

Opinnäytetyö (YAMK)

Rakennettu Ympäristö

2025

Jussi Kiviniemi

Tuotantopalkkion muuntaminen määräperusteisesta laatuperusteiseksi

– louhintatyön poraussuoritteet pengerlohinnassa

Opinnäytetyö (YAMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennettu ympäristö

2025 | 50 sivua

Jussi Kiviniemi

Tuotantopalkkion muuntaminen määräperusteisesta laatuperusteiseksi

- louhintatyön poraussuoritteet pengerlouhinnassa

Louhittaessa räjähteillä on porauksen laadulla suuri vaikutus tuottavuuteen ja turvallisuuteen. Aikojen saatossa porakolojen tutkiminen on ollut mahdotonta ja mittalaitteiden kehittyessä 2000-luvun alkupuolella oli niiden hinta niin korkea, että kaikilla ei ollut tasavertaista pääsyä niiden käytön piiriin.

Teknologia on kehittynyt hyvin nopeasti ja esimerkiksi porakolojen luotaus on halpaa ja helppoa. Mittaustiedon nopea saanti ja helppo tulkittavuus voisi auttaa poraria toimimaan oikealla tavalla kiven geologisten ominaisuuksien muuttuessa porattavalla kentällä

Tutkimuksen tarkoituksena on aukaista aluetta, jossa porauksen laatu ja porausnopeus kohtaavat ja optimoida tätä tunkeumanopeuden (m/min) muutoksilla sekä vastata siihen onko muutos mahdollinen, mitä se vaatii ja miten sen voi toteuttaa. Tutkittava aineisto kerättiin viideltä alueelta.

Tutkimuksesta saatiin avattua tekijöitä, jotka vaikuttavat laatuun ja tätä kautta kustannuksiin. Porauskohteiden tulokset olivat kuitenkin osittain ristiriitaisia ja laatuperusteiseen tuotantopalkkioon siirtyminen vaatii vielä lisätutkimuksia. Tutkimuksen yhteydessä kävi ilmi, että nykyaikainen mittauskalusto ja käytettävissä olevat suunnitteluohjelmistot mahdollistavat tämän tutkimisen ja esimerkiksi tämän työn tuloksena pystytään määrittelemään miten tutkimusta pitäisi laajentaa tulevaisuutta ajatellen. Tuloksista voidaan myös määrittää, miten siirtyminen laatuperusteiseen tuotantopalkkioon voitaisiin jo nyt toteuttaa.

Asiasanat:

Fordev, Opit-Blast, Tunkeumanopeus, Porauskulma, Suuntauskulma,
Ohiporaus, Tuotantopalkkaus

Bachelor's / Master's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Rakennettu Ympäristö

2025 | 50 Total number of pages

Jussi Kiviniemi

Quantity fundamental production fee`s change to quality fundamental

- Blasting drilling performance in open quarrying

When mining with explosives, the quality of drilling has a major impact on productivity and safety. Over time, it has been impossible to examine boreholes, and when measuring devices were developed in the early 2000s, their price was so high that not everyone had equal access to the use.

Technology has developed very far and, for example, measuring and modeling boreholes is cheap and easy. Quick access to measurement data and easy interpretation would help the driller act correctly when the geological properties of the rock in the field being drilled change.

The purpose of the study is to understand where quality and drilling speed meet and optimize this by changing the penetration rate (m/min) and answer the question of whether the change is possible, what it requires and how it can be implemented. Material to be studied was collected from five different areas. The study uncovered factors that affect quality and thus costs. Results of the drilling sites were partly contradictory and the transition to a quality-based production fee still requires further research. The study revealed that modern measurement equipment and design software`s make this research possible and because of this study, it is possible to determine how the research should be expanded. The results can also be used to determine how the transition to a quality-based production fee could be implemented already now.

Keywords:

Fordev, Opit-Blast, Penetration rate, Drilling angle, Direction angle,
Bypassdrilling, Production fee

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	11
1 Johdanto	12
2 Poraustaipumat	13
2.1 Porauksen suunta	13
2.2 Virhettä aiheuttavat tekijät	15
3 Pengerloughinnan porauskalusto	17
3.1 Porausmenetelmät maanpäällisessä pengerloughinnassa	17
3.2 Menetelmän ja kaluston valinta	17
3.3 Päältä lyövän porauksen kalusto	18
3.4 Porauksessa tarvittava energia ja sen kehittäminen	18
3.5 Korkeat penkereet	19
4 Porattava kivi	20
4.1 Suomalainen kallioperä	20
4.2 Pääpiirteet kallioperässämme	20
4.3 Suomen kallioperän kivilajeja	22
4.3.1 Kalliolaatu	22
5 Aineiston kerääminen kohteista	23
5.1 Käytettävä laitteisto	23
5.2 Kohteet	23
5.3 Aineiston kerääminen	24
6 Aineiston analysointi	27
6.1 Varsinais-Suomi 1	28
6.1.1 Tulokset Varsinais-Suomi 1	28
6.2 Varsinais-Suomi 2	32
6.2.1 Tulokset Varsinais-Suomi 2	33

6.3 Satakunta	35
6.3.1 Tulokset Satakunta	35
6.4 Pohjanmaa	37
6.4.1 Tulokset Pohjanmaa	38
6.5 Keski-Suomi 1	40
6.5.1 Tulokset Keski-Suomi 1	41
6.6 Keski-Suomi 2	42
6.6.1 Tulokset Keski-Suomi 2	43
7 Taipumamittausten yhteenveto	45
7.1 Tunkeumanopeus	45
7.2 Poraussyvyys	45
7.3 Kohde	46
7.4 Kalusto	46
8 Lopuksi	47
8.1 Kerätty aineisto	47
8.2 Tutkimuksen kehittäminen	47
8.3 Laatusidonnaiseen tuotantopalkkaukseen siirtyminen	47
8.4 Vaikutukset	48
Lähteet	50

Liitteet

- Liite 1. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 1
- Liite 2. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 2
- Liite 3. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 3
- Liite 4. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 4
- Liite 5. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 5
- Liite 6. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 6
- Liite 7. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 7
- Liite 8. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 8

- Liite 9. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 9
- Liite 10. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 10
- Liite 11. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 11
- Liite 12. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 12
- Liite 13. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 1
- Liite 14. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 2
- Liite 15. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 3
- Liite 16. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 4
- Liite 17. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 5
- Liite 18. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 6
- Liite 19. Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 7
- Liite 20. Taipumamittaus Satakunta H 1
- Liite 21. Taipumamittaus Satakunta H 2
- Liite 22. Taipumamittaus Satakunta H 3
- Liite 23. Taipumamittaus Satakunta H 4
- Liite 24. Taipumamittaus Satakunta H 5
- Liite 25. Taipumamittaus Satakunta H 6
- Liite 26. Taipumamittaus Satakunta H 7
- Liite 27. Taipumamittaus Satakunta H 8
- Liite 28. Taipumamittaus Pohjanmaa H 1
- Liite 29. Taipumamittaus Pohjanmaa H 2
- Liite 30. Taipumamittaus Pohjanmaa H 3
- Liite 31. Taipumamittaus Pohjanmaa H 4
- Liite 32. Taipumamittaus Pohjanmaa H 5
- Liite 33. Taipumamittaus Pohjanmaa H 6
- Liite 34. Taipumamittaus Pohjanmaa H 7
- Liite 35. Taipumamittaus Pohjanmaa H 8
- Liite 36. Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 1
- Liite 37. Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 2
- Liite 38. Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 3
- Liite 39. Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 4
- Liite 40. Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 5

- Liite 41. Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 6
Liite 42. Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 7
Liite 43. Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 1
Liite 44. Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 2
Liite 45. Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 3
Liite 46. Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 4
Liite 47. Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 5
Liite 48. Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 6
Liite 49. Taipuma yhteenveto porauksen pohjan mittapisteellä

Kuvat

Kuva 1. Tutkittu poraus	14
Kuva 2. Porausruutu kallion pinnalla	15
Kuva 3. Porausruutu pohjalla	16
Kuva 4. Dieselhydraulinen päältälyövä poravaunu Sandvik DX800i.	18
Kuva 5. Fennoskandian kallioperän pääosat.	21
Kuva 6. Suomen kallioperäkartta.	21
Kuva 7. Kuvaaja Varsinais-Suomi 1	28
Kuva 8. Kuvaaja Varsinais-Suomi 2	33
Kuva 9. Kuvaaja Satakunta	35
Kuva 10. Kuvaaja Pohjanmaa	38
Kuva 11. Kuvaaja Keski-Suomi 1	41
Kuva 12. Kuvaaja Keski-Suomi 2	43

Taulukot

Taulukko 1. Taipumadata poravaunulta.

25

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Ohiporaus

**Louhintatason ohittava poraus, jossa pohjapanos
(Vuolio, Halonen 2012, 142)**

1 Johdanto

Aiheena räjäytystyön poraussuoritteiden tuotantopalkkion tarkastelu määrä perusteisen ja laatu- ja turvallisuuteen välillä on hyvin perusteltua tässä ajassa.

Useat eri vaaratilanteet eri työmailla ovat olleet uutisotsikoissa taajaan, sekä alati kehittyvä turvallisuus kulttuuri suorastaan vaatii tätä. Laatu vaikuttaa suoraan myös kustannuksiin.

Alan kirjallisuudessa, kuten vuonna 2012 julkaistussa Räjätystyöt, Raimo Vuolio, Tommi Halonen otetaan jo kantaa suunnitteluohjelmistoihin ja poraustaipumien mittauksiin. Sen jälkeen, kun poraustaipumien mittauslaitteet ovat tulleet markkinoille, on tämä ongelma tiedostettu ja siihen on pyritty vaikuttamaan. Poraustaipumien aiheuttamat ongelmat on aina näkynyt lopputuotteessa esimerkiksi kovaksi jääneenä pohjana, jolla tarkoitetaan louhintatason yläpuolelle, jäävää irtoamatonta kiveä, vaikeasti lastattavana louheena sekä ylisuurena louheena. Kaikki edellä mainitut haitat kasvattavat huomattavasti kustannuksia, koska niiden hoitaminen jälkilouhintana tai hydraulivasaralla rikottaen on erittäin kallista. Lisäksi lastattavuuden ollessa huonoa, näkyy se tuotannon menetyksenä.

Geologisten ominaisuuksien ja niiden määrittäminen paikkakohtaisesti on vertailussa haasteellista. Siksi tässä opinnäytetyössä tutkitaan mittaustuloksia, jotka sijoittuvat monelle eri alueelle. Aukoton mittatieto ei ole, mutta se antaa perus lähtötiedot mahdolliselle muutokselle ja sen tuomille eduille ja haasteille. Tutkimustiedon kirjallisuuslähteenä käytettiin pääosin kirjoja Räjätystyöt (Vuolio & Halonen) ja Räjätystyösopas (Vuolio & Halonen). Verrattavat mittaukset on suoritettu luodun ohjeistuksen mukaan olleen niiden aina toisiinsa verrattavat suoritukset ja mittauksien suorituksissa on noudatettu laitevalmistajien laitekohtaisia ohjeita.

Tavoitteena työllä oli vastata kysymykseen, onko muutos mahdollinen ja mitä se vaatii toteutuakseen.

2 Poraustaipumat

Porauskaavion määrittelemine tapahtuu teoreettisesti laskemalla maksimietu, joka on kahden perättäin olevan porauspisteen välinen matka. Laskenta suoritetaan valikoidun pohjapanoksen mukaan ja lopuksi lasketaan käytännön etu, jossa otetaan huomioon mahdolliset porausvirheet laskennallisesti. (Vuolio, Halonen 2012, 149) Reikäväli on kahden viereisen porauspisteen välinen matka, joka kovassa kalliossa tyypillisesti on 1,25-kertainen etuun nähden. (Vuolio, Halonen 2012, 111)

2.1 Porauksen suunta

Porauksessa esiintyy usein ainakin jonkin verran virhettä aloituspaikan ja suuntauksen suhteen. Porattujen reikien taipumat voivat aiheuttaa suurtakin virhepoikkeamaa. Huomattavan korkeissa porattavissa kallioissa voidaan saada pelkästään oikealla suuntauksella merkittäviä säästöjä ja etuja niin kustannuksissa kuin turvallisuudessakin. (Vuolio, Halonen 2012, 140)

Kuvassa 1 on esitetty suunnitellun ja toteutuneen porauksen ero. Poraus on tutkittu taipumamittauslaitteella.



Kuva 1. Tutkittu poraus

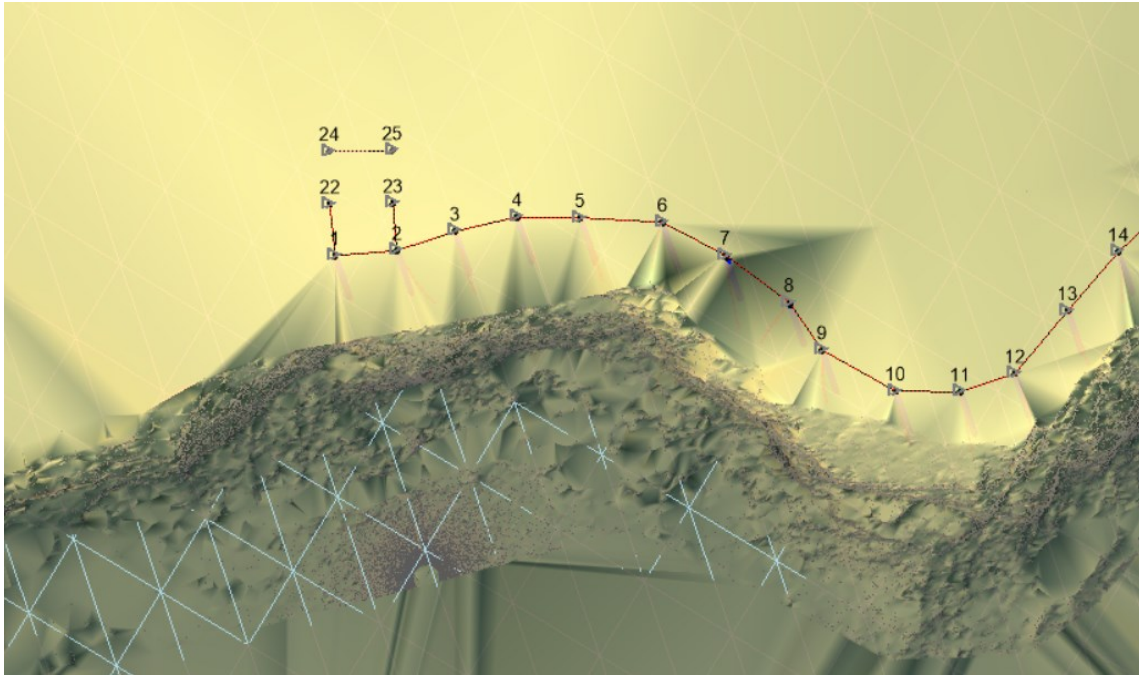
Kuvassa 1 sininen putkimainen osio osoittaa teoreettisen poraustuloksen, joka piirtyy alla lueteltujen lähtötietojen perusteella

- Lähtöpisteen koordinaatit
- suuntakulma
- kallistuskulma
- poraussyvyys

Punainen katkoviiva osoittaa mitatun todellisen poraustuloksen. Kuvassa taustaruudukko vastaa mittoja 1 metri x 1 metri.

Kyseessä on hyvin ääripää suunnitellun ja toteutuneen erosta.

Kuvassa 2 näkyy porausruutu, joka on kallion pinnalla tasan 8 neliömetrin kokoinen. Ruudun rajaa pisteet 22, 23, 24 ja 25. Kuvassa 3 näkyy saman ruudun toteuma porauksen pohjatasolla.



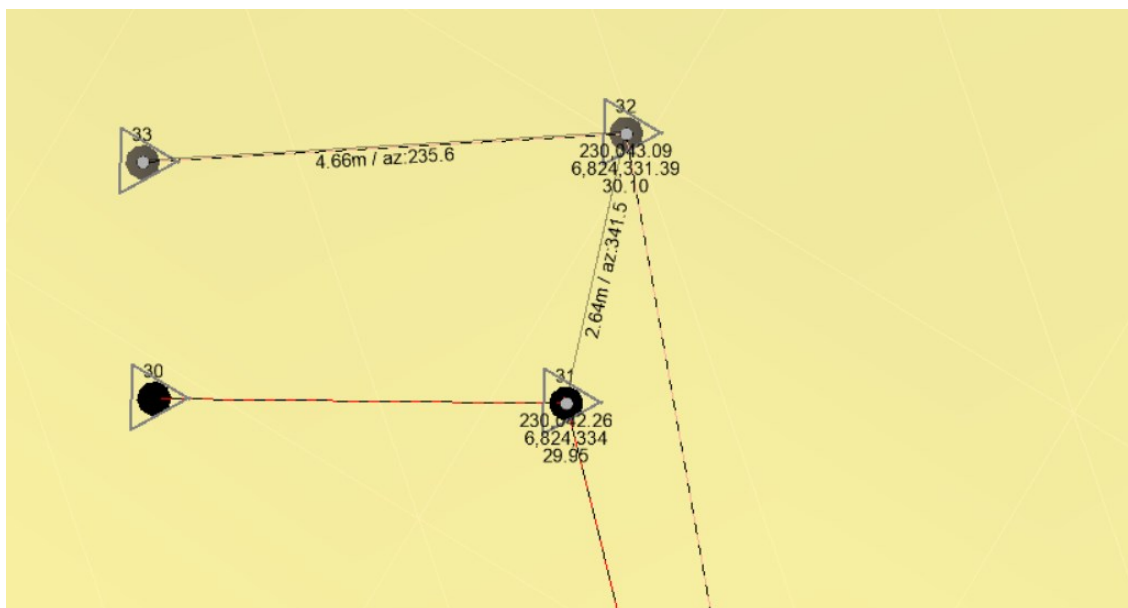
Kuva 2. porausruutu kallion pinnalla.

2.2 Virhettä aiheuttavat tekijät

Virheporauksen vaikutukset voidaan jakaa seuraaviin osiin

- Pienentynyt etu, jolloin paikallinen ylipanostus ja tästä seurauksena kasvava kivien heitto vaara
- Ylilyönnin vaara porareikien välillä aiheuttaen tärinöiden kasvamista ja kasvavaa heittovaaraa tärinöiden kasvamista ja kasvavaa heittovaaraa.
- Ryöstöt, joiden seurauksena lohkareita irtoaa suunnitellun alueen ulkopuolelta
- Kasvanut etu, joka aiheuttaa huonontuneen tai jopa olemattoman irtoamisen tällöin kallio jää osittain tai jopa kokonaan irtoamatta. Tällä erittäin suuri vaikutus työstettävyyteen
- Vaihtelevat reikäkallistukset, joitten takia irtoaminen huononee ja pohjalle jää irtoamatonta kalliota teoreettisen suunnittelutason yläpuolelle. (Vuolio, Halonen 2012, 115)

Kuvassa 3 esitettynä lopputulos, jossa ruutu koko on kasvanut noin 4 neliötä alun suunnitellusta koosta.



Kuva 3 Poraustruutu pohjalla.

Kuvan 3 tapauksessa esille nousee seuraavat mahdolliset vaikutukset. Paikallinen yli/alipanostus, kasvava heittovaara tai irtoamaton kallio suunnittelutasen yläpuolella. (Vuolio, Halonen 2012, 115

3 Pengerlouhinnan porauskalusto

Porauksen osalta louhintatyömaat voidaan karkeasti jakaa maanalaisiin ja maanpäällisiin kohteisiin. Porauskaluston ollessa pääsääntöisesti erilaista näiden välillä, voidaan silti samaa kalustoa tapauskohtaisesti käyttää kummassakin kohteessa. (Vuolio, Halonen 2012, 129)

3.1 Porausmenetelmät maanpäällisessä pengerlouhinnassa

Maanpäällisessä porauksessa reikäkoko on yleensä suurempi kuin maanalaisessa porauksessa. Maanpäällisessä pengerlouhinnassa myös porauskaaviot eroavat paljon. (Vuolio, Halonen 2012, 129)

3.2 Menetelmän ja kaluston valinta

Menetelmän ja kaluston valinnan osalta kiven lujuudella ei ole niinkään suurta merkitystä. Penkkakorkeus ja louhittava määrä vaikuttavat eniten kaluston valinnassa. Kolme päämenetelmää ovat päältälyövä, uppoporaus ja kiertoporaus. (Vuolio, Halonen 2012, 129). Tämä opinnäytetyö keskittyy vain päältälyövän porausmenetelmän tutkimiseen.

Kiven rikkomiseen tarvittava energia siirtyy päältälyövässä porauksessa (1) iskun, (2) syöttövoiman ja (3) pyörityksen avulla. Porakoneen männän tuottama liike-energia siirretään niskan kautta poraustankoihin ja lopuksi porakruunuun. Energia etenee iskuaallon muodossa 4500–5500 m/s poratangoissa. Iskuaallon saavuttaessa porakruunun energia siirtyy kiveen ja kuluu terän tunkeutumiseen ja kiven rikkomiseen. Energiasta noin 90 % välittyy kruunuun ja loppu heijastuu takaisin tankoliitoksista. Päältälyövän porauksen tärkeimmät vaikuttavat parametrit ovat (1) iskun taajuus, (2) iskun energia, (3) pyöritysnopes, (4) huuhtelu. Nykyään lähes kaikki järjestelmät ovat hydraulisesti toimivia. (Vuolio, Halonen 2012, 130).

3.3 Päältä lyövän porauksen kalusto

Avolouhintatyömailla käytetään sekä kiinto- että jatkotankokalustoa.

Kiintokalusto keskittyy pienempiin reikäkokoihin (\varnothing 27–42 mm) ja suuremmat (\varnothing 45–127 mm) jatkotangoilla. (Vuolio, Halonen, 2012, 131). Tutkittavat reikäkoot ovat 76 mm, 83 mm ja 89 mm.

Jatkotanko kalusto koostuu seuraavista osista (1) niskakappale, (2) tangosta, (3) jatkoholkeista tai jatko tangoista, (4) porakruunusta. Tankojen liitokset toisiinsa tapahtuu kierteiden avulla. (Vuolio, Halonen, 2012, 131).

3.4 Porauksessa tarvittava energia ja sen kehittäminen

Vaihtoehtoisia menetelmiä on paineilma, sähköhydrauliset järjestelmät ja dieselhydrauliset järjestelmät (kuva 4). Dieselhydraulisen järjestelmän käyttöedut ovat monipuolinen suoriutuminen eri maastoissa ja haittana melu ja päästöt. Dieselhydraulinen ratkaisu hyvin yleinen avolouhoksilla suomessa. (Vuolio, Halonen, 2012, 131).



Kuva 4. Dieselhydraulinen päältälyövä poravaunu Sandvik DX800i (Kiviniemi 2017)

3.5 Korkeat penkereet

Pengerlouhinnassa tyypillinen korkeus 5–25 metriä.

15–30 metristen korkeiden pengerten louhinnassa etuja ovat

- Työn yhtäjaksoisuus
- Ei tarvetta väliteille
- Ei ylimääräisiä pohjan tasauksia
- Vain yksi ohiporaus
- Ylisuurien lohkeiden määrä pienempi

15–30 metristen korkeiden pengerten louhinnassa haittoja ovat

- Pienempi tunkeumanopeus
- Huonompi poraustarkkuus
- Vaikeampi louhia halutun laatuista kiveä
- Turvallisuus

(Vuolio, Halonen, 2012, 131).

