

Rapport

P-19-13

December 2019



Resultat seismisk undersökning och indriftsanalys för Kärnbränsleförvaret

Mathias Jern

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

SWEDISH NUCLEAR FUEL
AND WASTE MANAGEMENT CO

Box 3091, SE-169 03 Solna
Phone +46 8 459 84 00
skb.se

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING

ISSN 1651-4416

SKB P-19-13

ID 1717271

December 2019

Resultat seismisk undersökning och indriftsanalys för Kärnbränsleförvaret

Mathias Jern, Nitro Consult AB

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna. SKB kan dra andra slutsatser, baserade på flera litteraturkällor och/eller expertsynpunkter.

Data i SKB:s databas kan ändras av olika skäl. Mindre ändringar i SKB:s databas kommer nödvändigtvis inte att resultera i en reviderad rapport. Revideringar av data kan också presenteras som supplement, tillgängliga på www.skb.se.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se.

© 2020 Svensk Kärnbränslehantering AB

Sammanfattning

Provsprängningar har utförts vid planerat tunnelpåslag för Slutförvaret för använt kärnbränsle. Syftet var att undersöka hur omgivningen påverkas vid tunneldrivning med borrarpräng-metoden.

Provsprängningar utfördes i 2 st 60 m djupa borrhål. Sammanlagt 10 laddningar mellan 1 och 8 kg detonerades och vibrationer mättes i 13 mätpunkter på avstånd varierande mellan 21 och 1365 m. Bland annat sattes vibrationsmätare på kärnkraftverket (F1 och F2). Provsprängningarna var lyckade såtillvida att god korrelation uppnåddes mellan laddningsmängder, avstånd och uppmätta vibrationsnivåer.

Två ekvationer bestämdes som sedan använts för övrig analys, den ena gäller acceleration:

$$a_{98\%} = 2808 \cdot \left(\frac{r}{\sqrt{q}} \right)^{-1,673}$$

Vilken använts för de restriktioner som satts på kärnkraftverket (98 % sannolikhet att prognostiserat värde underskrids), den andra gäller svängningshastighet:

$$v_{84\%} = 1695 \cdot \left(\frac{r}{\sqrt{q}} \right)^{-1,638}$$

Vilken använts för övriga konstruktioner (84 % sannolikhet att prognostiserat värde underskrids).

Analysen har sedan gjorts med dessa samband för att beräkna hur stora laddningsmängder som kan användas vid byggnationen av slutförvaret utan att riskera för höga vibrationsnivåer.

Resultaten indikerar att man inte riskerar överskrida tillåtna värden vid sprängning för slutförvaret. Med ett antagande om att man vid tunneldrivning använder samverkande laddningar på 8 kg och maximalt 50 kg vid sprängning av bergrum på anläggningsnivå så kommer värdena aldrig att överskrida halva det tillåtna värdet.

Summary

In order to investigate the consequences for excavation of the repository for spent nuclear fuel by drilling and basting from a vibration perspective. Test blasts was performed approximately at the site were the excavation for the building of the repository are planned to start.

The test blast was done in two 60 m deep holes. In total 10 detonations were made with charge weights varying from 1 to 8 kg. Vibrations were monitored in 13 positions with distances from 21 up to 1365 m. Among other monitors was placed on the Nuclear power plant (F1 and F2). The test blasts were successfully and a good correlation between charge weight, distance and vibration velocity was achieved.

Two equations were determined and used for further analysis. The first is a predicted acceleration value:

$$a_{98\%} = 2808 \cdot \left(\frac{r}{\sqrt{q}} \right)^{-1.673}$$

This was used for restrictions at the nuclear power plant (98 % probability to be below the predicted value). The second equation is a prediction of vibration velocity:

$$v_{84\%} = 1695 \cdot \left(\frac{r}{\sqrt{q}} \right)^{-1.638}$$

This was used for restrictions at other constructions (84 % probability to be below the predicted value).

Analysis was then done with the equations above to calculate charge weights that could be used during construction of the repository without the risk of exceeding permitted vibration levels.

The results indicate that there is no risk of reaching high vibration level in any part of the construction. With the assumption that the maximum charge per hole is 8 kg for tunnel blasting and 50 kg during excavation of the rock caverns at repository level the vibration levels will never be even half of the permitted vibration levels.

Innehåll

1	Inledning	7
Del 1 Seismisk undersökning		
2	Försökens utformning	11
2.1	Provsprängningen	11
2.2	Vibrationsmätning	14
3	Utvärdering	17
3.1	Utvärdering av provsprängningen	17
4	Resultat från provsprängningen	19
4.1	Frågeställningar	21
5	Diskussion och felkällor	23
Del 2 Laddkartor och indriftsanalys		
6	Inledning	27
7	Beräkningsgång	29
8	Resultat indriftsanalys	31
9	Modellering av salvor	33
9.1	Resultat	34
10	Slutsatser och Diskussion	37
Referenser		39
Bilaga 1	Laddningsplacering i borrhålen	41
Bilaga 2	Mätpunkter	47
Bilaga 3	Data i tabellform	53

1 Inledning

Följande rapport beskriver resultat och utvärdering efter de provsprängningar som utfördes i Forsmark i närheten av platsen för tänkt påslag för tunneln ner till slutförvaret, 2019-04-03.

Syftet med rapporten är att beskriva de sprängtekniska förutsättningarna, med avseende på omgivningsrestriktioner som kommer att gälla vid byggnation av Slutförvaret för använt kärnbränsle.

Rapporten har fokuserat på större anläggningar och konstruktioner det vill säga, i närområdet till tänkt påslag finns barackbyggnader och transformatorstation. Det kan dock knappast vara tänkt att dessa ska dimensionera arbetena utan lämpligen rivs/flyttas de konstruktioner som ligger på själva anläggningsområdet. Dessa har därför inte inkluderats i analysen.

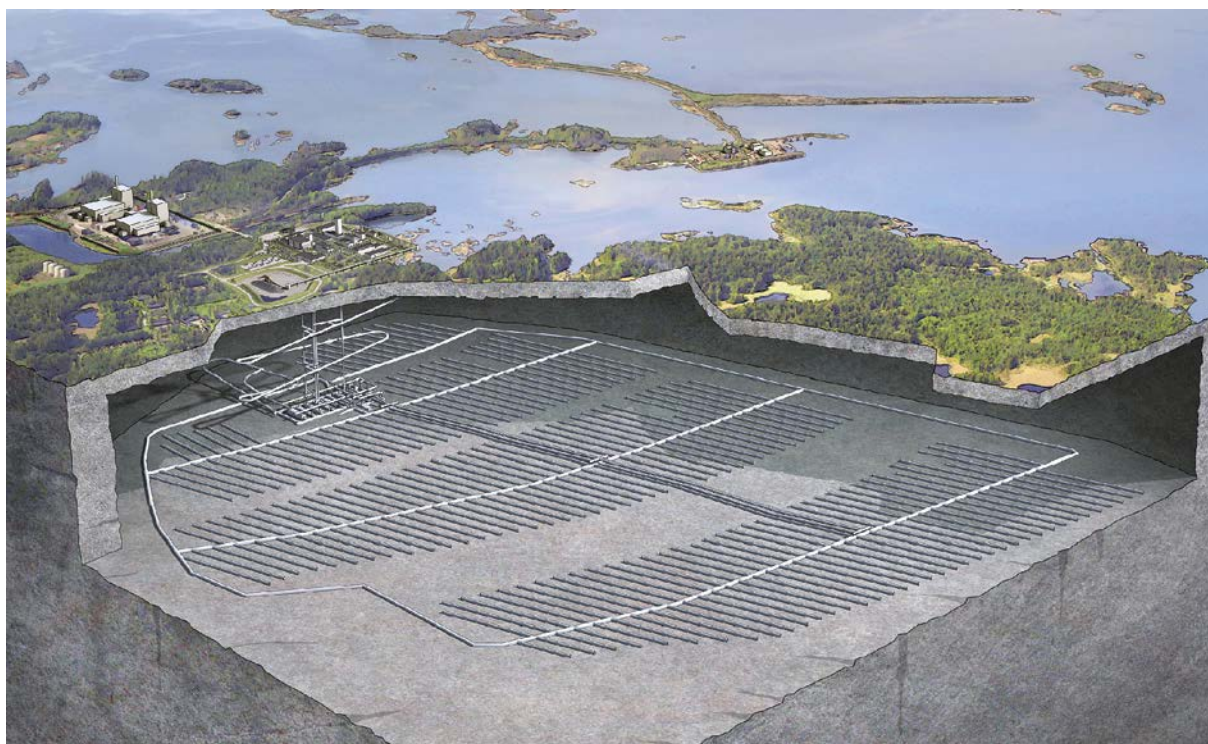
Rapporten har delats upp i två delar.

- Del 1 – Beskriver provsprängningen samt hur data som insamlats vid denna har analyserats.
- Del 2 – Resultat av analysen beskriver hur utförandet av sprängarbetet, det vill säga laddningen och upptändningen, bedöms kunna utföras, så att de restriktioner som finns i omgivningen ej överskrids.

På grund av slutförvarsanläggningens storlek (se figur 1-1) har inte hela anläggningen omfattats av analysen utan fokus har satts på ett antal delar av anläggningen som kan anses vara dimensionerande för sprängningsverksamheten, dessa delar är:

- Påslag för ramp (för att även inkludera andra konstruktioner på markytan har en yta på marken undersökts).
- Första delen av rampen.
- Platser för schakt.
- Större bergrum på anläggningsnivå (centralområde).

Rapporten har hållits medvetet kortfattad. Beskrivning, koordinater, kurvförlopp och fotografier av mät-punkter och de olika provskotten finns inte fullt beskrivna i rapporten utan behandlas istället i bilagor.



Figur 1-1. Bild över planerat slutförvar.

Del 1

Seismisk undersökning

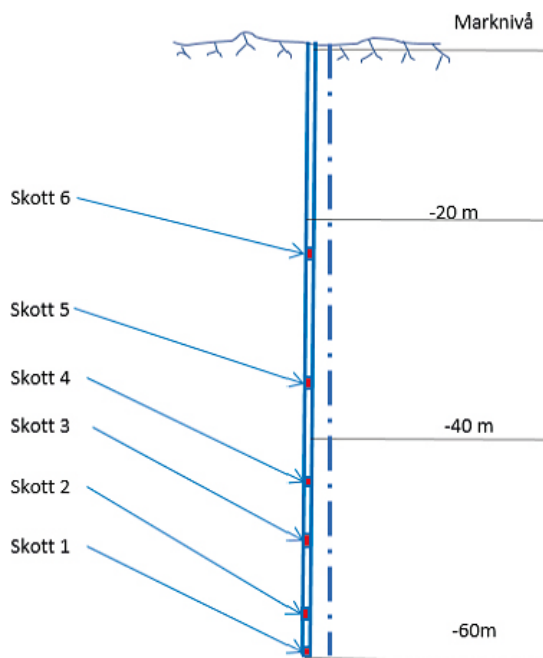
2 Försökens utformning

2.1 Provsprängningen

Principen för provsprängning är att man detonerar laddningar av olika storlek på olika nivåer nere i borrhål i berget samtidigt som man samlar in data från vibrationsinstrument som är utplacerade i omgivningen.

Provsprängningarna utfördes i 2 befintliga borrhål, KFM 20 (hål 1) och KFM 18 (hål 2). Båda borrhålen var ca 60 m djupa där de översta 40 m bedömdes som mer uppspruckna. Tanken var därför att skjuta laddningar både under och över denna gräns för att undersöka om det fanns någon skillnad i vibrationer beroende på vilken nivå provskottet sköts från, för att undvika kastrisker sköts dock ingen laddning över 20 m nivån.

Den inledande planen var att spränga sex laddningar i varje hål enligt figur 2-1. Av praktiska skäl kom dock nivån på laddningarna att variera något, detta på grund av problem framförallt med den fogsand som användes som proppmaterial mellan laddningarna vid provsprängningarna.



Figur 2-1. Principskiss över laddningarnas lägen i borrhålen.

Sex provskott per hål planerades, men i slutändan blev det sammanlagt 10 laddningar i båda hålen. Detta på grund av att en laddning fastnade i KFM 18 vilket innebär att hela hålet delvis inte kunde utnyttjas. Mängden laddningar var dock fullt tillräckligt för att utföra en god analys. De olika laddningarna listas i tabell 2-1 och dess placering i borrhålen kan ses i bilaga 1.

Tabell 2-1. Laddningsmängder och nivåer vid provsprängningen.

Nr ¹ /skott	Salvhål (SKB)	Skjuttid	Laddningsmängd (kg)	Djup ² till laddning (m)
11	KFM20	10:49:29	1	59,5
12	KFM20	12:35:42	4	56,32
13	KFM20	14:49:49	8	52,04
14	KFM20	16:35:35	8	47,04
15	KFM20	19:30:40	6	31,33
16	KFM20	20:24:56	4	18,37
21	KFM18	11:51:35	2	57,56
22	KFM18	15:31:35	6	36,58
23	KFM18	16:40:43	8	30,1
24	KFM18	19:07:15	8	21,44

¹ Första siffran syftar på hålet detonationen skedde i (1 = KFM 20, 2 = KFM 18), andra siffran nummerordning i respektive borrhål.

² Anger djup till botten på laddningen.

Laddningarna (se laddning, figur 2-2) varierade mellan 1 kg och ca 8 kg per skott (se tabell 2-1). Använt sprängmedel var Eurodyn 3000 (NG-sprängämne) Ø 55 mm. Varje laddning förladdades med en propp av fogsand som var minst 2 m (se figur 2-3), sedan täcktes toppen av hålen med 2–3 lager tyngdtäckning (tunga gummimattor, se figur 2-4) innan detonation. Detta för att förhindra att sanden kastades ur hålet. Mellan varje skott utvärderades resultatet för att kontrollera att vibrationerna till omgivningen låg i linje med de förväntade nivåerna.



