

# Omgivningspåverkan från sprängning utvidgad bergtäkt

Nordkalks kalkbrott Klinthagen



**Rapportnummer** 2131 7852 R 02

**Datum** 2023-02-13

**Handläggare:**

Mathias Jern

## Innehåll

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Uppdrag</b> .....                                 | <b>1</b>  |
| <b>2. Uppdragsgivare</b> .....                          | <b>1</b>  |
| <b>3. Omgivningspåverkan</b> .....                      | <b>1</b>  |
| <b>3.1. Vibrationer</b> .....                           | <b>1</b>  |
| 3.1.1. Orsaken till uppkomsten av markvibrationer ..... | 1         |
| 3.1.2. Sprängstandard och riskanalys .....              | 1         |
| 3.1.3. Prognostisering och kontroll .....               | 2         |
| <b>3.2. Luftstötståg</b> .....                          | <b>11</b> |
| 3.2.1. Allmänt .....                                    | 11        |
| 3.2.2. Orsaken till uppkomsten av luftstötståg .....    | 11        |
| 3.2.3. Prognostisering och kontroll .....               | 11        |
| <b>3.3. Stenkastning</b> .....                          | <b>18</b> |
| 3.3.1. Allmänt .....                                    | 18        |
| 3.3.2. Orsaken till oönskat stenkast .....              | 18        |
| 3.3.3. Kontroll .....                                   | 19        |
| 3.3.4. Skyddsavstånd .....                              | 19        |
| <b>3.4. Laddberäkningar</b> .....                       | <b>20</b> |
| <b>4. Kontroll och Skyddsåtgärder</b> .....             | <b>26</b> |
| 4.1. Allmänt .....                                      | 26        |
| 4.2. Mätning av vibrationer och luftstötståg .....      | 26        |
| 4.3. Skyddsåtgärder vibrationer .....                   | 27        |
| 4.4. Skyddsåtgärder luftstötståg .....                  | 28        |
| 4.5. Skyddsåtgärder stenkast .....                      | 29        |
| <b>5. Slutkommentarer</b> .....                         | <b>30</b> |

## 1. Uppdrag

Att prognostisera omgivningspåverkan från sprängning (dvs. vibrationer, luftstötsvåg samt risker för stenkastning) kring den planerade utvidgningen av Klinthagen bergtäkt.

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

Rapporten behandlar sex områden inom området för Klinthagens kalkbrott, se figur 3.3.

## 2. Uppdragsgivare

Nordkalk AB via Rasmus Magnusson.

## 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. Till skillnad från vibrationer och luftstötvågor finns det för stenkast inga vilkor, all stenkastning utanför det bedömda skyddsområdet är oacceptabel.

### 3.1. Vibrationer

#### 3.1.1. Orsaken till uppkomsten av markvibrationer

Vibrationer är en svängningsrörelse i mark som uppstår bl.a 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 minimera denna störning sätter tillståndsgivande myndigheter (Länsstyrelse, MPD eller Mark och Miljödomstol) restriktioner på hur stora vibrationerna får vara vid närliggande byggnader.

#### 3.1.2. Sprängstandard och riskanalys

Vibrationer kan vara den direkta orsaken till skador på byggnader. Oftast uppstår dessa skador för att vibrationer orsakar en töjning i byggnadsdelar där materialets hållfasthet överskrids. Med denna bakgrund har det utvärderats hur stora vibrationsnivåer olika typer av byggnader kan utsättas för innan det uppkommer en risk för skada.

För att göra denna bedömning används i Sverige den svenska sprängstandarden SS 460 48 66 "Vibration och stöt – Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader". Denna standard har framgångsrikt tillämpats sedan 1989 och erfarenhetsmaterialet är i dag följaktligen mycket stort. Standarden har uppdaterats vid två tillfällen, senast 2011, men är i princip oförändrad när det gäller hur man sätter tillåtna vibrationsnivåer. Standarden tillämpas vid alla typer av sprängningsarbeten och definierar hur (instrumentspecifikationer) och var (givarplacering) vibrationer skall mätas, hur en riskanalys för sprängningsarbeten ska utföras samt hur tillåtna värden för vibrationer skall sättas för att undvika att skador uppstår på omgivande fastigheter.

### 3.1.3. Prognostisering och kontroll

Storleken på vibrationen i omgivningen beror på ett antal faktorer, viktigaste 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

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

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

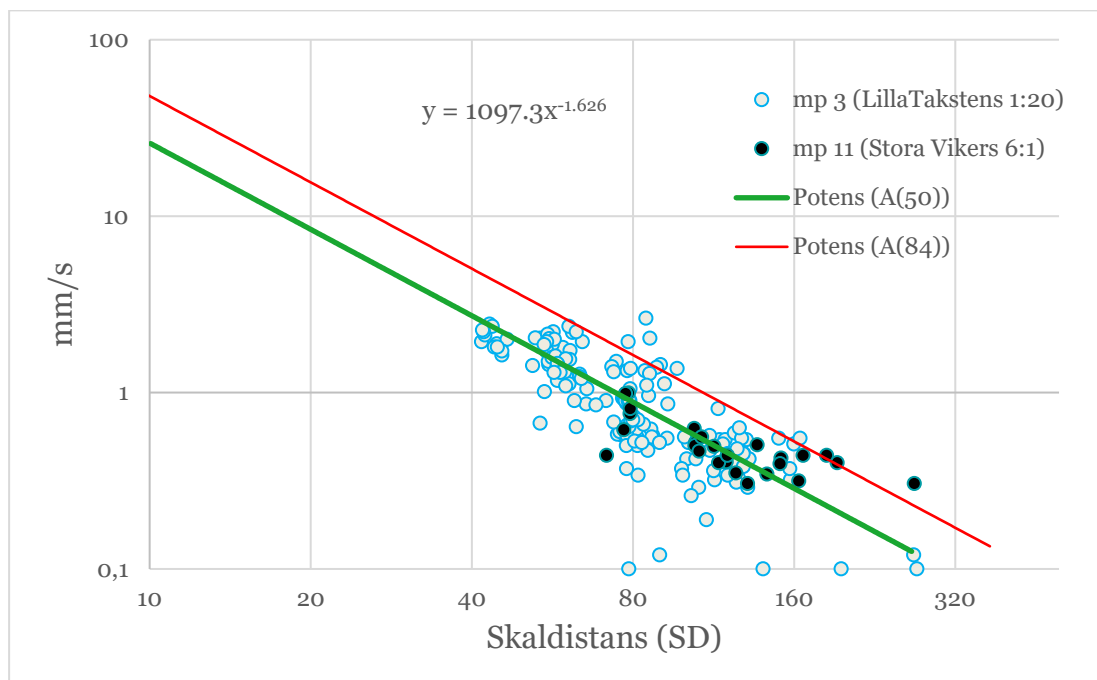
r = avståndet mellan sprängplats och objekt i meter

q = max samverkande laddning i kg

A och B är platsberoende konstanter

V = svängningshastigheten (vibration) i mm/s

För framtagning av platsspecifika skallagssamband har historisk data gällande vibrationer och luftstövsågstryck analyserats. Denna data har tagits från NCVIB och kommer från tidigare sprängningar i Klinthagens kalkbrott. Denna data har vidare exporterats och analyserats i Excel genom manuell regressionsanalys för slutlig framtagning av platsspecifika skallagssamband. I figur 3.1 plottas uppmätta värden vid Klinthagen 2014–2021 mot skaldistansen.



**Figur 3.1.** Vibrationsmätningar vid klinthagen 2014–2021. Figuren visar data från två mätpunkter, där regressionsanalysen bygger på data från dessa punkter.

Den platsberoende ekvationen som bestämts i detta projekt syns i figur 3.1, där den gröna linjen motsvarar förväntad medelvibrationsnivå beroende på skaldistans, och den röda 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 Klinthagen finns indata för att dessa samband ska vara direkt relaterade till platsen (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.