4 Porattava kivi

4.1 Suomalainen kallioperä

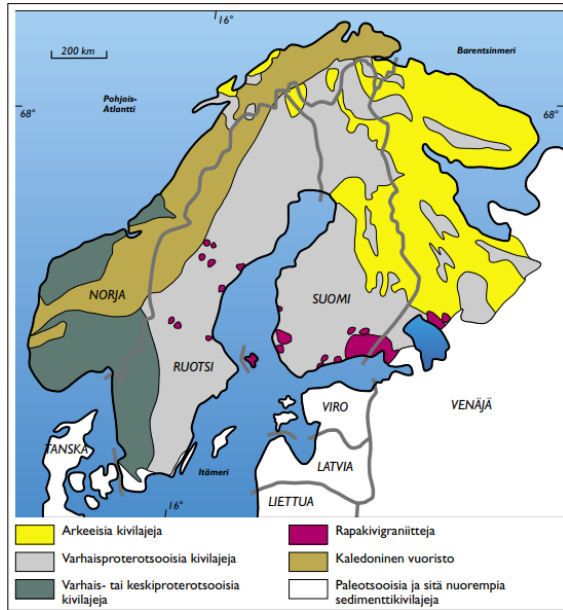
Suomalaisen kallioperän pääosa muodostui 2 000 000 000 vuoden aikana. Kallioperän ollessa kolmiulotteinen on huomioitavaa, että kivilajit vaihtuvat myös alaspäin mennessä. (Suomen kallioperä, GTK Mikkola, 2016, 2).

Kallioperältään Suomi kuuluu prekambriseen Pohjois- ja Itä-Euroopan peruskallioalueeseen. Se on yksi Euraasian mantereen vanhimmista osista. (Lehtinen, Nurmi, Rämö, 1998, 94).

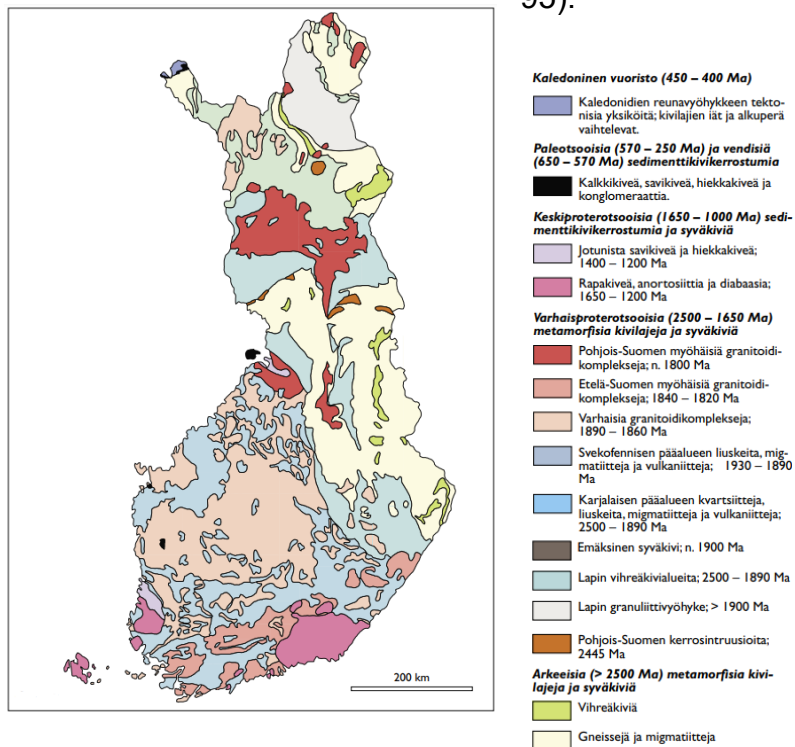
4.2 Pääpiirteet kallioperässämme

Kallioperä Suomessa muodostaa nuorten sedimenttikivien ja kaledonisen vuorijonon alta esiintyvistä Fennoskandian kilvestä noin kolmanneksen (kuva 5) ja voidaan jakaa toisistaan poikkeaviin alueisiin (kuva 6).

Maamme pohjois- ja itäosat kuuluvat 3100–2500 miljoonan vuoden ikäluokan kallioperään ja etelä- ja keskiosat 1930–1800 miljoonaa vuotta sitten syntyneeseen varhaisproterotsooiseen kallioperään. Nuorempaa kuin 1800 miljoonaa vuotta kallioperää on vain pieni osa kuten esimerkiksi 1650–1540 miljoonaa vuotta vanhat rapakivigraniitit Etelä-Suomessa. Kuvassa 5 on esitetty Fennoskandian kallioperän pääosat. (Lehtinen, Nurmi, Rämö, 1998, 95). Kuvasta 6 voidaan todeta suhteellisen homogeeninen jakauma koko Suomen alueella ja tätä mallia käytetään tutkimuksessa lähtökohtana.



Kuva 5. Fennoskandian kallioperän pääosat. (Lehtinen, Nurmi, Rämö, 1998, 95).



Kuva 6. Suomen kallioperäkartta. (Lehtinen, Nurmi, Rämö, 1998, 96).

4.3 Suomen kallioperän kivilajeja

Suomen kallioperästä löytyviä eroteltavia syväkivilajeja ovat graniitti, dioriitti, gabro sekä peridotiitti. (Jääskeläinen, Tammirinne, 2002, 17)

Graniitti on kallioperämme yleisin kivilaji. Yleisvärissä on harmaa tai punertava. Graniitille ominaista on hyvin tasakokoiset rakeet, jotka ovat havaittavissa paljain silmin. (Jääskeläinen, Tammirinne, 2002, 17).

4.3.1 Kalliolaatu

Kalliolaatu on käsite, jolla kuvaillaan kallion rakennusgeologista laatua. Kalliolaatu muodostuu kallionkivilaadun ja rakoilun luokitusominaisuuksien yhteisvaikutuksen pohjalta. (Jääskeläinen, Tammirinne, 2002, 24).

Kiinteys sekä löyhyys kallion kivilaadussa määrittävät rakenteellisen kiinteyden, jonka perusteella kalliot jaetaan kolmeen pääryhmään: kiinteä kallio, löyhä kallio sekä rikkonainen kallio. (Jääskeläinen, Tammirinne, 2002, 25).

5 Aineiston kerääminen kohteista

Tutkimuksen keskiössä on luodun mittaraportin mittatiedon tulkitseminen siten, että huomioidaan ns. nykyinen normaali porausvauhti eli tunkeuma ja sen aiheuttama poraus taipuma verrattuna eri tunkeumanopeuksien aiheuttamiin poraustaipumiin.

Poraustaipuman vähentäminen poraussuoritteesta on suuri tekijä sen ohella, että suunnitelma pohjalla saadaan toteutumaan.

Pelkkä poraustaipuman poistaminen esimerkiksi tunkeuman hidastamisella ei ole yksiselitteisesti ratkaisu, vaan tulee huomioida kustannusvaikutukset siten, että verrattavina tekijöinä ovat (1) Kustannukset metrimäärän vähentyessä, (2) säästöt, jotka saadaan laadukkaan porauksen ansiosta jälkilouhinnan ja rammeroinnin kustannuksilla, (3) kaluston kestävyuden parantumisesta tulevat säästöt, (4) paremman louheen jatkokäsittelyssä saavutettavat säästöt.

5.1 Käytettävä laitteisto

Tutkittavien kohteiden poraustaipuma mitattiin O-Pitblast Ltd valmistamalla O-Pitdev illä.

Paikkatieto otettiin Leica-Geosystems Rover GPS mittauslaitteella ja tarvittavat pistepilvet kerättiin Leica-Geosystems BLK360 G1 scannerilla.

Poravaunut, joiden tuottama poraustietoa käsiteltiin, olivat Sandvik 780DX, Sandvik 800DX, Sandvik 800Dxi sekä Atlas-Copco SmartRock T40.

5.2 Kohteet

Kohteet, joissa mittauksia suoritettiin, on nimetty maakunnittain Keski-Suomi 1, Keski-Suomi 2, Satakunta, Varsinais-Suomi 1, Varsinais-Suomi 2 sekä Pohjanmaa. Kohteissa tutkitut kivilajit olivat lujuusluokiltaan (Los Angeles LA) LA₂₅-LA₄₅. Esimerkiksi LA ≤ 30 voidaan kiviaineksesta valmistaa sitomattoman

kantavan kerroksen materiaaleja.

(https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2024_2/21310.html).

5.3 Aineiston kerääminen

Poraustiedon keräämiseksi luotiin alla esitetty taulukko 1, johon kerättiin tiedot porauskohtaisesti. Taulukon tiedoista saatiin aineistoa taipumamittaustuloksien tueksi. Taipuman määrittämiseen käytettiin suunniteltua suuntausta (azimuth), porauskulmaa (angle) sekä suunniteltu pohjan taso (louhintataso). Kaluston koko, valmistaja ja malli antoi mittaustuloksille rajaavan tekijän, joka mahdollisti myös tämän vaikutuksen huomioimisen.

Tunkeumanopeuden rinnalle kerättiin myös asetustietoja iskunpaineesta, pyöryksestä sekä huuhtelusta. Nämä arvot ovat tukena mahdollisille jatkotutkimuksille.

TAIPUMADATA

Vaunu nro			
Kuljettaja			
Site Name			
Location			
Date			
Kalusto	Koko:	Merkki:	
kruunu	Koko:	Merkki:	
Azimuth	laite:	Porari:	
Angle	laite:	Porari:	
Louhintataso	Leica:	Muu:	
Ohiporaus			

Aloitus

kolo	m/s tunkeuma	iskunpaine	pyöritys	huuhtelu
1				
2				
3				
4				
	m/s tunkeuma	iskunpaine	pyöritys	huuhtelu
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Huomioitavaa

Aluksi mitataan 4 koloa, miten on tehty ja kirjataan. Mikäli alku 1-4 koloilla ei taipumaa, luodaan uudet 4 ja haetaan ns maksimi vauhtia missä taipuma näkyy

GPS mittaus mitattavilta koloilta otetaan

Kolojen mittausten numeroinnit tulee vastata taipumamittauksen numerointia

Taipumat OpitCloudiin omalle projektille "TaipumaData"

Opitblast "Blast information" -> Site name, Location, Date

Date.

Tallennus projektille TaipumaData ->

Blasts name = Location

Mine = Site Name

Taulukko 1.

Taipumatieto, GPS-mittaukset ja scannaukset kerättiin O-Pitblast-ohjelmistoon, jossa tiedot yhdistettiin ja saatiin aineisto luettavaan ja analysoitavaan muotoon.

O-Pitblast louhintasuunnitteluohjelmasta tieto otettiin ulos .csv tiedostoina Microsoft Exceliin, jolla laadittiin tutkittavat kuvaajat.

6 Aineiston analysointi

Analysoitavaa tietoa kerättiin kuudesta eri kohteesta. Kohteet sijaitsivat Varsinais-Suomessa, Pohjanmaalla, Keski-Suomessa ja Satakunnassa. Porauksia tehtiin eri pisteissä ja eri kierrosnopeuksilla ja eri syvyyksiin, seuraten samalla syntyvää poraustaipumaa. Kohteet olivat kivilaadultaan ja työstettävyydeltään tuttuja ja dokumentoituja

Lähtöaineistona käytettiin aiemmin määriteltyä mittatietoa.

Mitatun lähtöaineiston pohjalta piirrettiin kuvaajat, joissa nähdään taipuman suhde porattuun syvyyteen ja käytettyyn tunkeumanopeuteen.

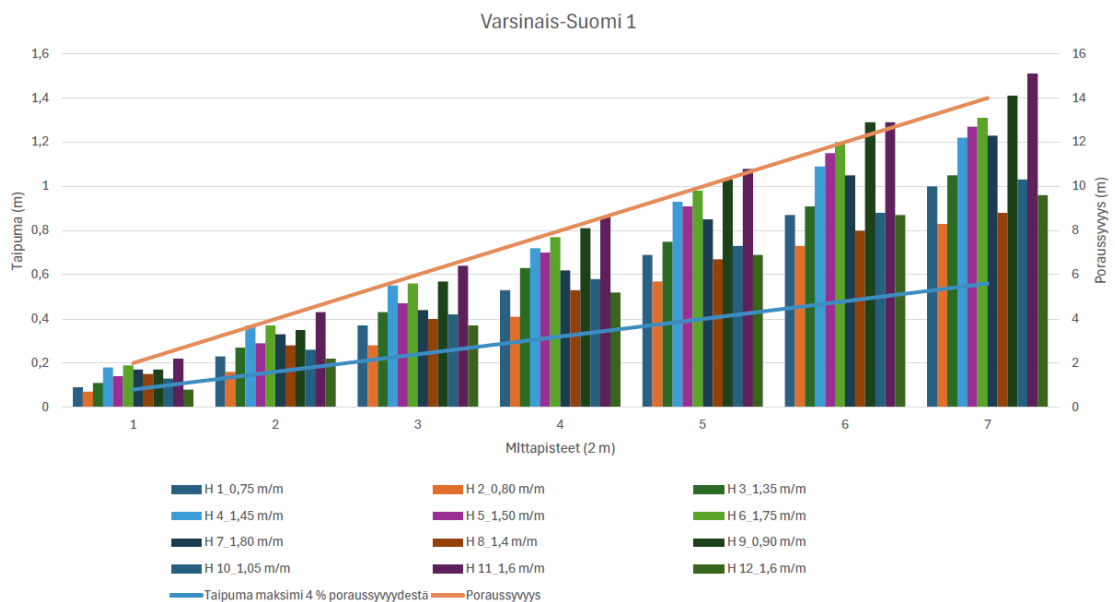
Kohdekohtaisesti pyrittiin saamaan vähintään 6 mittaustulosta eri asetuksin. Mittausmäärät kohteittain hieman vaihtelivat ollen 6–12 mitattua porareikää kohteittain.

Kohdekohtaisissa yhteenvetokuvaajissa on luettavissa vasemmalta - pystyakseliilta taipuma metreinä ja siihen asetettu 4 % maksimia poraussyvyydestä kuvaava jana ja oikeanpuoleinen pysty akseli kuvaa penkkakorkeuden ja tässä tapauksessa myös poraussyvyyden kasvua porauksen alusta porauksen pohjalle. Vaaka-akseli alhaalla kuvaa mittapisteitä 2 metrin välein ylhäältä kallion pinnalta halutulle pohjan tasolle ja osoittaa tutkimuksessa käytetyn 4 % taipumarajan metreissä kyseisellä mittapisteellä. Porausta vastaavat mittapistekohtaiset tulokset pystypalkein ja väreillä eroteltuna. Liitteessä 49 näytetään yhteenvetona jokaisen kohteen porauksen pohjan mittapisteen taipuma metreinä ja prosentteina poraussyvyydestä. Verrattavana prosenttieronä on tutkimuksessa käytetty 4 % poraussyvyydestä. Tapauskohtaisesti tulisi pohtia ja linjata mikä toleranssi missäkin kohteessa olisi sopiva. Vaikuttavia tekijöitä toleranssin määrittämisessä olisivat louhintatarkkuusvaatimukset ja käytettävä pohjapanos.

6.1 Varsinais-Suomi 1

Kohteessa tehdään normaalia tuotantolouhintaa kiviainesmyyntipisteelle. Penkkaan korkeus kohteessa vaihtelee 10–20 metrin väliltä, ollen tutkimusajankohtana noin 14 metriä. Kohteessa Varsinais-Suomi 1 tehtiin 12 kappaletta testiporauksia.

Kuvasta 7 voimme nähdä porattujen tuloksien käyttäytymisen eri poraustehoilla. Kohteessa Varsinais-Suomi 1 tunkeumanopeutta kasvatettiin tasaisesti testiporauksissa H1, H2, H3, H4, H5, H6 ja H7 ja suurin huomio lopputuloksen muutoksessa on myös merkittävä sivutaipuman kasvaminen. Tämä käy hyvin ilmi kuvista 9, 10, 11, 12, ja 13.



(kuva 7 kuvaaja Varsinais-Suomi 1)

6.1.1 Tulokset Varsinais-Suomi 1

Kuvassa 7 oranssi vaaka-akseli kuvaa penkkakorkeuden ja tässä tapauksessa myös poraussyvyyden kasvua porauksen alusta porauksen pohjalle. Sininen vaaka-akseli kuvaa mittapisteeitä 2 metrin välein ylhäältä kallion pinnalta

halutulle pohjan tasolle ja osoittaa tutkimuksessa käytetyn 4 % taipumarajan metreissä.

Taipumamittaus kuvissa voidaan tuloksia tulkita seuraavasti. Sininen yhtäjaksoinen viiva on teoreettinen suunniteltu porauslinja. Punaisessa viivassa jokainen punainen pallo on mittapiste, joka otetaan 2 metrin välein ja lopullinen syvyys tasataan, kun mittalaite Fordev saavuttaa pohjan tason. Back view näyttää taipuman suhteessa teoreettiseen suunniteltuun poraukseen takaapäin katsottaessa ja side view näyttää saman sivulta katsottuna. Back view ja side view näkymässä taustan ruutujako on 1 metri x 1 metri. Bull`s eye näkymässä voidaan nähdä toteutuneen ja suunnitellun porauksen suuntauksen käyttäytymistä porauksen alusta loppuun.

Kuvaajasta voidaan huomata, että poraussyvyyden kasvaessa myös taipuma kasvaa samassa suhteessa. Testissä käytetyn 4 % taipuma poraussyvyydestä on lähtötilanteessa melko pieni mutta ymmärrettävästi poraussyvyyden kasvaessa esimerkiksi 20 metriin, alkaa taipuma olla 4 % arvolla jo liian suuri. Kuvassa 7 voi huomata, että hitain tunkeumanopeus on kuitenkin aiheuttanut merkittävän taipuman kallistuskulman suuntaan. Kuvasta 8 alkaen nähtävissä taipuman kehitys tunkeumanopeudella 0,75 m/min.

Taipumamittauksista havaittavissa miten taipuman kehitys on kaikissa mittapisteissä hyvin saman suuntaista. Liite 1 mittauksessa sivuttaistaipuma on hyvin maltillista.

Taipuman muodostuminen näkyy liitteessä 2 vastaavasti hieman kovemmallakin tunkeumanopeudella.

Liitteessä 2 side view näkymästä huomattavissa kasvava porauskallistuksen suuntainen taipuma back view näkymässä myös alkava sivuttaistaipuman muodostuminen, joka kuitenkin vielä maltillista

Bull`s eye näkymässä voi nähdä porauksen alun seuranneen suunnitelmaa.

Liitteessä 3 on tunkeuma nopeutta nostettu 1,35 m/min ja huomattavin vaikutus on porauskulman suuntainen taipuman lisääntyminen.

Kasvavasta porauskulman suuntaan muuttuvasta taipumasta huolimatta sivuttaistaipuma on melko maltillinen. Bull`s eye liite 3 näyttää myös suuntauksen olleen suunnitelman mukainen lähes pohjalle asti.

Sivuttaistaipuma on jo huomattavasti enemmän kasvussa tunkeumanopeuden ollessa 1,45 m/min liitteessä 4.

Bull`s eye näkymästä liite 4 pääteltävissä mahdollinen suuntausvirhe porauksen alussa.

Taipumamittausraportista on myös hyvä seurata toteutunutta kallistuskulmaa ja suuntausta, joka lasketaan O-Pitblast ohjelmistossa 1 mittapisteen ja toteutuneen pohjan väliltä.

Liitteessä 5 tunkeumanopeus on nostettu 1,50 m/min ja havaittavissa isoa eroa suuntauksessa suunnitellun ja toteutuneen välillä.

Liite 5 osoittaa tunkeumanopeuden kasvaessa edelleen yhdenmukaista taipuman kasvua.

Myös toteutunut suuntaus näyttää kasvavan tässä kohtaa vielä merkittävästi.

Liitteessä 6 on tunkeumanopeus nostettu 1,75 m/min.

Bull`s eye näkymästä huomattavissa kohteessa toistuva tapahtuma toteutuneen ja suunnitellun suuntauksen (azimuth) erossa.

Liitteen 6 osoittaman toteuman mukaan taipuman muodostuminen on asettunut enemmänkin aloilleen.

Liitteessä 7 kasvua on enää lievästi kallistuskulman suuntaan, vaikka tunkeumanopeutta on kasvatettu 1,80 m/min. Voidaan kuitenkin todeta taipuman olevan yli tutkimukseen asetetun 4 % mittapisteellä 1 mitattaessa kallion pinnalta kohti pohjaa.

Liitteissä 8, 9, 10, 11 ja 12 esitettävät taipumat, joissa hitaampi tunkeumanopeus ei kuitenkaan merkittävästi vähennä taipumaa porauskulman suuntaan vaan pikemminkin vain sivuttaistaipuma lievenee.

Liitteessä 8 on hyvä esimerkki siitä miten pelkästään yhdensuuntainen taipuma saa lopputuloksen määritetyn 4 % ulkopuolella, vaikka sivuttaistaipuma on hyvin pientä.

Liitteen 8 suuntakulma (azimuth) heitto on hyvin maltillinen, kuten yleisesti muissakin lopun mittauksissa, koska suuntaus on pysynyt alun ja lopun mittapisteillä melko samana ja suurimman taipuman muodostuminen kallistuskulman suuntainen.

Liitteessä 9 tunkeumanopeus ollut 0,90 m/min.

Normaalisti porauskulman eli ns. heittokulman (inclination) kasvatus helpottaisi irtoamista. Huomioiden liitteen 9 side view, tämä tulisi kuitenkin tapahtua suunnitelmallisesti ja ruutukoon oltava yhtenäinen sekä panostuksen oikeanlainen pohjalla. Porauskulman kasvu suunnitellusta luonnollisesti kasvaa, kun pohjan piste on etäämmällä suunnitellusta lähtötilanteesta ja taipuma on vienyt sitä kallistuskulman suuntaan.

Liitteessä 10 nähdään, että kallistuskulman voi huomata taas pienentyvän, vaikka tunkeumanopeutta on nostettu 0,90 m/min -> 1,05 m/min.

Liitteen 10 tuloksista voidaan päätellä taipumien muodostumisen kääntyneen laskuun.

Liitteessä 11 taipuma on alkanut muodostumaan jo alkumittapisteen kohdalla selvästi enemmän sivu suuntaan, koska kallistussuunnan (azimuth) toteuma on huomattavasti muuttunut suunnitellusta.

Liitteen 11 mukaisesti poraustuloksen muodostuessa huomattavasti eri suuntakulmaan (azimuth) tulee huomioida myös mahdolliset porauksen kohtaamiset pohjalla.

Liite 12 pitää sisällään hyvin tavanomaisen mittaustuloksen kohteessa Varsinais-Suomi 1, jossa taipuma muodostuu enemmänkin porauskallistuksen suuntaan.

