

Rapport

# **Gruvorna Tapuli, Palotieva och Sahavaara, Pajala kommun**

Utredning avseende vibrationer, luftstöt vågor och  
stenkast

**Rapportnummer** 1924 8569 R 02  
**Datum** 2019-05-24  
**Uppdragsgivare** Kaunis Iron AB

**Handläggare:**

Dick Öhman

**Granskad av:**

Olof Bergström

## Sammanfattning

Kaunis Iron har för avsikt att ansöka om tillstånd för brytning av järnmalm i tre fyndigheter: Tapuli, Palotieva och Sahavaara. Verksamheten kommer att bedrivas som dagbrott och den är redan pågående i Tapuligruvan och det anrikningsverk som finns där.

Det är relativt stora avstånd mellan bebyggelse och fyndigheter för gruvorna Tapuli och Palotieva. Fyndigheten i Sahavaara ligger betydligt närmare bebyggelse.

Utredningen avseende vibrationer och luftstöt vågor jämförs mot Svensk Standard och för stenkast mot SveDeFo:s forskning. Utredningen för den planerade gruvverksamheten visar på att:

- Riktvärden avseende **vibrationer** beräknas med god marginal kunna innehållas för fyndigheterna Tapuli och Palotieva, åtgärder behöver vidtas för Sahavaara
- Riktvärden avseende **luftstöt vågor** beräknas kunna innehållas, även vid de tillfällen förutsättningarna är gynnsamma för höga luftstöt
- Det beräknade säkerhetsavståndet för **stenkast** är 800 meter, vilket är betydligt kortare avstånd än till den närmaste bebyggelsen för fyndigheterna Tapuli och Palotieva, åtgärder behöver vidtas för Sahavaara

Den närmaste bebyggelsen finns i Kaunisvaara och Aarevaara för fyndigheterna Tapuli och Palotieva, avståndet till dem är cirka 3 respektive 4 km. Fyndigheten i Sahavaara angränsar mot byn Sahavaara som ligger inom 1 km från fyndigheten, men även Kaunisvaara by ligger cirka 1,5 km ifrån fyndigheten.

Sannolikt kommer de flesta av de boende inom det i rapporten undersökta området känna av vibrationer från produktionssprängningarna i olika grad.

## Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Uppdrag .....</b>	<b>5</b>
1.1. Uppdragsgivare .....	5
1.2. Bakgrund.....	5
1.3. Lokalisering .....	5
1.4. Underlag.....	6
<b>2. Inventering .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Närliggande bebyggelse .....</b>	<b>7</b>
2.1.1. Inventering Tapuli .....	7
2.1.2. Inventering Palotieva .....	7
2.1.3. Inventering Sahavaara .....	7
<b>3. Vibrationer.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Allmänt .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Tillåtna vibrationsnivåer .....</b>	<b>8</b>
3.2.1. Riktvärden teknisk risk.....	8
<b>3.3. Beräknade vibrationer.....</b>	<b>9</b>
3.3.1. Sprängtekniska förutsättningar .....	9
3.3.2. Beräkningsresultat vibrationer, 165 mm håldiameter.....	10
3.3.3. Beräkningsresultat vibrationer, 250 mm håldiameter.....	11
<b>3.4. Bedömning av vibrationer .....</b>	<b>12</b>
<b>4. Luftstöt vågor.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Allmänt om luftstöt vågor .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Tillåtna luftstöt vågor .....</b>	<b>13</b>
4.2.1. Riktvärden teknisk enligt SS 02 52 10 .....	14
<b>4.3. Beräknade luftstöt vågor .....</b>	<b>14</b>
4.3.1. Underlag.....	14
4.3.2. Beräkningsresultat luftstöt vågor .....	14
<b>4.4. Bedömning av luftstöt vågor .....</b>	<b>15</b>
<b>5. Stenkast.....</b>	<b>16</b>
<b>5.1. Allmänt om stenkast .....</b>	<b>16</b>
<b>5.2. Beräknade kastavstånd .....</b>	<b>17</b>
5.2.1. Beräkning av kastavstånd vid sprängning djupare ned i gruvfyndigheterna	18
<b>5.3. Åtgärder för minskad kastrisk.....</b>	<b>20</b>
5.3.1. Minska laddningen.....	20

---

5.3.2.	Riktningen på salvan .....	20
5.3.3.	Täckningen .....	21
5.3.4.	Övriga åtgärder .....	22
5.3.5.	Sammanfattning åtgärder stenkast.....	22
<b>5.4.</b>	<b>Säkerhetsavstånd.....</b>	<b>22</b>
<b>5.5.</b>	<b>Bedömning av stenkast .....</b>	<b>23</b>

**Bilaga 1 – Översiktskarta med avståndslinjer från dagbrottskanter, vibrationer**  
**Bilaga 2 – Översiktskarta med avståndslinjer från dagbrottskanter, stenkast**

## 1. Uppdrag

Nitro Consult har fått i uppdrag att utreda omgivningspåverkan med avseende på vibrationer, luftstöt vågor och risken för stenkast i samband med planerad gruvdrift i gruvorna Tapuli, Palotieva och Sahavaara, Pajala kommun.

Kaunis Iron AB har för avsikt att ansöka om tillstånd enligt 9 och 11 kapitlet i miljöbalken för brytning av järnmalmsfyndigheterna Tapuli, Palotieva och Sahavaara samt för bearbetning av malmen i Kaunisvaara anrikningsverk i Pajala kommun. Utredningen avser att, utifrån de redovisade förutsättningarna, svara på om det föreligger risk för teknisk skada på närliggande bebyggelse.

### 1.1. Uppdragsgivare

Kaunis Iron AB

Att: Åsa Allan

### 1.2. Bakgrund

Malmfyndigheten i Tapuli och Sahavaara går långt tillbaka i tiden, 1918 upptäckte man att det fanns järnmalm i området. Det dröjde dock till 2012 innan en gruva i Tapuli öppnades med tillstånd från Gränsälvscommissionen.

I juli 2018 återupptog Kaunis Iron brytningen av järnmalm i Tapuli och har därefter vidare undersökt mineraliseringarna i området för att kunna öppna nya fyndigheter. Det har lett till den aktuella ansökan om tillstånd där även Palotieva och Sahavaara fyndigheterna ingår.

### 1.3. Lokalisering

Nuvarande och planerad gruvverksamhet vid Kaunisvaara är belägna ca 25 km nordost om Pajala centralort, Norrbottens län. Tapulifyndigheten ligger ca 3 km norr om byn Kaunisvaara, med fyndigheten Palotieva belägen ytterligare ca 400 m åt nordost som en satellitfyndighet till Tapuli. Sahavaarafyndigheten ligger ca 5 km direkt söder om Tapuli dagbrott, ca 700 m väster om de centrala delarna av byn Sahavaara och 1,5 km sydväst om byn Kaunisvaara. Se även bild 1 för en översiktskarta.