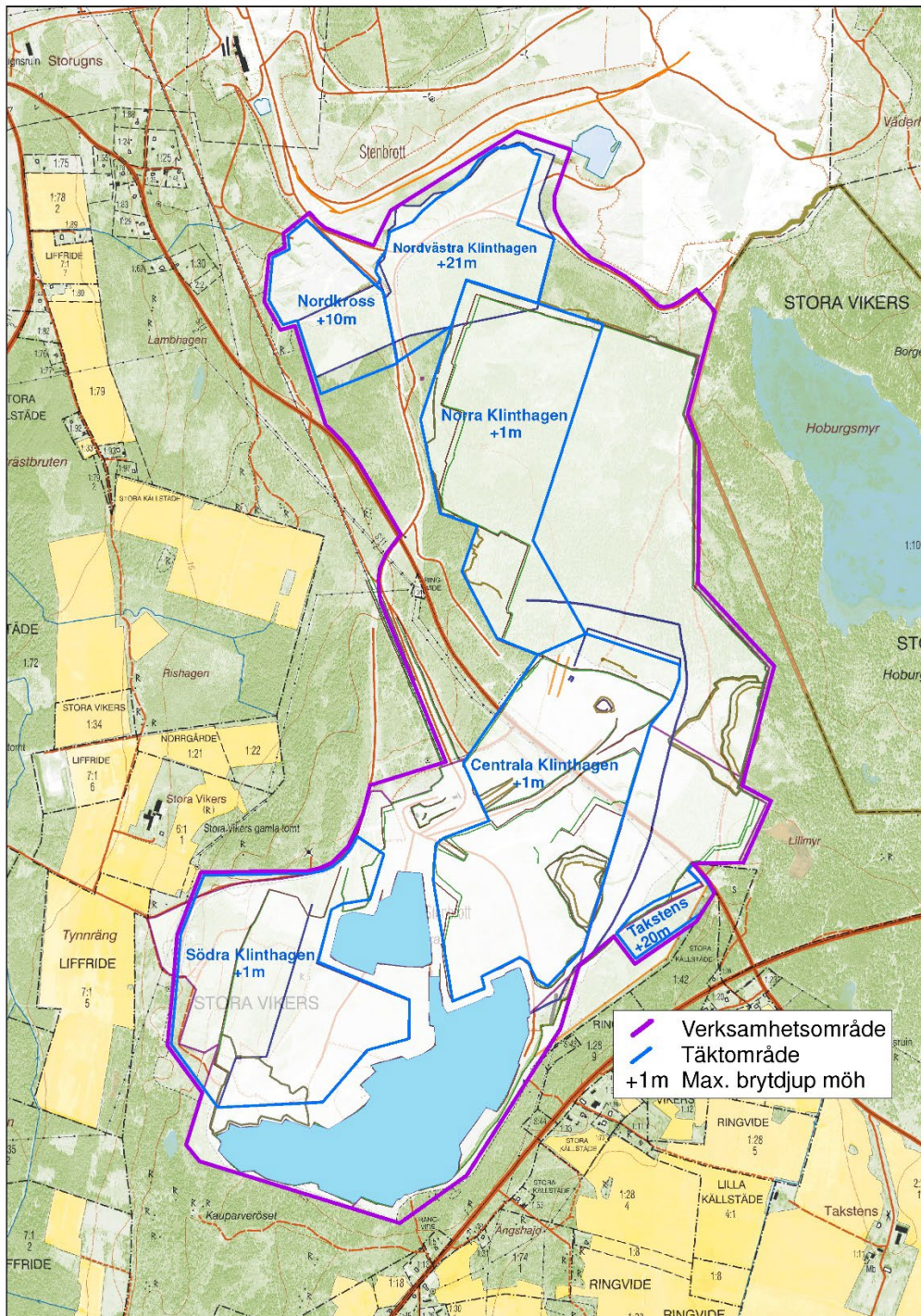
Vibrationsmätning sker idag kontinuerligt i tre fasta mätpunkter varav två av dessa har använts för framtagning av skallagssamband. Bakgrunden till varför den tredje mätpunkten inte använts för detta är på grund av att den registrerat för lite data. Genom kontinuerlig vibrationsmätning registreras således varje sprängsalva. Mätpunkterna vars data används i denna rapport är placerade på fastigheterna Stora Vikers 6:1 och Lilla Takstens 1:20, se figur 3.2. Givarna på fastigheterna sitter monterade på husgrunden (enl. standard SS 460 48 66) och registrerar på så sätt den inkommande vibrationen. Toppvärde för varannan minut registreras. När vibrationsnivån överstiger en viss nivå sk. trignivå spelas dessutom ett kurvförlopp in, detta ger möjligheten att analysera vibrationerna från sprängningarna och vid behov kunna föreslå åtgärder för att minska dessa vibrationer. Mätningarna utförs och underhålls av personal från Nitro Consult.



**Figur 3.2.** Positioner för vibrationsmätning och luftstöt vågsmätning (gröna figurer). Till vänster i figuren ligger Stora Vikers 6:1 vibrationsmätning och till höger Stora Källstäde 1:35 vibrationsmätning samt Lilla Takstens 1:20 vibrationsmätning och luftstöt vågsmätning.

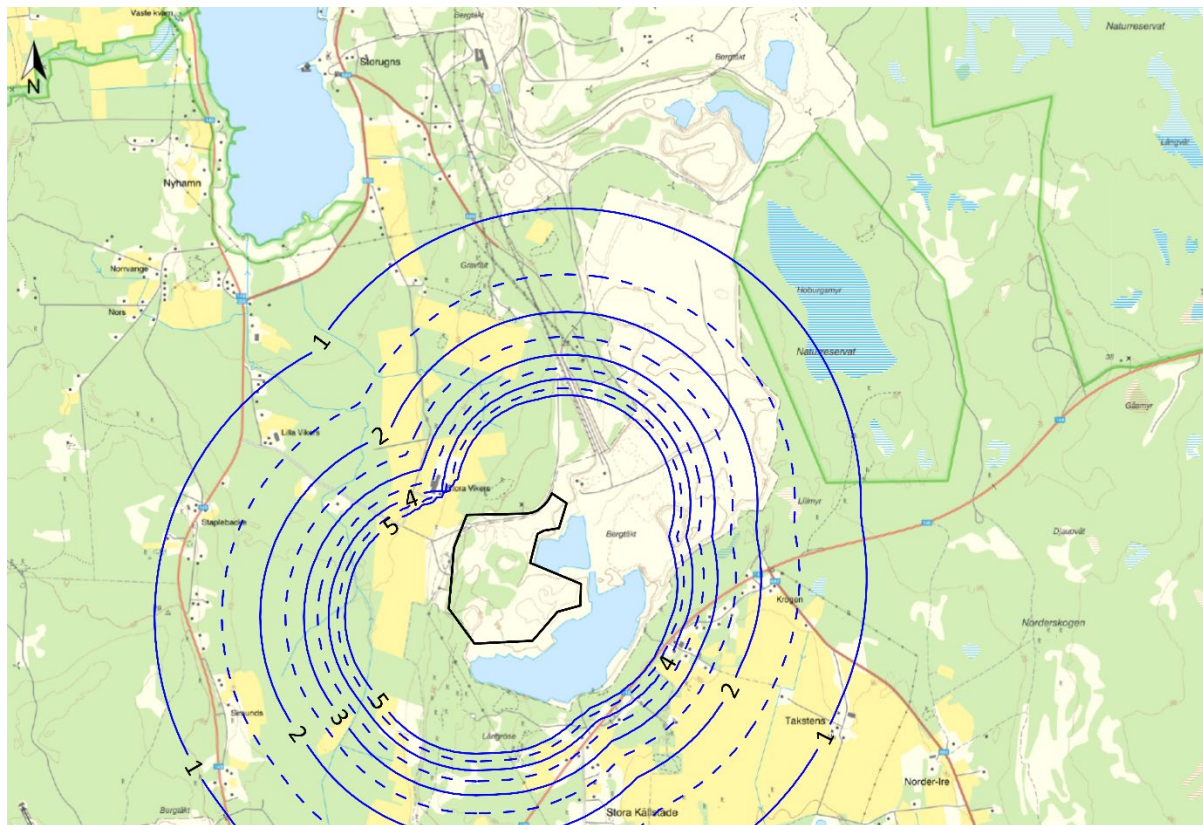
Genom att följa upp sprängningar på detta sätt kan man verifiera att den använda modellen stämmer, korrigera den om man kommer i annan geologi med annan respons samt utföra åtgärder om man behöver spränga i områden där man riskerar för höga vibrationer.

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. I figur 3.3 visas en översigtsbild över de sex ansökta områdena.



**Figur 3.3.** Delområden över kalkbrott Klinhagen.

I figur 3.4-3.9 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.