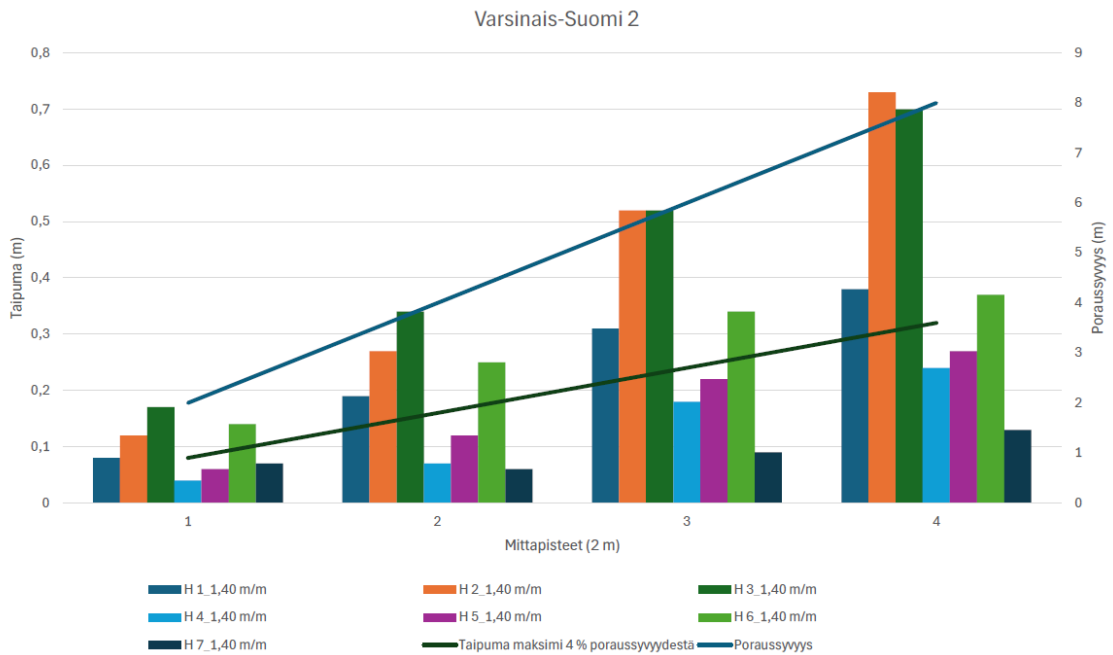
Liitteessä 12 suuntakulma taas on asettunut lähemmäs suunniteltua. Tässä vaarana useamman porauksen yhdistyminen pohjalla, koska aiemmissa suuntaus ei ole vastannut suunniteltua ja panostusaste kyseisessä kohdassa kasvaa liikaa esimerkiksi edun suhteen.

6.2 Varsinais-Suomi 2

Kohteessa Varsinais-Suomi 2 suoritettiin 7 kappaletta testiporauksia. Kohteen poraukset tehtiin kahden eri valmistajan porauskruunuilla, sarjan eri vaiheissa samalla tunkeumanopeudella samaan syvyyteen. Porauskruunuista toinen oli uusi ja toinen vanha, tätä aihetta käsitellään lisää mittatiedon yhteenvedossa.

Kuvassa 8 voidaan myös huomata verrattain lyhyt poraus, joka ei yleisesti vielä johda taipuman kehittymiseen antaen kuitenkin arvokasta tietoa kaluston merkityksestä.

Kuvassa 8 on esitetty neljän eri pisteen kahdeksan eri porausta. Kaikki poraukset olivat lyhyitä ja niissä käytettiin samaa tunkeumanopeutta.



(kuva 8 kuvaaja Varsinais-Suomi 2).

6.2.1 Tulokset Varsinais-Suomi 2

Kuvassa 8 huomattavissa hyvin erilainen lopputulos, kuin kohteessa Varsinais-Suomi 1. Eroavuus korostuu eritoten siitä, että tunkeumanopeuden ja poraussyvyyden pysyessä samana ei kuitenkaan yksiselitteisesti uusi tuote anna parasta tulosta. Kuten jo edellä todettiin 8 metrin poraussyvyys ei ole taipuman suhteen verrattavissa edelliseen tutkimuskohteeseen. Kohteen mittatuloksilla on haettu vaikutusarvoja porauskaluston valmistajan porauskruunun ja käyttöään vaikutuksesta. Kuvataan eri kruunuvalmistajia nimin A-Kruunu ja B-Kruunu.

Testiporaus H 1 on suoritettu uudella B-Kruunulla, porauskaavio on esitetty liitteessä 13. Testiporaukset H 2, H 3 ja H ovat suoritettu uusilla A-Kruunuilla. Testiporaukset H 4, H 5, H 6 ja H 7 ovat suoritettu käytetyllä B-Kruunulla.

Liitteessä 13 voi huomata alun mittapisteen olevan tutkimukseen määrätyn toleranssin ulkopuolella. Tämä poraus on suoritettu porauskruunulla B.

Liitteiden 14 ja 15 poraukset on suoritettu valmistajan A uusilla tuotteilla. Liitteessä 14 taipuma on huomattavasti hillitympi kuin liitteen 13 porauksessa.

Porauskuviosta on nähtävissä, että valmistajan A uusi porauskruunu antoi huomattavasti paremman lopputuloksen, eli porauslinjat pysyvät pitkälti suunnitellussa.

Liitteessä 15 on huomattavissa jo taipuman muodostumista tunkeumanopeuden ollessa sama. Huomattavissa suurta eroa liitteen 14 tuloksiin, vaikka porauskruunu on saman valmistajan uusi tuote ja tunkeumanopeus sama.

Liitteissä 16, 17, 18 ja 19 käy ilmi valmistajan B käytetyn porauskruunun tuottama lopputulos.

Liitteen 16 tulokset osoittavat miten käytetyllä valmistajan B tuotteella on saatu hyvin virheetön lopputulos.

Taipumamittaus esittää valmistajan B käytetyn porauskruunun taipuman. Kuvasta on nähtävissä, että myös käytetyllä porakruunulla suunniteltu ja toteutunut linja on lähes identtiset.

Vastaavasti Liitteessä 17 on nähtävissä lähes identtinen lopputulos.

Taipumien ollessa maltilliset valmistajan B porauskruunuilla, -liitteissä 16 ja 17 on kuitenkin nähtävissä, että suuntauksessa tapahtunut virhettä, koska suuntakulmassa on suuri ero suunniteltuun nähden.

Liitteessä 18 mittapisteellä 1 on iso heitto, joka selittää ison suuntakulma muutoksen toteutuneessa.

On hyvä huomioida kuvien mittasuhteet, sillä vaikka visuaalisesti taipumat näyttävät maltillisilta, on suuntaus (azimuth) silti melkein 10 astetta vajaa suunnitellusta suuntauksesta.

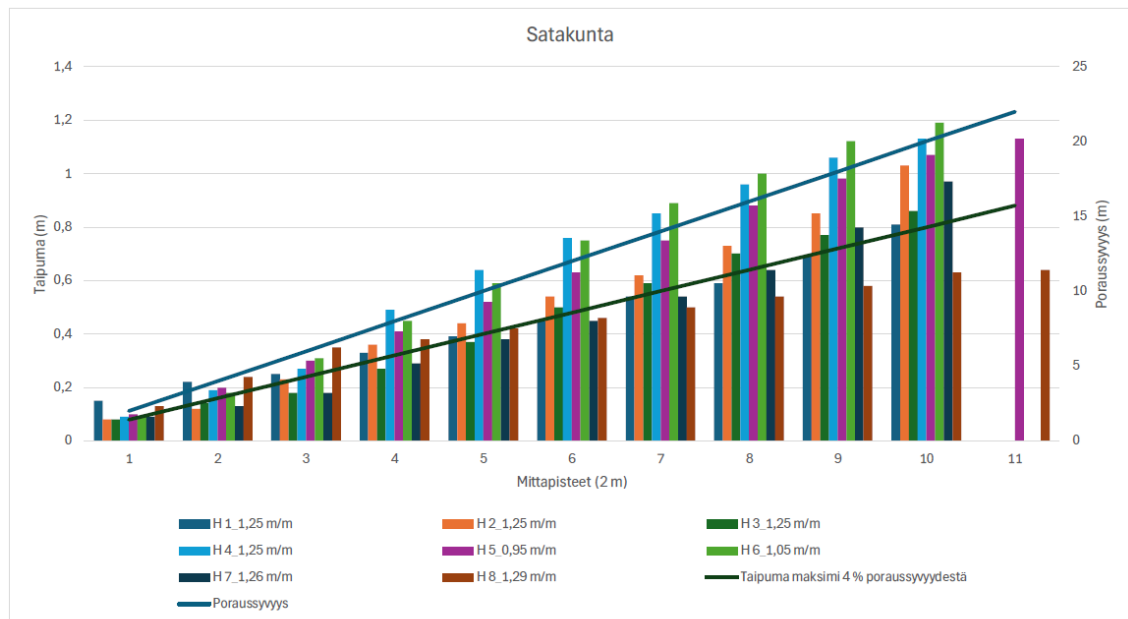
Liitteessä 19 on edelleen huomattavissa alun mittapisteen suuri poikkeama luku, joka pohjalle mentäessä tasaantuu, eron kuitenkin pysyessä huomattavana ja näin ollen kasvattaa virheen määritellyn 4 % ulkopuolelle.

Bull's eye -näkyssä liite 19 on hyvin huomattavissa alun suuntauksen muuttava taipuma ja ero suuntauksessa (azimuth) yli 10 astetta.

6.3 Satakunta

Satakunnan mittauskohteena on tyypillinen tuotantolouhinta-louhos, jossa tuotetaan kiviaineksia myyntiin. Kohteesta on yhtiössä myös usean vuoden kokemus kivilaadusta ja työstettävyydestä.

Satakunnan kohteessa tehtiin testiporauksia 8 kappaletta. Tunkeumanopeuksia muutettiin, porausyvyksien pysyessä samana, kuten kuvasta 9 on nähtävissä.



(kuva 9 kuvaaja Satakunta)

6.3.1 Tulokset Satakunta

Kuvasta 9 voidaan huomata, että tunkeumanopeus porauskalustolla ei ole yksiselitteisesti ainoa tekijä, joka taipumaa aiheuttaa.

Liitteissä 20–27, joissa kohteen porauskaaviot ovat esiteltynä, tärkeimpänä huomiona on se, että taipuman ollessa maltillista on huomioitava sen muodostumiskohta ja vaikutus lopputulokseen eli toteutunut suuntakulma (azimuth) suunniteltuun verrattuna.

Liitteessä 20 nähtävissä suuri ero suunnitellun ja toteutuneen suuntauksen (azimuth) arvossa. Taipuma on lievää ja alkanut heti porauksen alussa. Tästä johtuen suuntaus (azimuth) poikkeaa 13,85 astetta suunnitellusta.

Sama lopputulos on huomattavissa testiporauksessa H 2 liitteessä 21.

Liitteessä 21 porauksen aloitus on linjassaan 2 ensimmäistä mittapistettä, jonka jälkeen taipuma alkaa muodostumaan pohjaa kohti edettäessä muodostaen suuntaukseen (azimuth) 15,29 asteen poikkeaman.

Liitteen 22 testiporaus H 3 on muodostunut vain sivuttaispoikkeamaa ja tämä on nähtävissä verrattaessa side view- ja back view-näkymää sekä maltillisempaa suuntauksen (azimuth) poikkeamaa. Porauksen suuntauksen mukainen taipuma on hyvin pientä, kun taas sivuttaistaipuma lähtee kasvamaan mittapisteen 3 jälkeen aiheuttaen suuntauksen (azimuth) poikkeaman.

Liitteessä 23 edelleen suuri poikkeama suuntauksessa (azimuth).

Havaittavissa mittapiste 3 jälkeen alkava taipuma, joka alkaa pohjalle saavuttaessa palautumaan kohti todellista suunniteltua pistettä.

Liitteessä 24 on huomattavissa hyvin eriävä taipuma, joka alkaa vasta hyvin lähellä pohjaa.

Sivuttaistaipuma pyrkii palautumaan kohti suunniteltua pistettä lähestyttäessä pohjaa, kun taas poraussuunnan kallistuksen mukainen taipuma on vasta kasvussa pohjalla.

Liitteessä 25 näyttää hyvin aikaisin muodostuva sivuttaistaipuman, kun taas porauskallistuksen suuntainen taipuma on samalla syvyydellä huomattavasti maltillisempi.

Kohde huomioiden hyvin perinteinen lopputulos poraukselle. Suuntauksen (azimuth) poikkeamat selvästi tasoittuvat pohjaa kohden yrittäen, jopa palautuvat suunnitellulle linjalle.

Tulkittavissa liitteessä 26 maltillisesti alkavat taipumat, sekä vain lievää määritellyn 4 % taipuman ylitystä.

Vaikkakin taipuma on kohteessa totutun mukainen muuttaa taipuman aikainen alkaminen huomattavasti suuntakulmaa (Azimuth). Liitteessä 26 voi nähdä taipuman muodostumisen hyvin maltillisena ja alkamiskohta on alempana, kuin yleensä. Tämän takia suuntakulmassa (Azimuth) ei ole havaittavissa niin suurta eroa kuin aiemmissa mittauksissa.

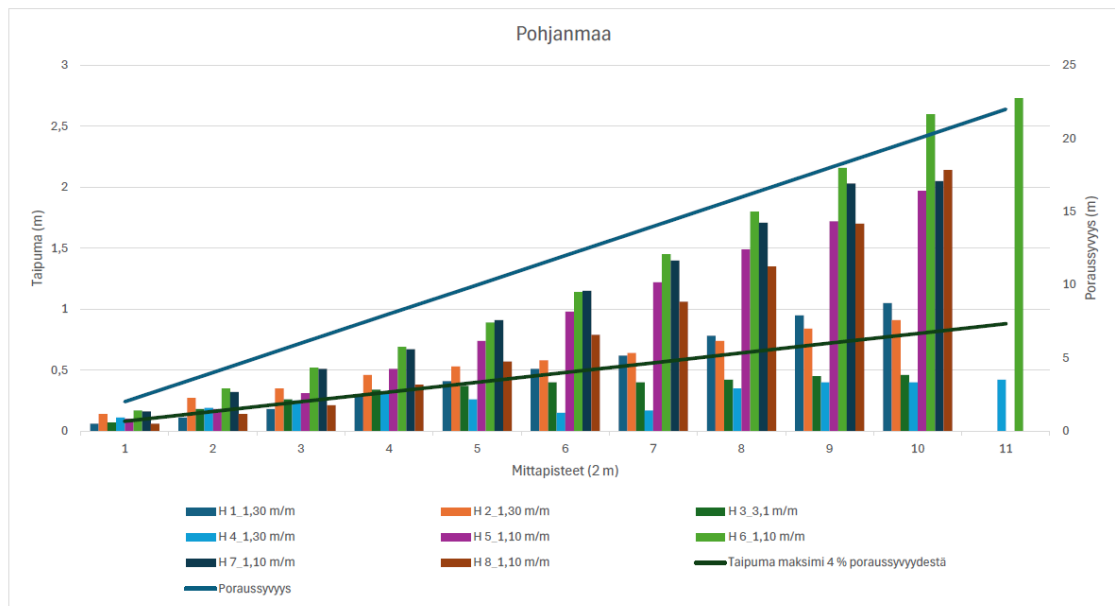
Liitteen 27 mittaustulos on harvemmin nähtävä negatiivinen taipuma.

Liitteessä 27 huomattavissa porauskulmaan nähden negatiivinen taipuma, joka pienentää toteutunutta alku ja loppupisteen välistä porauskulmaa (inclination).

6.4 Pohjanmaa

Pohjanmaan mittakohde on pitkään toiminut kiviaines myyntipisteen louhos. Kivilaadultaan hyvin erityinen kohde. Kohteessa on hyvin ominaista ns. palikkamainen hajoaminen louhinnan yhteydessä ammuttavan kentän takaa. Lustaisuudet on myös hyvin hankaloittava tekijä poraustyössä.

Pohjanmaan kohteesta tehtiin 8 kappaletta testiporauksia. Kuvassa 10 on esitetty yhteenveto jokaisen mittapisteen poraussyvydestä ja -taipumasta. Tässä optimi poraussyvyys taipuman muodostumiselle. Kohteessa vaihdeltiin tunkeumanopeutta poraussyvyyden pysyessä samana.



(kuva 10 kuvaaja Pohjanmaa).

Kuvassa 10 tulee huomioida testiporaukset H 3 ja H 6, joissa on huomattavan suuri ero tunkeumanopeudessa muihin porauksiin nähden.

6.4.1 Tulokset Pohjanmaa

Pohjanmaan kohteen kuvaaja kuva 10 esittää parhaiten tulosten tulkinnan haasteellisuuden, koska kohteen tulokset ovat hyvin hajanaiset suoritustyylistä riippumatta.

Liitteessä 28 on huomattavissa maltilliset taipumat. Porauksessa on kuitenkin suuntakulma (Azimuth) ja kallistuskulma (inclination) muuttuneet huomattavasti suunnittelu luvuista.

Vaikka taipuman aikainen alkaminen liitteessä 28 on maltillista, on suuntaus muuttanut sijaintia 16,88 astetta.

Liitteessä 29 Suuntakulma (Azimuth) pysynyt suunnitellussa, kun taas porauskulma (Inclination) on edelleen jäänyt pienemmäksi, kuin suunniteltu.

Taipumamittauksen perusteella sivuttaistaipuma on palannut pohjalla lähes suunniteltuun, kun taas porauskallistuksen suunnan mukainen taipuma on

negatiivisella. Tämän takia suuntakulma (Azimuth) on pysynyt suunnittelun mukaisena ja porauskulman (Inclination) on pienempi suunniteltuun verrattuna.

Liite 30 taipumamittaus on hyvin saman linjainen kuin porauksen liitteissä 29 ja 28.

Liitteessä 30 huomattavissa kohteelle ominainen sivuttaistaipuma, joka palaa pohjaa lähestyttäessä lähes suunniteltuun kohtaan.

Liitteessä 31 on huomattavissa erityinen havainto porauskaluston käyttäytymisestä. Taipuman suuntamuutos porauksen aikana rasittaa kalustoa erittäin paljon.

Sivuttaistaipuma on maltillinen siihen nähden, että taipuma on kiertänyt suunnitellun linjan molemmin puolin. Porauksallistus suuntaan muodostunut taipuma on erittäin hillitty ja myöhään alkanut.

Liitteessä 32 taipumat ovat yhden suuntaisia ja erittäin voimakkaasti kasvavia. Liitteen 32 mukaiset voimakkaasti kasvavat taipumat aiheuttavat jo äärimmäisen vaikeuden louhinnan toteutukselle.

Molempien suuntien taipumien muodostuminen liitteessä 32 on ollut voimakasta hyvin aikaisesta vaiheesta. Tässä käytetty kuitenkin testisarjan hitainta tunkeumanopeutta.

Sama lopputulos on havaittavissa liitteen 33 tuloksissa. Taipumamittaus osoittaa hyvin sen miten haastavaa on pienelläkin alueella ennakoita porattavaa kiveä.

Hitaammasta tunkeumanopeudesta huolimatta etenkin sivuttaistaipuma on erittäin voimakkaasti kasvavaa pohjaa kohden.

Sama toistuu liitteen 34 mittaustuloksissa. Mittaustulos kohde huomioiden hyvinkin oletettavaa, mutta louhinnan toteutuksen kannalta erittäin haastava.

Liitteessä 34 sivuttaistaipuma ei ole ihan niin voimakasta, kuin liitteen 33 tuloksissa. Poraussuunnan mukainen taipuma tässä hyvin voimakas negatiivisena.

Testisarjan viimeinen poraus tässä kohteessa liitteessä 35 noudattaa samaa muodostumaa, kuten kaikki 4 testiporausta tässä kohteessa hitaimmalla tunkeumanopeudella.

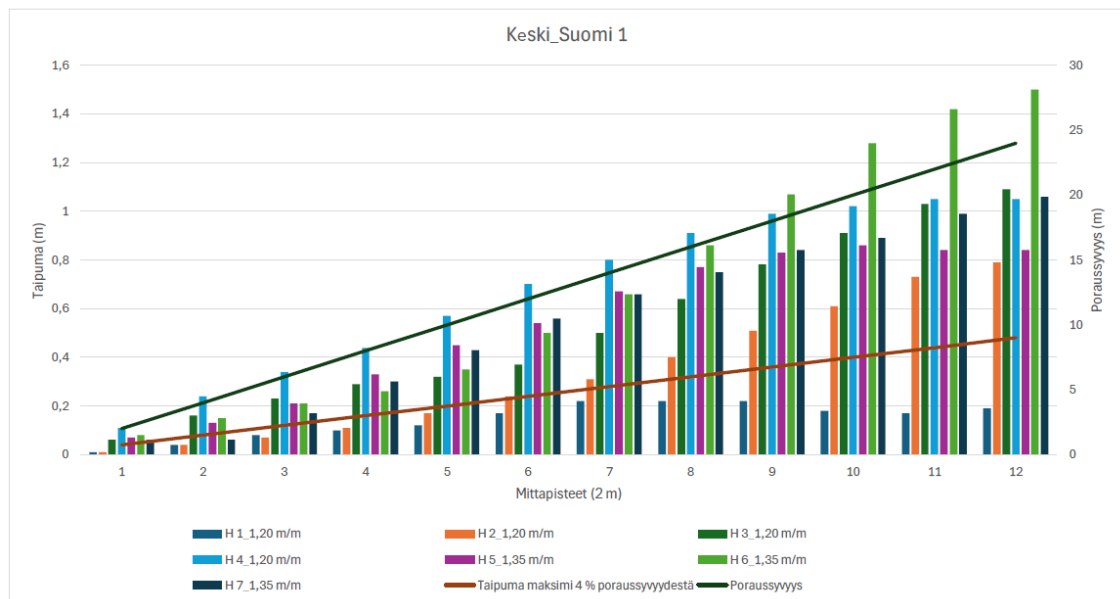
Liitteessä 35 huomattavissa, että sivuttaistaipuma on erittäin iso.

Pohjanmaan testiporaukset on paras esimerkki siitä, miten vaihtelevasti poraus käyttäytyy tunkeumanopeuden muutoksien mukana ja, että pieni tunkeumanopeus ei ole automaattisesti laadun takaava suoritustapa.

6.5 Keski-Suomi 1

Kohde on kiviaines myyntipisteen louhos. Korkea penkkakorkeus huomattavissa kuvan 11 diagrammissa.

Keski-Suomi 1 kohteessa suoritettiin 7 kappaletta testiporauksia. Poraussyvyys oli syvä, noin 24 metriä. Tunkeumanopeuden muutokset olivat hyvin maltilliset testiporauksissa.



(kuva 11 kuvaaja Keski-Suomi 1).

Maltillisilla tunkeumanopeuksilla ei Keski-Suomi 1 -kohteessa kuitenkaan päästy haluttuun lopputulokseen vain yhdellä testiporauksella.

6.5.1 Tulokset Keski-Suomi 1

Kuvaajasta tärkeää on huomata varsin korkea pengerkorkeus.

Helpoiten huomattavissa on se, miten Keski-Suomi 1 tukee tuloksiltaan tunkeumanopeuden pienentämistä kuva 11. Silti on myös havaittavissa, miten samalla vauhdilla suoritettuna toisessa porauskohteessa sama vauhti ei ole taannut alle tutkittavan 4 % taipumaa poraussyvyydestä.

Ideaali lopputulos kaikilla arvoilla tarkasteltuna liitteessä 36. Tässä tunkeumanopeus 1,20 m/min on osoittautunut erittäin hyväksi.

Liitteessä 37 voimme tästä huolimatta todeta taipuman alkavan kasvamaan samalla tunkeumanopeudella.

Liitteen 37 mittaustuloksessa taipuma voimistuu. Pelkästään jo alun testiporausten mittatulosten perusteella olisi ollut hyvä hakea isompaa eroa tunkeumanopeuksille.

Liitteessä 38 porauskallistuksen suuntainen taipuma pysyy hyvinkin maltillisena ja sivuttaistaipuma aiheuttaa pahimman poikkeaman. Sama trendi nähtävissä myös liitteessä 39.

Liitteen 39 mittaus tehty 1,20 m/min tunkeumanopeudella poratusta testistä ja voidaan todeta porauskulman suuntaisen taipuman olevan lähes mitätöntä. Lopputulos kuitenkin yli määritellyn, koska sivuttaistaipuma on ollut hyvin voimakasta.

Liitteessä 40 mitattu testiporaus on jo suoritettu kovemmalla tunkeumanopeudella.

Kovemman tunkeumanopeuden testiporauksesta nyt huomattavissa liitteessä 40 nopeasti kasvavaa taipumaa molempiin suuntiin. Tunkeumanopeuden ollessa nyt 1,35 m/min loppujen testiporauksien osalta näyttää taipumien kasvun lisääntyvän liitteen 41 mittaustuloksissa.

