

MAANALAISEN KAIVOKSEN SÄHKÖVERKON
MALLINTAMINEN 3D-KARTTAPOHJAAN

Soikkeli Ari-Pekka

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne Sähkötekniikka
Insinööri AMK

Tekijä	Ari-Pekka Soikkeli	Vuosi	2015
Ohjaaja	DI Jaakko Etto, Erkki Nevanperä		
Toimeksiantaja	Agnico Eagle Finland Oy		
Työn nimi	Maanalaisen kaivoksen sähköverkon mallintaminen 3D-karttapohjaan		
Sivu- ja liitemäärä	58 + 7		

Opinnäytetyön aiheena oli maanalaisen kaivoksen sähköverkon mallintaminen 3D-karttaan ja tehdä porasähköverkosta tietokantapohjainen laskentamalli. Mallintamiseen käytettiin CADS Planner Electric Pro -suunnitteluohjelmaa. CADS Planner Electric Prossa on sähkötekniiset laskentaominaisuudet, joita käytettiin hyväksi laskentamallia tehdessä. Lisäksi opinnäytetyössä tutustuttiin yleisesti kaivoksen sähköjakeluverkon vaatimuksiin ja siihen, miten niitä on toteutettu Kittilän kaivoksella.

Työn alkuvaiheessa oli tarkoituksena tutustua kolmeen suunnitteluohjelmaan ja valita niistä se, jolla olisi helpoin tehdä mallinnus. Deswik ja Surpac -suunnitteluohjelmiin tutustumisesta luovuttiin niiden hankaluuden ja lisenssiongelmien takia. CADS Planner Electric Pro oli yksi suunnitteluohjelmisto, johon oli tarkoituksena tutustua sen tuotetietokannan ja sähkötekniisten laskenta ominaisuuksien takia. CADS Planner Electric Prossa oli myös mahdollisuus 3D-suunnitteluun, joka testattiin mallintamisen yhteydessä.

Työn toteutusvaiheessa tutustuttiin Kittilän kaivoksen 20kV-verkon ja 690V porasähköverkon jännitteen jakelun toteutukseen maanalaisessa kaivoksessa. Kaapeleiden reitit piirrettiin ensin tulostettuun kaivoksen karttapohjaan käsin taso kerrallaan, johon myös merkattiin muuntamoiden paikat ja tasojen läpiviennit varustelureikiä pitkin. Kaapelireittien selvittämisen jälkeen taso kerrallaan ne mallinnettiin CADS Planner Electric Prolla kaivoksen 3D-karttapohjaan. Mallinnusta tehdessä CADS Planner Electric Prolla saatiin samaan aikaan tehtyä tietokantapohjaista laskentamallia CADS Planner Electric Pron keskusten ja ryhmien hallintaominaisuudella. Ongelmia mallinnuksessa tuotti aluksi kaapelin piirtäminen 3D-karttapohjaan.

Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Kaivoksen 20kV-verkko ja muuntamoiden paikat on mallinnettu 3D-karttapohjaan. 690V porasähköverkkoa ei saatu kokonaisuudessaan valmiiksi, koska verkonrakennus etenee päivittäisessä työskentelyssä, suurin osa verkosta on mallinnettu. Laskentamallipohja on saatu valmiiksi ja sitä voidaan päivittää verkon laajentuessa.

Electrical Engineering
University of Applied Sciences
Bachelor of Electrical Engineering

Author	Ari-Pekka Soikkeli	Year	2015
Supervisor(s)	Jaakko Etto, M.Sc (Tech.), Erkki Nevanperä		
Commissioned by	Agnico Eagle Finland Oy		
Subject of thesis	Electrical Grid Modelling of Underground Mine to 3D Map Layout		
Number of pages	58 + 7		

The subject of this thesis was modelling the electrical grid of the mine underground 3D map layout and drill electrical grid database-based calculation model. For modelling CADS Planner Electric Pro design software was used. CADS Planner Electric Pro has electro technical calculation features that are utilized when making the calculation model. In addition, the thesis explored the mine in general electricity distribution network demands and how they have been executed in Kittilä mine.

The initial stage of the study was intended to explore the three design software and choose the one which would be the easiest in modelling. Deswik and Surpac design software exploration was abandoned because of the difficulty and licensing problems. CADS Planner Electric Pro was one of the design softwares which was intended to explore because of its product database and the electro technical calculation features. CADS Planner Electric Pro also had the opportunity to 3D design, which was put to the test when making modelling.

Implementation stage of the study explored the Kittilä mine 20kV grid and 690V drill electrical grid distribution of the execution of the tunnel. Cable routes were first drawn by hand to the printed map layout of the mine one level at the time where also substation locations and bushings of levels along armament holes were marked. After investigation of the cable routes one level at a time they were modelled with CADS Planner Electric Pro to the 3D map layout. Doing the modelling with CADS Planner electric Pro at the same time made-up databased calculation model by CADS Planner Electric Pro electrical centers and group management feature were got. Problems with modelling were initially a cable drawing to the 3D map layout.

The thesis was successful and the objectives were reached. The mine 20kV grid is modelled to the 3D map layout, as well as substations. 690V drill electric grid was not totally completed because the grid construction is progressing daily, though, the most of it is made. Calculation model layout has been completed and it is possible to update as the grid expands.

Key words

Modeling, mine, 3D, electrical grid

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	AGNICO EAGLE MINES LIMITED	9
2.1	Kittilän kultakaivos	9
2.2	Maanalainen kaivos	10
3	KAIVOKSEN SÄHKÖVERKKO.....	11
3.1	Sähköverkon rakenne	11
3.2	Sähkölaitteet	12
3.3	Johdot ja kaapelit	13
3.4	Johtojen ja kaapeleiden mitoitus	13
3.5	Suojaukset	14
3.5.1	Kosketusjännitesuojaus.....	15
3.5.2	Sulakkeeton suojaus	15
3.6	Maadoitus	16
3.7	Merkinnät	16
3.8	Piirustukset	17
4	SÄHKÖTEKNINEN LASKENTA	18
4.1	Johdon jännitteenalenema.....	18
4.2	Johdon oikosulkusuojaus.....	18
5	SÄHKÖVERKON MALLINTAMINEN	20
5.1	3D-mallintaminen	20
5.2	CADS Planner Electric Pro	21
6	KAIVOKSEN MAANALAISEN SÄHKÖVERKON MALLINTAMINEN	23
6.1	Työn aloitus	23
6.2	20kV-verkon mallinnus.....	23
6.3	Pj-verkon mallinnus.....	25
6.4	Mallinnuksen tekeminen	27
7	TIETOKANTAPOHJAINEN LASKENTAMALLI.....	48
7.1	Porasähköverkon laskentamalli	48
7.2	Lasketut arvot	53
8	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	55
9	LÄHDELUETTELO	57
10	LIITELUETTELO.....	58

ALKUSANAT

Opinäytetyö on tehty Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivoksen kunnossapito-osastolle kevään 2015 aikana. Työn onnistumisessa olen saanut kiitettävästi tukea maanalaisen sähkökunnossapidon työntekijöiltä ja haluan kiittää heitä. Lisäksi haluan kiittää mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta sähkökunnossapitoinsinööriä Erkki Nevanperää ja Työsuunnittelija Janne Alannetta avusta tunnelin sähköverkon läpikäymisessä.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

pj-verkko	Pienjänniteverkko
VYK	Porasähköpistorasiakeskus
VT-TUT	Tutkimustunneli
VT	Vinotunneli
PUP	Pumppaamoperä
MUP	Muuntamoperä
VAP	Varusteluperä
IVN	Ilmanvaihtonousu

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kultakaivoksen kunnossapito-osastolle. Opinnäytetyön aiheena on tehdä maanalaisen kaivoksen sähköverkon mallinnus maanalaisen kaivoksen 3D-karttapohjaan.