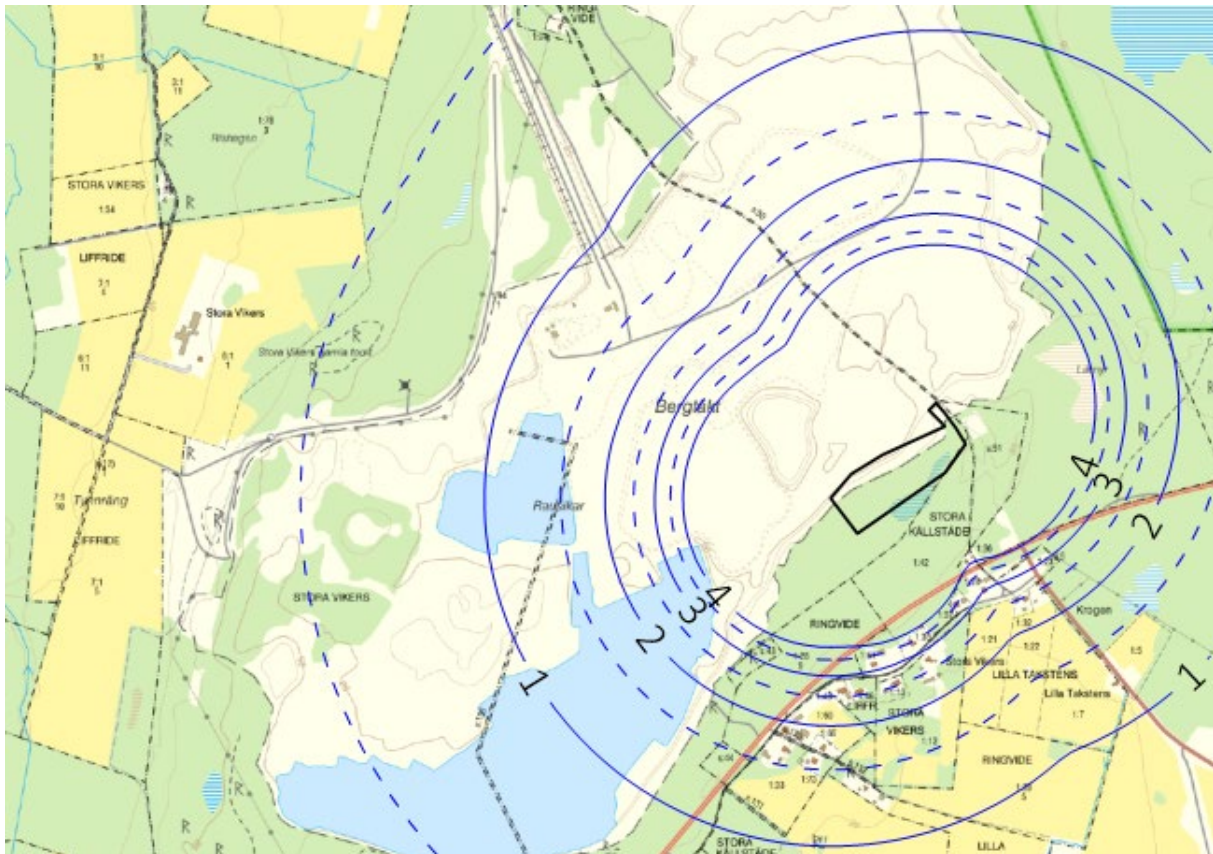


**Figur 3.4.** Prognostiserade maximala vibrationsnivåer i Södra Klinthagen. Högst vibrationer vid bostadshus är prognostiserade till gården Stora Vikers nordväst om brytområdet, där maximal nivå förväntas bli 4 mm/s under förutsättning att man anpassar den maximala samverkande laddningsmängden (enligt figur 3.19). Det ska noteras att området tas i olika sektioner där pallhöjden skiljer sig och därmed också vibrationsnivåerna.



**Figur 3.5.** Prognostiserade maximala vibrationsnivåer i Centrala Klinthagen. Högst vibrationer vid bostadshus är prognostiserade till området Lilla Takstens sydost om brytområdet där maximal nivå kommer att bli 4 mm/s.

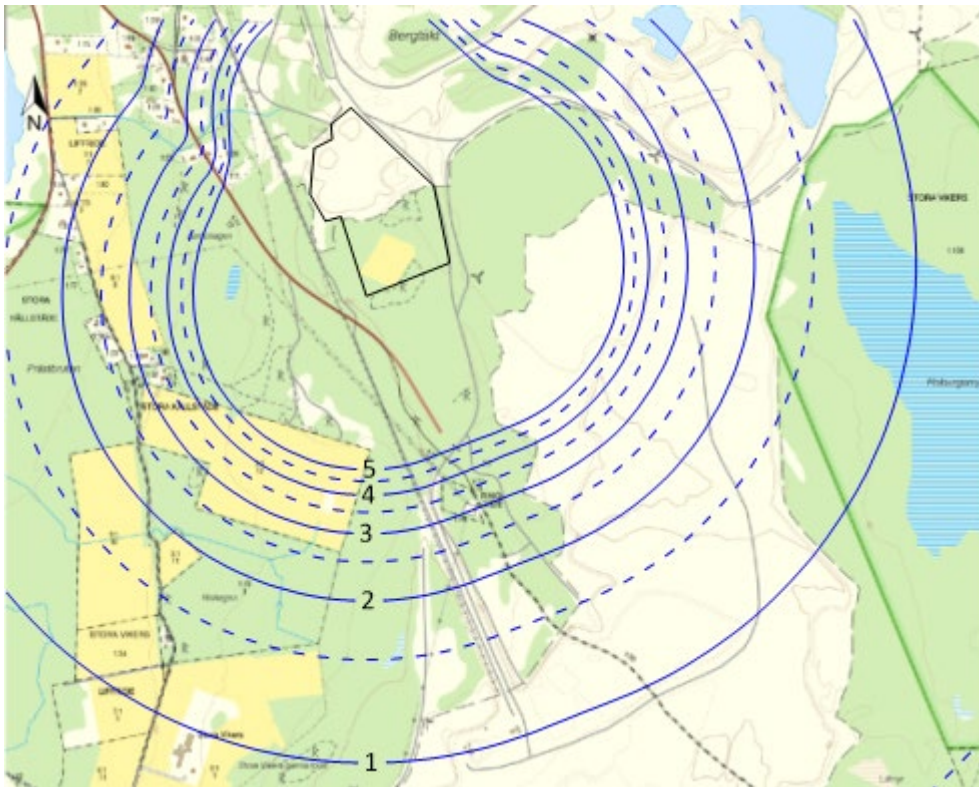




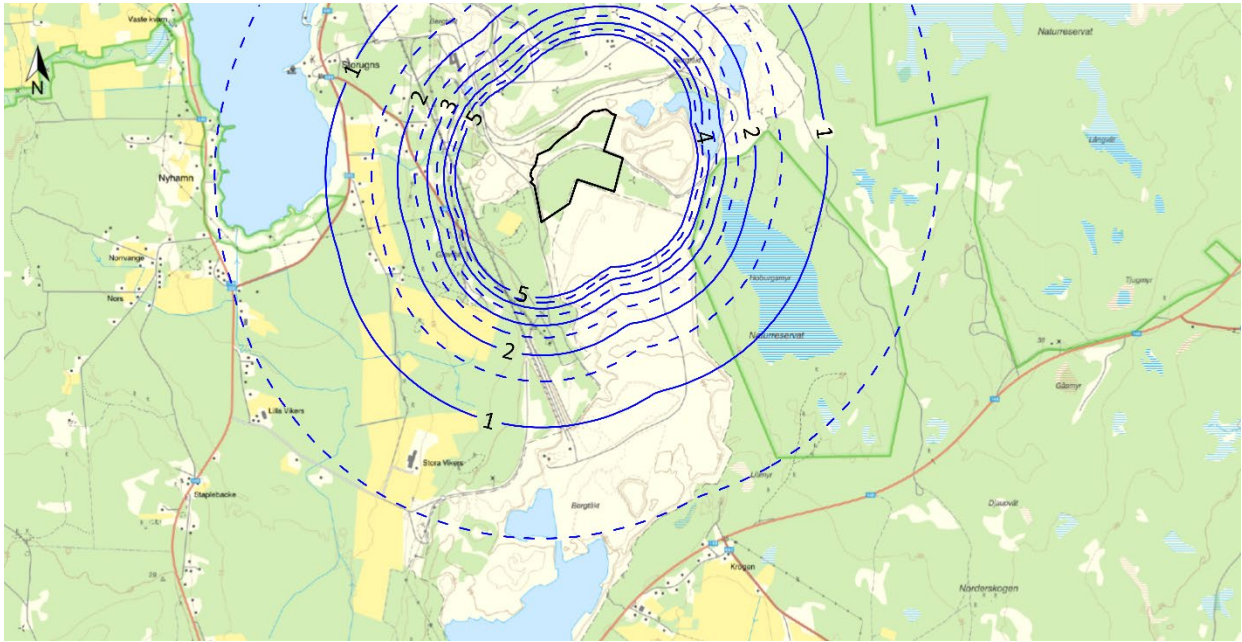
**Figur 3.6.** Prognostiserade maximala vibrationsnivåer Takstens (skyddszone) är 4 mm/s. Här måste den samverkande laddningen anpassas för att vibrationsrestriktionerna ska kunna innehållas, se figur 3.21.



**Figur 3.7.** Prognostiserade maximala vibrationsnivåer i Norra Klinthagen. Högst vibrationer vid bostadshus är prognostiserade både till området väst och syd om brytområdet där bostäder maximalt beräknas få vibrationer strax över 1,8 mm/s.



**Figur 3.8.** Prognostiserade maximala vibrationsnivåer i Nordkross. Högst vibrationer vid bostadshus är prognostiserade till både området nordväst och sydväst om brytområdet där närmaste bostäder maximalt beräknas få vibrationer runt 4 mm/s. Det ska noteras att området tas i olika sektioner där pallhöjden skiljer sig åt och därmed också vibrationsnivåerna, maximala samverkande laddningar ses i figur 3.23.



**Figur 3.9.** Prognostiserade maximala vibrationsnivåer i Nordvästra Klinthagen. Högst vibrationer vid bostadshus är prognostiserade till området väster om brytområdet där närmaste bostäder maximalt beräknas få vibrationer runt 3 mm/s.

## 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 Pa<sup>1</sup>.

Luftstöt vågen kan dock upplevas störande då den inne i huset upplevs på samma sätt som markvibrationen. För att minimera denna störning sätter tillståndsgivande myndigheter (Länsstyrelse, MPD eller Mark och Miljödomstol) restriktioner på hur stora luftstöt vågorna får vara vid närliggande bostäder.