Vaikka alun mittapisteiden kohdalla liitteessä 41 taipumaa ei vielä ole muodostunut on se kuitenkin voimakkaampaa loppua kohden muuttaen pohjapisteiden sijaintia huomattavasti. liitteen 41 mittaustulos hyvin yhdenmukainen liitteen 42 kanssa tunkeumanopeuden pysyessä samana.

Liitteessä 42 nähtävissä lähes samaa toteutusta, kuin kaikissa muissakin testiporauksissa tunkeumanopeudella 1,35 m/min.

Kohteena Keski-Suomi 1 antaa hyvän pohjan sille miten haastavaksi ennakointi muodostuu. Vaikka porataan pienelläkin alueella, on lopputulokset hyvin eriäviä toisiinsa nähden.

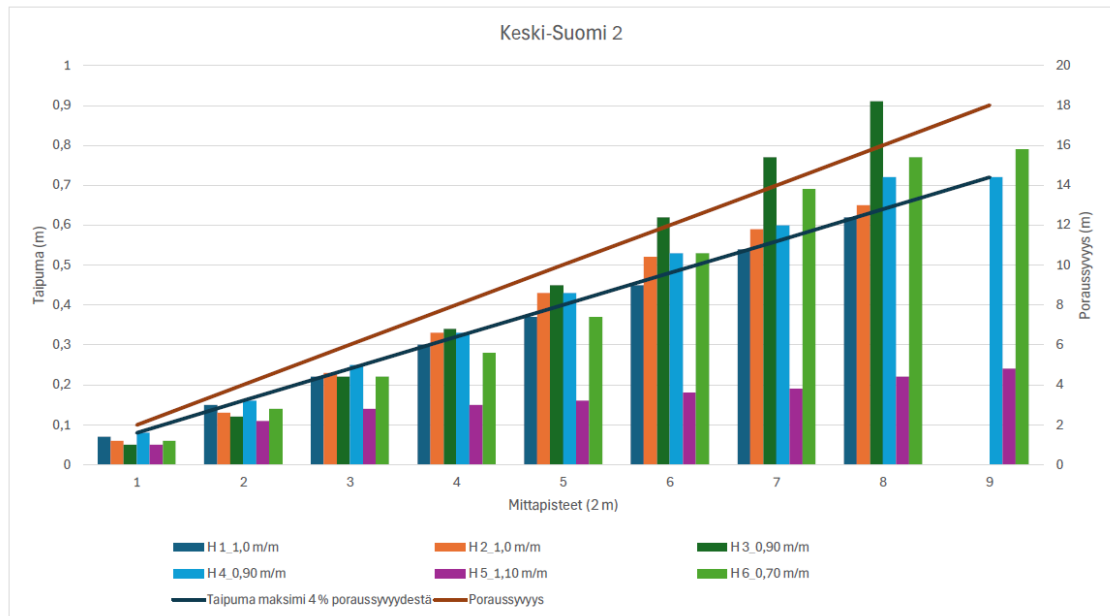
6.6 Keski-Suomi 2

Tutkimuskohde kiviaineksen myyntipisteen louhos.

Keski-Suomi 2 -kohteessa testiporauksia oli yhteensä 6 kappaletta.

Tunkeumanopeuksia on muutettu testiporauksien välissä ja alimmillaan ollaan

kokeiltu hyvin alhaista nopeutta 0,70 m/min. Poraussyvyys pysytteli samana olleen noin 18 metriä.



(kuva 12 Kuvaaja Keski-Suomi 2).

Tunkeumanopeuden muutoksista huolimatta kuvasta 12 voi päätellä taipuman muodostumisen olleen pahimmillaan syvyydessä 12-16 metriä.

6.6.1 Tulokset Keski-Suomi 2

Kuvaajasta on huomattavissa jälleen se, että taipuman muodostuminen ei noudata mitään sääntöä.

Suurin huomio kohteen Keski-Suomi 2 mittaustuloksissa kohdistuu taas hitaimpiin tunkeumanopeuksiin. Paras tulos saavutettiin kovimmalla tunkeumanopeudella.

Litteen 43 taipumamittaus tulos on hyvin odotettu, kun peilataan tunkeumanopeutta ja muita olosuhteita tämän testiporauksen ja kokemuspohjaisten tietojen välillä.

Liitteessä 43 porauksessa on havaittavissa vielä melko normaalia taipumaa.

Liitteessä 44 nähdään, että samalla tunkeumanopeudella 1 m/min taipumat alkavat selvästi kasvamaan.

Liitteen 44 tuloksista voidaan tulkita taipumien maltillinen alkukehitys, joka kasvaa pohjaa kohden mentäessä.

Liitteen 45 taipumamittauksessa testiporauksen tunkeumanopeus oli vain 0,90 m/min. Se ei kuitenkaan tuottanut haluttua lopputulosta Keski-Suomi 2 testiporaus H 3 ssa.

Sivuttaistaipuma selkeästi voimistumassa liitteessä 45 samalla, kun tunkeumanopeutta pienennettiin testiporaukseen H 3.

Liitteen 46 testiporaus suoritettiin vielä samalla nopeudella ja edelleen taipumat olivat kasvavassa suunnassa. Samalla tunkeumanopeudella kuin kuvan liitteen 45 testiporaus näyttää taipuma suurenevan ja nyt jo molempiin suuntiin.

Liitteessä 47 näkyy kovimmalla tunkeumanopeudella porattu tulos, joka kumoaa ajatusta siitä, että pelkästään vauhtia pienentämällä olisi suuria vaikutuksia parempaan suuntaan laadun kannalta.

Testisarjan kovin tunkeumanopeus 1,10 m/min liitteessä 47 ja selvästi paras lopputulos.

Sarjan viimeinen testiporaus suoritettiin tunkeumanopeudella 0,70 m/min, joka oli testisarjan hitain. Liitteessä 48 tulokset näyttävät huomattavasti enemmän taipumaa kuin liitteen 47 mittaustuloksissa.

Liitteen 48 taipumamittauksesta jälleen huomattavissa melko nopeasti alkava ja voimakkaasti kiihtyvä sivuttaistaipuma.

7 Taipumamittauksien yhteenveto

Louhintaa varten tehtävien porausten taipuman suuruuteen vaikuttaa useat tekijät: tunkeumanopeus, poraussyvyys, kohteen erityispiirteet ja käytetty kalusto. Alla olevissa kappaleissa käsitellään yhteenvetoa päätelmiä tutkimuksessa esille nousseista tekijöistä, tutkimusaluekohtaisesti.

7.1 Tunkeumanopeus

Tunkeumanopeus ja sen vaikutus poraustaipuman muodostumiseen on selkeästi tutkimuksen perusteella täysin jopa kohdekohtainen. Taipuma voi muuttua kahden vierekkäisen pisteenkin välillä, vaikka etäisyys kohteiden välillä olisi vain 2–3 metriä.

Käytössä olleen aiemmin kerätyn tiedon perusteella kallion lustaisuus vaikuttaa suuresti taipuman muodostumiseen ja suuntaukseen. Tällä selittyy esimerkiksi useassa kohteessa ja testiporauksessa huomattu tulos, jossa esimerkiksi kovemmalla tunkeumanopeudella on saavutettu pienempi taipuma, kuin hitaammalla nopeudella.

7.2 Poraussyvyys

Poraussyvyys ja sen merkitys poraustaipumaan on merkittävä. Pääsääntöisesti pääältälyövä hydraulinen poravaunu on parhaimmillaan tuottavuuden ja laadun kannalta 15 metrin pengerkorkeuksilla ja tästä poraussyvyyden lisääntyessä myös taipumat alkavat kasvamaan. Lisäksi on hyvä myös huomioida mekaanisten jatkojen vaikutus porakangen mitan ollessa esimerkiksi 3300 mm. Mekaanisten jatkojen lisääntyminen samalla, kun pengerkorkeus kasvaa tapahtuu tehon häviämistä ja aiheutuu kaluston osalta isompaa mahdollisuutta taipuman syntymiseen.

Esimerkkinä tuottavuuden kannalta parhaista kohteista ovat suuret malmikaivokset, joissa edettävä pengerkorkeus on pääsääntöisesti hyvin

maltillinen noin 15 metriä. Tutkimuksessa mukana olleilla poravaunuilla päästään helposti noin 28 metrin porausvyvyksiin, eli kapasiteetti riittäisi hyvin syvemmällekin.

7.3 Kohde

Kohde on iso vaikuttava tekijä, vaikka samassa kohteessa usein porakaluston ja porauksen käyttäytyminen on hyvin saman laatuista, koska porattava kivi on samankaltaista. Testiporaustuloksista on kuitenkin hyvin huomattavissa erot pienenkin etäisyyden sisällä, eli samankin kohteen sisällä kiven laatu voi vaihtua nopeasti.

7.4 Kalusto

Poraustaipuman suuruuteen voi myös vaikuttaa kaluston ikä. Tutkimuksessa yhden kohteen poraus tehtiin uudella ja vanhalla kuluneella kalustolla. Kalustossa merkityksellinen on erityisesti porauskruunu.

Kohteessa nähtiin, että uuden ja vanhan kaluston erot eivät olleet merkittäviä.

Monesti operaattori voi puoltaa esimerkiksi valmistajan A kalustoa, vaikka mitattu mittatieto näyttääkin toista. Herkästi operaattori voi olla ns. merkkiuskollinen ja tämä asia on hyvä käydä läpi mitatun ja todetun mittausaineiston kanssa.

8 Lopuksi

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, löytyykö porausnopeuden ja poraustaipuman välille selkeä yhteys. Jos yhteys olisi selkeästi osoitettavissa, voisi porauksen hinnoittelua muuttaa perustellusti määräperusteisesta laatu- perusteiseksi.

Aiheena tämä tutkimus on herättänyt mielenkiintoa niin poravaunu operaattoreissa, kuin muissakin alalla työskentelevissä henkilöissä ja tahoissa.

8.1 Kerätty aineisto

Tutkimuksen aikana kerättiin paljon hyödynnettävää mittatietoa viidestä eri louhintakohteesta, jonka pohjalta voidaan oikaista monia kehittyneitä mielipiteitä, jotka ovat ajan saatossa muodostuneet ns. tunnepohjaisesti, koska tarvittavia mittalaitteita ei ole ollut. Louhinta työssä haasteena on aina se, että lähtötilanteeseen ei päästä missään kohtaan enää takaisin alkutilannetta tarkastamaan.

8.2 Tutkimuksen kehittäminen

Kehitettävää tutkimuksen kannalta olisi otannan laajentaminen ja vieminen kohdekohtaiseksi. Muuttujia on paljon ja näkisin, että kyseessä olisi pikemminkin muuttujien aiheuttamien virheiden minimointi tapauskohtaisesti.

8.3 Laatusidonnaiseen tuotantopalkkaukseen siirtyminen

Laatusidonnaiseen tuotantopalkkaukseen voidaan siirtyä reunaehtoja soveltaen. Vähimmäisvaatimuksena tulisi olemaan poravaunu-kohtainen poraustaipuman mittauslaitteisto, joko manuaalinen tai porauskruunuun integroitu järjestelmä. Mittauksen tulisi olla taajaa ja säännöllistä sekä tuloksiin tulisi reagoida mahdollisimman nopeasti.

Alkuvaiheessa mittatiedon vähyys olisi vaikuttava tekijä, kun taas pitkässä juoksussa mittatieto ja poravaunun toimintatieto olisivat ladattavissa ja yhdistettävissä kohteen, päivämäärän ja poravaunun tunnisteiden avulla, jolloin voitaisiin määrittää lähtötilannetta uuden suorituksen alkaessa. Mittatieto voitaisiin myös suoraan yhdistää ns. porausresepteihin, jotka voidaan suoraan tallentaa poravaunun muistiin seuraavaa kertaa varten.

8.4 Vaikutukset

Laadun parantaminen johtaisi oletettavasti kustannusten pienenemiseen, koska jos suunnitelma toteutuu, on panostus myös ollut riittävä, eikä synny jälkilouhintaa. Tämä vaikuttaisi myös louheen raekokoon ja edelleen helpompaan lastattavuuteen.

Louhintatärinät olisivat myös paremmin hallittavissa, koska louhinnalla on edellytykset katketa oikealla voimalla haluttuun irtilouhintatasoon.

On kuitenkin huomioitava muodostuvat lisäkustannukset. Nämä muodostuisivat ensi tilassa poravaunukohtaisista mittalaitteista, poravaunun pienentyvästä käyttöasteesta sekä tulevaisuudessa mittatiedon määrästä ja käsittelystä.

Nämä ovat laskettavissa olevia määreitä ja täysin verrattavissa keskenään.

Tarkan määrittelyn ja ohjeistuksen ja tuen avulla laatuperusteinen tuotantopalkkio on täysin mahdollista toteuttaa ja saada siitä etua niin suoritteellisesti, kuin taloudellisestikin. Tämän toteutuminen alalla olisi merkittävä muutos aiempaan ja veisi louhintaa eteenpäin kehityksen aallonharjalla.

Tutkimus ja mitatut pisteet osoittavat selvästi miten vaikeasti määriteltävästä aiheesta on kysymys. Mikäli alettaisiin toteuttamaan siirtymistä laatuperusteiseen tulospalkkioon (€/metri), olisi huomioitava laaja skaala asioita, jotta palkkaus olisi yhdenmukainen kaikille. Tämä on merkittävää, jos työalueena on esimerkiksi koko Suomi. Tutkimuksen mukaan samoja

palkkioperusteita ei voi suhteuttaa eri alueilla eikä aina edes samassa kohteessa.

Lähteet

Geologian tutkimuskeskus (GTK). (2018). *Suomen kallioperä: Johdanto*.

Saatavilla:

https://www.geologia.fi/wpcontent/uploads/2018/04/Suomen_kallioper_johdanto.pdf.

Jääskeläinen, R., & Tammirinne, M. (2002). *Geotekniikka*. Hakapaino Oy.

Kaiva.fi. *Kivilajien jaottelu ja syntytavat*. Saatavilla:

<https://kaiva.fi/geologia/kivilajit-ja-malmien-synty/kivilajien-jaottelu-ja-syntytavat/>.

Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. (toim.) (1998). *Suomen kallioperä – 3 000 vuosimiljoonaa*. Saatavilla:

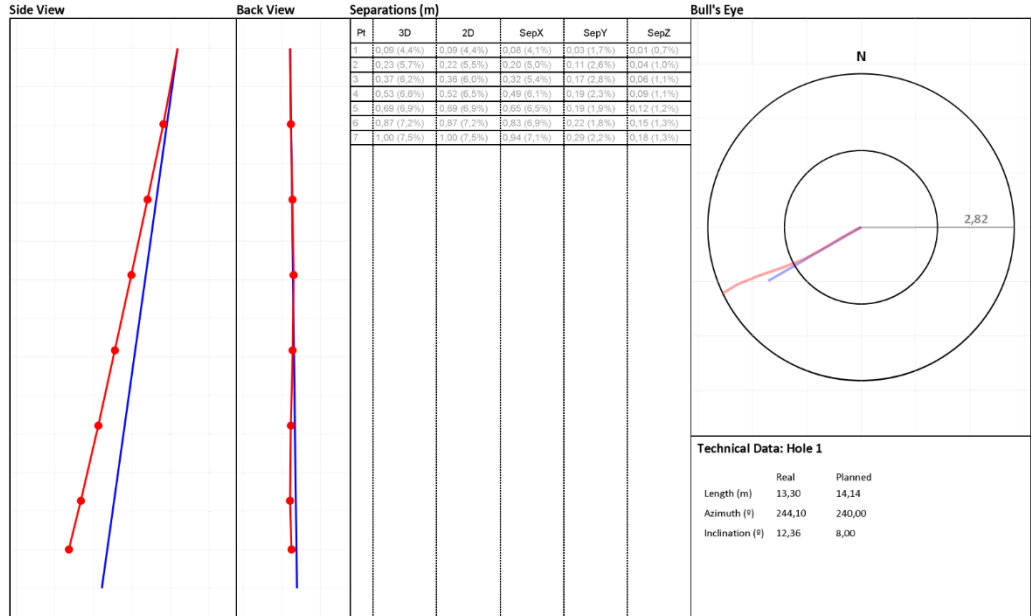
<https://www.geologinenseura.fi/fi/seura/julkaisut/suomen-kalliopera>.

Vuolio, R. & Halonen, T. (2012). *Räjätystyöt*. Suomen Rakennusmedia Oy.

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 1

O-PIT SURFACE
Supported by: **O-PITBLAST**

Blast Plan
Blast ID:

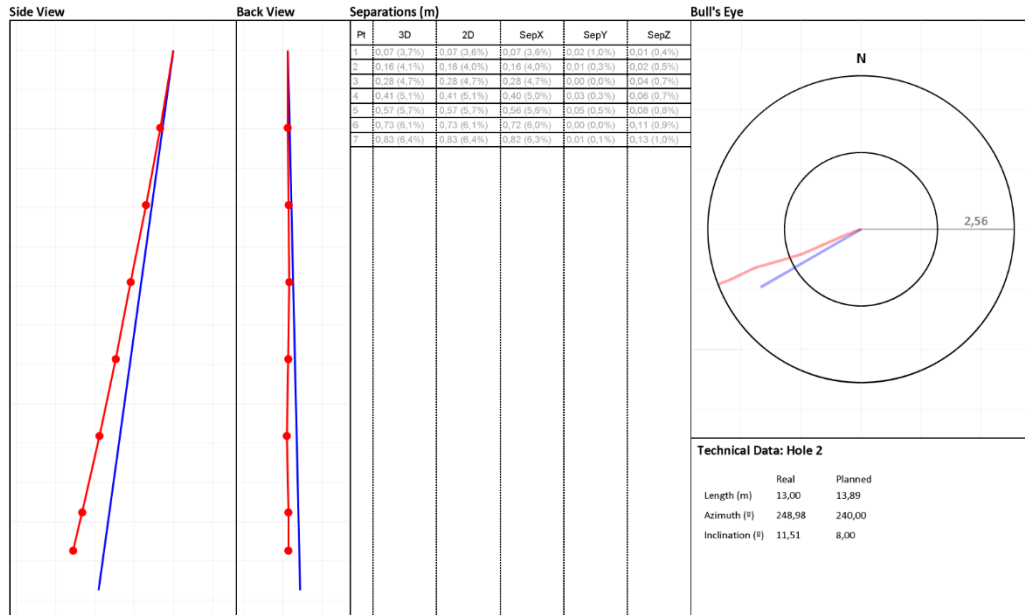


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 2

O-PIT SURFACE
Supported by: **O-PITBLAST**

Blast Plan
Blast ID:



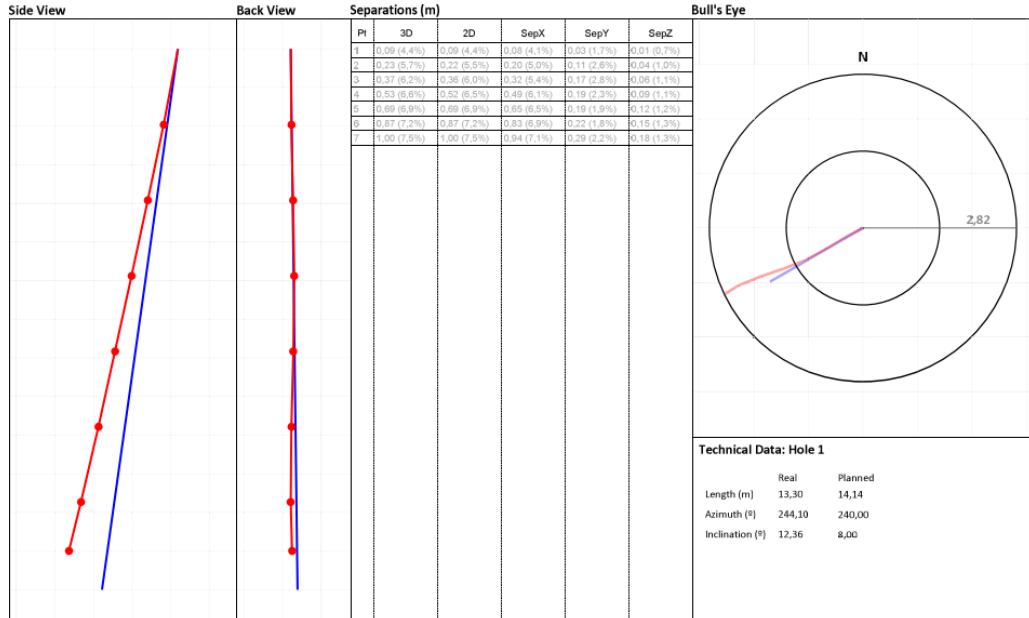
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 9

