

# ELEKTRONISTEN NALLIEN KÄYTTÖ TÄRINÄHERKILLÄ ALUEILLA

Timo Penttilä

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Timo Penttilä	<b>Vuosi</b>	2023
<b>Ohjaaja(t)</b>	Juha Vesa		
<b>Toimeksiantaja</b>	YIT Sverige Ab		
<b>Työn nimi</b>	Elektronisten nallien käyttö tärinäherkillä alueilla		
<b>Sivumäärä</b>	32 + 10		

---

Kalliorakentaminen on yleistä kaupunkialueilla, ja lousinnasta aiheutuva tärinä luo haasteita. Tässä työssä tarkasteltiin modernien elektronisten nallien etuja verrattuna impulssiletkunalleihin, sekä räjäytysten optimointia tärinävaikutuksen vähentämiseksi.

Opinnäytetyö tehtiin YIT Sverige Ab:n toimeksiannosta. Tunneliräjäytyksissä havaittiin, että tärinäherkillä alueilla on mahdollista räjäyttää pidempiä katkoja elektronisia nalleja käyttämällä verrattuna impulssiletkunalleihin. Uudella menetelmällä louhittu kiviaines oli myös tasakokoisempaa.

Tarkan suunnittelun ja mittauksen avulla voidaan varmistaa, että räjäytykset pysyvät ennalta määritettyjen raja-arvojen sisällä. Elektroniset nallit mahdollistavat räjähdysten tapahtumisen millisekunnin tarkkuudella ja räjähdysaallon tasaisen leviämisen kivessä, mikä eliminoi liian monen reiän räjähtämisen samanaikaisesti.

Tiukentuvat ympäristönormit asettavat alalle merkittäviä haasteita, samalla kun kestävämmille ja ympäristöystävällisemmille louhintamenetelmille on selvästi kasvava tarve.

Tutkimuksessani keskityin yksityiskohtaisesti tarkastelemaan, miten nämä modernit louhintatekniikat voivat vastata haastavien ympäristöolosuhteiden asettamiin vaatimuksiin. Analysoin kattavasti eri menetelmien suoriutumista vertaamalla niiden aiheuttamaa tärinää. Pyrin selvittämään, kuinka erilaiset tekniikat ja nallit vaikuttavat lousinnan tehokkuuteen, sekä miten niillä voidaan parantaa louhintaprosessin suorituskykyä, ja millaisia ympäristövaikutuksia niillä on, ja miten haitalliset ekologiset vaikutukset voidaan minimoida.

Avainsanat

Tunnelityömaa, Louhinta, Panostus, Elektroninen nalli

Civil and Construction engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Timo Penttilä	<b>Year</b>	2023
<b>Supervisor(s)</b>	Juha Vesa		
<b>Commissioned by</b>	YIT Sverige Ab		
<b>Title</b>	Use of electronic detonator in vibration-sensitive areas		
<b>Number of pages</b>	32 + 10		

---

Rock excavation is common in urban areas, and the vibration caused by blasting presents challenges. This work examined the advantages of modern electronic detonators compared to non-electric shock tube detonators and the optimization of blasts to reduce vibration effects.

The thesis was commissioned by YIT Sverige Ab. In tunnel blasting, it was observed that on vibration-sensitive areas, longer rounds can be blasted using electronic detonators compared to non-electric shock tube detonators. The stone material excavated with the new method was also more uniform in size.

Through careful planning and measuring, it is possible to ensure that the blastings remain within predefined limits. Electronic detonators allow explosions to occur with millisecond precision and the blast wave to spread evenly through the rock, eliminating the simultaneous explosion of too many holes.

The tightening environmental standards pose significant challenges to the industry, while there is a clear and growing need for more sustainable and environmentally friendly excavation methods.

In my research, I focused in detail on examining how these modern mining techniques can meet the requirements set by challenging environmental conditions. I comprehensively analyzed the performance of different methods by comparing the vibration they cause. I am trying to find out how different technologies and teddies affect the efficiency of mining, as well as how they can be used to improve the performance of the mining process, and what kind of environmental effects they have, and how harmful ecological effects can be minimized.

**Keywords** Tunnel construction site. Excavation, Charging, Electronic detonator.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	LOUHINTAKOHDE E2 .....	7
3	TÄRINÄN SYNTY .....	8
4	NALLITYYPIT .....	10
4.1	Impulssiletkunalli.....	10
4.2	Sähkönalli .....	11
4.3	Elektroninen räjäytysnalli .....	12
5	RÄJÄHDYSAINEET JA PANOSTUSTYÖ .....	14
5.1	Kappaletavara.....	14
5.2	Bulkki .....	15
5.3	Panostustyö kappaletavaraa käyttäen .....	16
5.4	Panostustyö bulkkiräjähdysainetta käyttäen .....	17
6	TUNNELILOUHINTA .....	19
6.1	Yleistä .....	19
6.2	Poraus- ja räjäytysmenetelmä .....	19
6.3	Täysperäporaus TBM (Tunnel boring machine).....	20
7	RISKIARVIOINTI .....	22
7.1	Vaikutusten arviointi.....	22
7.2	Rakennuskatselmukset.....	23
8	KOERÄJÄYTYKSET E2 PROJEKTILLA .....	24
8.1	Koeräjäytykset .....	24
8.2	Poraussuunnitelma .....	24
8.3	Sytytyssuunnitelma käytettäessä elektronisia eDev2 nalleja .....	25
8.4	Sytytyssuunnitelma käytettäessä impulssiletkunallia .....	26
9	KOETILANTEIDEN TULOKSET .....	27
9.1	Impulssiletkunalli.....	27
9.2	Elektroninen nalli .....	28
9.3	Tulosten analysointi .....	29
9.4	Johtopäätökset .....	29

10POHDINTA.....	31
LÄHTEET.....	32
LIITTEET .....	34

## 1 JOHDANTO

Louhinta on toimintaa, joka liittyy kaivostoimintaan tai rakentamiseen, jossa kallioperästä irrotetaan kiviainesta joko räjäyttämällä tai muilla menetelmillä. Kaupunkiympäristössä tehtävissä rakennusprojekteissa on erityisen tärkeää hallita louhintatöiden aiheuttamia värinöitä. Värinän herkkiä kohteita voivat olla esimerkiksi rakennukset, rakenteet, laitteistot ja elektroniikka. Näille kohteille asetetut värinäraja-arvot asettavat selkeät rajat louhintatyölle.

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, kuinka elektronisten nallien käyttö voi vähentää värinää tunnelilouhinnassa värinäherkillä alueilla verrattuna impulssiletkunalleihin. Suoritetut kenttäkokeet, ja niistä kerätty mittausdata antavat mahdollisuuden vertailla näiden kahden sytytysmenetelmän aiheuttamaa värinävaikutusta. Tutkimuksessa käytetty mittausdata värinästä kattaa muun muassa värinän voimakkuuden, taajuuden ja etäisyyden, mikä on olennaista ymmärrettäessä eri räjäytysmenetelmien vaikutuksia.

Analysoin värinädataa, joka kuvaa värinän absoluuttisia arvoja. Tämä analyysi antaa perustan arvioida, miten elektronisten nallien käyttö voi parantaa louhinnan optimointia, ja siten vähentää värinän vaikutusta ympäröivään infrastruktuuriin ja asutukseen. Vertailussa impulssiletkunalleihin, jotka edustavat perinteisempää ja vähemmän tarkasti kontrolloitua sytytysmenetelmää, tavoitteena on osoittaa, kuinka elektronisten nallien tarkempi ajoitus voisi pienentää värinäherkän alueen louhintatöistä aiheutuvia riskejä ja haittoja.

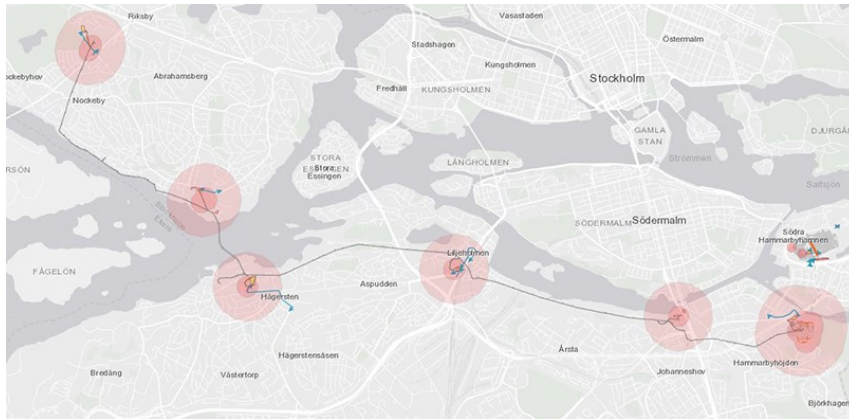
Opinnäytetyön tavoitteena on myös kehittää suosituksia elektronisten nallien käyttöön liittyen, jotka perustuvat saatuun vertailuaineistoon ja joilla pyritään vähentämään louhintatöiden ympäristövaikutuksia. Tulosten odotetaan tarjoavan tietoa siitä, kuinka elektronisia nalleja voidaan käyttää tehokkaasti värinäherkissä ympäristöissä, parantaen näin louhinnan turvallisuutta ja ympäristöystävällisyyttä.

## 2 LOUHINTAKOHDE E2

Koeräjäytykset on suoritettu Stockholm Vatten och Avfall Ab:n E2 viemäritunnelihankkeella, jossa pääurakoitsijana toimii YIT Sverige Ab. Tunneli on 14 kilometriä pitkä ja kulkee Tukholman Bromman kaupunginosasta Sicklaan (kuvio 1).

Tunneli kulkee läpi useiden tärinäherkkien alueiden, ja erityispiirteenä se alittaa myös Mälaren-järven. Tunnelin ennustetaan kulkevan järven alla useiden geologisten heikkousvyöhykkeiden läpi, mikä aiheuttaa haasteita sekä tunnelin tukeamisessa että vedenhallinnassa. Vaikka Mälarenin alitus ei ole herkkä tärinälle, elektronisten nallien käytön avulla voitaisiin mahdollisesti pienentää rikkoutumisvyöhykettä ja parantaa louhinnan laatua, mikä puolestaan parantaa tunnelin rakenteellista kestävyyttä.

Tämä projekti on osa suurempaa kokonaisuutta, jossa jätevedet ohjataan Henriksdalin keskusjätevedenpuhdistamoon. Tunneli kulkee noin 40 metrin syvyydessä, ja Mälaren-järven kohdalla syvin kohta 90 metriä.