### 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:

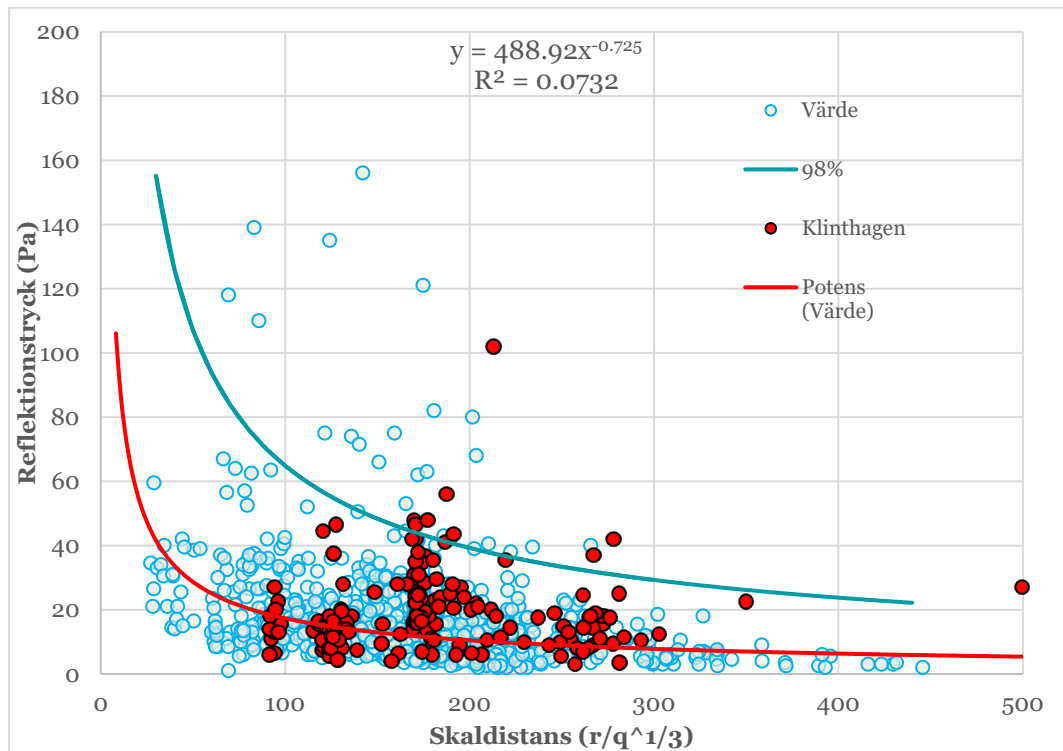
- Avstånd mellan detonation och hus (mät punkt)
- Samverkande laddning (normalt laddningen i ett borrhål)
- Sprängämnets egenskaper
- Tidsfördröjning mellan de olika detonationerna
- Överföringsfaktor, dvs. hur bra energin från sprängmedlet når ut i luften
- Meteorologi dvs. väderförhållanden, vindriktning,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

För att prognostisera luftstöt vågstryck kan vi använda samma metodik som för vibrationer, eftersom spridningen är betydligt större behöver vi dock mer data för att kunna göra en analys. I figur 3.10 plottas mätningarna från mätpunkten vid Lilla Takstens 1:20 (röda prickar) tillsammans med data från ett stort antal andra bergtäkter och gruvor i Sverige (blå prickar) och i figur 3.11 plottas endast mätningar från punkten. Detta låter sig göras eftersom egenskaperna i mediet luftstöt vågen går genom (luft) inte ändrar sig på samma sätt som det geologiska mediet markvibrationen går genom.

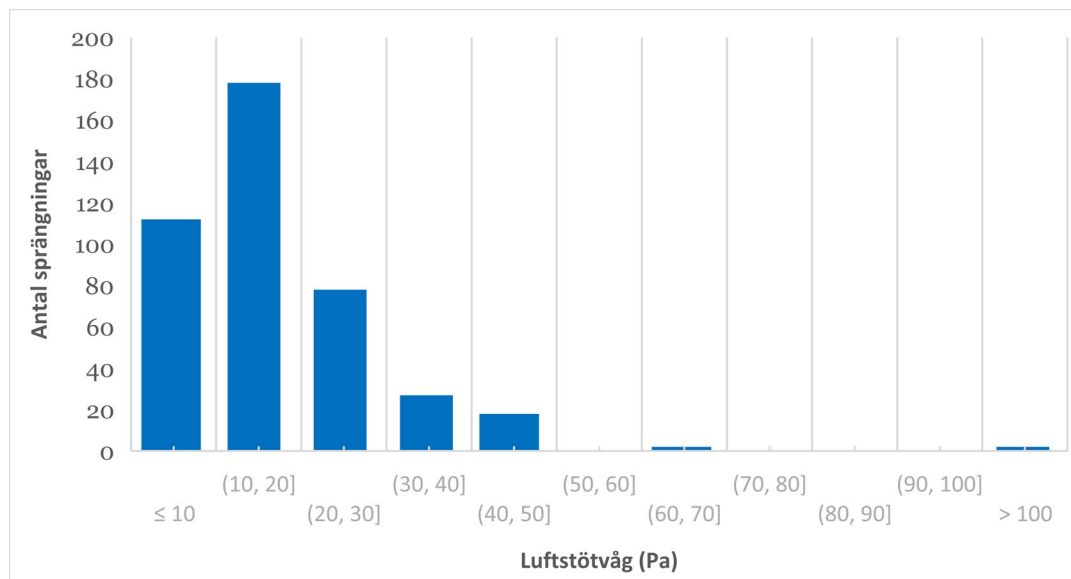
Detta diagram har sedan använts för att prognostisera maximalt luftstöt vågstryck kring kalkbrottet. För prognosen har 98% linjen använts. Orsaken till att en högre säkerhetsmarginal används på luftstöt vågstryck relativt markvibrationen är att avstånds betydelsen är mindre när det gäller luftstöt vågen, dvs. för markvibrationen gäller att bara vid de absolut närmaste salvorna kan det höga värdet inträffa. När det gäller luftstöt vågen är det betydligt fler salvor som kan vara delaktiga i detta.

<sup>1</sup> Stig Olofsson ”Modern Bergsprängningsteknik”

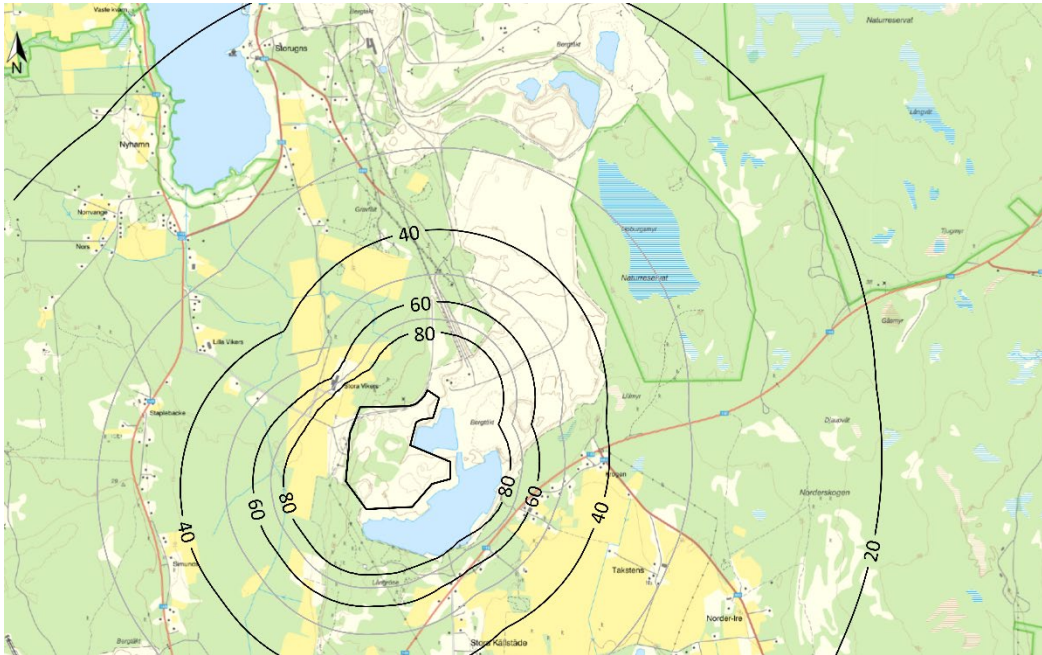
Prognoser för maximala luftstövågstryck kan ses i figurerna 3.12 – 3.17.



**Figur 3.10.** Luftstövågsmätningar vid Lilla Takstens 1:20 Uppmätta salvor 2014-2021 (reflektionstryck) röda punkter, plottade tillsammans med ett stort antal mätningar från andra täkter och gruvor (över 1000 salvor).



**Figur 3.11.** Luftstövågsmätningar vid Lilla Takstens 1:20 Uppmätta salvor 2014–2021 (reflektionstryck).



**Figur 3.12.** Prognostiserade maximala luftstövågstryck i Södra Klinthagen. Högst luftstövågstryck vid bostadshus är prognostiserade till gården Stora Vikers nordväst om brytområdet där maximal nivå vid närmaste hus prognostiserats till ca 40 Pa (reflektionstryck 80 Pa).