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 3

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

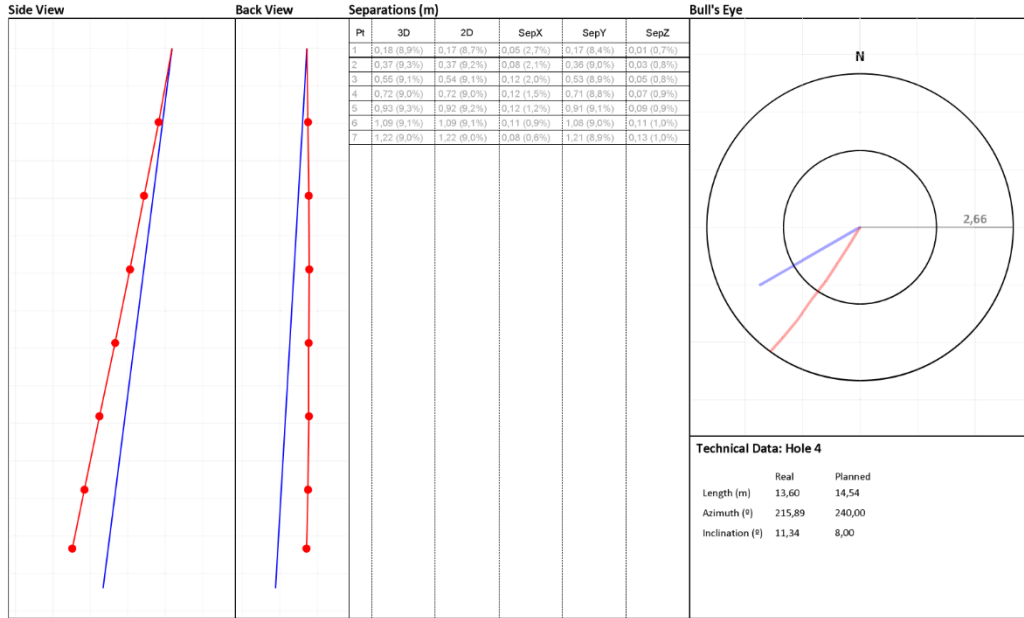


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 4

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

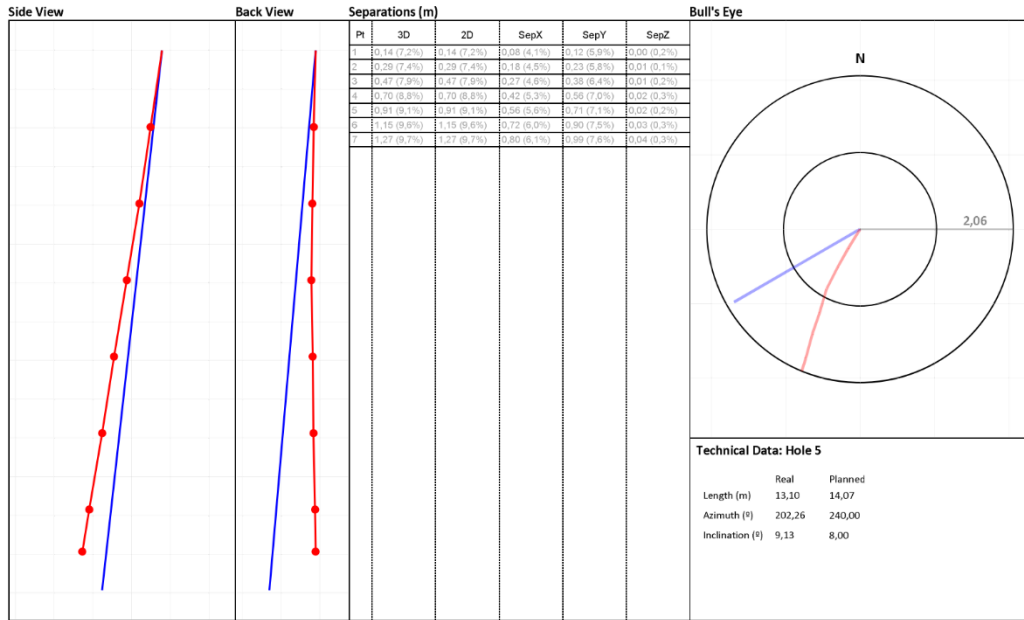


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 5

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

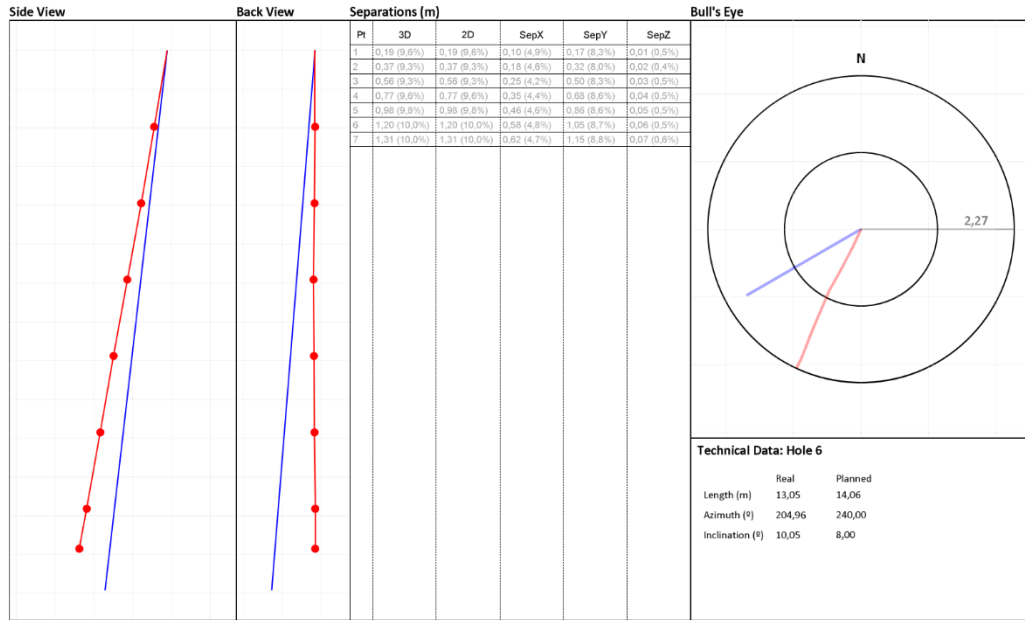


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 6

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



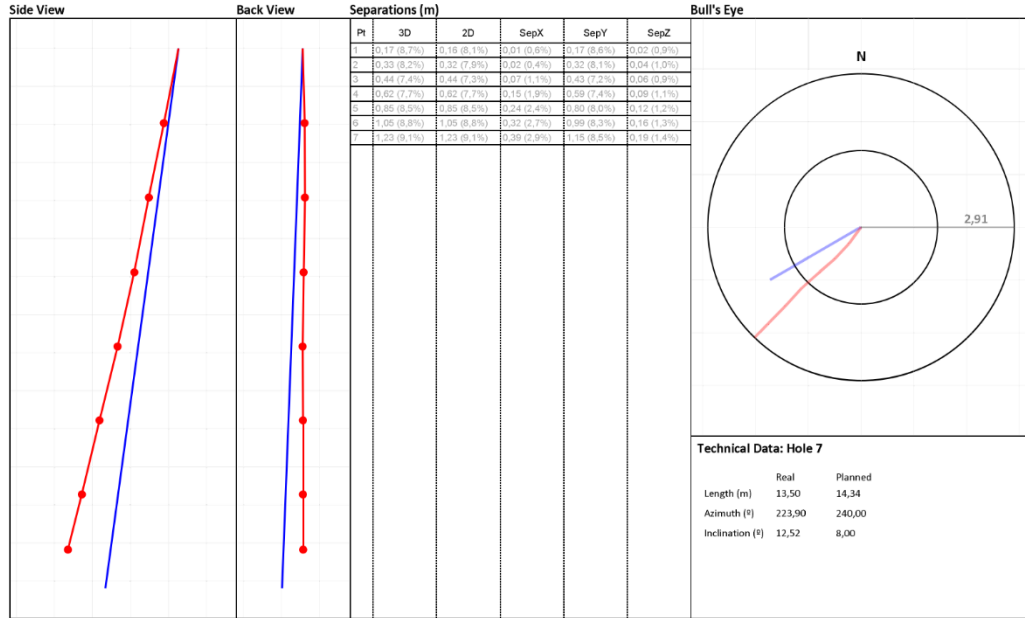
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 13

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 7

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

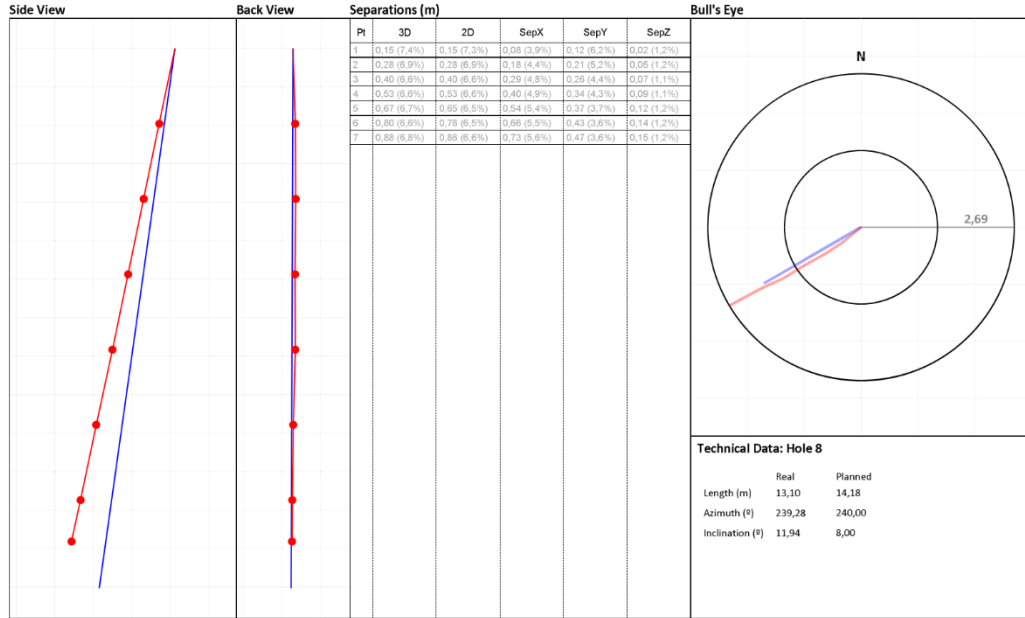


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 8

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



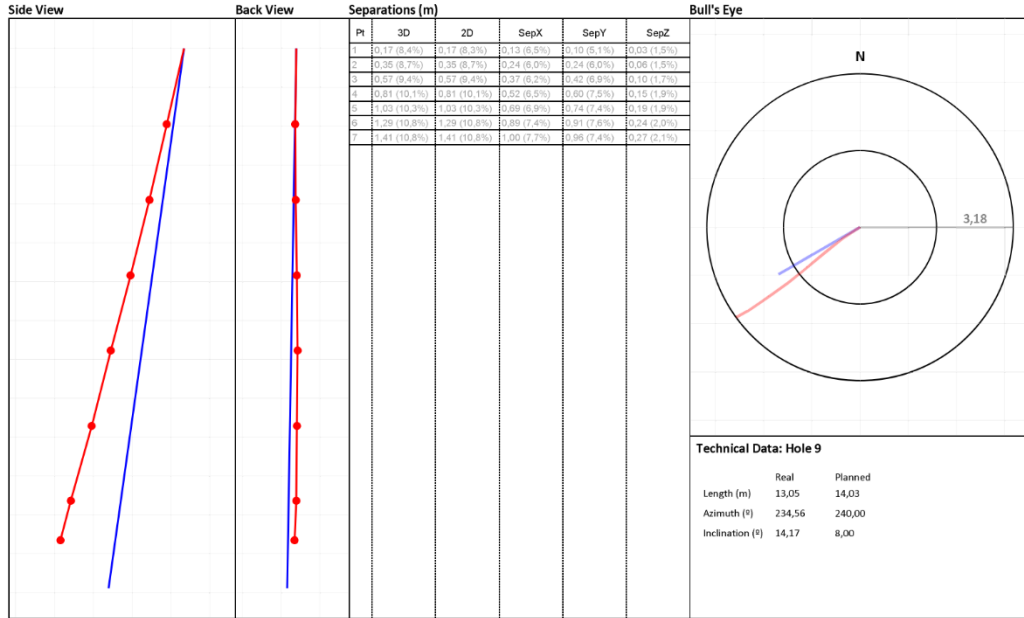
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 15

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 9

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



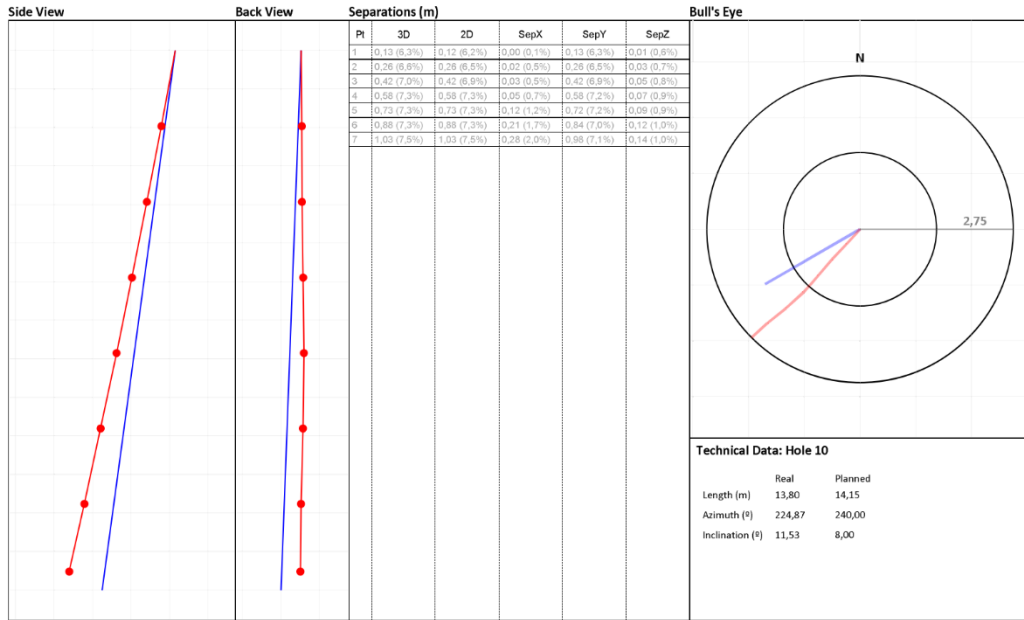
O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 16

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 10

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



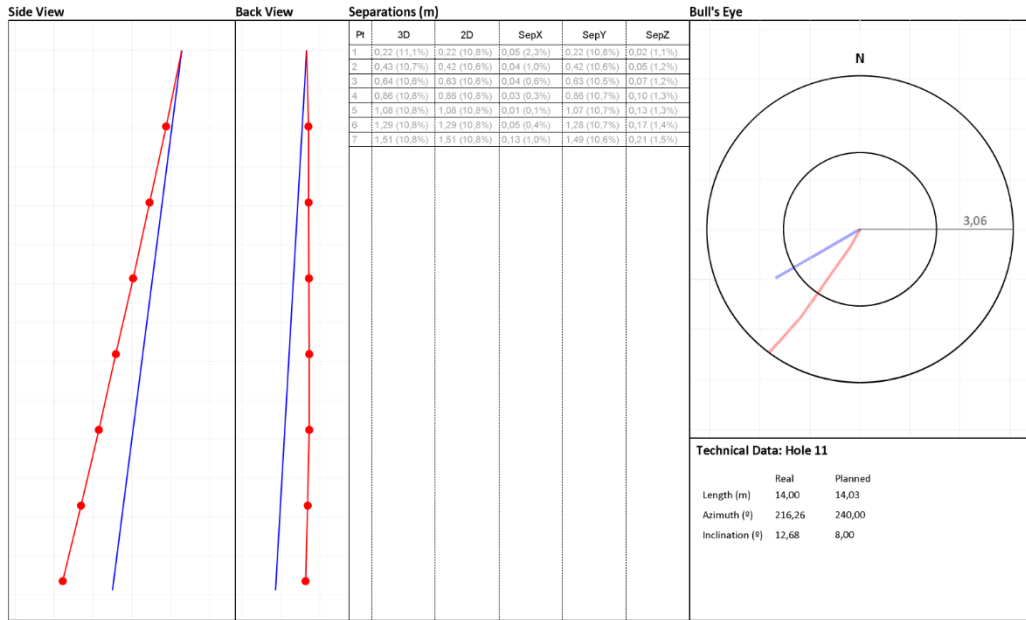
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 17

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 11

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



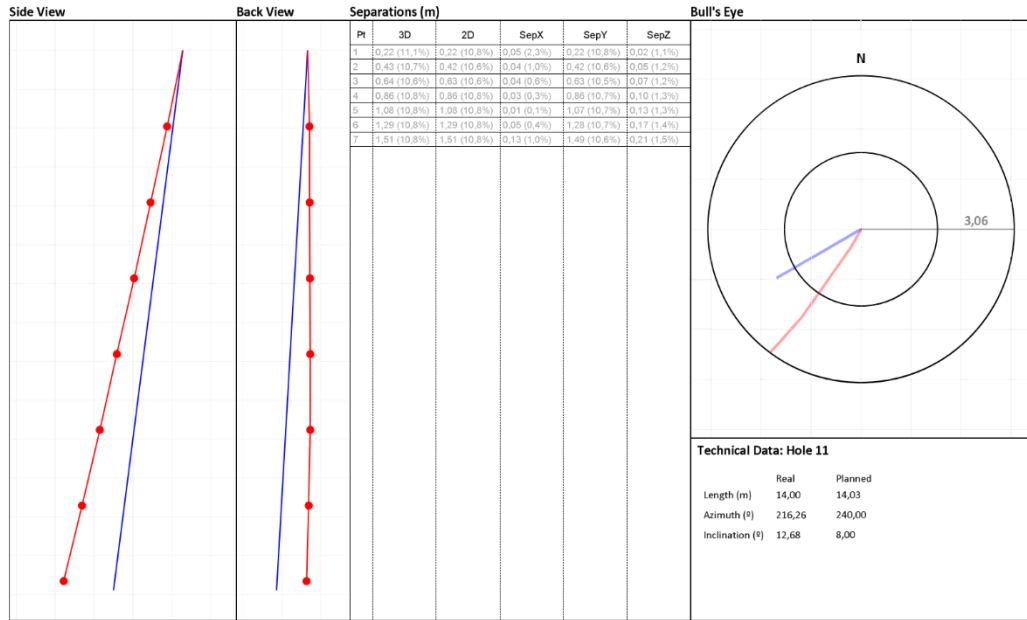
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 18

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 1 H 12

O-PIT SURFACE
Supported by: **O-PITBLAST**

Blast Plan
Blast ID:



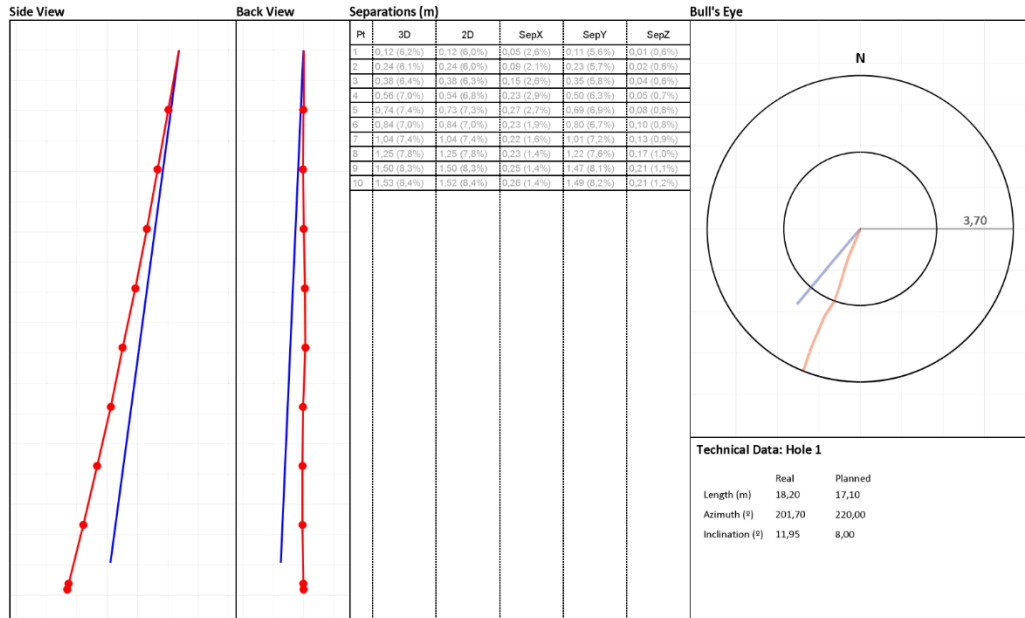
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 18

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 1

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



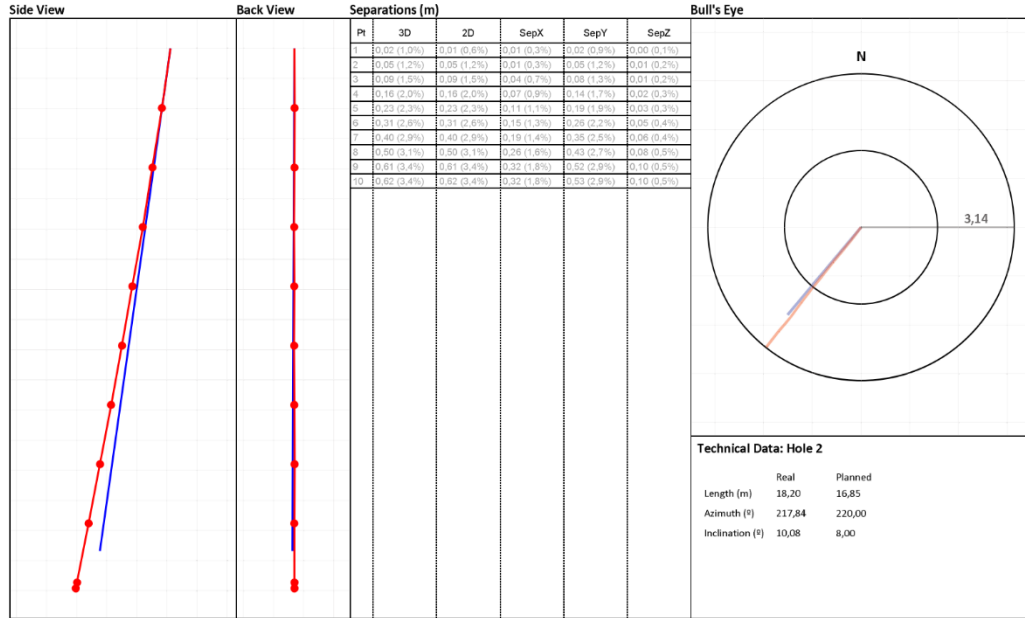
O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 8

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 2

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:



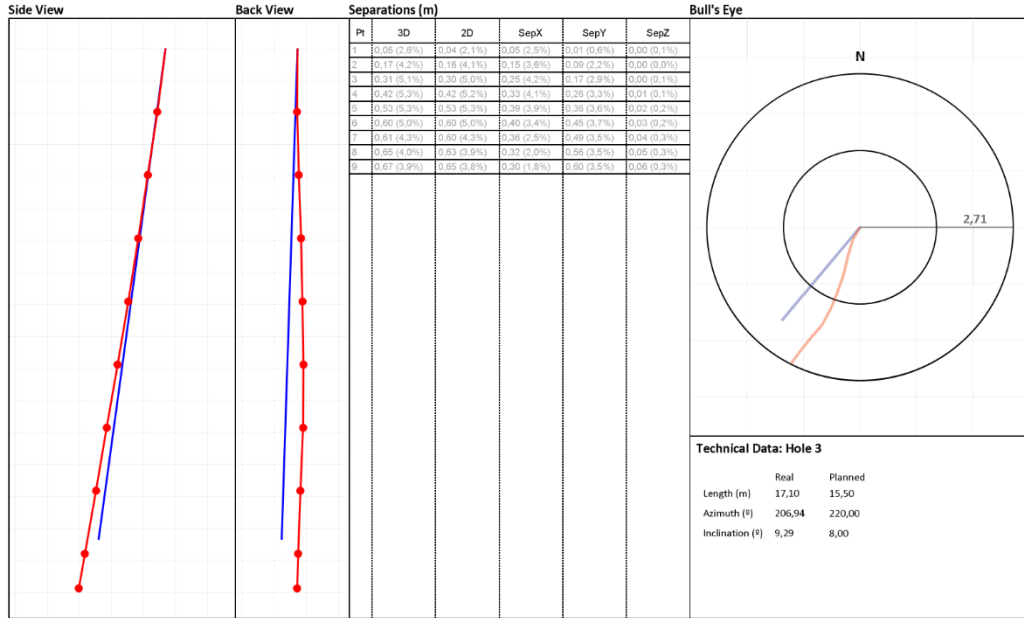
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 9

