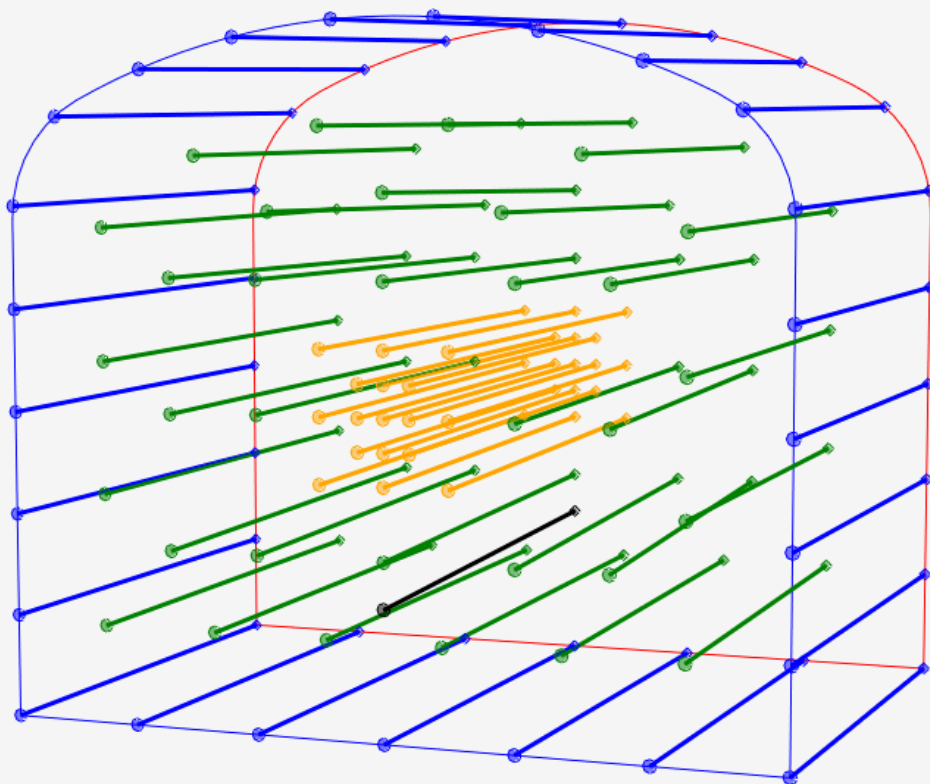


Seppänen Pekka

Porakaavion suunnitteluohje



Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2021



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Seppänen Pekka

Työn nimi: Porakaavion suunnitteluohje

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: Tunneli, tunnelirakentaminen, maanalainen louhinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saada yhtenäistettyä ja tehostettua Tapojärvi Oy:n toimintaa eri toimipisteissä porauskaavion suunnittelun osalta työohjeen avulla. Tapojärvi Oy on suomalainen kaivos- ja tehdaspalveluiden erikoisosaja ja kiertotalouden edelläkävijä.

Suunnittelussa käytettiin Sandvikin iSure- ja Epirocin TunnelManager-ohjelmistoja. Valmiissa työohjeessa porauskaavion suunnittelu käydään läpi teoreettisen profiilin piirtämisestä aina valmiin porauskaavion vientiin tunneliporauslaitteistolle.

Opinnäytetyön avulla toiminta tehostuu uusissa työkohteissa ja uusien porauskaavioiden suunnittelijoiden työtä saadaan helpotettua antamalla heille hyvät perusarvot, joilla lähteä toteuttamaan onnistunutta louhintaa, kompastumatta aiemmin havaittuihin virheisiin.

Tässä opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään porauskaavion suunnittelua läpi vaihe vaihteelta ja tarkastellaan asiaa teoriapainotteisesti. Työssä esitellään myös tunnelinporaus jumbon tärkeimmät komponentit, jotka vaikuttavat porauksen onnistumiseen.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi Tapojärvelle työohje, jolla saadaan yhdenmukaistettua porauskaavioiden suunnittelua ja luomista. Ohjeessa annetaan tarvittavat tiedot uusille suunnittelijoille, millä arvoilla ja mitoilla porauskaaviota lähdetään suunnittelemaan uuteen tai vanhaan työkohteeseen. Työohje otetaan käyttöön osaksi uusien porauskaavioiden suunnittelijoiden perehdytystä.

Abstract

Author(s): Seppänen Pekka

Title of the Publication: Drill Plan Design Guide

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: Tunnel, tunnel construction, underground mining

The purpose of this thesis was to unify and streamline Tapojärvi Oy 's operations in different locations, regarding the design of a drilling diagram with the help of work instructions. Tapojärvi Oy is a Finnish specialist in mining and factory services and a pioneer in the circular economy.

Sandvik's iSure and Epiroc's TunnelManager software are used in the design. In the finished work instructions, the design of the drilling diagram is covered from drawing the theoretical profile all the way to the export of the finished drilling diagram to the tunnel drilling equipment.

With the help of the thesis, operations will become more efficient at new work sites and the work of designers of new drilling diagrams can be facilitated by giving them good basic values with which to start implementing successful mining, without stumbling on previously detected errors.

In the thesis theory, the design of a drilling diagram is reviewed step by step and the issue is examined in a theoretical way. The work also presents the most important components of tunnel drilling Jumbo, which affect the success of drilling.

As a result of the thesis, a work guide was created for Tapojärvi, which can be used to harmonize the design and creation of drilling diagrams. The guide provides new designers with the necessary information on the values and dimensions at which to start designing a drilling diagram for a new or old work site. The work instructions will be implemented as part of the introduction to the designers of the new drilling diagrams.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kaivostoiminta ja kalliorakennus Suomessa.....	2
2.1	Historia	2
2.2	Nykypäivä	3
3	Maanalainen porauskalusto	5
3.1	Porakone	5
3.2	Syöttölaite	8
4	Kannen kuvaus.....	10
5	Tunnelinpäätylouhinnan suunnittelu iSure-ohjelmistolla	12
5.1	Suunnitelmien luku ja sisäistys.....	12
5.2	Uuden porauskaavion luominen ja porauskaaviotason valinta	14
5.3	Profiilin piirtäminen.....	15
5.4	Toleranssien ja apuprofiilien määrittäminen	20
5.5	Reikien sijoittelu	22
5.5.1	Etu ja reikäväli	22
5.5.2	Kaari ja apukaari.....	24
5.5.3	Avauksen suunnittelun teoria	26
5.5.4	Avauksen suunnittelu.....	30
5.5.5	Kenttäreikien sijoittelu	32
5.6	Reikien syvyyksien määrittäminen	38
5.7	Reikien suuntaus	40
5.8	Reikätyyppien määrittäminen	42
6	Yhteenveto	44
	Lähteet	45
	Litteet	

1 Johdanto

Tapojärvi on 65-vuotias pohjoissuomalainen perheyritys. Ydinosaamista ovat kaivos- ja tehdaspalvelut sekä kiertotalous. Yhtiö on Pohjois-Suomessa yksi suurimmista työnantajista. Tapojärvi työllistää tällä hetkellä yli 600 työntekijää 13 eri toimipisteessä ympäri Eurooppaa. Tapojärvi haluaa näyttää hyvää esimerkkiä ja olla edelläkävijä vastuullisena yrityksenä.

Tapojärvi Oy:n kasvu, laajentuminen ja työmaiden lisääntyminen ovat tekijöitä, jotka ovat luoneet tarpeen yhdenmukaistaa työn tekemisen metodeja yrityksen eri toimipisteissä. Porauskaavioiden suunnittelu on ollut aiemmin yhden/kahden työntekijän vastuulla. Tähän tarpeeseen yhdenmukaistaa toimintaa on tämän opinnäytetyön aiheeksi valikoitunut Tapojärvi Oy:lle suunnitteluohje porauskaavioiden suunnitteluun käytössä olevalla iSure ohjelmistolla.

Porakaavion suunnitteluohjeella saadaan hyvät lähtökohdat aloitettaessa uudella työmaalla louhintoja. Porauskaavion suunnitteluohjeessa on annettu tietoja ja arvoja, joilla lähdetään suorittamaan ensimmäisiä porauksia ja räjäytyksiä.

Peränajon edetessä suunnitelmia muokataan sen mukaan, kuinka louhinnat onnistuvat. Peränajo käsittää porauksen, panostuksen, räjäytyksen, lastaamisen, kuljetuksen, rusnauksen, ruiskubetonoinnin pulttauksen ja verkotuksen. Porauskaavion suunnittelussa onnistuminen ja tätä kautta räjäytyksen onnistuminen vaikuttaa kaikkiin perän ajon työvaiheisiin ja on siksi yksi tärkeimmistä osa-alueista peränajossa. Vaikuttavia seikkoja ovat muun muassa räjäytettävän katkon pituuden lähtevyyden analysointi, räjäytyksessä rikkoontuneen kallion raekoko ja suunnitellussa louhintaprofiilin mitoissa pysyminen, niin sanottu ryöstö.

Porauskaavion suunnitteluohje toteutui Sandvikin iSure-ohjelmistolle. Yrityksessä ovat käytössä Sandvikin ja Epirocin tunnelinporauslaitteistot. Sandvikin ohjelmistoa apuna käyttäen saadaan myös suunnitelmat siirrettyä Epirocin laitteistoille.

Opinnäytetyön tuotoksena syntyi Tapojärvi oy:lle työohje, jossa on käyty yksityiskohtaisesti läpi porauskaavion suunnittelu. Työohjeessa on annettu arvoja ja mittoja, joita on saatu kokemuksepäisesti ja niin sanotulla hiljaisella tiedolla. Tässä opinnäytetyön osiossa nuo edellä mainitut asiat on korvattu pääsääntöisesti teorian tiedolla eri lähteistä hakien.

2 Kaivostoiminta ja kalliorakennus Suomessa

2.1 Historia

Suomessa vanhimmat louhintatyöt liittyvät kaivostoimintaan ja linnoituksiin. Suomen vanhin Ojamon rautakaivos aloitti toimintansa 1400-luvulla Lohjalla. 1700-luvun loppupuolella suoritettiin runsaasti louhintatöitä Suomenlinnan (Viapori) rakennustöiden yhteydessä. Ensimmäisen Saimaan kanavan rakentamiseen 1800-luvun puolivälissä liittyi myös huomattava määrä louhintaa. Louhinnan räjähdettäineenä käytettiin mustaruutia. (*Tunneli- ja kalliorakennus. 1* 1987 19.) Mustaruudin valmistuksen Suomessa aloitti Gustaf Adolf Wasastjerna vuonna 1824. Suurin osa ruudista vietiin Pietariin, mutta sitä käytettiin myös Saimaan kanavan ja ensimmäisten rautateiden rakentamiseen. (Vuolio & Halonen 2010, 21.)

Pohjankurun (kuva 1) 156 metrin pituinen rautatietunneli on tiettävästi vanhin Suomessa toteutettu maanalainen kalliorakennuskohde, joka valmistui vuonna 1898. (*Tunneli- ja kalliorakennus. 1* 1987 19.)



Kuva 1. Pohjankurun hylätyn rautatietunnelin suuaukko

Suomen vanhin vielä 1980-luvulla toiminut louhintaliike Elovuori oy on perustettu vuonna 1911. Ennen ensimmäistä maailmansotaa kalliorakennustyöt suoritettiin urakalla. Urakoitsijaliikkeet tekivät linnoitustöiden ohella talonrakennustöiden pohjatöihin liittyviä louhintoja. Kalliorakennustoiminta aina toiseen maailmansotaan asti pysyi verraten vähäisenä lukuun ottamatta linnoitustöitä.

1930–1940 luvuilla puolustusvoimien toimesta linnoitustöiden lisäksi kallioon louhittiin joitakin tarvike- ja räjähdysainevarastoja, mutta näiden määrä kokonaisuudessaan on pieni. Louhintamäärien kasvu kalliorakentamiseen liittyen alkoi Suomessa 1950-luvulla todella voimakkaasti, jolloin avolouhinta- ja tunnelitöitä tehtiin runsaasti muun muassa voimalaitosrakentamisessa.

Kalliorakentamisen huippukausi sijoittui 1960-luvulle, jolloin erityisesti väestönsuojia (kuva 2) rakennettiin kiivaalla tahdilla. Kalliorakentamista parhaimmillaan edustivat laite- ja väestösuojat, sillä vain noin 30 prosenttia kokonaiskustannuksista koski kalliorakentamista, loppujen kustannuksien jäädessä varustelujen ja viimeistelyjen osalle. (*Tunneli- ja kalliorakennus 1 1987, 19.*)



Kuva 2. Ruolahden alle 1970 luvulla rakennettu väestönsuoja

2.2 Nykypäivä

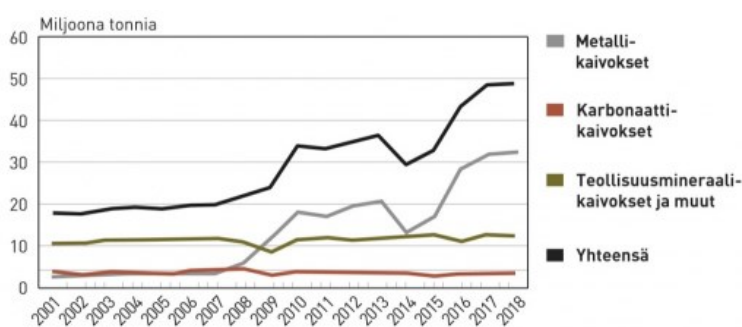
Suomen kansantaloudessa kaivannaisteollisuuden merkitys suorasti on noin neljä prosenttia, mutta koko merkitys on huomattavasti suurempi, koska kaivannaisteollisuus tuottaa raaka-aineita koko teollisuudelle ja rakennusallalle noin kolmanneksen. Kaivannaisteollisuuteen luetaan kuuluviksi teollisuusmineraalit ja -kivet, luonnonkiviteollisuus, raaka-aineiden etsintä, metalliset

malmit, laitevalmistajat, urakoitsijat sekä kaivannaisteollisuutta tukevat palvelut. (Lappalainen, Hakapää, Paalumäki, Kaivosteollisuus (yhdistys), & Opetushallitus 2015, 19.)

Suomessa toimii 46 kaivosta, joiden liikevaihto noin on 2 miljardia euroa. Vuonna 2018 henkilöstöä oli kaivoksilla noin 5100 henkilöä, joista omaa henkilöstöä noin 2700 ja alihankkijoita noin 2400. Kansantalouteen kaivosteollisuuden arvonlisän vaikutus vuonna 2018 oli noin 1,2 miljardia euroa.

Vuonna 2018 metallirikasteiden vienti oli arvoltaan 484 miljoonaa euroa, 0,475 miljoonaa tonnia. Tuonti samana vuonna oli arvoltaan 1,7 miljardia euroa, 4,9 miljoonaa tonnia. Vuonna 2018 malminetsintää harjoitti Suomessa 40 eri yhtiötä.

Metallimalmikaivoksia on suomessa 11 kappaletta, joiden louhinta vuonna 2018 oli 32,5 miljoonaa malmitonnia (kuva 3). Kolme suurinta metallituotetta: sinkki 85 000 tonnia, kupari 46 700 tonnia ja nikkeli 43 600 tonnia. Suurimmat neljä jalometalliryhmää: hopea 12 800 kg, kulta 8 700 kg, platina 1 576 kg ja palladium 1 157 kg.



Kuva 3. Malmi- ja hyötykivilouhinta 2001–2018 (Kaivosteollisuus, 2020)

Mineraaleja louhittiin vuonna 2018 16,5 miljoonaa tonnia 28:sta ei teollisuusmineraalikaivoksesta ja -louhoksesta. Karbonaatti, dolomiitit, apatiitti ja talkki olivat suurimmat teollisuusmineraaliryhmät.

Kaivosalan koulutusta Suomessa tarjoaa 6 yliopistoa, 4 ammattikorkeakoulua ja 12 ammatti- tai aikuisopistoa. Kaivosalan tärkeimmät tutkimuslaitokset ovat Syke (Suomen ympäristökeskus), GTK (Geologian tutkimuskeskus) ja VTT (teknologian tutkimuskeskus).

Fraser Institute 2019 Mining Survey arvioi Suomen maailman toiseksi houkuttelevimmaksi maaksi kaivosinvestoinneille (Kaivosteollisuus, 2020).

3 Maanalainen porauskalusto

Porajumbo (kuva 4) on vallitseva porakalustotyyppi poraus- ja räjäytysmenetelmässä. Yhdellä keralla porattavaan pinta-alaan voidaan vaikuttaa porakalustovalinnoilla. Porakalustovalinnassa porajumbon ulottuvuus ja puomien määrä ovat ratkaisevia arvoja. Kalustovalinnat vaikuttavat myös tukeutumisnopeuteen ja porareikien suoruuteen. (Hakkila 2014, 19.)

Porakaluston valinta on oleellinen osa onnistunutta louhintatyömaan suunnittelua. Ennen kaikkea on tärkeää, että laitteet ovat pitkälle kehitettyjä ja varmatoimisia. Louhintatyömaan muun kaluston valinta nivoutuu oleellisesti porauskaluston valinnan ympärille. Pääkriteerit louhintatyömaan kalustoa valittaessa ovat riittävä teho projektin urakan viemiseksi loppuun aikataulussa, käyttökustannukset ja luotettavuus. (Vuolio & Halonen 2010, 223.)