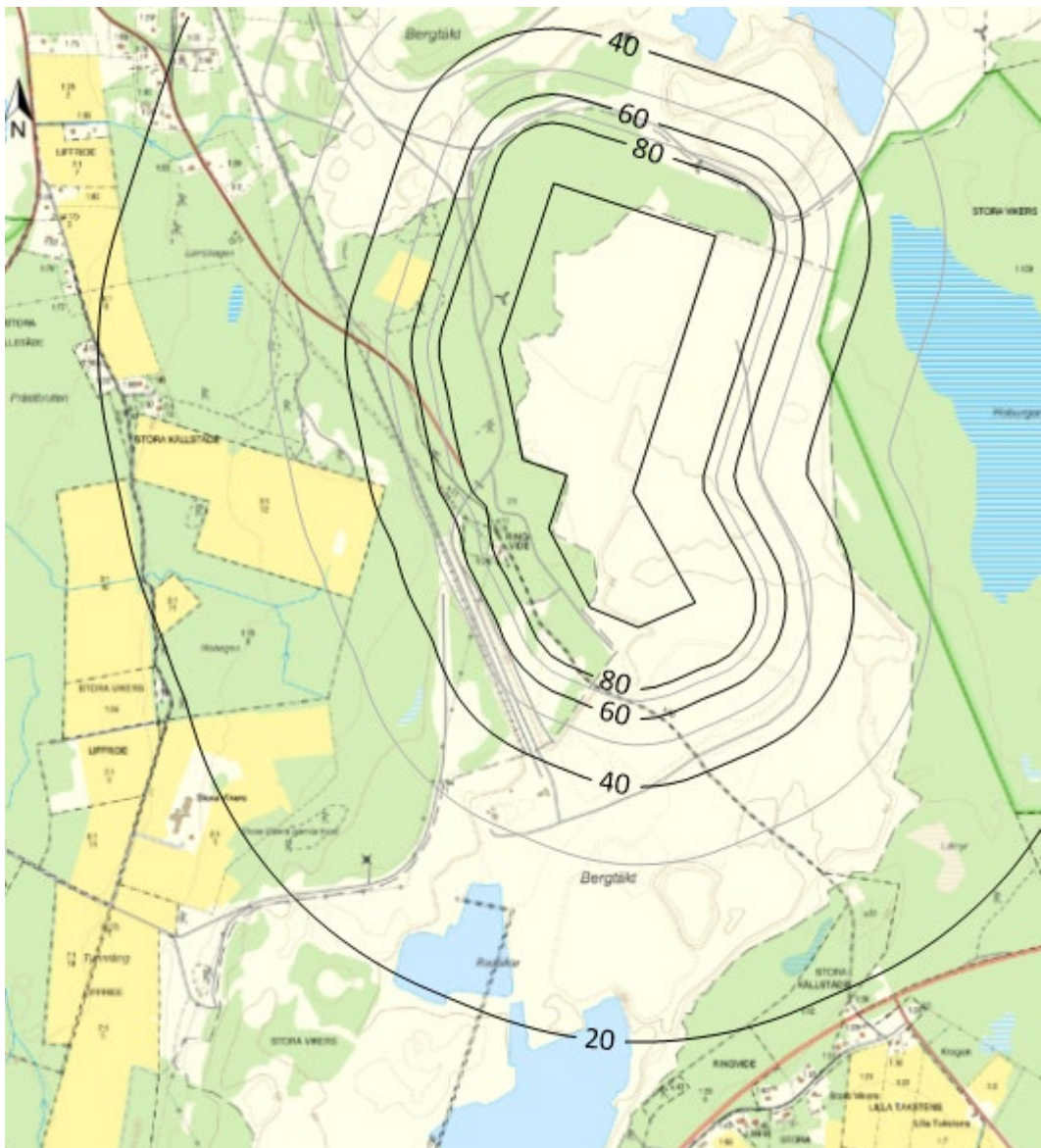


**Figur 3.13.** Prognostiserade maximala luftstöt vågstryck i Centrala Klinthagen. Högst luftstöt vågstryck vid bostadshus är prognostiserade till området sydost om brytområdet där maximal nivå vid närmaste hus prognostiserats till ca 40 Pa (reflektionstryck 80 Pa).

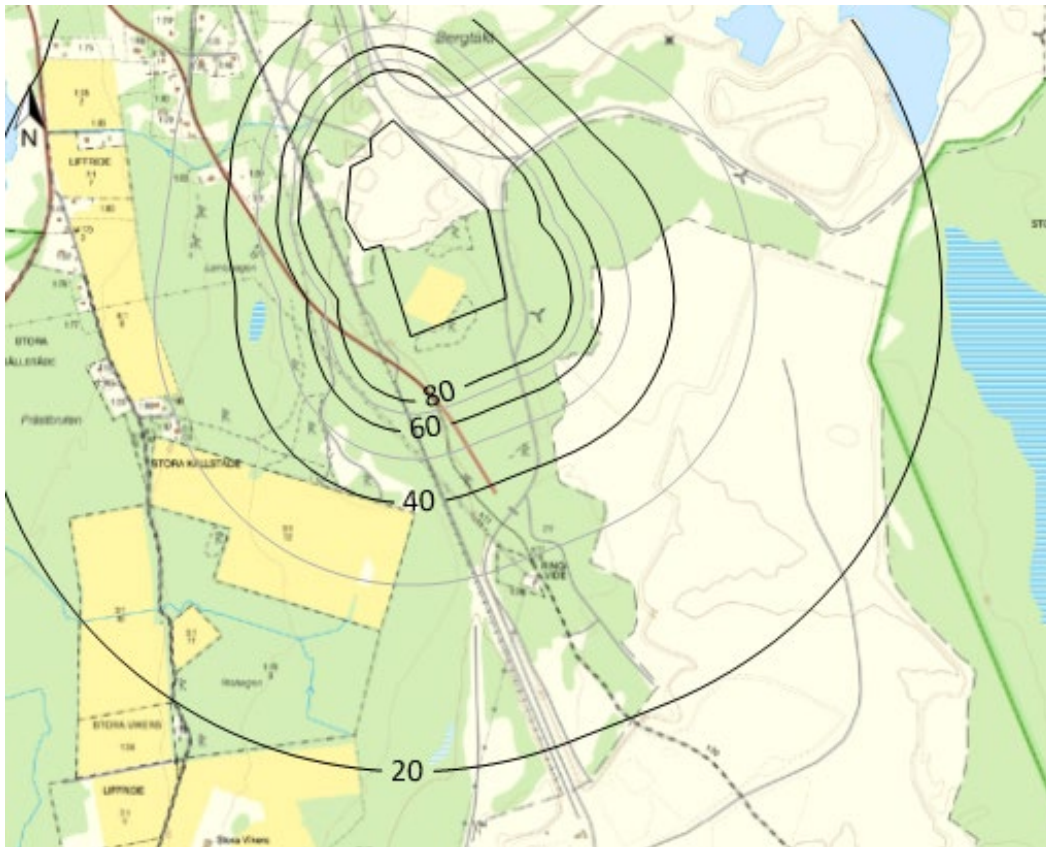




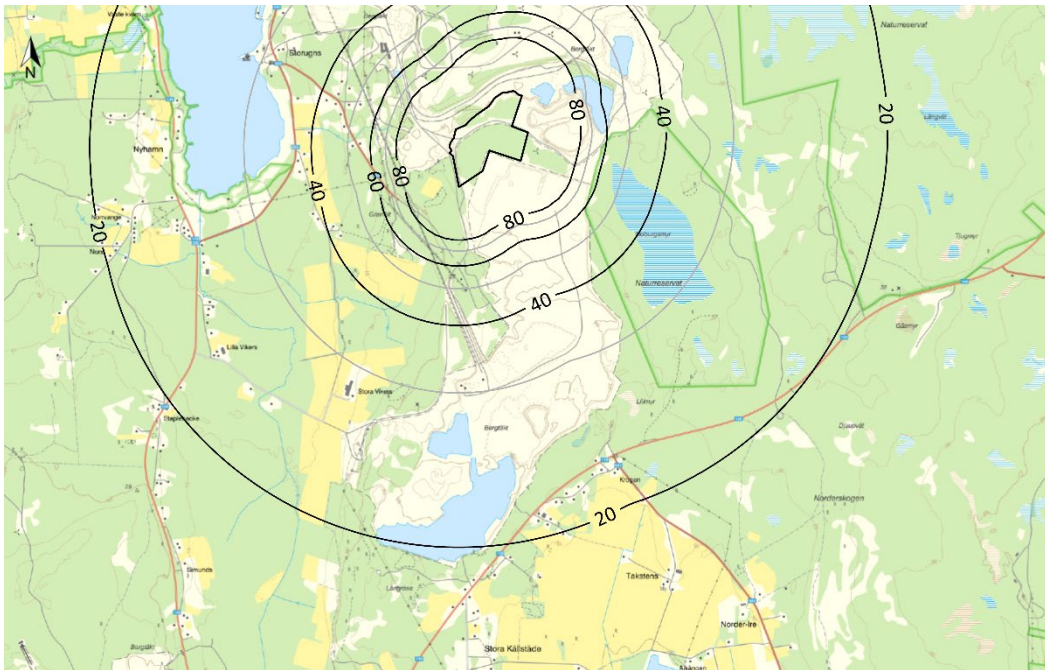
**Figur 3.14.** Prognostiserade maximala luftstöt vågstryck för Takstens. Högst luftstöt vågstryck i området har prognostiserats till 45 Pa (reflektionstryck 90 Pa).



**Figur 3.15.** Prognostiserade maximala luftstövågstryck i Norra Klinthagen. Högst luftstövågstryck vid bostadshus är prognostiserade till området väster om brytområdet där maximal nivå vid närmaste hus prognostiserats till ca 25 Pa (reflektionstryck 50 Pa).



**Figur 3.16.** Prognostiserade maximala luftstötstågstryck i Nordkross. Högst luftstötstågstryck vid bostadshus är prognostiserade till området väster om brytområdet där maximal nivå vid närmaste hus prognostiserats till ca 40 Pa (reflektionstryck 80 Pa).