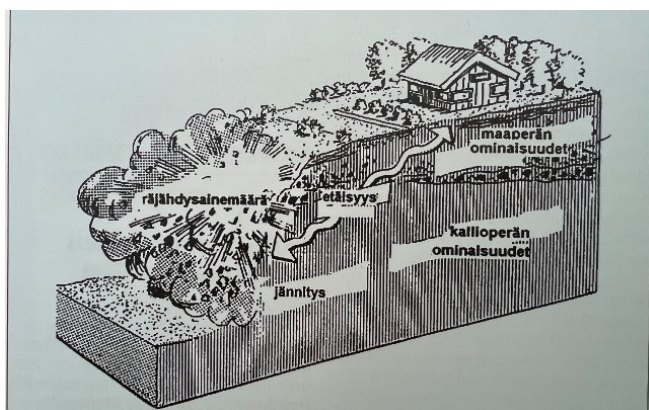


Kuvio 1. E2 tunnelihanke (SVOA Ab 2023)

### 3 TÄRINÄN SYNTY

Kallion rikkoutuminen räjäyttäessä johtuu panosten räjähdyksessä syntyvästä kaasupaineiskusta, joka luo seismisiä aaltoja. Nämä aallot aiheuttavat jännityksiä, jotka lähellä panoksia ylittävät kiven lujuuden ja johtavat rikkoutumiseen. Kauempana panoksista rikkoutumista ei tapahdu, vaan muodonmuutokset ovat tilapäisiä ja aiheuttavat tärinää. (RIL 253-2010, 41.)

Räjähdyksen aikana räjähdysaineen kemiallinen potentiaalienergia muuttuu kiineettiseksi energiaksi. Räjähdysaineet ovat kemiallisia yhdisteitä, jotka tuottavat nopeasti suuren määrän lämpöä ja kaasuja räjähtäessään. Räjähdyksessä räjähdysaineen polttoaine palaa sen sisältämän hapen kanssa korkeassa lämpötilassa. Syttymispisteestä lähtevä paineaalto muuttaa kohtaamansa räjähdysaineen paineen, lämpötilan ja tiheyden niin, että palamisreaktio etenee aineessa erittäin nopeasti. Tämän reaktion aikana atomit järjestyvät uudestaan muodostaen hiilidioksidia, kaasumaista vettä ja typpeä. (Vuolio & Halonen 2012, 57.)



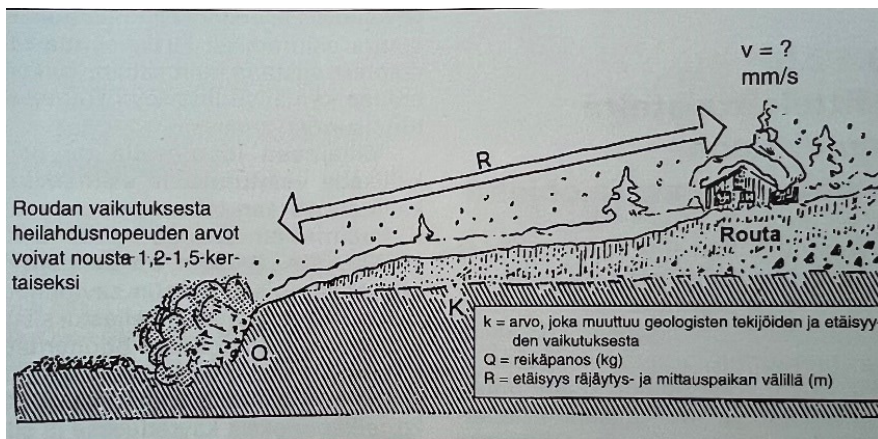
Kuvio 2. Tärinään vaikuttavat tekijät (Vuolio & Halonen 2012, 326.)

Tärinäaallot etenevät ja vaimentuvat eri tavoin riippuen välittäjäaineesta (kuvio 2). Kallion rakenteelliset ominaisuudet sekä eri kivilajit vaikuttavat merkittävästi tärinöiden voimakkuuteen. Kun tärinän välittäjäaine muuttuu, sillä on yleensä tärinää vaimentava vaikutus. Tämän takia yhtä yleispätevää tärinän etenemistä ku-



vaavaa tärinäjohtavuusvakiota ei voida määrittää. Suunnitteluvaiheessa tärinäjohtavuutta voidaan käyttää ohjeellisena arvona. Kuitenkin louhintatyön alkuvaiheessa, tai mieluiten jo suunnitteluvaiheessa, tärinäjohtavuuskertoimen tulisi olla varmistettu koeräjäytyksillä ja tärinämittauksilla. (Vuolio & Halonen 2012, 325.)

Ennen räjäytystöitä louhinnasta johtuvaa tärinää voidaan ennakkoon arvioida laskennallisesti (kuvio 3, kaava 1). Arvioitu tärinäarvo ei saa ylittää aiemmin käsiteltyjä tärinän ohjearvoja. Jos louhintatöiden yhteydessä ei tehdä tärinämittauksia, ennustetta voi käyttää apuna arvioitaessa tärinän mahdollisesti aiheuttamia vaurioita. Ennakoitu tärinän huippuarvo alle sadan metrin etäisyydellä voidaan laskea kuviossa esitetyn kaavan mukaisesti.



Kuvio 3. Tärinän suuruuden matemaattinen määrittäminen (Vuolio & Halonen 2012, 326.)

$$v = k \sqrt{\frac{Q_m}{R^{1,5}}} \quad (1)$$

Jossa  $K$  on väliaineen tärinäjohtavuutta kuvaava kerroin,  $Q_m$  on momentaaninen räjähdysainemäärä ja  $R$  arvioitavan pisteen etäisyys tärinälähteestä. Kerroin  $k$  riippuu kallion laadusta, perustamistavoista, etäisyyksistä ja räjäytystavasta. kertoimen  $k$  arvot vaihtelevat 100 ja 400 välillä. (RIL 253-2010, 82–83.)

## 4 NALLITYYPIT

### 4.1 Impulssiletkunalli

Impulssiletkunallit (kuvio 4) kehitettiin alun perin tilanteisiin, joissa on sähkönalien tahattoman syttymisen vaara. Ne ovat myös korvanneet sähkösytytyksen olosuhteissa, joissa sähköä johtava ympäristö ja mahdolliset eristysvirheet voivat estää sähkönalien toiminnan. Nallit ovat vedenkestäviä ja sietävät hyvin pakasta. (Vuolio & Halonen 2012, 85–86.)



Kuvio 4. Impulssiletkunalli (Forcit 2023b)

Impulssiletku on 3 mm ulkohalkaisijaltaan ja 1,2 mm sisähalkaisijaltaan oleva muoviletku, jonka sisäpinnalla on hienojakoista räjähdysainetta, määrältään noin 20 mg/m. Kun sytytys tapahtuu, shokkiaalto kulkee letkun sisällä noin 2100 m/s ja sytyttää letkun päässä sijaitsevan nallin. Shokkiaalto ei aiheuta vaurioita letkulle eikä kykene sytyttämään räjähdysainetta ilman nallia. Tämä mahdollistaa räjähdysaineen sytyttämisen alhaalta ylöspäin, mikä yleisesti ottaen johtaa optimaaliseen louhintatulokseen. (Vuolio & Halonen 2012, 86.)

Impulssiletkunallien pyroteknisissä hidastuselementeissä on havaittu hajontaa, joka kasvaa sekä paloaikojen pidentyessä että nallien ikääntyessä. Tunnelilouhinnassa suositaan LP (long period) -nalleja. Näiden nallien hidastusaikamääräytyy numeron ja 100-kertaisen arvon perusteella: esimerkiksi nallissa numero 1 hidastusaika on 100 ms ja nallissa numero 10 se on 1000 ms. Impulssiletkunallin helppokäyttöisyyden ja kustannustehokkuuden ansiosta se on suosituin nallityyppi tunnelilouhinnassa. (kuvio 5)

Hidasteajat (nimellisarvot)		Vakiopakkaus, luokka 1.1B (nimellisarvot) - Mahdollisuus J-koukkutyypisiin liittimiin				
Hidaste	Aika (ms)	Pituus (m)	Kpl/laatikko	Bruttopaino (kg)	Nettopaino (kg)	Letkun väri
0	25	4.8	120	5.0	4.3	Vihreä
1	100	6	100	5.5	4.5	Vihreä
1 1/2	150	7.8	100	6.0	5.1	Vihreä
2	200	9	80	5.5	4.7	Vihreä
2 1/2	250	12	60	5.2	4.4	Vihreä
3	300	15	40	4.4	3.6	Vihreä
3 1/2	350	18	35	4.6	3.8	Vihreä
4	400	21	30	4.5	3.7	Vihreä
4 1/2	450	24	30	5.1	4.4	Vihreä
5	500	27	25	4.7	3.9	Vihreä
5 1/2	550	30	24	5.1	4.3	Vihreä
6	600	36	18	4.6	3.8	Vihreä
6 1/2	650	42	15	4.4	3.6	Vihreä
7	700	48	15	4.9	4.3	Vihreä
7 1/2	750					
8	800					
8 1/2	850					
9	900					
9 1/2	950					
10	1000					
11	1100					
12	1200					
14	1400					
16	1600					
18	1800					
20	2000					
25	2500					
30	3000					
35	3500					
40	4000					
45	4500					
50	5000					
55	5500					
60	6000					
65	6500					
70	7000					
75	7500					
80	8000					
85	8500					
90	9000					

Kuljetusluokka	Vakiopakkaus
Luokka	1.1B
YK-numero	UN 0360

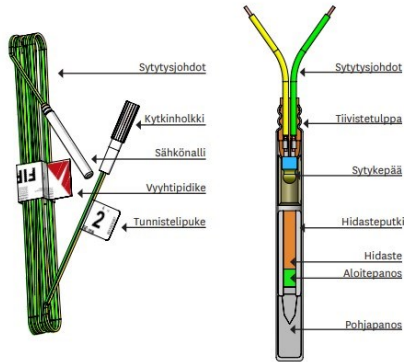
Kuvio 5. Rionel F LP Tuotetieto (Maxam Corp 2021)

## 4.2 Sähkönalli

Sähkönallin (kuvio 6) toimintaperiaate on seuraava: kun riittävän suuri sähkövirta kulkee hehkulangan läpi nallissa, se sytyttää hidastuselementin, joka puolestaan sytyttää pääpanoksen nallin pohjassa (Olofsson 2017, 53.)

Sähkönallit saa sytyttää vain viranomaisen tähän tarkoitukseen Suomessa käytettäväksi hyväksytyllä laukaisulaitteella (Vuolio & Halonen 2012, 85.)

Sähkönallien pyroteknisissä hidastuselementeissä on havaittu hajontaa, joka kasvaa sekä paloaikojen pidentyessä että nallien ikääntyessä. Yleinen käytäntö on varmistaa, ettei viereisten numeroiden nalleissa tapahdu sytytysvirheitä - kaikki samanumeroiset nallit räjähtävät ennen seuraavaa nallinumeroa. Vaikka sähkönalleja ei enää pääsääntöisesti käytetä tunnelilouhinnassa, impulssiletkunallejen yhteydessä sähkönallia saatetaan käyttää aloittamaan räjäytystapahuma. (Vuolio & Halonen 2012, 81.)



Kuvio 6. Sähkönalli (Forcit 2023c)

#### 4.3 Elektroninen räjäytysnalli

Elektroninen räjäytysnalli muistuttaa ulkomuodoltaan sähköräjäytysnallia, mutta sen sytytystapa on huomattavasti tarkemmin säädettävissä. Käyttämällä elektronista räjäytysnallia (kuvio 7) saavutetaan useita etuja verrattuna perinteisiin menetelmiin: vähäisemmät tärinät, parannettu louhintajälki, laajemmat louhintakentät, tarkemmin määriteltävä lohkokoko ja heitto, sekä parempi käyttöturvallisuus. Lisäksi kokonaiskustannukset ovat usein matalammat. Elektroniset nallit mahdollistavat myös kaukolaukaisujärjestelmän käytön. (Paalimäki, Hakapää & Lappalainen 2015, 169–170.)