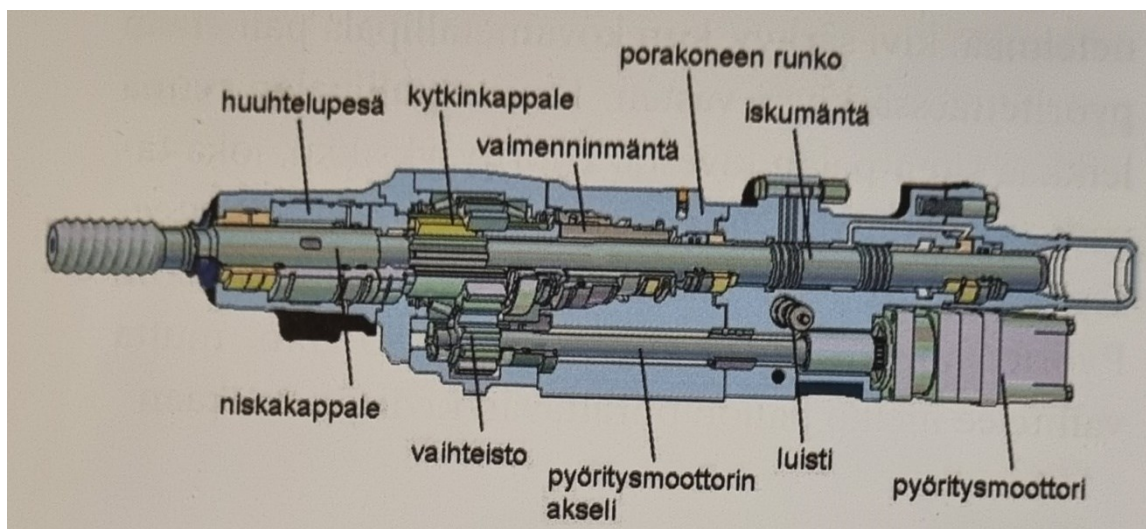


Kuva 4. Porajumbo Epiroc (*Atlas Copco Annual report, 2009*).

3.1 Porakone

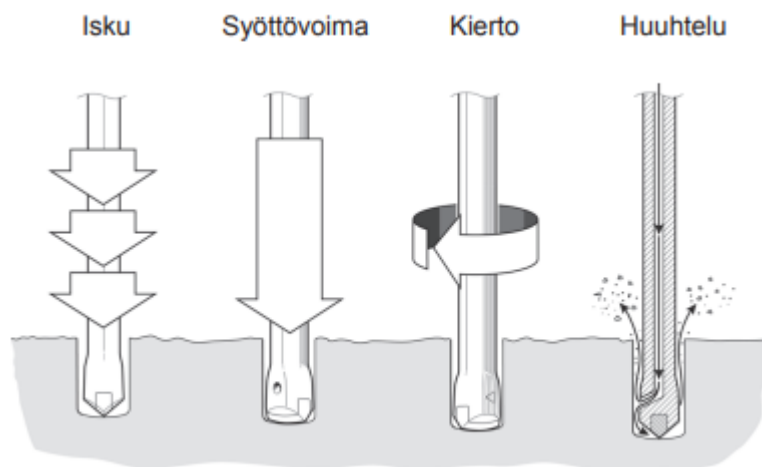
Porakoneeksi valitaan joko iskevä tai rotaatioporakone kivilajin mukaan. Iskevä porakone on ainut vaihtoehto Suomeen kovien kivilajien takia (kuva 5).

Porakone valitaan halutun reikäkoon, kaluston ja reikäpituuden mukaan. Yleisimmät reikäkoot ovat nykypäivänä 48–54 millimetriä. Kaluston eli tankojen ja katkojen pituus vaihtelee 4,5–6 metrisä. Tunkeutumanopeus hydraulisilla porakoneilla on vaihteleva kallio-olosuhteista riippuen 1,0–5,0 metriä/minuutissa. (Vuolio & Halonen 2010, 224.)



Kuva 5. COP1838ME porakoneen rakenne

Porauksen osatekijät (kuva 6) ovat iskuenergia, pyöritysvoima, syöttövoima, huuhtelu ja rekylin eli porauksesta syntyvän vastakkaissuuntaisen vastaiskun vaimennus (kuva 6).



Kuva 6. Iskuporauksen periaate (Käyttöohje Atlas Copco BBD-12DS).

Korkeapaineista hydraulioöljyä johdetaan vuorotellen iskumännän etu- ja takapuolelle, jolloin saadaan mäntä nopeaan edestakaiseen liikkeeseen. Porakoneen rungon eri lohkoihin on porattu kanavia, joita pitkin hydraulioöljy virtaa porakoneen eri osiin. Mäntä saadaan eteen- ja taaksepäin kiihdyttävään liikkeeseen luistin avulla, joka jakaa öljyvirran männän molemmin puolin. Mäntä lyö jokaisen liikesarjan etuasennossa niskakappaleen iskupintaan ja saa aikaan iskuaallon, joka sitten lähtee etenemään porakalustoa pitkin porakruunuun ja kallioon. (Lappalainen et al. 2015 161–162.)

Kallion rikkoontuminen iskuporauksessa tapahtuu painamalla porakruunua eli kovametallinastaa kalliota vasten porareiässä. Kosketuskohdan kallioon muodostuu puristusjännitys, jota lisätään kasvattamalla syöttövoimaa. Murtolujuuden ylittyessä kallioon muodostuu rakoilua. Kallion palasten irtoamista rakoilun edetessä kutsutaan lastuamiseksi, jolloin puristusjännitys heikkenee porakruunun nastan ja kallion välisen kosketuksen menettämisen vuoksi. Porakruunuun kohdistuvalla syöttövoimalla saadaan edellä mainittu prosessi toistumaan ja näin porakruunu jatkaa tunkeutumista. (Rautanen 2016, 13.)

Nykyaikaiset porakoneet on varustettu rekyylivaimennusjärjestelmällä. Rekyylivaimennuksen tarkoitus on vähentää kallion kosketuksesta johtuvaa haitallista iskuaallon heijastumista takaisin porakoneeseen. Rekyylivaimennus on toteutettu iskumännän ympärillä olevalla sylinterimäisellä vaimenninmännällä. Vaimenninmäntä ottaa vastaan rekyyli-iskun männän takana olevan hydraulioöljyn avulla, joka muuttaa rekyylin liike-energian lämmöksi.

Porakone on kiinni kelkassa, joka liikkuu porapuomin päässä olevassa syöttölaitteessa. Syöttövoiman karkeasäätö tehdään syöttölaitteen syöttömoottorin tai syöttösynterinin avulla säätämällä näiden toimilaitteiden hydraulipainetta. Porauksen aikana syöttövoimaa hienosäädetään koko ajan automaattisesti porakoneen vaimennuspiirin eli rekyylivaimennusjärjestelmän ja porauslaitteen ohjausjärjestelmän avulla.

Porauksessa tarvittava pyöritys saadaan aikaan pyöritysmoottorin avulla. Vääntömomentin ja pyöritysnopeuden mukaan valitaan porakoneeseen sopiva pyöritysmoottori. Moottorien rakenteen takia vääntömomentin kasvaessa kierrosluku ja pyöritysnopeus pienenevät. Käytettävän porareiän läpimitta asettaa vaatimukset pyöritysnopeudelle ja vääntömomentille. Kaluston ja reikäkoon kasvaessa tarvitaan suurempaa vääntömomenttia poraukseen ja samalla pyöritysnopeus luonnollisesti pienenee.

Nykyaikaisissa maanalaisissa porakoneissa käytetään pääsääntöisesti erillisvesihuuhtelua. Porauksessa tarvittava vesi johdetaan letkuja ja putkia pitkin porakoneen etuosassa sijaitsevaan huuhtelupesään. Huuhtelupesästä vesi johdetaan niskakappaleessa olevan reiän kautta porakoneen, jota pitkin vesi saadaan porattavan reiän pohjalle jäähdyttämään porakruunua ja poistamaan porauksessa syntyvään porasoijaa reiästä. (Lappalainen et al. 2015, 161-162.)

3.2 Syöttölaite

Päältä lyövät kallioporakoneet on asennettu kelkkaan, joka liikkuu syöttölaitteessa (kuva 7). Aikaisemmin porakoneen syöttö tapahtui mekaanisesti ruuvin välityksellä, mutta nykyisin syöttö tapahtuu ketjun tai hydrauliiikan välityksellä. Syöttövoimaa säädellään käytettävän porauskaluston, kalliolaadun ja porakoneen mukaan. Syöttölaitteen tehtävän on pitää porausyksikkö tukevasti paikallaan ja että syöttövoimaa on riittävästi pitämään porakruunu jatkuvasti kosketuksissa porattavan reiän pohjaan.



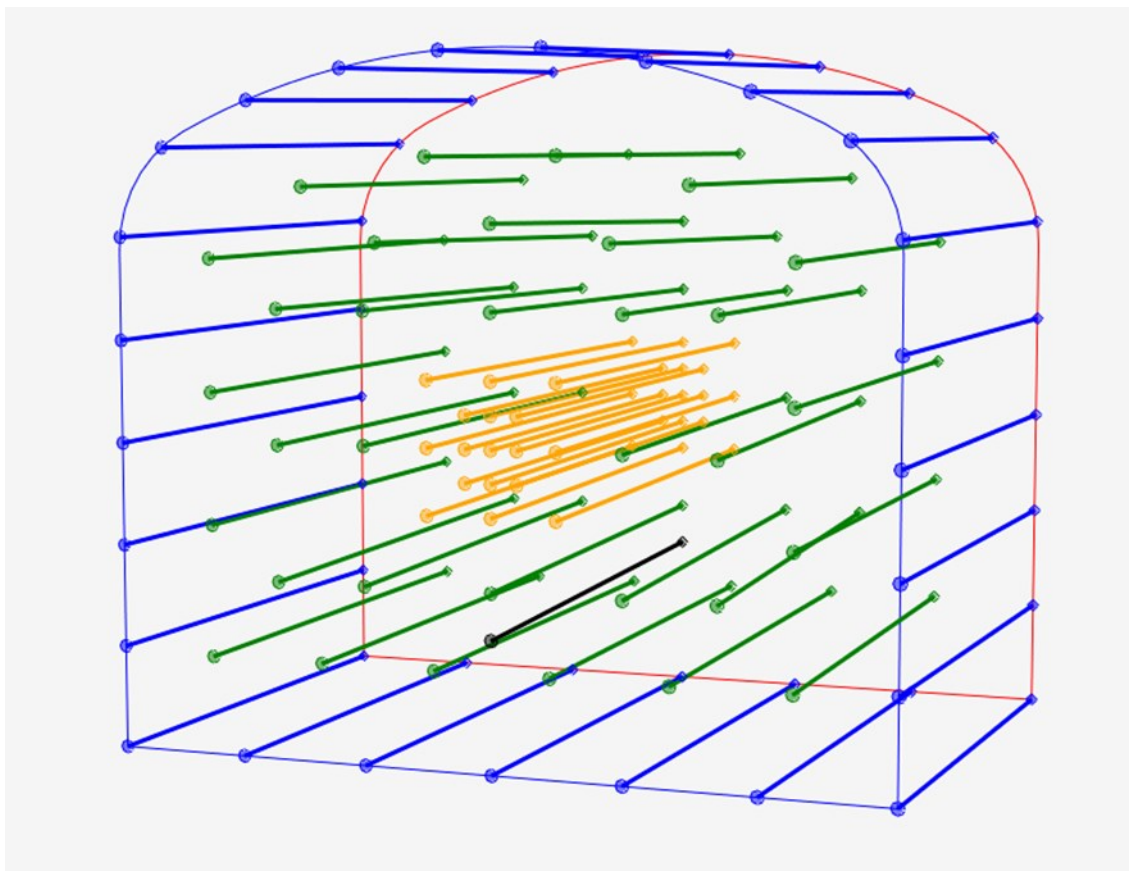
Kuva 7. Hydraulinen syöttölaite

Liian suurella syöttövoimalla poratessa on vaarana porakangen juuttuminen kiinni, joka johtuu porakangen ja porakruunun pyörimisnopeuden pienenemisestä. Syöttönopeuden nostaminen

parantaa tunkeutumisenopeutta vain määrättyyn pisteeseen saakka, jonka jälkeen tunkeutumisenopeus pienenee. Liian pientä syöttövoimaa käytettäessä energiansiirtokyky heikkenee, koska liitokset holkeissa, porakruunussa ja poratangoissa pyrkivät avautumaan ja tangonpäät eivät ole enää yhteydessä toisiinsa. Tässä tapauksessa holkit, niskakappaleet ja kiertet kuluvat tavallista enemmän. Tunkeutumisenopeus pienenee heikenneen energiansiirron takia porakaluston läpi, eikä porakruunu ole enää jatkuvasti kosketuksissa reiän pohjaan. (Lappalainen et al. 2015, 159–160.)

4 Kannen kuvaus

Valmiissa porauskaaviossa (kuva 8) katkon eri osien rei'ille valitaan reikätyyppi sijainnin ja porauksen tarkkuuden mukaan. Katkolla tarkoitetaan yhdellä räjäytyksellä louhittavaa tunnelin osuutta tai kuilua. (Sipola et al. 2018, 25.) Tunnelin porauskaaviota suunniteltaessa on päämääränä optimi reikämäärän sijoittaminen oikeisiin paikkoihin. Poraustyössä on huolehdittava siitä, että reiät aloitetaan oikeista paikoista ja ne suunnataan tarkasti.



Kuva 8. Valmis porauskaavio tarkasteltuna kolmiulotteisesti

Keltaisella merkattuja reikiä kutsutaan avaukseksi. Katkon räjäytys alkaa avauksesta ja sen poraus on tarkkaa suuresta ominaisporauksesta johtuen. Avauksen räjäytyksessä on kivelle annettava tarpeeksi aikaa irrota kolmeen isommaksi porattuun reikään (kuva 30), joita kutsutaan avarrusreiäksi. Avauksen räjäytys kestää yleensä noin 2000 ms. ja kivimassa siitä liikkuu noin 40–60 m/s nopeudella.

Vihreällä merkattuja reikiä kutsutaan kenttärei'iksi. Kenttärei'illä poraustarkkuudella on enemmän toleranssia, jolloin porauslaitteen tehoa voidaan lisätä. Näin saadaan pienennettyä porausaikaa ja tehostettua toimintaa.

Sinisellä merkatuilla pohja- ja kaarirei'illä on taas merkittävä asema onnistuneen katkon räjäytyksessä. Varsinkin katkon seinillä ja katossa poraustarkkuus on tärkeää, jotta säästytään ylilouhinnalta ja kovilta.

Ylilouhinta tarkoittaa louhinnassa irronnutta ylimääräistä kalliomassaa, joka ulottuu teoreettisen louhinnan poikkileikkauksen ulkopuolelle. (Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje 2019, 10.)

Kova eli alilouhinta tarkoittaa teoreettisen poikkileikkauksen sisäpuolella olevaa ulkonemaa, joka alittaa louhintatoleranssin. (Sipola et al. 2018, 14.)

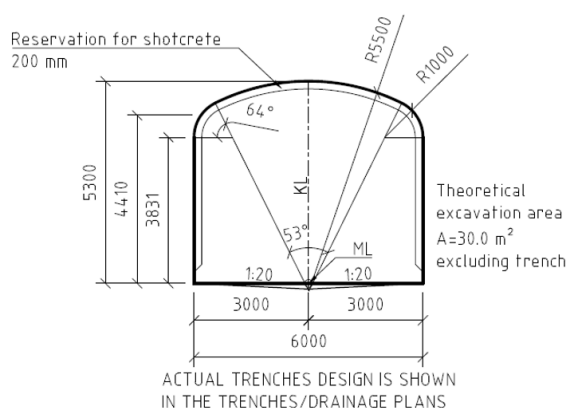
Koko katkon tyypillinen räjäytysaika 30 m² perissä kestää vaihtelevasti noin 4500 ja 6000 ms välillä. Perällä tarkoitetaan vaakasuoraa tai lähes vaakasuoraa tunnelia/kulkuväylää, jossa on peräseinä. (Sipola et al. 2018, 27.)

5 Tunnelinpäätylouhinnan suunnittelu iSure-ohjelmistolla

Porauskaaviot vaihtelevat suunnitellun perämuodon, peräkoon, kivilajin ja porarien tottumuksen mukaan. Kaivoksilla Suomessa peräkoko vaihtelee yleensä 15–40 m² välillä. Kokoon vaikuttavat kaivoksessa käytettävä kalusto ja perän tuleva käyttötarkoitus. Perämuotoon vaikuttavat tunnelin käyttötarkoituksen lisäksi muun muassa kalliomekaaniset tekijät, tuuletusputkiston ja muiden tunneliin suunniteltujen rakenteiden sijoitus. Yleensä kullakin kaivoksella on käytössä omat kokemuksen pohjalta laaditut peruskaaviot. (Lappalainen et al., 2015, 151) Kokeneet porarit osaavat ja pystyvät muuttamaan suunniteltua porauskaaviota sen mukaan, millaiset olosuhteet porattavassa perässä on. Havaintoja porari tekee muun muassa edellisen katkon porareikien taipumisesta, peräseinässä näkyvistä ruhjeista ja edellisen räjäytyksen onnistumisesta. Jos edellisen katkon porareikissä on taipumaa, voi porari ennakoida tätä ja kääntää porattavaa reikää vastakkaiseen suuntaan, jolloin porattavan reiän pohja saavuttaa oikean suunnitellun paikan. Ruhjeita eli huonolaatuista kalliota havaittaessa porari voi siirtää avausta eri kohtaan suunnitellusta ehjälle ja ruhjeettomalle osalle perää.

5.1 Suunnitelmien luku ja sisäistys

Tässä ohjeessa käytetään esimerkkinä alla oleva kuvan (kuva 9) tunneliprofiilia, joka on käytössä yhdellä Suomen suurimmista maanalaisista kaivoksista. Kyseinen tunneliprofiili on yhdysperän suunnitelmasta, jossa liikennettä on paljon.



