2	7%		3	stross	2,59	2,6	1,4	3,6	12%	700		3	stross	2,41	1,8	1,0	1,8	6%
800		3	stross	1,81	1,8	1,7	3,1	10%		3	stross	2,59	2,6	1,0	2,6	9%	800		3	stross	2,41	1,8	1,1	1,9	6%
900		2	stross	1,81	1,8	0,7	1,2	4%		2	stross	2,59	2,6	0,8	2,0	7%	900		2	stross	2,41	2,4	0,5	1,3	4%
1000		2	stross	1,81	1,8	1,4	2,6	9%		2	stross	2,59	2,6	0,8	2,1	7%	1000		2	stross	2,41	1,2	2,2	2,7	9%
1100		2	stross	1,81	1,8	1,4	2,6	9%		2	stross	2,59	2,6	0,8	2,1	7%	1100		2	stross	2,41	1,6	1,1	1,8	6%
1200		3	stross	1,81	1,8	1,1	2,0	7%		3	stross	2,59	2,6	1,2	3,1	10%	1200		3	stross	2,41	1,8	0,7	1,3	4%
1400		2	stross	1,81	1,8	1,5	2,8	9%		2	stross	2,59	2,6	1,0	2,7	9%	1400		2	stross	2,41	2,4	0,5	1,3	4%
1600		2	stross	1,81	1,8	2,0	3,6	12%		2	stross	2,59	2,6	1,1	2,9	10%	1600		2	stross	2,41	1,6	2,6	4,1	14%
1800		2	stross	1,81	1,8	2,2	4,0	13%		2	stross	2,59	2,6	1,0	2,5	8%	1800		2	stross	2,41	1,6	1,2	2,0	7%
2000		2	stross	1,81	1,8	1,1	2,0	7%		2	stross	2,59	2,6	0,7	1,8	6%	2000		2	stross	2,41	1,6	2,4	3,9	13%
2500		5	stross	1,81	1,8	3,6	0,1	0,2	1%	5	stross	2,59	2,6	1,0	2,6	9%	2500		5	stross	2,41	2,4	1,1	2,7	9%
2650		6	hjälp.	1,27	7,6	0,7	5,0	17%		6	hjälp.	1,72	10,3	0,5	5,4	18%	2650		6	hjälp.	1,68	10,1	0,2	2,4	8%
2700		3	hjälp.	1,27	3,8	2,0	7,6	25%		3	hjälp.	1,72	5,2	0,5	2,5	8%	2700		3	hjälp.	1,68	5,0	0,4	2,0	7%
2705		8	hjälp.	1,27	10,2	0,2	2,1	7%		8	hjälp.	1,72	13,8	0,2	2,5	8%	2705		8	hjälp.	1,68	13,4	0,4	5,1	17%
2750		16	kont.v	0,76	12,2	0,2	3,0	10%		16	kont.v	1,03	16,5	0,0	2,2	7%	2750		16	kont.v	0,99	15,8	0,1	2,3	8%
2800	18,3	8	sula	2,02	16,2	1,1	18,3	61%	15	8	sula	2,82	22,6	0,7	15,0	50%	2800	13,7	8	sula	2,71	21,7	0,6	13,7	46%
2805		12	kont.t	0,76	9,1	1,1	9,8	33%		12	kont.t	1,03	12,4	0,0	7,0	23%	2805		12	kont.t	0,99	11,9	0,7	7,8	26%
2810		0								0							2815		0						
2815		0								0															
2820		0								0															
2830		2	sula	2,02	4,0	1,1	4,3	14%		1	sula	2,82	2,8	1,0	2,9	10%	2830		1	sula	2,71	2,7	1,4	3,7	12%
2850		1	sula	2,82	2,8	0,2	0,6	2%		1	sula	2,82	2,8	0,2	0,6	2%	2850		1	sula	2,71	2,7	0,1	0,2	1%

Färgmarkering kolumn "Notes"

