

Omgivningspåverkan från sprängning: prognostisering, kontroll och skyddsåtgärder

File hajdar och Västra brottet
Slite, Gotland

Rapportnummer	2131 7852
Datum	2021-12-14
Uppdragsgivare	Cementa AB

Handläggare:

Per Karlsson & Erik Bjartell

Granskad av:

Mathias Jern

Innehåll

1.	Uppdrag	1
2.	Uppdragsgivare	1
3.	Omgivningspåverkan	1
3.1.	Vibrationer	1
3.1.1.	Orsaken till uppkomsten av markvibrationer	1
3.1.2.	Prognostisering och kontroll	1
3.1.3.	Vibrationsberäkningar.....	3
3.2.	Luftstöt vågor	5
3.2.1.	Allmänt.....	5
3.2.2.	Orsaken till uppkomsten av luftstöt vågor	5
3.2.3.	Prognostisering och kontroll	5
3.3.	Stenkastning	8
3.3.1.	Allmänt.....	8
3.3.2.	Orsaken till oönskat stenkast.....	8
3.3.3.	Skyddsavstånd	9
3.3.4.	Kommentarer stenkast	9
3.4.	Laddberäkningar	10
4.	Kontroll och Skyddsåtgärder	11
4.1.	Allmänt.....	11
4.2.	Mätning av vibrationer och luftstöt våg	11
4.3.	Åtgärder vibrationer	12
4.4.	Åtgärder luftstöt våg	12
4.5.	Åtgärder stenkast	13
5.	Slutkommentarer	14

1. Uppdrag

Att prognostisera omgivningspåverkan från sprängning (dvs. vibrationer, luftstötsvåg samt risker för stenkastning) i de två kalkbrotten File hajdar och Västra brottet vid Slite, Gotland.

Syftet är även att beskriva åtgärder och kontroller för att denna omgivningspåverkan ska uppfylla de krav som förväntas ställas på verksamheten.

2. Uppdragsgivare

Cementa AB.

3. Omgivningspåverkan

Omgivningspåverkan från sprängning handlar främst om markvibrationer och luftstötvågor. Skyddsåtgärderna vidtas förutom för att minimera vibrationer och luftstötter även för att inte riskera farliga stenkast.

3.1. Vibrationer

3.1.1. Orsaken till uppkomsten av markvibrationer

Vibrationer är en svängningsrörelse i mark som uppstår bland annat vid sprängning. Eftersom vibrationen är en del av den fragmenteringsprocessen som ju är sprängningens syfte, så är sprängningens omfattning en avvägning mellan att uppnå optimal fragmentering samtidigt som man i möjligaste mån undviker störning för närboende.

För att minska påverkan i omgivningen omfattar täkttillstånd normalt sett en reglering av tillåtna vibrationsnivåer i omgivningen. Praxis är att svenska bergtäkter tilldelas ett begränsningsvärde för vibrationer på 4 mm/s (får överskridas i 10% av fallen) och ett maxvärde på 6 mm/s vilket inte får överskridas för byggnader som klassas som bostäder. Det ska dock tilläggas att det inte finns några dokumenterade fall för skador på fastigheter vid vibrationer under 10 mm/s.

3.1.2. Prognostisering och kontroll

Storleken på vibrationen i omgivningen beror på ett antal faktorer, viktigast av dessa är:

- Avståndet mellan detonation och hus (mätpunkt)
- Samverkande laddning (normalt laddningen i ett borrhål)
- Sprängämnets egenskaper
- Tidsfördröjning mellan de olika detonationerna (salvans tändföljd)
- Kopplingsfaktor, dvs. hur bra energin från sprängmedlet når in i berget
- Geologi dvs. hur vibrationerna fortplantar sig i marken

Av dessa är de två sista parametrarna platsspecifika och därmed mätbara men inte påverkbara. Övriga parametrar kan påverkas och av dessa kan avstånd och samverkande laddning anses vara de viktigaste. Detta innebär att avstånd och samverkande laddning kan användas för att styra vibrationens storlek medan tidsfördröjningen i viss mån kan påverka denna (normalt sett i storleksordningen 30–50%).

Vanligtvis används den s.k. skallagsformeln för att prognostisera vibrationer eller bestämma hur mycket man får ladda för att undvika att gå över en bestämd nivå:

$$v = A \left(\frac{r}{\sqrt{q}} \right)^B \quad (\text{Skallagsformeln})$$

parametern $\left(\frac{r}{\sqrt{q}} \right)$ benämns ofta SD, skaldistansen

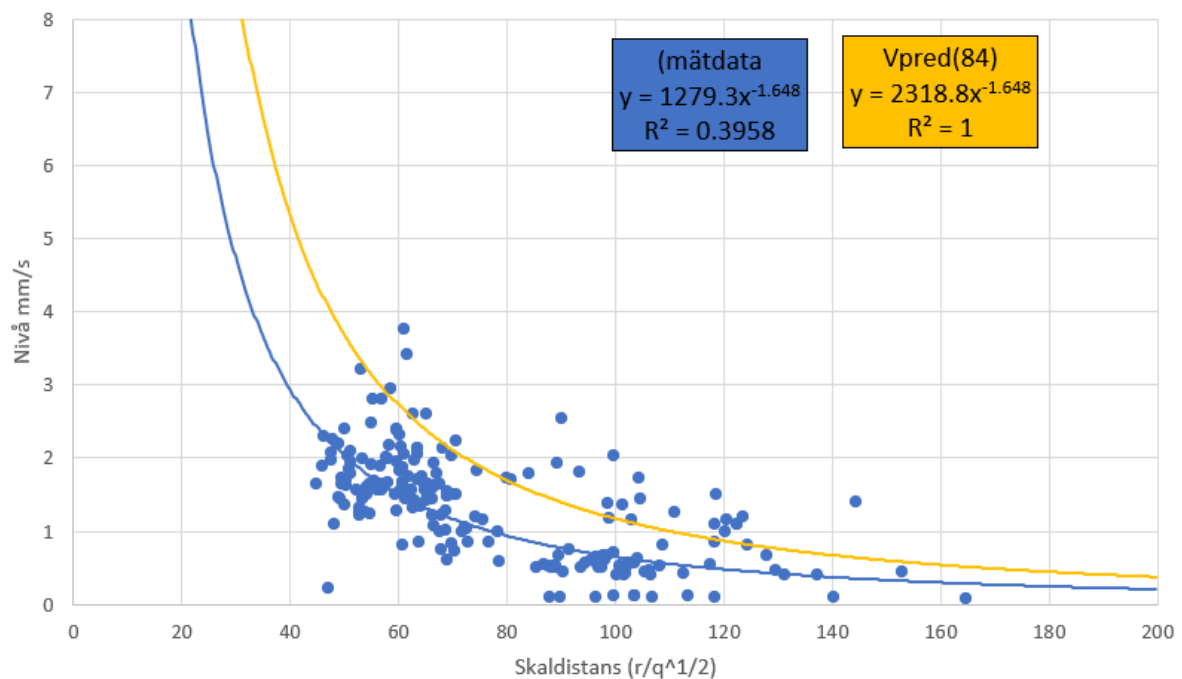
r = avståndet mellan sprängplats och objekt i meter

q = max samverkande laddning i kg

A och B är platsberoende konstanter

V = svängningshastigheten (vibration) i mm/s

För framtagning av plats specifika skallagssamband har historiska data gällande vibrationer och luftstötsvågstryck analyserats. Denna data har tagits från NCVIB (NCVIB är en webbapplikation där mätdata samt information om salvor kan sparas och behandlas) och kommer från tidigare sprängningar i Slites bergtäkter. Denna data har vidare exporterats och analyserats i Excel genom manuell regressionsanalys för slutlig framtagning av plats specifika skallagssamband. I figur 3.1 plottas uppmätta värden vid File hajdar och Västra brottet mot skaldistansen.



Figur 3.1. Vibrationsmätningar vid File hajdar och Västra brottet. Figuren visar data från mätpunkter vid Slite, där regressionsanalysen bygger på data från dessa punkter.

Den platsberoende ekvationen som bestämts i detta projekt syns i figur 3.1, där den blå linjen motsvarar förväntad medelvibrationsnivå beroende på skaldistans, och den gula linjen innebär att 84 % av alla sprängningar givit lägre vibrationer med avseende på skaldistansen (+ 1 standardavvikelse).

När sprängningar görs på avstånd där vibrationer behöver beaktas med avseende på omgivningspåverkan kan därför skallagsekvationen tillämpas och i Slite finns indata för att dessa samband ska vara direkt relaterade till File hajdar och Västra brottet (figur 3.1).

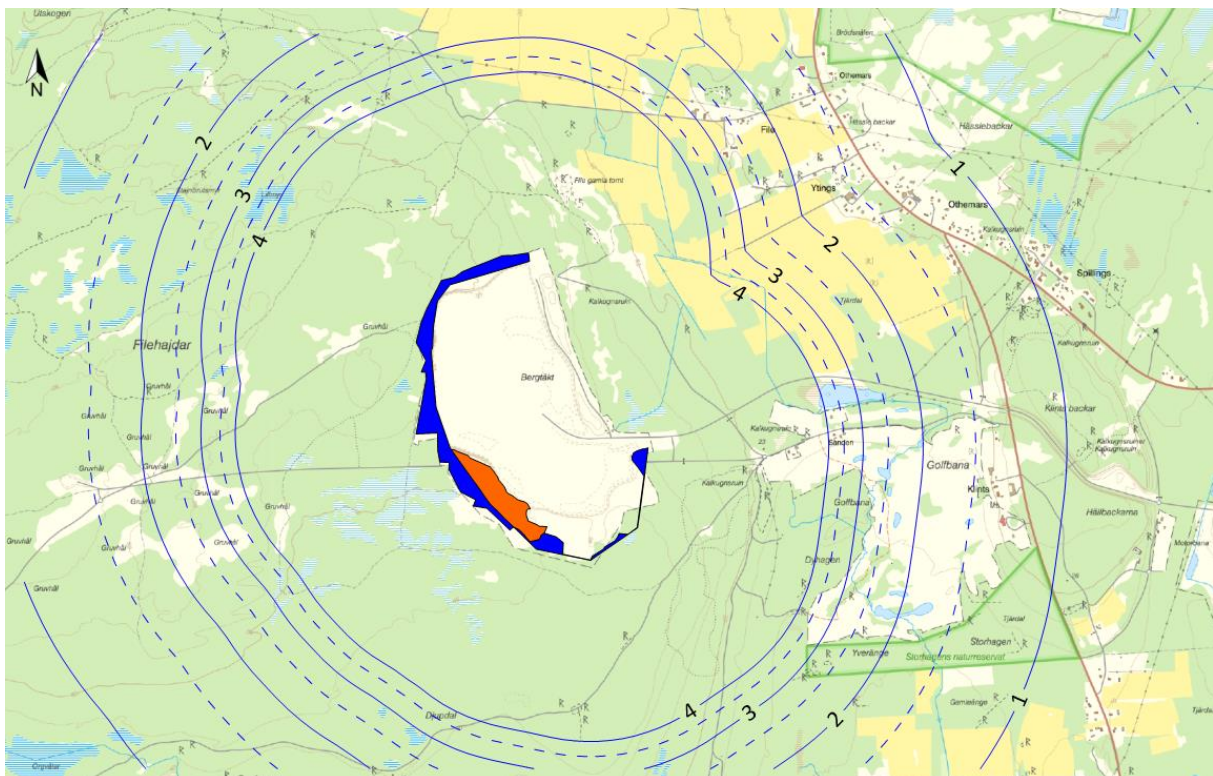
En förutsättning för att kunna genomföra detta är god kontroll över salvans position samt samverkande laddningsmängd (laddning per hål). En rekommendation är att samtliga salvor bör mätas in med GPS för att positionen på salvan skall vara känd.