Kuva 9. Esimerkkisuunnitelma halutusta tunneliprofiilista

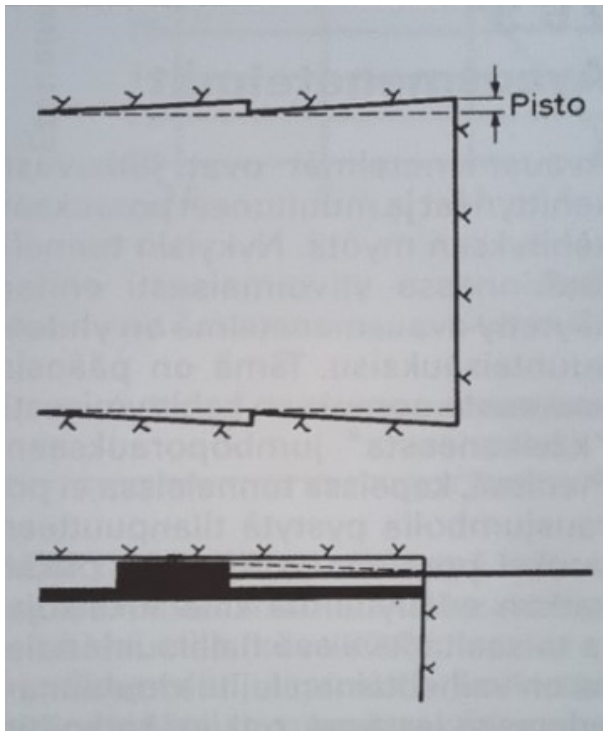
Kaavion nollakohtaa eli origoa ei ole ilmoitettu erikseen. Suunnitelmasta voidaan päätellä nollakohdan olevan pohjassa kaavion keskikohdalla. Jos on epävarmuutta nollakohdasta, on otettava yhteys peräprofiilin suunnittelijaan. Kaavion mitat on ilmoitettu millimetreinä, jotka porakaavion profiilin piirtämisvaiheessa muutetaan metreiksi. Origin oikean paikan asettaminen on erittäin tärkeää, jotta tunneli saadaan rakennettua oikeassa korossa ja suunnassa.



Porauskaavion Origo kuvaa porauskaavion pistettä $X=0$ ja $Z=0$.

Suunnitelmassa ei ole ilmoitettu toleransseja ylilouhinnalle. Tilaaja antaa toleranssit sille, kuinka paljon toteutunut louhinta voi poiketa suunnitellusta teoreettisesta tunneliprofiilista. Ylilouhinnan eli sallitun piston (kuva 10) teoreettisen profiilin ulkopuolelle saa selville muun muassa urakkasopimuksista.

Ylilouhintatunnelissa aiheuttaa pinta-alan kasvaessa lisääntyntä ruiskubetonoinnin tarvetta ja tilavuuden kasvaessa lisääntyntä lastaustyötä. Ylimääräisiä kustannuksia aiheuttaa myös tunnelin alilouhinta, jonka seurauksena joudutaan tekemään jälkilouhintaa profiilin sisäpuolelle jääneille kalliomassoille. (Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje, 2019.)



Kuva 10. Pisto

Piston tarve syntyy, kun porareikää joudutaan kääntämään teoreettisen reunan ulkopuolelle, jotta seuraavalla katkolla mahdollista aloittamaan porareikä oikeasta paikasta ilman tunnelin pinta-alan pienenemistä. (Vuolio & Halonen 2010, 225.)

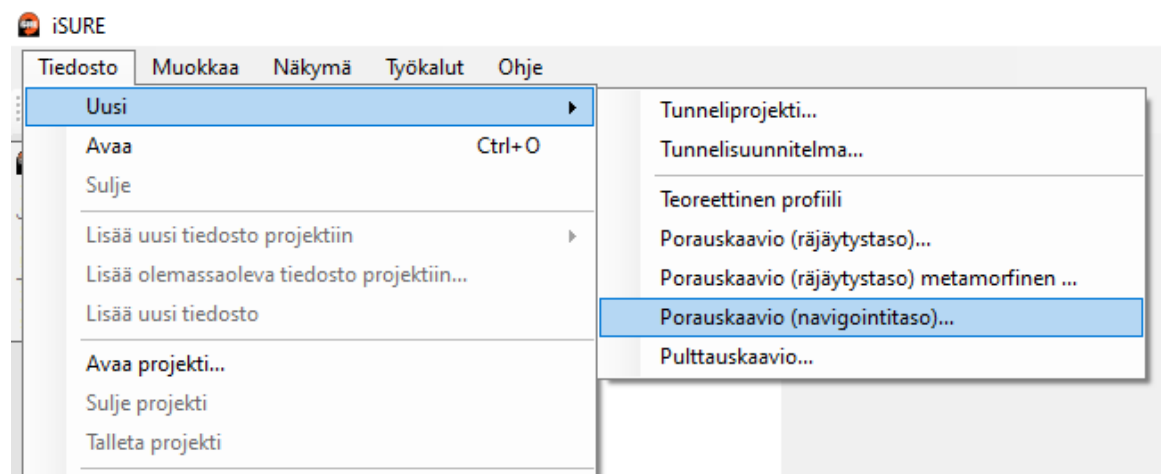
Porareiän kääntämisen tarve aiheutuu myös porakoneen fyysisistä mitoista. Porareiän saavuttaessa halutun syvyyden porakone siirtyy syöttölaitteen takaosasta etupäähän, jolloin tarve tilalle syntyy, ettei porakonetta ajeta vasten kaliota rikkoen samalla letkuja ja muita porakoneen osia.

Ohjearvo pistolle on 10 cm + 3 cm porausreikäsyvyydestä. Tämä ohjearvo rajoittaa piston 25–30 senttimetriin. (Vuolio & Halonen 2010, 226).

5.2 Uuden porauskaavion luominen ja porauskaaviotason valinta

Porauskaavion suunnittelu aloitetaan iSure-ohjelmistossa valitsemalla haluttu suunnittelutaso. Valitaan ”Porauskaavio (navigointitaso)”.

Porauskaavio voidaan suunnitella katkon pohjalta (kuva 11) tai navigointitasosta. Suunnittelutapojen vaihtaminen ei ole mahdollista valinnan jälkeen.



Kuva 11. Suunnittelutason valinta

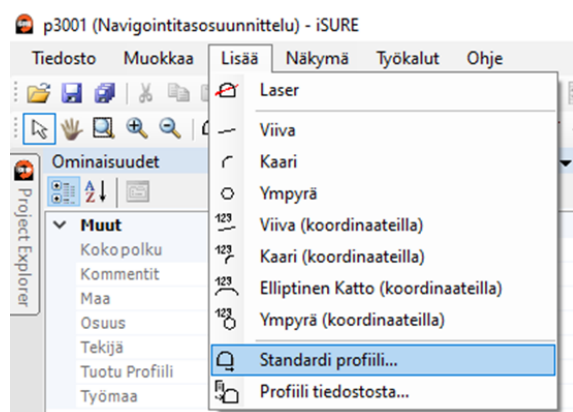
Annetaan uudelle porauskaavioille tiedot (kuva 12): porauskaavion nimi, tekijä ja työmaa. Kommenttiosioon voidaan laittaa tietoja esimerkiksi, jos kaaviota muokataan aiemmasta. Tämä helpottaa tulevaisuudessa tarkasteltaessa kaaviota.

Kuva 12. Porauskaavion tiedot lomake

5.3 Profiilin piirtäminen

Valitaan lisää ja standardiprofiili (kuva 13).

Profiili voidaan tuoda myös muista suunnitteluohjelmistoista valitsemalla profiili tiedostosta. Tällä valinnalla .dxf suunnittelutiedostot käyvät.



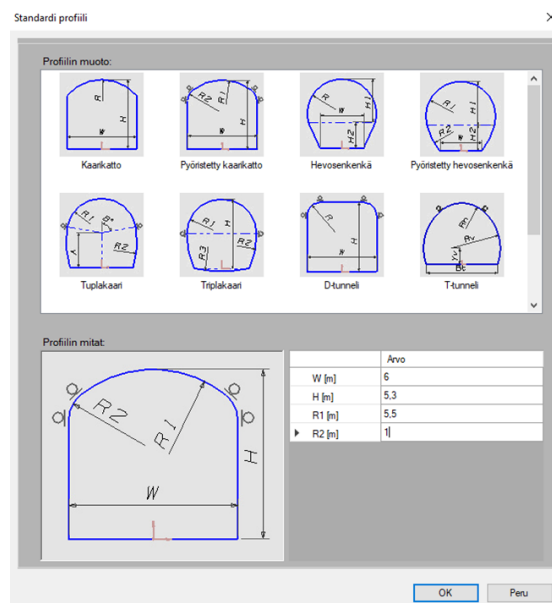
Kuva 13. Profiilin piirtämisen aloitus

Valitse valmiista profiilimuodoista se, jolla saat profiilin helpoiten piirrettyä. Profiilien muodon vaihtuessa tai tilanteessa, jossa ei voida suoraan käyttää standardeja valitaan lähimpänä oleva muoto ja aletaan muokata siitä profiilia oikeaksi.

Louhintaprofiilit laaditaan niin sanotuista pääprofiileista eli tilaajan määrittämästä teoreettisesta louhintaprofiilista ja niissä esitetään seuraavat asiat.

- profiilin tunnus
- teoreettisen louhinnan ja toleranssin laajuus suljetussa kalliotilassa mittalinjaan sidottuna
- sidontatiedot mittalinjaan pysty- ja vaakageometrialle
- keskilinja ja mittalinja holvinlakipisteen kohdalla
- päämitat: kokonaiskorkeus, mitoituskorkeus, holvi- ja pyöristyskaarien säteet, profiilin poikkipinta-ala, nuolikorkeus ja kokonaisleveys. (Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje 2019, 79.)

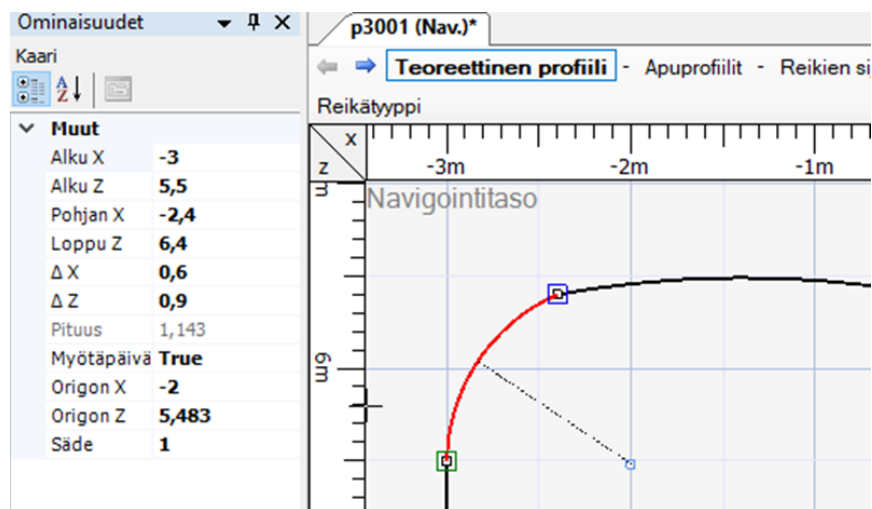
Tarkastele suunnittelutiedostoa ja aseta oikeat arvot omille paikoilleen (kuva 14). Arvoina käytetään metriä ja desimaalierottimena pilkkua.



Kuva 14. Standardiprofiilin valinta

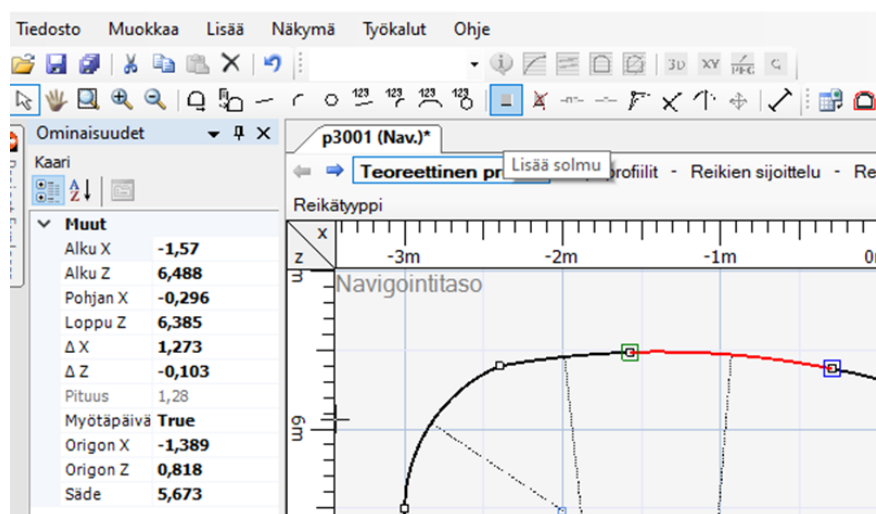
Jos standardiprofiilia ei voida suoraan käyttää.

Valitse lähin mahdollinen, syötä mitat ja lähde muokkaamaan sitä. Solmujen (kuva 15) aloitus ja lopetuspaikkoja muuttamalla saadaan teoreettinen profiili oikealle paikalle. Kaarien säteet on ilmoitettu suunnitelmissa, joista ne lisätään valitsemalla haluttu osio profiilista ja muuttamalla säde annetuksi.



Kuva 15. Valittujen solmujen ominaisuudet

Solmuja voidaan lisätä profiiliin, mikä mahdollistaa esimerkiksi, kuten alla kuva 16 vasemman puolen katon korotuksen lisäämisen vasempaan laitaan. Tarkasta tässä vaiheessa taas mitat oikeiksi.



Kuva 16. Solmujen lisääminen teoreettiselle profiilille

Objektien ominaisuuksien asettaminen

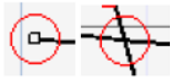
Ominaisuudet-ikkunan (kuva 18) tarkoitus on esittää käyttäjälle tarkat arvot valitusta kohteesta ja mahdollistaa arvojen muokkaamisen.

Käyttäjä voi valita näkymästä erilaisia objekteja (solmupisteitä, elementtejä) osoittamalla hiiren kursorilla halutun objektin päälle ja painamalla hiiren vasenta näppäintä. Solmupisteitä on myös mahdollista siirtää hiirellä painamalla hiiren vasen nappi pohjaan ja liikuttamalla hiiren kursoria. Valitut objektit siirtyvät hiiren kursorin mukana, ja kun hiiren nappi nostetaan ylös, ne asettuvat kyseisellä hetkellä sijaitsemaansa kohtaan. Usean objektin valinta suoritetaan Shift- tai Ctrl-painike pohjassa. (Sandvik Mining and Construction Oy Drills Tampere, 2015.)

Solmupiste (kuva 17): apuväline, jolla elementtejä voidaan muokata, liikutella ja kiinnittää toisiinsa. Apupisteet piirtyvät sinisellä, jotka ilmaisevat muun muassa kaarien säteitä.



Kuva 17. Solmu- ja apupiste



Teoreettisen profiilin suunnitteluvaiheesta poistumisen yhteydessä sovellus tarkastaa, että kaikki elementtien päät ovat yhteydessä toiseen elementtiin. Jos elementit eivät ole kiinni toisissaan, sovellus esittää virhekohdat punaisella ympyrällä. (Sandvik Mining and Construction Oy Drills Tampere, 2015.)

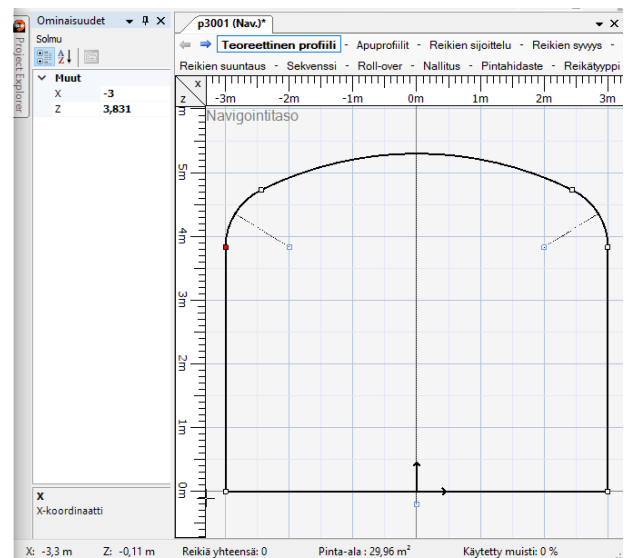
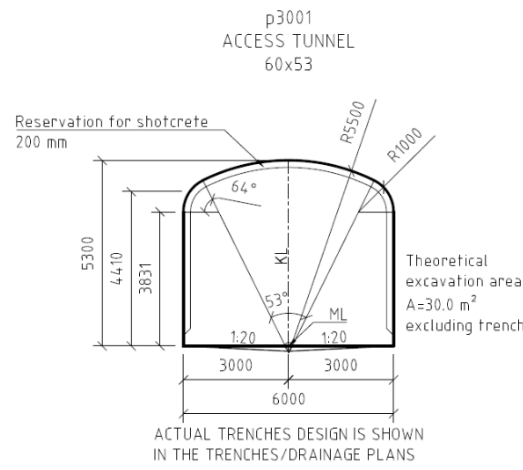
Ominaisuudet	
Kaari	
▼ Muut	
Alku X	-3
Alku Z	3,831
Pohjan X	-2,444
Loppu Z	4,727
Δ X	0,556
Δ Z	0,896
Pituus	1,11
Myötäpäivään	True
Origon X	-2
Origon Z	3,831
Säde	1

Kuva 18. Ominaisuudet-ikkuna ja valittujen objektien arvot

- Loppu X/Z: Elementin päätepisteen sijainti porauskaavion koordinaatistossa [m].
- Alku X/Z: Elementin alkupisteen sijainti porauskaavion koordinaatistossa [m].
- ΔX ja ΔY : Elementin päätepisteen sijainti suhteessa elementin alkupisteeseen [m].
- Pituus: Elementin pituus luettavissa [m].
- Myötäpäivään: Valittu kaaren suunta, True = myötäpäivään
- Origon X/Z: Elementin keskipisteen sijainti porauskaavion koordinaatistossa [m].
- Säde: Elementin säde [m].