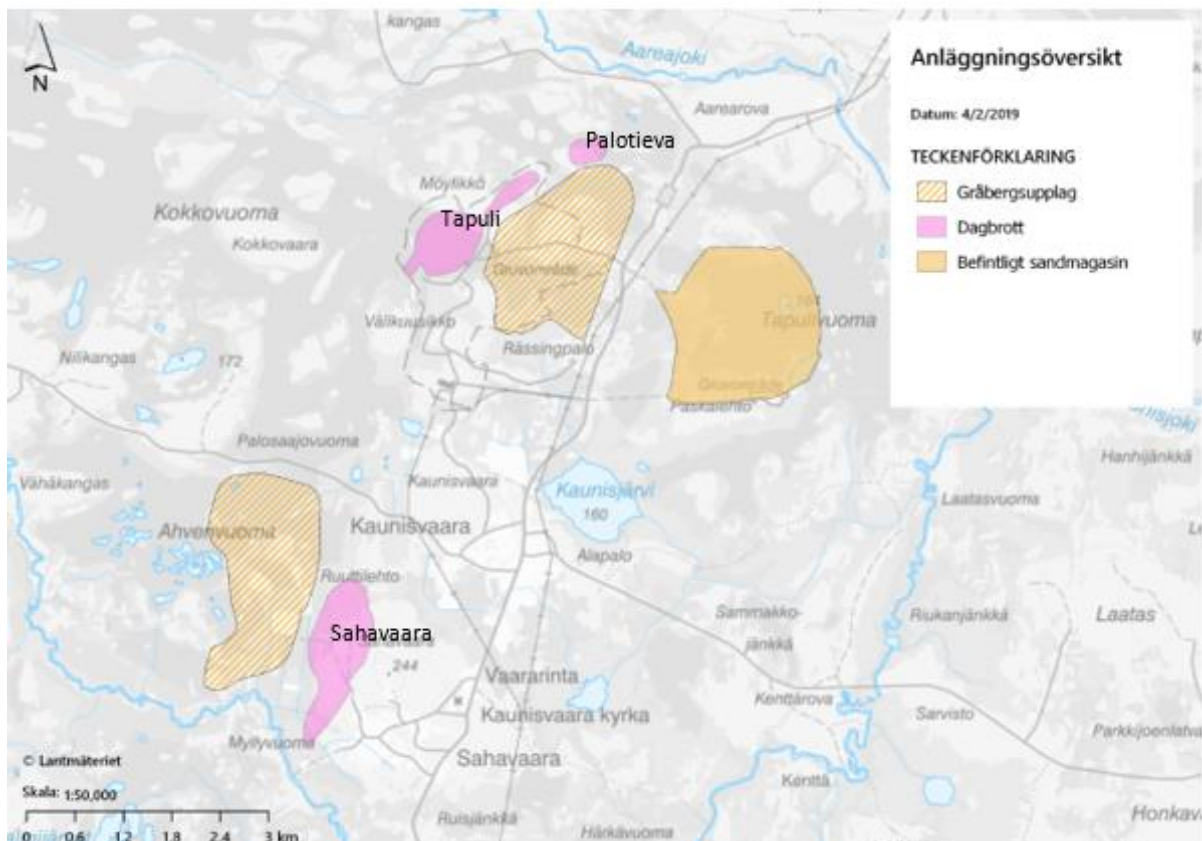


Bild 1, Översiktskarta gruvorna Tapuli, Palotieva och Sahavaara

#### 1.4. Underlag

Nedan angivet underlag har använts. Utöver detta har även annat underlag använts, och finns då angivet som referens/underlag i text.

- Verksamhetsbeskrivning, kartmaterial och sprängtekniskt underlag erhållet av Kaunis Iron
- Platsbesök utfört den 6/8 2008, 8/10 2018 och 14/2 2019
- Erfarenheter från liknande uppdrag
- Sveriges geologiska undersökning, SGU, Jordartskarta
- Svensk Standard SS 4604866:2011, *Vibration och stöt - Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader*
- Svensk Standard SS 02 52 10, *Vibration och stöt - Sprängningsinducerade luftstöt vågor - Riktvärden för byggnader*
- Svensk Standard SS-ISO 8569:2006, *Vibration och stöt – Mätning och värdering av effekter från vibration och stöt på känslig elektronisk utrustning i byggnader*

## 2. Inventering

### 2.1. Närliggande bebyggelse

Utredningen omfattar de tre gruvorna Tapuli, Palotieva och Sahavaara. Den närmsta bebyggelsen utgörs av byarna Kaunisvaara, vilken angränsar mot fyndigheterna Tapuli och även Sahavaara och byn Sahavaara. I norr finns byn Aarevaara och den angränsar närmast mot fyndigheten Palotieva.

#### 2.1.1. Inventering Tapuli

Lokaliseringen är allmänt glesbebyggt och byn Kaunisvaara är ca 3 km söder om brytningsområdet och Aarevaara är ca 4,5 km nordost om brytningsområdet.

Byggnaderna i Kaunisvaara utgörs till största del av äldre trähus 1 eller 1½ plans trähus med eller utan källare och flesta husen har murstock. I samband med inventeringen återfanns ingen byggnad som betraktas som speciellt känslig för vibrationer och/eller luftstötter.

Undergrunden i byarna Kaunisvaara och Aarevaara är enligt SGU:s jordartskarta morän.

#### 2.1.2. Inventering Palotieva

Palotieva är den nordligaste av fyndigheterna och till byn Aarevaara är det ca 4 km.

I Aarevaara är bebyggelsen till största del äldre trähus 1 eller 1½ plans trähus med eller utan källare och flesta husen har murstock. I samband med inventeringen återfanns ingen byggnad som betraktas som speciellt känslig för vibrationer och/eller luftstötter. Det finns även en transformatorstation i nära anslutning till väg 99 som går genom byn.

#### 2.1.3. Inventering Sahavaara

Fyndigheten i Sahavaara är den som ligger närmast bebyggelse, där det finns byggnader i byn Sahavaara som ligger inom 1 km från brytningsområdet.

De flesta byggnader är äldre trähus 1 eller 1½ plans trähus med eller utan källare och flesta husen har murstock. Det finns byggnader i inventeringsområdet med fasadmaterial som är känsligare för vibrationer.

Undergrunden i byn Sahavaara är enligt SGU:s jordartskarta morän, det har dock framkommit att vissa byggnader kan antas vara grundlagda på berg.

Kaunisvaara by ligger lite drygt en kilometer från dagbrottskanten till fyndigheten i Sahavaara. I den västliga utkanten av byn ligger en sprängämnesstation som i dagsläget förser Tapuligruvan med sprängämne.

## 3. Vibrationer

### 3.1. Allmänt

Vid sprängning uppstår vågrörelser som ger vibrationer i marken. Vågrörelserna har en utbredning som påminner om de ytrörelser som uppstår när ett föremål kastas i vatten. Vågorna sprider sig symmetriskt utåt från detonationen och avtar med ökat avstånd. Utbredningen är beroende på ett flertal faktorer som exempelvis; typ av vågor och markbeskaffenhet. Storleken på vibrationen beror främst på avståndet till sprängningen och energin från den samverkande laddningen.

### 3.2. Tillåtna vibrationsnivåer

Vilka tillåtna vibrationsnivåer som kommer att gälla vid närliggande bebyggelse styrs dels av det vibrationsvillkor som kommer att omgärda verksamheten dels av att inga byggnader skall skadas.

#### 3.2.1. Riktvärden teknisk risk

Den aktuella Svenska Standarden SS 4604866:2011 skall tillämpas vid beräkning av riktvärden för tillåtna vibrationer i samband med sprängningsarbeten. Riktvärden sätts så att skador inte skall uppstå på byggnader och standarden gäller alla slags sprängningsarbeten såsom bergtäkter, gruvor och anläggningsarbeten. Riktvärdena tar inte hänsyn till den psykologiska effekt som sprängning kan ha på den som vistas i byggnaderna, inte heller till de risker för skador eller driftstörningar som kan uppstå på vibrationskänsliga utrustningar som t.ex. transformatorstationer.