Genom att följa upp sprängningar på detta sätt kan man verifiera att den använda modellen stämmer, korrigera den om man kommer i annan geologi med annan respons samt vidta skyddsåtgärder om man behöver spränga i områden där man riskerar för höga vibrationer.

Genom att planera sina sprängningar på detta sätt kan man med hög säkerhet hålla sig under tillåtet värde. Normalt när det är ett s.k. riktvärde som sprängningarna skall understiga planeras sprängningarna med 84% säkerhet.

3.1.3. Vibrationsberäkningar

I figur 3.2–3.4 visas prognostiserade maximala vibrationsnivåer. Detta har gjorts som ”vibrationskartor” där maximala prognostiserade nivåer visas som iso-linjer. Prognoserna utgår från analysen i figur 3.1, dvs platsspecifika skallagssamband analysen bygger dessutom på en max samverkande laddning (oftast laddning per hål) på 300 kg. I analysen visas att värdet 4 mm/s kan innehållas vid alla kringliggande bostäder. För Västra brottet behöver dock den samverkande laddningen minskas i delar av området (västsidan) för att nivåerna med säkerhet ske kunna innehållas, se kap 3.4.



Figur 3.2. Prognostiserade maximala vibrationsnivåer (mm/s) till följd av sprängning vid File hajdar (blå och rött område i figuren).



Figur 3.3. Prognostiserade maximala vibrationsnivåer (mm/s) till följd av sprängning vid Västra brottet (rött och grönt område i figuren).



Figur 3.4. I den sydöstra delen av Västra brottet finns ett litet område som ska brytas ut, vid dessa enstaka sprängningar kan vibrationen mot Slite ort bli något högre (dock fortfarande långt under föreslaget begränsningsvärde).

3.2. Luftstöt vågor

3.2.1. Allmänt

Luftstöt vågen är en tryckförändring som uppstår vid sprängning. Höga luftstöt vågor kan leda till skador på byggnader, framförallt gäller detta fönsterskador och putsnedfall. Säkra nivåer för detta anges i Svensk Standard SS 02 52 10 Vibration och stöt – Sprängningsinducerade luftstöt vågor – Riktvärden för byggnader (1996).

Högsta tillåtna värde för luftstöt våg enligt Svensk Standard SS 02 52 10 är 500 Pa reflektionstryck. Som jämförelse visar studier att risken för att en fönsterruta går sönder är 0,1 % vid 700 Pa¹.

Luftstöt vågen kan dock upplevas störande då den inne i huset upplevs på samma sätt som markvibrationen.

För att minimera denna störning omfattar täkttillstånd normalt sett en reglering av tillåtna luftstöt vågor vid närliggande bostäder. För bergtäkter tillåts vanligen ett värde på 100 Pa frifältstryck (får överskridas i 10 % av fallen), vilket motsvarar 200 Pa reflektionstryck, samt ett maxvärde på 150 Pa frifältstryck som inte får överskridas.

3.2.2. Orsaken till uppkomsten av luftstöt vågor

Luftstöt vågor från sprängning uppkommer framför allt av två orsaker. Den första är att sprängningen orsakar att en stor mängd sten trycks framåt i hög hastighet vilket i sin tur skapar en luftstöt våg. Den andra är att sprängämne kommer för nära omgivande luft och att den gasexpansion som sker i detonationen i sig ger upphov till en luftstöt. Medan den första orsaken alltid ger upphov till en viss luftstöt är det ofta den andra som vid enstaka tillfällen ger upphov till oväntat höga nivåer.

Orsaken till oväntat hög luftstöt våg kan vara sprängningsförfarande (exv. dålig förladdning) eller rent geologiskt, slag etc. som är svåra att upptäcka. Inträffar detta i kombination med ofördelaktiga meteorologiska förhållande kan luftstöt vågstrycket bli hög.