**Figur 3.17.** Prognostiserade maximala luftstövågstryck i Nordvästra Klinthagen. Högst luftstövågstryck vid bostadshus är prognostiserade till området väster om brytområdet där maximal nivå vid närmaste hus prognostiserats till ca 30 Pa (reflektionstryck 60 Pa).

### 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 där kastlängderna inte är speciellt långa. 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 påstås vara antingen att avståndet mellan sprängmedlet och bergytan är för liten (dvs. försättningen eller förladdningen) eller att mängden sprängmedel är för stort.

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.

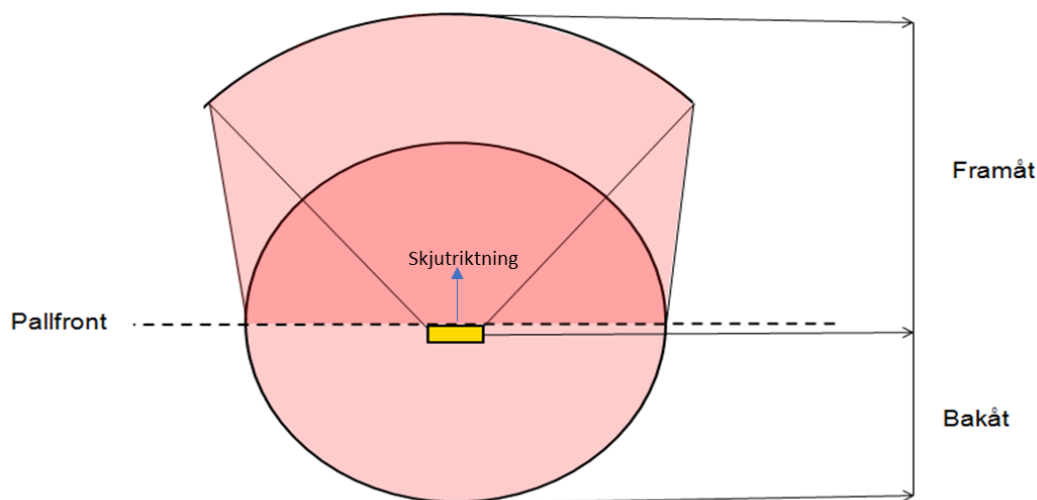
### 3.3.3. Kontroll

Det är generellt svårt att följa upp stenkastning, det som sker idag är att sprängaren skall notera i sprängjournalen om man ser att det sprutat mer sten än normalt.

Ett proaktivt arbete när det gäller stenkastning handlar framför allt om att underhålla de rutiner som gör att skyddsåtgärderna följs på ett riktigt sätt.

### 3.3.4. Skyddsavstånd

Generellt rekommenderas, vid användande av 89 mm borrhål, ett skyddsavstånd på 420 m framför salvan och 240 m bakom (enligt figur 3.18). Dessa avstånd gäller under förutsättning att man har en "normal" säkerhetsnivå och normala sprängtekniska parametrar (laddning, försättning, hålavstånd etc) vid sprängningarna. 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 3.18.** Säkerhetszonens utformning. Den runda cirkeln gäller kratereffekt (det vill säga för bakåtkast) medan det utökade området i framåtriktningen gäller kasten från pallkant.

Detta kan i praktiken innebära att man måste planera salvan så att omgivande personal och objekt inte hamnar innanför denna säkerhetszon.

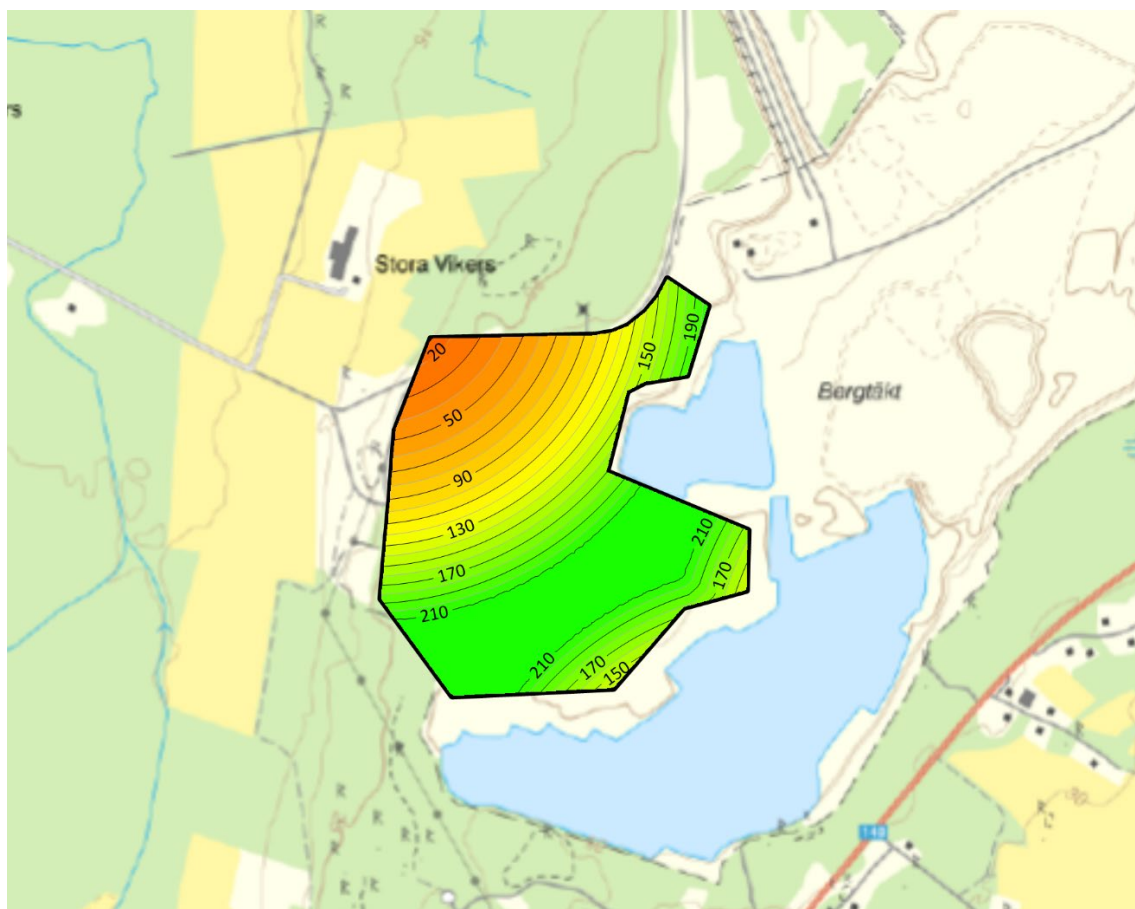
### 3.4. Laddberäkningar

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

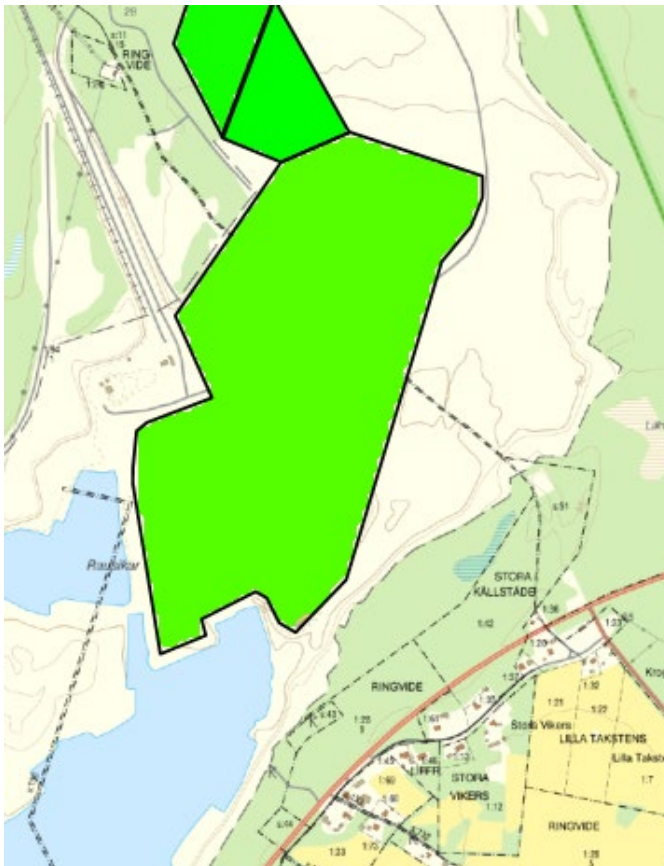
Störst betydelse för vibrationens storlek har avståndet samt den så kallade samverkande laddningen (den maximala mängden sprängämne som detonerar vid exakt samma tidpunkt, vanligtvis laddningsmängden i ett borrhål). Andra faktorer såsom geologi, kopplingsfaktor, tändplan etc. har också betydelse för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

De pallhöjder som är aktuella i Klinthagen går från lägsta höjden 5 meter till högsta på 30 meter. Beräkningarna utgår från att borrhålsdiametern  $\varnothing 89$  mm kommer att användas. Den ur vibrations synpunkt samverkande laddningen ( $q$ ) bygger på att exploatören konstruerar tändplaner som medger unika intervalltider för varje borrhål.