I standarden tas framförallt hänsyn till byggnadens:

- Undergrund
- Vibrationskänslighet i konstruktion och material
- Avstånd till sprängplats
- Typ av verksamhet

Tillåten vibrationsnivå för byggnader anges normalt vid denna typ av verksamhet för avståndet 350 m ( $v_{350}$ ). Vid avstånd över 350 m är riktvärdena konstanta, d.v.s. värdet för  $V_{350}$  gäller för avstånden 350 meter och längre.

Enligt SS 4604866:2011 används **vertikal** svängningshastighet, mm/s, som skadekriterium.

Förutsättningarna för fyndigheterna Tapuli och Palotieva är enligt inventeringen likartade när det gäller bebyggelse, där är också avstånden stora. För fyndigheten i Sahavaara finns vissa variationer och därför redovisas beräkningar för fyra olika byggnadstyper enligt nedan.



- Typ 1: För området normal bebyggelse men grundlagd på berg
- Typ 2: Putsad fasad i dåligt skick, grundlagd på berg
- Typ 3: Kalksandstensfasad, grundlagd på morän
- Typ 4: Övrig bebyggelse grundlagd på morän

Typ 1–3 finns markerade på bilaga 1. Typ 4 är alla övriga byggnader som inte markerats på något speciellt sätt. Vid inventeringen framkom även en fastighet som har delat grundläggning berg/morän, byggnaden har inte markerats på något speciellt sätt utan ingår i Typ 4. Bebyggelsen i byarna Kaunisvaara och Aarevaara ingår i Typ 4.

Beräkning av tillåtna vibrationsnivåer för att undvika skador har utförts utifrån ovanstående byggnadstyper samt att avståndet från sprängningen är mer än 350 meter och att sprängningsarbete utförs för mer än 2 salvor per vecka. Riktvärdena för att undvika teknisk skada på bostadsbyggnaderna redovisas i nedanstående tabell 1.

Tabell 1, Beräknade riktvärden enligt SS 4604866:2011 för olika hustyper

Hustyp	>350 m
Typ 1	12 mm/s
Typ 2	10 mm/s
Typ 3	6 mm/s
Typ 4	9 mm/s

För transformatorstationen i Aarevaara är det acceleration som är den gränssättande enheten. Ett restriktivt riktvärde för transformatorstationen är 1 g, ca 10 m/s<sup>2</sup>.

### 3.3. Beräknade vibrationer

#### 3.3.1. Sprängtekniska förutsättningar

De utförda vibrationsberäkningarna baseras på de förutsättningar som innebär största tänkbara vibrationspåverkan. Vid den planerade dagbrottsverksamheten i de tre fyndigheterna kommer sprängningsarbetena med losshållning av malm ske med två olika borrhålsdiametrar och som beräkningsunderlag utgörs de av 165 mm hål och 250 mm hål. I övrigt är förutsättningarna de samma, 15 meters pallhöjd (med bedömd förladdning 4 m och underborrning 1 m vilket ger 12 m laddad del).

Det betyder inte att dessa förutsättningar är de som är brytningstekniskt mest tillämpbara - det är möjligt att t.ex. en mindre håldiameter väljs av produktions-ekonomiska skäl. Beräkningarna utförs dock utifrån de möjliga förutsättningar som innebär den största vibrationspåverkan.

De sprängtekniska förutsättningarna, för produktionssprängningar, som är av betydelse för denna rapport redovisas i tabell 2. De redovisade förutsättningarna är för två olika håldiametrar och den högsta förekommande pallhöjden för dessa.

Tabell 2, Sprängtekniska förutsättningar

Största håldiameter	6,5" (165 mm)	9,78" (250 mm)
Pallhöjd	15 m	15 m
Håldjup	16 m	16 m
Densitet sprängämne	1,05 kg/l	1,05 kg/l
Antal samverkande hål	1 st	1 st

### 3.3.2. Beräkningsresultat vibrationer, 165 mm håldiameter

Beräkningar har utförts för 165 mm borrhålsdiametrar och på sex olika avstånd från planerad sprängning. I beräkningarna har förutsatts att upptändning sker så att maximalt ett hål samverkar vid mottagningspunkten samt förutsatts att man använder pumpbara emulsionssprängämnen. Den maximala vibrationsnivån har beräknats i tabell 3, med de givna förutsättningarna.

Tabell 3, Beräknade maximala vibrationer vid sprängning med 165 mm hål

Avstånd (m)	Bakom salvan (mm/s)	Sida om salvan (mm/s)	Framför salvan (mm/s)
500	10	8	5
750	5	4	2.5
1000	3	2.5	1.6
1500	1.6	1.2	0.8
2000	1	0.8	0.5
3000	0.5	0.4	0.3
4000	0.3	0.2	0.2

De platsspecifika konstanterna kan skilja sig något från de som använts i beräkningarna. Det är dock osannolikt att avvikelserna skulle vara väsentliga. De värden som anges i tabell 3 stämmer också väl överens med vår erfarenhet från mätningar på andra ställen med liknande förutsättningar.

#### Tapuli och Palotieva, 165 mm håldiameter

För fyndigheterna i Tapuli och Palotieva där avstånden är relativt långa till närmaste bebyggelse är de beräknade vibrationsnivåerna betydligt lägre de riktvärden som har beräknats för bebyggelsen enligt SS 4604866:2011.

#### Sahavaara, 165 mm håldiameter

För fyndigheten i Sahavaara är de beräknade vibrationsnivåerna lägre för samtliga typer av bebyggelse på avstånd från 750 m och längre, än vad de riktvärden som har beräknats för bebyggelse enligt SS 4604866:2011. Bebyggelse grundlagt på berg av typ 1 och 2 uppfyller villkoren i SS 4604866:2011 på avstånd från 500 m och längre.

### **3.3.3. Beräkningsresultat vibrationer, 250 mm håldiameter**

Beräkningar har även utförts för 250 mm borrhålsdiametrar och på sex olika avstånd från planerad sprängning. I beräkningarna har förutsatts att upptändning sker så att maximalt ett hål samverkar vid mottagningspunkten samt förutsatts att man använder pumpbara emulsionssprängämnen.

Den maximala vibrationsnivån har beräknats i tabell 4, med de givna förutsättningarna.

Tabell 4, Beräknade maximala vibrationer vid sprängning med 250 mm hål

<b>Avstånd (m)</b>	<b>Bakom salvan (mm/s)</b>	<b>Sida om salvan (mm/s)</b>	<b>Framför salvan (mm/s)</b>
500	21	16	10
750	10	8	5
1000	6.5	5	3.5
1500	3	2.5	1.5
2000	2	1.5	1
3000	1	0.8	0.5
4000	0.6	0.5	0.3

De platsspecifika konstanterna kan skilja sig något från de som använts i beräkningarna. Det är dock osannolikt att avvikelserna skulle vara väsentliga. De

värden som anges i tabellerna 3 stämmer också väl överens med vår erfarenhet från mätningar på andra ställen med liknande förutsättningar.

#### Tapuli och Palotieva, 250 mm håldiameter

För fyndigheterna i Tapuli och Palotieva där avstånden är relativt långa till närmaste bebyggelse är de beräknade vibrationsnivåerna betydligt lägre de riktvärden som har beräknats för bebyggelsen enligt SS 4604866:2011.