Högsta registrering i salvan  
Ingen registrering

Tändarspridn enligt: nr 0 - 20 1/4 nr 25 - 60 1/6

Mätpunkt:	V3- ATB Plugg vertikal svängningshastighet	PA3535AO1:1	X=	7265
Gränsvärde:	30 mm/s		Y=	1930
			Z=	-447



Salva 15									Salva 16									Salva 17								
intervall nr	notes	antal	typ	Q hål kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 15	notes	antal	typ	Q hål kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 16	intervall nr	notes	antal	typ	Q hål kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 17	
0		1	kil	2,34	2,3	0,09	0,2	1%		1	kil	2,52	2,5	0,08	0,2	1%	0		1	kil	2,67	2,7	0,37	1,0	3%	
100		1	kil	2,34	2,3	0,09	0,2	1%		1	kil	2,52	2,5	0,48	1,2	4%	100		1	kil	2,67	2,7	0,00	0,0	0%	
200		1	kil	2,34	2,3	0,09	0,2	1%		1	kil	2,52	2,5	0,63	1,6	5%	200		1	kil	2,67	2,7	0,49	1,3	4%	
300		1	kil	2,34	2,3	0,09	0,2	1%		1	kil	2,52	2,5	0,36	0,9	3%	300		1	kil	2,67	2,7	0,00	0,0	0%	
400		1	kil	2,34	2,3	0,09	0,2	1%		1	kil	2,52	2,5	0,28	0,7	2%	400		1	kil	2,67	2,7	0,34	0,9	3%	
500		2	kil	2,34	2,3	0,30	0,7	2%		2	kil	2,52	2,5	0,79	2,0	7%	500		2	kil	2,67	2,7	0,19	0,5	2%	
600		2	kil	2,34	2,3	0,34	0,8	3%		2	kil	2,52	2,5	0,67	1,7	6%	600		2	kil	2,67	2,7	0,37	1,0	3%	
700		2	stross	2,34	2,3	1,11	2,6	9%		2	stross	2,52	2,5	0,79	2,0	7%	700		2	stross	2,67	2,7	0,49	1,3	4%	
800		2	stross	2,34	2,3	0,34	0,8	3%		2	stross	2,52	2,5	0,79	2,0	7%	800		2	stross	2,67	2,7	0,69	1,9	6%	
900		4	stross	2,34	2,3	0,90	2,1	7%		4	stross	2,52	2,5	0,87	2,2	7%	900		4	stross	2,67	2,7	0,67	1,8	6%	
1000		2	stross	2,34	2,3	0,47	1,1	4%		2	stross	2,52	2,5	0,67	1,7	6%	1000		2	stross	2,67	2,7	0,49	1,3	4%	
1100		4	stross	2,34	2,3	0,47	1,1	4%		4	stross	2,52	2,5	0,95	2,4	8%	1100		4	stross	2,67	2,7	0,49	1,3	4%	
1200		2	stross	2,34	2,3	1,28	3,0	10%		2	stross	2,52	2,5	1,15	2,9	10%	1200		2	stross	2,67	2,7	0,86	2,3	8%	
1400		2	stross	2,34	2,3	0,77	1,8	6%		2	stross	2,52	2,5	0,79	2,0	7%	1400		2	stross	2,67	2,7	0,49	1,3	4%	
1600		2	stross	2,34	2,3	0,77	1,8	6%		2	stross	2,52	2,5	0,67	1,7	6%	1600		2	stross	2,67	2,7	0,97	2,6	9%	
1800		2	stross	2,34	2,3	0,81	1,9	6%		2	stross	2,52	2,5	0,40	1,0	3%	1800		2	stross	2,67	2,7	1,35	3,6	12%	
2000		2	stross	2,34	2,3	0,34	0,8	3%		2	stross	2,52	2,5	1,15	2,9	10%	2000		2	stross	2,67	2,7	0,86	2,3	8%	
2500		5	stross	2,34	2,3	0,81	1,9	6%		5	stross	2,52	5,0	0,02	0,1	0%	2500		5	stross	2,67	2,7	1,01	2,7	9%	
2650		6	hjälp.	1,62	9,7	0,21	2,0	7%		6	hjälp.	1,69	10,1	0,38	3,9	13%	2650		6	hjälp.	1,77	10,6	0,25	2,7	9%	
2700		3	hjälp.	1,62	4,9	0,64	3,1	10%		3	hjälp.	1,69	5,1	0,53	2,7	9%	2700		8	hjälp.	1,77	14,2	0,54	7,7	26%	
2705		8	hjälp.	1,62	13,0	0,37	4,8	16%		8	hjälp.	1,69	13,5	0,35	4,7	16%	2705	2750	3	hjälp.	1,74					
2750		16	kont.v	0,95	15,2	0,14	2,2	7%		16	kont.v	0,98	15,7	0,10	1,5	5%	2750		12	kont.v	1,04	17,7	0,24	4,2	14%	
2800		8	sula	2,58	20,6	0,41	8,5	28%	13,3	8	sula	2,67	21,4	0,62	13,3	44%	2800	9,8	8	sula	1,83	14,6	0,67	9,8	33%	
2805	10	12	kont.t	0,95	11,4	0,88	10,0	33%		12	kont.t	0,98	11,8	0,68	8,0	27%	2805									
2810																	2810		4	kont.t	1,02	4,1	0,61	2,5	8%	
2815																	2815									
2820																	2820		4	kont.t	1,02	4,1	0,61	2,5	8%	
2830		1	sula	2,58	2,6	0,89	2,3	8%		2	sula	2,67	5,3	0,60	3,2	11%	2830		2	sula	1,83	3,7	0,41	1,5	5%	
2850		1	sula	2,58	2,6	0,89	2,3	8%		1	sula	2,67	2,7	0,04	0,1	0%	2850		8	kont.t	1,02	8,2	0,86	7,0	23%	