Kuvio 7. eDevII Tuotetietolomake (Orica 2023, 1.)

Viime vuosikymmeninä tarve kehittää yhä tarkemmin ajoitettuja, lyhyen hidaste-aikavälin nalleja on kasvanut räjähdystuloksen ja tärinänhallinnan parantamiseksi. Tarkka ajoitus avaa ovet uusien menetelmien kehittämiseksi, kun pyritään optimaaliseen lohkokokoon. Tämä edistää myös sytytysten suunnittelua siten, että tärinät ovat minimaalisia. Hidasteajat voivat vaihdella aina 1 millisekunnista 20 000 millisekuntiin saakka. Sekä elektroninen nalli että impulssiletkunalli ovat melkein yhtä turvallisia tahattomia sytytyksiä vastaan mekaanisten, termisten ja sähköisten riskitekijöiden valossa. (Vuolio & Halonen 2012, 92.)

Järjestelmä eroaa muiden rakenteesta koostuen useammasta komponentista. Kullakin nallilla on yksilöllinen tunnusnumero ja vastaava viivakoodi. Skanneri lukee viivakoodin ja määrittää nallille yksilöllisen hidasteajan asetusten mukaan. Nallit kytketään seuraavaksi runkokaapeliin, joka tunnetaan myös nimellä harness wire. Panostustyön aikana ja sen jälkeen runkokaapeli voidaan liittää skanneriin ja tarkistaa kaikki asennetut nallit. Vain laukaisulaite, tunnettu myös nimellä "blastbox", voi virittää ja laukaista kentän. Panostaja siirtää nallitiedot skannerista laukaisulaitteeseen bluetooth-yhteydellä. Tämän jälkeen laukaisulaitteella voidaan virittää kenttä. Kun kenttä on valmis laukaisuun, panostajalla on 30 minuutin aikaraja laukaista se. (Orica 2023.)

## 5 RÄJÄHDYSAINHEET JA PANOSTUSTYÖ

### 5.1 Kappaletavara

Räjätysaineet voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään, kappaletavaraan ja bulkkiin. Kappaletavararäjähdeet ovat tehtaalla pakattu tiettyyn muotoon ja tilavuuteen. Niitä on useita erilaisia, ja ne on tehty eri käyttötarkoituksiin sopiviksi.



Kuvio 8. Kemix A patruuna (Forcit 2021, 14.)

Kemix A on ympäristöystävällinen räjähdysaine (kuvio 8). Sen koostumukseen on lisätty alumiinia räjähdyslämmön tehostamiseksi. Erinomaisen vedenkestävyytensä ja korkean ominaispainonsa ansiosta se soveltuu erityisen hyvin räjäytystöihin, joissa räjähdysaineelle saattaa kohdistua veden aiheuttamaa räsitusta. Lisäksi sen tuottamat räjähdyskaasut ovat puhtaita hyvän happitasapainon ansiosta, mikä vähentää tuuletustarvetta maanalaisissa louhintaoperaatioissa. (Vuolio & Halonen 2012, 64.)



Kuvio 9. Kemix-putkipanos (Forcit 2021, 15.)

Kemix-putkipanokset (kuvio 9) ovat emulsiopohjaisia ja niiden ominaisuudet vastaavat pitkälti Kemix A -patruunoita. Nämä putkipanokset on suunniteltu monenlaiseen kallion louhintaan, erityisesti tilanteisiin, joissa porareikään halutaan anostella tarkasti määrätty määrä räjähdysainetta. Ne ovat ihanteellisia sekä siloettä tarkkuuslouhintaan, ja ne toimivat hyvin niin avolouhinnassa kuin myös peränajossa tunnelilouhinnassa. (Vuolio & Halonen 2012, 64.)

## 5.2 Bulkki

Bulk-räjähdysaineista puhuttaessa tarkoitetaan irtonaista tai ei pakattua räjähdysainetta. Sekä yhdisteitä, jotka toimitetaan erillisinä komponentteina, ja sekoitetaan valmiiksi räjähdysaineeksi vasta työmaalla. Se on nykyajan ja tulevaisuuden räjäytysainetta. Tässä työssä bulk-räjähdysaineena on Kemiitti, joka on vasseliinimainen emulsioräjähdysaine. (Vuolio & Halonen 2012, 63.)



Kuvio 10. Kemiitti 810UG Jokisivun kaivoksella

Kemiitti 810 UG (kuvio 10) on erityisesti maanalaisissa louhinnoissa käytettävä emulsioräjähdysaine. Sen panostus tehdään aina siihen tarkoitukseen erikseen suunnitellulla ja hyväksytyllä panostusajoneuvolla. Panostusajoneuvon laitteistolla voidaan mukauttaa panos optimaaliseksi avaus-, pohja-, avarrus- ja reuna- reikiin. Panostusajoneuvolla voidaan kuljettaa työmaalle nallit, aloituspanokset sekä Kemiitti 810UG:n valmistuksessa tarvittavat ainekset, kuten matriisi. Matrii-



siin lisätään panostuslaitteessa kaasutusliuos, ja näin matriisi muuttuu räjähdysaineeksi vasta porareiässä. Kemiitti 810UG on monipuolisten säätömahdollisuuksiensa ansiosta erinomainen valinta sekä peränajoon että louhospanostukseen. (Vuolio & Halonen 2012, 63.)

### 5.3 Panostustyö kappaletavaraa käyttäen

Kappaletavaralla panostus tapahtuu käyttämällä yksittäispakattuja räjähdysainepakkauksia, ja sijoittamalla niitä joko pysty- tai vaakareikiin. Panostaessa putkipanoksilla liitetään panokset toisiinsa yhdeksi pitkäksi putkeksi. Pystyreissä voidaan käyttää perinteisiä patruunoita (kuvio 11), eli niin sanottu makkaroita. Molemmissa tapauksessa kappaleet ovat tietyn mittaisia, ja sisältävät tietyn määrän räjähdysainetta per kappale. Näin saadaan helposti laskettua tarkka määrä räjähdysainetta reikää kohden. (Forcit 2021, 14–17.)

Reikäpanos koostuu pohjapanoksesta, varsipanoksesta ja kannesta, eli ei-panostettavasta osasta. Rakolinjan räjäytyksessä käytetään vain varsipanosta. (Vuolio & Halonen 2012, 103–105.)



Kuvio 11. Panostustyö kappaletavara (Forcit 2023e)



#### 5.4 Panostustyö bulkkiräjähdsainetta käyttäen

Bulkki tarkoittaa tässä yhteydessä pumpattavaa räjähdysainetta. Sitä voidaan käyttää niin vaaka- kuin pystyreißissä. Avolouhinnassa sen käyttö on kielletty asutulla alueella, mutta tunnelilouhinnassa sen käyttö on sallittua, kun louhintakohde on yli 100 m tunnelin suuaukolta. (Pinomäki ja Vuento 2023, 70.)

Se on tunnelilouhinnassa ja kaivosteollisuudessa käytetyin räjähdde. Suurimpana etuna on panostustyön turvallisuus, nopeus sekä hinta, joka on huomattavasti edullisempi verrattuna patruonoituihin räjähteisiin. (Vuolio & Halonen 2012, 23.)

Tunnelilouhinnassa (kuvio 12) panostaja valitsee koneelta halutun asetuksen, jonka mukaan kone annostelee räjähdysaineen reikään. Kone pumpkaa automaattisesti ennalta asetetun määrän pohjapanosta, ja sen jälkeen varsipanoksen grammaa per metri. Koneessa on useita reikäasetuksia. Räjähdysainemäärää vähennetään suunnitelman mukaisesti katkon eri alueilla.

Mitä pienemmäksi räjähdysainemäärä laskee, sitä isompi on riski räjähdysten katkeamisesta. Tällöin kaarireißissä voidaan käyttää patruonoituja räjähteitä. (Vuolio & Halonen 2012, 177.)



Kuvio 12. Panostustyö bulkki tunneli (Forcit 2023d)

Pengerlouhinnassa pystyreissä reikä täyttyy kokonaan räjähdysaineesta. Tästä syystä poratun reiän koko on tärkeää laskea oikeaksi räjäytyksen suunnitteluvaiheessa. (kuvio 13) (Vuolio & Halonen 2012, 103–105.)



Kuvio 13. Panostustyö bulkki pengerlouhinta (Forcit 2023a)

## 6 TUNNELILOUHINTA

### 6.1 Yleistä

Maanalainen louhinta eroaa avolouhinnasta erityisesti työkohteen olosuhteiden vuoksi. Maanalaisessa louhinnassa yläpuolella on kiinteä kalliokatto, jolloin irrottavalla kivimassalla on ainoastaan yksi suunta, johon se voi purkautua. Tätä menetelmää nimitetään peränajoksi. (Vuolio & Halonen 2012, 213.)

### 6.2 Poraus- ja räjäytysmenetelmä

Tunnelilouhinnassa työvaiheet toteutetaan jaksottaisesti seuraavassa järjestyksessä: poraus, panostus, räjäytys, tuuletus, kuormaus, rusnaus sekä tarpeen mukaan lujitus- ja injektointityöt.

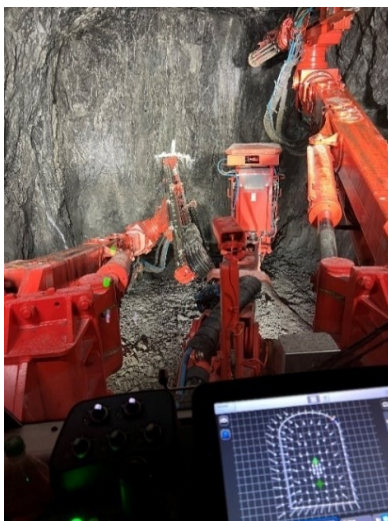
Tunnelit jaetaan kokonsa mukaan kolmeen ryhmään:

pienet tunnelit (2-15m<sup>2</sup>)

keskisuuret (15-100m<sup>2</sup>)

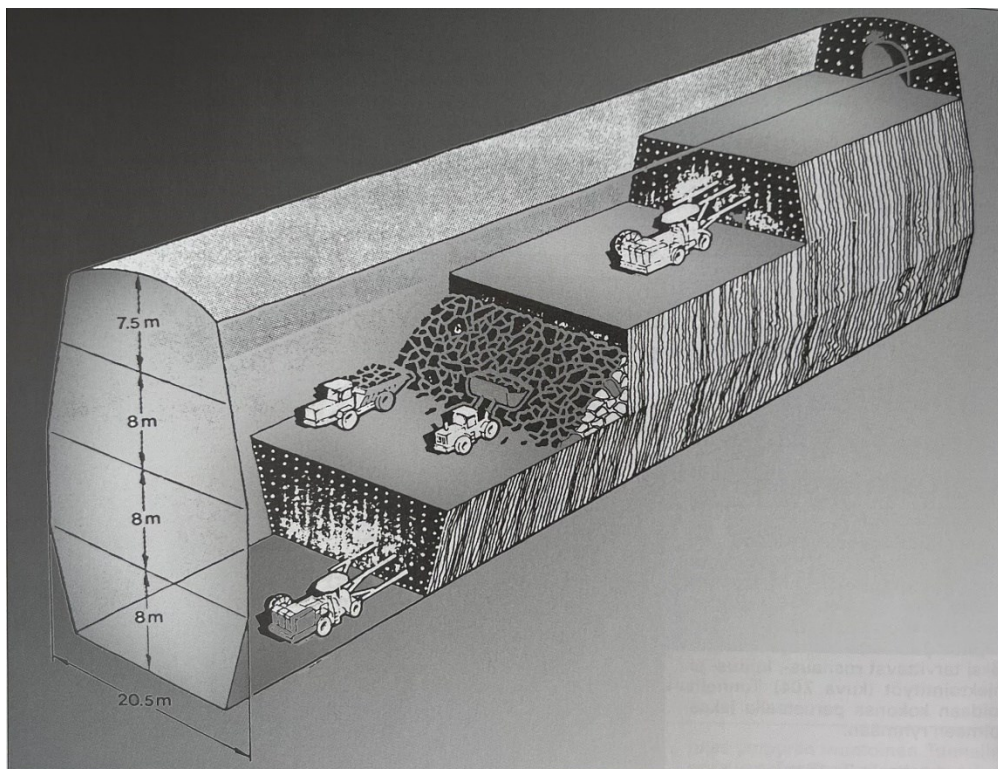
suuret tunnelit yli 100m<sup>2</sup>.