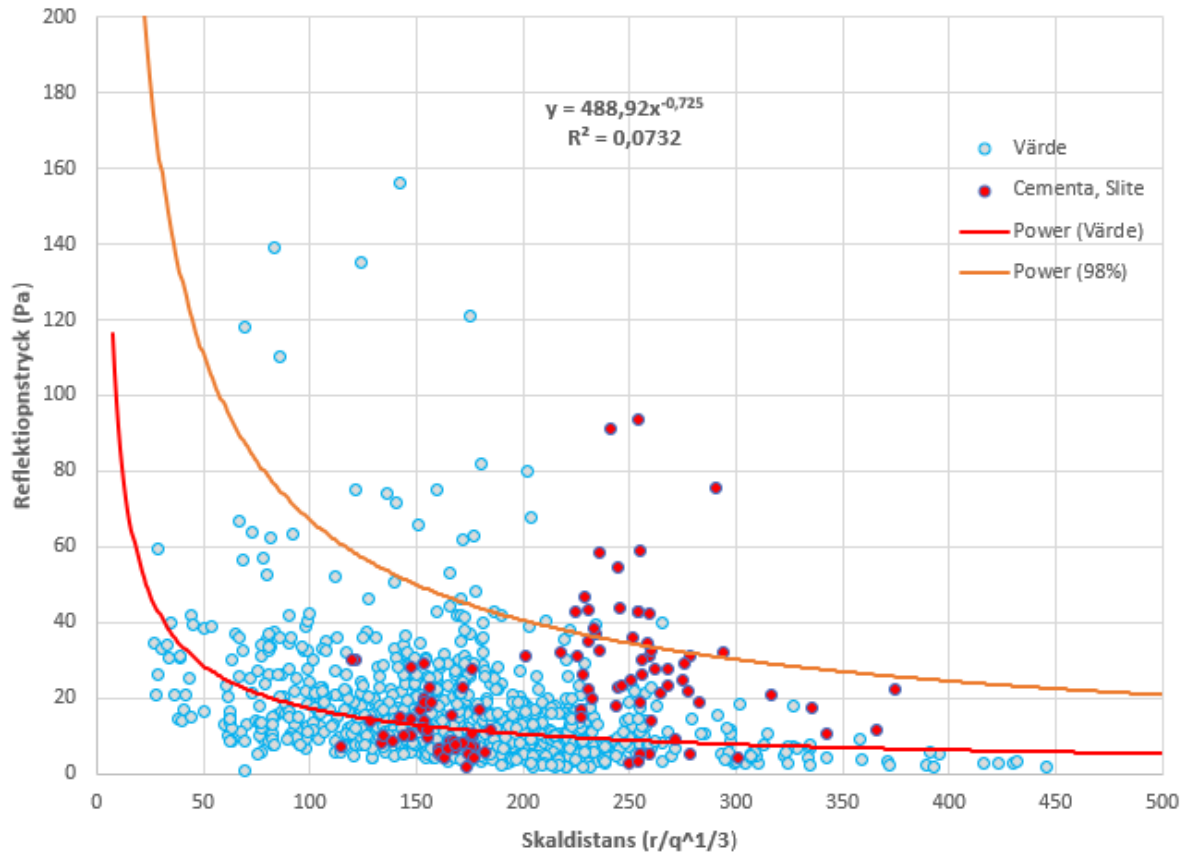
3.2.3. Prognostisering och kontroll

Hur stor luftstöt vågen blir i omgivningen beror på ett antal faktorer, viktigast av dessa är:

- Avstånd mellan detonation och hus (mät punkt)
- Samverkande laddning (normalt laddningen i ett borrhål)
- Sprängämnets egenskaper
- Tidsfördröjning mellan de olika detonationerna
- Överföringsfaktor, dvs. hur bra energin från sprängmedlet når ut i luften
- Meteorologi dvs. väderförhållanden, vindriktning, molnbas etc.

¹ Stig Olofsson ”Modern Bergsprängningsteknik”

För att prognostisera luftstötstågstryck kan man använda samma metodik som för vibrationer, men då spridningen är betydligt större behövs det dock mer data för att kunna göra en analys. I figur 3.5 plottas mätningarna från Slites kalkbrott (röda prickar) tillsammans med data från ett stort antal andra bergtäkter och gruvor i Sverige (blå prickar). Detta låter sig göras eftersom egenskaperna i mediet luftstötstågen går genom (luft) inte ändrar sig på samma sätt som det geologiska mediet markvibrationen går genom.