Sähköverkon mallinnus on tärkeä osa sähkönjakelua. Mallinnus mahdollistaa verkon tehonjaon ja oikosulkuvirtojen laskennan. Hyvin mallinnettu sähköverkko tuo tehokkuutta ja varmuutta. Karttapohjaan mallinnettuja sähköverkkoja voidaan käyttää käytönvalvontajärjestelmien pohjakuvina.

Karttatieto on myös turvallisuustekijä. Kaapelikartan tietoja käytetään määrittäessä varoetäisyyksiä geologisen tutkimuksen kairausreiteille sekä varustelureiteille ym. tunnelirakenteesta poikkeavien lävistysten ja porausten toteutuksen varoetäisyydet varustelurei'issä kulkevista kaapelireiteistä.

Työn tarkoituksena on saada mallinnettua sähköverkosta 3D-karttaan 20kV-verkko, Muuntamot ja pj-verkon osalta porasähköverkko. Käytössä olevista 3D-suunnitteluohjelmista valitaan vertailun perusteella tähän käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuva ohjelma. Cads on sähkösuunnitteluohjelma ja Deswik sekä Surpac ovat kaivossuunnitteluun tarkoitettuja ohjelmia.

Porasähköverkosta tehdään myös tietokantapohjainen laskentamalli, jolloin nykyisen porasähköverkon ääripisteissä olisi saatavissa jännitteenalenema ja oikosulkuvirta tiedot sekä laskentamallin integroiminen siten, että jatkossa päivitettävistä porasähköverkon laajennuksista tulisi laskennan kautta jo suunnitteluvaiheessa tiedot laskennallisista arvoista kaapelin päässä.

Maanalaisen kaivoksen sähköverkon laajuuden vuoksi työ rajattiin koskemaan vain 20kV-verkkoa ja muuntamoita sekä pj-verkon osalta porasähköverkkoa.

2 AGNICO EAGLE MINES LIMITED

Agnico Eaglellä on kaivoksia Suomen lisäksi Kanadassa ja Meksikossa ja se harjoittaa aktiivista malminetsintää Pohjoismaissa, Kanadassa, Yhdysvalloissa ja Meksikossa. Agnico Eagle Mines Limited syntyi toukokuussa 1972, kun kaivosyhtiöt Agnico Mines ja Eagle Gold Mines yhdistyivät. Agnico Mines oli perustettu vuonna 1957 Cobaltin kaivosalueella Ontariossa, kun samaan aikaan Eagle Gold Mines rakensi Joutelin kultakaivosta Luoteis-Quebecissä. Sen tuotanto alkoi vuonna 1974. Nykyään Agnico Eagle on yksi maailman suurimmista kultakaivosyhtiöistä. (Agnico Eagle Finland Oy 2015.)

Yhtiön pisimpään toiminut kaivos on Quebecissä Kanadassa sijaitseva LaRonde, joka avattiin vuonna 1988. Sen jälkeen toimintansa ovat aloittaneet Goldexin ja Lapan kaivokset Quebecissä, Kittilän kaivos, Pinos Altosin kaivos Meksikossa ja Meadowbankin kaivos Nunavutissa Kanadassa. (Agnico Eagle Finland Oy 2015.)

2.1 Kittilän kultakaivos

Kittilän kultakaivos sijaitsee Kittilän Suurikuusikossa, joka on 55 km Kittilän keskuksesta pohjoiseen ja 900 km Helsinkiin. Kittilän Suurikuusikon kultaesintymä löydettiin vuonna 1986 geologisen tutkimuskeskuksen toimesta. 1998 Riddarhyttan Resources AB osti Suurikuusikon esiintymän kauppa- ja teollisuusministeriöltä.

- 2002 Suurikuusikon ympäristölupa.
- 2003 Suurkuusikon kaivospiiri.
- 2005 Agnico Eagle Mines Limited hankkii koko Riddarhyttanin omistukseensa.
- 2006 Kannattavuustutkimus valmistuu ja rakentamispäätös tehdään.
- 2008 Malminlouhinta alkaa toukokuussa ja rikastus syyskuussa.
- Ensimmäinen kultaharkko valetaan tammikuussa 2009 ja kaivoksen avajaiset pidettiin kesäkuussa.

- 2010 Tuotanto vakiintui ja maanalaisen kaivoksen toiminta alkoi.
- 2012 Avolouhostoiminta päättyi, louhinta jatkuu kokonaan maan alta.
- 2014 Uusi konttorirakennus ja rikastamon laajennus valmistuivat. (Agnico Eagle Finland Oy 2015.)

2.2 Maanalainen kaivos

Maanalaisen kaivoksen rakentaminen alkoi 2006. Maanalainen tuotantolouhinta alkoi lokakuussa 2010. Avolouhostoiminta päättyi marraskuussa 2012 ja nyt tuotantolouhintaa tehdään ainoastaan maanalaisesta kaivoksesta. Vuosittain louhitaan noin kahdeksan kilometriä uutta tunnelia, millä turvataan rikastamolle riittävä malmin tuotanto, tuotantolouhoskohteita on noin 100kpl / vuosi. Lastauksen jälkeen louhokset täytetään pastalla, joka valmistetaan sementistä ja rikastushiekasta. Tällä varmistetaan, että viereiset malmit voidaan louhia turvallisesti ja tehokkaasti. Malmi kuljetetaan kuorma-autoilla vinotunnelia pitkin maan pinnalla sijaitsevalle murskaamolle. (Agnico Eagle Finland Oy 2015.)

3 KAIVOKSEN SÄHKÖVERKKO

3.1 Sähköverkon rakenne

Kaivoksen sähköverkon erityispiirteenä on SFS-standardin mukaan maakosteutta vastaan eristämätön kaivos tai tunneli on märkätila ja muut kaivostilat ovat kosteita tiloja paitsi erikseen tuuletetut ja lämpimäksi rakennetut tilat. (Niskanen & Autio 2004, 4.)

Maanalaisen tunnelin ja kaivoksen sähköjakeluverkko on pyrittävä rakentamaan siten, että henkilöturvallisuudelle tärkeiden laitteiden sähkönsyöttö tapahtuu kahta eri reittiä. Sähköjakeluverkko tulee jakaa sopiviin osiin, jotka tarvittaessa voidaan tehdä jännitteettömiksi. Maanalaisessa tunnelissa ja kaivoksessa muuntamot on sijoitettava vähintään 25 metrin etäisyydelle kuiluista, ruokapaikoista, korjaamoista ja muista vastaavista paikoista. Räjähdystarvikevarastoista, ANO-sekoittamosta ja palavan aineen varastosta muuntamon on oltava vähintään 50 metrin etäisyydellä. Muuntamot ja jakokeskukset tulee sijoittaa kallioon louhittuun erilliseen syvennykseen tai muuhun paikkaan, jossa liikenteestä tms. aiheutuvien vahinkojen vaara on mahdollisimman pieni ja että huolto- ja käyttötoimenpiteet voidaan tehdä turvallisesti. (Niskanen & Autio 2004, 1.)