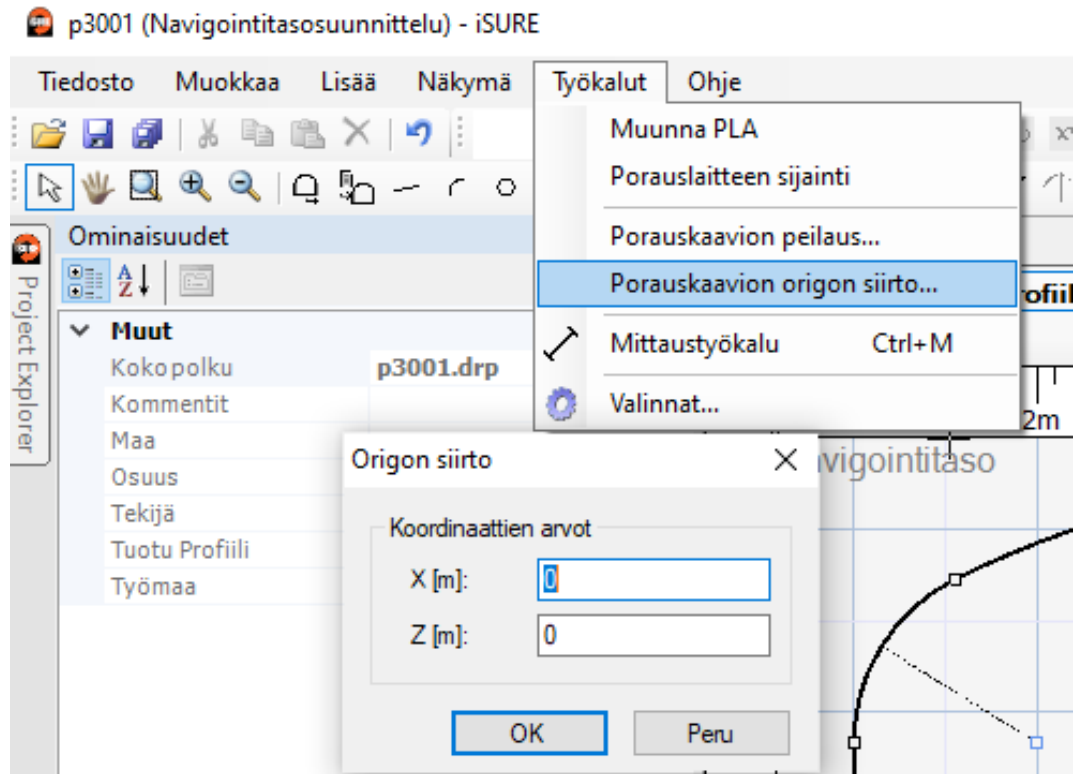
Profiilin mittojen, pinta-alan ja origon tarkastus.

Tarkastele solmukohtien mitat valitsemalla ne yksitellen (kuva 19) ja tarkastamalla arvot ominaisuudet-ikkunasta. Tässä kaaviossa pinta-alaksi on annettu 30 m^2 ja suunnitellun alan näkee iSuren alapalkista.



Kuva 19. Profiilin mittojen tarkastus

Origion siirto (kuva 20).



Kuva 20. Origion siirto

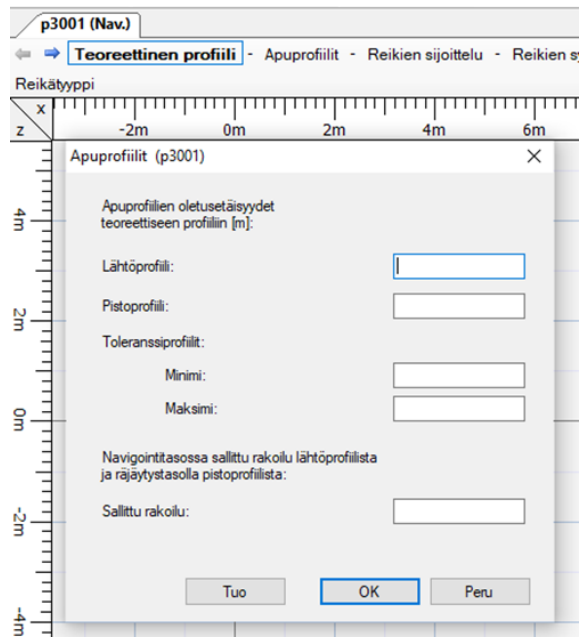
Origoa voidaan siirtää haluttuun suuntaan profiiliin nähden. Esimerkkisuunnitelmassa origo sijaitsee Z:0, X:0. Asettamalla koordinaattien arvot origo siirtyy arvon verran haluttuun suuntaan.

5.4 Toleranssien ja apuprofiilien määrittäminen

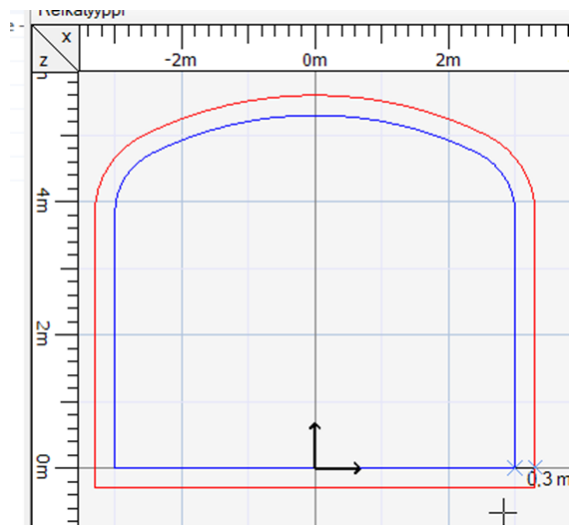
Siirry välilehdelle apuprofiilit, jossa määrätään käytettävä lähtö-, pistoprofiili.

Aseta lähtöprofiili (kuva 21) nolnaan, jolloin reikiä aletaan suunnitella teoreettisesta profiilista.

Aseta pistoprofiili (kuva 22) 0,3 m, jolloin reiän alkupisteen ja reiän loppupisteen ero kaavion pohjalla on 30 cm. Tämä antaa riittävästi tiloja sille, että porakoneen syöttöpalkki seuraavalla katkolla sopii niin, että reikä voidaan aloittaa oikeasta kohti teoreettiselta profiililta.



Kuva 21. Lähtö- ja pistoprofiilin määrittäminen



Kuva 22. Punaisella pisto- ja sinisellä lähtöprofiili

5.5 Reikien sijoittelu

5.5.1 Etu ja reikäväli

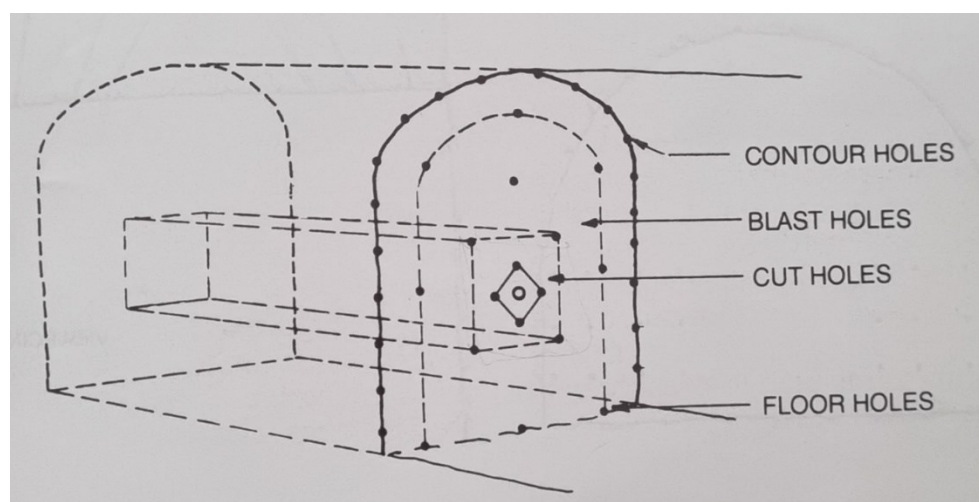
Tässä opinnäytetyössä käsitellään ja annetaan ainoastaan esimerkkietäisyyksiä karkeasti eduille ja reikäväleille. Oikeat ohjearvot saadaan selville työmaalla käytetyn reikäkoon sekä räjähdäineen mukaan. Yleisesti päästään hyviin tuloksiin käyttämällä etuna ja reikävälinä 1 metriä.

Edulla (kuva 37) tarkoitetaan reiän etäisyyttä louhittavan kallion etureunasta ja tunnelilouhinnassa etäisyyttä aikaisemmin räjäytettyyn vapaaseen tilaan.

Reikävälillä tarkoitetaan rivissä olevien reikien etäisyyttä toisiinsa.

Suunniteltaessa kallioräjäytyksiä (kuva 23) on erittäin tärkeää tietää räjähdysaineella saavutettava panostusaste (V). Mitä suurempi on panostusaste, sitä parempi on räjähdyspanoksen murskaava ja leikkaava vaikutus. (Vuolio, Halonen 2010, 66.)

Panostusasteella tarkoitetaan porausreikämetrillä olevaa räjähdäinemäärää (kg/m). Mitä suuremmaksi panostusaste saadaan eli mitä enemmän se lähestyy räjähdäineen ominaispainoa, sitä parempi on räjähdäineen teho porareikässä.

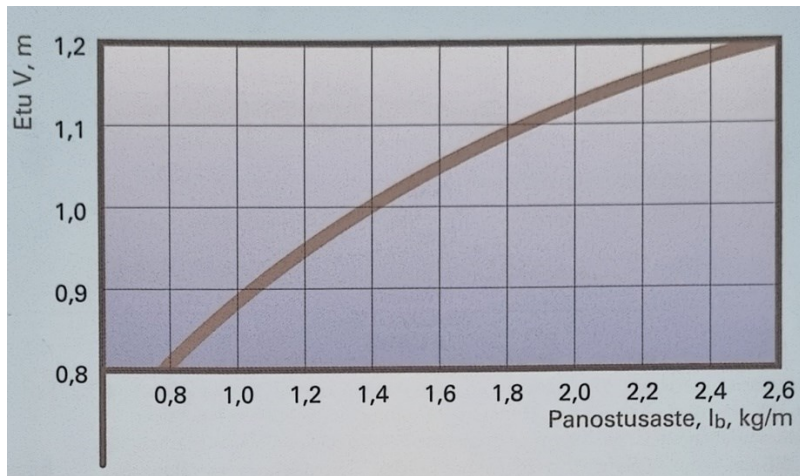


Kuva 23. Reikien ryhmittely porauskaaviossa

Reikien paikkojen suunnittelussa ja sijoittelussa voidaan käyttää kuvan 24, taulukon 1 ja taulukon 2 ohjearvoja. Katto- ja seinäreikien paikkojen suunnittelussa sovelletaan nykyisin poikkeuksetta tarkkuusloughintaa. Tunnelin seinät ja katto saadaan näin turvalliseksi työn ja käytön ajaksi. Etuja tarkkuusloughinnasta saadaan taloudellisesti vähentyneenä rusnaus- ja lujitustarpeena. Tarkkuusloughinnassa reiät panostetaan yleensä Kemiitti 8110 rannulla tai putkipanoksilla. Reikäväli ja etu pidetään pienempänä kuin ohjearvoissa annetuilla mitoilla. Tarvittava reikävälin lyhennys tutkitaan ensimmäisten räjäytysten jälkeen, jolloin nähdään konkreettisesti kyseisen kohteen kallion käyttäytyminen. (Vuolio & Halonen 2012, 231.)

Taulukko 1. Bulkkiräjähdyksaineiden panostusasteita (Vuolio & Halonen 2012, 66).

Räjähdyksaine	Reikäkoko Ø mm	Panostusaste kg/m	Tiheys kg/dm ³
Anfot	51	1,8	0,9
tavallinen	64	2,9	0,9
Ahti	76	4,1	0,9
Pito	89	5,6	0,9
	102	7,4	0,9
	115	9,3	0,9
Anfo 800	51	1,6	0,8
	64	2,6	0,8
	76	3,6	0,8
	89	5	0,8
	102	6,5	0,8
	115	8,3	0,8
Kemiitti 510	76	5,4	1,2
	89	7,5	1,2
	102	9,8	1,2
	115	12,4	1,2
	127	15,2	1,2




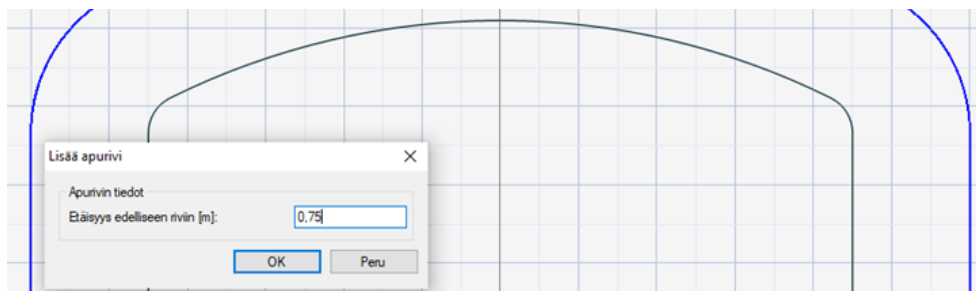
Kuva 24. Etu eri panostusasteilla

Taulukko 2. Reikäsijoittelu (Vuolio & Halonen 2012, 230.)


Katkon osa	Etu (m)	Reikäväli (m)	Pohjapanoksen korkeus (m)	Pohjapanos	Varsipanos
				Panostusaste (kg/m)	Panostusaste (kg/m)
Pohjareiät	$1,0 \times V$	$1,1 \times V$	$1/3 \times H$	lb	$1,0 \times lb$
Seinäreiät	$0,9 \times V$	$1,1 \times V$	$1/6 \times H$	lb	$0,4 \times lb$
Kattoreiät	$0,9 \times V$	$1,1 \times V$	$1/6 \times H$	lb	$0,3 \times lb$

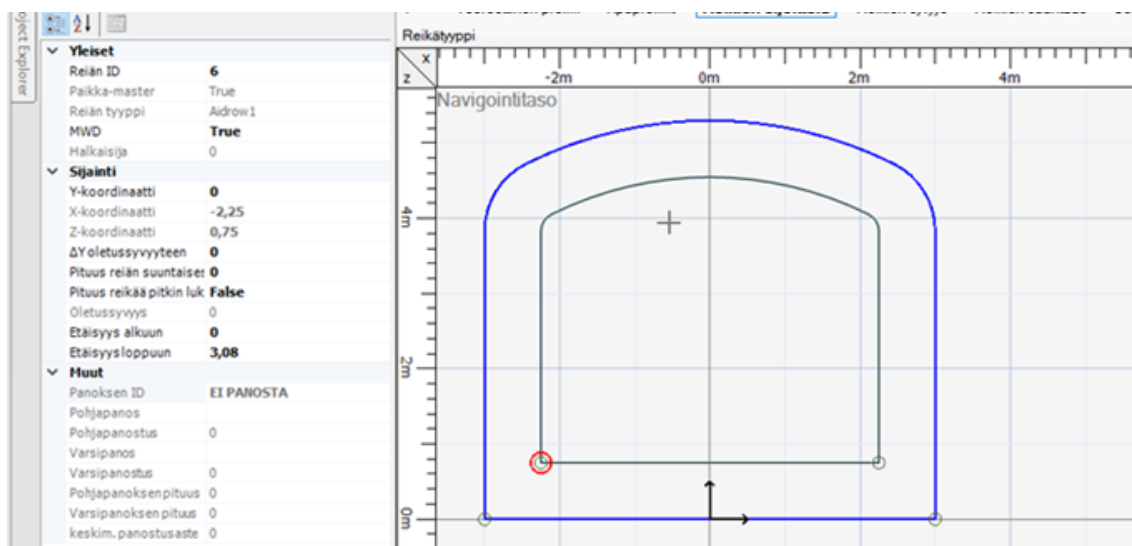
5.5.2 Kaari ja apukaari

Apurivin lisääminen porakaavioon (kuva 25). Helpottaa reikien sijoittelua apupohjan ja apukaari-reikien osalta.  työkalupalkin painikkeet "lisää apurivi" ja "poista apurivi". Lisää apurivi 0,9 metrin päähän ulommaisesta linjasta.