Pienet ja keskisuuret tunnelit louhitaan yleensä päätylouhintamenetelmällä. (kuvio 14). (Vuolio & Halonen 2012, 215.)



Kuvio 14. Peränporausta

Suuret tunnelit, joiden korkeus ylittää 10 metriä, louhitaan useimmiten yhdistämällä kattoperä- ja pengerialouhintamenetelmiä (kuvio 15). Ensin tunnelin yläosa louhitaan päätylouhintana, ja sen jälkeen alaosa pengerialouhintana. Pengerialouhinnan korkeuden perusteella valitaan joko pysty- tai vaakaporausmenetelmä. Vaakaporauksessa tunnelin alaosa louhitaan päätylouhintana, joka tunnetaan nimellä nostolouhinta. Tätä menetelmää suositellaan, kun pengerialouhinnan korkeus on alle 10 metriä. Nostolouhinta tehdään samalla kalustolla kuin kattoperän päätylouhinta. Pengerialouhinnassa käytetään pystyporausta ja työssä käytetään vaunuporauslaitteita. (Vuolio & Halonen 2012, 216.)

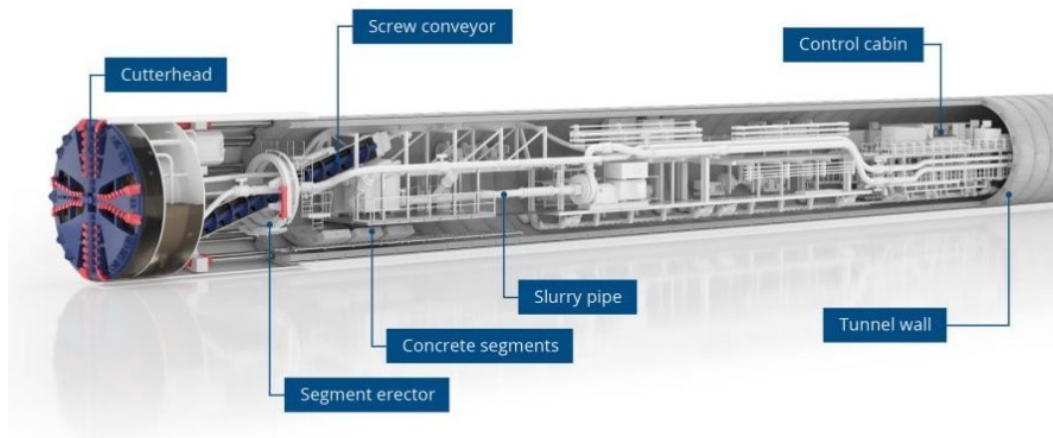


Kuvio 15. Kattoperä-pengerialouhinta (Vuolio & Halonen 2012, 216.)

### 6.3 Täysperäporaus TBM (Tunnel boring machine)

Täysperäporauksessa käytettävä pyörivä teräksikkö poraa koko tunnelin profiilin. Tässä menetelmässä laite murskaa kallion painamalla kallioseiniä vasten

kartiomaisesti rullia, sekä erityisesti suunniteltuja lautasleikkureita tai veitsiä. Menetelmällä saadaan aikaan pyöreämuotoinen tunneli, jonka poraus on jatkuvasti etenevää. Täysperäporausmenetelmä soveltuu erityisen hyvin kalliolaatuihin, joissa on vähän rakoilua ja heikkousvyöhykkeitä. Koska alkuinvestoinnit ovat suuria, menetelmä on kustannustehokkain pitkissä tunneleissa. Täysperäporauksessa louhinnan nopea eteneminen voi kuitenkin tasapainottaa alkuinvestoinnin suuret kustannukset. (kuvio 16) (Vuolio & Halonen 2012, 214.)



Kuvio 16. TBM poralaite (High speed Two Ltd, 2023)



## 7 RISKIARVIOINTI

### 7.1 Vaikutusten arviointi

Suomessa tärinävaikutusten arviointi kuuluu usein hankkeen pohjarakenteiden tai kalliotekniseen suunnitteluun, ja sen puitteissa laaditaan asiakirjoja suunnittelun tueksi. Rakennustyön aiheuttamaa ympäristötärinää varten hankkeet luokitellaan vaativuusluokkiin 1–3 (kuvio 17). (RIL 253-2010, 31–32.)

<b>Syntyvän tärinän luonne</b>	<b>Vaativuusluokka 1</b>	<b>Vaativuusluokka 2</b>	<b>Vaativuusluokka 3</b>
Tärinä voi olla havaittavissa vielä n. 100 m etäisyydellä, louhinta asutuskeskuksessa tai kunnallistekniikkaan liittyvä louhinta	Lähimmät kohteet eri suunnissa, ei kuitenkaan yli 50 m etäisyydellä	Alue 50 - 100 m etäisyydellä	Alue 50 - 100 m etäisyydellä sekä 100 - 200 m etäisyydellä erityisen tärinäherkät kohteet
Tärinä voi olla havaittavissa jopa kilometrien päässä, massalouhinta	Lähimmät kohteet eri suunnissa	Suurimpien räjäytyskenttien räjähdysainemäärästä riippuva alue	Suurimpien räjäytyskenttien räjähdysainemäärästä riippuva alue, kauempaa myös erityisen tärinäherkät kohteet erillisen selvityksen mukaan

Kuvio 17. Vaativuusluokat (Vuolio & Halonen 2012, 316.)

<b>Tehtävä</b>	<b>Ohjeellinen sisällyttäminen arviointiin eri vaativuusluokissa</b>		
	<b>Luokka 1</b>	<b>Luokka 2</b>	<b>Luokka 3</b>
1. Rakennuskohteen ja ympäristön geologia, topografia ja maakäyttö		x	x
2. Tärinälähteet, niiden luonne	x	x	x
3. Tärinän voimakkuuden arviointiperusteet		x	x
4. Tärinävaikutusten arvioinnin alue	x	x	x
5. Selvitys tarkastelualueella olevista tärinästä vaurioituvista kohteista ja toiminnot, joihin tärinän vaikutus on otettava huomioon		x	x
6. Tärinän suurimman ohjearvon suuruuden määrittäminen, ohjearvot		x	x
7. Riskien arviointi			x
8. Esitys tärinän mittaamiseksi ja tärinävaikutusten tarkkailuksi		x	x
9. Katselmualueen ja tarvittaessa katselmusten suorittustavan määrittäminen	(x)	x	x
10. Toimenpiteet tärinäherkkien laitteiden suhteen		x	x
11. Toimenpiteet tiedottamiseksi	x	x	x
12. Toimenpiteet työskentelyajankohdista sopimiseksi		x	x
13. Tärinän vähentämismahdollisuuksien selvittäminen		x	x

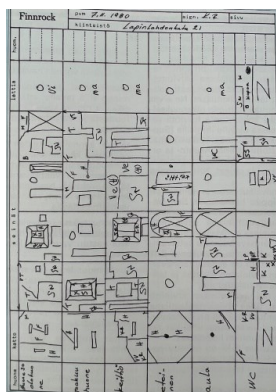
Kuvio 18. Tärinävaikutusarviointi tehtävät (Vuolio & Halonen 2012, 316.)

Ympäristöministeriön asetuksella ohjeistetaan värinävaikutuksista. Asetuksen mukaisesti on ennen rakennustöitä tarpeen selvittää rakenteisiin mahdollisesti aiheutuvat värinävaikutukset. Värinän ei saa aiheuttaa rakennukselle vaurioita eikä tuottaa kohtuutonta häiriötä rakennuksen käyttäjille. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 16.)

Värinävaikutuksen arviointi vaihtelee hankkeittain. Arvioinnin laajuus voidaan määrittellä vaativuusluokan perusteella, tällöin vaativimmissa hankkeissa värinävaikutuksia analysoidaan yksityiskohtaisemmin (kuvio 18). Arvioinnin suorittavan henkilön tulisi olla alansa asiantuntija. (Vuolio & Halonen 2012, 316–317.)

## 7.2 Rakennuskatselmukset

Jotta räjäytystöiden mahdollisesti aiheuttamien vahinkojen korvauskysymykset voidaan käsitellä oikeudenmukaisesti, suoritetaan louhintapaikan lähialueilla rakennuskatselmukset. Katselmuksissa osapuolet tarkastelevat ja dokumentoivat jo olemassa olevat rakenteiden vauriot. Vaikka katselmusta tai kiinteistön omistajan suostumusta katselmukseen ei lailla määrätä, katselmuksia saatetaan usein sisällyttää urakka- tai vakuutus sopimukseen. Katselmuksen suorittaa värinäasiantuntija. Huolellisesti laadittu alkukatselmuspöytäkirja (kuvio 19) on tärkeä dokumentti, kun arvioidaan mahdollisesti vaadittavien vahingonkorvausten oikeudellisuutta. Katselmusasiakirjat pitää säilyttää vähintään 10 vuotta. (Vuolio & Halonen 2012, 317–318.)



Kuvio 19. Esimerkki piirtämismenetelmällä tehdystä talokatselmuspöytäkirjasta. (Vuolio & Halonen 2012, 318.)

## 8 KOERÄJÄYTYKSET E2 PROJEKTILLA

### 8.1 Koeräjäytykset

Ensimmäisessä koetilanteessa räjäytykset on toteutettu tunnelin päätylouhinnassa alueella, jossa värinäherkkyyden vuoksi vaaditaan elektronisten nallien käyttöä. Värinälle herkkä kohde on muuntaja, joka sijaitsee 53 metriä louhintakohteesta.

Suurin momentaaninen räjäytysainemäärä on 4,2 kg ja tunneliprofiilin pinta-ala on 24.18 m<sup>2</sup>.