#### Sahavaara, 250 mm håldiameter

För fyndigheten i Sahavaara är de beräknade vibrationsnivåerna lägre för samtliga typer av bebyggelse på avstånd från 1500 m och längre, än vad de riktvärden som har beräknats för bebyggelse enligt SS 4604866:2011. Bebyggelse grundlagt på berg av typ 1 uppfyller villkoren i SS 4604866:2011 på avstånd från 750 m och längre.

För att man ska uppfylla villkoren i SS 4604866:2011 för fastigheter av typ 2, 3, och 4 ska avstånd uppfyllas enligt tabell 5.

*Tabell 5, Beräknade minsta avstånd från sprängning till byggnadstyp vid nyttjande av 250 mm hål*

<b>Byggnadstyp</b>	<b>Bakom salvan (m)</b>	<b>Sida om salvan (m)</b>	<b>Framför salvan (m)</b>
Typ 2	770	650	510
Typ 3	1040	880	690
Typ 4	820	690	545

### **3.4. Bedömning av vibrationer**

De högsta beräknade vibrationsnivåerna erhålls vid sprängning av 250 mm borrhål och med utslagsriktningen rakt bakom salvan.

För fyndigheterna i Tapuli och Palotieva kommer riktvärdena som beräknats enligt SS 4604866:2011 kunna innehållas utan att några åtgärder vidtas. De långa avstånden till transformatorstationen i Aarevaara innebär att accelerationsnivåerna kommer att vara mycket låga och inte gränssättande, se även bilaga 1.

För fyndigheten i Sahavaara finns det ett flertal byggnader där riktvärdena enligt SS 4604866:2011 inte kommer att kunna innehållas, se även bilaga 1.

De flesta salvor som skjuts i fyndigheterna kommer att ge lägre vibrationer än de dimensionerande salvorna beroende på varierande sprängtekniska parametrar.

Det bör även påpekas att det inte är ovanligt att de vibrationsvillkor som erhålls i samband med tillstånd för brytning innebär lägre tillåtna vibrationsnivåer än de riktvärden som kan beräknas ur SS 4604866:2011.

## 4. Luftstöt vågor

### 4.1. Allmänt om luftstöt vågor

Vid sprängning uppstår ett tryck i luften. Storleken på tryckvågen beror på ett flertal parametrar, se vidare under punkt 4.3.2. Det är inte ovanligt, speciellt vid stora sprängningar i bergtäkter och dagbrott, att närboende upplever en effekt av luftstöt vågen som de sedan kopplar till markvibrationen. Luftstöt vågen kan påverka byggnader på relativt stora avstånd från sprängplatsen och eftersom tryckvågen i luft går långsammare än markvibrationen kan sprängningen uppfattas som om den förorsakat två skakningar i byggnaden.

Problem med luftstöt våg är framförallt relaterat till sprängning ovanjord. Mycket höga luftstöt vågor från sprängning ovanjord har inte sällan sin orsak i att sprängämne detonerat fritt i luft, vilket oftast beror på att intilliggande detonerande borrhålsladdningar ”frilagt” sprängämne.

Vid plan- och pallsprängningar, reduceras luftstöt vågstrycket om borrhålen förladdas väl.

I normala sprängtekniska rutiner ingår moment med syfte att säkerställa att all detonation sker inneslutet i berg/malm vilket även minimerar risken för höga luftstöt vågor. En hög luftstöt våg innebär vanligtvis att energi vars syfte är att bryta loss berg/malm istället gått ut till luften vilket ingen har något intresse av. Erfarenheten från långa mätserier visar att luftstöt vågen ändå vid vissa tillfällen kan ha en förhöjd nivå. Sannolikt beror detta på svårbestämda geologiska förhållanden som spricksystem och annat i berget men även att spridningen av luftstöt vågor påverkas av svårkontrollerade meteorologiska parametrar (se exempel punkt 4.3.2).

Luftstöt vågor anges i vissa sammanhang med begreppet reflektionstryck, och i vissa sammanhang som frifältstryck eller frifältsvärde. Frifältstryck innebär att trycket kan mätas vid fri vågutbredning utan störningar från närliggande ytor som påverkar mätvärden. Reflektionstryck är det tryck som uppstår då en våg träffar en yta vinkelrätt mot utbredningsriktningen. De båda begreppen förhåller sig till varandra på så vis att reflektionstrycket är ungefär det dubbla frifältstrycket.

### 4.2. Tillåtna luftstöt vågor

Vilka tillåtna luftstöt vågsvärden som kommer att gälla vid närliggande bebyggelse styrs dels av de luftstöt villkor som kommer att omgärda verksamheten och dels av att inga byggnader skall skadas.

Storleksnivåerna för luftstöt vågor är svåra att med säkerhet beräkna. Det är som beskrivs ovan många faktorer som påverkar och flera av dem är svårkontrollerade.

#### 4.2.1. Riktvärden teknisk enligt SS 02 52 10

I Svensk Standard SS 02 52 10 "Vibration och stöt–Sprängningsinducerade luftstöt vågor–Riktvärden för byggnader" anges 500 Pa som riktvärde för maximalt reflektionstryck för att undvika skador på byggnader. I SS 02 52 10 lämnas även utrymme för reduktion av detta värde för fasta anläggningar som bergtäkter och gruvor, vilket ger att 400 Pa kan anses vara ett relevant riktvärde som bör gälla för planerad verksamhet.

### 4.3. Beräknade luftstöt vågor

#### 4.3.1. Underlag

Beräknade nivåer bygger på empiriskt framtagna ljudtrycksnivåer från ett stort antal kontinuerliga mångåriga mätserier. Nivåerna är laddningsberoende, samverkande laddning, men kan vid konstant pallhöjd sägas vara beroende av borrhålens laddningskoncentration, dvs. borrhålsdiameter. Vid beräkningar av luftstöt vågens impulstäthet har även sprängsalvans totalladdning och tändplanens utsträckning i tiden betydelse. Beräknade nivåer är att betrakta som normala variationer vid uppmätning av reflektionstrycket, ungefär dubbla frifältstrycket. Beräkningarna har utförts med samma håldiameter och avstånd som för vibrationer samt med de sprängtekniska förutsättningar som tidigare nämnts, se tabell 2. Vidare förutsätts att allt sprängämne detonerar inneslutet i borrhålen och att ingen detonation sker fritt i luft.

#### 4.3.2. Beräkningsresultat luftstöt vågor

Luftstöt vågens utbredning och intensitet kan, från ett sprängningstillfälle till ett annat, visa relativt stora variationer vid samma mätplats beroende av många olika faktorer. Störst inverkan har följande parametrar:

- avstånd
- samverkande laddningsmängd
- sprängämnets inneslutningsfaktor
- topografiska förhållanden
- vindriktning och vindstyrka
- luftlagrens skiktning (temperaturinversion och molnbas)
- markytans reflektions- och absorptionsförmåga
- salvans utslagsriktning

Beräkning av luftstöt, reflektionstryck, har utförts med följande resultat:

Tabell 6, Beräknade luftstöt vågor reflektionstryck, vid olika avstånd

<i>Avstånd (m)</i>	<i>6,5" (165 mm) (Pa)</i>	<i>9,78" (250 mm) (Pa)</i>
500	20–190	25–250
750	15–130	15–170
1000	10–100	15–130
2000	5–50	5–60
3000	5–30	5–40
4000	5–25	5–30

Vid de flesta av skjutningarna kommer luftstöt vågen att ligga i den lägre delen av spannet medan det vid något enstaka tillfälle kan komma upp till de högre nivåerna, det till stor del beroende på meteorologiska parametrar men även till viss del sprängtekniska. När brytning sker djupare ned i dagbrottet kommer antalet tillfällen då nivåerna ligger i den högre delen av spannet att minska.