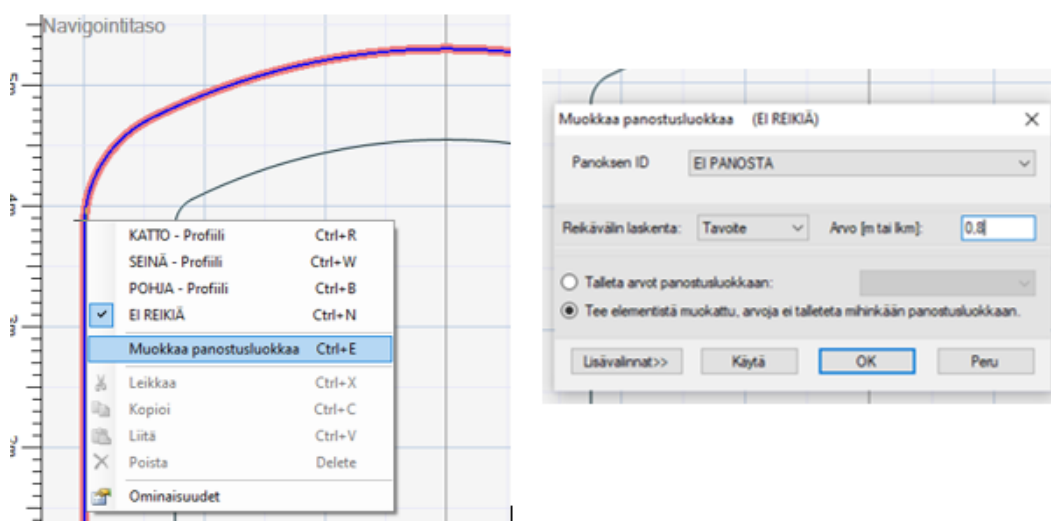
Kuva 25. Apulinjan lisääminen porauskaavioon

Painikkeella  saadaan lisättyä paikka master reiät suunnitelluille profiileille (kuva 26) sekä yksittäisen kenttäreiän lisääminen vapaasti kaavion alueelle. Sijoita kaksi master-reikä sisemmälle ja ulommalle profiilille nurkkiin.

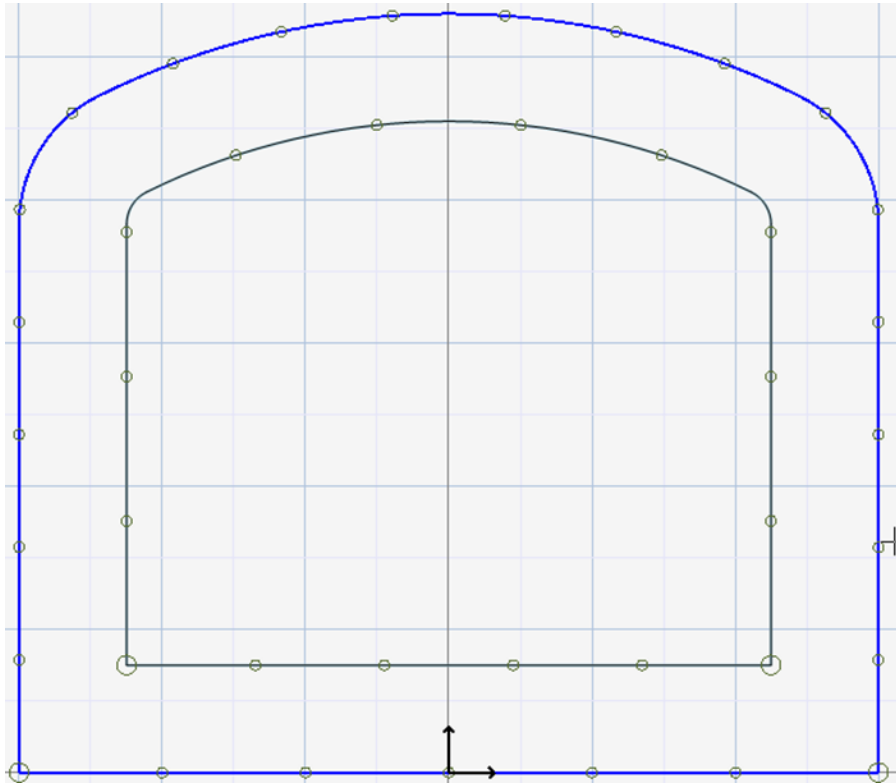


Kuva 26. Paikka master reikien lisääminen

Valitse seuraavaksi kaikille kaaren osille panostusluokka (kuva 27) sen mukaan, mikä osa porakaaviosta on kyseessä. Valinta tapahtuu hiiren kakkospainikkeella, jolloin avautuu valinta ”muokkaa panostusluokkaa”. Esimerkissä kuva 28) valittu kaari ja haluttu reikien etäisyys toisistaan 0,8 metriä.



Kuva 27. Panostusluokan tai reikävälin asettaminen



Kuva 28. Reiät generoituvat tasaisesti annetuilla arvoilla

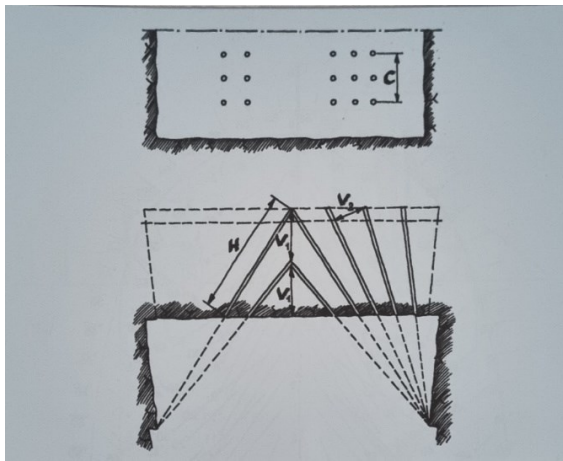
5.5.3 Avauksen suunnittelun teoria

Porauksen kehityksen myötä avausmenetelmät ovat jatkuvasti kehittyneet ja muuttuneet. Ylivoimaisesti eniten käytetty avausmenetelmä tunnelilouhinnassa on yhdensuuntaisaukaisu (kuva 29), jota kutsutaan myös suureikäavaukseksi. Tämä johtuu pääosin porauksen kehittymisestä käsikoneporauksesta jumboporauksen poraustehoon ja poraustarkkuuteen. Tilan puutteen vuoksi pienissä ja kapeissa tunneleissa ei porausjumbolla pystytä poraamaan riittävän pitkän katkon edellyttämiä kiila-aukaisuja (kuva 29). (Vuolio & Halonen 2010, 226.)

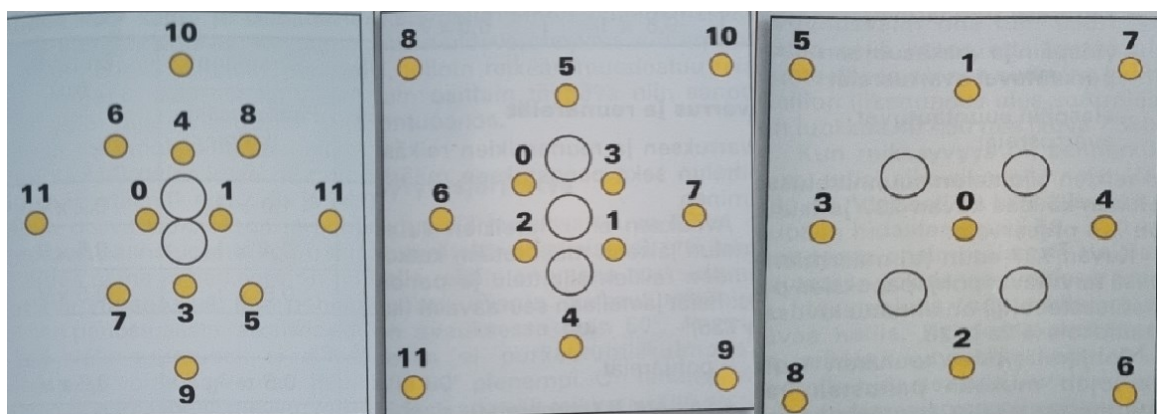
Ensimmäisenä räjäytettäviä reikiä tunnelilouhinnassa kutsutaan avaukseksi. Avauksessa ensimmäisenä räjähtävien reikien tehtävänä on irrottaa kiveä niin, että syntyy uusia vapaita pintoja, joita kohti purkautuminen voi jatkua vaihteittain reikien räjähtäessä. Ominaisporaus ja ominaispaukutus ovat paljon suurempia kuin avolouhinnassa, koska avausrei'illä on aluksi vain yksi vapaa purkautumissuunta ja pienelle avauksen alueelle porataan paljon porametrejä kuutiota kohti.

Avausrei'istä riippuu katkon lähteminen ja kiven rikkoontuminen. Avaus porataan yleensä tunne-
liprofiilin keskelle. (Holopainen et al. 1987, 241.)

Suurreikäavauksissa (kuva 30) käytetään yhtä tai useampaa halkaisijaltaan 89–102 millimetristä
reikää. Useampaakin suureikää joudutaan käyttämään helposti muurautuvassa tai murenevassa
kivessä. Tällöin on vaarana, että räjähdysen voima voi heiketä pehmeämmästä kiviaineesta joh-
tuen ja kivimassa ei murene avausreikiin. Suurreikäavausmalleja on useita erilaisia. Avaustavoista
yleisin lienee rivikatti, jossa on kaksi tai useampi suureikä (kuva 30). (Lappalainen et al. 2015,
151.)



Kuva 29. Aurakiilan yksinkertaistettu periaate



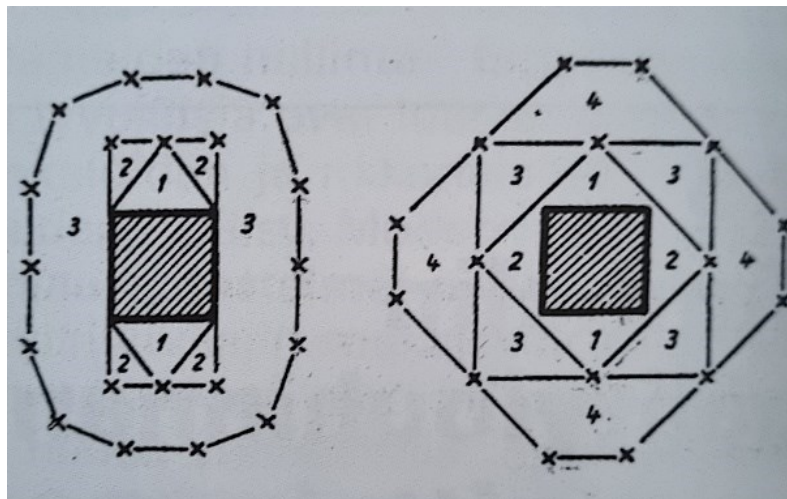
Kuva 30. Nykyaikaisia suureikäavauksia. Kahta ensimmäistä kutsutaan ns. rivikateiksi (riviau-
kaisu), avarusreikien ollessa samassa linjassa. Avausreiät porataan ensin samalla reikäkoolla kuin
katkon muutkin reiät. Lopuksi porakruunun paikalle vaihdetaan isompi avarrusterä. Pienempi
reikä toimii ohjausreikänä avarruskruunulle.

Suurreikäavauksella maksimikatkonpituudet nykyisin ovat 4,5–6,5 metriä. Suurreikäavauksen paikkaan porauskaaviossa vaikuttaa profiilinmuoto niin, että avauksen jälkeisten reikien sijoittelu voidaan tehdä koko peräprofiilille tasaisesti. Paras räjäytyksen tulos heiton ja lohkarokoon kannalta saavutetaan, jos aukaisu sijoitetaan perän keskelle. (Vuolio & Halonen 2010, 227)

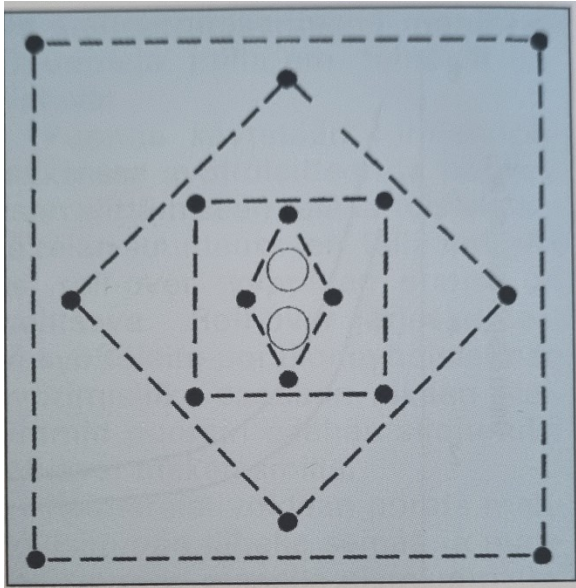
Suurreikien vaikutusta porauskaavion suunnitteluun on kuvattu lisää osiassa reikien syvyyksien määrittäminen.

Aukaisun sijoittaminen perän keskiosan alapuolelle aiheuttaa kivelle pienemmän heiton, mutta samalla lohkarokoko on suurempi. Jos avaus sijoitetaan keskiosan yläpuolelle, on tilanne päinvastainen. (Holopainen et al. 1987, 241.)

Panostetut reiät (kuva 30 keltaiset reiät) 45–54 millimetriä sijoitetaan lähelle suurreikiä siten, että irtoamiskulma on mahdollisimman suuri. Avaus jaetaan eri neliöihin (kuva 32) ja neliöiden lukumäärää rajoittaa se, että viimeisen neliön etu ei ole suurempi kuin avarusreikien etu suunnitellulla panostusasteella. Kahden neliömetrin pinta-ala on yleensä sopiva suurreikäavaukselle. Kuvassa 31 on esitetty kaksi erilaista purkautumisjärjestystä. Purkautumisjärjestys on oikeanpuoleisessa kuvassa järjestetty niin, että räjäytyksessä päästään mahdollisimman pian käyttämään hyödyksi yli 90 asteen purkautumiskulmaa, jota käytetään myös avolouhinnassa. (Vuolio & Halonen 2010, 227.)

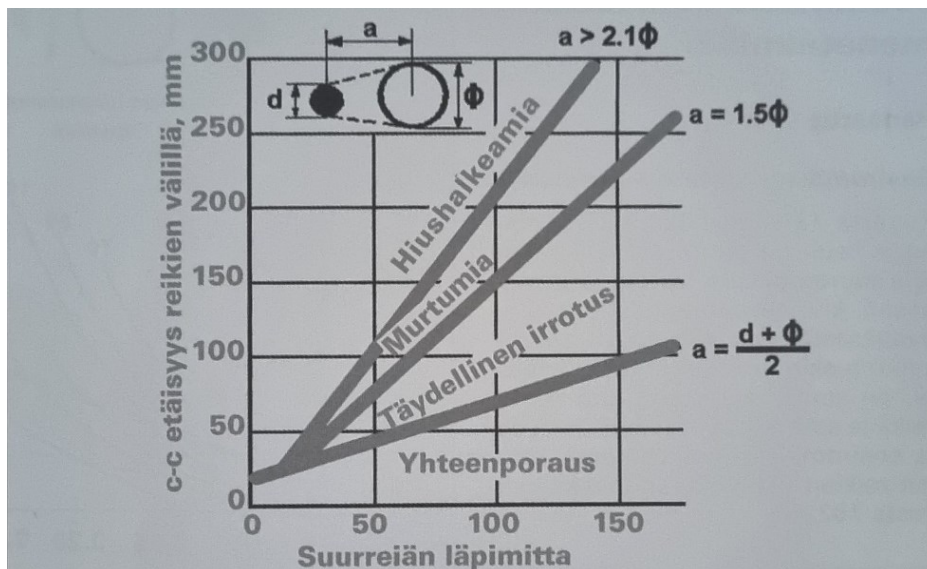


Kuva 31. Erilaisia purkautumisjärjestyksiä



Kuva 32. Avauksen jakaminen räjäytettäviin neliöihin

Kuvassa 33 eri suurreikäläpimitoilla ja suurreikien sekä panostettujen reikien etäisyyksillä saavutettava räjäytystulos. a = etäisyys (etu) suurreiän keskeltä panostetun reiän keskelle. Suurreikiä lähimpänä olevien reikien poraustarkkuus on erittäin tärkeää. Virhe porauksessa voi aiheuttaa sen, että räjäytyksessä syntyy vain murtumaa ja rakoilua. (Vuolio & Halonen 2010, 227.)



Kuva 33. Etu räjäytettävälle reiälle suhteessa avarrusreiän kokoon

5.5.4 Avauksen suunnittelu

Ennen avauksen suunnittelua on määritettävä reikien syvyys (katso ”Reikien syvyyksien määrittäminen”).

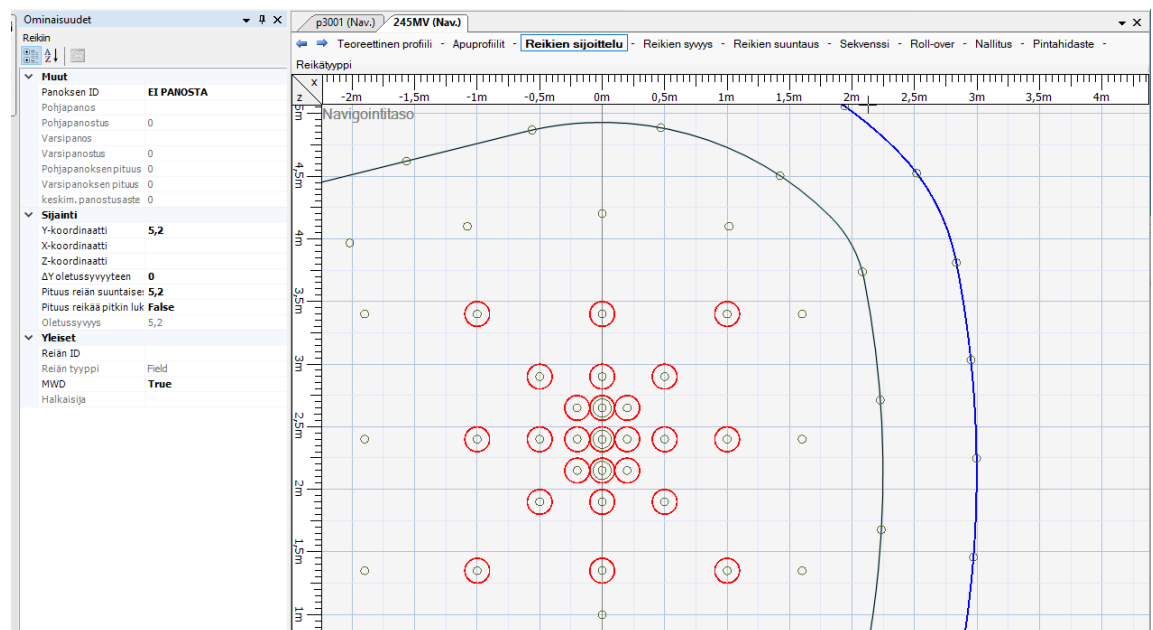
Avaus voidaan tuoda jo aiemmin suunnitellusta porakaaviosta (kuva 34), jolloin se onnistuu helpoiten.