Toisessa koetilanteessa räjäytykset on toteutettu tunnelin päätylouhinnassa alueella, jossa värinäherkkyyden vuoksi vaaditaan elektronisten nallien käyttöä. Värinälle herkkä kohde on pysäköintihalli, joka sijaitsee 40,5 metrin päässä louhintakohteesta. Suurin momentaaninen räjäytysainemäärä on 6.7 kg ja tunneliprofiilin pinta-ala on 24.18 m<sup>2</sup>.

### 8.2 Poraussuunnitelma

Molemmissa koetilanteissa käytettiin samaa porauskaaviota. (kuvio 20) (liite 1).

reikämäärä yhteensä 115

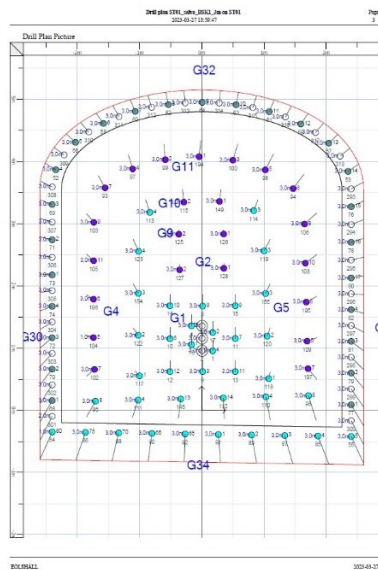
kaarireikiä 51

apukaarireikiä 39

kenttäreikiä 15

pohjareikiä 10

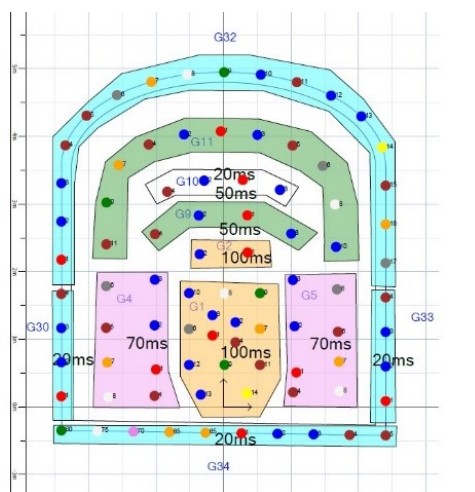




Kuvio 20. Poraussuunnitelma

### 8.3 Sytytysuunnitelma käytettäessä elektronisia eDev2 nalleja.

Molemmissa koetilanteiden sytytysuunnitelmassa reiät ovat jaettu 11 ryhmään (kuvio 21). Suunnitelmassa jokaisella reiällä on oma hidastusaika, joten momentaaninen räjähdysainemäärä on yhden reiän räjähdysaineen paino. Ryhmien sisällä reikienväläinen hidastusaika on ryhmän mukaan välillä 20ms 100ms. (liite 2)

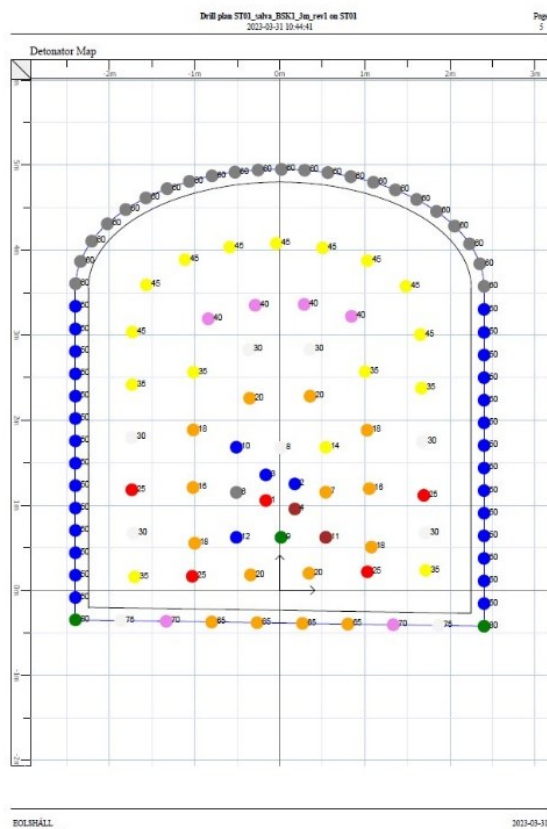


Kuvio 21. Sytytysuunnitelma eDev2 Elektroniset nallit

#### 8.4 Sytytysuunnitelma käytettäessä impulssiletkunallia

Ensimmäisessä koetilanteessa impulssiletkunalleja on käytössä numerot 1-80 joten syttyminen tapahtuu 100ms-8000ms välillä. Impulssiletkunallien hidastusaika on numero x 100 eli nr.1 on 100ms.

Toisessa koetilanteessa impulssiletkunalleja on käytössä numerot 1-90 joten syttyminen tapahtuu 100ms-9000ms välillä. (liite 3) (kuvio 22)

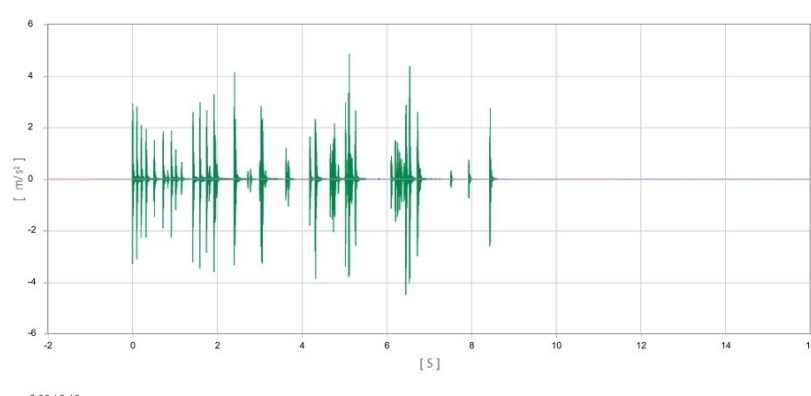


Kuvio 22. Sytytysuunnitelma Impulssiletkunalli

## 9 KOETILANTEIDEN TULOKSET

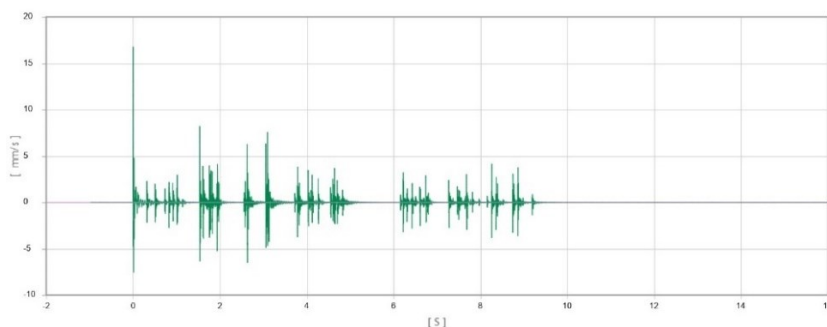
### 9.1 Impulssiletkunalli

Ensimmäisessä koetilanteessa ammuttiin 3 metrin pituista katkoa käyttäen Impulssiletkunalleja, lohkarokoon todettiin olevan hyvällä tasolla, lohkarokoko alle 40 cm, muutamia poikkeuksia oli havaittavissa. Kaaren porareikien puolikkaat olivat osittain näkyvissä, ja louhintajälki oli hyvä. Mittauspisteellä saadut värinäarvot olivat: kiihtyvyyks 4,89 m/s<sup>2</sup> ja heilahdusnopeus 3,84 mm/s. (liite 4) (kuvio 23)



Kuvio 23. Värinäkaavio impulssiletkunalli ensimmäinen koetilanne

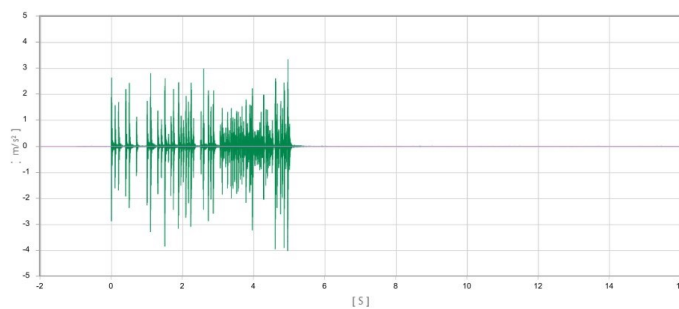
Toisessa koetilanteessa ammuttiin 5 metrin pituista katkoa impulssiletkunalleilla, lohkarokoon todettiin pääsääntöisesti olevan hyvä. kaaren porareikien puolikkaat olivat osittain näkyvissä, ja louhintajälki oli hyvä. Mittauspisteellä saadut värinäarvot olivat kiihtyvyyks 8,01 m/s<sup>2</sup> ja heilahdusnopeus 16,8 mm/s. (liite 5) (kuvio 24)



Kuvio 24. Värinäkaavio Impulssiletkunalli toinen koetilanne

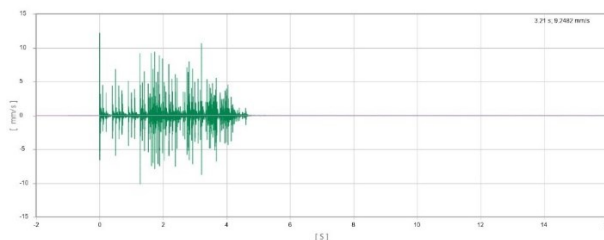
## 9.2 Elektroninen nalli

Ensimmäisessä koetilanteessa ammuttiin 3 metrin pituista katkoa käyttäen eDev2 elektronisia nalleja, lohkareiden koko oli alle 40 cm, eikä suuria lohkareita havaittu. Kaaren porareikien puolikkaat olivat selkeästi näkyvissä, ja louhintajälki oli erittäin hyvä. Mittauspisteellä saatu värinäarvo kiihtyvyydelle oli kiihtyvyys  $4,04 \text{ m/s}^2$  ja heilahdusnopeus  $2,83$ . (liite 6) (kuvio 25)



Kuvio 25. Värinäkaavio elektroninen nalli ensimmäinen koetilanne

Toisessa koetilanteessa ammuttiin 5 metrin pituista katkoa käyttäen eDev2 elektronisia nalleja, lohkare koko pysyi alle 40 cm, eikä suuria lohkareita näkynyt. (kuvio 26). Kaaren porareikien puolikkaat olivat selkeästi näkyvissä, ja louhintajälki oli erittäin hyvä. Mittauspisteellä saadut värinäarvot olivat: kiihtyvyys  $6,82 \text{ m/s}^2$  ja heilahdusnopeus  $12,2 \text{ mm/s}$ . (liite 7) (kuvio 26)



Kuvio 26. Värinäkaavio elektroninen nalli ensimmäinen koetilanne

### 9.3 Tulosten analysointi

Kun käytettiin eDev2 elektronisia nalleja ensimmäisessä koetilanteessa, kiihtyvyyden väheni 17,4 % ja heilahdusnopeus 26,04 % verrattuna impulssiletkunalleihin.