Kaivoksessa suurin sallittu jakelujännite on yleensä 20kV. Maanalaisessa kaivoksessa suurin sallittu käyttöjännite on 1000V ja avolouhoksessa 3000V. Kiinteiden laitteiden (pumppaamot, murskaamot, tms.) Käyttöjännitteenä sallitaan kuitenkin 6000V. (Niskanen & Autio 2004, 1.)

Kittilän kaivoksen tunnelin sähköjakeluverkko on jaettu prosessi, omakäyttö- ja valaistusverkkoon. Suurin tehontarve on pumppaamoilla ja tuuletuksella. Yleisin jännite on 690V, jota käytetään sähkökäyttöisissä työyksiköissä, pumppaamoissa ja tuuletuksessa. Valaistus- ja omakäyttöverkon jännitteenä käytetään 400V. Liitteessä 1 on esitetty Osaleikkaus Kittilän kultakaivoksen sähköjakeluverkon pääkaaviosta koskien maanalaista kaivosta.

Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kultakaivoksen sähkönjakelu on toteutettu siten, että sähkönsyöttö on Vajukoski-Sirkka 110kV johdolta kaivoksen päämuuntamolle. Kaivoksen päämuuntajana on kaksi 110kV/20kV 25MVA-muuntajaa. Päämuuntamon 20kV:n kojeistoista lähtevät syötöt Kaivoksen suuaukolle, IVN2, Rikastamolle, Pihamuuntamolle, Avoulouhos/Murska/Pasta, SAG Mylly, Happilaitos 1 ja 2, Rikastamon laajennus ja kaivoskonttori.

Maanalaiselle kaivokselle syöttö tulee kaivoksen suuaukon ja IVN2:n kautta. Maanalaisessa kaivoksessa muuntamot ovat yleensä pumppaamoissa, ja joihinkin tasoperiin on myös asennettu konttimuuntamoita sähkönjakelua varten. VT-TUT varressa on konttimuuntamoita VT-TUT 20kV ja porasähkön jakelun takia. Yksinkertaistetusti suuaukon 20kV-linja palvelee VT2 rouran puolta ja IVN2 20kV-linja palvelee VT1 suurikuusikon puolta. S120MUP-225PUP/225VAP, R350MUP-S350MUP ja 599MUP-640MUP yhdyspisteiden kautta on toteutettu kaivokseen silmukkasyötöt.

VYK-verkko on tarkoitettu sähkökäyttöisille työyksiköille. VYK-verkkoa on jokaisella tasolla sekä VT1:ssä että VT2:ssa. Tasoille VYK-syöttö on toteutettu siten, että se tulee lähimmältä 20kV/690V muuntajalta. Esimerkiksi tasot S200 ja S225. Liitteissä 2 ja 3 on esitetty S200 ja S225 VYK-linjat. Kuvissa alin näkyvä taso on S250, jossa on muuntaja ja siitä seuraava on S225, jossa on muuntaja ja ylin on S200.

3.2 Sähkölaitteet

Tunneliin asennettavien sähkölaitteiden tulee olla rakenteeltaan lujia ja korroosionkestäviä. Laitteet on voitava tehdä jännitteettömiksi luotettavalla tavalla ja niiden on toimittava luotettavasti jännitteen vaihdellessa 1–10 prosenttia nimellisjännitteestä. Alijännitelaukaisua on käytettävä jos jännitteen alenemisesta on vaaraa laitteelle tai sen käyttäjälle. Sähkölaitteen automaattinen käynnistyminen jännitekatkoksen jälkeen on estettävä, jos siitä voi aiheutua vaaraa. (Niskanen & Autio 2004, 2.)

3.3 Johdot ja kaapelit

Maanalaisessa tunnelissa ja kaivoksessa saa käyttää yleensä märkään tilaan sallittuja johtolajeja standardissa SFS 600-8-52 mainituin seuraavin poikkeuksin. Paljasta eristimille asennettua johdinta käytetään vain sähköajoneuvon ajojohtimena sekä sähkötilassa olevan kytkinlaitoksen virtakiskona. Paloturvallisuuden kannalta olisi parempi käyttää HF-kaapeleita, (halogen free eli halogeeniton kaapeli). Maadoitusjohtimena ja erillisenä suojajohtimena ei saa käyttää alumiinijohtimia. Johtojen ja kaapeleiden rakenne ja sijainti tulee olla sellainen, että johto tai kaapeli kestää käyttöolosuhteissa siihen kohdistuvat rasitukset kuten kosteuden, korroosion, työkoneiden aiheuttamat kolhaisut, räjäytyksissä tulevat paineaallot ja lentävät kivet. (Niskanen & Autio 2004, 2.)

Kittilän kultakaivoksella käytetään VYK-kaapelina AMCMK-kaapeleita ja 20kV-kaapelina AHXAMK:ta. VYK-kaapelit on sijoitettu tasoperissä ja VT:ssä kulkemaan tunnelin seinällä noin kolmen metrin korkeudessa tai varustelurei'issä. 20kV-kaapeli on sijoitettu tunnelin kattoon noin 5,5 metrin korkeuteen tai varustelureikään.

3.4 Johtojen ja kaapeleiden mitoitus

Johtojen ja kaapeleiden mitoituksessa noudatetaan standardia SFS600-4-47. Maanalaiseen kaivokseen kaapeleiden tai johtojen sijoittaminen ei sinänsä tee niistä palonkestäviä. Johdot on varustettava ylikuormitus- ja oikosulkusuojilla. Johtojen ja kaapeleiden mitoittamisessa pitää ottaa huomioon ilman lämpötila. Maanalaisen kaivoksen lämmittämättömissä tiloissa lämpötila pysyy suhteellisen tasaisena, noin +7 °C aina 400 metrin syvyyteen, syvemmälle mentäessä ilma lämpenee noin 1 °C:lla 100 metriä kohti. (Niskanen & Autio 2004, 2.)

Johtojen ja kaapeleiden mitoittamisessa pyritään määrittämään tarvittavien johtimien poikkipinta, materiaali ja rakenne. Tavoitteena on mitoittaa verkko

siten, että asetetut jännite ja muut vaatimukset toteutuvat mahdollisimman hyvin. (Aura & Tonteri 1993, 81.)

3.5 Suojaukset

Suojalaitteet torjuvat häiriöiden haittavaikutuksia. Mitattavia suureita ovat ylivirrat, yli- tai alijännitteet, yli- tai alitaajuudet, vaaralliset kosketusjännitteet tai häiriöjännitteet. Vikatilanteissa tapahtuvat ilmiöt ovat niin nopeita, että suojalaitteiden on itsetoimisesti, ilman käyttöhenkilökunnan apua ja valvontaa tehtävä tarvittavat säätö- ja ohjaustoiminnot. Suojauksen on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- sen on toimittava selektiivisesti eli valitsevasti niin että mahdollisimman pieni osa verkosta joutuu häiriötilanteessa pois käytöstä.
- sen on toimittava nopeasti, niin että häiriön aiheuttamat vahingot jäävät mahdollisimman pieniksi.
- sen on suojattava aukottomasti koko järjestelmää.
- sen on oltava yksinkertainen ja käyttövarma.
- se on voitava koestaa käytön aikana.