Avaa aiemmin suunniteltu porakaavio.

Siirry välilehdelle reikien sijoittelu.

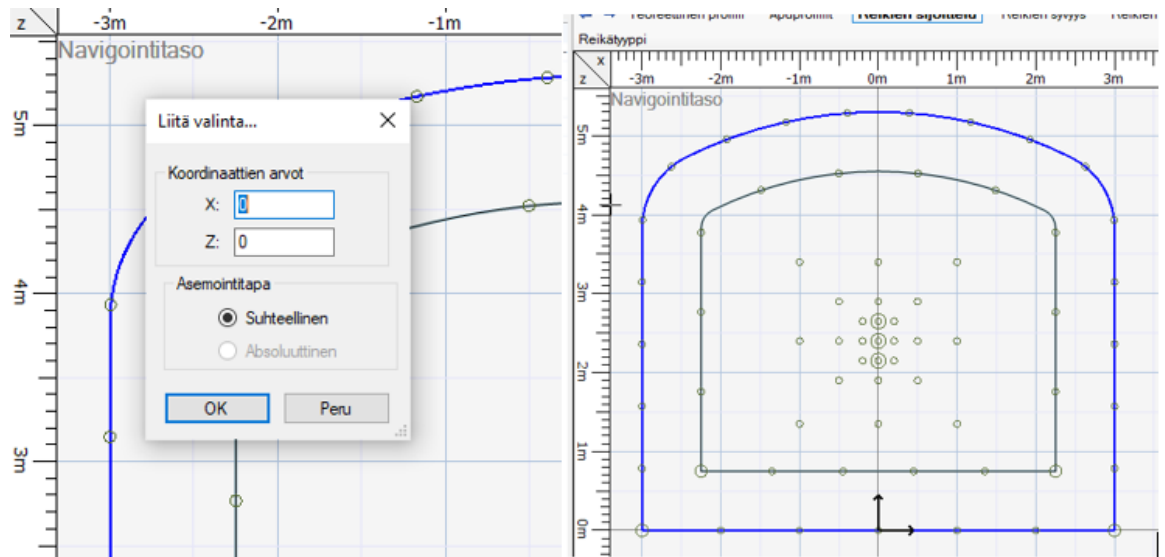
Valitse reiät, jotka haluat kopioida.

Hiiren kakkospainikkeella valitaan kopio.




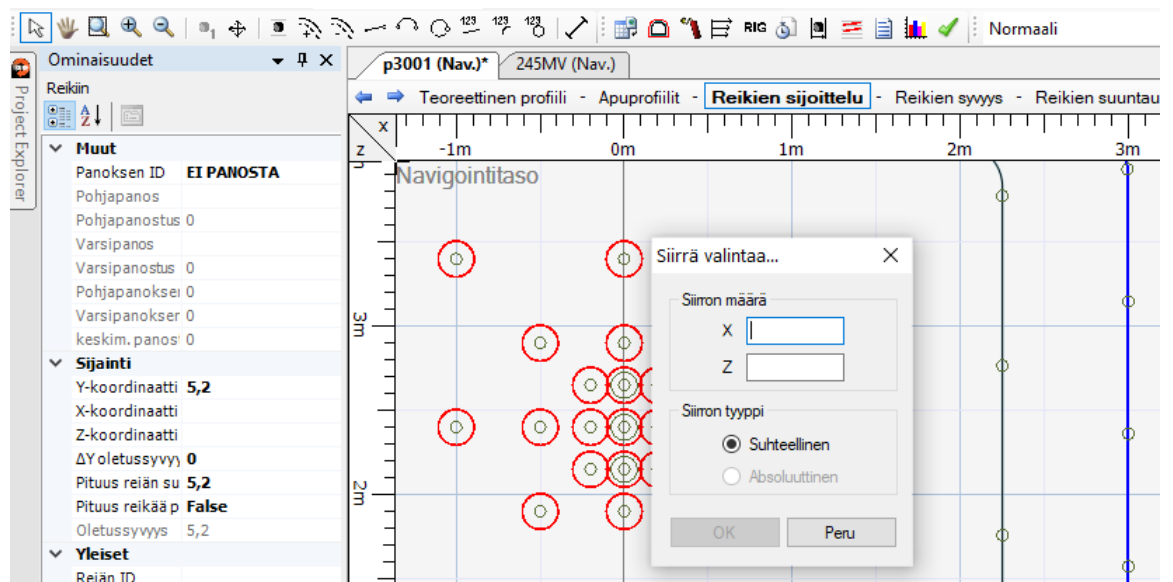
Kuva 34. Avauksen kopiointi toisesta suunnitelmasta

Siirry takaisin välilehdelle ”Reikien sijoittelu”. Klikkaa hiiren kakkospainiketta uudessa porakaaviossa ja valitse liitä. Jätetään Koordinaattien arvot oletuksiksi (kuva 35), jolloin avauksen paikka pysyy samana kuin kaaviosta, josta se tuodaan.



Kuva 35. Tuotujen reikien paikkaa voidaan siirtää suhteessa suunnitellun porakaavion origoon

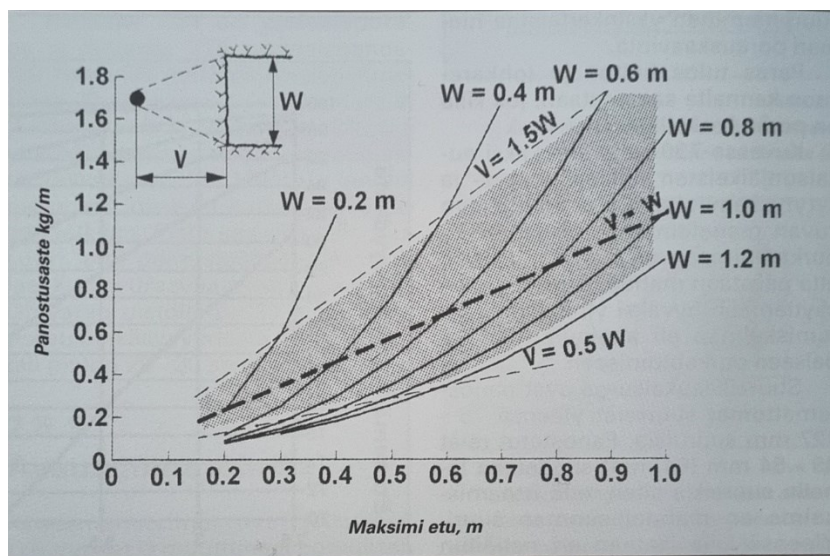
Avausta voidaan siirtää kokonaisena reikäryhmänä (kuva 36) myöhemmin, jos siihen tulee tarvetta. Siirtäminen onnistuu valitsemalla halutut reiät ja valitsemalla . Reikäryhmää tai reikää voidaan avautuvassa ikkunassa siirtää X ja Z suunnissa halutun arvon verran.



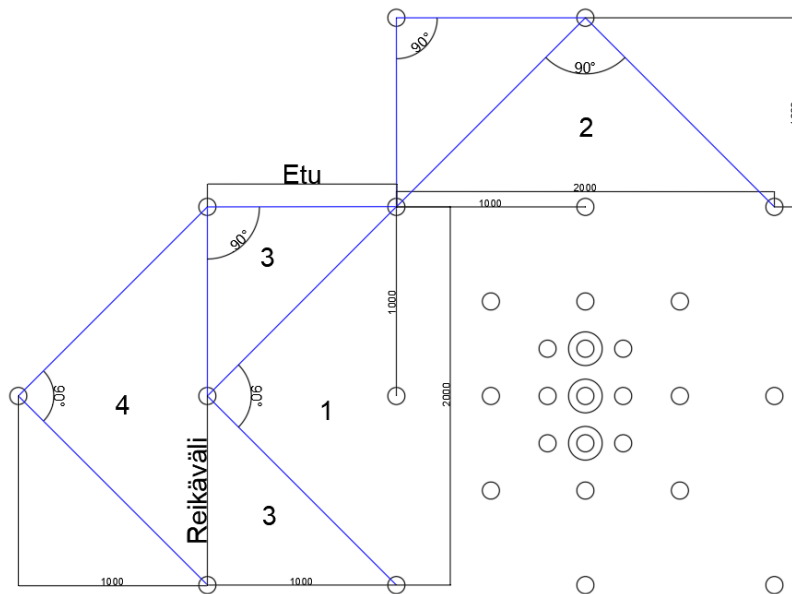
Kuva 36. Reikäryhmän tai reiän siirtäminen

5.5.5 Kenttäreikien sijoittelu

Kenttäreikiä suunniteltaessa periaate on, että räjäytetään kolmioita. Kulma räjäyttäessä vapaaseen tilaan ei saa alittaa alle 90 astetta (kuva 38). Alla olevassa kuvassa on numeroitu räjäytysjärjestys avauksen räjäytyksen jälkeen ja havainnollistettu räjäytettäviä kulmia. Räjäytysjärjestystä suunniteltaessa on otettava huomioon se, että kivellä on mahdollisimman suuri tila purkaantua vapaaseen tilaan (kuva 37).



Kuva 37. Kenttäreikien maksimi etuja räjäytettyyn eli "vapaaseen" tilaan. (Vuolio & Halonen 2012, 228).

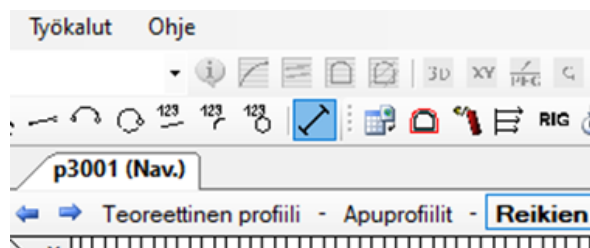


Kuva 38. Kuvassa esitetty numeroilla räjäytysjärjestys ja mittoja kenttärei'ille.

Kenttäreikien oikeita paikkoja suunniteltaessa mittaustyökalun avulla saadaan laskettua tasaiset ja reikien etäisyydet toisistaan sen mukaan, mitä reikäväli antaa mahdollisuuksia.

Mittaustyökalu valittuna Ctrl-näppäin (kuva 39) pohjassa saadaan mitattua suoraa vaakaa matkaa kohteiden välillä, vaikka ne olisivat eritasossa korkeussuunnassa Y.

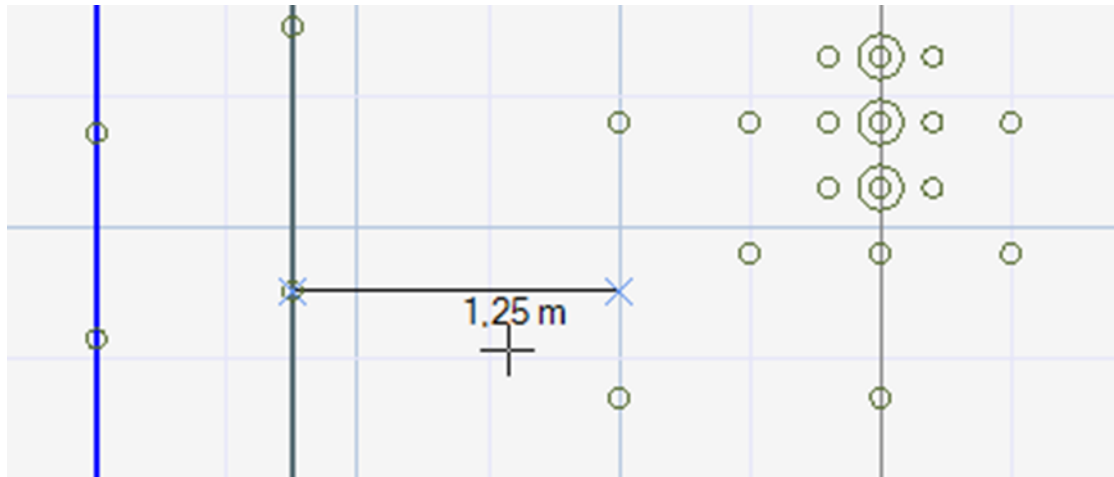
Shift-näppäin pohjassa saadaan mitattua suoraa pystymatkaa kohteiden välillä riippumatta siitä, ovatko ne samassa tasossa vaakasuunnassa X.



Kuva 39. Mittatyökalun valinta

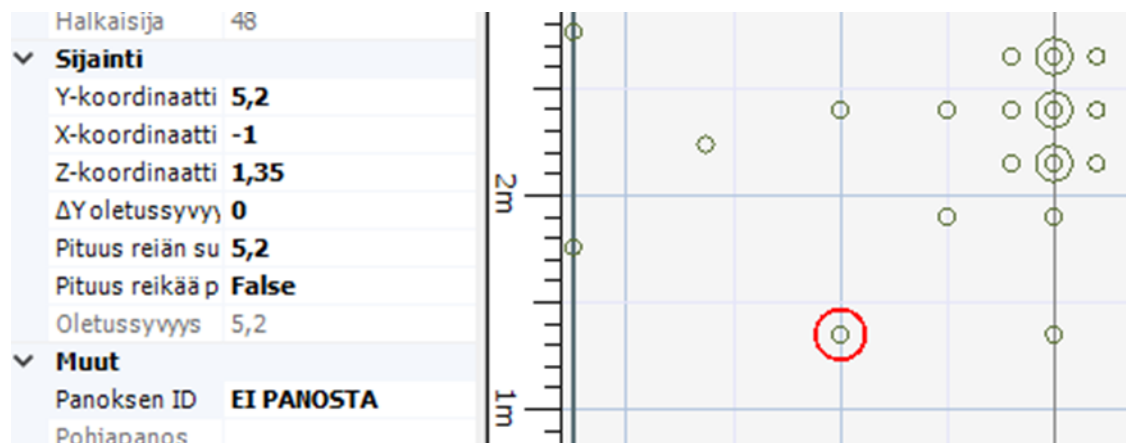
Esimerkkikaavion tilanteessa mitattu matka apukaarelta isolle neliölle on 1,25 metriä (kuva 40), johon pitää muistaa ottaa huomioon apukaaren pisto kohti ulointa räjäytettävää linjaa. Piston

tiedetään olevan 15 senttimetriä (pistosta lisätietoa ”reikien suuntaus” kohdassa), joka on lisättävä 1,25 metriin ja sijoitettava reikälinja sen mukaan puoleen väliin eli $(1,25 \text{ m} + 0,15 \text{ m}) / 2 = 0,7$ metriä. Nyt tiedetään linjan etäisyys isoon avausneliöön suunnassa X.




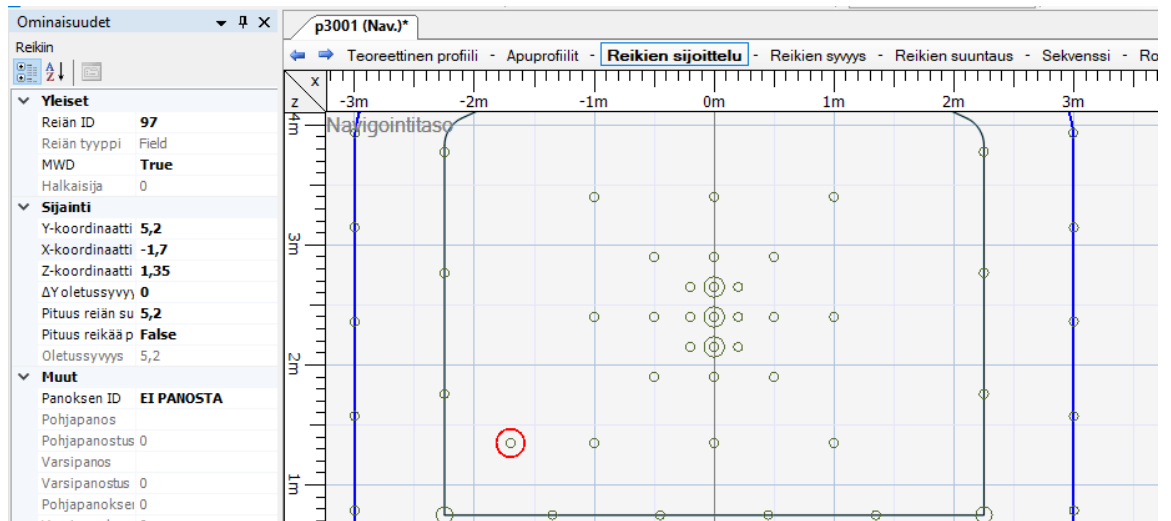
Kuva 40. Reikien etäisyyksien mittaaminen

Ensimmäisen kenttäreiän Y-koordinaatti valitaan ison avausneliön alimmasta (kuva 41) reiästä.



Kuva 41. Y-koordinaattivalinta.