Färgmarkering kolumn "Notes"

- Högsta registrering i salvan
- Ingen registrering

Tändarspridn enligt: nr 0 - 201/4 nr 25 - 601/6

Mätpunkt:	V3- ATB Plugg vertikal svängningshastighet	PA3535A01:1	X=	7265
Gränsvärde:	30 mm/s		Y=	1930
			Z=	-447

Salva 18								Salva 19								Salva 20										
intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 18	intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 19	intervall nr	notes	antal	typ	Q håll kg	Sammverk. Kg	ppv/kg	ppv mm/s	% Gränsvärde Salva 20
0		1	kil	2,5	2,5	0,12	0,3	1%	0		1	kil	2,48	2,5	0,73	1,8	6%	0		1	kil	2,19	2,2	0,68	1,5	5%
100		1	kil	2,5	2,5	0,56	1,4	5%	100		1	kil	2,48	2,5	0,44	1,1	4%	100		1	kil	2,19	2,2	0,05	0,1	0%
200		1	kil	2,5	2,5	0,08	0,2	1%	200		1	kil	2,48	2,5	0,04	0,1	0%	200		1	kil	2,19	2,2	0,59	1,3	4%
300		1	kil	2,5	2,5	0,16	0,4	1%	300		1	kil	2,48	2,5	0,04	0,1	0%	300		1	kil	2,19	2,2	0,05	0,1	0%
400		1	kil	2,5	2,5	0,28	0,7	2%	400		1	kil	2,48	2,5	0,04	0,1	0%	400		1	kil	2,19	2,2	0,05	0,1	0%
500		2	kil	2,5	2,5	0,60	1,5	5%	500		2	kil	2,48	2,5	0,36	0,9	3%	500		2	kil	2,19	2,2	0,41	0,9	3%
600		2	kil	2,5	2,5	0,60	1,5	5%	600		2	kil	2,48	2,5	0,60	1,5	5%	600		2	kil	2,19	2,2	0,59	1,3	4%
700		3	stross	2,5	2,5	0,36	0,9	3%	700		2	stross	2,48	2,5	0,28	0,7	2%	700		2	stross	2,19	2,2	0,41	0,9	3%
800		3	stross	2,5	2,5	0,92	2,3	8%	800		2	stross	2,48	2,5	0,85	2,1	7%	800		2	stross	2,19	2,2	0,78	1,7	6%
900		2	stross	2,5	2,5	0,80	2,0	7%	900		4	stross	2,48	2,5	0,56	1,4	5%	900		4	stross	2,19	2,2	0,55	1,2	4%
1000		2	stross	2,5	2,5	0,84	2,1	7%	1000		2	stross	2,48	2,5	0,44	1,1	4%	1000		2	stross	2,19	2,2	0,68	1,5	5%
1100		2	stross	2,5	2,5	1,08	2,7	9%	1100		4	stross	2,48	2,5	0,52	1,3	4%	1100		4	stross	2,19	2,2	0,78	1,7	6%
1200		3	stross	2,5	2,5	0,92	2,3	8%	1200		2	stross	2,48	2,5	0,89	2,2	7%	1200		2	stross	2,19	2,2	0,41	0,9	3%