Järjestelmä jaetaan suoja-alueisiin. Suoja-alue on järjestelmän osa, jossa sattuneen vian vaikutuksesta suoja toimii. Suoja-alueita voivat olla johdot, muuntaja, generaattorit, moottorit ja kokoomakiskot. (Aura & Tonteri 1993, 167.)

Kaivoksissa maasulkusuojauksen on täytettävä standardin SFS 6000-4-442 määräykset. Yli 1000 V:n järjestelmässä käytettäviä laitteita, jotka kytkevät maasulun itsetoimivasti ja nopeasti pois on täytettävä standardin SFS 6000-4-442 ja SFS 6001-9 (Niskanen & Autio 2004, 4.)

Ylivirtasuojaus on katsottava standardin SFS 6000-4-43 mukaan käytettäessä sulakkeita tai johdonsuojakatkaisijoita. Pitkiä siirrettäviä johtoja käsittävissä jakelujärjestelmissä on laitoksen haltijan annettava käyttäjille ohjeet sallituista johtopituuksista, poikkipinta-aloista yms. Ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen on täytettävä standardin SFS 6001-3 ohjeet. Muuntajan ja pääkeskuksen väliset

kaapelit ja johdot on asennettava palonkestävästi tai varustettava ylivirtasuojilla. (Niskanen & Autio 2004, 4.)

3.5.1 Kosketusjännitesuojaus

Maanalaisissa kaivoksissa enintään 1000 V:n ja yli 1000 V:n järjestelmän kosketusjännitesuojauksessa on noudatettava standardin SFS 6001-7 vaatimuksia. Kaivoksessa pitää käyttää enintään 1000 V:n järjestelmän käyttömaadoituksessa ja yli 1000 V:n järjestelmän suojamaadoituksessa yhteistä maadoituselektrodia. Kaivoksessa maadoitusjännite saa olla enintään standardin SFS 6001 liitteen Y taulukon 10.2-1 kohdan d mukainen. Kaivoksessa maadoitusjännite voi levitä suojamaadoitettuihin osiin galvaanisessa yhteydessä olevien metalliputkistojen, kuljettimien, kaapelihyllyjen, kiinnitysvaijereiden, johtavan kiven yms. välityksellä. Tämän vuoksi on pyrittävä huomattavasti pienempiin maadoitusjännitteisiin, jos maadoitusolosuhteet niin sallivat. (Niskanen & Autio 2004, 4.)

3.5.2 Sulakkeeton suojaus

Tavallisesti pienjännitejakeluverkon vikavirtasuoja on sulake, mutta sulakkeettomassa järjestelmässä se on jokin muu. Yleisimmin käytetään johdonsuoja-, kompakti- tai ilmakatkaisijaa.

Katkaisijaa käytetään samaan tapaan kuin sulakkeita sähkönjakeluverkossa. Katkaisijan tehtävänä on kytkeä kaikissa tapauksissa syöttöjännite kuormitukseen, johtaa kuormituksen jatkuva nimellisvirta ja pystyä katkaisemaan virtapiiri käyttöhäiriötapauksissa. Katkaisijan toiminnan kannalta vaativin toimintavaihe on oikosulkupiirin katkaisu. Katkaisijan on pystyttävä katkaisemaan suurin sijoituspaikalla esiintyvä oikosulkuvirta. (Aura & Tonteri 1993, 269.)

Kittilän kultakaivoksella on käytössä ABB SACE Tmax -kompaktikatkaisijoita VYK-lähdöissä. VYK-lähdössä käytettävä katkaisija on Tmax T4N, joka on

varustettu elektronisella suojarieleellä. Katkaisijan nimellisvirta on 250/320, nimellinen käyttöjännite on 690V, äärimmäinen oikosulun nimelliskatkaisukyky on 20kA. Suojareleen perustoimintoja on ylikuormitussuojaus, oikosulkusuojaus viiveellä ja oikosulun pikalaukaisu. (ABB Oy 2007.)

3.6 Maadoitus

Kaivoksen maadoituksen suorittamisessa on noudatettava soveltuvin osin standardin SFS 6001-9 ohjeita. Maadoituselektrodi tai elektrodit on asennettava sopivaan paikkaan maan pintakerrokseen. Kaivokseen on tehtävä lisäelektrodeja, mikäli kallionperän johtavuus antaa siihen mahdollisuuden. Yhteistä maadoituselektrodia käytettäessä on eri järjestelmien maadoitettavat osat yhdistettävä elektrodiin siten, että maanpäälliseltä maadoituselektrodilta asennetaan vähintään kaksi runkomaadoitusjohdinta muuntoasemien läheisyyteen mieluiten rengasmaisesti. Katkeamisvaaran vuoksi johtimet on asennettava kahta eri reittiä kaivokseen. Muuntoasemalla pitää olla maadoituskisko, johon yhdistetään suurjännitejärjestelmän suojamaadoitettavat osat. (Niskanen & Autio 2004, 4.)

Kittilän kultakaivoksen alueella on laaja maadoitusverkko, joka yhtyy kahta reittiä maanalaiseen kaivokseen. Maadoitusverkkokaavio on esitetty liitteessä 4.

3.7 Merkinnät

Kytkimet, joiden käyttötarkoitus ei ole ilman muuta selvä, tulee merkitä selvästi käyttötarkoitusta ilmaisevalla yksiselitteisellä tavalla. Merkkilamppujen, painonappien ja hallintalaitteiden rakenteen, merkinnän ja värin tulee olla standardin SFS 6000–514 mukainen. Johto on merkittävä kummastakin päästä vaipan pään kohdalta. Johdinmerkintänä käytetään esim. riviliitin numeroa, osanumeroa ja johdinnumeroa. Merkinnöissä voidaan käyttää standardin SFS 6000–514 mukaisia sähkökoneiden ja -laitteiden tunnusjärjestelmää. (Niskanen & Autio 2004, 5.)

Kittilän kultakaivoksella käytetään VYK-kaapelissa syöttävän keskuksen tunnusta. Esim. S450TP1 VYK-linjan merkintä on 440PUP K27A.07B, jossa 440PUP tarkoittaa S440 pumppaamaa, K27A on 440 pumppaamon 690V keskus ja 07B on lähtökennon tunnus.

3.8 Piirustukset

Kaivoksen sähköverkosta on oltava seuraavat ajan tasalla olevat tiedot:

- sähkönjakeluverkon pääkaavio, puhelinverkon ja maadoitusverkon yleiskaaviot.
- karttapiirustukset, joihin on merkitty johtojen ja laitteiden maantieteellinen sijainti.
- keskuksiin liittyvien laitteiden piirikaaviot.
- tarpeelliset piirikaaviot ja asennusohjeet kaivoksessa käytössä olevista kojeista ja laitteista. (Niskanen & Autio 2004, 5.)

Kittilän kultakaivoksen sähköverkosta on ajan tasalla olevat tiedot Sähkönjakeluverkon pääkaaviosta, puhelinverkosta ja maadoitusverkosta. Keskuksien, kojeiden ja laitteiden piirikaaviot ja niiden asennusohjeet ovat ajan tasalla. Tämän opinnäytetyön yksi tavoitteista oli tehdä karttapiirustus maanalaisen kaivoksen sähköverkosta ja laitteista.