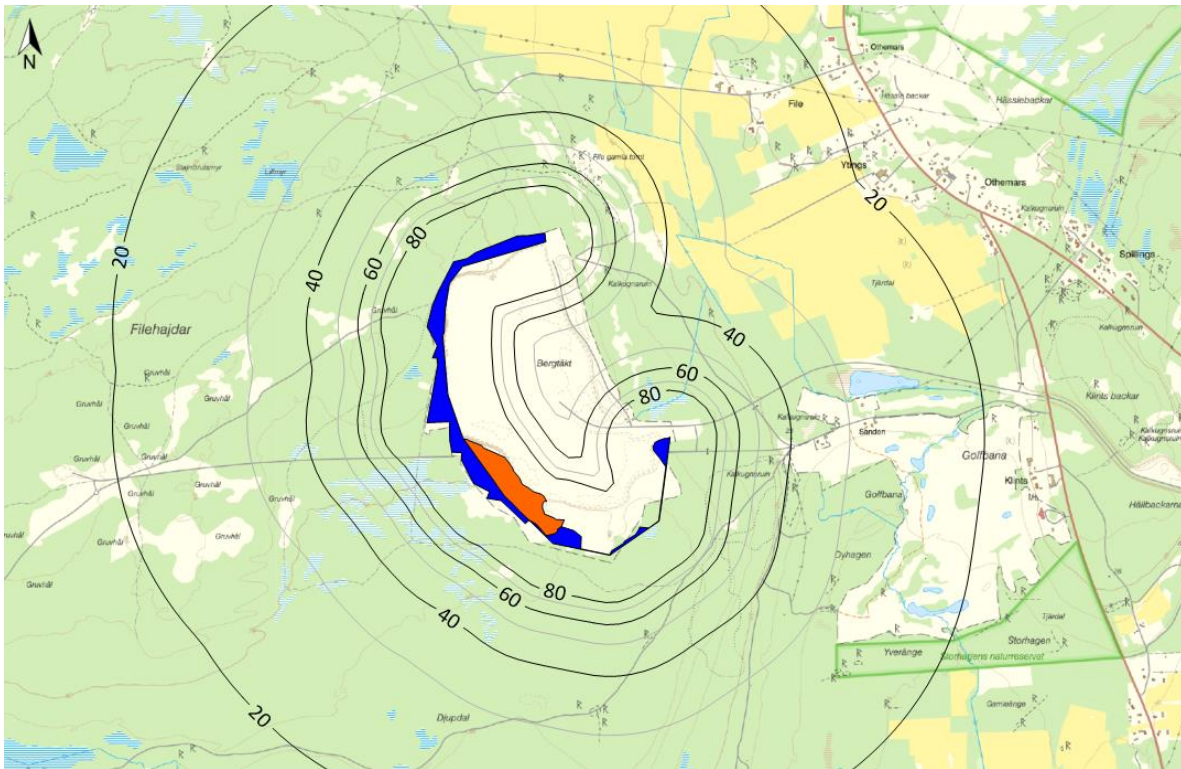


Figur 3.5. Luftstötstågmätningar vid Slites bergtäkter. Uppmätta salvor (reflektionstryck) röda punkter, plottade tillsammans med ett stort antal mätningar från andra täkter och gruvor (över 1000 salvor).

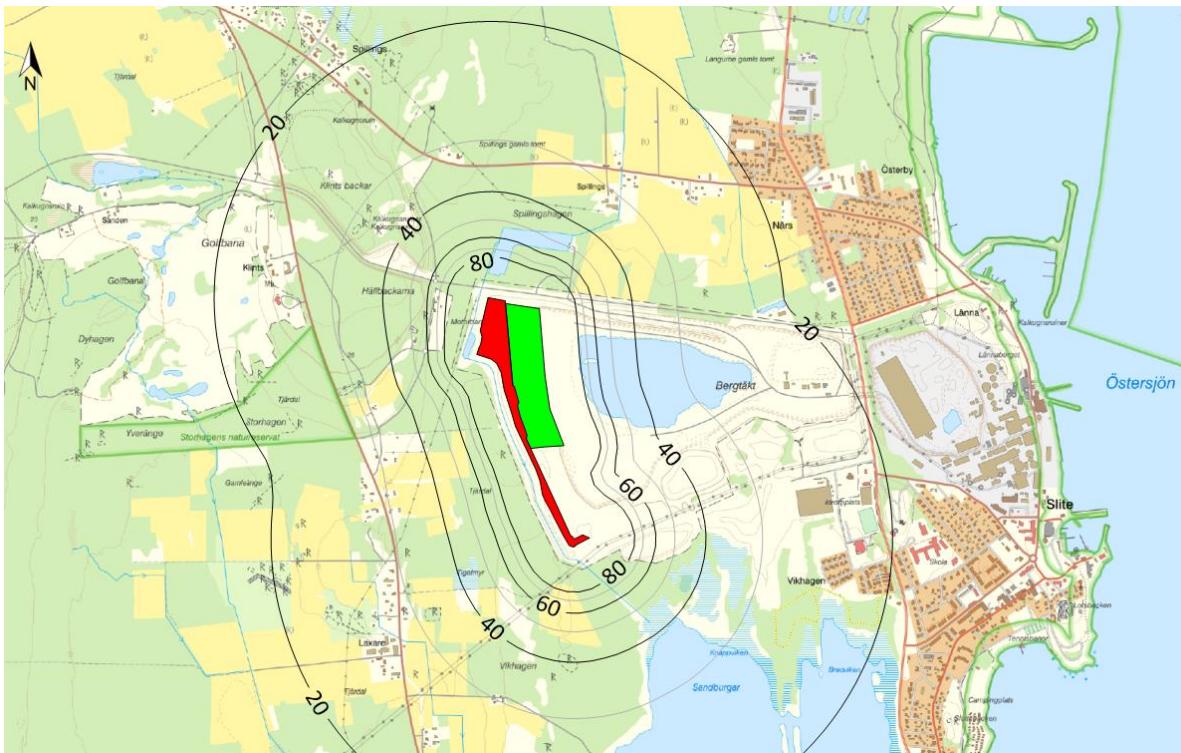
Framtaget samband i figur 3.5 har sedan använts för att prognostisera maximalt luftstötstågstryck kring kalkbrottet. För prognosen har 98 %-linjen använts. Orsaken till att en högre säkerhetsmarginal används för luftstötstågstryck än för markvibrationer är att avståndet mellan sprängplatsen och ett skyddsobjekt (exempelvis ett bostadshus) är av mindre betydelse när det gäller luftstötståg än för markvibrationer.

I mätpunkt 3b vid File hajdar är luftstötstågen ibland något högre än förväntat (de röda punkterna i figur 3.5 som ligger över "maxlinjen"). Orsaken till detta har inte utvärderats, eftersom värdena vid närmaste bostäder ändå är långt under det värde som normalt sett tillåts, d.v.s. 100 Pa frifältstryck (värdena överstiger aldrig 50 Pa frifältstryck).

Prognoser för maximala luftstötstågstryck kan ses i figurerna 3.6 – 3.8. Inga bostadshus berörs av luftstötståg som överstiger 100 Pa frifältstryck.