De samverkande laddningsmängderna som beräknats kunna användas i de olika områdena i täkten redovisas i figur 3.19 – 3.24. Dessa laddningsmängder har beräknats för antaget riktvärde vid bostadshus på 4 mm/s vilket används som 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 3.19.** I södra Klinthagen är det planerat att den västra delen har upp till 30 meters pallhöjd och den östra har 9 meters pallhöjd. I den västra delen varierar den samverkande laddningen från ca 20 till 215 kg. I det östra området är 9 meters fulla pallar möjliga (ca 65 kg samverkande laddning). Dessa laddningsberäkningar är framtagna för att inte överstiga rådande värden på 4 mm/s vid närmaste bostad (Stora Vikers).

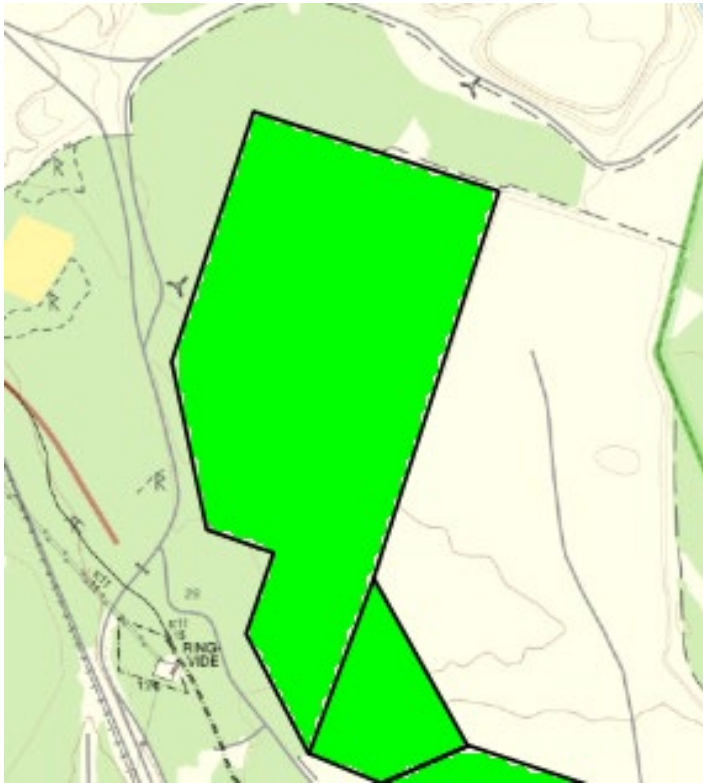


**Figur 3.20.** Centrala Klinthagen är indelat i två olika pallhöjder där det norra området har en pallhöjd på 22 m och det södra området har en pallhöjd på 9 m. Den maximala samverkande laddningen för norra området är 157 kg och för det södra området varierar laddningen mellan 62 - 64 kg. Den maximala samverkande laddningen tar hänsyn till pallhöjden och den rådande vibrationsnivå för bostäder (4 mm/s).

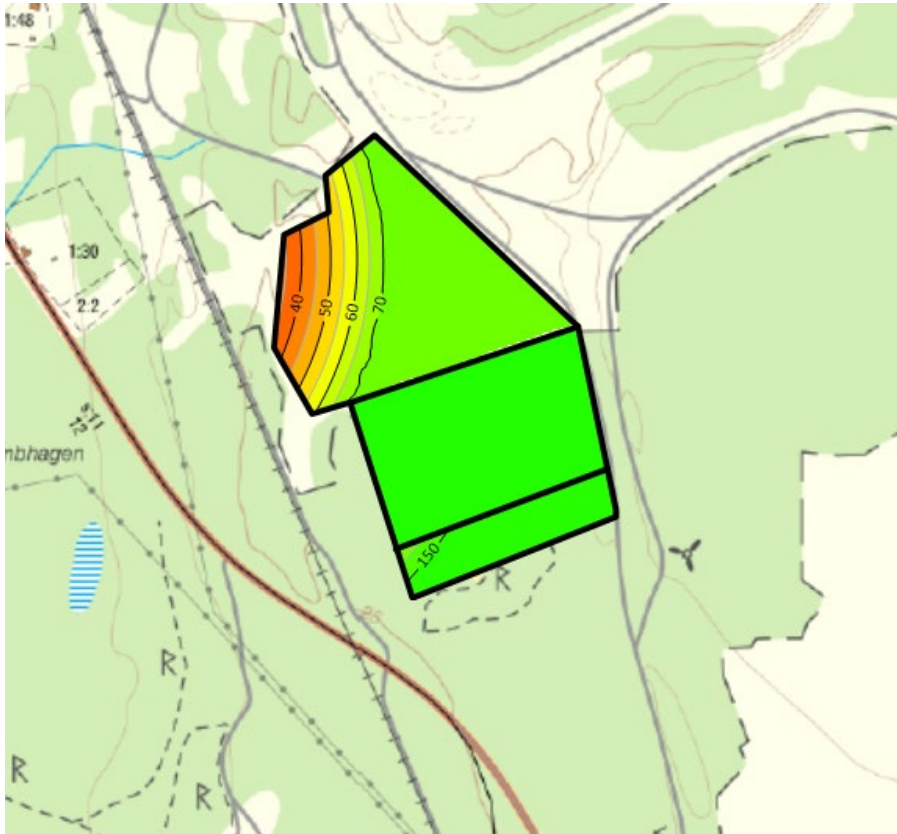


**Figur 3.21.** För Takstens varierar den maximala samverkande laddningen mellan 17 - 62 kg med hänsyn på att inte överstiga det rådande vibrationsnivå för bostäder (4 mm/s).

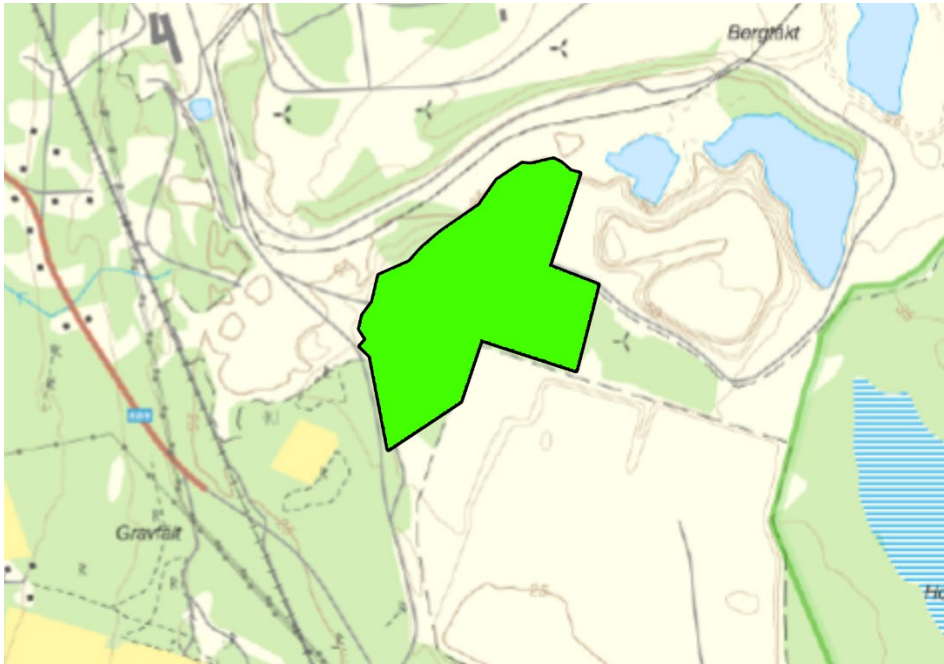




**Figur 3.22.** Norra Klinthagen kommer att brytas i två pallen där den första pallen har en pallhöjd på 6-9 m och den andra pallen på 17-20 m. Den maximala samverkande laddningen kommer i första pallen att vara 64 kg och för den andra pallen 143 kg. Den maximala samverkande laddningen tar hänsyn till den högsta planerade pallhöjden samt rådande vibrationsnivåer för bostäder (4 mm/s).



**Figur 3.23.** Nordkross är uppdelat i tre områden där pallhöjden är 22 meter i södra delen, 5 meter i mellersta samt 10 meter i den norra delen. I det södra området varierar den maximala samverkande laddningen mellan 143 – 157 kg, för det mellersta området blir laddningen 36 kg och i det norra området varierar laddningen mellan 34 – 71 kg. Den maximala samverkande laddningen tar hänsyn till pallhöjden och rådande riktlinjer för vibrationsvärden för bostäder (4 mm/s).



**Figur 3.24.** I nordvästra Klinta är pallhöjden planerad till 16 m vilket innebär en samverkande laddning om ca 115 kg. Vidare är denna samverkande laddning möjlig i hela området.

## 4. Kontroll och Skyddsåtgärder

### 4.1. Allmänt

Till viss del skiljer sig skyddsåtgärderna mellan de tre diskuterade formerna av omgivningspåverkan (vibrationer, luftstöt våg och stenkast) men i viss mån är de mycket lika. Allmänt kan konstateras att vibrationerna är starkt korrelerade till mängden sprängämne i varje borrhål (sk. samverkande laddning) och är därför lättast av de tre att beräkna. Det finns dock alltid en direkt kostnad kopplad till vibrationsvillkoret – det är samma energi i sprängningen som fragmenterar berget som ger upphov till vibrationer i omgivningen.

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 luftstöt våg

I dag mäts det på fyra platser vid Klinthagen (blå prickar i figur 4.1). När verksamheten flyttar norr och söderut bör mätpunkterna kompletteras med mätning i de närmaste byggnaderna kring verksamheten (röda prickar i figur 4.1). Möjligtvis kan någon av de befintliga mätpunkterna flyttas om man vill begränsa antalet mätpunkter.