Figur 2-2. Laddning av borrhål, i detta fall 4 kg laddning (KFM 20).



Figur 2-3. Proppning av hål med fogsand (KFM 18).



Figur 2-4. Täckning av laddat hål med tunga gummimattor (KFM 20).

Orsaken till att fogsand användes till att proppa hålen för förladdning istället krossgrus, vilket är det normala, var att de hydrauliska egenskaperna i berget skulle påverkas så lite som möjligt (se Sandén et al. 2018). Det ska dock noteras att detta val inte var optimalt ur sprängningssynpunkt. Syftet med krossgruset är att det ska sintra vid detonation och skapa ett "lock" som förhindrar att material och spränggaser blåser ut ur hålet. Denna funktion saknades hos sanden vilket innebar att det enbart var gummimattorna som stoppade den blandning av gas, vatten och sand som sprutade ur hålet, att detta skulle ha någon betydelse för resultatet av försöken är dock osannolikt.

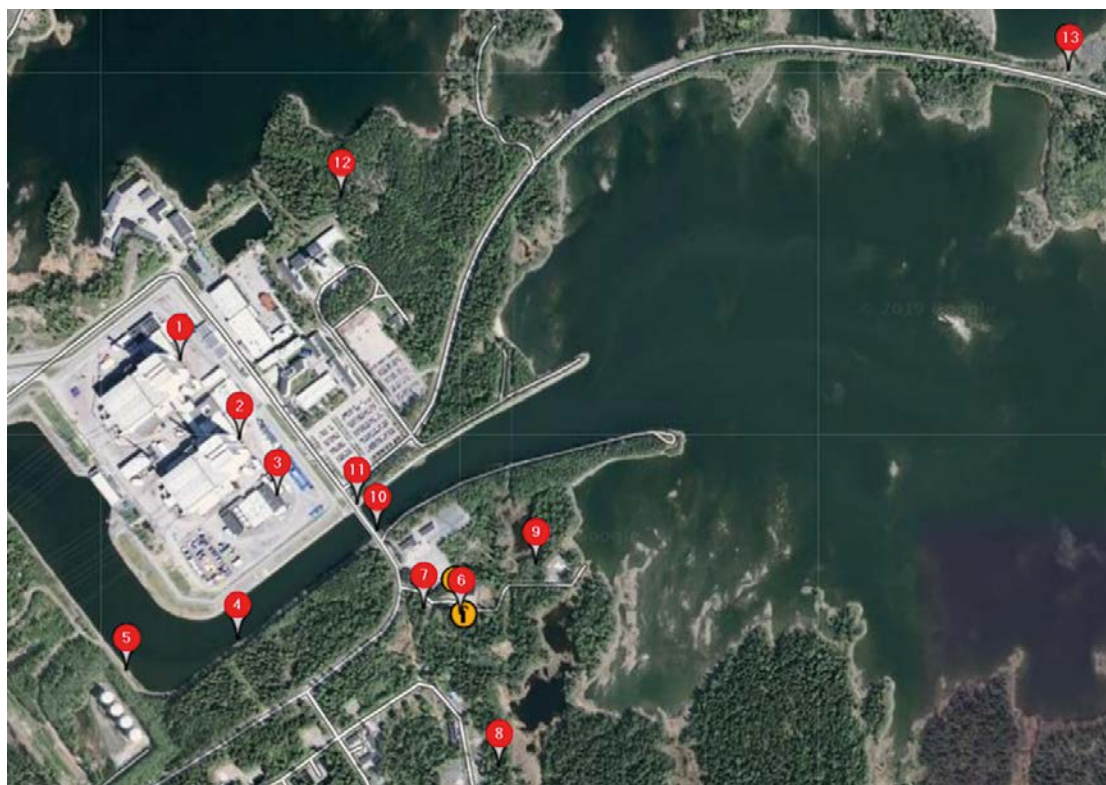
Ett annat problem var att en stor del av sanden gick i suspension och tog lång tid på sig att sedimentera. Detta fick konsekvensen att det blev väntetider mellan varje laddning samt att det var svårt att exakt mäta den efterföljande laddningens position efter som "botten" på hålet kom att bli mjuk och svårdefinierad.

2.2 Vibrationsmätning

Vid provsprängningarna placerades sammanlagt 13 vibrationsmätare ut i omgivningen. Utav dessa placerades tre inne på FKA:s område. Placeringarna syns i figur 2-5 och listas i tabell 2-2. En detaljerad beskrivning av givarnas placering kan ses på foto i bilaga 2. Resultatet (toppvärde) från samtliga mätningar kan ses i bilaga 3.

Samtliga mätare var av märket Sigicom (logger "mini" samt triaxiella geofoner "V12"). Under provsprängningarna skickades mätdata direkt från mätarna via GSM-nätet och resultaten kunde avläsas direkt efter varje skott på Nitro Consults webbplats NCVIB och via SMS.

Vibrationerna mättes sedan i omgivningen för att senare kunna beräkna hur vibrationerna avtar med avstånd. Avstånden till kringliggande mätpunkter varierade från 21 m upp till 1365 m. Vid analys har maxvärdet i största riktning (Peak Component) använts.



Figur 2-5. Översiktlig placering av givare. Gulbruna cirklar anger var provskotten sköts och röda cirklar är mätpunkternas placering och deras mätpunktsnummer.

Tabell 2-2. Platser för vibrationsmätning.

Mätpunkt (beteckning i rapport)	Mätpunkt (SKB:s beteckning)	Placering	Minsta* avstånd (m)	Största* avstånd (m)
MP01	PFM008106	F2 vänster port 215	639	640
MP02	PFM008107	F1 vänster port 115	429	478
MP03	PFM008108	F Avfallsbyggnad vänster port 164	328	372
MP04	PFM008109	Kanalen närmast bron	379	388
MP05	PFM008110	Kanalen vid cisterner	573	578
MP06	PFM008111	Vid borrhål KFM20	21	83
MP07	PFM008112	Vid korsning mellan spränghålen	71	90
MP08	PFM008113	Vid borrhålsgeofonerna	266	330
MP09	PFM008114	Betongplatta nära BP8	141	157
MP10	PFM008115	Södra brostödet	154	208
MP11	PFM008116	Norra brostödet	206	261
MP12	PFM008117	Vid Igelgrundet	664	664
MP13	PFM008118	Vid SFR	1 339	1 365

* Avser avståndet mellan mätpunkt och laddning (största respektive minsta av de 10 detonationerna).

3 Utvärdering

Resultatet av sprängningarna används för att beräkna ett samband mellan vibrationsnivåer, avstånd och samverkande laddningsmängd enligt skallagsformeln. För bestämning av vibrationshastighet är denna:

$$V = A \left(\frac{r}{\sqrt{Q}} \right)^{-B} \quad (3-1)$$

Och för acceleration:

$$a = A \left(\frac{r}{\sqrt{Q}} \right)^{-B} \quad (3-2)$$

Där

V = prognostiserad svängningshastighet (mm/s)

a = prognostiserad acceleration (m/s²)

r = avstånd (m)

Q = samverkande laddning (kg)

A och B är platsberoende konstanter, notera att för acceleration och svängningshastighet finns i detta fall inget självklart samband, dvs prognoserna måste beräknas var för sig.

Parametern $\left(\frac{r}{\sqrt{Q}} \right)$ kallas skaldistansen och förkortas i denna rapport SD.

A-parametern utvärderas dels för medelvärdet men också för att bestämma sannolikheten att ett visst värde kan innehållas. För detta används normalt $A_{84\%}$, dvs värdet som innehålls med 84 % sannolikhet (en standardavvikelse över medelvärdet), eller $A_{98\%}$, dvs värdet som innehålls med 98 % sannolikhet (två standardavvikelser över medelvärdet). De parametrar som använts i indriftsanalysen är $A_{84\%}$ för betongkonstruktioner samt $A_{98\%}$ för kärnkraftsanläggningen.

Det ska noteras att även om beräkningarna anger en viss sannolikhet för överskridande är den verkliga sannolikheten betydligt lägre, detta eftersom varje salva inte kan optimeras på detta sätt utan att sannolikheten för överskridande normalt bara gäller för den närmaste salvan, sedan sjunker sannolikheten men ökande avstånd.

3.1 Utvärdering av provsprängningen

Förutom en direkt regressionsanalys av samtliga data var det några frågor som behövde utvärderas i analysen:

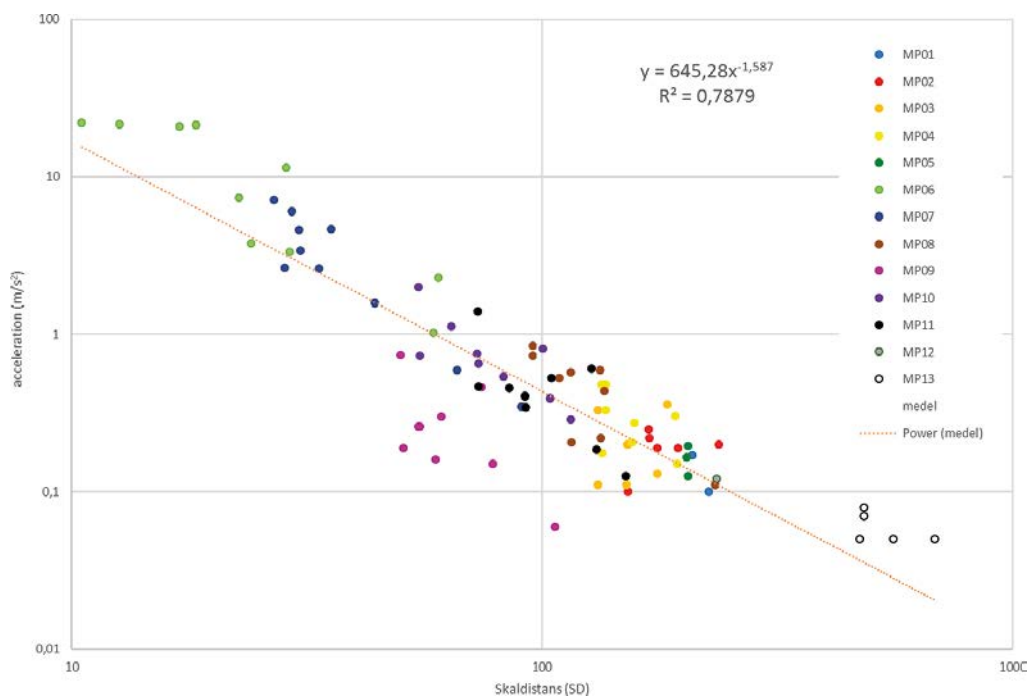
- Finns det någon skillnad mellan sprängning i den övre mer uppspruckna berggrunden jämfört med sprängning djupare ner i mer sprickfattigt berg, det vill säga på ett djup över 40 m djup där berget anses mindre uppsprucket?
- Är det skillnad om laddningen ligger i en del av borrhålet där det är mycket sprickor, jämfört med ett mer sprickfattigt berg? Denna analys kunde göras eftersom borrhålen redan karterats via BIPS.
- Är det skillnader i responsen för olika mätpunkter? Framförallt var frågan om den sprängda kanalen mellan provsprängningen och kärnkraftverket skulle dämpa vibrationerna mer än för mätpunkter i annan riktning. Men även om någon enskild mätpunkt avviker från de andra?

4 Resultat från provsprängningen

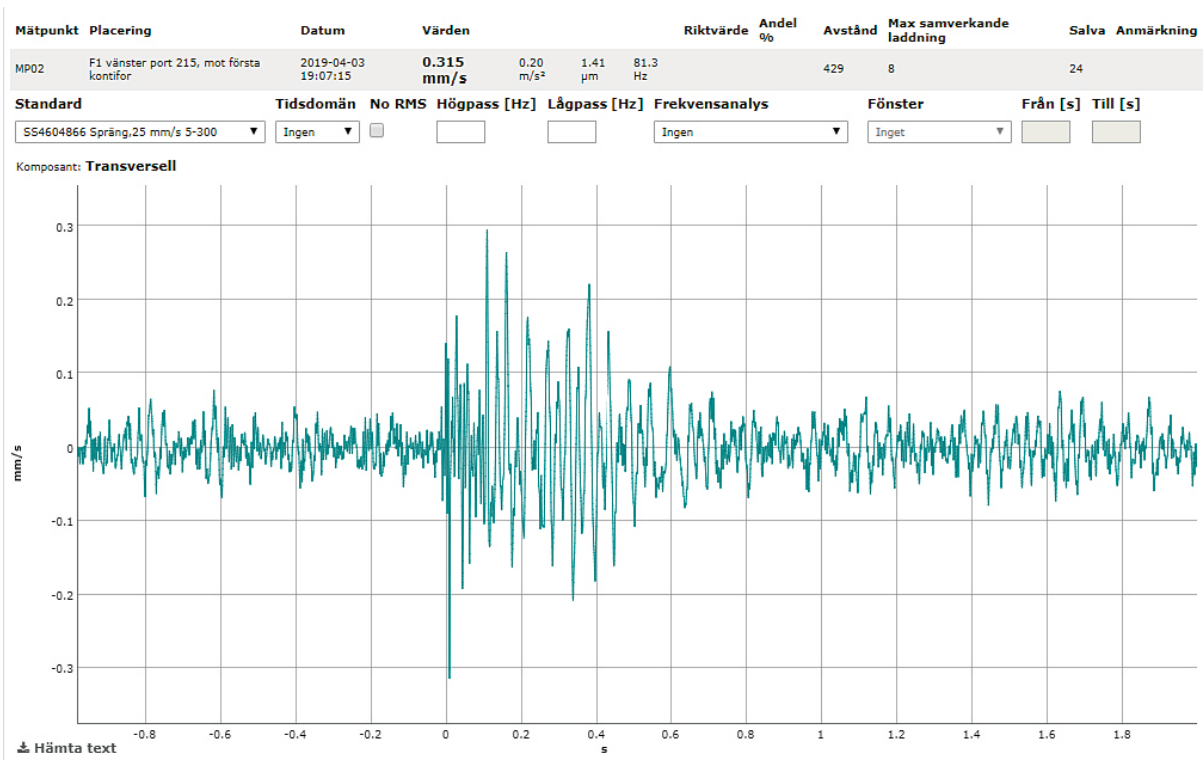
Tio provsprängningar och 13 mätpunkter ger teoretiskt 130 mätdata (datapunkter), i den utförda analysen är det dock 95 mätfall som använts (se figur 4-1). Orsaken till detta är att mätvärdet ibland ligger mycket nära brusnivå och därför inte använts, detta gäller dels när laddningsmängden varit liten och avståndet varit stort (ger mycket låga vibrationsnivåer) dels gäller det de mätare som monterats på F1 och F2 (reaktorhallarna) där störningarna varit förhållandevis stora vilket inneburit att bara de högsta vibrationerna kunnat användas (se exempel: figur 4-2).