4 SÄHKÖTEKNINEN LASKENTA

4.1 Johdon jännitteenalenema

Sähkönlaatu on merkittävä tekijä tuotantoprosessin toimivuuden kannalta. Ongelmia voi aiheutua monista eri syistä. Pahimmassa tapauksessa ongelmat voivat aiheuttaa tuotannon katkeamisen. Jakeluverkkolaskuissa eniten kiinnostaa johdon loppupäässä maksimikuormituksella oleva alku- ja loppupään jännitteiden itseisarvojen erotus. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain VYK-syötön johdon loppupäässä tapahtuvaan jännitteenalenemaan. (Lakervi & Partanen 2007, 23.)

Jännitteenalenema voidaan laskea käyttäen seuraavaa kaavaa (1):

$$U_h = \frac{P}{U^2} (R + X \tan \varphi) \quad (1)$$

missä

U_h = vaihejännitteen alenema

P = loppupään kuormitus

R = johtimen kokonaisresistanssi

X = johtimen kokonaisreaktanssi

φ = vaihejännitteen ja –virran välinen vaihesiirtokulma (Lakervi & Partanen 2007, 24.)

4.2 Johdon oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojausten mitoittamisessa, suunnittelussa ja turvallisen käytön suunnittelussa on tunnettava oikosulkuvirrat eri tilanteissa ja eri osissa verkkoa. Komponenttien on kestävä oikosulun aikaiset dynaamiset ja termiset rasitukset. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain VYK-syötön johdon loppupäässä olevaan pienimpään oikosulkuvirtaan. (ABB Oy 2000.)

Kittilän kultakaivoksella käytetään VYK-johdon suojuksessa katkaisijoita. Katkaisijalla johdon oikosulkusuojauksessa on määritettävä ensin katkaisijan asennuspaikan rajoittamattoman symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo. Tämän jälkeen valitaan katkaisija, jonka katkaisukyky on suurempi kuin tämä oikosulkuvirta. Suojattavan johdon alkupään suurimman oikosulkuvirran lisäksi on selvitettävä suojattavan kaapelin loppupäässä esiintyvä pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirran arvo. (Heinonen & Karvonen 2004, 7.)

Oikosulkuvirran laskeminen Thevenin menetelmällä esitetään kaavassa kaksi:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (2)$$

missä

c = taulukon 1 mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

Z_k = impedanssi vikapaikasta katsottuna (ABB Oy 2000.)

Taulukko 1. IEC 60909- mukainen jännitekerroin c . (ABB Oy 2000.)

Nimellisjännite U_n	Maksimioikosulkuvirta C_{max}	Minimioikosulkuvirta C_{min}
Pienjännite 100 V-1000 V		
a) 230 V / 400 V	1.00	0.95
b) muut jännitteet	1.05	1.00
keskijännite 1 kV – 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV – 230 kV	1.10	1.00

5 SÄHKÖVERKON MALLINTAMINEN

Yleisesti sähköverkon mallintaminen on verkostolaskentaan tarkoitetuilla ohjelmilla luotuja verkostolaskentamalleja, jotka ovat 2D-malleja. Mallinnettu sähköverkko on verkon toiminnallisuuden varmistamisen lisäksi myös investointi tulevaan. Muutosten hallinta on helppoa, kun pohjatyö on tehty kerralla kuntoon. Sähköverkon mallinnus mahdollistaa verkon tehonjaon ja oikosulkuvirtojen laskennan sekä suojauksen selektiivisyysanalyysin tekemisen erilaisissa kytkentätilanteissa. (ABB Oy 2013.)

5.1 3D-mallintaminen

3D-mallintaminen on kasvattanut osuuttaan suunnittelutapana viime vuosien aikana. Yritykset siirtyvät yhä enenevässä määrin 3D-mallinnusohjelmien käyttöön, koska ne ovat huomattavasti tehokkaampia kuin nykyiset 2D-ohjelmat. 3D-mallinnusta voidaan käyttää monipuolisesti tuotekuvien tekemisessä, mutta suurin hyöty saavutetaan, kun sitä käytetään osien yhteensovittamiseen ja rakenteen toimivuuden varmistamiseen. Mallinnusohjelmia voidaan käyttää melkein missä tahansa suunnittelussa, mutta eniten sitä käyttävät kone- ja laitesuunnittelijat. (Tuhola & Kristiina 2008, 13–16.)

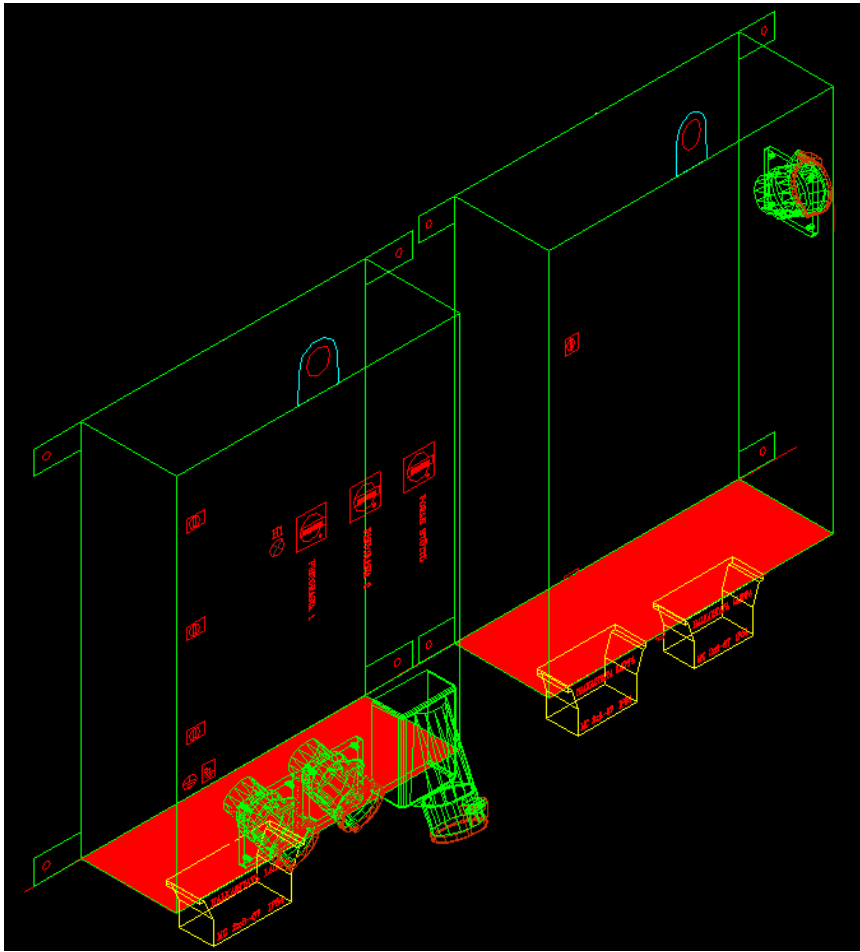
3D-mallinnus on kolmiulotteista tuotteiden suunnittelua tämä tarkoittaa sitä, että kappaleet, osat ja kokoonpanot näyttävät oikeilta ja niille annetaan kaikki ne fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet, jotka kappaleella on todellisuudessa. Kappaleet ovat kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaattiakseleista. Pyöritettäessä kappaletta tai karttaa kolmiulotteisessa avaruudessa tulee ottaa huomioon eri koordinaattiakselien suunnat ja niiden muutokset. On tärkeää tietää kulmien kiertosuuntien positiivisuus ja negatiivisuus aivan kuin 2D-piirtämisessäkin. (Tuhola & Kristiina 2008, 17–18.)