Toisessa koetilanteessa, kun käytettiin eDev2 elektronisia nalleja, kiihtyvyyden väheni 14,9 % ja heilahdusnopeus 27,06 % verrattuna impulssiletkunalleihin.

### 9.4 Johtopäätökset

Molemmissa kokeissa tunnelin louhinnassa oli asetettu ennakkoon sijainti, jossa siirrytään käyttämään elektronisia nalleja impulssiletkunallien sijaan. Elektronisten nallien merkitys korostuu, kun lähestytään tärinälle herkkiä kohteita. Tässä kontekstissa vertailin rajatilanteiden tärinäarvoja.

Koetilanteidemme tulokset, jotka perustuvat eDev2-elektronisten nallien käyttöön, osoittavat, että ne vaikuttavat selvästi positiivisesti louhinnan tärinään verrattuna impulssiletkunalleihin. Havaittiin kiihtyvyyden ja heilahdusnopeuden merkittävää vähenemistä. Analyysi osoittaa, että räjähdysten tarkan ajoituksen ja räjähdysaaltojen hallitun leviämisen ansiosta elektronisten nallien käyttö johti hallitumpiin ja tehokkaampiin louhintatuloksiin.

Tarkkuus räjäytysten ajoituksessa mahdollistaa useita parannuksia:

Suurempien räjähdysainemäärien käyttö ja pidempien katkojen louhinta. Parempi ajoitus voi sallia suurempien räjähdysainemäärien käytön yksittäisissä panostuksissa ilman, että tärinän voimakkuus kasvaa, mikä voi johtaa tehokkaampaan louhintaan.

Aikataulullisesti katsottuna, vaikka panostaminen voi olla hitaampaa, pidempien katkojen räjäytys, parempi tärinänhallinta ja vähentyneet ympäristöhäiriöt voivat lyhentää projektin kokonaiskestoa ja vähentää työn keskeytyksiä.

Ympäristönäkökulmasta vähentyneet tärinäarvot vähentävät melusaastetta ja rakenteellisten vaurioiden riskiä ympäristössä, mikä on merkittävä etu erityisesti tiheästi asutuilla tai herkillä alueilla.

Porauksen laatu vaikuttaa suoraan louhinnan tehokkuuteen ja turvallisuuteen. Tarkasti poratut reiät varmistavat panosten optimaalisen sijoittelun ja optimaalisen räjähdystuloksen. Jos käytössä on reikäkohtainen porauslaitteen tallentama MWD-data (Measure while drilling), räjäytysten optimointi paranee, koska räjäytysten suunnittelu voi perustua tarkkoihin poraustietoihin.

Tasaisempi räjähdysaaltojen eteneminen kalliossa tarkoittaa, että räjähdysenergia jakautuu kallioperään hallitummin, mikä vähentää epätoivottua sivuvaikutusta kuten kallion lohkeilua ja liiallista murskausta sekä vähentää ei haluttua rikkoutumista kalliossa.

Nykyaikaiset ympäristömääräykset pyrkivät vähentämään tunnelilouhinnan aiheuttamia haittoja, kuten maaperän ja vesistöjen saastumista, melua ja tärinää, sekä epämiellyttävää runkoääntä. Tämä tarkoittaa tarvetta kehittää ja soveltaa ympäristöystävällisempiä käytäntöjä ja teknologioita.

Elektronisten nallien käyttö louhintaprosesseissa voi vähentää näitä ympäristövaikutuksia monella tapaa. Koska elektroniset nallit mahdollistavat tarkan räjähdysten ajoituksen, ne voivat parantaa räjähdysten tehokkuutta. Pienempi räjähdysaineen kulutus per louhittu tonni vähentää haitallisten aineiden päästöjä ympäristöön ja alentaa louhinnasta aiheutuvaa paineiskua. Näin ollen vaikutusta ympäristöön voidaan rajoittaa.

Impulssiletkunalleja käytettäessä syntyy myös muovijätettä, joka on haitallista ympäristölle. Muoviletkut eivät maadu helposti. Prosessi voi kestää vuosisatoja, jolloin ne voivat kumuloitua ympäristöön ja aiheuttaa ongelmia maaperälle tai vesistöille. Elektronisten nallien johtimet, joita käytetään räjäytysten syyttämiseen, ovat ohuempia mikä vähentää jätteen määrää ja ympäristöön kohdistuvaa kuormitusta.

## 10 POHDINTA

Työn ja opiskelun yhteensovittaminen on osoittautunut paikoitellen erittäin haastavaksi. Opiskeluaikani kohtasin COVID-19-pandemian tuomat matkustusrajoitukset sekä samanaikaisesti kokopäivätyön ulkomailla.

Opinnäytetyöni edistymistä on hidastanut opinnäytetyön ja työelämän velvoitteiden yhteensovittaminen, mikä on edellyttänyt työkiireiden lomaan mahtuvien hetkien hyödyntämistä. Myös vapaa-aikani on paljolti kulunut opinnäytetyön kirjoittamiseen.

Tavoitteenani opinnäytetyössä oli syventyä analysoimaan, kuinka uudenaikaiset louhintamenetelmät mahdollistavat innovatiivisia suunnitteluratkaisuja ja toteutustapoja haasteellisiin louhintaympäristöihin, sekä vertailla näitä nykYTEKNIKOITA perinteisiin menetelmiin. Halusin ottaa monipuolisesti eri näkökulmia huomioon ja tuoda esiin nykyaikaisten tekniikoiden mahdollisuuksia, jotka voivat merkittävästi parantaa louhinnan tehokkuutta haastavissa olosuhteissa.

Tutkimus suoritettiin kahdessa eri kohteessa, joissa suoritettiin räjäytyksiä peräkkäin käyttäen sekä impulssiletkunalleja että elektronisia nalleja.

Jos aloittaisin tutkimuksen nyt, keskittyisin enemmän siihen, miten louhintatyön laatu eroaa käytettäessä elektronisia nalleja. Lisäksi tutkisin, voiko elektronisten nallien käyttö pidemmällä aikavälillä vähentää tunnelin tuennan sekä injektointitarvetta verrattuna muihin menetelmiin, mikä voisi tarjota merkittäviä etuja louhintaprosessin tehokkuudelle ja taloudellisuudelle. Sekä vertailla pidemmällä aikavälillä eri louhintatekniikoista syntyviä ympäristövaikutuksia.

## LÄHTEET

Forcit 2021. Louhintaräjähteet, tuoteluettelo. Viitattu 30.10.2023. [https://forcitexplosives.fi/app/uploads/sites/7/2021/09/Forcit\\_Catalogue\\_2021\\_FI\\_web.pdf](https://forcitexplosives.fi/app/uploads/sites/7/2021/09/Forcit_Catalogue_2021_FI_web.pdf).

Forcit 2023a. Den ledande experten inom sprängteknik som din partner. Viitattu 30.10.2023. <https://forcitexplosives.fi/sv/etusivu-3/>.

Forcit 2023b. Exel nalli, tuotetietokortti. Viitattu 30.10.2023 <https://forcitexplosives.fi/tuotteet/>.

Forcit 2023c. Firex a, tuotetietokortti. Viitattu 30.10.2023 <https://forcitexplosives.fi/tuotteet/>.

Forcit 2023d. Kemiitti 810. Safety data sheet. Haettu 30.10.2023 sivulta <https://forcitexplosives.com/product/kemiitti-810/>.

Forcit 2023e. Lagring och licensiering. Viitattu 30.10.2023. <https://forcitexplosives.se/lagring-och-licensiering/>.

Orica 2023. Viitattu 30.10.2023. eDev II - System Configurations (oricaminingservices.com).

High speed Two Ltd, 2023. Meet our giant tunnel boring machines. Viitattu 30.10.2023. <https://www.hs2.org.uk/building-hs2/tunnels/meet-our-giant-tunnel-boring-machines/>.

Maxam Corp 2021. Rionel F LP Tuotetietokortti. Haettu 30.10.2023 sivulta <https://forcitexplosives.fi/tuote/rionel-f/>.

Olofsson, S. 2017. Modern sprängteknik. Orica Sweden AB.

Orica 2023. eDev™II Elektronik tändsystem. Technical data sheet. Haettu 30.10.2023 osoitteesta [https://www.oricaminingservices.com/se/sv/product/products\\_and\\_services/electronic\\_blasting\\_systems/edev\\_ii/page\\_edev\\_ii\\_-\\_the\\_next\\_generation/edevii\\_electronic\\_blasting\\_system/1374](https://www.oricaminingservices.com/se/sv/product/products_and_services/electronic_blasting_systems/edev_ii/page_edev_ii_-_the_next_generation/edevii_electronic_blasting_system/1374).



Paalumäki, T., Lappalainen., P. ja Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Pinomäki, T. ja Vuento, A. 2023. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. Helsinki: Työturvallisuuskeskus, rakennusalojen työtoimikunta.

RIL 253-2010. Rakentamisen aiheuttamat tärinät. 2010. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

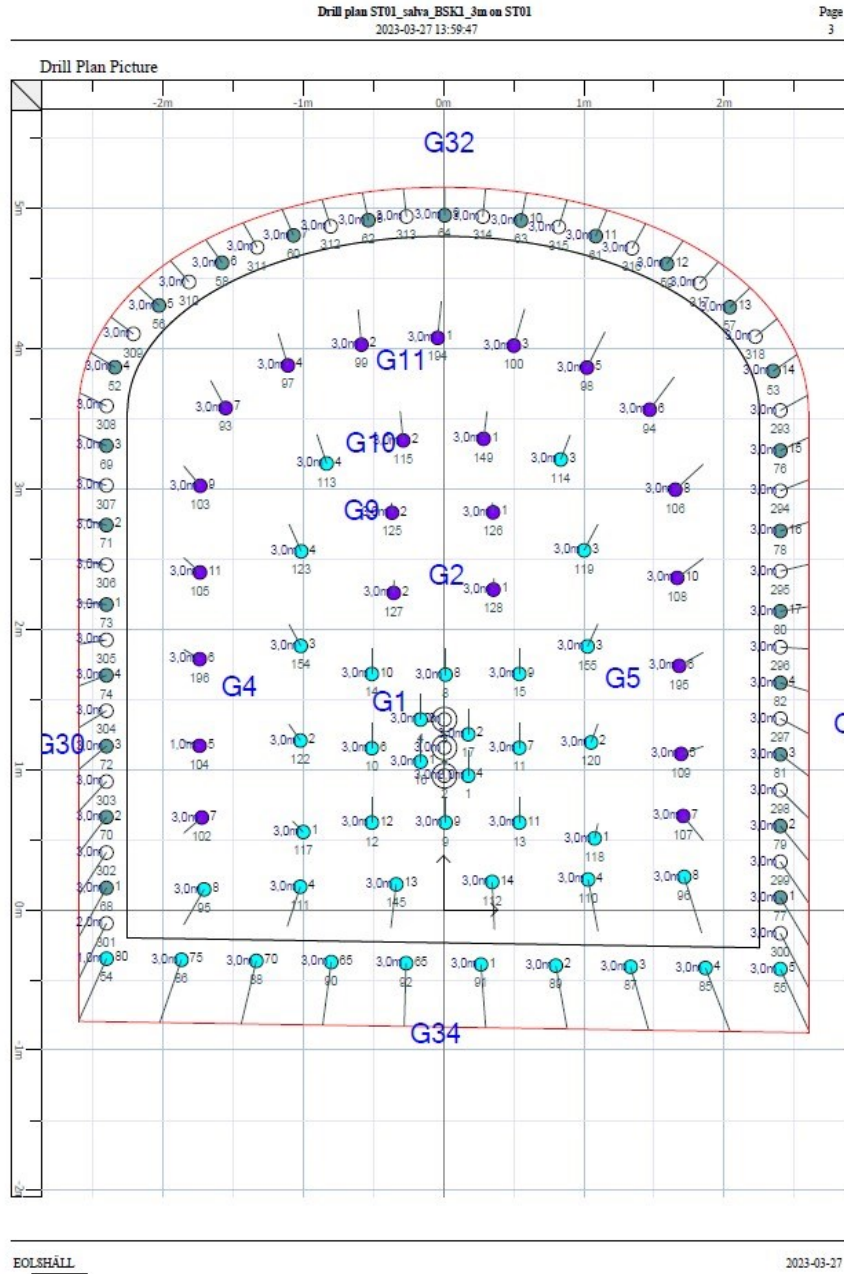
Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018. Rakenteiden lujuus ja vakaus, pohjarakenteiden suunnittelu. Ympäristöministeriön julkaisuja 2018. Viitattu 20.10.2023. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Pohjarakenteet-lopullinen-2018-687245F6\\_C824\\_413F\\_BB52\\_7A9DF0EDC210-137126.pdf/35f1f8ed-daa9-70d9-d863-e49967a9fa97/Pohjarakenteet-lopullinen-2018-687245F6\\_C824\\_413F\\_BB52\\_7A9DF0EDC210-137126.pdf?t=1603260646848](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Pohjarakenteet-lopullinen-2018-687245F6_C824_413F_BB52_7A9DF0EDC210-137126.pdf/35f1f8ed-daa9-70d9-d863-e49967a9fa97/Pohjarakenteet-lopullinen-2018-687245F6_C824_413F_BB52_7A9DF0EDC210-137126.pdf?t=1603260646848).