I figur 4-1 i visas också vilka mätpunkter de olika mätvärdena kommer från. Det bör särskilt noteras att MP09 tydligt avviker från de andra, MP09 satt på en betongplatta vid PB8. Sannolikt underlagras denna betongplatta av mjuka jordarter, till skillnad från övriga mätpunkter som sitter på eller nära berg, vilket innebär att de höga frekvenserna filtreras bort. Detta syns tydligast när vi tittar på acceleration som i figur 4-1. I övrig analys har därför MP09 tagits bort.

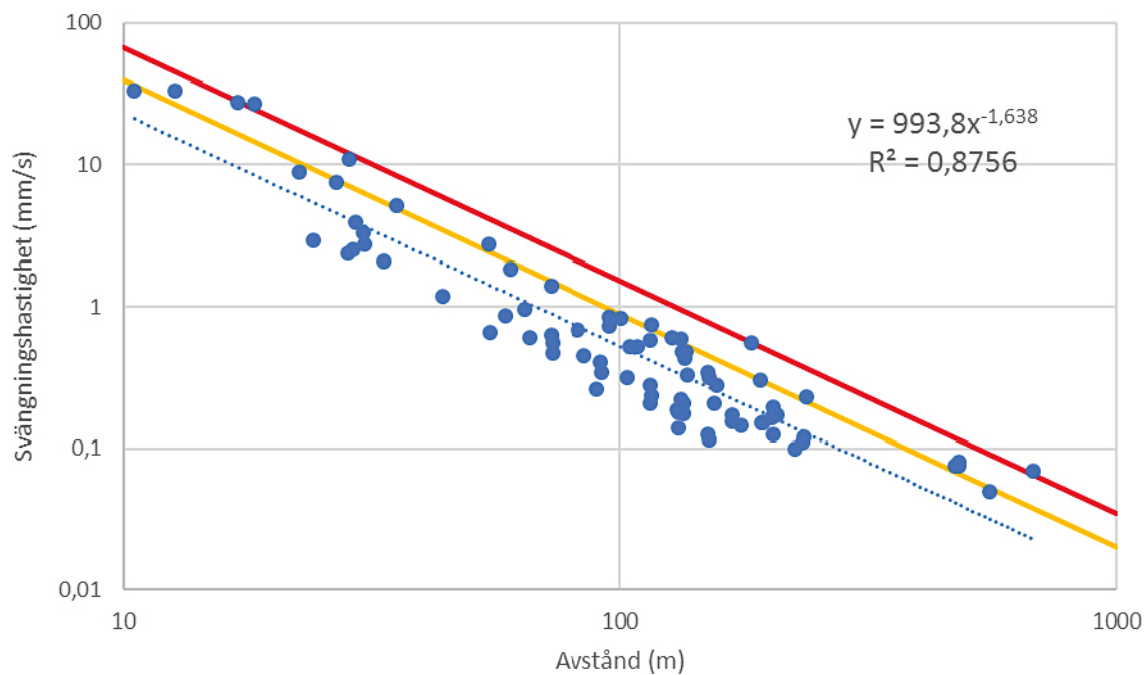
Resultaten i figur 4-3 och 4-4 ger mycket bra samband vilket är en förutsättning för den fortsatta analysen.



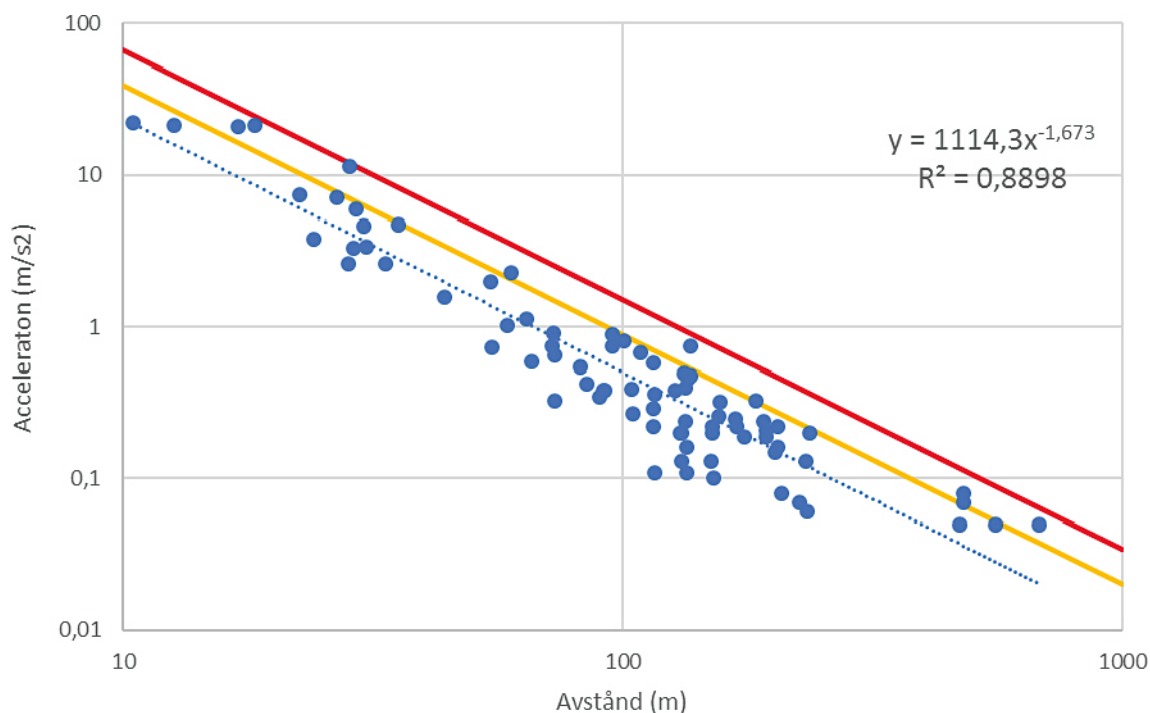
Figur 4-1. Samtliga använda datapunkter (accelerationsvärden) för analys. Punkterna är färgmarkerade efter vilken mätpunkt de tillhör. Noteras kan att MP09 ger betydligt lägre värden än övriga mätpunkter.



Figur 4-2. Exempel från salva 2:4 (KFM 18, skott 4) och mp 2 (F1), (mätning horisontellt, vinkelrät mot husvägg) här ligger bakgrundsvibrationernas svängningshastighet på ca 25 % av toppvärdet.



Figur 4-3. Regressionsanalys med avseende på svängningshastighet, blå streckad linje visar medelvärde, gul och röd linje motsvarar 1 respektive 2 standardavvikelser.



Figur 4-4. Regressionsanalys med avseende på acceleration blå streckad linje visar medelvärde, gul och röd linje motsvarar 1 respektive 2 standardavvikelser.

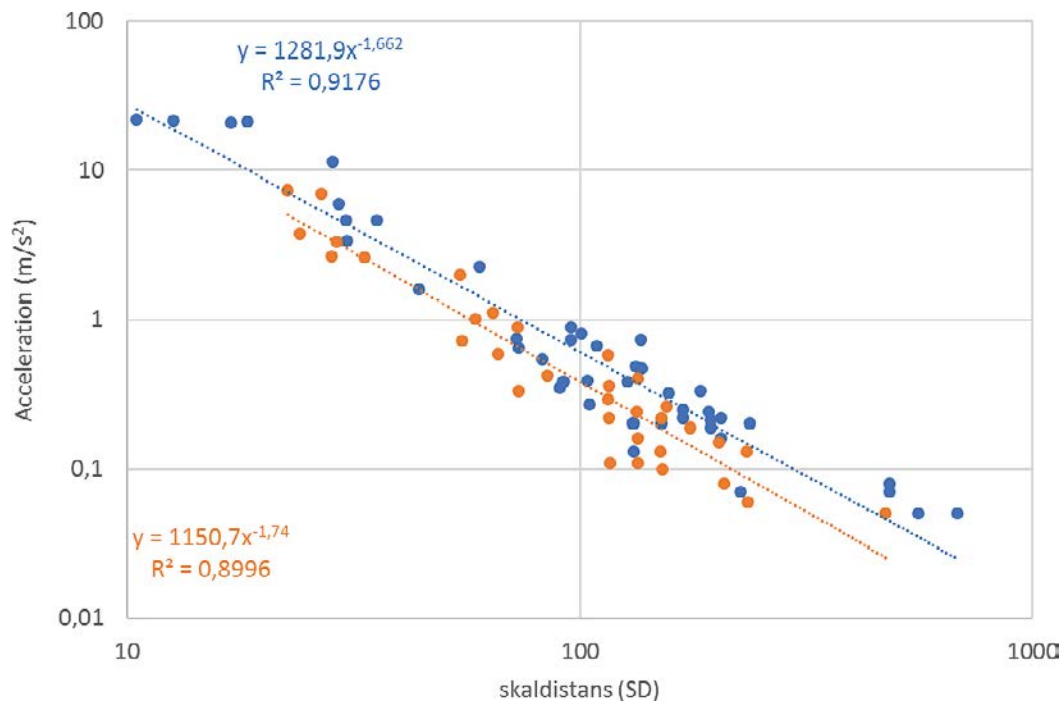
4.1 Frågeställningar

I slutet av kapitel 3 ställdes ett antal frågor som undersökts, resultaten är dock inte särskilt tydliga här. Det finns inget som indikerar att det är en skillnad på vibrationerna beroende på var i borrhålet (djupt eller ytligt) skottet skjuts.

Det finns inte heller något som indikerar att de placeringar av sprängämne där berget varit uppsprucket (via BIPS kamera) skulle ge upphov till förändrade vibrationsnivåer. En möjlighet är att den höga vattenytan (hålen var vattenfyllda vid samtliga detonationer) är orsaken. Sprickorna får möjligtvis en mindre betydelse när sprickorna är vattenfyllda vilket i så fall skulle ge en god överföring av energi trots stora sprickor. Det är även svårt att separera öppna respektive läkta sprickor vilket ger viss osäkerhet i analysen.

De olika mätpunkterna skiljer sig något i respons men inte särskilt mycket. Den punkten som avvikit (MP9) har exkluderats ur analysen (se figur 4-1).

Skotten i KFM20 har i snitt givit något högre vibrationsnivåer än de i KFM 18, se figur 4-5, orsaken till detta har inte kunnat utredas.



Figur 4-5. Jämförelse mellan sprängningar i de två borrhålen uppvisar något högre vibrationsnivåer (acceleration) från KFM 20 (blå punkter), jämfört med KFM 18 (orangea punkter).

5 Diskussion och felkällor

I det här projektet har vi insamlat data från givare på en mängd olika avstånd vilket innebär att vi i stor omfattning slipper att extrapolera för prognoserna. Det finns alltid risk för viss felskattning, detta eftersom man "trycker ihop" diagrammet i log-log skala kan små ändringar ge stora konsekvenser, särskilt om man extrapolerar mycket. Diagrammen i figur 4-3 och 4-5 uppvisar en god korrelation.

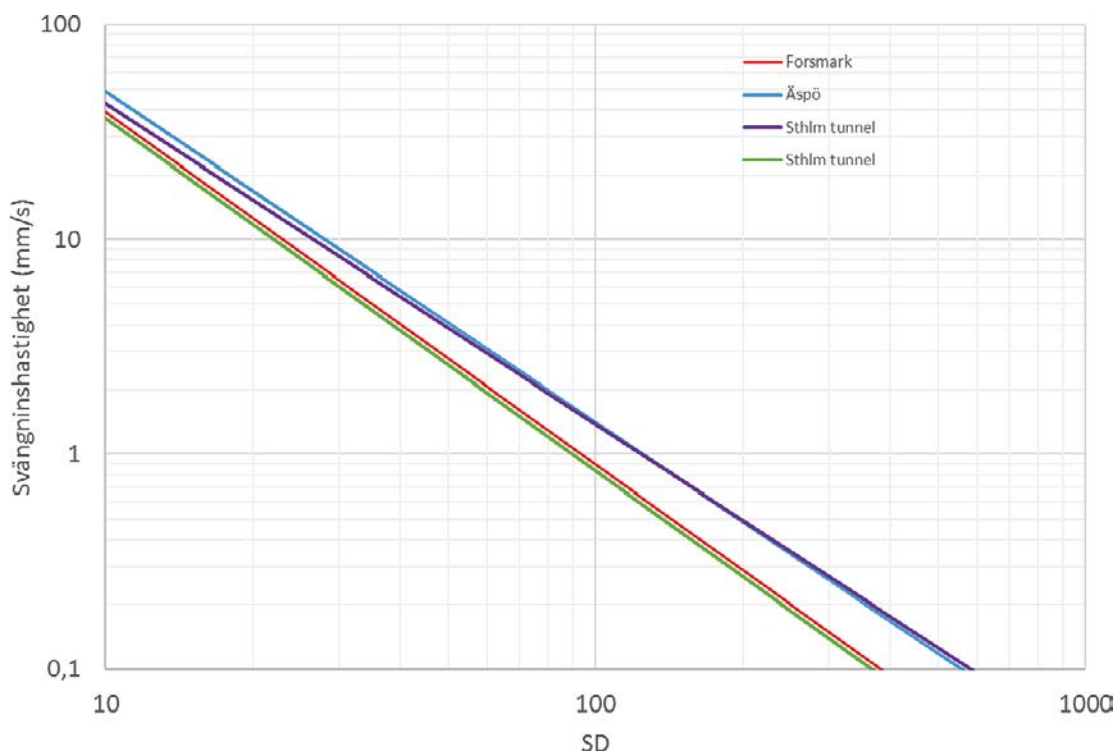
Osäkerhet vid sprängning:

- En osäkerhet är att sprängmedlet vid provsprängningen var ett NG-sprängämne. Vid tunneldrivingen används sannolikt emulsionssprängämne vilket har en lägre viktstyrka och kan ge något lägre vibrationsnivåer.
- Det motsatta gäller för vatten i hålen, samtliga skott sköts med vatten i hålen vilket ofta ger en något högre vibrationsnivå än vid "vanliga salvor".