5.2 CADS Planner Electric Pro

Tähän opinnäytetyöhön valittiin CADS Planner Electric Pro -ohjelman, koska kaksi muuta ohjelmaa olivat hankalia käyttää ja niissä oli lisenssiongelmia. Valintaan vaikutti myös CADS Planner Electricin Pron ominaisuudet, joita ei ole kahdessa muussa ohjelmassa. Näitä ominaisuuksia ovat tuotetietokanta ja sähkötekniinen laskenta ominaisuus. Sitä julkaisee Kyndata Oy. CADS tarjoaa kolmea eri toimialoja koskevaa suunnitteluohjelmistoa. Electric sähkö- ja automaatio suunnitteluun, Hepac LVIA-suunnitteluun ja House arkkitehti- ja rakennesuunnitteluun. Ohjelmistoilla on omat käyttötärpeisiin määritellyt käyttötasot. Käyttötasot ovat Lite, Standard ja Pro. Litessä on vähiten ominaisuuksia, kun taas Prossa on kaikki ominaisuudet. Prossa on myös sähkötekniinen laskentaominaisuus. Kaikki käyttötasot tukevat IFC-tiedonsiirtoa ja ovat 3D-käyttöön soveltuvia. (CADS Planner 2015.)

CADS Planner Electric Pro 3D-piirto-ominaisuudet eivät yllä aivan huippu 3D-ohjelmistojen tasolle. Yksinkertaiseen 3D-mallinnukseen se käy erittäin hyvin. CADS Planner Electric:n 3D-suunnittelu perustuu tietomallipohjaiseen suunnitteluun, jossa perinteistä tasopiirustusta tehdessä 3D-malli syntyy generoimalla. Tietomallisuunnittelu perustuu ohjelmiston tuotemalleihin, jolloin yksittäiselle sähkökomponentille voidaan määritellä sitä vastaava 3D-malli. Ohjelmistossa on laajat 3D-mallikirjastot ja 3D-malleja voi tehdä myös itse. (CADS Planner 2015.)

Kuvassa 1 on itse tehty VYK-mallinnus. VYK-mallinnus tehtiin toimittajan 2D-kuvien pohjalta. Kuvassa vasemmalla on porasähkösyöttö kotelo, johon sähkökäyttöiset työkoneet kytketään ja oikealla on haaroituskotelo, johon syöttö tuodaan ja tarvittaessa jatketaan seuraavalle haaroituskotelolle.



Kuva 1. VYK ja haaroituskotelo 3D-mallinnus

6 KAIVOKSEN MAANALAISEN SÄHKÖVERKON MALLINTAMINEN

Kittilän kultakaivoksen sähköverkon mallinnuksen taustalla on tarve saada tietoon kaivoksen kaapeleiden reitit, muutenkin kuin vain asentajien muistin varassa olevaksi. Sähköverkon mallinnusta voidaan käyttää myös hyväksi tulevaisuudessa suunnittelussa ja käytönvalvontajärjestelmien pohjakuvana sekä varmistuksena suojaetäisyyksien täyttymisestä suunnitellessa geologisia kairausreikiä, varustelureikiä ym.

6.1 Työn aloitus

Opinnäytetyö alkoi tutustumalla Kittilän kultakaivoksen sähköverkkoon ja tunnelissa liikkumiseen. Seuraavaksi selvitettiin sopiva ohjelma sähköverkon mallintamiseen kaivoksella olevista 3D-suunnitteluohjelmista. Kaivoksella oli kaivoksen mallintamiseen ja suunnitteluun sopivia ohjelmia Deswik ja Surpac, mutta niistä luovuttiin jo alkuvaiheessa niiden hankaluuden ja lisenssiongelmien takia. CADS Planner Electric Pro oli jo alkuvaiheesta lähtien mukana tutkittavien ohjelmien listalla sen tuotetietokannan ja sähkötekniikan laskentaominaisuuksien takia. Aluksi tutkittiin CADSin soveltuvuutta kaivoksen 3D-karttapohjan avulla tehtävään sähköverkon mallinnukseen. Koska karttapohja on tehty 2D-tyylisesti, CADS soveltui hyvin 2D-piirtämisen osalta mallinnukseen. Erona 2D-piirtoon oli se, että karttapohjaa pystyi pyörittämään kolmiulotteisessa avaruudessa miten halusi, ja sen tasot on piirretty miinusmerkkisesti, eli 0-tasosta alaspäin.

6.2 20kV-verkon mallinnus

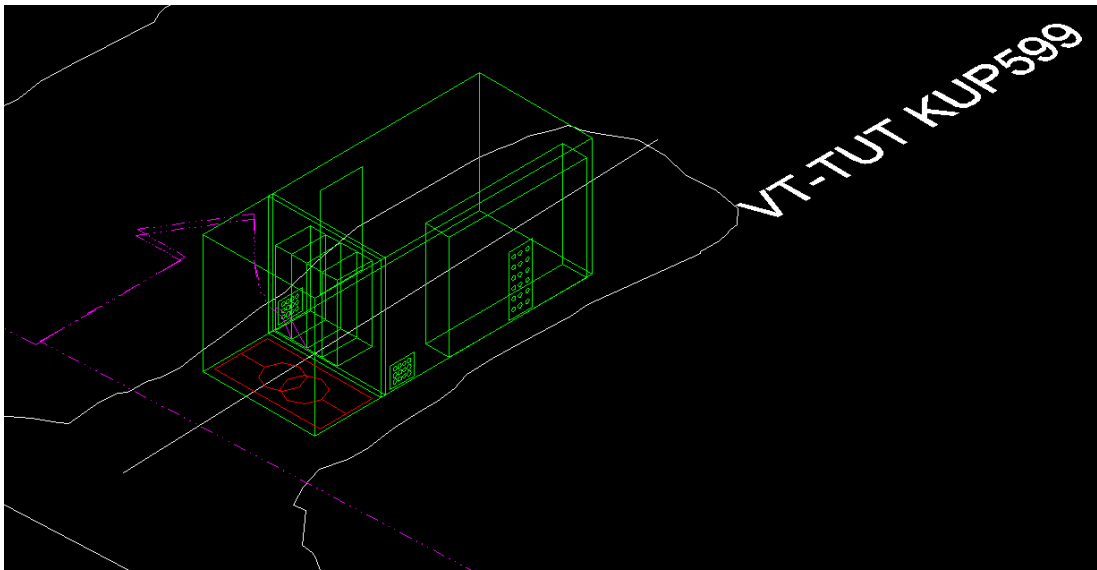
20kV-verkon mallinnus alkoi siitä, että selvitettiin maanpäältä tulevat 20kV-kaapelien tunneliin sisään menevät varustelureiät. Tämän jälkeen kaivoksen katossa menevää 20kV-kaapelia seurattiin ensimmäiselle muuntamolle, joka on VT1 120MUP. VT1 120MUPista lähtee kaksi linjaa eteenpäin. Toinen menee varustelureikää pitkin R210PUPiin, josta tunnelia ja varustelureikiä pitkin

R350MUPiin, ja toinen jatkaa VT1 pitkin S225VAP katkaisijakojeistolle. Tämä linja on suuaukon linja.