Notera att ovanstående beräkningar utgår ifrån att samtliga laddningar detonerar inneslutna i förladdade borrhål. Detta är av stor vikt för att innehålla beräknade nivåer.

#### 4.4. Bedömning av luftstöt vågor

De beräknade luftstöt vågorna visar på låga nivåer vid skjutningar i fyndigheterna Tapuli och Palotieva. I Sahavaara beräknas nivåerna kunna vara betydligt högre i och med det kortare avståndet till bebyggelse.

Riktvärdena enligt SS 02 52 10 bedöms kunna innehållas vid bebyggelse för samtliga fyndigheter.

## 5. Stenkast

I samband med detonation frigörs en stor mängd gas under högt tryck vars syfte är att fragmentera och lossa bergvolymen. Processen förorsakar även en del oönskade effekter t.ex. luftstöt vågor, damm, vibrationer och stenkast.

Stenkast från sprängningsarbeten kommer att förekomma så länge produktions-sprängningar pågår. Kastlängderna utanför brytområdet kommer att minska när brytningen succesivt kommer arbeta sig nedåt i gruvfyndigheterna.

### 5.1. Allmänt om stenkast

Vid produktions-sprängning förekommer alltid stenkast, dock oftast i mindre omfattning och kastlängderna är inte speciellt långa. Detta omnämns i denna rapport som ”normal kastlängd” och bygger på ett kontrollerat sprängningsförfarande med normala säkerhetsåtgärder avseende förladdning, tändföljd, bergrensning, borrhåls-precision, laddning av salvans första rad etc. Noggrannheten i utförandet av dessa normala säkerhetsåtgärder är avgörande för hur stor risken är för stenkast samt för hur långa kastlängder som kan förväntas och tillåtas och följaktligen för bedömningen av säkerhetsområdet.

Vid vissa tillfällen kan stenar kastas betydligt längre än vad som inryms i begreppet ”normal kastlängd”. Det är något som är relativt ovanligt och beror nästan uteslutande på att något gått fel i salvan. I en studie av Little & Blair<sup>1</sup> anges följande händelseförlopp som de vanligaste orsakerna till långa kastlängder:

- Kratereffekt
- ”Face bursting”
- ”Rifling”
- Sekundär sprängning

**Kratereffekt** kan uppstå då förladdningen, alltså den oladdade delen av borrhålet som fyllts med ett välgraderat stenmaterial för att innesluta spränggaserna vid detonation, är otillräcklig. Det kan bero på både att man har för kort förladdning, men även att berget är skadat från tidigare skjutningar och att trycket från detonationen då via spricksystem kan tränga upp till markytan. Stenkast i detta fall kan ha nästan vilken riktning som helst.

**Face bursting (kast från pallkant)** beror oftast på att man har en för hög laddning i förhållande till den verkliga försättningen i salvans första rad. Det kan exv. bero på hålavvikelse och/eller bergutfall samt skadat berg i salvans framkant från exempelvis tidigare sprängning. Riktningen på stenkast i detta fall är huvudsakligen vinkelrät mot borrhålets riktning och i salvans utslagsriktning.

<sup>1</sup> Little T.N. & Blair D.P. 2010: Mechanistic Monte Carlo models for analysis of flyrock risk, 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting (FRAGBLAST'9), Granada, September 2009. Sid 641-647.



**Rifling (urblåsning)** uppstår när man har en ineffektiv eller otillräcklig förladdning. Gasttrycket går då upp i borrhålet och trycker ut förladdningen samt delar av överytan. Riktningen på stenkast i detta fall följer i stort borrhålets riktning.

**Sekundär sprängning** avser exempelvis skutsprängning och andra oftast mindre skjutningar, vid dessa sprängningar används oftast relativt små laddningar. Dock placeras laddningarna nära fria ytor vilket kan skapa höga utgångshastigheter med långa kastlängder som följd. Stenkast i detta fall kan ha nästan vilken riktning som helst. Vid dessa mindre skjutningar kan det vara lämpligt att placera skut på ett sådant ställe att risken för farliga kast minimeras. Det kan även vara lämpligt att täcka denna typ av sprängning med gummimattor.

En orsak, som inte Little & Blair berör, till långa bakåtkast kan vara så kallad **köbildning**, d.v.s. att salvan går så trögt framåt att det blir stopp och energin går uppåt istället. Köbildning kan uppstå vid exempelvis för stor försättning, fel tändplan eller kvarvarande berg från föregående salva som förhindrar framåtrörelse.

I de fortsatta beräkningarna innefattas ovanstående kastrisker i begreppet "teoretiskt kastavstånd".

## 5.2. Beräknade kastavstånd

De teoretiska kastlängder som listas här härrör från försök som utförts av SveDeFo<sup>2</sup>.

Jämfört med den teoretiska kastlängden som bygger på ett extremfall så kan man vid kontrollerad sprängning, där hänsyn tas till laddning av salvans första rad, förladdningens längd, ev. hålavvikelser och återlastning av bergmassor som skydd mot kast, räkna med att kastlängderna ligger inom 1/5–1/3 av beräknad teoretisk kastlängd i en ca.120° sektor i salvans utslagsriktning samt endast 1/10–1/5 av teoretisk kastlängd bakom salvan.

Beräkningar har utförts enligt de sprängtekniska förutsättningarna i tabell 1.

Tabell 7, Beräknade kastlängder för 165 mm och 250 mm borrhål

<b>Håldiameter</b>		<b>Teoretisk kastlängd</b>	<b>Normal kastlängd</b>	<b>Normal kastlängd</b>
(tum)	(mm)	(m)	Framåt (m)	Bakåt (m)
6,5	165	910	180–305	90–180
9,78"	250	1190	235–400	115–235

<sup>2</sup> Lundborg N., 1981: The probability of flyrock, Report DS 1981:5. SveDeFo

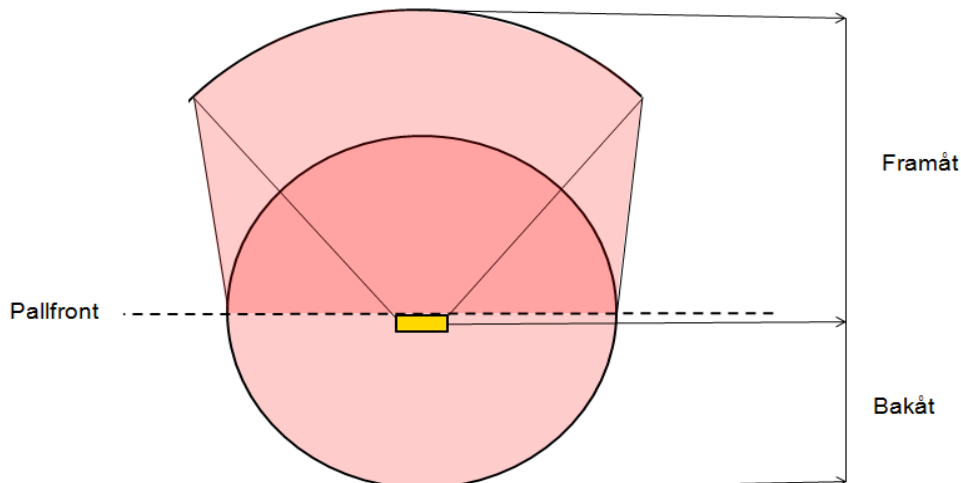


Bild 2, Principskiss för olika kastlängder beroende av riktning och härigenom säkerhetsavstånd

Är den oladdade delen, förladdningen, liten i relation till vad som är normalt d.v.s. förladdning  $\approx$  försättning kommer risken för kast bakom utslagsriktningen att öka. I dessa fall kan inte "Normal kastlängd bakåt" i tabellen ovan användas utan kolumnen "Normal kastlängd framåt" skall då användas oberoende av utslagsriktning. Värdena i kolumnerna "Normalt kastlängd" gäller enbart om tidigare nämnda förutsättningar avseende förladdning samt normala säkerhetsåtgärder avseende tändföljd, bergrensning, borrhålsprecision etc. uppfylls.