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 3

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

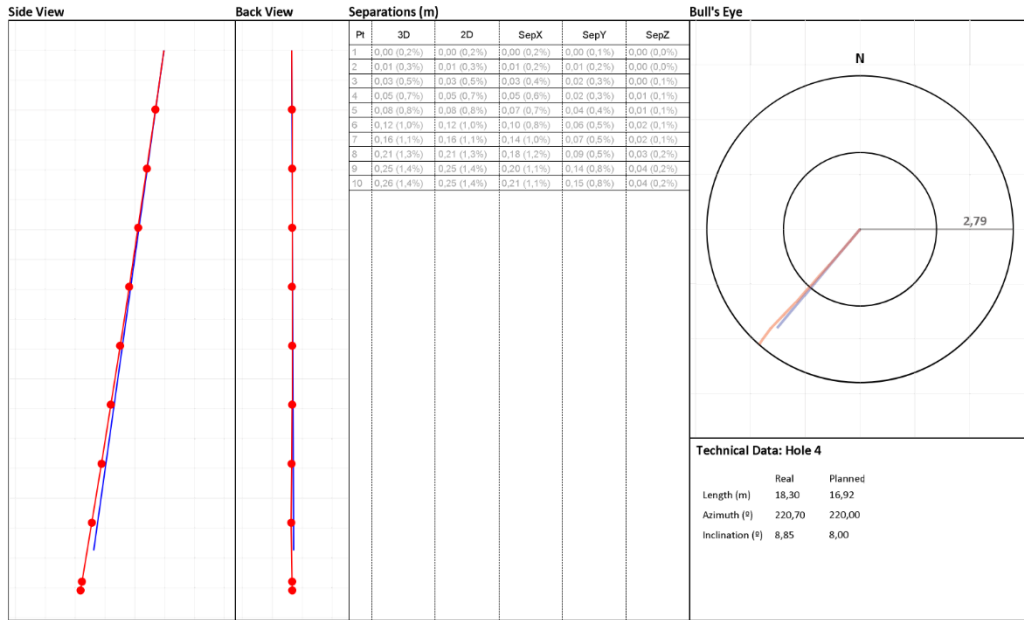


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 4

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

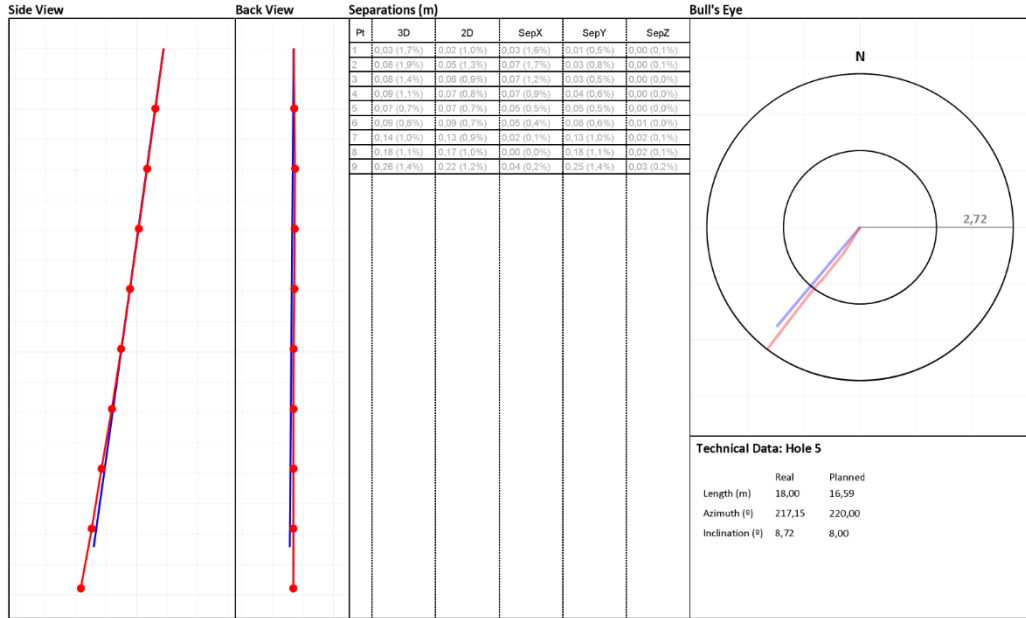


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 5

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

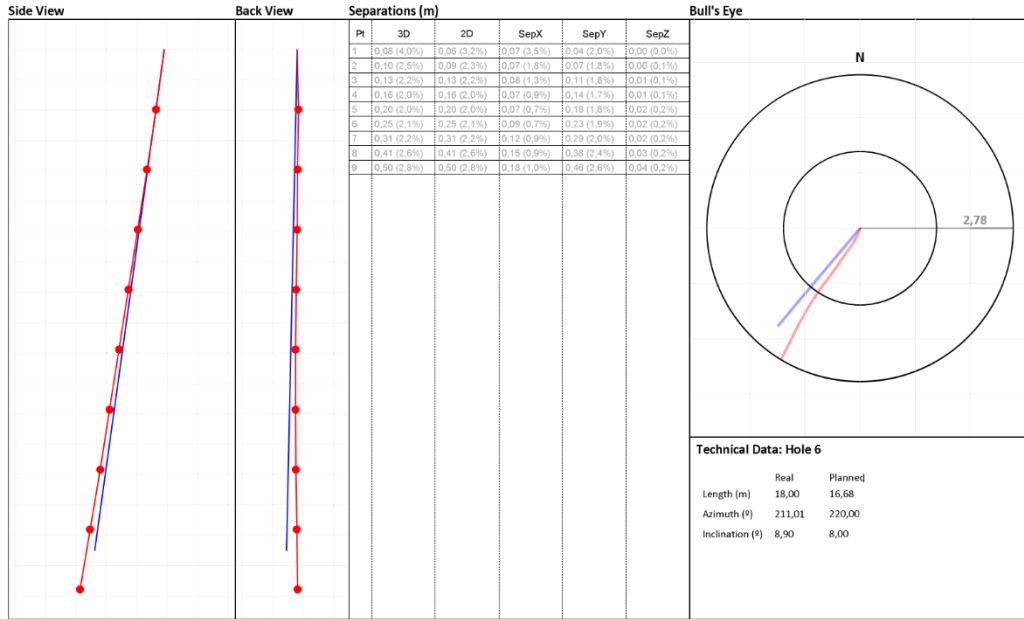


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 6

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



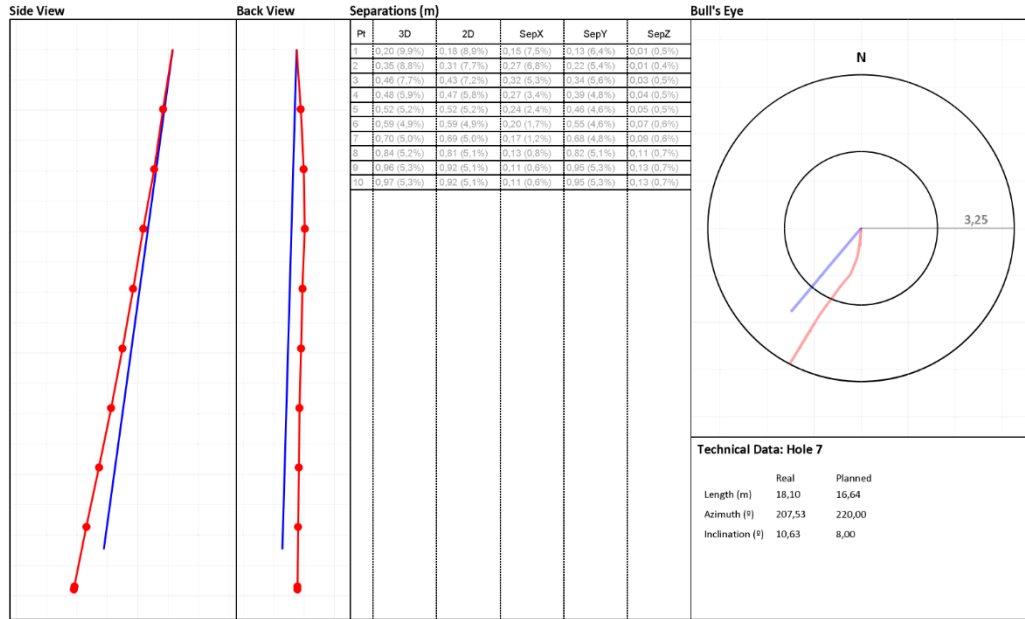
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 13

Taipumamittaus Varsinais-Suomi 2 H 7

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

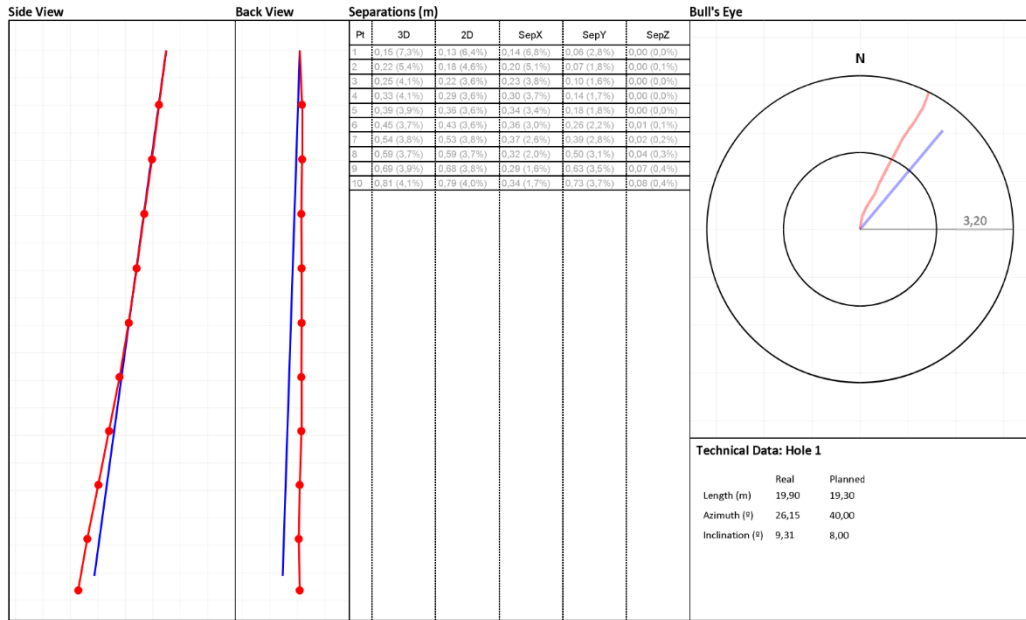


O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Satakunta H 1

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:



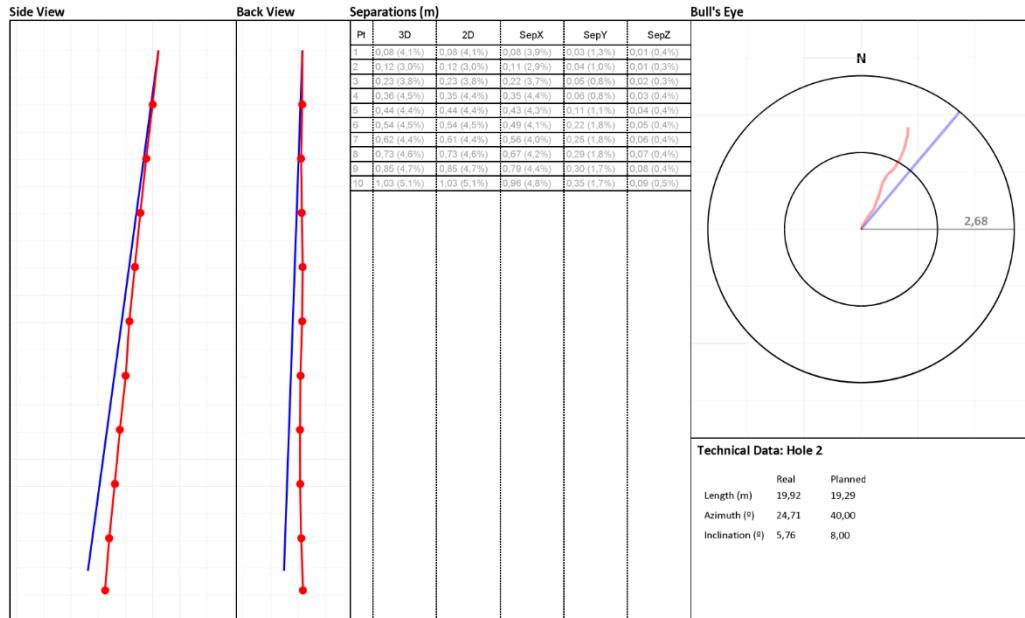
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 8

Taipumamittaus Satakunta H 2

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:



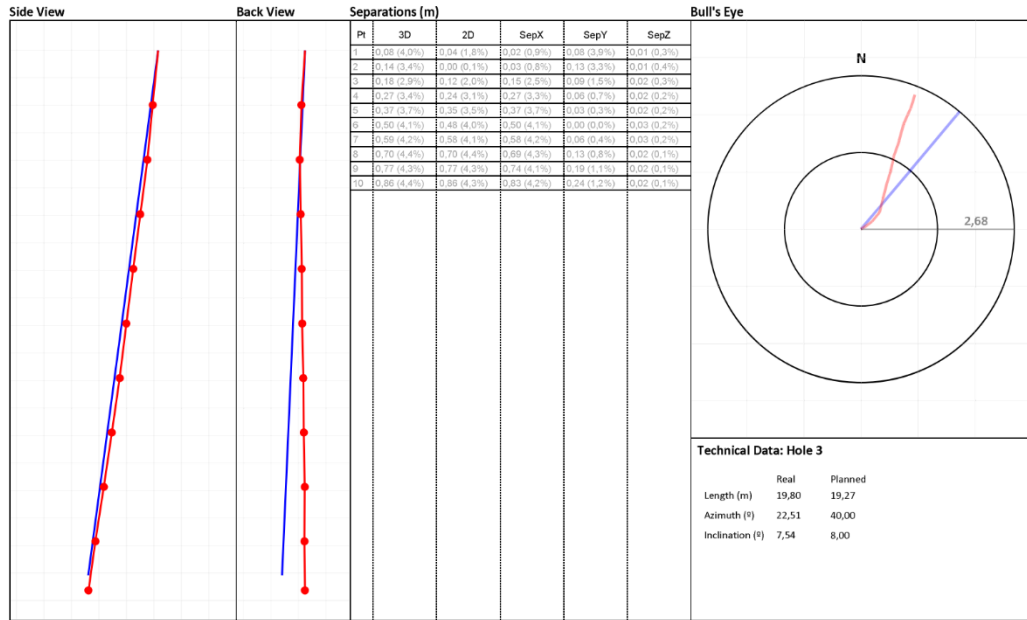
O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 9

Taipumamittaus Satakunta H 3

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

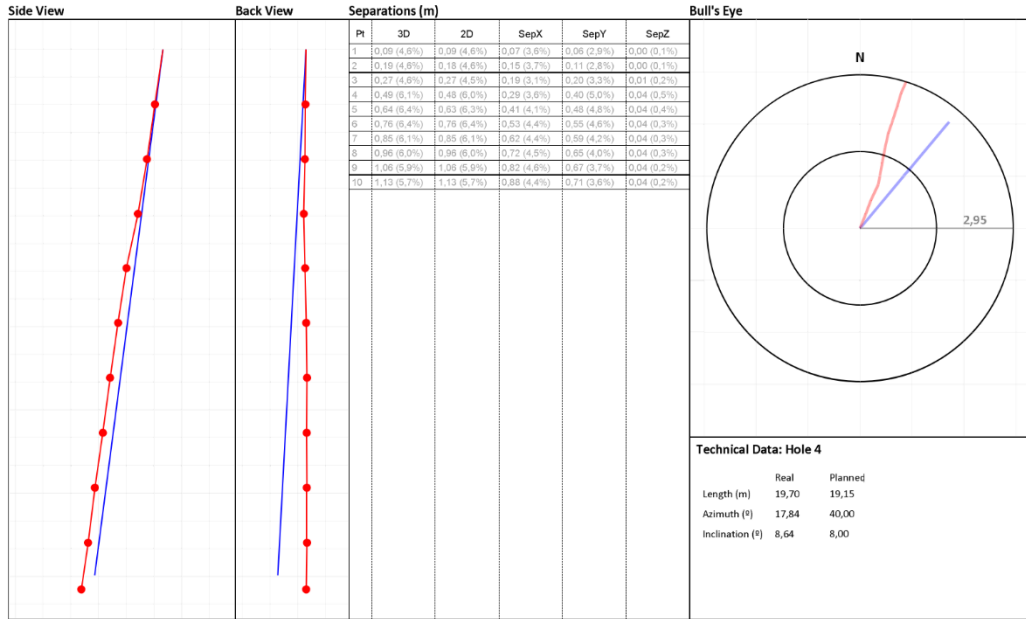


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Satakunta H 4

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

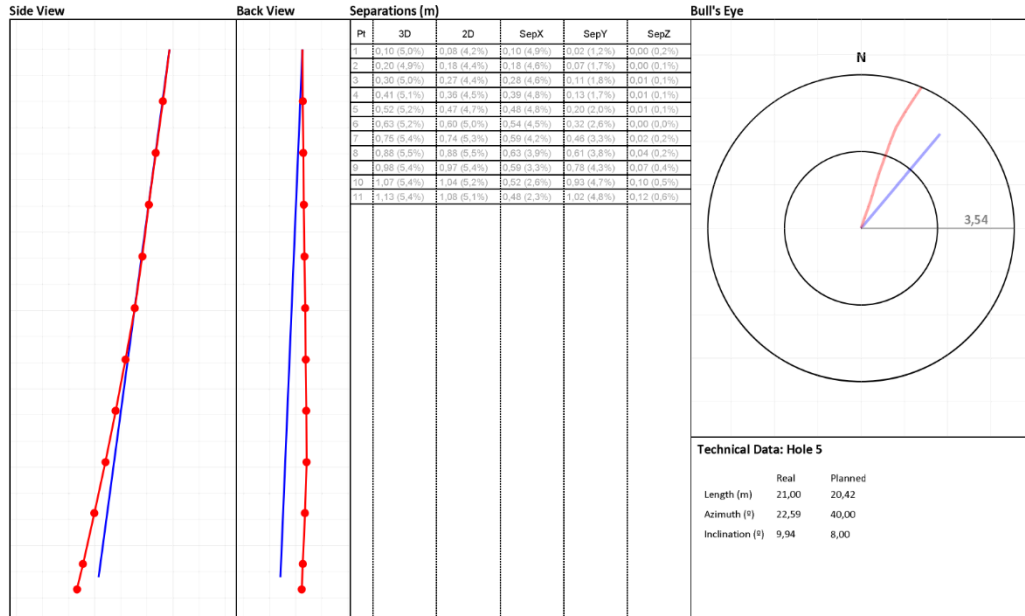
Blast Plan
Blast ID:



Taipumamittaus Satakunta H 5

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

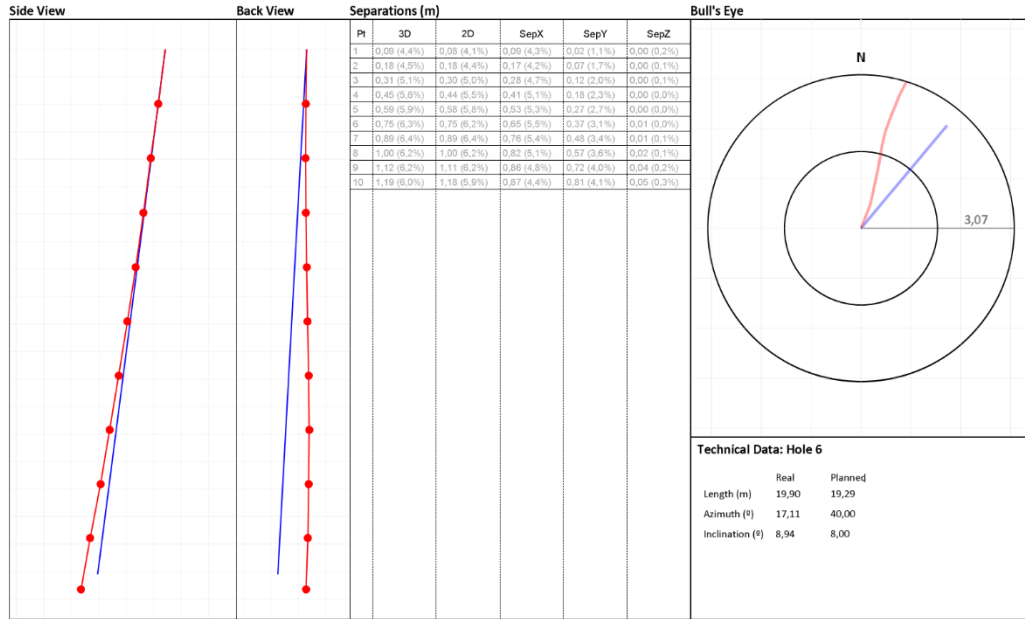


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Satakunta H 6

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

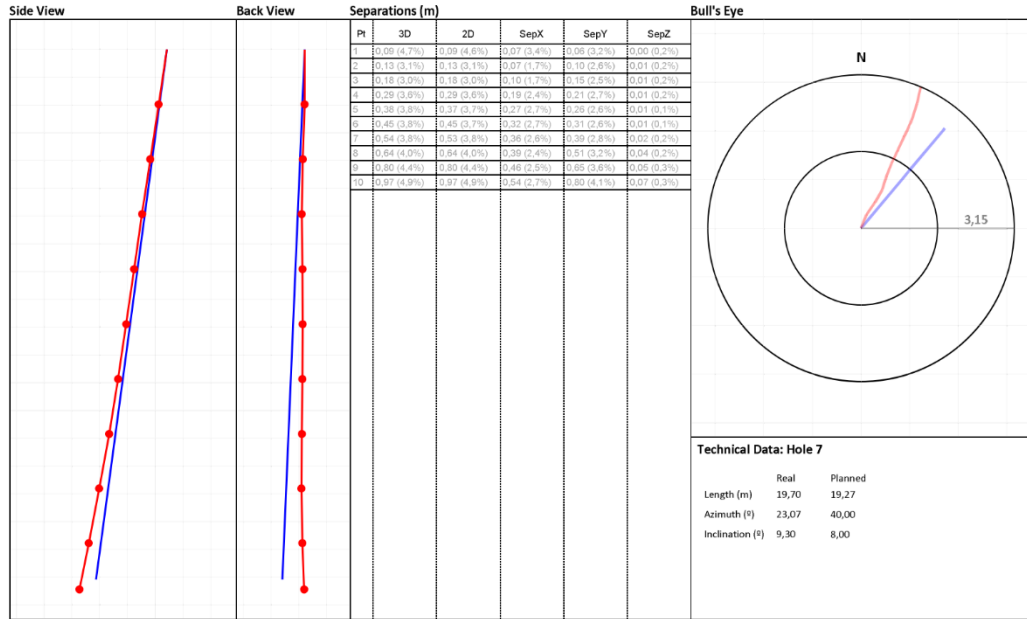


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Satakunta H 7

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

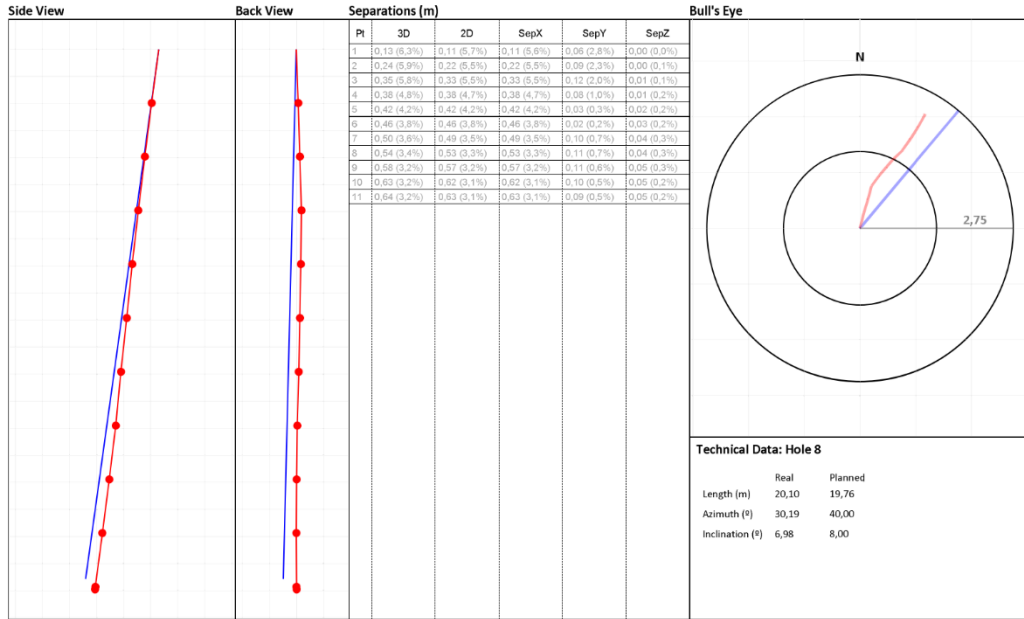


O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Satakunta H 8

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

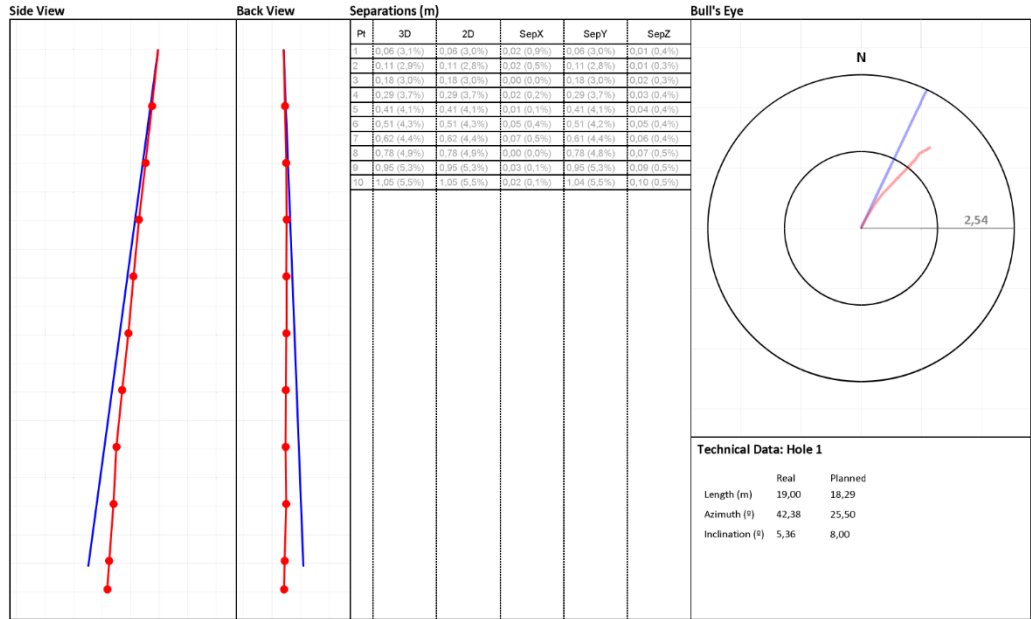
Blast Plan
Blast ID:



Taipumamittaus Pohjanmaa H 1

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

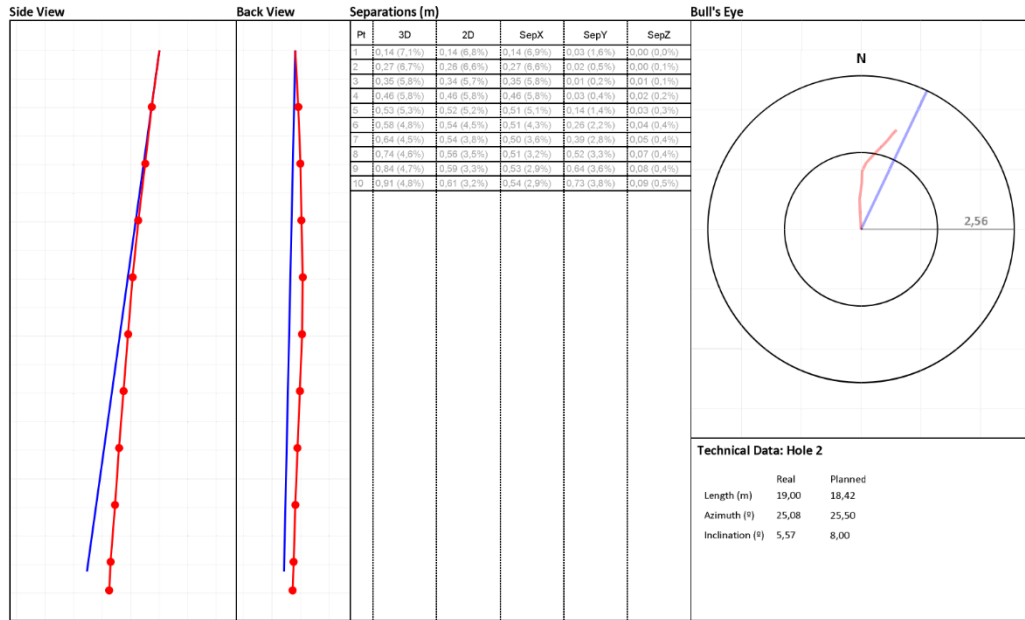


O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Pohjanmaa H 2

O-PIT**SURFACE**
Supported by: O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:



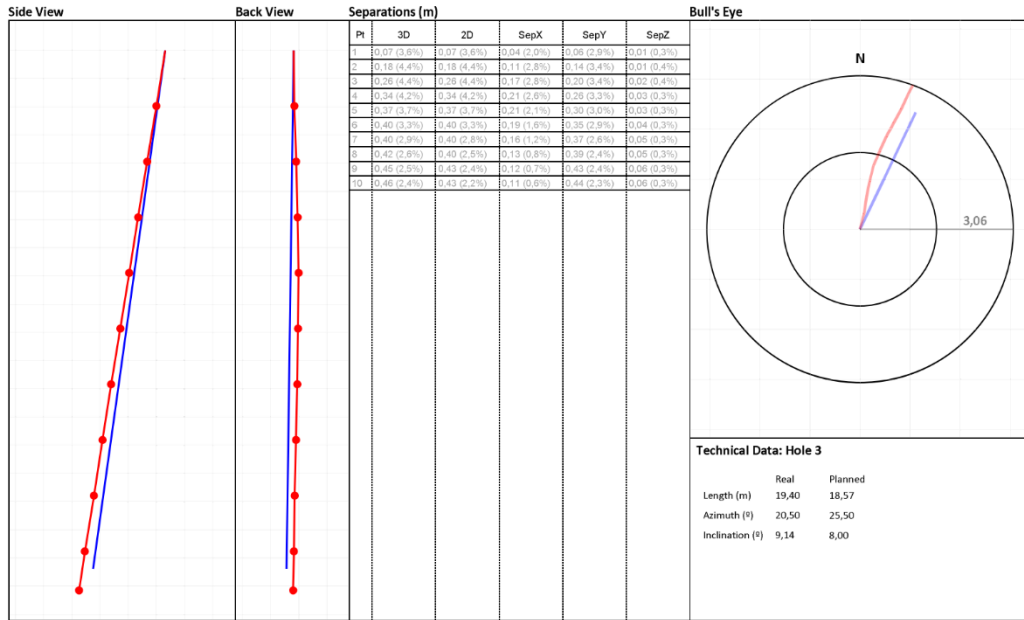
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 9

Taipumamittaus Pohjanmaa H 3

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

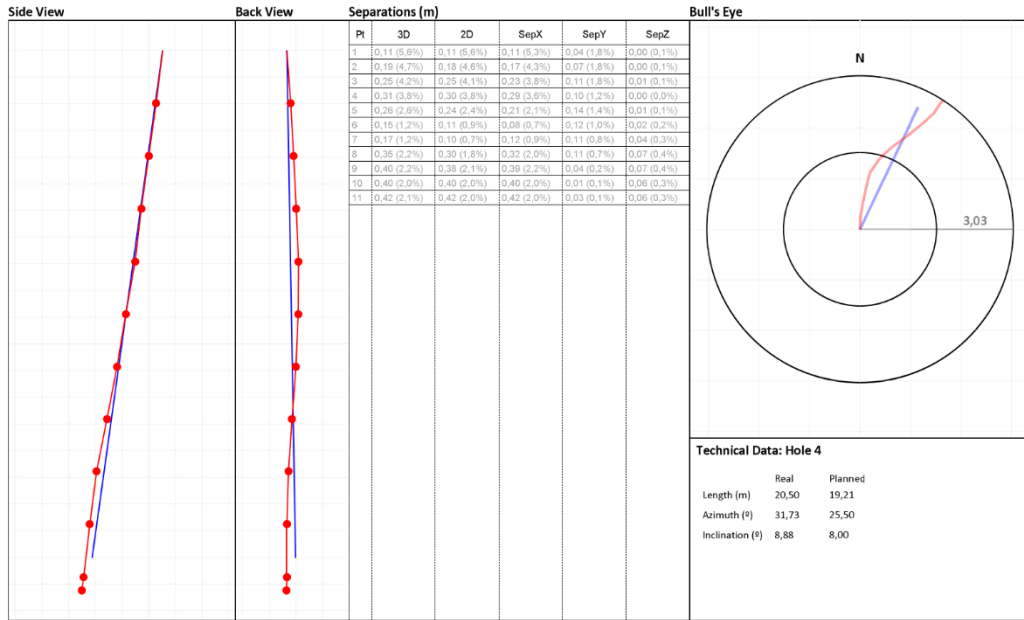


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Pohjanmaa H 4

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

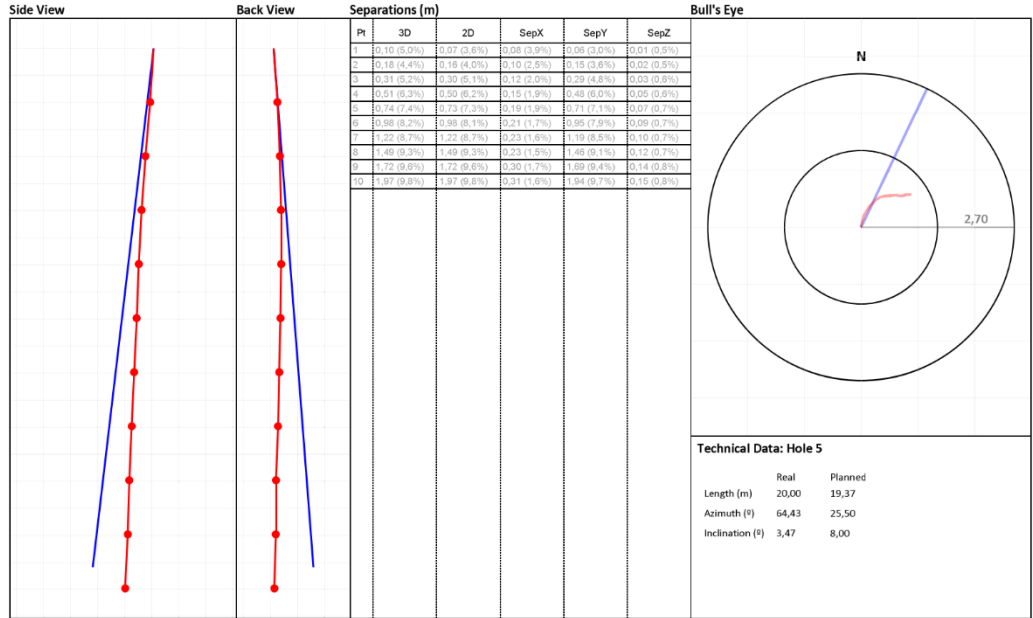


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Pohjanmaa H 5

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

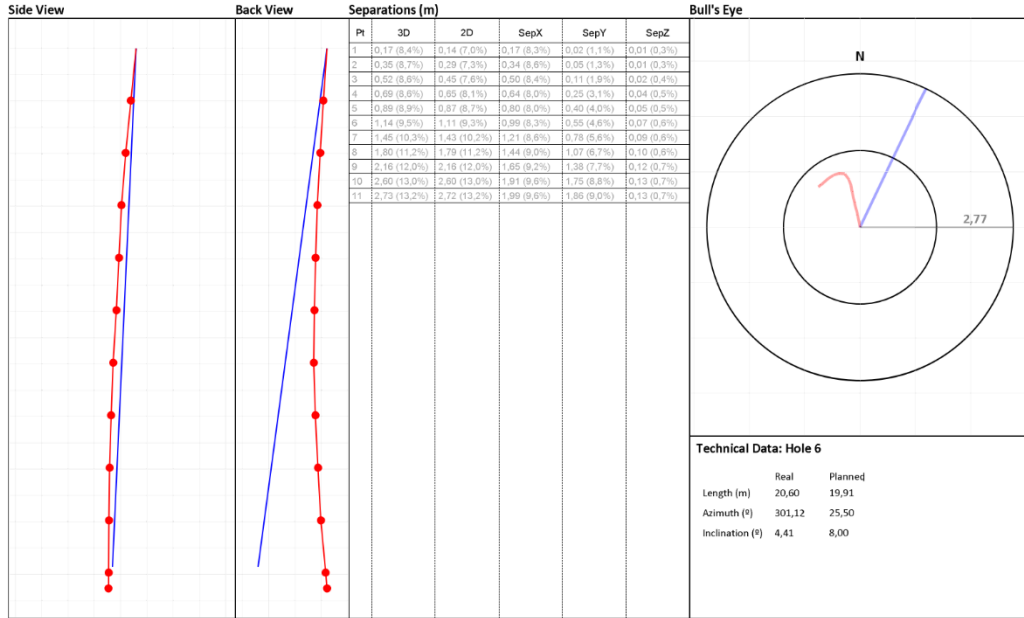


O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Pohjanmaa H 6

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

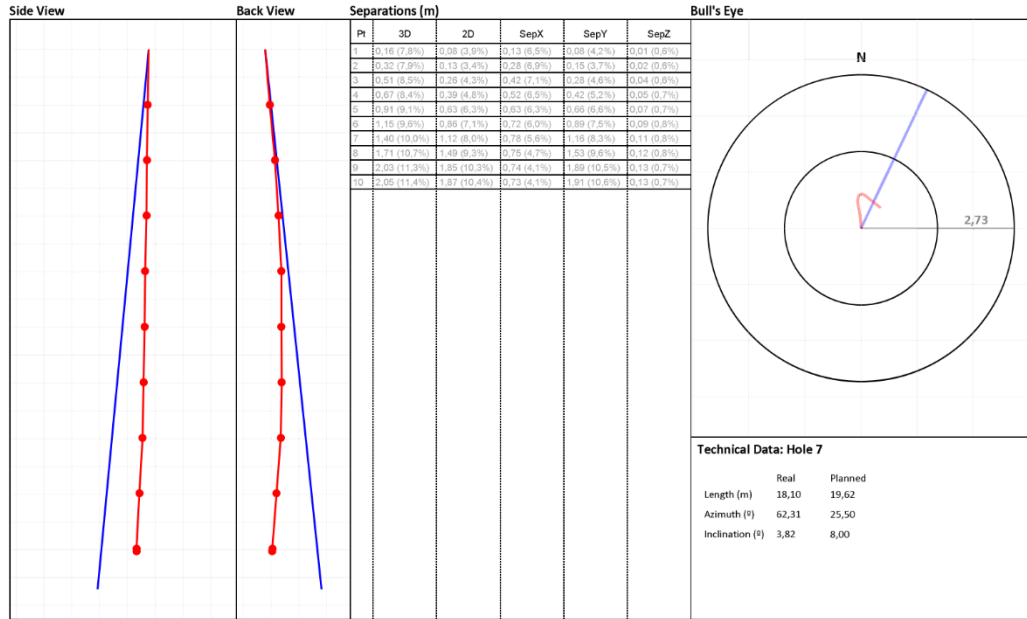


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Pohjanmaa H 7

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

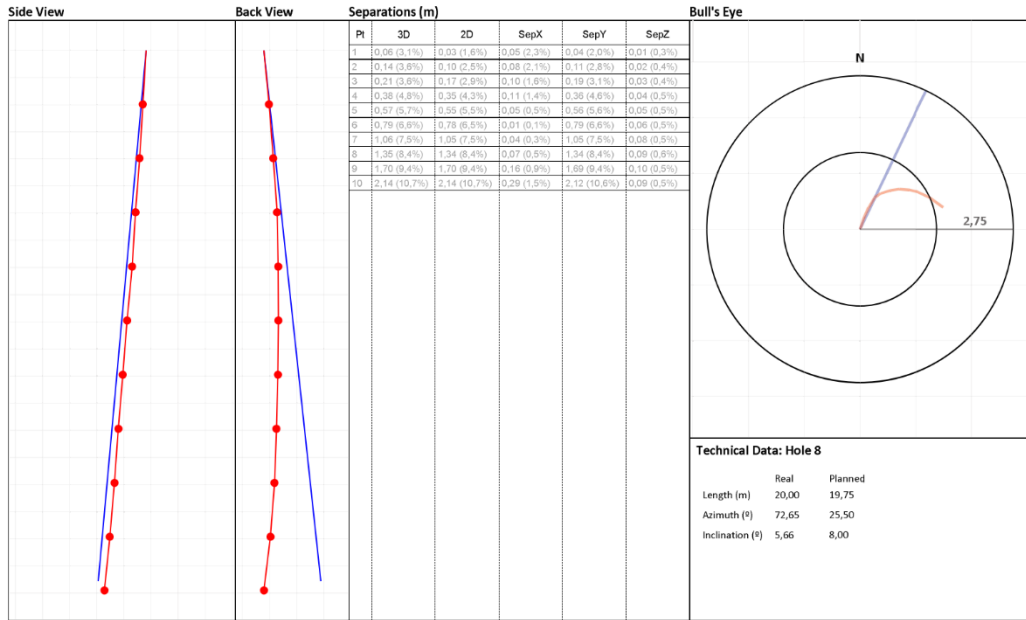


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Pohjanmaa H 8

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

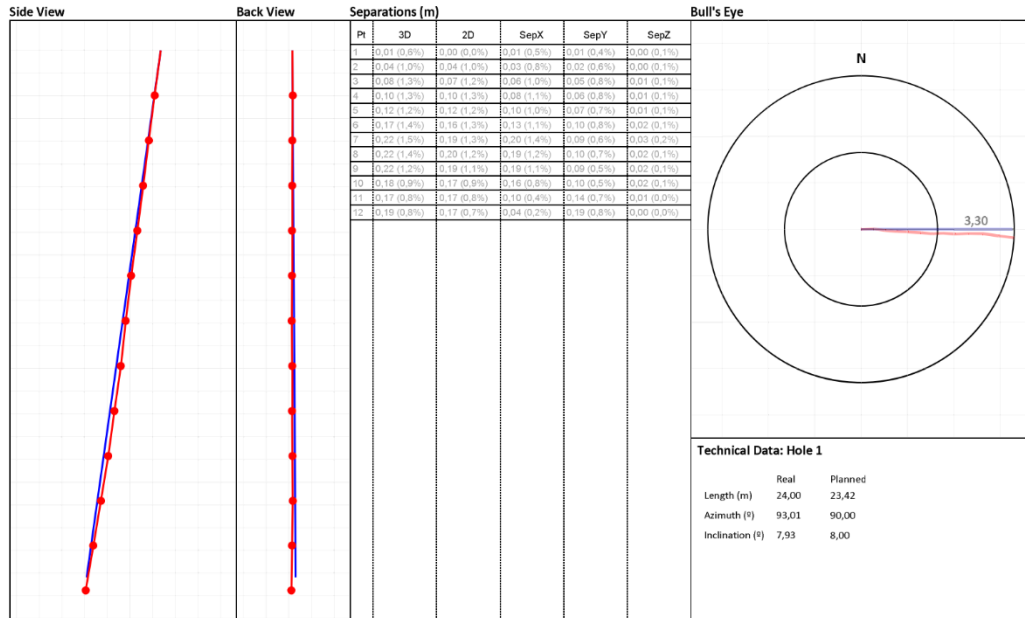


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 1

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:



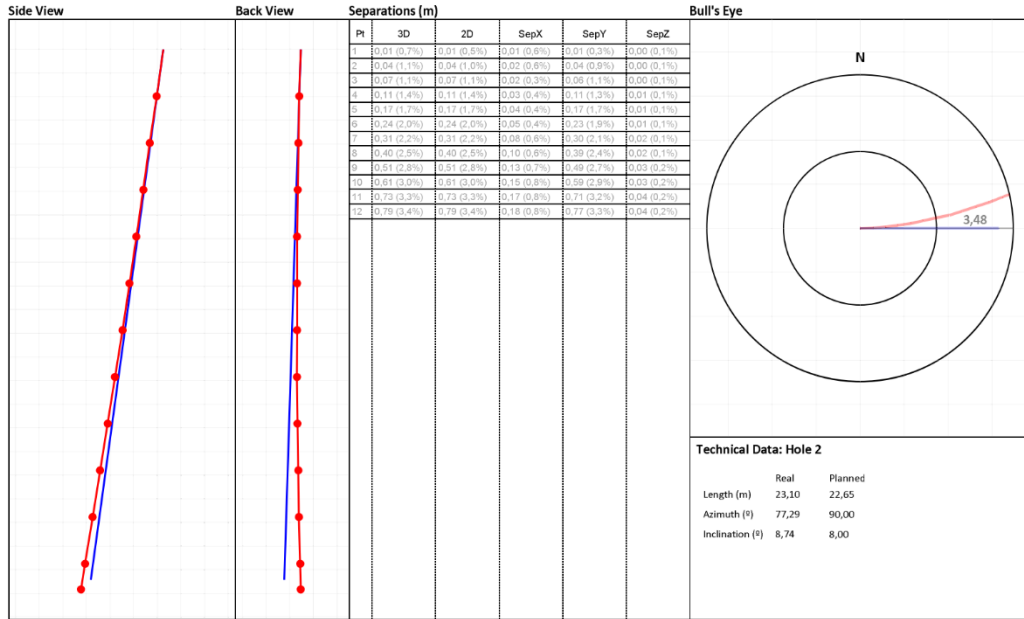
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 8

Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 2

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

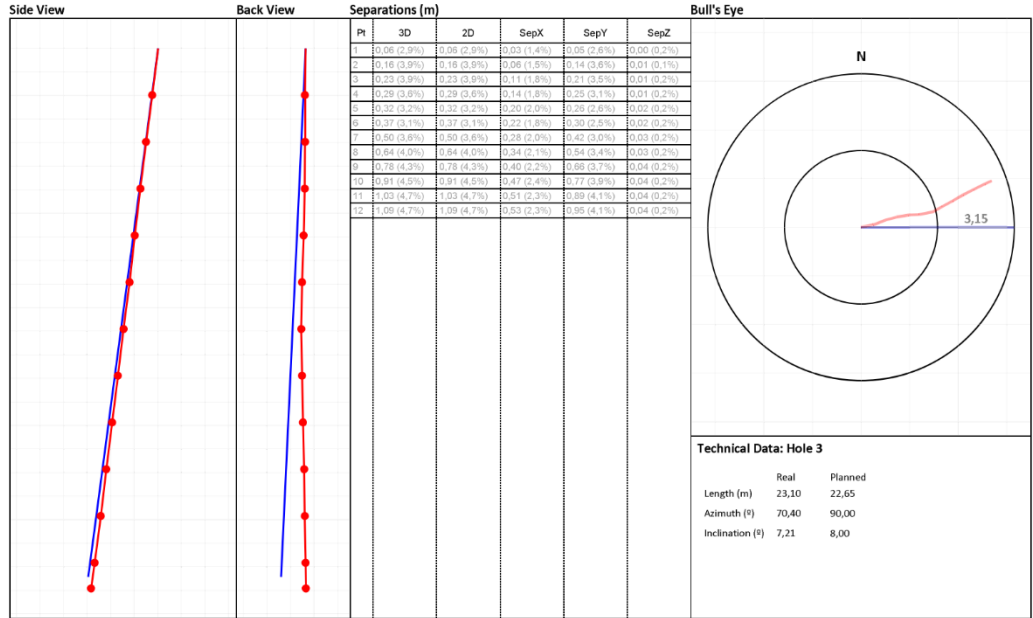


O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 3

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:



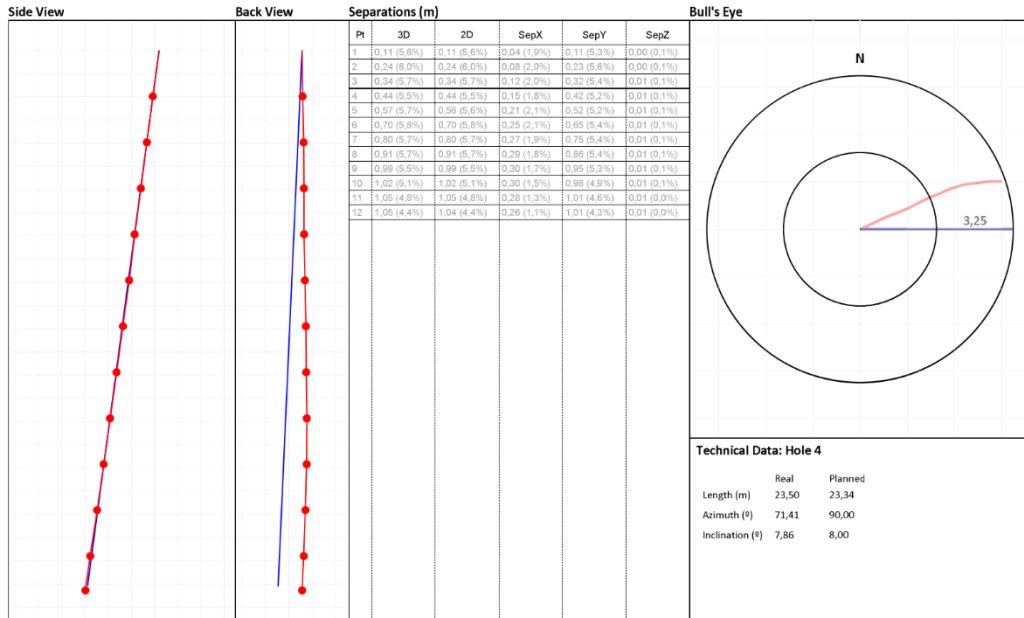
O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 10

Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 4

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

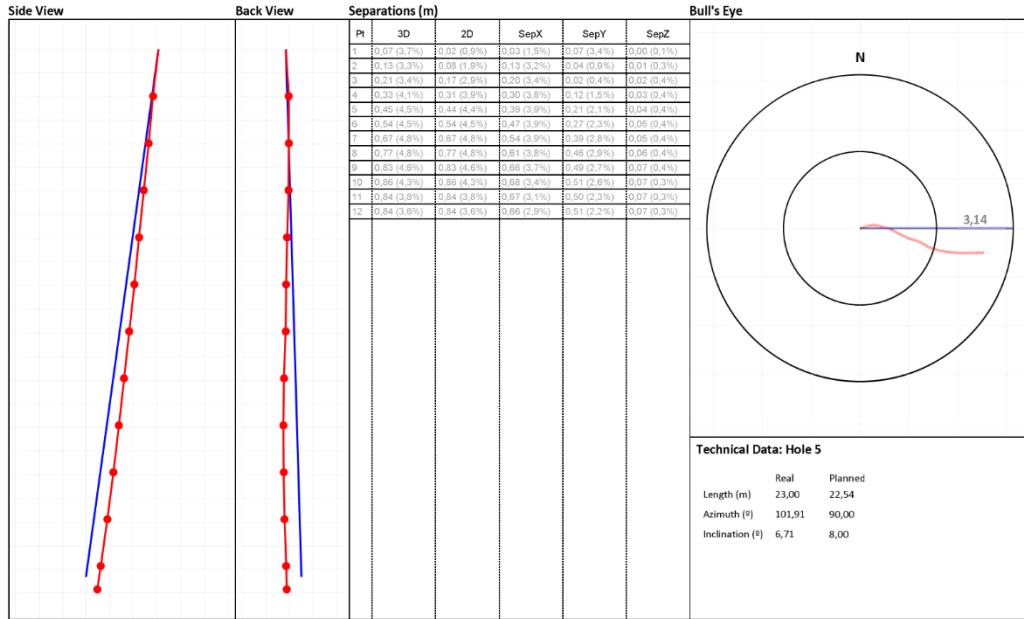


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 5

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:

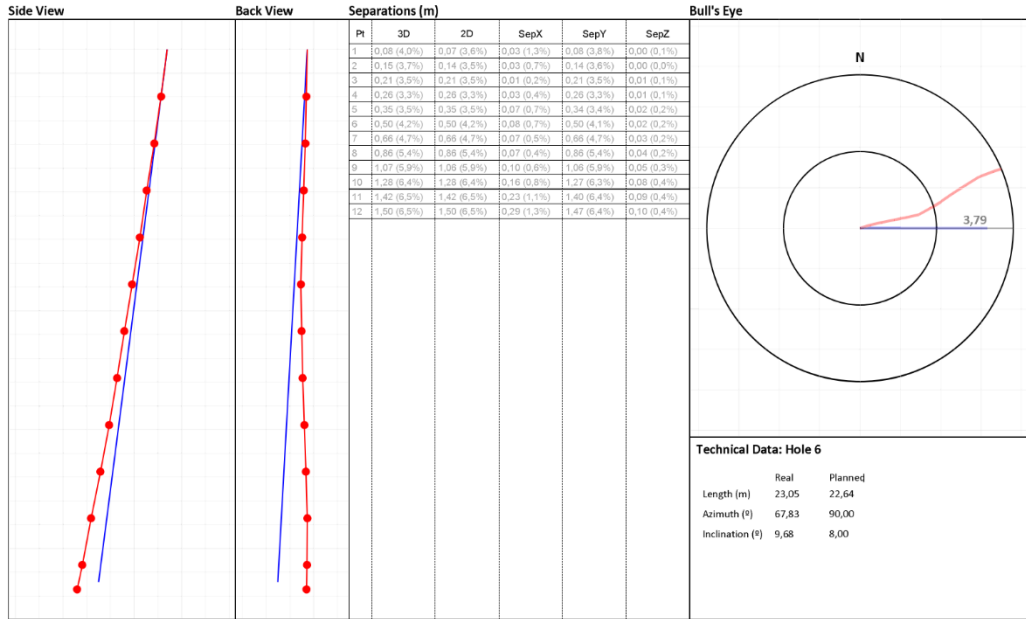


O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 6

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



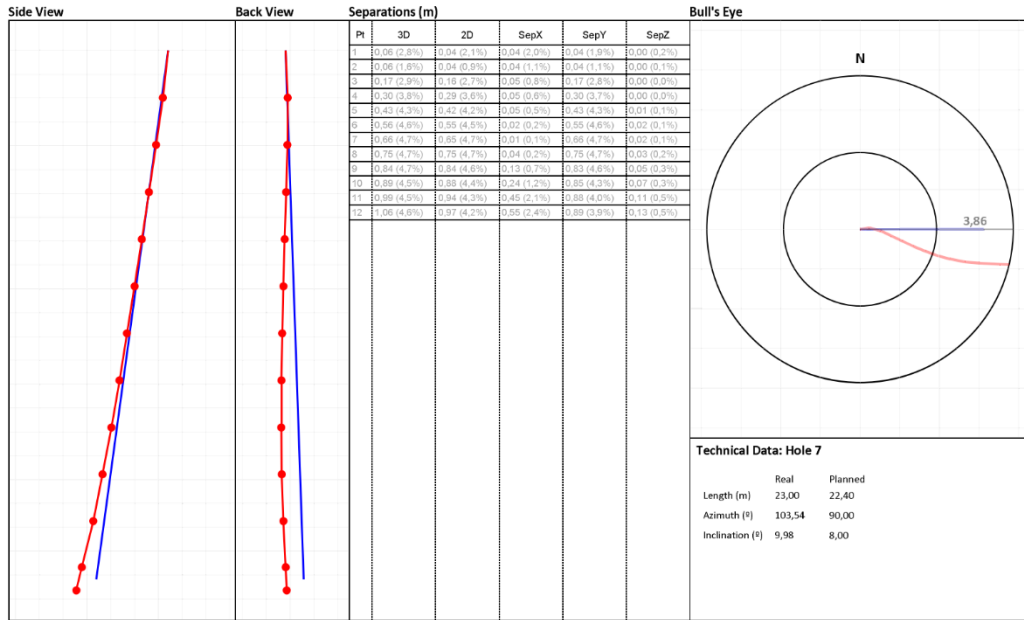
O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 13

Taipumamittaus Keski-Suomi 1 H 7

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

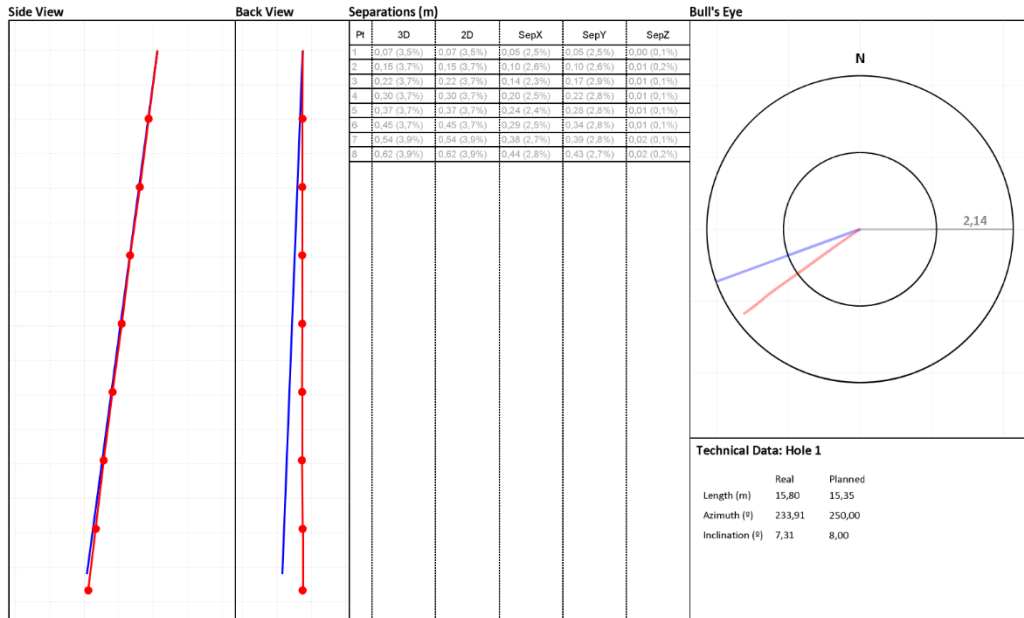


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 1

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



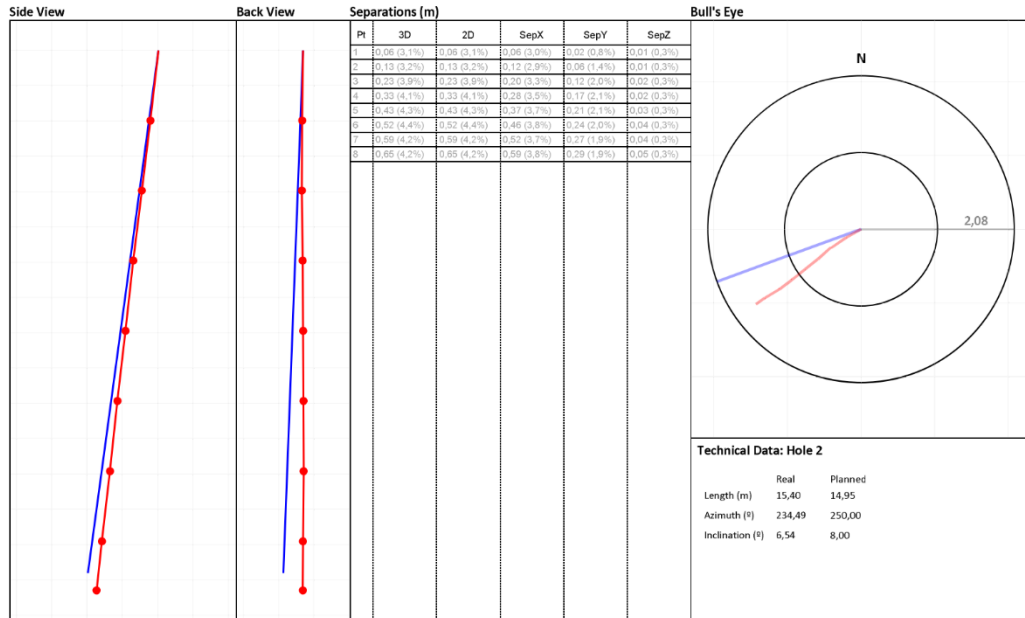
O-PITsurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 8

Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 2

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



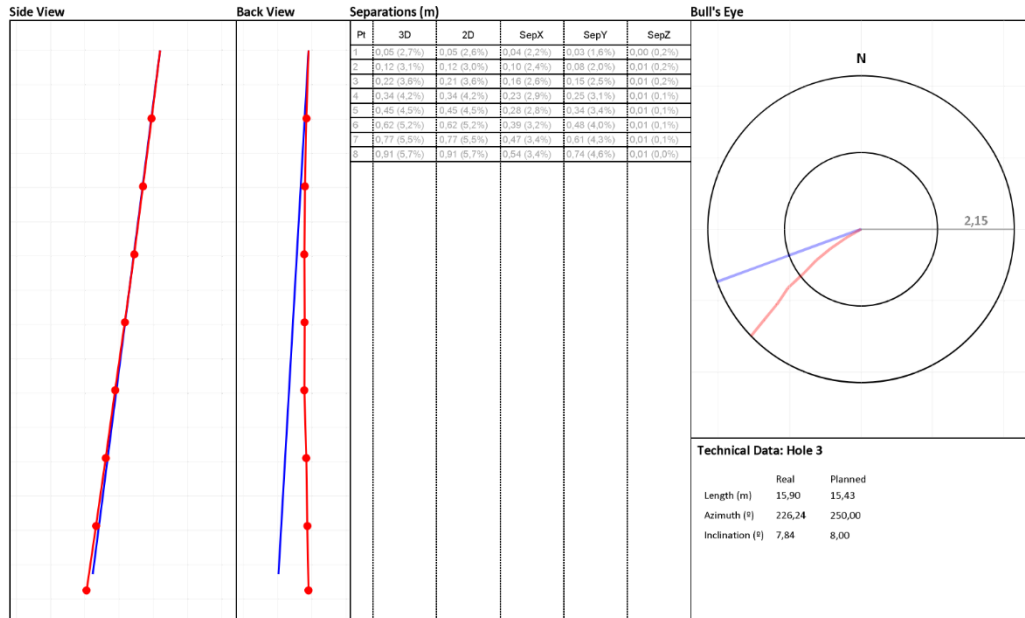
O-PITsurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 9

Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 3

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:



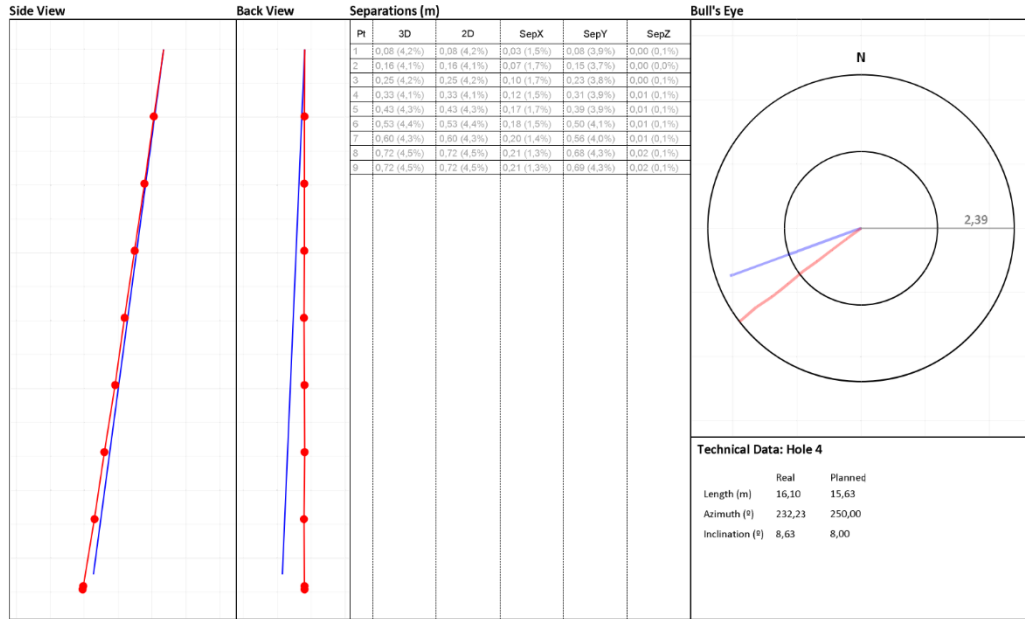
O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 10

Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 4

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

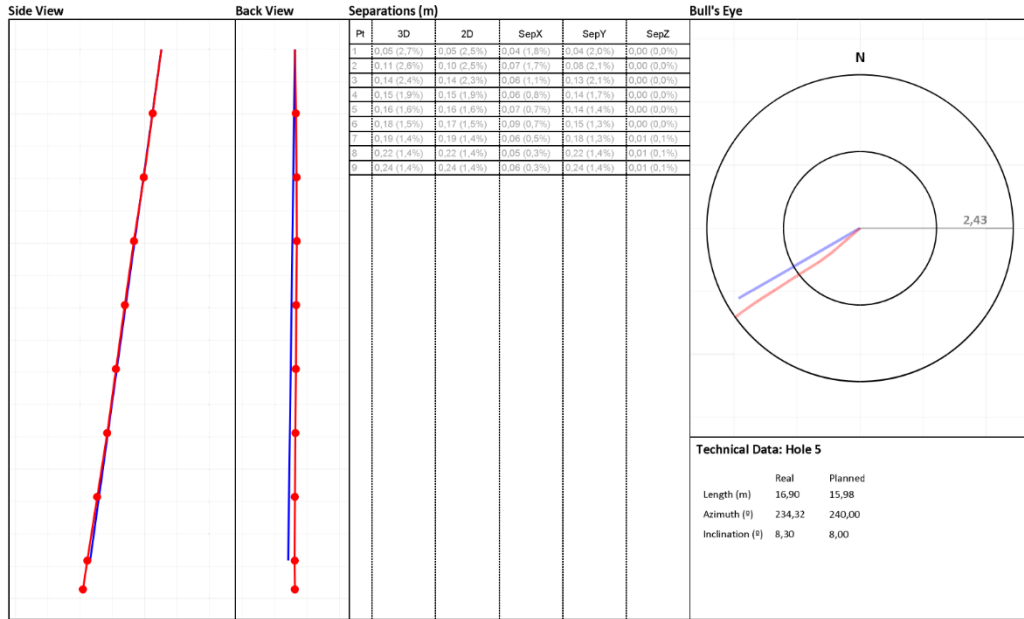


O-PitSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-Pitblast
O-Pitblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 5

O-PIT**SURFACE**
Supported by: 

Blast Plan
Blast ID:

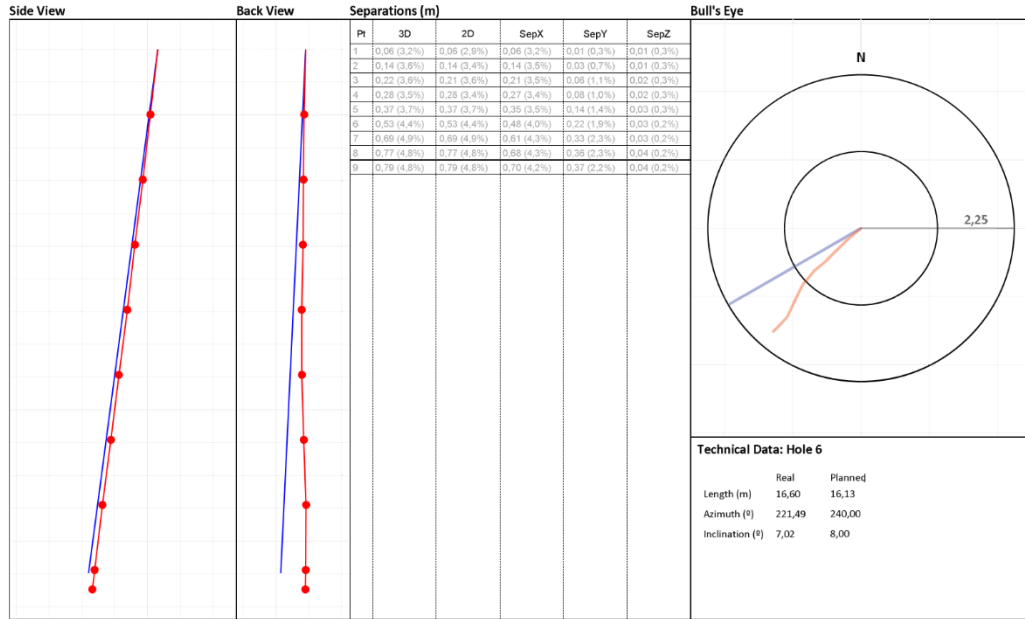


O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Taipumamittaus Keski-Suomi 2 H 6

O-PIT**SURFACE**
Supported by:  O-PITBLAST

Blast Plan
Blast ID:



O-PITSurface 1.7.8 - Drill & Blast Design Software supported by O-PITblast
O-PITblast © | www.o-pitblast.com | All Rights Reserved

Page 13

Taipuma yhteenveto porauksen pohjan mittapisteellä

Taipuma yhteenveto porauksen pohjan mittapisteellä			
Varsinais-Suomi 1			
Testiporaus	Taipuma (m)	Taipuma %	Syvyys (m)
H 1	1,00	7,5	14
H 2	0,83	6,4	14
H 3	1,05	7,8	14
H 4	1,22	9	14
H 5	1,27	9,7	14
H 6	1,31	10	14
H 7	1,23	9,1	14
H 8	0,88	6,8	14
H 9	1,41	10,8	14
H 10	1,03	7,5	14
H 11	1,51	10,8	14
H 12	0,96	7,4	14
Varsinais-Suomi 2			
Testiporaus	Taipuma (m)	Taipuma %	Syvyys (m)
H 1	0,38	5,3	8
H 2	0,73	9,5	8
H 3	0,7	9,3	8
H 4	0,24	3,4	8
H 5	0,27	3,9	8
H 6	0,37	5,2	8
H 7	0,13	1,8	8
H 8	0,26	3,9	8
Satakunta			
Testiporaus	Taipuma (m)	Taipuma %	Syvyys (m)
H 1	0,81	4,1	20
H 2	1,03	5,1	20
H 3	0,86	4,4	20
H 4	1,13	5,7	20
H 5	1,13	5,4	20
H 6	1,19	6	22
H 7	0,97	4,9	20
H 8	0,64	3,2	22
Pohjanmaa			
Testiporaus	Taipuma (m)	Taipuma %	Syvyys (m)
H 1	1,05	5,5	20
H 2	0,91	4,8	20
H 3	0,46	2,4	20
H 4	0,42	2,1	22
H 5	1,97	9,8	20
H 6	2,73	13,2	22
H 7	2,05	11,4	20
H 8	2,14	10,7	20
Keski-Suomi 1			
Testiporaus	Taipuma (m)	Taipuma %	Syvyys (m)
H 1	0,19	0,8	24
H 2	0,79	3,4	24
H 3	1,09	4,7	24
H 4	1,05	4,4	24
H 5	0,84	3,6	24
H 6	1,5	6,5	24
H 7	1,06	4,6	24
Keski-Suomi 2			
Testiporaus	Taipuma (m)	Taipuma %	Syvyys (m)
H 1	0,62	3,9	16
H 2	0,65	4,2	16
H 3	0,91	5,7	16
H 4	0,72	4,5	18
H 5	0,24	1,4	18
H 6	0,79	4,8	18