Figur 3.6. Prognostiserade maximala luftstövågstryck (frifältstryck) till följd av sprängning vid File hajdar (blå och rött område i figuren).



Figur 3.7. Prognostiserade maximala luftstövågstryck (frifältstryck) vid sprängning i Västra brottet (rött och grönt område i figuren).



Figur 3.8. Prognostiserade maximala luftstövågstryck (frifältstryck) vid den sydöstra delen av Västra brottet.

3.3. Stenkastning

3.3.1. Allmänt

I samband med detonation frigörs en stor mängd gas under högt tryck vars syfte är att fragmentera och lossa bergvolymen. Denna process förorsakar även oönskade effekter som exempelvis stenkast.

Vid produktions- och större anläggningssprängning där täckning av salvorna inte är möjlig förekommer alltid stenkast, dock oftast i mindre omfattning och med relativt begränsade kastlängder. Detta bygger på ett kontrollerat sprängningsförfarande med normala säkerhetsåtgärder avseende förladdning, tändföljd, bergrensning, borrhålsprecision, laddning av salvans första rad etc. Noggrannheten i utförandet av dessa säkerhetsåtgärder är avgörande för hur stor risken för stenkast är samt hur långa kastlängder som kan förväntas.

Vid vissa tillfällen kan dock stenar kastas längre. Detta är relativt ovanligt och beror nästan uteslutande på att något gått fel i salvan.

3.3.2. Orsaken till oönskat stenkast

Orsaken till oönskad stenkastning kan anses vara antingen att avståndet mellan sprängmedlet och bergytan är för liten (dvs. att försättningen eller förladdningen varit för liten) eller att mängden sprängmedel är för stor.

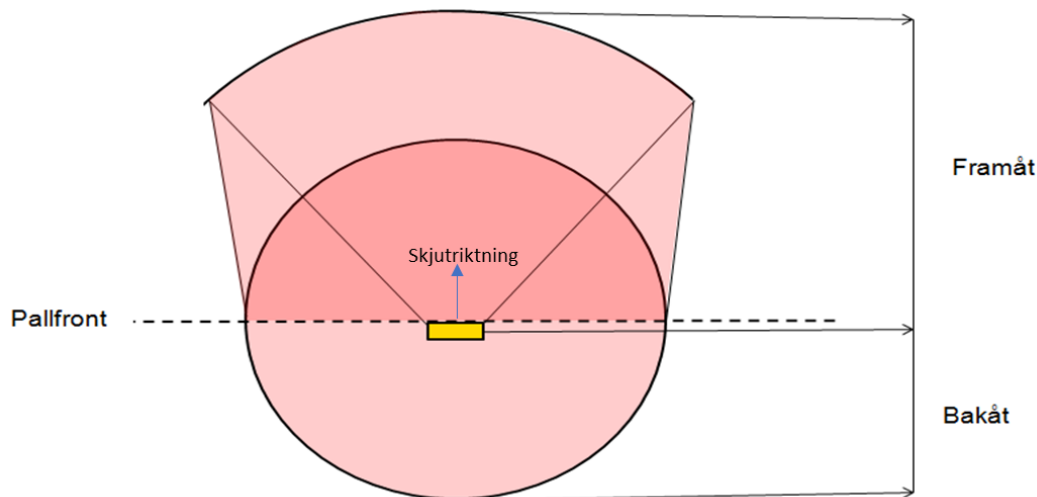
För liten försättning kan bero på exempelvis felborrning, dvs. att borrhålet hamnar för nära ytan eller att berg i framkant rasat ut och av det skälet skapar en mindre försättning än planerat.

För stor laddning kan exempelvis bero på hålrum i berget där sprängmedel samlas eller felborrning som resulterar i att två borrhål går ihop.

3.3.3. Skyddsavstånd

Vid Slite används normalt 110 mm eller 127 mm hål vid laddning. Generellt rekommenderas, vid användande av 127 mm borrhål, ett skyddsavstånd på 530 m framför salvan och 300 m bakom (enligt figur 3.9). Dessa avstånd gäller under förutsättning att man har en "normal" säkerhetsnivå och normala sprängtekniska parametrar (laddning, försättning, hålavstånd etc.) vid sprängningarna. Tanken med skyddsavståndet är att sten i normala fall aldrig ska kastas längre än halva skyddsavståndet. Skyddsavståndet motsvarar alltså en fördubbling av den normalt sett största kastlängden, för att skapa en "buffert" för att skydda människor i omgivningen även om något skulle gå fel i salvan. För andra skyddsobjekt än *människor* kan en mindre skyddszon tillämpas.

Genom att öka längden på förladdningen kan man minska kastlängder bakåt och på samma sätt kan man minska avståndet framåt genom att öka försättningen.



Figur 3.9. Säkerhetszonens utformning. Den runda cirkeln gäller kratereffekt (det vill säga för bakåtkast) medan det utökade området i framåtriktningen gäller kasten från pallkant.

3.3.4. Kommentarer stenkast

Varken vid File hajdar eller Västra brottet riskerar något bostadshus att komma innanför skyddszone för sprängning. Nrt det gäller övriga aktiviteter är det den sprängansvariga som innan sprängning måste ka kontroll och vid behov avlysa områden (exempelvis vägar, stigar eller andra platser där människor kan befinna sig).