S225PUP-erotinkojeistolle tulee maanpäältä toinen 20kV-linja, joka jatkuu alaspäin tunnelia pitkin noin S250 tason kohdalle, jonka jälkeen menee varustelureikää pitkin S325MUPiin ja siitä tunnelia pitkin 300MUPiin. S325MUPista lähtee toinen linja varustelureikiä pitkin 400MUPiin, 500MUPiin ja siitä VT-TUT tunnelia pitkin 599MUPiin ja 683MUPiin. S225VAPista lähtee kaksi linjaa toinen tunnelia pitkin 250MUPiin ja toinen suoraan alaspäin varustelureikää pitkin S350 päätasolle. Linja jatkuu S350-päätasolta varustelureikiä pitkin S440PUPiin, S540MUPiin ja S640PUPiin. Tämä on normaalissa jakelutilanteessa IVN2-linja.

Ensimmäinen syöttölinjanvaihtomahdollisuus on S225VAPissa, johon tulee VT1 120MUPista linja ja maanpäältä tuleva IVN2-linja. Toinen syöttölinjanvaihtomahdollisuus on S350-päätason muuntamalla, johon tulee R350MUPista linja ja S225VAPista tuleva linja. Kolmas syöttölinjanvaihtomahdollisuus on 599MUPissa, johon tulee linjat S640PUPista ja 500MUPista. 20kV-verkko piirrettiin ensin tulostettuun kaivoksen karttapohjaan käsin, minkä jälkeen se mallinnettiin CADSilla kaivoksen 3D-karttapohjaan. Liitteessä 5 on kaivoksen mallinnettu 20kV-verkko.

Kaivoksen 20kV-verkko on mallinnettu omalle tasolleen, joka voidaan ottaa näkyviin karttapohjaan tarvittaessa. Muuntamot on myös laitettu jokainen omalle tasolleen niiden nimen ja tason mukaan. Esim. S599MUP VT-TUT. Kuvassa 2 on S599MUP VT-TUT sijoitettu karttapohjaan sille tarkoitettuun perään.

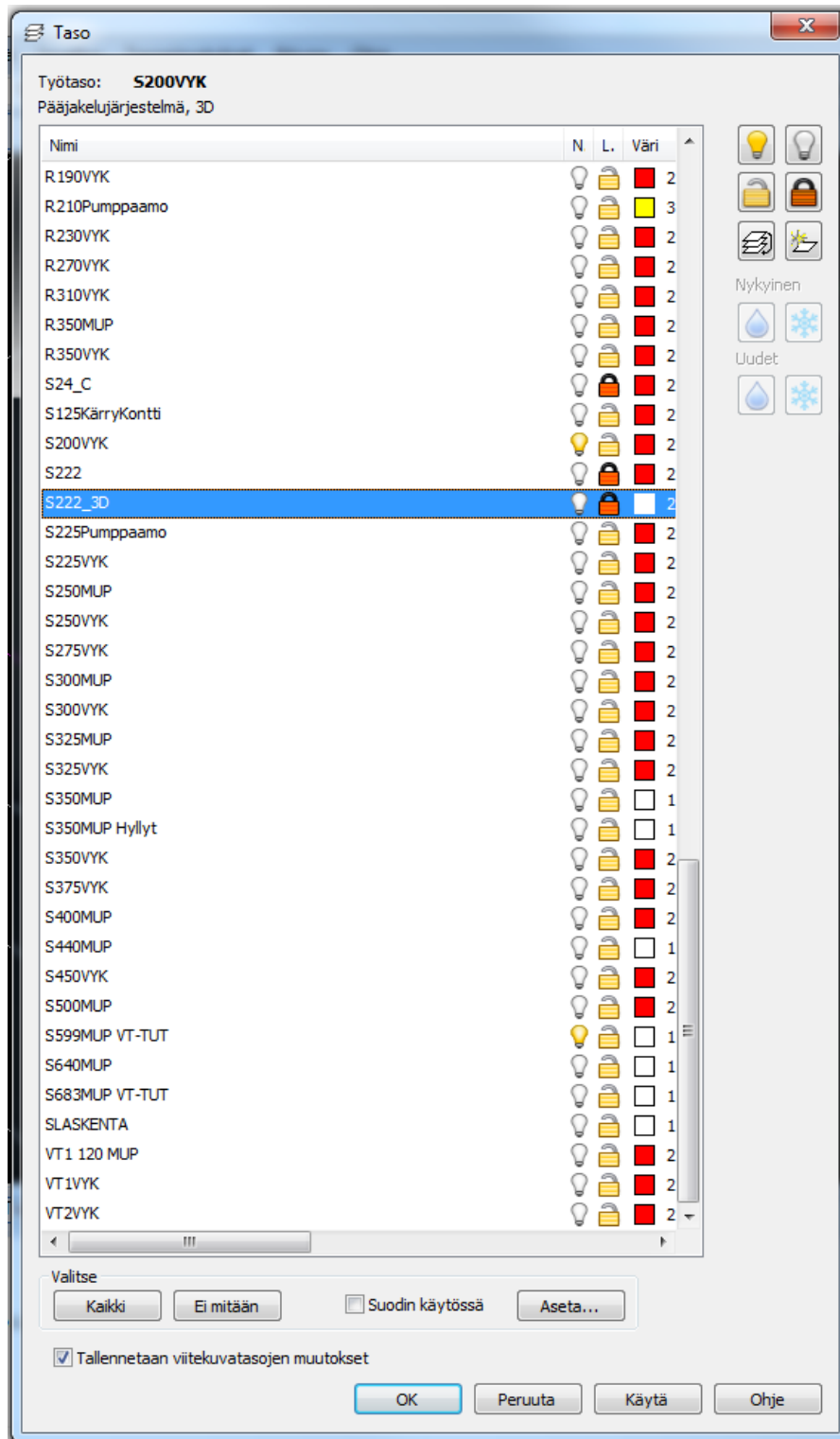


Kuva 2. S599MUP VT-TUT

6.3 Pj-verkon mallinnus

Pj-verkon mallinnus rajattiin VYK-verkkoon. VYK-verkon mallintaminen lähti liikkeelle Rouran puolelta, koska se oli helpompi ja pienempi kuin Suurikuusikon puoli. VYK-verkko piirrettiin ensin tulostettuun kaivoksen karttapohjaan käsin. Aina taso kerrallaan ja piirrettiin tason VYK-verkko tulostettuun karttapohjaan, johon merkattiin myös VYKkien tunnuksset. Tämän jälkeen käsin piirretty versio mallinnettiin CADSilla Kaivoksen 3D-karttapohjaan taso kerrallaan.

Rouran ja Suurikuusikon tasot olivat suhteellisen helppoja käydä läpi, koska tasoilla pystyi liikkumaan vapaasti, silloin kun niillä ei ollut ajoa tai porausta käynnissä. VT2 VYK-linjan läpikäyminen oli jo hieman haastavampaa, koska siinä oli liikennettä jokin verran. VT1 oli tosi hankala käydä läpi juurikin sen takia koska siinä liikennettä on jatkuvasti ja isot kiviautot ajavat sitä pitkin maanpäälle. VYK-linjat on piirretty jokainen omalle tasolleen CADSissä, ja ne on nimetty tason mukaan näin: S200VYK. Kuvassa 3 on CADSin tasolista. Liitteessä 6 on kaivoksen VYK-verkko mallinnettuna kokonaisuudessaan.