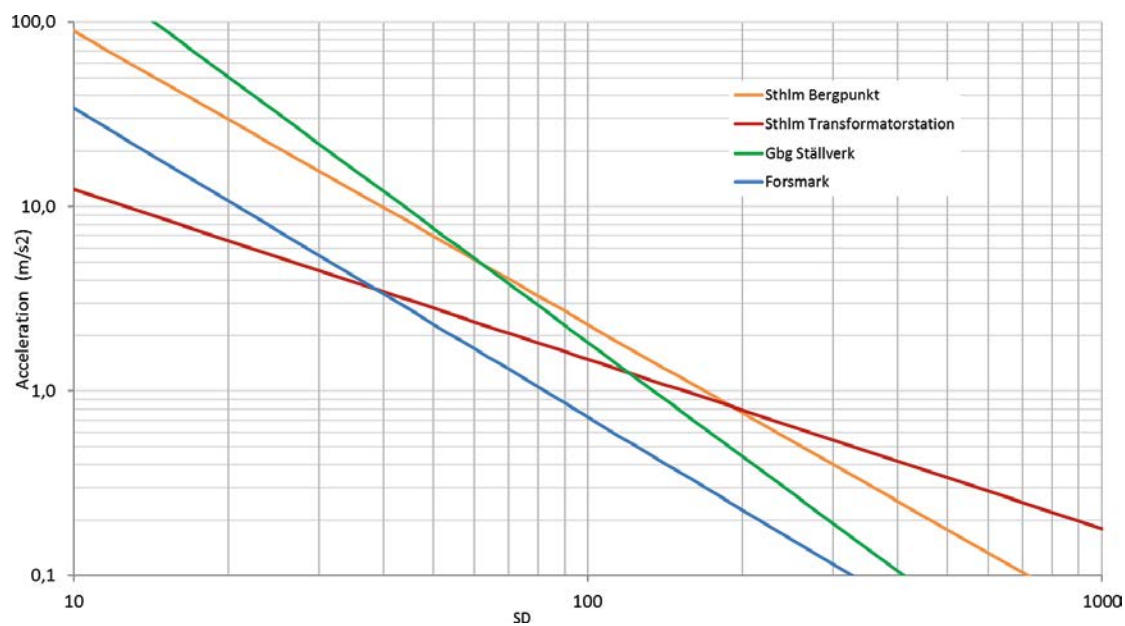
Ett sätt att undersöka om uppsatta vibrationssamband är realistiska är att jämföra med andra undersökningar såsom görs i figurerna 5-1 och 5-2. Noteras kan då att resultaten ligger klart inom vad som kan anses rimligt. Linjerna kommer i stor omfattning från opublicerade data varför referenser saknas, linjen för "Äspö" är tagen från Nyberg et al. (2008).

När det gäller vibrationsnivå är spridningen ganska liten mellan olika projekt medan spridningen för acceleration varierar mer. Orsaken till det senare kan vara flera, dels har antagligen geologin en större betydelse när vi tittat på acceleration, detta då höga frekvenser som har stor betydelse för accelerationsnivån filtreras bort i större omfattning av t ex sprickzoner.

Det ska dock noteras att fokus oftast är på svängningshastighet och att erfarenheten av accelerationsdata är begränsad, data från provsprängningen vid Forsmark är mycket bra när det gäller spridning i både laddning och avstånd.



Figur 5-1. Jämförelse mellan regressionslinjer från Forsmark (röd linje) och några andra projekt (svängningshastighet). Samtliga linjer representerar 84 % nivån (+1 standardavvikelse) för de olika projekten.



Figur 5-2. Jämförelse mellan regressionslinjer från Forsmark och några andra projekt (acceleration).
 Noteras kan att accelerationsvärdena från Forsmark ligger ganska lågt jämfört med andra projekt, en orsak till detta kan vara att till skillnad från de andra projekten är inte värdena från Forsmark extrapolerade, dvs accelerationsnivåer vid skaldistanser över 100 har inte mätts upp i de andra projekten.

Del 2

Laddkartor och indriftsanalys

6 Inledning

Utredningen har fokuserat på de delar av undermarksanläggningen som är dimensionerande för sprängarbete, detta på grund av anläggningens omfattning.

Det finns fortfarande vissa osäkerheter angående anläggningens utformning och i det ritningsmaterial vi fått tillgång till är exempelvis rampens utformning inte konsekvent, inte heller de schakt som ska byggas finns utmärkta i kartmaterialet.

För att ändå leverera ett användbart material har vi gjort 3 kartor som anger maximala laddningsmängder för:

1. Markytan kring påslag och över anläggning – denna karta visar maximala laddningar i ytan för påslagen, schakten samt eventuell sprängning för grundläggning av byggnader.
2. Maximala laddningar för början på rampen.
3. Maximala laddningsmängder för anläggningsnivån med fokus på centralområdet.

Beräkning har skett när det gäller anläggningsnivå för takhöjd, dvs bergrummen är något högre än tunnarna vilket ger något kortare avstånd.

7 Beräkningsgång

Den planerade berguttaget av ramp och bergrum har delats in i sektioner om 10 m vilka har koordinat-satts med x och z-koordinater i en linje (topp, mitt, botten (för profil). Totalt har 1 077 punkter på anläggningsnivå, 113 punkter i rampen samt 235 punkter i markyta beräknats med avseende på tillåtna laddningsmängder. För ramp och anläggningsnivå kan varje punkt ses i figurerna (8-2 och 8-3) medan beräkningarna för markytan har gjorts om till isolinjer där lämpliga laddningsmängder kan ses (figur 8-1).

För varje beräkningspunkt i berganläggningen har samverkande laddningsmängd beräknats mot samtliga ”fiktiva” mätpunkter i huvudsak kärnkraftsanläggningen och den bro som ligger som närmaste konstruktion till påslag. Det objekt som gav lägst beräknad maximalt tillåten samverkande laddningsmängd blir dimensionerande för den sektionen. I praktiken har detta alltid varit kärnkraftsanläggningen.

Beräkningarna för samverkande laddningsmängd har utförts med skallagsformeln.

Enligt (för accelerationsvärden):

$$a = A \left(\frac{r}{\sqrt{Q}} \right)^{-B} \quad (7-1)$$

Och max tillåten samverkande laddning bestäms då enligt:

$$Q_{max} = \left(\frac{R}{\left(\frac{a_{max}}{A} \right)^{\frac{1}{B}}} \right)^2 \quad (7-2)$$

För svängningshastighetsvillkor byts a (m/s^2) mot v (mm/s).

a_{max} = max tillåten accelerationsnivå (m/s^2)

v_{max} = max tillåten svängningshastighet (mm/s)

A = platskonstanter ($A_{98} = 2808$ (kärnkraftsanläggningen, acceleration), $A_{84} = 1695$ (övriga anläggningar, svängningshastighet)

B = platskonstanter ($B = -1,673$ (kärnkraftsanläggningen, acceleration), $B = -1,638$ (övriga anläggningar, svängningshastighet)

R = avstånd (m) mellan salva och mätpunkt

Q_{max} = max tillåten samverkande laddningsmängd (kg)

Det ska noteras att resultaten här bygger på data från provsprängningarna utan att ta hänsyn till att provsprängningarna bygger på ett skott åt gången medan en salva innehåller många skott. De resultat som redovisas här gäller för laddning i ett hål och förutsätter att salvorna är designade så att minimal samverkan sker mellan olika laddningar. Om man designar en salva på fel sätt kan följaktligen en salva ge betydligt högre vibrationer än vad som prognostiseras här medan en väl optimerad salva förväntas ge vibrationer i nivå med de prognoser som görs här.

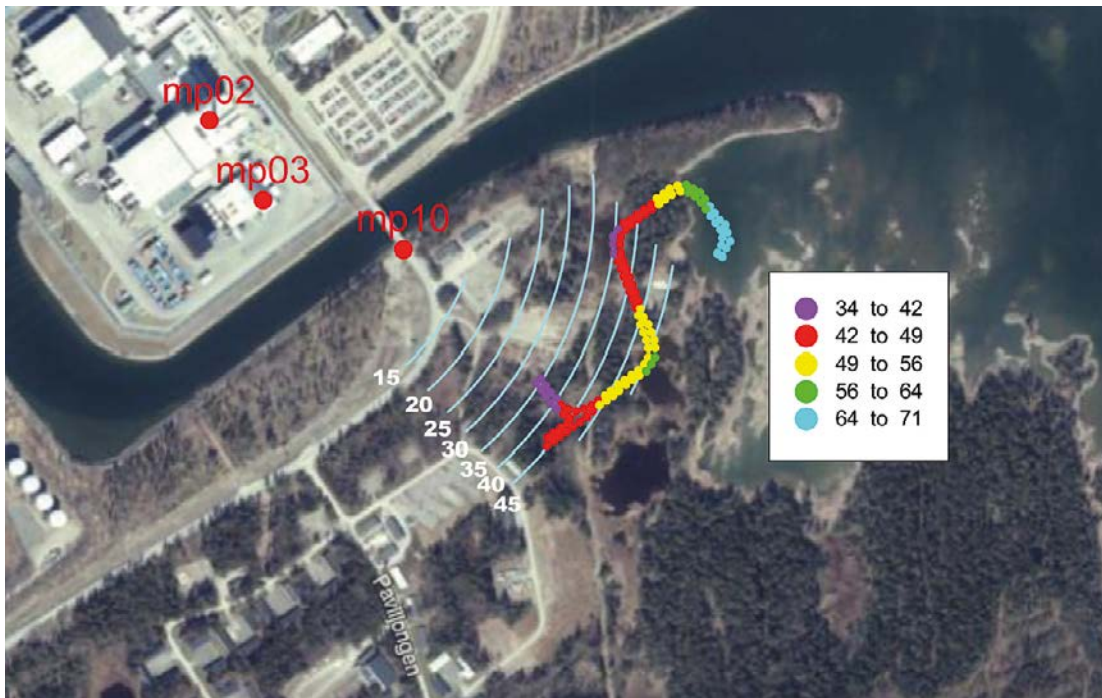
Beräkningarna har utförts till större laddningsmängder än vad som sannolikt kommer att användas. Normalt används vid tunnelsprängning och maximal indrift (antagen till ca 6 m) under 10 kg per hål. I andra former av sprängning (pallsprängning både ovan och under jord) används dock betydligt högre laddningsmängd per hål. I analysen redovisas tillåtna laddningsmängder upp till 200 kg/hål, detta trots att detta aldrig kommer att bli aktuellt vid byggnation utan snarast för att peka på de marginaler som finns ut vibrationssynpunkt.