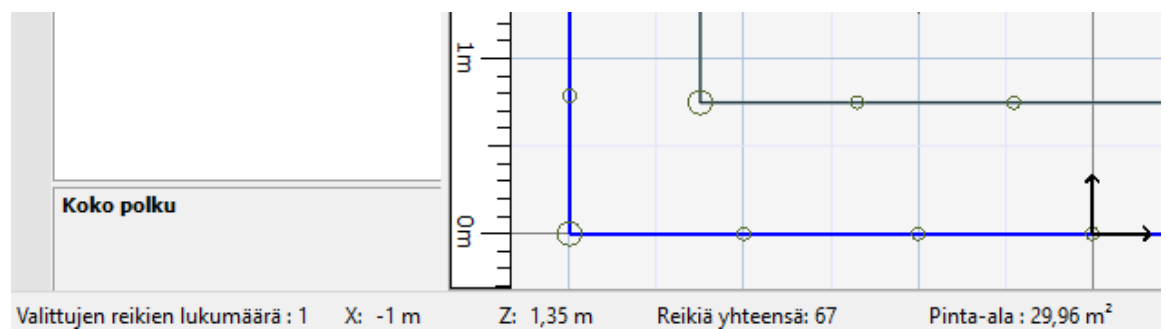
Valitse  (lisää erillinen reikä) ja aseta se suunnilleen oikeaan paikkaan (kuva 42). Ominaisuudet-ikkunassa Sijainti-välilehdellä on valitun reiän koordinaatit, joita voi muokata haluamukseen.



Kuva 42. Esimerkki ensimmäiselle reiälle saadut koordinaatit, X-koordinaatti -1,7, Y-koordinaatti 1,35.

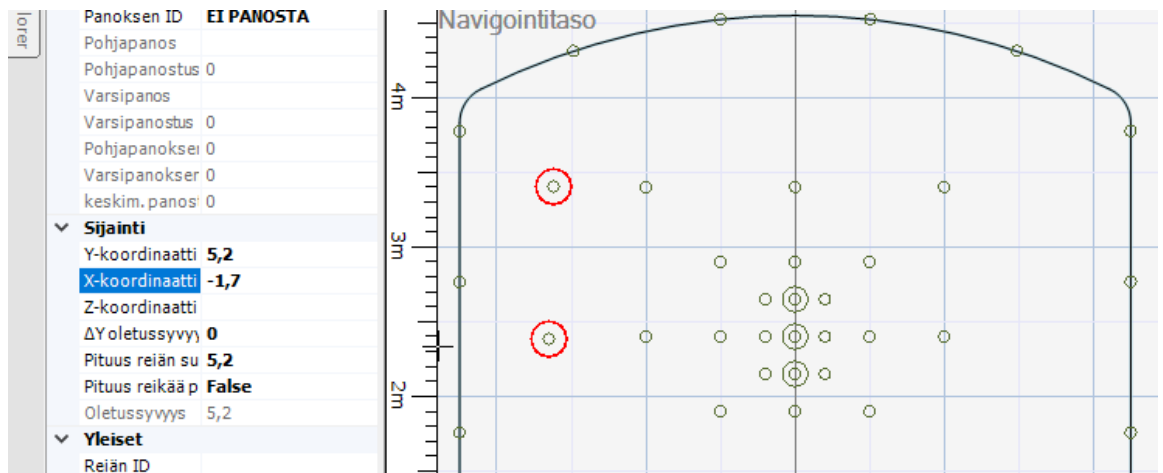
Suunnitteluohjelman päänäkymän alareunassa (kuva 43) näkyy koko ajan kursorin paikka porakaaviossa, josta reikien koordinaatit on nopea tarkastaa.

X-koordinaatin arvo saatiin lisäämällä ison avausneliön arvoon -1 laskettu 0,7 metriä eli -1,7 metriä on oikea linjan koordinaatti. Y-koordinaatin arvo 1,35 suoraan avausneliön alimmasta reiästä.



Kuva 43. Reiän koordinaattien tarkastus

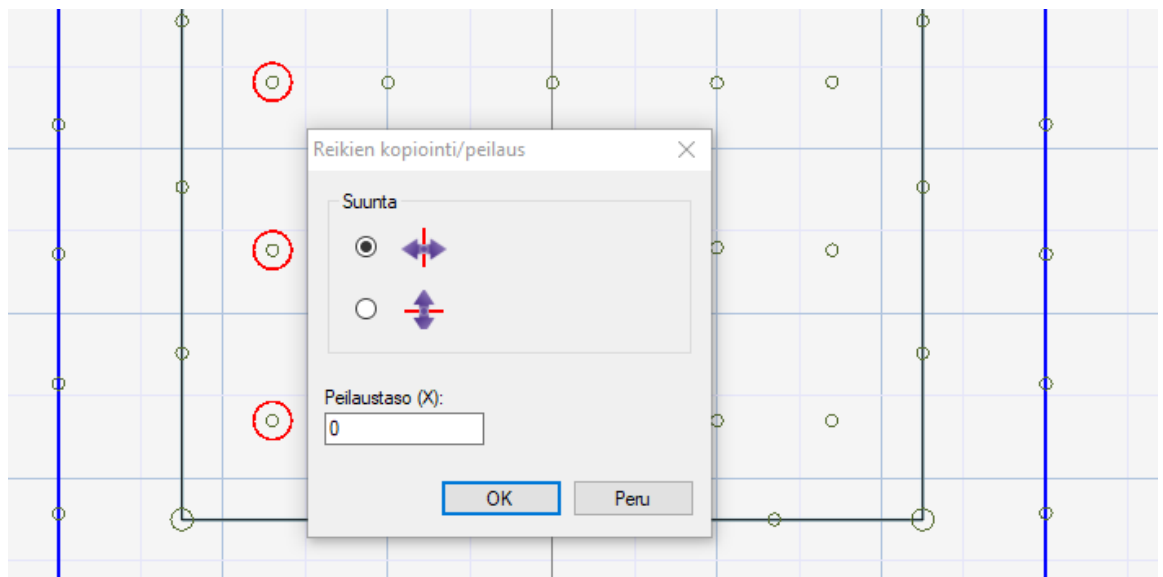
Lisää seuraavat reiät taas suunnilleen oikeaan paikkaan. Ctrl-painike pohjassa voidaan valita useampi reikä kerralla (kuva 44), joiden arvo halutussa suunnassa on sama. Syötä X-koordinaatti -1,7 ja paina Enter. Reiät siirtyvät halutulle paikalle. Z-koordinaatit asetetaan samoiksi kuin ison avausneliön samalla tasolla oleva arvo.



Kuva 44. Valittujen reikien paikoitus

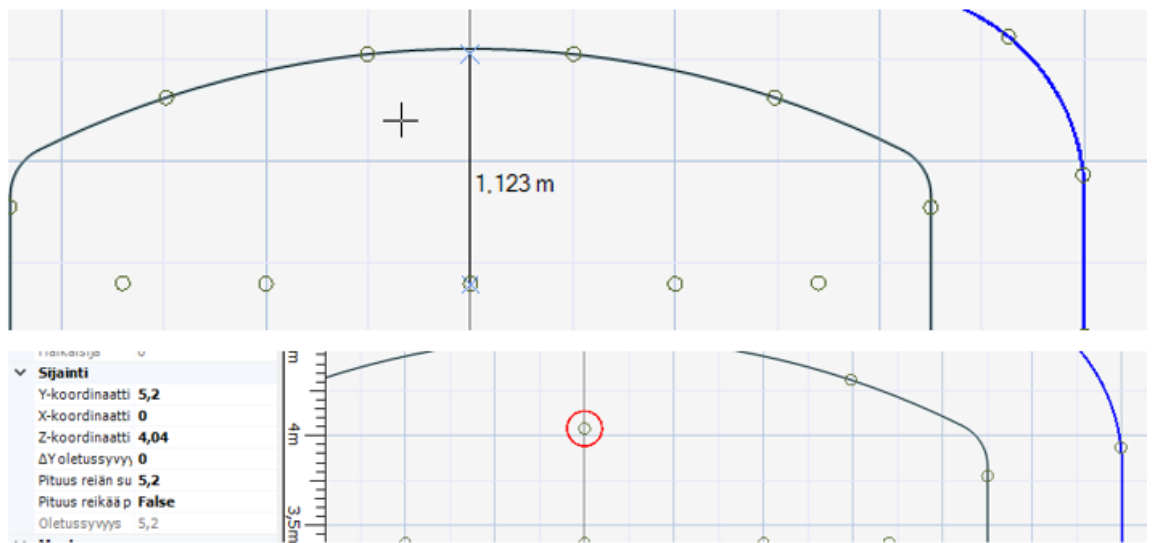
Tilanteessa, jossa profiili on symmetrinen molemmilta puolilta ja avaus keskellä kaaviota, voidaan suunnitellut reiät toiselta puolelta peilata, jolloin näpyttely ja laskeminen jää vähemmälle.

Valitse peilattavat reiät, muokkaa valikosta valitaan ”reikien kopiointi ja peilaus” (kuva 45). Peilaustaso X valittuna arvo nolla kopioituvat valitut reiät porauskaavion origon toiselle puolelle samoille paikoille.



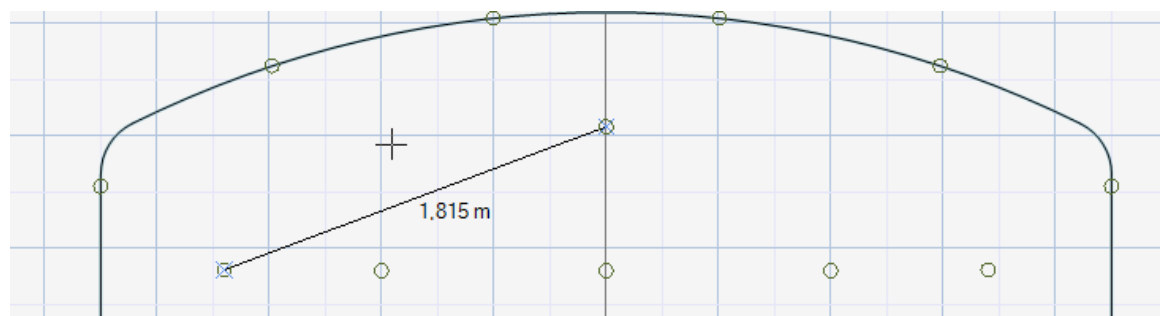
Kuva 45. Reikien peilaus profiilin ollessa symmetrinen

Kenttäreikien sijoittelu porauskaavion yläosaan (kuva 46) tehdään samalla periaatteella kuin sivulle tehty suunnittelu. Mittaa etäisyys ja lisää siihen matkaa apukaaren piston verran. Tähän arvoon lisätään 3,4, joka on ison neliön ylimmän reiän Z-koordinaatin arvo. Z-koordinaatti $(1,123+0,15) / 2=0,64$



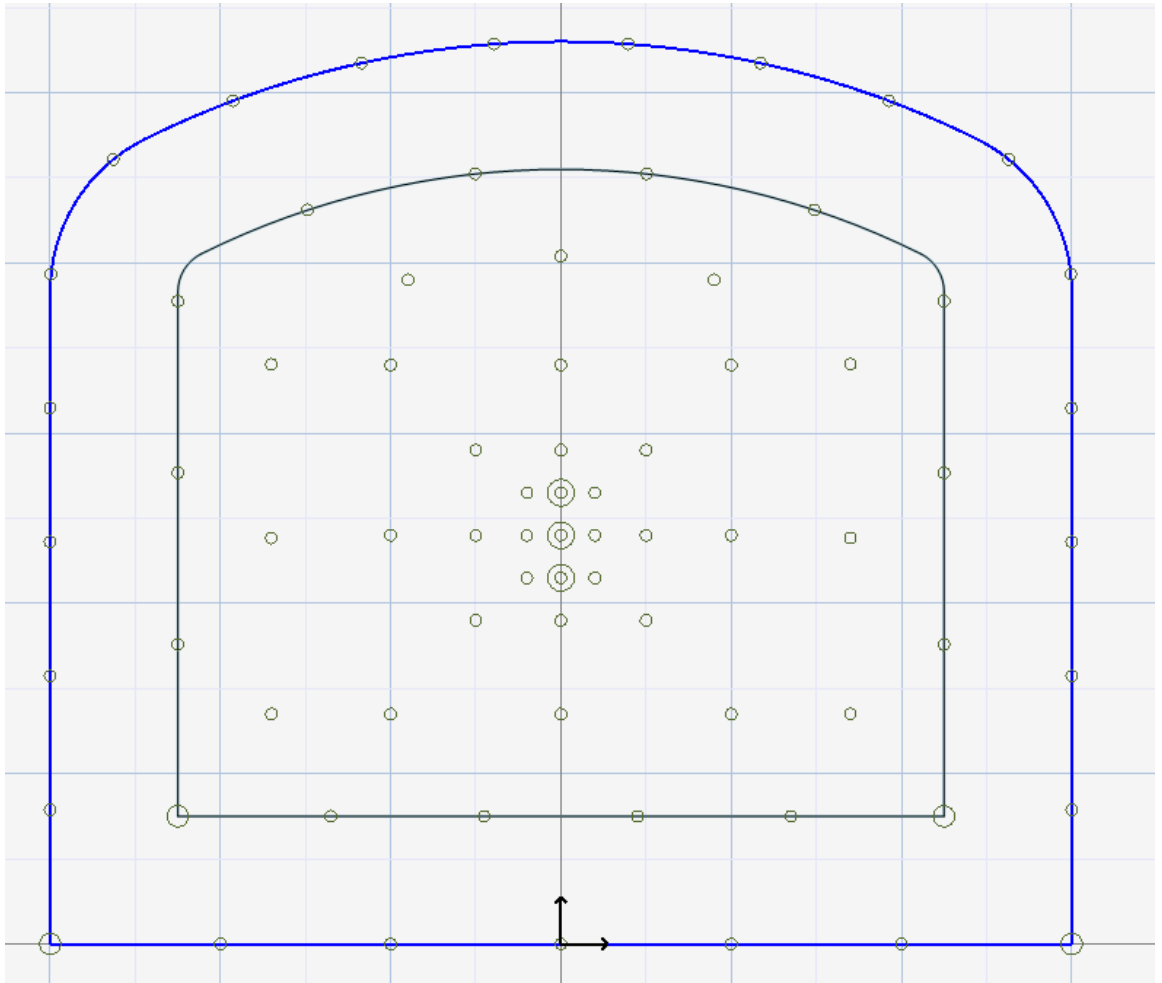
Kuva 46. Z koordinaatti $0,64+3,4=4,04$

Mittaa reikien etäisyys esimerkin mukaan (kuva 47), ja tässä tilanteessa huomataan, että tarvitaan lisätä yksi reikä keskimmäisen ja reunimmaisen kenttäreiän väliin. X-koordinaatti laskemalla $-0,90$. Z-koordinaatin arvo määritetään samalla tavalla kuin keskimmäisen reiän.



Kuva 47. Oikean reikävälin mittaus

Reiän peilaus ja kenttäreiät ovat paikallaan (kuva 48).



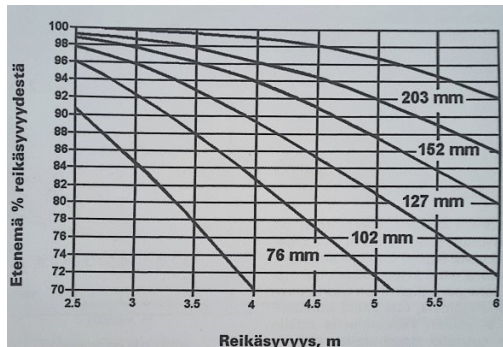
Kuva 48. Porakaavio, jossa tarvittavat reiät paikallaan

Käytyläpi porauskaavion reikien paikkojen määrittämisen periaate. Muistettava, että jokainen profiili on erilainen ja ohjetta on sovellettava sen mukaan. Porauskaaviota muutetaan useiden testikatkojen räjäytyksen jälkeen, jolloin on päästy arvioimaan muun muassa raekoko, lähtevyyttä ja lastattavuutta. Kiven laatu on merkittävässä osassa reikien lukumäärään ja etäisyyksiin toisistaan.

5.6 Reikien syvyyksien määrittäminen

Porareikien syvyys ja etenemä, matka joka yhdellä räjähdyskerralla edetään. Tunnelilouhinnassa pyritään mahdollisimman pitkiin etenemisiin yhdellä räjäytyksellä työn rytmittävyydestä johtuen.

Nykyisillä porauslaitteilla ja avausmenetelmillä voidaan päästä 5–6 m etenemiin (kuva 49) riippuen kallion laadusta ja tunnelikoosta. (Holopainen et al. 1987, 233.)



Kuva 49. Prosentuaalinen etenemä eri suurreikäläpimitoilla ja porauspituuksilla. (Vuolio & Halonen 2012, 227.)


Irronneen katkon pituuteen suurreikien läpimitalla on suuri vaikutus, mitä suurempi suurreikä, sitä pidempi on odotettu etenemä. Useampaa suurreikää käytettäessä voidaan suurreikien yhteisvaikutus laskea kaavasta kuva 50. (Vuolio & Halonen 2012, 227.)