### 5.2.1. Beräkning av kastavstånd vid sprängning djupare ned i gruvfyndigheterna

Allt eftersom brytningen kommer djupare bildar hängväggen ett skydd mot bebyggelsen. Dessutom kommer man allt längre ifrån bebyggelsen eftersom väggen har en lutning på  $50^\circ$ . Vid brytning 200 meter under marknivån har man förflyttat sig ytterligare ca 170 meter från bebyggelsen.

Vidare gör höjdskillnaden att ev. kast utanför brytningsområdet landar 200 meter högre än utgångspunkten vilket ytterligare kortar ned kastavståndet utanför brytområdet.

I studien av T.N Little & D.P Blair behandlas även frågan om hur en dagbrottsvägg påverkar kastrisken utanför brytningsområdet. Resultaten visar tydligt att väggen hindrar många stenar att kastas utanför dagbrottet samt att kastlängden förkortas p.g.a höjdskillnaden.

I nedanstående bilder 3 och 4 visas beräkning av teoretiskt kastavstånd vid brytning på 200 m respektive 400 m djup vid nyttjande av 165 mm borrhål.

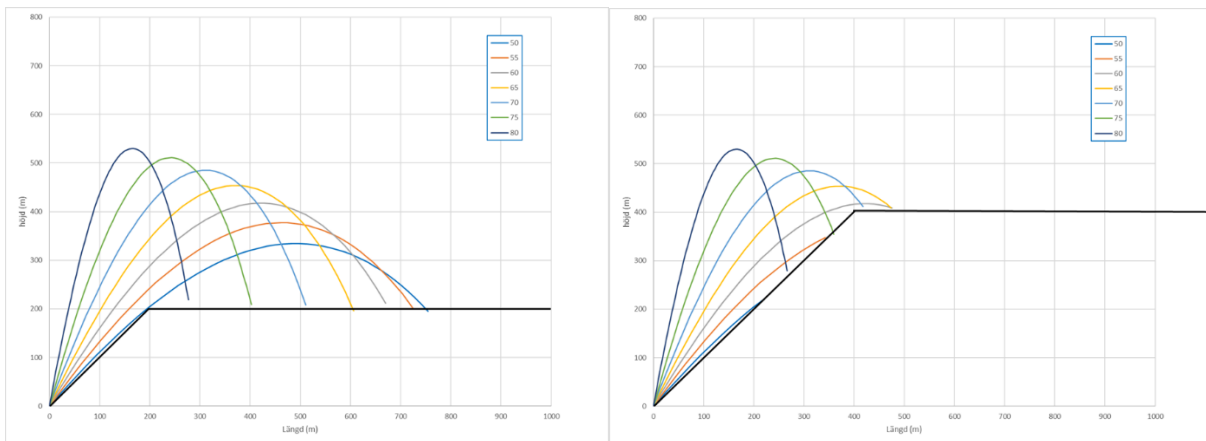


Bild 3 och 4, Teoretisk kastlängd 165 mm hål 200 m djup respektive 400 m djup

Kastlängderna utanför brytgränsen minskar när verksamheten går djupare ned. Vid 200 meters djup har borrhålen flyttats 200 meter in i fyndigheten och ”kastfönstret” har minskat. Den längsta kastlängden får man vid en utgångsvinkel på 50°. Vid 400 meters djup har borrhålen flyttats ytterligare 200 meter in i fyndigheten och ”kastfönstret” minskar ytterligare. Den längsta kastlängden får man vid en utgångsvinkel på 60°.

De längsta kastlängderna får man vid grövre borrhål och i nedanstående bilder 5 och 6 visas beräkning av teoretiskt kastavstånd vid brytning på 200 m respektive 400 m djup vid nyttjande av 250 mm borrhål.

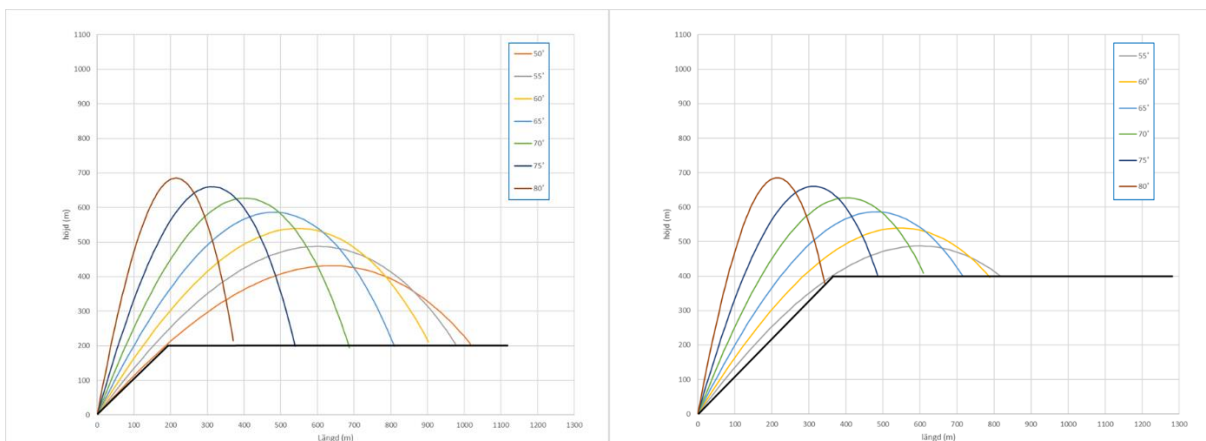


Bild 5 och 6, Teoretisk kastlängd 250 mm hål 200 m djup respektive 400 m djup

Den längsta kastlängden får man vid en utgångsvinkel på 50° respektive 55° för 250 mm borrhål.

Tabell 8 nedan visar hur den teoretiska kastlängden minskar utanför brytningsområdet när verksamheten går djupare ned i fyndigheten. Viktigt att notera är också att inga stenkast normalt kastas utanför brytningsområdet för de två exempel nivåerna.

Tabell 8, Beräknade teoretiska kastlängder utanför brytningsområdet

<b>Håldiameter</b>		<b>Teoretisk kastlängd 200 m djup</b>	<b>Teoretisk kastlängd 400 m djup</b>
(tum)	(mm)	(m)	(m)
6,5	165	550	90
9,78"	250	840	450

### 5.3. Åtgärder för minskad kastrisk

Utöver bra sprängtekniska rutiner med väl rensat berg, anpassad laddning efter faktisk försättning, korrekt förladdning i såväl längd som kvalitet etc. så finns det generellt tre metoder att sprängtekniskt minska kastrisken. Det första är att minska laddningskoncentrationen successivt när avståndet blir mindre för att på så sätt reducera den längd som sprängningen riskerar att kasta sten. Den andra metoden är att ändra riktningen på sprängningen och på så sätt rikta eventuella stenkast åt ett specifikt håll. Den tredje metoden är att täcka eller avskärma sprängningen för att på så sätt förhindra stenkastning.