8 Resultat indriftsanalys

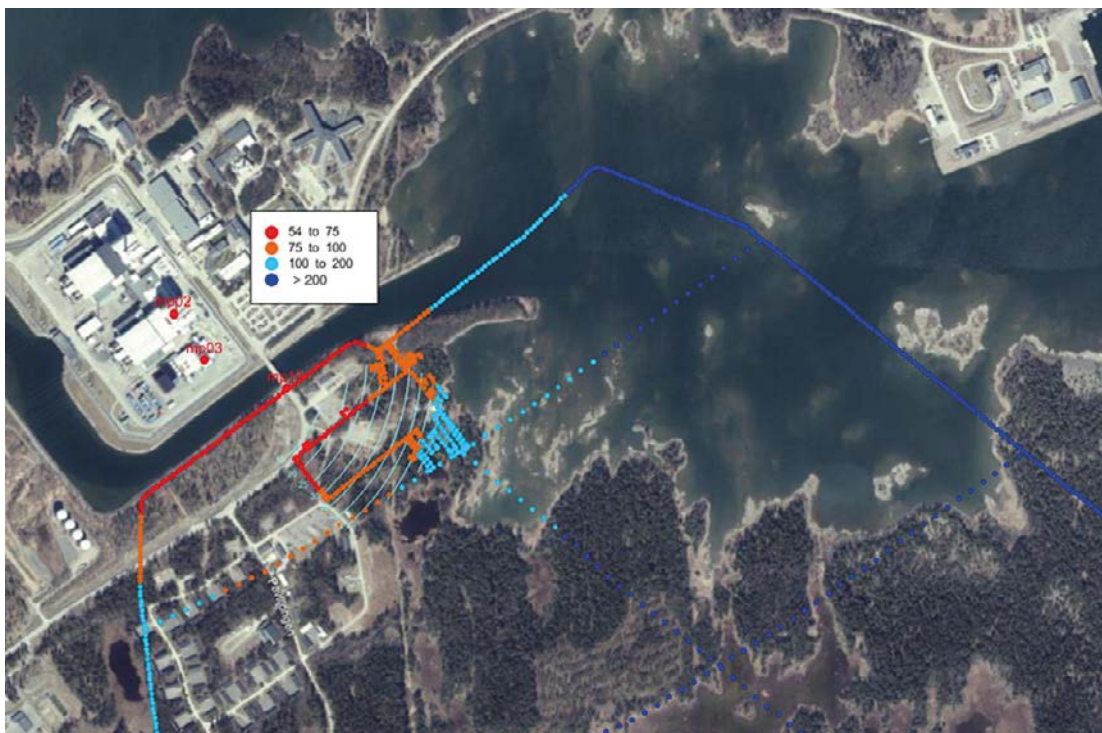
Vid beräkningarna har en 98 % (2 standardavvikelser) säkerhet mot kärnkraftverkets installationer använts medan vi för övriga objekt använt en säkerhetsmarginal på 84 % (en standardavvikelse). Konsekvensen av detta är att i princip all sprängning kommer att dimensioneras av kärnkraftverket. Konsekvenserna för sprängningarna är dock förhållandevis små, dvs ingen eller mycket liten påverkan på tillåtna laddningsmängder. Nedan redovisas 3 kartor för maximala samverkande laddningsmängder (figur 8-1 till 8-3). I figur 8-1 redovisas maximala laddningsmängder på markytan, dvs område för påslag för tunnel, schakt samt övriga anläggningsarbeten, redovisade laddningar varierar från ca 15 kg närmast kärnkraftsanläggningen upp till över 50 kg i områdets borte kant. I figur 8-2 redovisas maximala samverkande laddningar för den första dalen av rampen, Här varierar laddningarna från 34 kg upp till ca 70 kg, detta ska jämföras med de förväntade ca 8 kg för att driva tunneln. Den sista kartan (figur 8-2) visar tillåtna samverkande laddningsmängder på anläggningsnivå dessa är från 54 kg och uppåt.



Figur 8-1. Karta 1, prognostiserade maximala tillåtna laddningsmängder, kg vid markytan, lämplig vid planering av tunnelpåslag, schakt samt eventuell sprängning för husgrunder.



Figur 8-2. Karta 2, maximala tillåtna laddningar för rampens översta del, notera att laddningsmängderna är så stora att det knappast är några problem att skjuta rampen. Förklaringen visar maximal samverkande laddning i kg. Det ska dock noteras att om man planerar att skjuta konturen momentant så kan det finnas vissa begränsningar (se kapitel 9).



Figur 8-3. Karta 3, maximala tillåtna laddningar på anläggningsnivå. Noteras kan att laddningar kring 50 kg aldrig kommer att vara något problem. Det vill säga även om man väljer att pallspränga i vissa områden i anläggningen kommer inte riktvärdena på FKA att vara något problem. Förklaringen visar maximal samverkande laddning i kg.

9 Modellering av salvor

Syftet med att modellera tunnelsalvor har varit en diskussion om möjligheten att momentant skjuta konturen. Orsaken till detta är att skadezonen (sprickbildning in i kvarstående berg) kan minimeras om konturen skjuts momentant eftersom sprickor då på grund av spänningsfältet bildas i huvudsak mellan hålen i konturen.

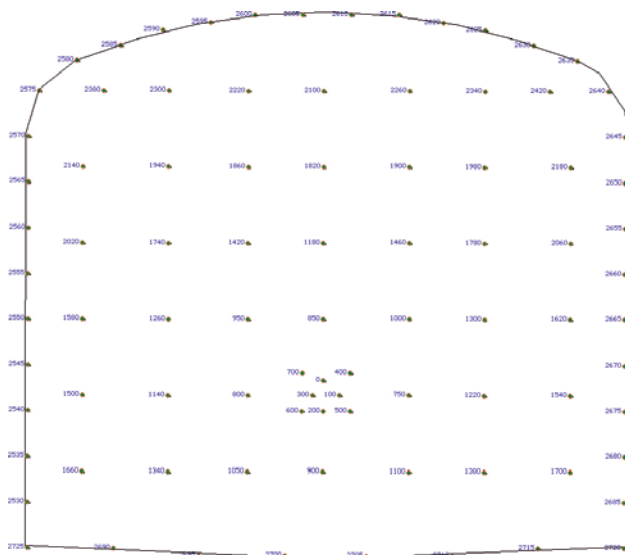
För att testa detta gjordes en enklare borrhplan efter den tunnelprofil som fanns i det levererade kart-materialet (figur 9-1). I modellen antogs att borrhålen var 6 m djupa, \varnothing 48 mm och alla hål antogs fulladdade (8 kg) förutom konturhålen som laddades med kontursprängämne (0,35 kg/m).

För testet antogs att elektroniksprängkapslar med en fördröjning mellan hålen på 100 ms i kilen, 40 ms för strossning samt 10, 5, 1 respektive 0 ms mellan konturhålen.

För varje skott i den modellerade sprängplanen beräknas ett kurvförlopp. Detta kurvförlopp hämtas från de kurvförlopp som registrerats vid provsprängningen. En viss randomisering i kurvformen används eftersom geologiska variationer innebär att kurvförloppet aldrig ser exakt likadant ut. Toppvärdet på respektive kurvförlopp bestäms med den tidigare beräknade skallagekvationen (kapitel 7) med avseende på varje håls laddning och avstånd till beräknad mätpunkt. Vibrationsnivån beräknas sedan via superposition, den modell som används här är ursprungligen utvecklad av Blair (2004) och tar även hänsyn till tid mellan laddningarna, ”avskärmning” och gånghastigheten (p-våg) i berget.

Ett problem som uppstod när analysen utfördes var de bakgrundsvibrationer som fanns kring kärnkraft-verken, både mätaren F1 (MP 1) och F2 (MP 2) visade störningsnivåer som omöjliggjorde viss analys av kurvförloppen. När salvor har modellerats har därför data från mätpunkten vid ”F avfallsbyggnad” (MP 3) använts.

En parameter som inte går att bestämma vid sprängning av enkelskott är den sprängskadeparameter som ingår i modellen (avskärmning), detta har betydelse för hur skadan i berg vid närliggande detonationer påverkar vibrationen från en laddning, det bör därför noteras att det finns osäkerheter i modellen och att resultatet framförallt ska ses relativt det vill säga hur stor betydelsen av fördröjning är.



Figur 9-1. Modellerad sprängplan.

9.1 Resultat

Fyra olika scenarier modellerades, se tabell 9-1. positionen är den närmaste delen av rampen se figur 9-2.

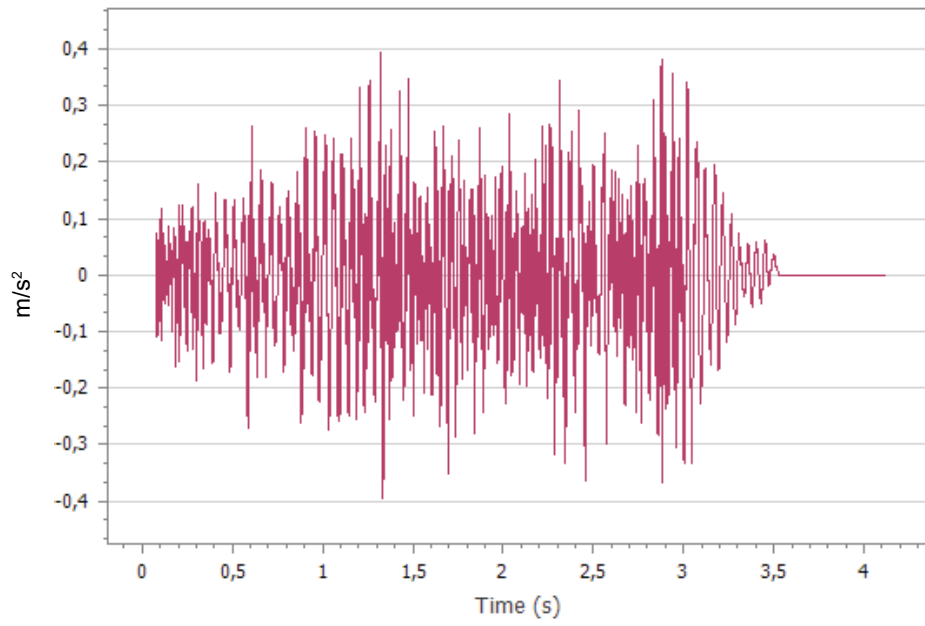
Tabell 9-1. Resultat från modellering.

Fördröjning kontur (ms)	Medelvärde (m/s ²)	Standardavvikelse
10	0,45	0,07
5	0,46	0,08
1	0,5	0,1
0	0,71	0,1

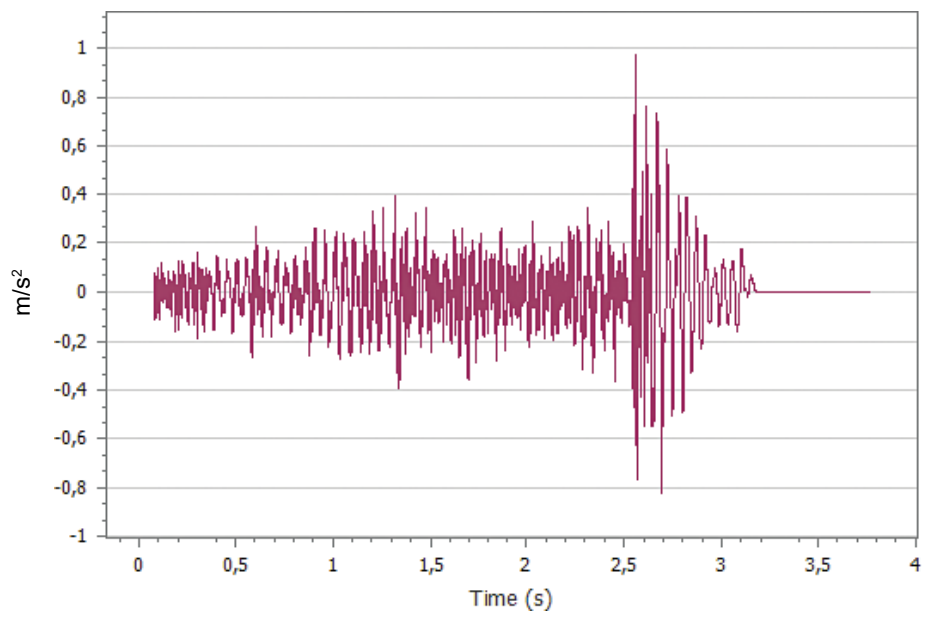
Slutsatsen blir följaktligen att även om vibrationsnivåerna kommer att stiga vid momentan upptändning är ett överskridande av tillåten accelerationsnivå (2,5 m/s²) osannolikt. Siffrorna i tabellen kan jämföras med ett förväntat medelvärde för regressionsanalysen på 0,41 m/s² (98 % sannolikhet att understiga 1 m/s²)



Figur 9-2. Plats för den modellerade salvan (röd pil). Analys har sedan gjorts mot mp03.



Figur 9-3. Exempel kurvförlopp (vertikal riktning), 10 ms fördröjning.



Figur 9-4. Exempel kurvförlopp (vertikal riktning), momentan upptändning i konturen.

10 Slutsatser

Resultatet från undersökningen indikerar att vibrationer från sprängning inte kommer att vara ett stort problem vid byggnation av slutförvaret. Kärnkraftsanläggningen kommer på grund av vibrationsrestriktioner att vara det som dimensionerar arbetena utifrån ett vibrationsperspektiv men tack vare det relativt stora avståndet kommer det inte vara några problem att innehålla vibrationsrestriktionerna.

Inte heller om man skulle välja att skjuta konturen momentant eller vilja skjuta pallsalvor på anläggningsnivå förväntas det vara problem att klara de $2,5 \text{ m/s}^2$ som är satta på kärnkraftverket.

Referenser

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

Blair D P, 2004. Charge weight scaling laws and the superposition of blast vibration waves. *Fragblast, The International Journal for Blasting and Fragmentation* 8, 221–239.