Vuolio, R. & Halonen, T. 2012. Räjätystyöt. 2. painos. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.

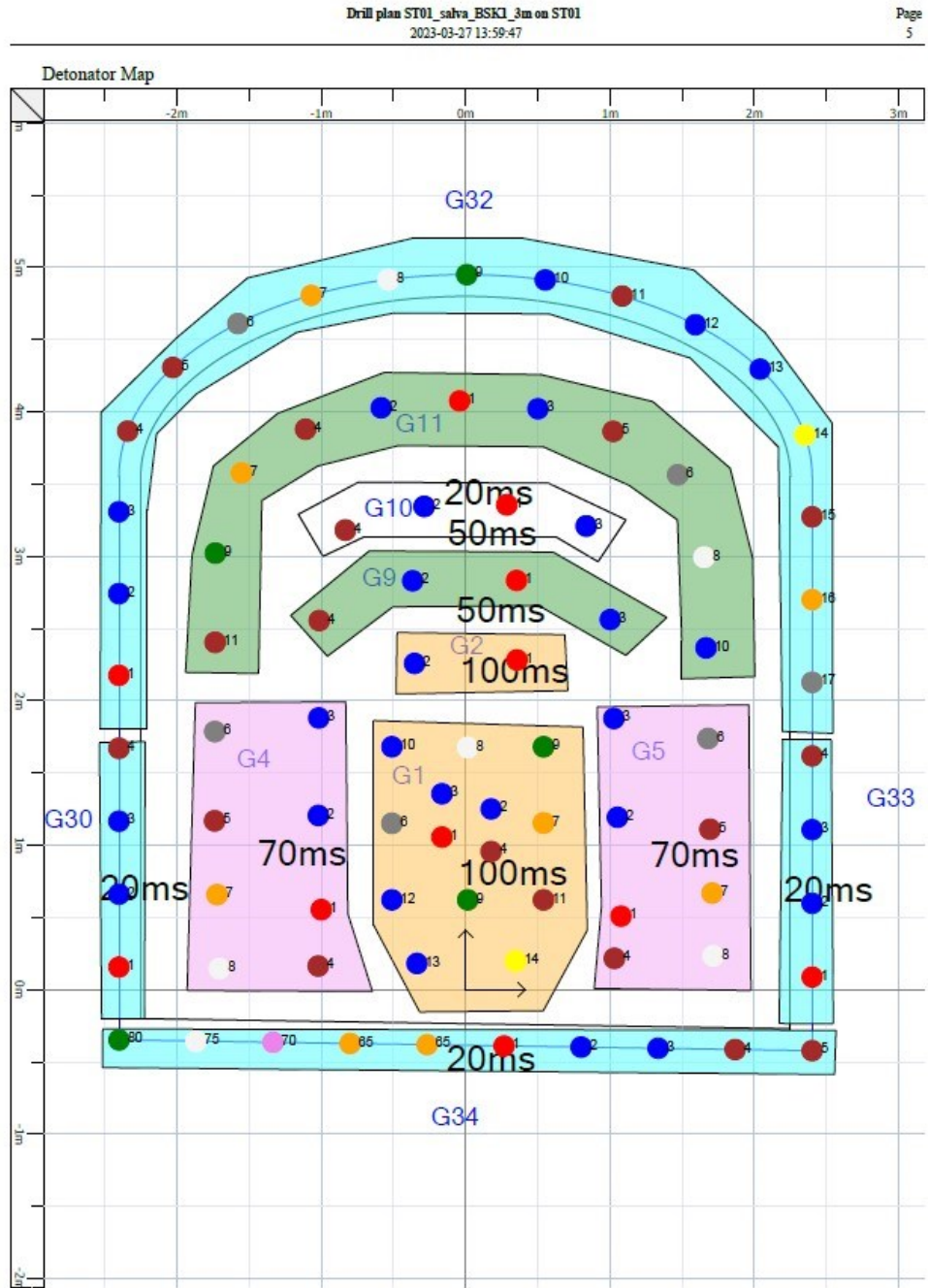
## LIITTEET

- Liite 1 Porauskaavio koetilanteessa 1 ja 2.
- Liite 2 Panostuskaavio Elektroninen nalli eDev2
- Liite 3 Panostuskaavio Impulssiletkunalli
- Liite 4 Tärinäraportti Impulssiletkunalli koetilanne 1
- Liite 5 Tärinäraportti Impulssiletkunalli koetilanne 2
- Liite 6 Tärinäraportti Elektroninen nalli eDev2 koetilanne 1
- Liite 7 Tärinäraportti Elektroninen nalli eDev2 koetilanne 2

Liite1. Porauskaavio koetilanteessa 1 ja 2



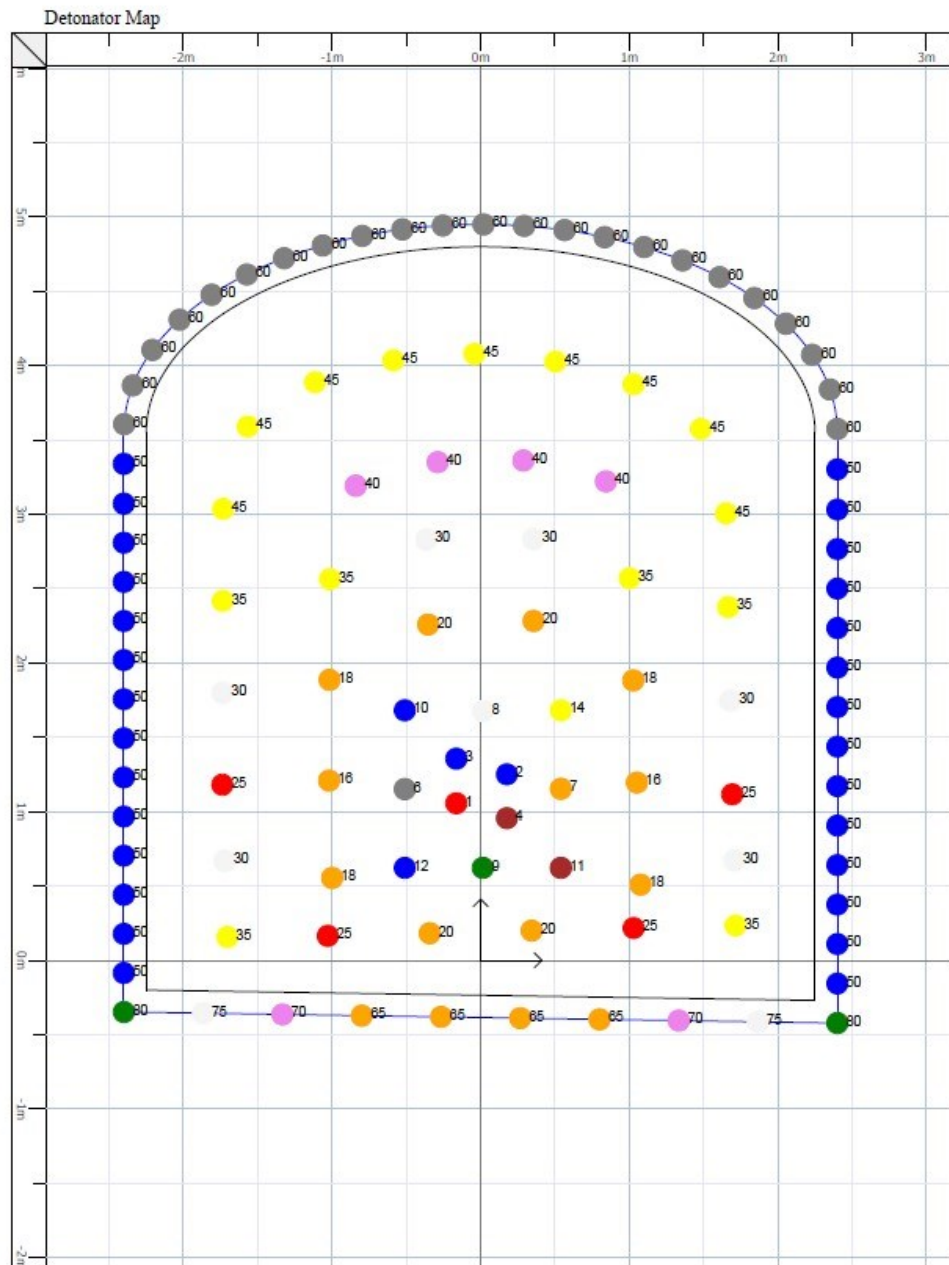
Liite 2. Panostuskaavio Elektroninen nalli eDev2