3.4. Laddberäkningar

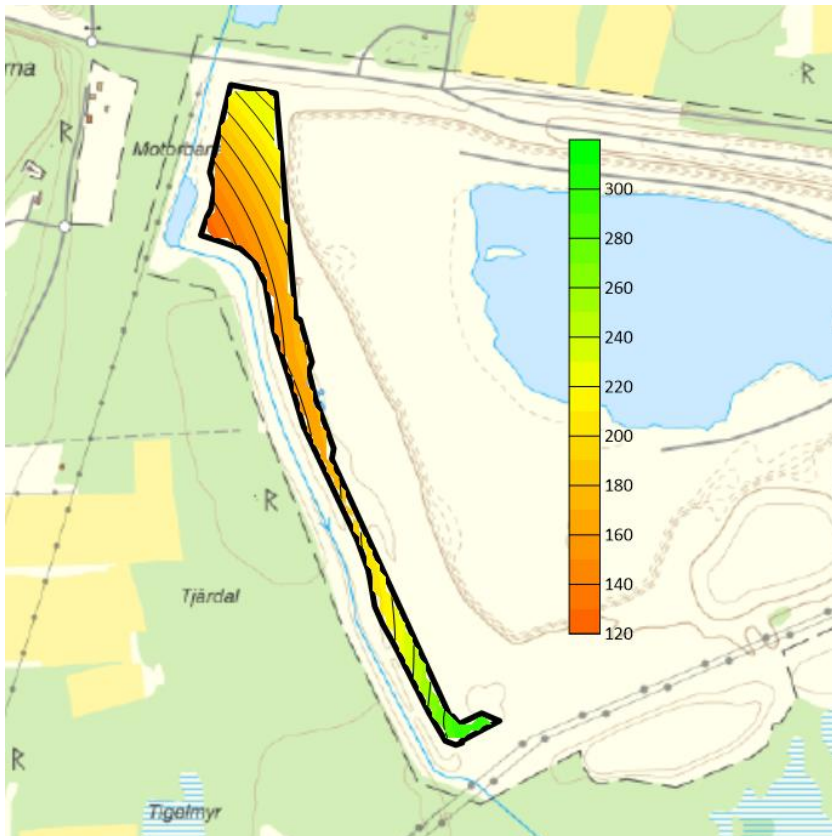
Bedömningen av markvibrationernas utbredning från sprängningsverksamhet vid den planerade utvidgningen av Slite bergtäkt baseras på rådande markförhållanden, sprängtekniska förutsättningar samt på empiriskt framtagna platspecifika skallagssamband.

Störst betydelse för vibrationens storlek har avståndet samt den så kallade samverkande laddningen (den maximala mängden sprängämne som detonerar vid exakt samma tidpunkt, vanligtvis laddningsmängden i ett borrhål). Andra faktorer såsom geologi, kopplingsfaktor, tändplan etc. har också betydelse för vibrationerna. Dessa kan variera i någon omfattning mellan salvorna, vilket innebär att det finns en viss spridning i vibrationerna mellan olika sprängsalvor.

För File hajdar och Västra brottet har beräkningar för både hel- och halvpall använts. Beräkningarna utgår från att 300 kg används som samverkande laddning i helpall och 150 kg i halvpall, detta värde är taget från sprängjournaler från tidigare salvor, det är inte ett maxvärde men ett normalt värde för salvor i området.

I Västra brottets västra del finns ett område där laddningsmängderna sannolikt kommer att behöva reduceras (vara mindre än antagna 300 kg), se figur 3.10, åtgärder för detta beskrivs i kap 4.3. I File hajdar bedöms det inte åtgärder motsvarande åtgärder behövas.

Den ur vibrationssynpunkt samverkande laddningen (q) bygger på att den som spränger konstruerar tändplaner som medger unika intervalltider för varje borrhål. Samtliga laddningsmängder har beräknats för antaget begränsningsvärde vid bostadshus på 4 mm/s vilket är praxis i täktillstånd i Sverige. De samverkande laddningsmängderna är således framtagna för att ge högst 4 mm/s, och de normala vibrationsnivåerna vid sprängningarna förväntas följaktligen vara betydligt lägre.



Figur 3.10. Laddningsberäkningar för Västra brottet (Helpall). Den maximala samverkande laddningen varierar mellan 120 – 300 kg. Den maximala samverkande laddningen tar hänsyn till pallhöjden och rådande riktlinjer för vibrationsvärden för bostäder (4 mm/s).