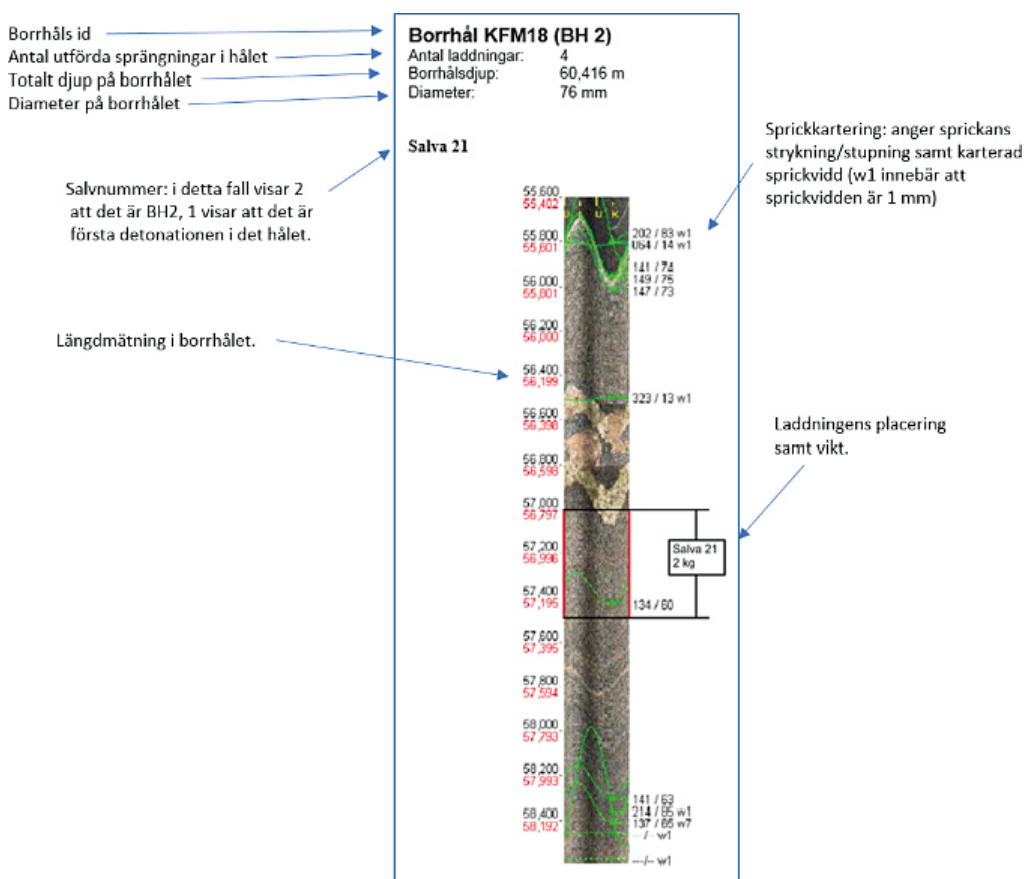
Nyberg U, Harefjord L, Bergman B, Christiansson R, 2008. Äspö Hard Rock Laboratory. Monitoring the vibrations during blasting of the TASQ tunnel. SKB R-05-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sandén T, Nilsson U, Johannesson L-E, Hagman P, Nilsson G, 2018. Sealing of investigation boreholes. Full scale field test and large-scale laboratory tests. SKB TR-18-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Laddningsplacering i borrhålen

Bilagan visar positionerna för laddningarna i respektive borrhål, som underlag har den BIPS kartering som tidigare utförts av borrhålen använts (Geosigma, filnamn ”BIPS-bild KFM18.pdf” och ”KFM20_boremap.pdf”).

Bilderna ska tolkas enligt nedan:

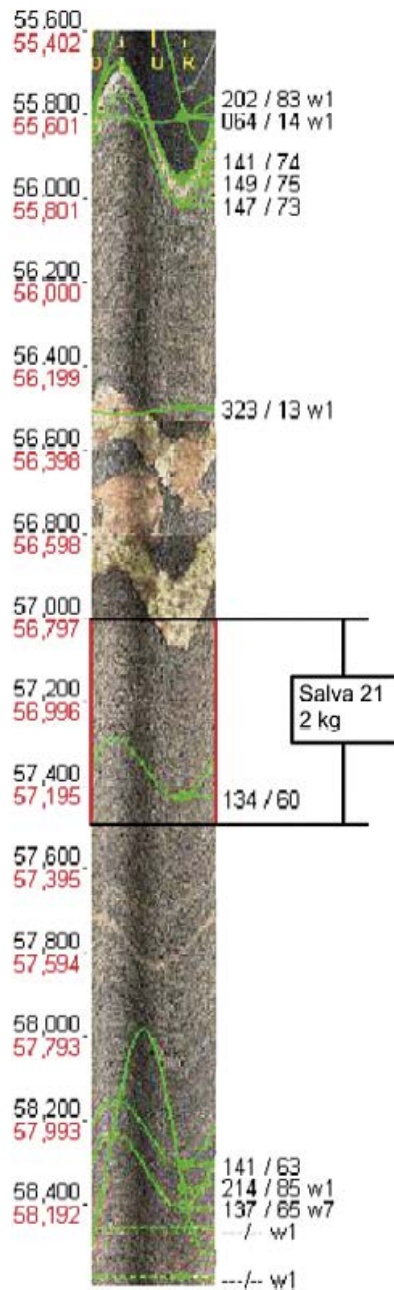


Borrhålsbild och laddningarnas placering

Borrhål KFM18 (BH 2)

Antal laddningar: 4
 Borrhålsdjup: 60,416 m
 Diameter: 76 mm

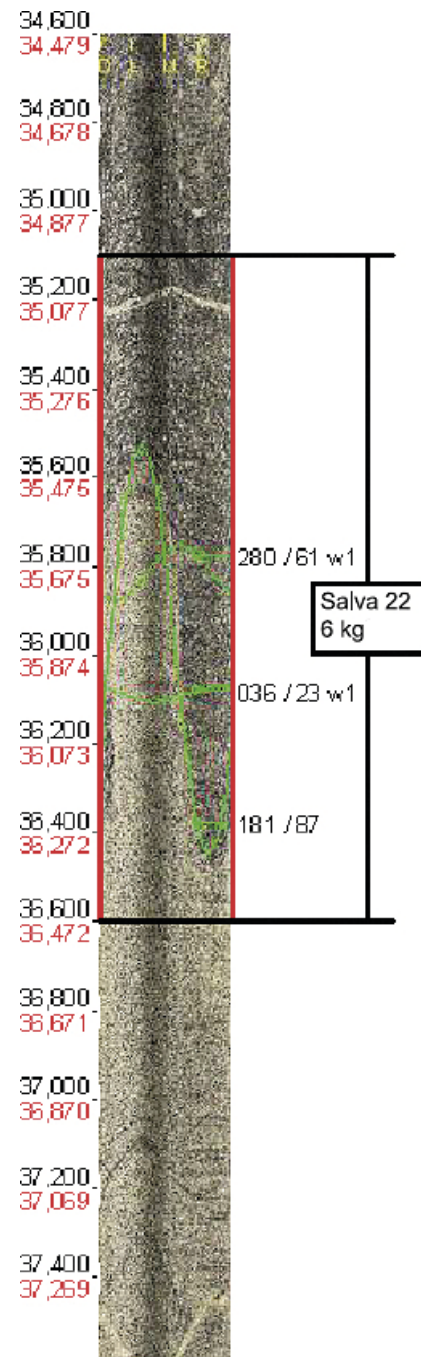
Salva 21



Borrhål KFM18 (BH 2)

Antal laddningar: 4
 Borrhålsdjup: 60,416 m
 Diameter: 76 mm

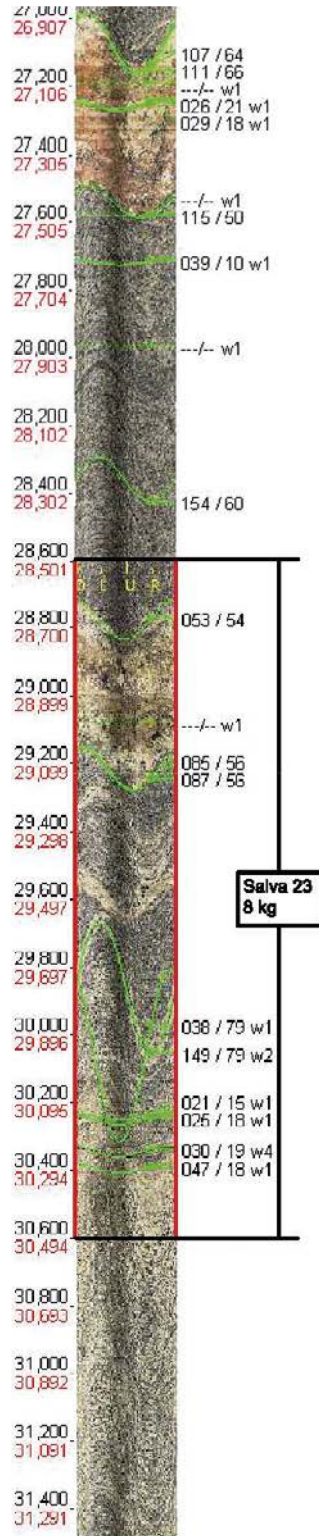
Salva 22



Borrhål KFM18 (BH 2)

Antal laddningar: 4
Borrhålsdjup: 60,416 m
Diameter: 76 mm

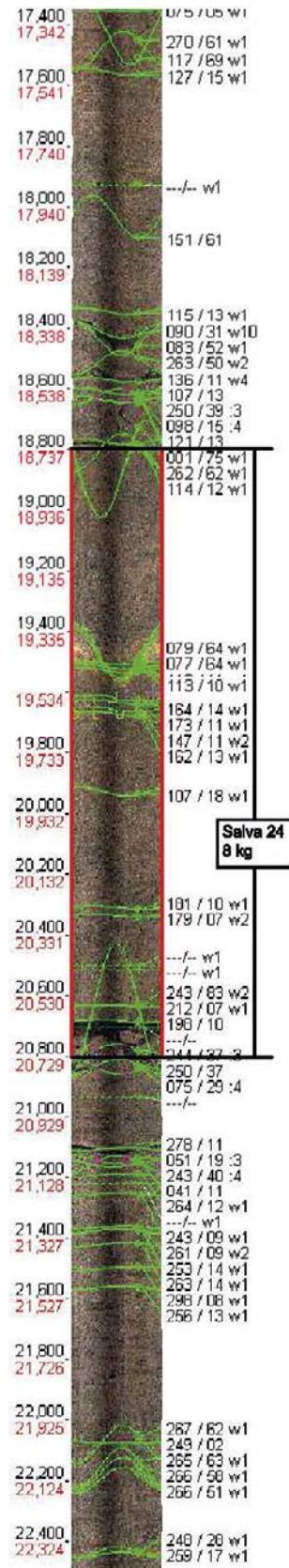
Salva 23



Borrhål KFM18 (BH 2)

Antal laddningar: 4
Borrhålsdjup: 60,416 m
Diameter: 76 mm

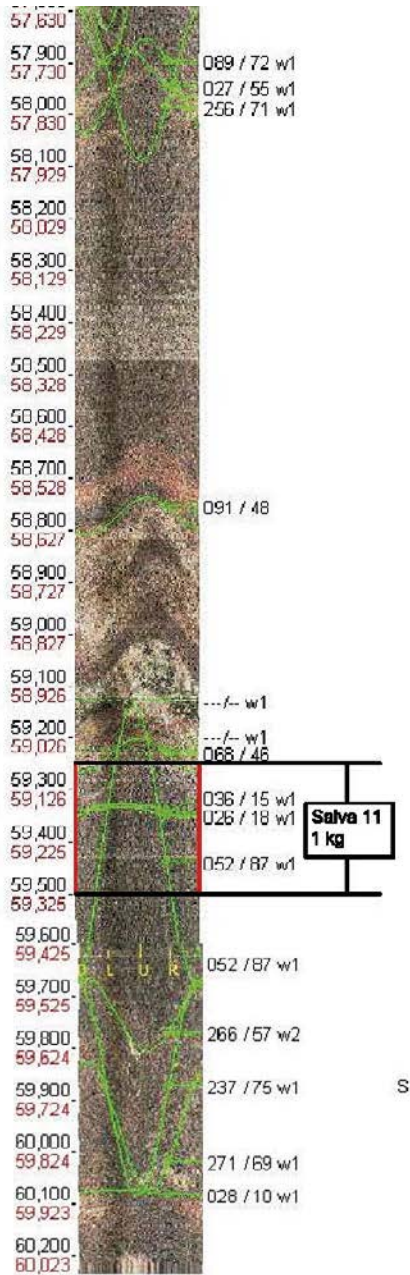
Salva 24



Borrhål KFM20 (BH 1)

Antal laddningar: 6
 Borrhålsdjup: 60,288 m
 Diameter: 76 mm

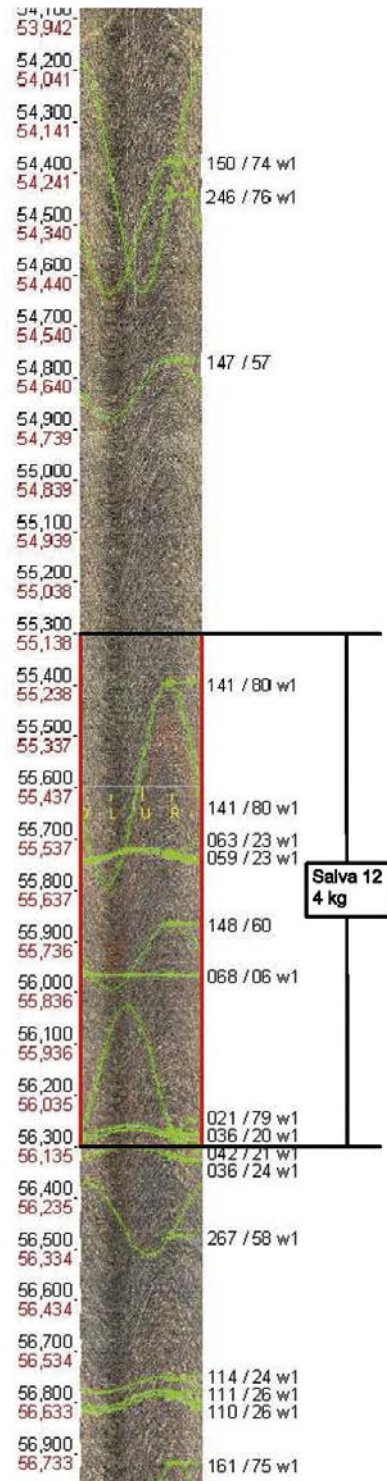
Salva 11



Borrhål KFM20 (BH 1)