#### 5.3.1. Minska laddningen

Genom att minska laddningskoncentrationen successivt när avståndet blir mindre för att på så sätt reducera den längd som sprängningen riskerar att kasta sten kan man korta kastlängderna.

Det sätt som sprängning idag normalt sker på innebär att man använder bulksprängämne som i princip ger samma laddningskoncentration längs hela borrhålet, traditionellt har man dock alltid laddat med lägre laddningskoncentration i pipan än i botten eftersom bottenladdningen måste vara högre då det är tyngre att få ut salvan där.

För aktuellt fall där inga effektiva och bra alternativ finns till bulkladdning blir den enklaste lösningen för att minska laddningskoncentrationen att minska håldiametern.

#### 5.3.2. Riktningen på salvan

I princip kan man rikta sprängningen via tändplanen. Precisionen är dock inte tillräckligt hög för att man skall arbeta med detta ur ett säkerhetsperspektiv, däremot är det viktigt att så mycket av salvan som möjligt kastas framåt och inte uppåt eller bakåt. Det görs primärt genom att undvika kratereffekter och istället låta salvan röra sig framåt, se bild 7. Låter man den oladdade delen i borrhålet vara minst lika stor som försättningen så kommer sprängningen alltid att vara riktad framåt då sprängverkan kommer att vara riktad åt det hållet.

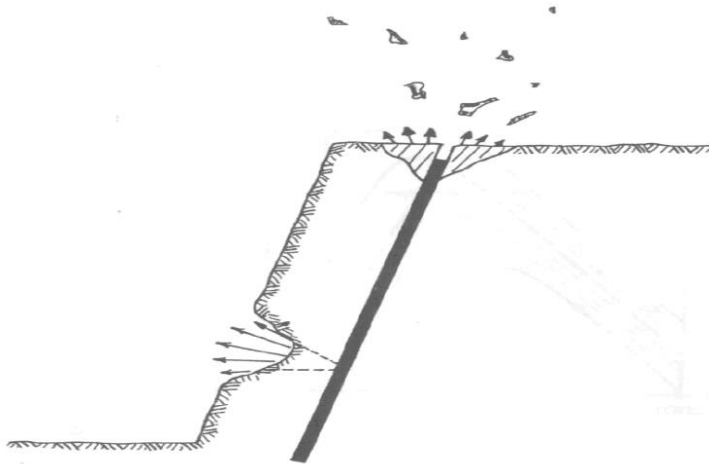


Bild 7<sup>3</sup>, kast från sprängning uppträder normalt antingen framåt och då ofta pga. svaghetszoner, detta är normalt de längsta kasten. Kast kan också ske uppåt s.k. kratereffekt vilket normalt endast uppstår om den oladdade delen är så liten att det är en kortare väg för sprängämnet att trycka berg uppåt än framåt.

### 5.3.3. Täckningen

I princip används tre olika sorters täckning:

**Gummimattor:** Nackdelen är att det är ett förhållandevis dyrt alternativ pga. kort livslängd hos gummimattorna samt relativt stor arbetsinsats och fungerar bara vid relativt klena laddningar, dvs. inte vid normalladdade sprängningar i bergtäkter och dagbrott<sup>4</sup>.

**Täckning med sand:** Nackdelen med sand, eller annan liknande täckning, är att den inte går att plocka bort efter sprängning vilket innebär att man ”späder ut” det utbrutna materialet. Redan på en 10 m pall blir andelen betydande. Det medför även säkerhetsmässiga problem då det kan vara svårt att felsöka vid exempelvis tänd-avbrott.

**Öka den oladdade delen:** Genom att kraftigt öka längden på den oladdade delen kan man i princip undvika kast uppåt. Det är dock ingen garanti att det aldrig kan uppstå kast uppåt eftersom man aldrig kan ha fullständig kontroll på sprickor och andra svagheter i berget. Det skulle kunna kompenseras genom att ytterligare öka den oladdade delen men detta är knappast möjligt utifrån ett losshållnings- och fragmenteringsperspektiv.

I en dagbrottsverksamhet eller vid höga pallar är täckning av salvor inget alternativ då det varken är praktiskt eller ekonomiskt genomförbart.

<sup>3</sup> Bild från: Persson P-A., Holmberg R., Lee J., 1993: Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press.

<sup>4</sup> Se Olofsson SO, 1999: Modern Bergsprängningsteknik.

#### 5.3.4. Övriga åtgärder

Utöver de sprängtekniska åtgärderna kan man välja på att minska effekten av eventuella stenkast, d.v.s. att se till att det finns nog långt säkerhetsavstånd till människor, bebyggelse, etc.

#### 5.3.5. Sammanfattning åtgärder stenkast

Losshållning av berg vid höga pallar begränsar möjligheterna för att vidta effektiva sprängtekniska åtgärder. De mest effektiva åtgärderna som täckning av salvor är inte möjligt att utföra vid sprängningar i när pallarna är höga. Kvar är egentligen bara att minska håldiametern tillräckligt mycket samtidigt som man anpassar skjutriktning och uppfyller normala krav på förladdning, anpassning till ev. hålavvikelser etc.

### 5.4. Säkerhetsavstånd

Vilket säkerhetsavstånd man ska använda sig av styrs till stora delar av vilken håldiameter man väljer att använda samt vad man vill skydda.

Vid normal drift där man har bra sprängtekniska rutiner så är det ovanligt att sten kommer längre än det som inryms i begreppet "normal kastlängd", men eftersom effekterna av stenkast kan bli mycket allvarliga föreslås att man ska ha stora säkerhetsmarginaler. Rekommendationen är att man som säkerhetsavstånd för objekt med högt skyddsvärde nyttjar det största "normala kastavståndet" multiplicerat med två.

Med ovanstående ansats så blir säkerhetsavstånden för objekt med högt skyddsvärde för respektive håldiameter enligt nedanstående, tabell 9, se även bilaga 2.

Tabell 9, Säkerhetsavstånd för objekt med högt skyddsvärde vid 165 mm och 250 mm borrhål

<b>Håldiameter</b>		<b>Säkerhetsavstånd</b>
(tum)	(mm)	(m)
6,5	165	610
9,78	250	800

## 5.5. Bedömning av stenkast

Stenkast är en viktig säkerhetsaspekt att beakta och i alla sammanhang ska risken för stenkast minimeras. Det är därför viktigt att följa normala säkerhetsåtgärder som att anpassa utslagsriktningen, uppfylla kraven på förladdning i såväl längd som kvalitet, anpassa laddningen till den faktiska försättningen och ev. hålavvikelser etc.

I Sahavaara by kommer bebyggda fastigheter att hamna innanför det rekommenderade säkerhetsavståndet. I Kaunisvaara by kommer sprängämnesstationen hamna innanför det rekommenderade säkerhetsavståndet för högt skyddsvärde från fyndigheten i Sahavaara.