1400		2	stross	2,5	2,5	0,48	1,2	4%	1400		2	stross	2,48	2,5	0,69	1,7	6%	1400		2	stross	2,19	2,2	0,59	1,3	4%
1600		2	stross	2,5	2,5	1,04	2,6	9%	1600		2	stross	2,48	2,5	1,17	2,9	10%	1600		2	stross	2,19	2,2	0,41	0,9	3%
1800		2	stross	2,5	2,5	0,60	1,5	5%	1800		2	stross	2,48	2,5	0,69	1,7	6%	1800		2	stross	2,19	2,2	1,74	3,8	13%
2000		2	stross	2,5	2,5	1,32	3,3	11%	2000		2	stross	2,48	2,5	0,93	2,3	8%	2000		2	stross	2,19	2,2	0,96	2,1	7%
2500		5	stross	2,5	5,0	0,58	2,9	10%	2500		5	stross	2,48	5,0	0,40	2,0	7%	2500		5	stross	2,19	4,4	0,41	1,8	6%
2650		6	hjälp.	1,71	10,3	0,19	1,9	6%	2650		6	hjälp.	1,68	10,1	0,22	2,2	7%	2650		6	hjälp.	1,5	9,0	0,08	0,7	2%
2700		8	hjälp.	1,71	13,7	0,00	2,3	8%	2700		8	hjälp.	1,68	13,4	0,35	4,7	16%	2700		8	hjälp.	1,5	12,0	1,40	2,1	7%
2705	2750	3	hjälp.	1,64					2705	2750	3	hjälp.	1,64					2705	2750	3	hjälp.	1,47				
2750		12	kont.v	1,01	17,0	0,23	4,0	13%	2750	9,2	12	kont.v	1,02	17,2	0,54	9,2	31%	2750		12	kont.v	0,91	15,3	0,26	4,0	13%
2800	10	8	sula	1,8	14,4	0,69	10,0	33%	2800		8	sula	1,79	14,3	0,27	3,9	13%	2800	8,7	8	sula	1,62	13,0	0,67	8,7	29%
2805									2805									2805								
2810		4	kont.t	1	4,0	0,45	1,8	6%	2810		4	kont.t	1	4,0	0,18	0,7	2%	2810		4	kont.t	0,91	3,6	0,63	2,3	8%
2815									2815									2815								
2820		4	kont.t	1	4,0	0,85	3,4	11%	2820		4	kont.t	1	4,0	0,13	0,5	2%	2820		4	kont.t	0,91	3,6	1,10	4,0	13%
2830		2	sula	1,8	3,6	1,56	5,6	19%	2830		2	sula	1,79	3,6	0,03	0,1	0%	2830		2	sula	1,62	3,2	0,09	0,3	1%
2850		8	kont.t	1	8,0	0,03	0,2	1%	2850		8	kont.t	1	8,0	0,01	0,1	0%	2850		8	kont.t	0,91	7,3	0,04	0,3	1%

Färgmarkering kolumn "Notes"

Högsta registrering i salvan  
Ingen registrering

Tändarspridn enligt: nr 0 - 201/4 nr 25 - 60 1/6

Mätpunkt:	V3- ATB Plugg vertikal svängningshastighet	PA3535AO1:1	X=	7265
Gränsvärde:	30 mm/s		Y=	1930
			Z=	-447