Antal laddningar: 6
 Borrhålsdjup: 60,288 m
 Diameter: 76 mm

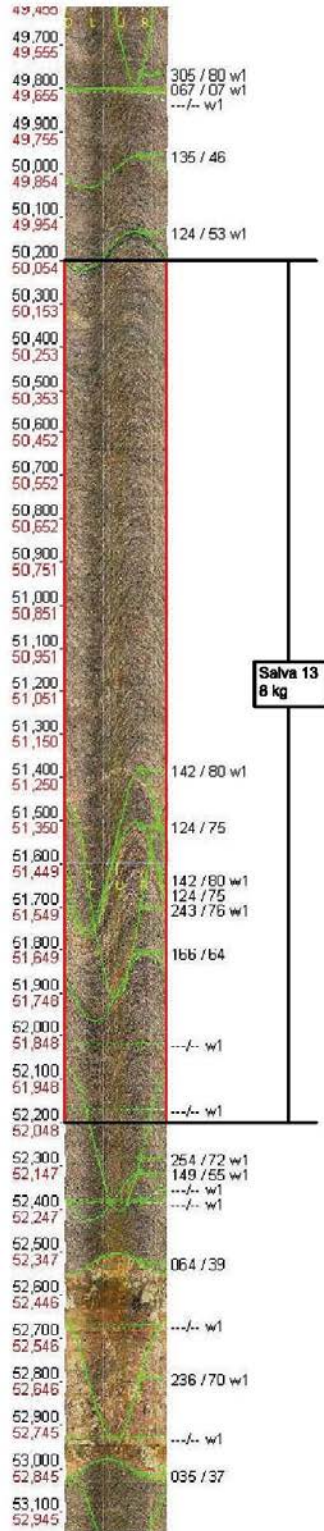
Salva 12



Borrhål KFM20 (BH 1)

Antal laddningar: 6
Borrhålsdjup: 60,288 m
Diameter: 76 mm

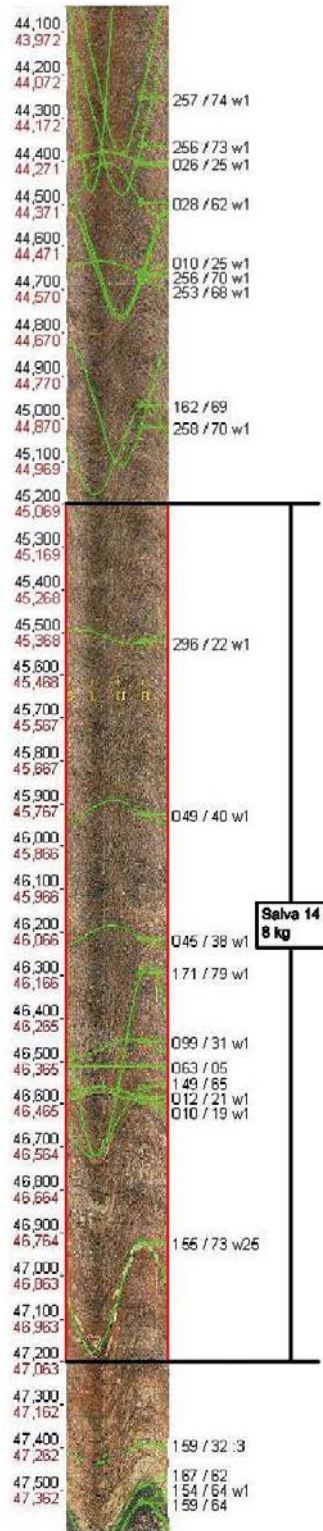
Salva 13



Borrhål KFM20 (BH 1)

Antal laddningar: 6
Borrhålsdjup: 60,288 m
Diameter: 76 mm

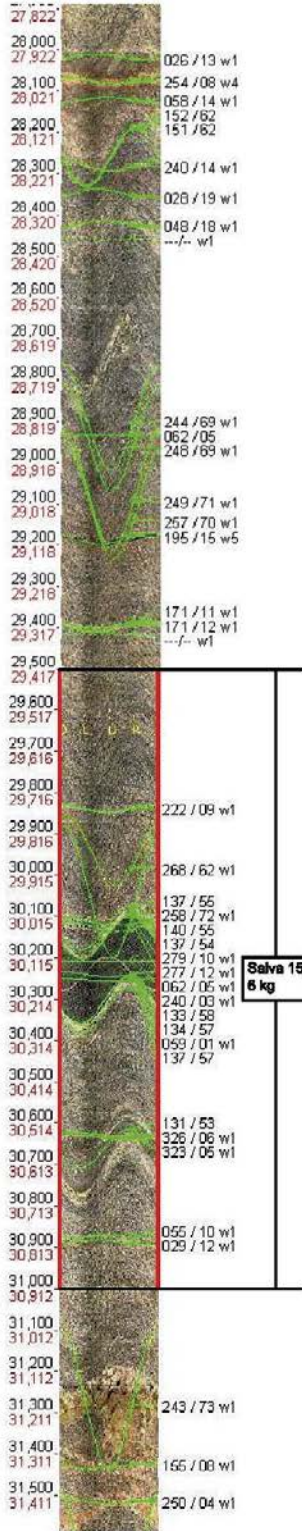
Salva 14



Borrhål KFM20 (BH 1)

Antal laddningar: 6
 Borrhålsdjup: 60,288 m
 Diameter: 76 mm

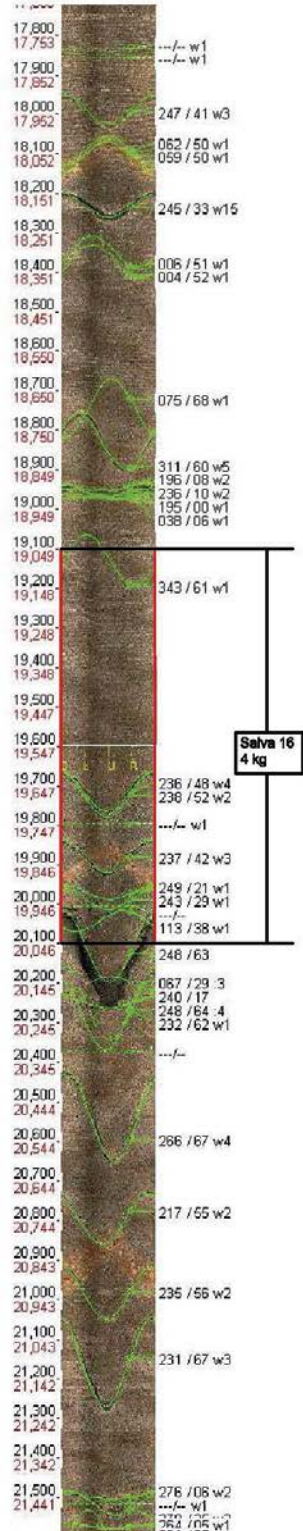
Salva 15



Borrhål KFM20 (BH 1)

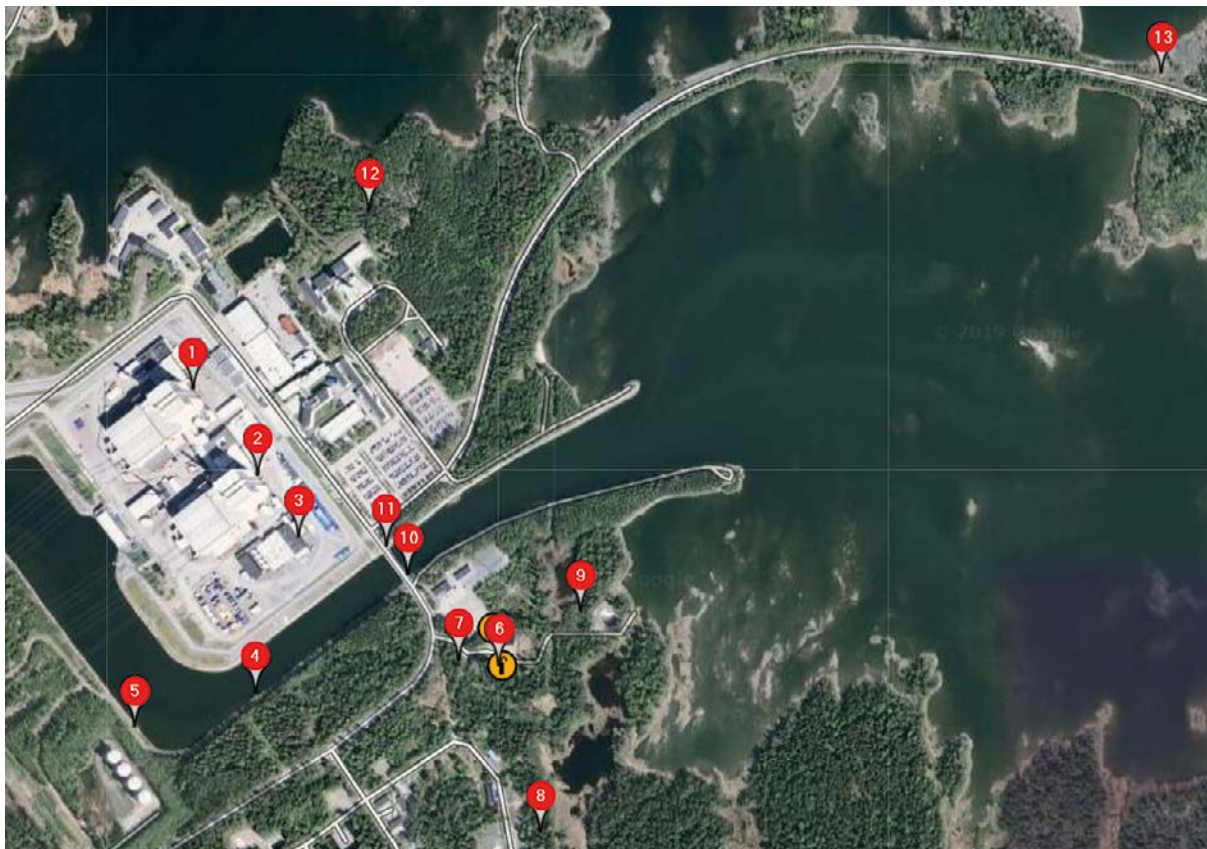
Antal laddningar: 6
 Borrhålsdjup: 60,288 m
 Diameter: 76 mm

Salva 16



Mätpunkter

Inför provsprängningarna har 12 mätpunkter placerats ut i omgivningen kring borrhålen där sprängning utförts. De är fördelade på olika avstånd från borrhålen samt placerade både på både byggnader och på berghällar.



Figur B2-1. Mätpunktsplaceringar som numrerats löpande.

MP01

Placering F2 vänster om port 215, mot första kontrefor. Monterad i byggnadsgrunden.

Avstånd KFM20 634 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 584 m (horisontellt).



MP02

Placering F1 vänster om port 115, mot första kontrefor. Monterad i byggnadsgrunden.

Avstånd KFM20 478 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 430 m (horisontellt).

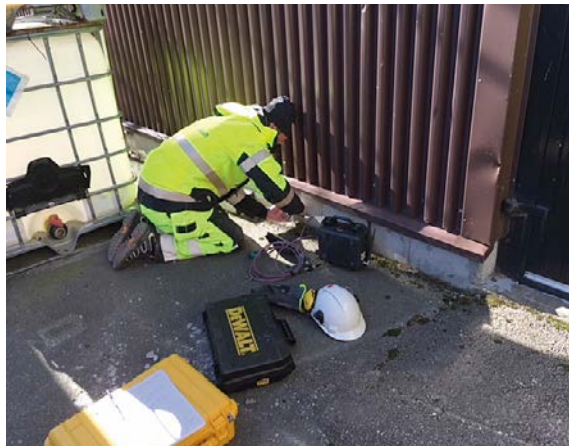


MP03

Placering F Avfallsbyggnad vänster om port 164. Monterad i byggnadsgrunden.

Avstånd KFM20 364 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 321 m (horisontellt).



MP04

Placering Vid kanalen närmast vägbron. Monterad på berghäll.

Avstånd KFM20 383 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 379 m (horisontellt).



MP05

Placering Vid kanalen mot fotogentankarna. Monterad på berghäll.

Avstånd KFM20 575 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 572 m (horisontellt).



MP06

Placering Vid borrhål KFM20. Monterad på berghäll.

Avstånd KFM20 7 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 62 m (horisontellt).



MP07

Placering Vid vägkorsningen mellan borrhålen, monterad på berghäll.

Avstånd KFM20 68 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 74 m (horisontellt).



MP08

Placering Vid borrhålsgeofonerna. Monterad på berghäll.

Avstånd KFM20 265 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 325 m (horisontellt).



MP09

Placering Betongplatta nära BP8. Monterad i betongplattan.

Avstånd KFM20 147 m (horisontellt)

Avstånd KFM18 140 m (horisontellt)



MP10

Placering Brostöd på prov-sprängningssidan.

Avstånd KFM20 200 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 152 m (horisontellt).



MP11

Placering Brostöd, på FKA sidan.

Avstånd KFM20 255 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 205 m (horisontellt).



MP12

Placering Vid Igelgrundet. Monterad på berghäll.

Avstånd KFM20 725 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 664 m (horisontellt).



MP13

Placering Vid SFR. Monterad på berghäll.

Avstånd KFM20 1 365 m (horisontellt).

Avstånd KFM18 1 339 m (horisontellt).