Följande säkerhetsavstånd rekommenderas, baserat på största håldiameter:

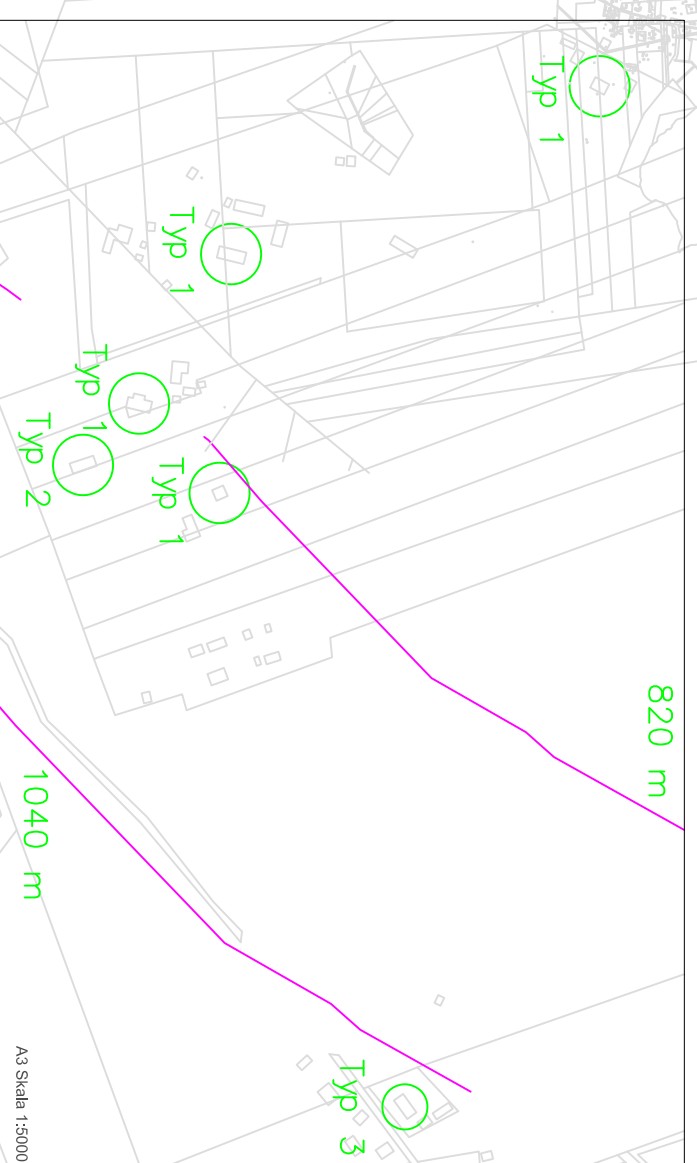
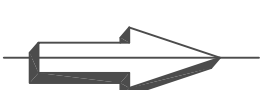
- För objekt med lågt skyddsvärde: 400 meter
- För objekt med högt skyddsvärde: 800 meter



## TECKENFÖRKLARING

- Typ 1** För området normal bebyggelse men grundlagd på berg
- Typ 2** Putsad fasad i dåligt skick grundlagd på berg
- Typ 3** Kalksandstensfasad grundlagd på morän
- Typ 4** Övrig bebyggelse grundlagd på morän
- Typ 5** Sprängämnesstation

Gräns för vibrationer redovisas för Sahavaara dagbrott på 820 m, 1040 m och 1500 m.  
För Palotiva och Tapuli dagbrott på 2000 m och 3000 m.  
Gäller för 250 mm borrhål.



Typ 5

Typ 1

Typ 1

Typ 1

Typ 2

Typ 1

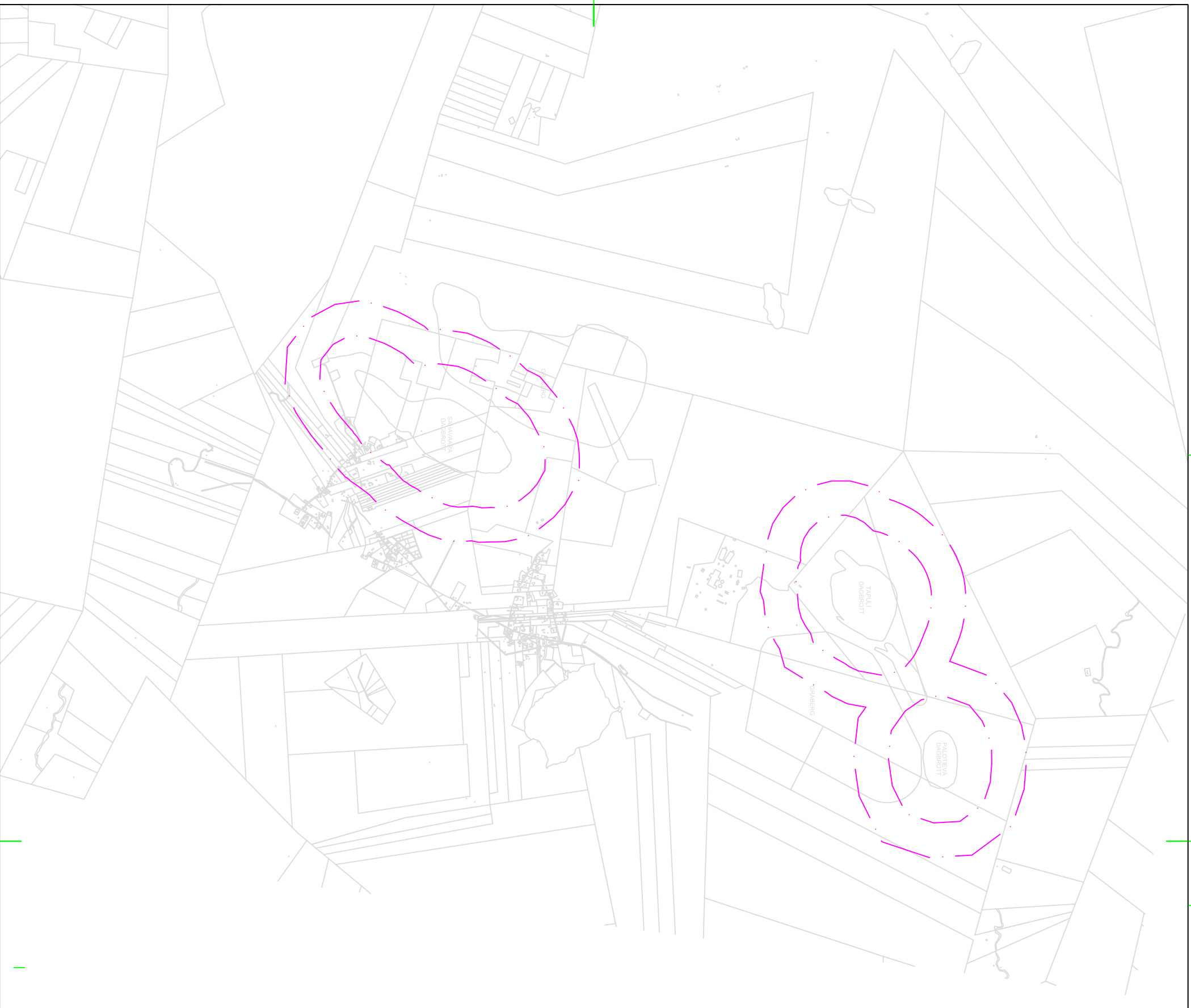
Typ 1

Typ 3

A3 Skala 1:50000  
0 500 1000 1500 2000 2500  
meter

A3 Skala 1:5000





Gräns för stenkast redovisas på 400 m för 165 mm borrhål och på 800 m för 250 mm borrhål. Gäller för samtliga dagbrott.

A3 Skala 1:50000  
 meter  
 0 500 1000 1500 2000 2500

190524 Daniella Martinsson  
 1924 8569 R02 Bilaga 2  
**Nitro Consult AB**