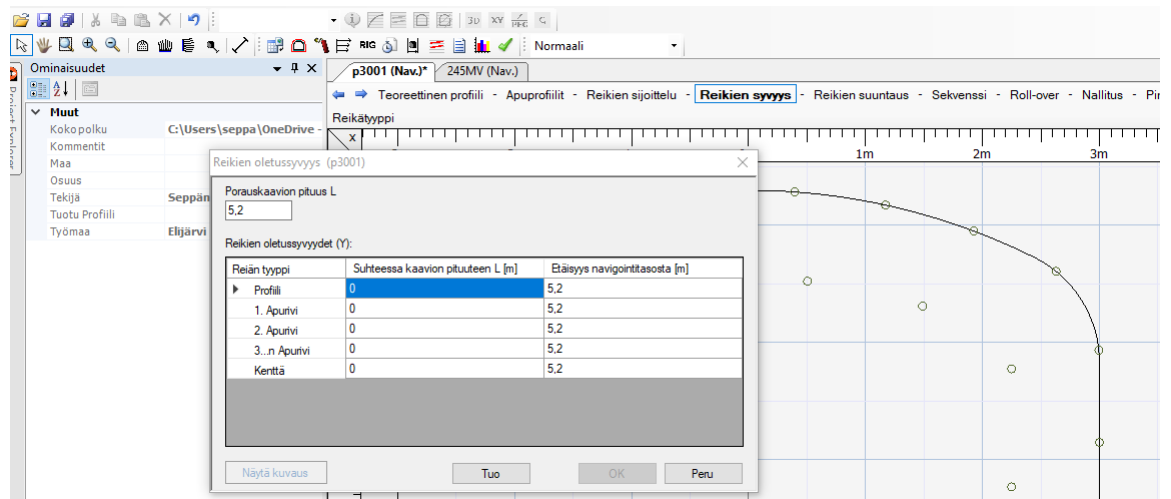
$$D = \varnothing \sqrt{n} \quad (7.01)$$

D = vaikuttava suurreikä (mm)
 \varnothing = suurreikäläpimitta (mm)
 n = suureikien lukumäärä

Kuva 50. Suurreikien yhteisvaikutuskaava. (Vuolio & Halonen 2012, 227.)


”Reikien syvyys”-työvaiheessa reikien syvyys voidaan asettaa halutuksi (kuva 51), riippumatta ”Reikien oletussyvyys” taulukossa asetetuista arvoista. Reikien syvyys voidaan asettaa numeerisesti reiän syvyyden asetustyökalulla. (Sandvik Mining and Construction Oy, Drills Tampere, 2015.)

Valittaessa ”reikien syvyys” välilehti avautuu kuvassa oleva taulukko. Taulukon saa auki myös painikkeella .



Kuva 51. Porakaavion pituuden asettaminen

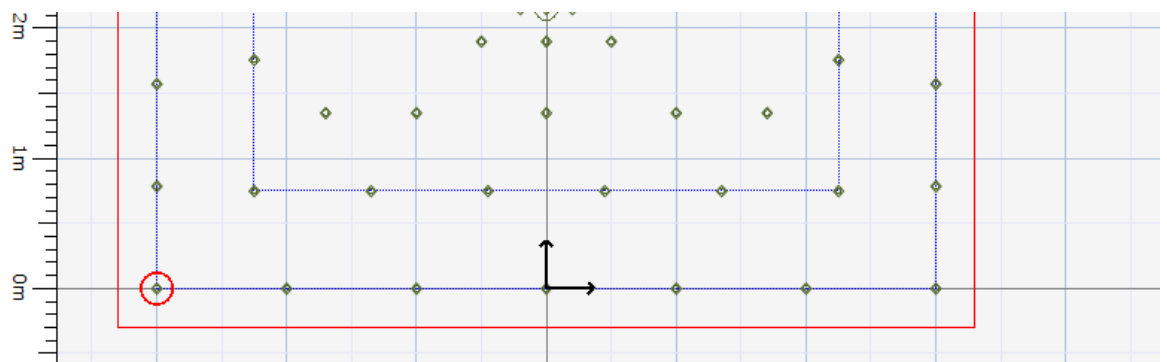
Porakaavion pituudeksi L valitaan 5,2 m ja painetaan ok.

Porakaavion pituutta voidaan muokata myöhemmin painikkeella  .

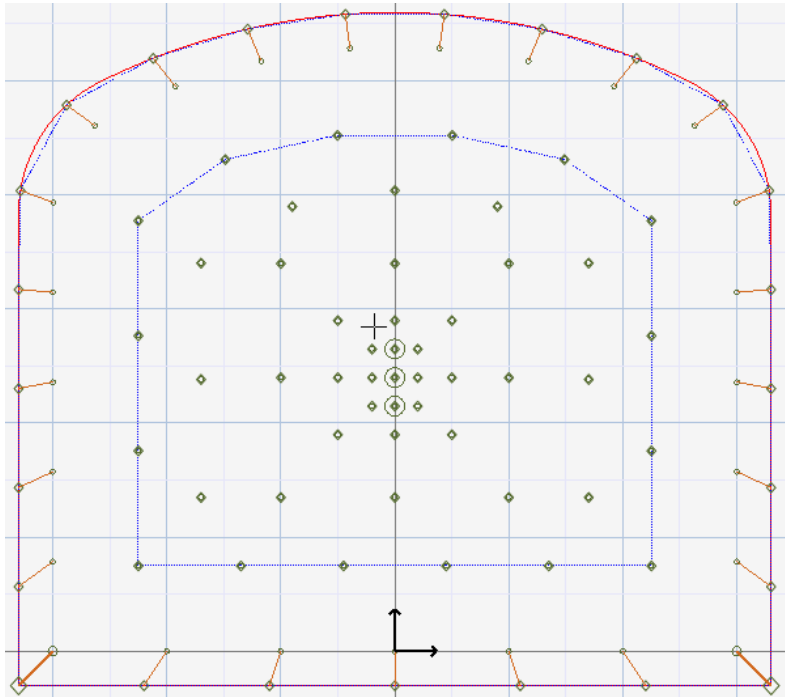
5.7 Reikien suuntaus

Siirry välilehdelle ”Reikien suuntaus”.

Punaisella piirretty kaari (kuva 52) on alussa määritetty haluttu pistoprofiili eli tässä tapauksessa 0,3 metriä. Valitse nurkkareivät ja vedä ne kulmiin (kuva 53). Tällöin reikä muuttuu suunta-Master reiäksi. Arvoa suunta-master voidaan muuttaa tarvittaessa ominaisuudetikkunassa reiän ollessa valittuna.

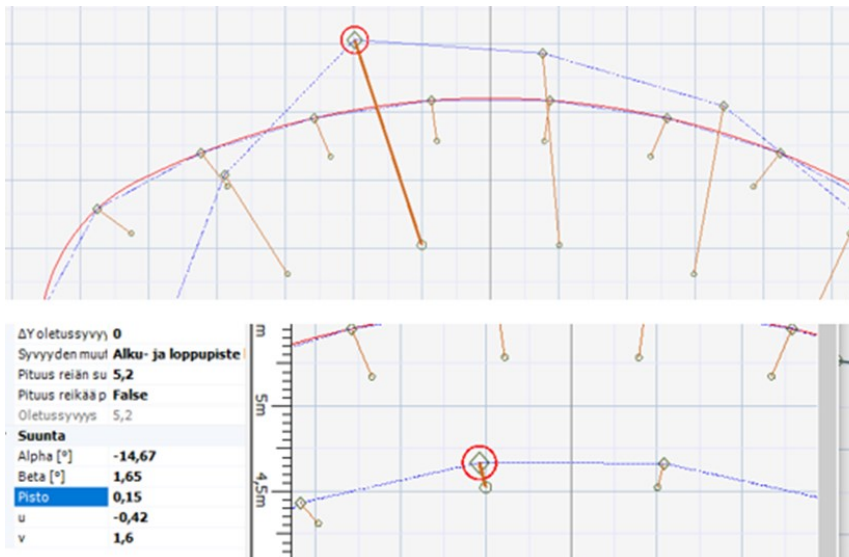


Kuva 52. Reiän suuntaaminen



Kuva 53. Esimerkkiporauskaaviossa kaaren suuntaaminen onnistuu kahta nurkkareikää suuntaamalla. Tarkasta aina koko kaaren oikea suuntaus.

Apukaaren ja apupohjan suuntauksen määrittäminen. Yleisesti käytetty piston suuruus profiilirei'ien jälkeen on puolet profiilirei'ille asetetusta pistosta (kuva 54).



Kuva 54. Piston määrittäminen apukaarelle

Apukaaren piston suuntaus voidaan tehdä vetämällä pisto haluttuun suuntaan ja määrittämällä sen jälkeen piston pituusominaisuudet ikkunassa 0,15 metriä. Tasaisen piston saaminen esimerkiksi aviossa vaatii myös viereisen reiän suuntauksen asettamista oikeaan arvoon.

5.8 Reikätyyppien määrittäminen

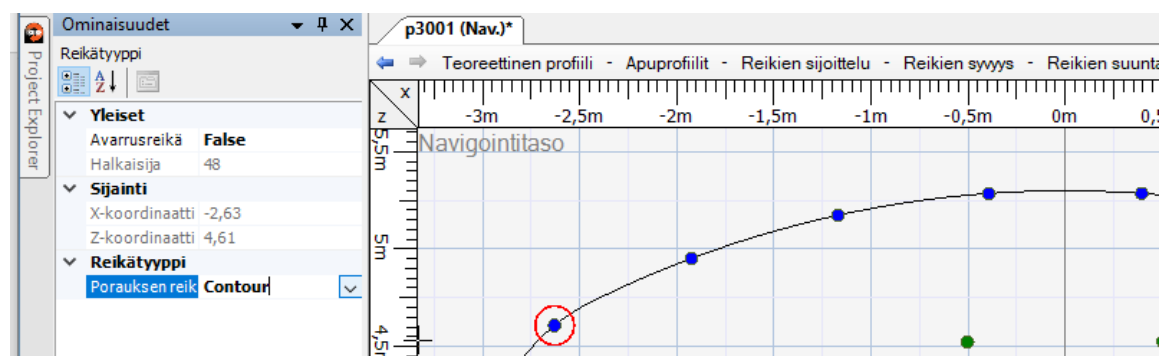
Reikätyypin määrittäminen (kuva 55) vaikuttaa katkon poraamiseen koneen säätöjen osalta vain Sandvikin i-sarjan koneille.

Eri reikätyypeille on annettu erilaisia porausparametrejä, joiden mukaan kone vaihtaa ne aina määritetyksi tiettyä reikää poratessa.

Kaarelle valitaan Contour. Asetukseen on voitu säätää esimerkiksi aloitusporausajaksi pitempi aika, jolloin saadaan varmemmin suoraa reikää kaarelle ja suunnitellun muotoista tunnelia.

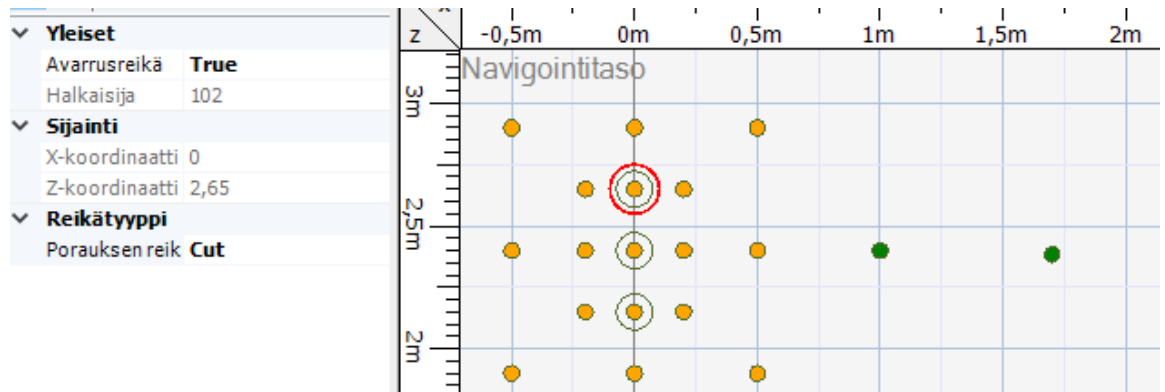
Apukaarelle ja kenttärei'ille Easer. Poraus teho on korkeampi verrattuna Contour tyyppiin. Aloitusporaus aika on myös yleensä lyhyempi.

Pieni avausneliö Cut. Tärkein paikka porauskaaviossa, ja tämän reikätyypin asetukset yleensä säädetään kaikista varovaisimmalle poraukselle.



Kuva 55. Reikätyypin määrittäminen

Määritä halutut avarusreiät (kuva 56). Porakone osaa muuttaa samaa reikää toiseen kertaan poratessa reikätyypiksi Reaming automaattisesti.



Kuva 56. Avarrettavien reikien määrittäminen

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda suunnitteluohje yhtenäistämään porauskaavion suunnittelua toimeksiantajana toimivassa yrityksessä, jossa olen itse työskennellyt kuusi vuotta. Porauskaavion suunnitteluohjeen valinta opinnäytetyön aiheeksi oli itselle mielenkiintoinen ja mielekäs aihe. Aiheen mielekkyyteen ja valintaan vaikuttivat oma työura porarina, suunnittelukokemus porauskaavioista eri puolille Suomen louhintatyömaita ja kaivoksia.

Suunnitteluohje on tarkoituksena ottaa käyttöön toimeksiantajayrityksessä uusien ja vanhojen työntekijöiden perehtyessä porauskaavion suunnitteluun. Ohjeessa on annettu perus- ja kokemusperäiset tiedot siitä, kuinka on hyvä aloittaa suunnittelemaan uutta porauskaaviota, niin vanhalle kuin uudelle työmaalle.

Opinnäytetyön teoriaosuuteen on koottu itse tuotoksesta porauskaavion suunnitteluohje, eri työvaiheet kustakin eri toiminnosta vaihe vaiheelta. Jokaiseen vaiheeseen on etsitty teorian tietoa eri lähteistä ja on yritetty välttää niin sanottua kokemusperäistä tietoa, jolle ei löydy viittausta. Alan kirjallisuutta on jokseenkin vähän suomen kielellä, joka myös aiheutti omat haasteensa luotettavaa lähdetä etsiessä. Havainto suomenkielisestä lähdekirjallisuudesta omalle kohdalle oli, että uusimmat teokset pohjautuvat paljon teoksiin ”RIL 154-1-1987 Tunneli- ja kalliorakennus I” ja ”RIL 154-2-1987 Tunneli- ja kalliorakennus II”. Suurimmaksi osaksi uudempaan kirjallisuuteen on päivitetty visuaalista puolta ja uusia räjähdettäviä, perustiedon kallionlouhinnasta pysyessä pääsääntöisesti ennallaan.

Opinnäytetyön aiheeksi oppaan ja ohjeen tekemistä pidän järkevänä ja kannattavana toimenpiteenä. Näin saadaan tehostettua uusien työntekijöiden perehdytystä työhön, kun perusasiat saadaan kerrottua selkeästi kustakin työvaiheesta. Työohjeen luettuaan työntekijä kuittaa sen lueksi ja ymmärretyksi. Työohjeiden läpikäynnillä eri työvaiheisiin varmistetaan oikeaoppinen työn suoritus, vältetään työtaturmia, saadaan työnteko mielekkäämmäksi ja tulokselliseksi. Tästä on työntekijän hyvä jatkaa ammattitaidon tuoman varmuuden, nopeuden ja sitä kautta tehokkuuden kehittämistä.

Lähteet

Atlas Copco Annual report 09 (2009). Atlas Copco. Retrieved from <http://www.tunnel-online.info/Uploads/storefront/adverts/ITD151580wpb.pdf>

Hakkila, J. (2014). *Porajumbon tiedonkeruujärjestelmän hyödyntäminen porarin ammattitaidon kehittämisessä; developing the professional skills of a tunneling jumbos driller via the information gathering system of the jumbo* Retrieved from <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201403061509> [urn]

Holopainen, P., Haavisto, A., Rahtu, M., Einola, P., Saanio, V., Lappalainen, P., . . . Suomen rakennusinsinöörien liitto. (1987). *Tunneli- ja kalliorakennus. 2*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto. Retrieved from <https://finna.fi/Record/oy.991215843906252>

Kaivosteollisuus (2020). Retrieved from <https://www.kaivosteollisuus.fi/fi/kaivosala-suomessa>

Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje (2019). www.vayla.fi. Retrieved from https://julka-isut.vayla.fi/pdf11/vo_2019-28_kalliotunnelin_kalliotekninen_web.pdf

Käyttöohje atlas copco BBD-12DS Retrieved from <https://skanskakonevuokraus.fi/wp-content/uploads/2018/09/K%C3%A4ytt%C3%B6ohje-Atlas-Copco-BBD-12DS.pdf>

Lappalainen, P., Hakapää, A., Paalumäki, T., Kaivosteollisuus (yhdistys), & Opetushallitus. (2015). *Kaivos- ja louhintateknikka* (3. uud. p. ed.). Helsinki: Opetushallitus : Kaivosteollisuus Finn-Min. Retrieved from <https://kamk.finna.fi/Record/kamk.99500665006247>

Rautanen, M. (. (2016). *Tuotantoporien käyttövarmuuden parantaminen maanalaisessa louhinnassa* Retrieved from <https://www.finna.fi/Record/jultika.nbnfioulu-201610062896>

Sandvik Mining and Construction Oy, Drills Tampere. (2015). *iSure käyttöohje*

Sipola, U., Hollmén, K., Castrén, P., Koponen, A., Jokela, T., & Liikennevirasto. (2018). *Selvitys kalliotunnelin kallioteknisestä suunnittelusta: Esiselvitys*. Helsinki: Liikennevirasto. Retrieved from <https://finna.fi/Record/fikka.4315105>

Tunneli- ja kalliorakennus. 1 (1987). . Hki: Suomen rakennusinsinöörien liitto. Retrieved from <https://finna.fi/Record/3amk.116273>

Vuolio, R., & Halonen, T. (2010). *Räjätystyöt*. Helsinki: Suomen rakennusmedia. Retrieved from <https://kamk.finna.fi/Record/kamk.99426175006247>

Vuolio, R., & Halonen, T. (2012). *Räjätystyöt* (Päivitetty 2. p. ed.). Helsinki: Suomen Rakennusmedia. Retrieved from <https://finna.fi/Record/helka.9925181863506253>