Data i tabellform

MP	Tid	Salva nr	Q kg	Avstånd m	Vertikal				Longitudinell				Transversell				Vektor max* mm/s
					mm/s	m/s ²	um	Hz	mm/s	m/s ²	um	Hz	mm/s	m/s ²	um	Hz	
MP01	14:49:49	13	8	640	0,065	0,07	0,29	150	0,045	0,03	0,3	54,9	0,1	0,05	0,55	31,3	0,1
MP01	19:07:15	24	8	589	0,17	0,08	0,86	59,2	0,115	0,06	0,78	25	0,15	0,07	0,68	39,2	0,19
MP02	14:49:50	13	8	478	0,155	0,22	0,32	190	0,085	0,1	0,27	38,6	0,125	0,19	0,47	222	0,17
MP02	15:31:35	22	6	430	0,145	0,19	0,25	80,9	0,06	0,08	0,27	138	0,14	0,13	0,52	114	0,17
MP02	16:34:00	14	8	477	0,17	0,25	0,27	137	0,08	0,11	0,3	174	0,08	0,11	0,26	246	0,2
MP02	16:40:43	23	8	430	0,11	0,1	0,27	69,2	0,055	0,03	0,28	75,9	0,115	0,07	0,49	52	0,12
MP02	19:07:15	24	8	429	0,28	0,22	1,44	34,7	0,2	0,08	1,12	26,4	0,315	0,2	1,41	81,3	0,32
MP02	19:30:40	15	6	476	0,145	0,19	0,51	74,8	0,075	0,07	0,35	103	0,15	0,15	0,56	30,1	
MP02	20:24:56	16	4	475	0,19	0,2	0,71	75,9	0,1	0,07	0,4	124	0,23	0,19	0,71	134	0,24
MP03	14:49:49	13	8	372	0,075	0,08	0,56	30,7	0,05	0,04	0,56	148	0,18	0,13	0,43	103	0,19
MP03	15:31:35	22	6	329	0,095	0,07	0,65	23,5	0,05	0,04	0,43	139	0,205	0,11	0,44	87,6	0,2
MP03	16:34:00	14	8	372	0,08	0,09	0,51	46,2	0,06	0,05	0,46	135	0,14	0,2	0,76	221	
MP03	16:40:43	23	8	329	0,1	0,04	0,71	22,1	0,05	0,03	0,47	13,3	0,235	0,11	0,48	81	0,23
MP03	19:07:15	24	8	328	0,545	0,1	4,41	20	0,27	0,08	2,88	14,1	0,74	0,36	2,56	66,7	0,74
MP03	19:30:39	15	6	370	0,155	0,06	1,12	19,9	0,065	0,05	0,73	12,3	0,345	0,2	0,76	91,9	0,34
MP03	20:24:56	16	4	369	0,215	0,06	1,59	23,6	0,115	0,06	1,05	13,7	0,56	0,33	1,36	91,6	0,56
MP04	12:35:42	12	4	388	0,15	0,21	0,22	44,6	0,05	0,07	0,2	51,1	0,05	0,06	0,22	58,2	0,15
MP04	14:49:50	13	8	387	0,33	0,47	0,48	171	0,135	0,13	0,67	37,9	0,125	0,11	0,48	36,3	0,34
MP04	15:31:35	22	6	381	0,205	0,26	0,31	13,4	0,09	0,11	0,35	43,9	0,075	0,1	0,32	65,6	0,2
MP04	16:34:00	14	8	386	0,48	0,74	0,69	64,8	0,145	0,27	0,49	309	0,18	0,24	0,71	63,5	0,49
MP04	16:40:43	23	8	380	0,175	0,16	0,33	19,3	0,105	0,07	0,44	43,2	0,09	0,05	0,44	62,5	0,17
MP04	19:07:15	24	8	379	0,48	0,4	1,99	89,7	0,365	0,13	2,14	41,5	0,41	0,13	3,11	23,6	0,51

* Maximal vektorsumma under uppmätt kurförlopp dvs: $\max(\sqrt{(v_v(t)^2+v_l(t)^2+v_r(t)^2}))$.

MP	Tid	Salva nr	Q kg	Avstånd m	Vertikal mätriktning				Longitudinell mätriktning				Transversell mätriktning				Vektor max* mm/s
					mm/s	m/s ²	um	Hz	mm/s	m/s ²	um	Hz	mm/s	m/s ²	um	Hz	
MP04	19:30:40	15	6	385	0,275	0,32	0,59	138	0,17	0,06	0,82	44,6	0,215	0,08	1,51	23,7	0,27
MP04	20:24:56	16	4	384	0,305	0,24	0,93	93,2	0,255	0,08	1,14	42,6	0,285	0,1	2	23,5	0,33
MP05	14:49:49	13	8	578	0,125	0,16	0,25	82,9	0,04	0,05	0,22	214	0,06	0,06	0,23	45,3	0,12
MP05	16:33:59	14	8	578	0,155	0,22	0,26	106	0,05	0,07	0,16	222	0,195	0,13	0,57	96,7	0,16
MP05	19:07:15	24	8	573	0,165	0,15	1,32	105	0,135	0,04	1,12	22,3	0,12	0,06	0,77	26,9	0,21
MP06	10:49:29	11	1	60	1,86	2,27	2,56	176	0,38	0,65	5,82	180	0,575	1,11	1,66	144	1,87
MP06	11:51:35	21	2	83	0,86	1,02	1,28	115	0,25	0,24	0,52	168	0,225	0,39	0,69	188	0,87
MP06	12:35:41	12	4	57	10,9	11,4	16,2	145	2,29	2,55	7,24	90	2,82	5,05	3,2	154	10,76
MP06	14:49:50	13	8	52	27,2	21,4	45,8	124	5,48	4,97	15,4	93,3	7,02	11,1	9,49	152	26,63
MP06	15:31:35	22	6	71	2,51	3,32	5,5	122	1,44	0,9	3,69	61,4	0,675	1,21	2,02	136	2,52
MP06	16:34:00	14	8	48	27,9	20,9	47,9	120	6,62	6,41	20,8	106	7,8	11,6	11,3	144	28,13
MP06	16:40:43	23	8	68	2,9	3,78	6,79	116	1,68	1,13	4,72	53,3	1,26	1,23	3,5	73,6	2,92
MP06	19:07:15	24	8	64	8,91	7,39	38,4	76,3	6,35	2,38	25,8	45,9	5,28	2,1	19,8	48,6	9,22
MP06	19:30:40	15	6	31	33,5	21,5	129	46,5	26,2	12,8	111	34,4	13,5	12,9	47,2	136	34,91
MP06	20:24:56	16	4	21	32,9	22,1	199	77,1	33,7	16	217	27,5	25,9	22	67,3	109	46,34
MP07	10:49:29	11	1	90	0,26	0,35	0,34	173	0,105	0,15	0,2	265	0,26	0,35	0,37	235	0,32
MP07	11:51:35	21	2	93	0,6	0,59	0,9	168	0,285	0,36	0,73	233	0,275	0,34	0,37	203	0,6
MP07	12:35:41	12	4	88	1,18	1,58	1,53	158	0,48	0,68	0,62	264	0,965	1,26	1,18	192	1,41
MP07	14:49:50	13	8	86	3,33	4,62	3,93	158	1,29	2,2	1,87	270	2,76	3,97	2,55	163	4,03
MP07	15:31:36	22	6	82	2,11	2,62	3,7	201	0,88	1,31	2,23	114	0,825	1,34	1,35	325	2,09
MP07	16:34:00	14	8	83	3,9	6	5,14	173	1,7	3,28	3,52	281	3,47	5,37	3,68	267	4,66
MP07	16:40:43	23	8	80	2,37	2,64	4,68	146	0,94	1,32	2,49	112	0,865	1,21	2,43	61,2	2,37
MP07	19:07:15	24	8	76	7,56	7,1	23	90,2	4,29	2,26	12,7	54,1	4,03	1,88	15,7	37,2	7,68

* Maximal vektorsumma under uppmätt kurförlopp dvs: $\max(\sqrt{(vV(t))^2 + vL(t)^2 + vT(t)^2})$.

MP	Tid	Salva nr	Q kg	Avstånd m	Vertikal mätning				Longitudinell mätning				Transversell mätning				Vektor max* mm/s
					mm/s	m/s ²	um	Hz	mm/s	m/s ²	um	Hz	mm/s	m/s ²	um	Hz	
MP07	19:30:40	15	6	75	2,72	3,39	13,1	49,3	1,45	1,57	3,66	69,1	2,37	2,68	9,4	53,3	3,27
MP07	20:24:56	16	4	71	5,16	4,68	15	96,3	3,19	1,72	7,54	62,6	3,71	3,37	9,79	47,6	5,48
MP08	11:51:35	21	2	330	0,11	0,13	0,16	194	0,055	0,07	0,1	206	0,03	0,04	0,13	84,8	0,11
MP08	12:35:42	12	4	271	0,435	0,46	0,5	185	0,165	0,2	0,31	210	0,105	0,15	0,28	218	0,44
MP08	14:49:50	13	8	270	0,85	0,89	1,07	166	0,345	0,41	0,74	178	0,24	0,31	0,88	45,3	0,86
MP08	15:31:36	22	6	327	0,22	0,24	0,35	149	0,115	0,13	0,29	185	0,075	0,09	0,24	160	0,22
MP08	16:34:00	14	8	270	0,73	0,74	0,87	165	0,295	0,38	0,67	188	0,2	0,28	0,5	224	0,74
MP08	16:40:43	23	8	327	0,205	0,22	0,44	114	0,11	0,08	0,41	33,1	0,085	0,08	0,34	90,9	0,21
MP08	19:07:15	24	8	326	0,575	0,58	3,17	86	0,5	0,24	2,65	38,9	0,255	0,2	1,25	42	0,7
MP08	19:30:40	15	6	267	0,525	0,67	2,07	99,6	0,37	0,29	2,06	28	0,2	0,24	0,71	110	0,61
MP08	20:24:56	16	4	266	0,56	0,49	3,46	28,4	0,59	0,29	3,3	28,5	0,26	0,15	1,15	56,3	0,68
MP10	11:51:35	21	2	163	0,275	0,29	0,26	188	0,145	0,17	0,2	189	0,12	0,12	0,26	76,1	0,3
MP10	12:35:41	12	4	208	0,315	0,39	0,61	206	0,195	0,33	0,23	285	0,155	0,22	0,41	106	0,35
MP10	14:49:50	13	8	207	0,55	0,65	1,54	199	0,385	0,56	0,59	136	0,305	0,41	0,66	121	0,68
MP10	15:31:35	22	6	157	0,95	1,12	1,71	205	0,585	0,91	0,9	240	0,515	0,58	1,99	32,6	1,08
MP10	16:34:00	14	8	205	0,635	0,75	1,26	199	0,465	0,63	0,52	159	0,29	0,41	0,76	121	0,78
MP10	16:40:43	23	8	155	0,66	0,73	2,34	83,8	0,57	0,56	0,84	164	0,585	0,31	2,62	34,7	0,87
MP10	19:07:15	24	8	154	2,62	1,98	13,2	30,2	1,94	1,39	4,35	127	2,72	0,86	14,9	33,4	3,04
MP10	19:30:40	15	6	202	0,69	0,54	3,28	112	0,33	0,39	1,46	96,4	0,325	0,23	1,48	33,9	0,75
MP10	20:24:56	16	4	201	0,825	0,81	4,59	83,9	0,655	0,65	1,61	111	0,605	0,39	2,59	34,7	1,05
MP11	11:51:35	21	2	213	0,125	0,13	0,22	82,3	0,095	0,11	0,18	211	0,06	0,13	0,19	336	0,14
MP11	12:35:41	12	4	261	0,185	0,19	0,32	86,9	0,135	0,18	0,28	234	0,11	0,2	0,32	231	0,21

* Maximal vektorsumma under uppmätt kurförlopp dvs: $\max(\sqrt{(v_v(t)^2+v_l(t)^2+v_r(t)^2)})$.

MP	Tid	Salva nr	Q kg	Avstånd m	Vertikal mätriktning				Longitudinell mätriktning				Transversell mätriktning				Vektor max* mm/s
					mm/s	m/s ²	um	Hz	mm/s	m/s ²	um	Hz	mm/s	m/s ²	um	Hz	
MP11	14:49:50	13	8	260	0,345	0,38	0,72	94,2	0,25	0,32	0,82	211	0,19	0,34	0,58	267	0,41
MP11	15:31:35	22	6	208	0,455	0,42	1,1	85,1	0,355	0,39	1,15	128	0,365	0,37	0,89	126	0,6
MP11	16:34:00	14	8	259	0,355	0,38	0,64	92,2	0,235	0,34	0,62	229	0,405	0,31	0,77	124	0,47
MP11	16:40:43	23	8	207	0,415	0,28	1,19	80,8	0,37	0,24	1,13	63,7	0,465	0,33	0,95	124	0,59
MP11	19:07:15	24	8	206	1,41	0,9	5,84	78,2	1,41	0,54	6,83	38,3	1,11	0,77	4,68	113	1,74
MP11	19:30:40	15	6	257	0,525	0,27	1,68	83,3	0,28	0,27	0,98	26	0,35	0,23	1,05	94,6	0,58
MP11	20:24:56	16	4	255	0,605	0,38	2,1	86,3	0,365	0,34	1,36	40,9	0,37	0,26	1,67	96,7	0,67
MP12	19:07:16	24	8	664	0,11	0,05	1,06	18	0,07	0,03	0,3	53,5	0,12	0,06	0,76	73,4	0,15
MP13	14:49:50	13	8	1365	0,03	0,03	0,06	88,4	0,015	0,01	0,04	202	0,08	0,08	0,08	105	0,08
MP13	16:34:00	14	8	1365	0,03	0,03	0,06	71,3	0,01	0,01	0,02	116	0,075	0,07	0,08	107	0,08
MP13	19:07:16	24	8	1339	0,045	0,03	0,16	94,8	0,015	0,01	0,09	97,5	0,075	0,05	0,13	119	0,09
MP13	19:30:40	15	6	1365	0,03	0,03	0,05	106	0,01	0,02	0,03	133	0,05	0,05	0,07	115	0,06
MP13	20:24:57	16	4	1365	0,045	0,03	0,08	103	0,015	0,01	0,06	91,9	0,07	0,05	0,1	120	0,08

* Maximal vektorsumma under uppmätt kurförlopp dvs: $\max(\sqrt{(v_v(t)^2+v_l(t)^2+v_t(t)^2}))$.

SKB:s uppdrag är att ta hand om använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken så att människors hälsa och miljö skyddas på kort och lång sikt.

skb.se