Mätning i de norra mätpunkterna behöver inte ske när produktion sker i söder och på motsvarande sätt behöver mätning inte ske i de södra mätpunkterna när produktion sker i norr. Här bör det följaktligen vara upp till bolaget om man väljer att flytta mätpunkterna beroende på var produktion pågår eller om man väljer att ha fasta mätpunkter.



**Figur 4.1.** Förslag på mätpunkter, röda prickar är förslag på kommande mätpunkter medan de blå markerar de nuvarande.

### 4.3. Skyddsåtgärder vibrationer

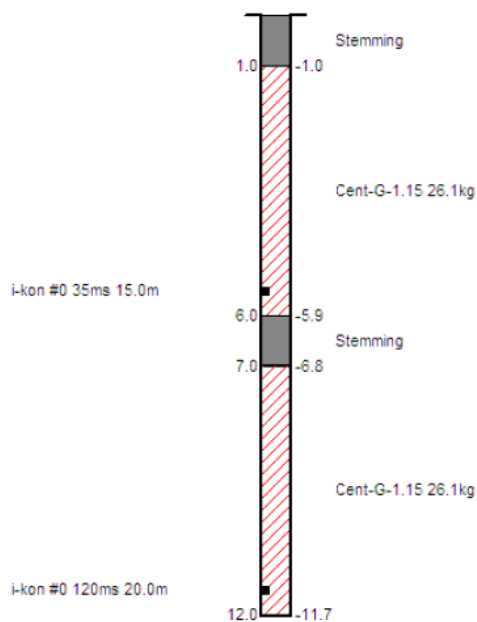
Skyddsåtgärder som används för att hålla nere vibrationsnivåerna vid sprängning är följande:

- 1) Inget borrhål laddas mer än vad som är beräknat, detta då en individuell kontroll av laddningen i varje borrhål utförs, dvs. om planerad mängd sprängmedel i borrhålet överskrids så stoppas laddningen från bulkbilen. Det ger en minskad risk för att stora mängder sprängämne ska kunna bli koncentrerade i öppna sprickplan eller hålrum inne i berget.
- 2) Tändplanerna planeras så att bara ett hål åt gången detonerar.
- 3) Genom att vibrationsmätningar sker kontinuerligt och vid varje salva kan man följa upp och justera laddningsmängder, tändplaner etc., om trenden pekar på att risk för överskridande föreligger. Enligt prognosen kommer dock vibrationerna att vara på en låg nivå så länge skyddsåtgärderna följs och inget tyder på att vibrationsnivån någon gång kommer att överstiga 4 mm/s vid något hus så länge de laddningsmängder som föreslås i denna rapport används.

**Vid påvisade trender för överskridande finns ytterligare skyddsåtgärder att vidta.**

**a) Delladdning:** eller däckladdning (dvs. man skjuter av varje hål i två steg med två tändare med grusning emellan (se figur 4.2).

Delladdning kan om många hål ingår i sprängsalvan innebära komplexa tändplaner. För att garantera att sprängplanen är korrekt uppbyggd har sprängentreprenören tillgång till en programvara där man kan testa sina tändplaner för att säkerställa att ingen samverkan mellan olika hål riskerar att förekomma.



**Figur 4.2.** Exempel på ”delladdning”, det röd-rastrerade området representerar var laddningen är placerad medan de grå områdena är fyllda med grus. I exemplet i bilden detonerar den övre laddningen efter 35 ms och den undre efter 120 ms. Detta är en lång tid i sprängnings-sammanhang och innebär att vibrationerna från de två laddningarna inte kommer att samverka vid mätpunkten.

**b) Minskad borrhålsdiameter (76 mm) + vid behov delad laddning**

Gå ner i borrhålsdiameter till 76 mm för att minska mängden sprängmedel. I dag används 89 mm borrhål vilket innebär 6,1 liter sprängämne per meter. Går man ner till 76 mm hål laddar man istället 4,5 l/m eller en reduktion med 26 %. Eftersom den specifika laddningen (kg sprängämne per kubikmeter berg) alltid måste vara densamma kräver mindre borrhålsdiameter att fler borrhål borras.

**c) Elektroniska tändare: för att styra detonationen med ytterligare precision**

Detta innebär att man kan ta bort risken för att två laddningar skall detonera samtidigt, särskilt vid komplexa sprängplaner kan detta vara betydelsefullt. Normalt används pyrotekniska sprängkapslar "Nonel" vilka har en viss spridning gällande detonationsintervall.

**d) Optimering av tändplaner, tidigare undersökningar visar att fördröjningstider kring 35 ms är optimala i området**

#### 4.4. Skyddsåtgärder luftstötståg

Följande skyddsåtgärder tillämpas i verksamheten för att förebygga förhöjda värden vid mätning av luftstötståg:

- 1) Oladdad del i toppen av borrhålet anpassas för att minimera luftstötstågen.
- 2) Stenkrossmaterial av anpassad fraktion används för att "proppa" borrhålet efter laddning. Detta för att undvika sk. urblåsning.
- 3) När borrhålsdjupet överstiger 10 m mäts alltid de två första hålraderna in samt att stoffen scannas, detta för att kunna ha kontroll över den verkliga försättningen. Är försättningen för liten åtgärdas detta antingen genom att ladda mindre i borrhålet (om avvikelsen inte är för stor) eller genom att borra om det felborrade hålet.
- 4) Inget borrhål skall laddas mer än vad som är beräknat, detta då laddningen av varje individuellt borrhål kontrolleras. Överskrids förväntad laddningsmängd stoppas laddningen från bulkbilen. Detta ger en minskad risk för att stora mängder sprängämne ska kunna bli koncentrerade i öppna sprickplan eller hålrum inne i berget.
- 5) Tändplanerna planeras så att bara ett hål åt gången detonerar.

Genom att luftstötstågsmätning sker kontinuerligt och vid varje salva kan man följa upp och justera metodiken om trenden pekar på att risk för överskridande föreligger. Enligt prognosen kommer dock luftstötstågstrycket att vara på en låg nivå så länge normala skyddsrutiner följs.

#### 4.5. Skyddsåtgärder stenkast

Följande skyddsåtgärder tillämpas i verksamheten för att undvika stenkastning:

- 1) När borrhålsdjupet överstiger 10 m mäts alltid de två första hålraderna in samt att stoffen scannas, detta för att kunna ha kontroll över den verkliga försättningen. Är försättningen för liten åtgärdas detta antingen genom att ladda mindre i borrhålet (om avvikelsen inte är för stor) eller genom att borra om det felborrade hålet.
- 2) Renskrapning av löst material på bergytan: Minskar risken för lösa stenar som kan öka kastrisken. Förbättrar förhållanden för "påhugg" vid borrning av borrhålen. Underlättar utsättning av den planerade borrplanen.
- 3) Oladdad del i toppen av borrhålet anpassas till rätt längd och kontrollmäts för att minimera kastrisk från toppen av sprängsalvan sk. kratereffekt. I områden där kastrisken inte är uppenbart låg skall den oladdade delen vara minst lika lång som försättningen.
- 4) Stenkrossmaterial av anpassad fraktion används för att "proppa" borrhålet efter laddning. Detta för att undvika sk. urblåsning.
- 5) Tändplan där intervalltider mellan borrhålen är anpassade efter bergkvalité och borrplan.
- 6) Inget borrhål skall laddas mer än vad som är beräknat, detta då laddningen av varje individuellt borrhål kontrolleras. Överskrids förväntad laddningsmängd stoppas laddningen från bulkbilen. Detta ger en minskad risk för att stora mängder sprängämne ska kunna bli koncentrerade i öppna sprickplan eller hålrum inne i berget.
- 7) När behov föreligger skall även sprängningarna planeras så att personal och objekt inte hamnar innanför säkerhetszonen för stenkast.

Under förutsättning att dessa åtgärder sköts på ett korrekt sätt kan sprängningar utföras utan att riskera s.k. opåräknad stenkastning.

## 5. Slutkommentarer

Denna rapport innehåller prognoser för omgivningspåverkan tillsammans med de åtgärder verksamheten bör utföra för att begränsa denna omgivningspåverkan. Om man jämför de utförda prognoserna med de villkor som gäller för verksamheten idag kan följande konstateras:

Gällande villkor:

Vibrationer: Vid sprängning får vibrationshastigheten inte överskrida 4 mm/s vid mer än 10 % av mättillfällena per år (mätning enligt SS 460 48 66).

Luftstötståg: Luftstötståg till följd av sprängning får som begränsningsvärde inte överstiga 100 pascal mätt som frifältsvärde (200 Pa reflektionstryck), (mätning enligt SS 02 52 10). Villkoret anses uppfyllt om begränsningsvärdet innehålls i 95% av mätningarna.

Historiskt kan konstateras att villkoret fungerat bra, under den period som studerats i denna rapport (juli 2013 till januari 2023) har 4 mm/s överskridits 2 gånger. Gällande luftstötstågen har 100 Pa aldrig överskridits.

De prognoser som gjorts i denna rapport för de nya brytområdena visar att begränsningsvärden inte heller framåt riskerar att överträdas, dvs brytningen kan ske på det sätt och med de laddningar som beskrivs i denna rapport utan att dessa värden riskerar att överskridas.