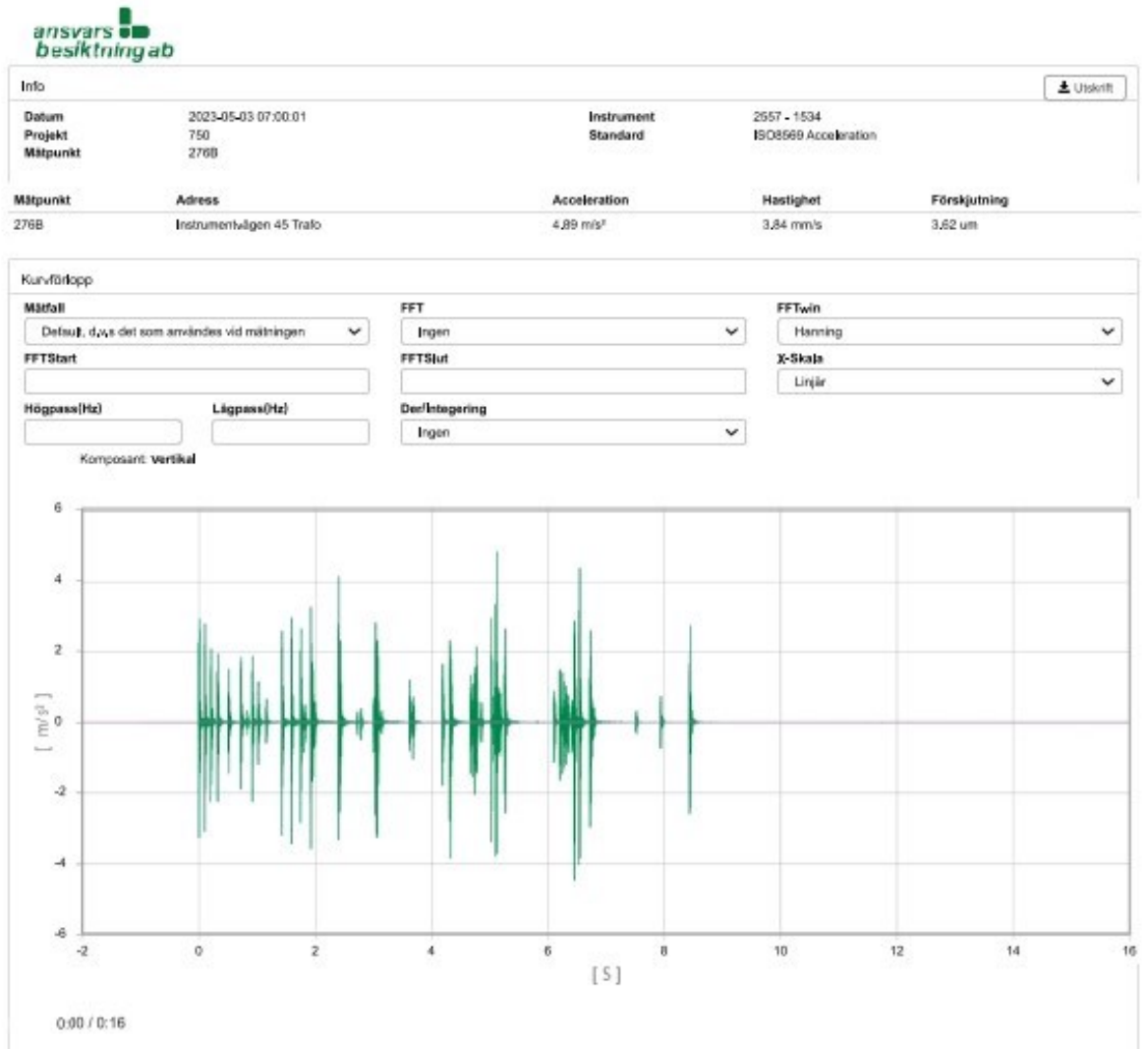
Liite 3. Panostuskaavio Impulssiletkunalli

Drill plan ST01\_sahva\_BSK1\_3m\_rev1 on ST01  
2023-03-31 10:44:41

Page  
5



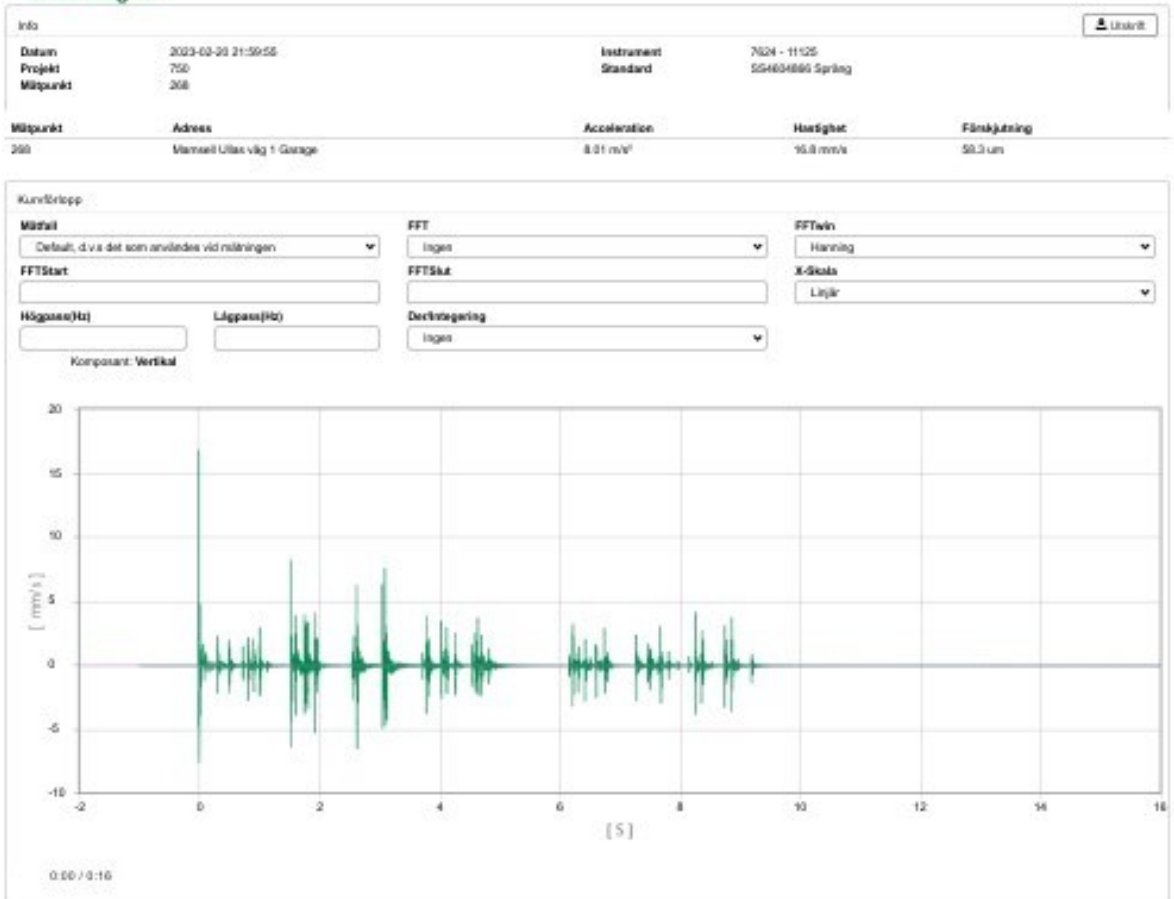
## Liite 4. Tärinäraportti Impulssiletkunalli koetilanne 1



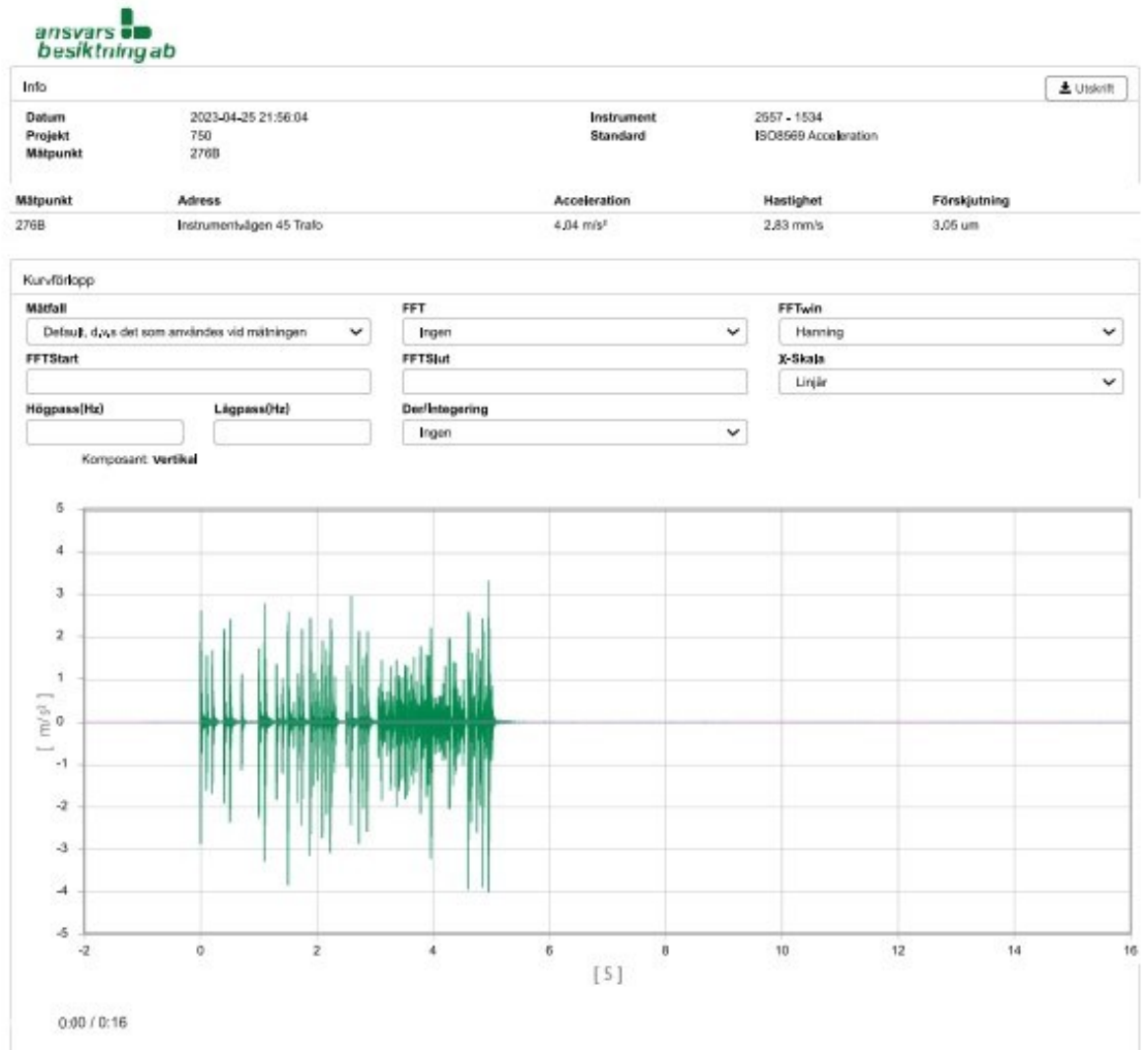
## Liite 5. Tärinäraportti Impulssiletkunalli koetilanne 2

2023-09-20 18:21

Vljnet - Kurvform



## Liite 6. Tärinäkaavio Elektroninen nalli eDev2 koetilanne 1





## Liite 7 Tärinäkaavio Elektroninen nalli eDev2 koetilanne 2

2023-09-20 18:27

Vipnet - Kurvform