4. Kontroll och Skyddsåtgärder

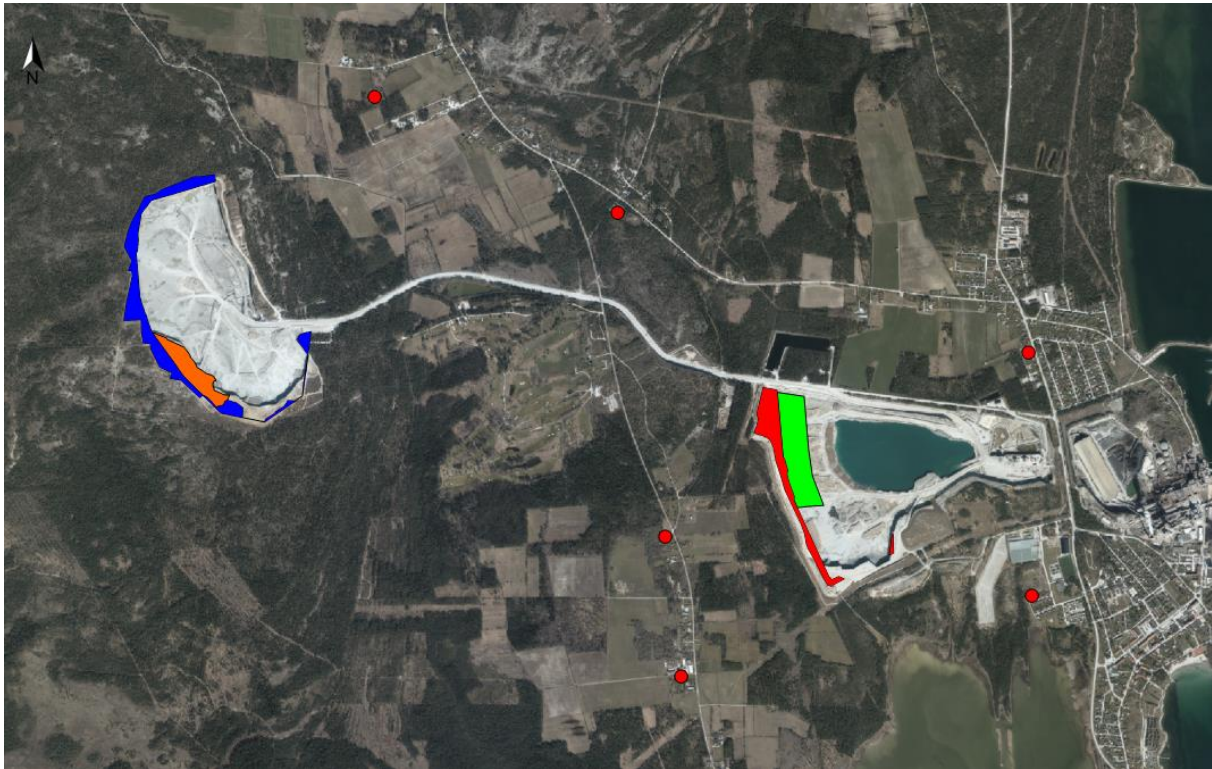
4.1. Allmänt

Till viss del skiljer sig skyddsåtgärderna mellan de tre diskuterade formerna av omgivningspåverkan (vibrationer, luftstövåg och stenkast) men i viss mån är de mycket lika. Allmänt kan konstateras att vibrationerna är starkt korrelerade till mängden sprängämne i varje borrhål (s.k. samverkande laddning) och är därför lättast av de tre att beräkna.

Luftstötter och stenkast är i stället kopplat till bieffekter vid sprängningen, det är energi som går till något annat än syftet med sprängningen och en optimerad sprängsalva har därför låga luftstötter och inga kast (vilket är något annat än den önskvärda framlyftningen av salvan). Både höga luftstötter och stenkastning uppstår oftast när för mycket sprängämne hamnar för nära den ”fria ytan” och energi riktas ut ur berget i stället för dit den var ämnad. Skyddsåtgärder för att minska kastrisker och luftstötter är därför mycket lika.

4.2. Mätning av vibrationer och luftstövåg

I dag mäts vibrationer och luftstövågor på sju platser vid Slite (röda prickar i figur 4.1, varav sex stycken syns i figuren). I huvudsak kan dessa mätpunkter anses vara tillräckliga för att övervaka sprängningarna, eventuellt kan kompletterande mätpunkter användas vid sprängning i ett par områden i Västra brottets västra kant där andra fastigheter kommer att vara närmast under vissa sprängningar.



Figur 4.1. Nuvarande mätpunkter (röda prickar).

4.3. Åtgärder vibrationer

Enligt prognosen kommer samverkande laddning att behöva reduceras i en del av Västra brottet (se figur 3.10). Eftersom det finns osäkerhet i prognosen är det viktiga här att följa upp vibrationsnivåerna och vidta åtgärder när det behövs.

Den främsta åtgärden för att minska vibrationsnivån är att minska den samverkande laddningen. Detta kan göras på flera sätt exempelvis:

- Minska borrhålsdiametern
- Delladda hålen (dvs dela in varje hål i 2 separata laddningar med en gruspropp i mellan
- Dela pallen

Övriga sätt att reducera vibrationsnivån kan vara att ändra tändplan, skjutriktning etc.

4.4. Åtgärder luftstötståg

Luftstötstågen är idag inget problem och inget tyder på att det kommer att bli det inom ramen för det ansökta tillståndet heller. Om luftstötstågen mot förmodan skulle behöva minskas finns dock ett antal metoder (förutom att minska samverkande laddning) som kan användas:

- Laddad del i toppen av borrhålet anpassas för att minimera luftstötstågen.
- Stenkrossmaterial av anpassad fraktion används för att ”proppa” borrhålet efter laddning. Detta för att undvika s.k. urblåsning.
- Tändplanen optimeras för att minska risken för samverkan mellan hål.

4.5. Åtgärder stenkast

Sprängningarna i Slite har generellt ett bra avstånd till kringliggande byggnader och verksamheter. Normala rutiner (se kap 3.3.1) bedöms tillräckliga för att hålla riskerna med kast på en säker nivå.

5. Slutkommentarer

Denna rapport innehåller prognoser för omgivningspåverkan tillsammans med de åtgärder verksamheten bör utföra för att begränsa denna omgivningspåverkan. De prognoser som gjorts i denna rapport för de utökade brytområdena visar att normalt använda begränsningsvärden, som Cementa också avser föreslå, inte riskerar att överträdas, det vill säga brytningen kan ske på det sätt och med de laddningar som beskrivs i denna rapport utan att dessa värden riskerar att överskridas.