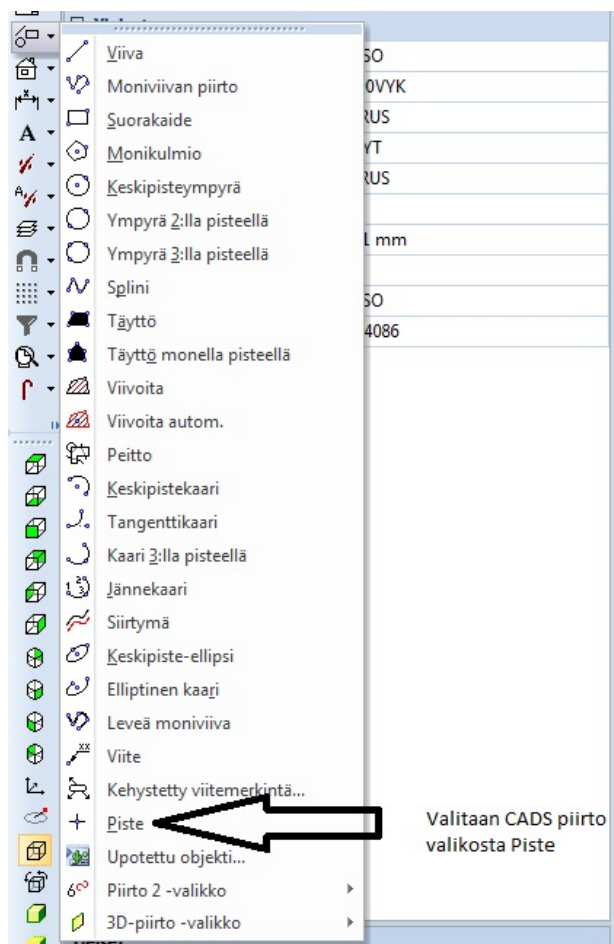
Kuva 3. Tasolista

6.4 Mallinnuksen tekeminen

CADS Planner Electric Prolla piirtäminen oli helppoa, joskin vaivalloista. Ongelmia tuotti kaapelin piirtäminen kaivoksen 3D-karttapohjaan. CADS Planner Electric Pron johdota ominaisuus ei piirtänyt kaapelia kuin yhteen tasoon kerrallaan, eli sillä ei pystynyt seuraamaan tunnelia z-koordinaatin suunnassa. Ongelmaan ratkaisu oli tehdä kohdistuspisteitä tunnelin mukaan ja määrittää niille korko, jonka jälkeen kaapelin reitti piirrettiin spliniä avuksi käyttäen. Splini sitten muutettiin attribuuttien avulla kaapeliksi. Näin saatiin mallinnettua kaapelireitit 3D-karttapohjaan.

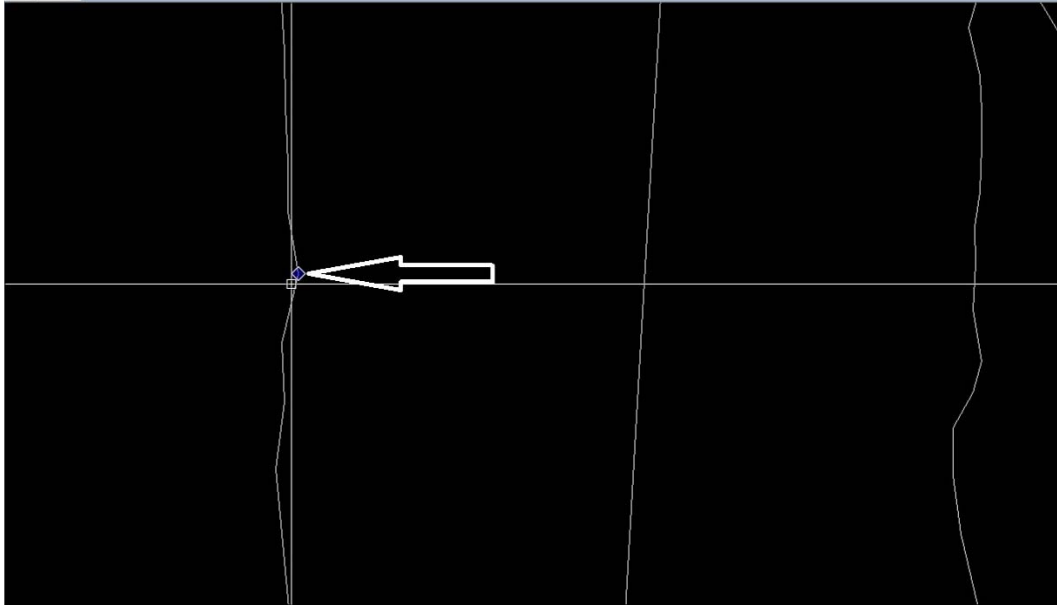
Mallintamien 3D-karttapohjaan tapahtui seuraavasti:

- 1) Valitaan CADS piirtovalikosta Piste. Kuvassa 4 on piirtovalikko josta piste löytyy.



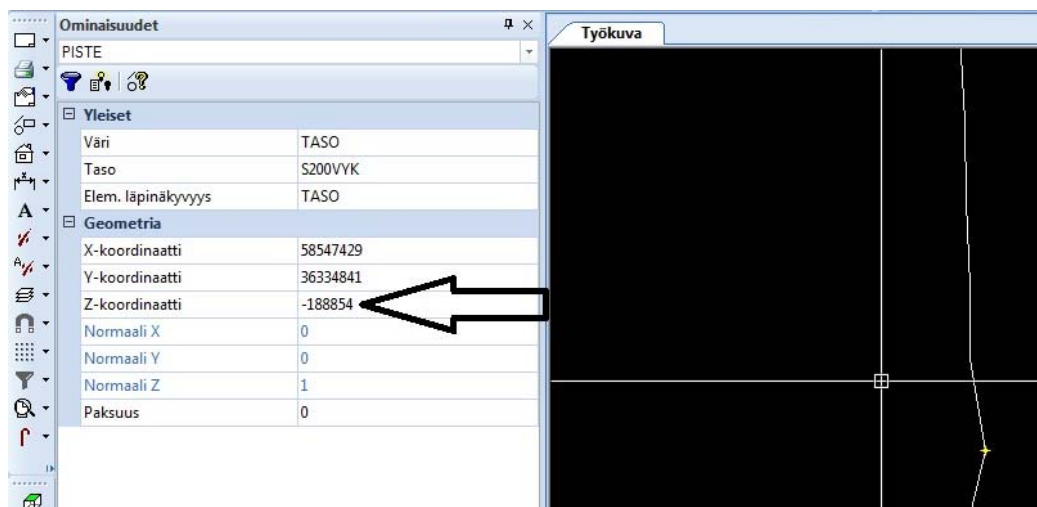
Kuva 4. Piirtovalikko

- 2) Valitaan karttapohjasta sopiva kohta johon piste sijoitetaan. Kuvassa 5 piste on sijoitettu karttapohjaan.



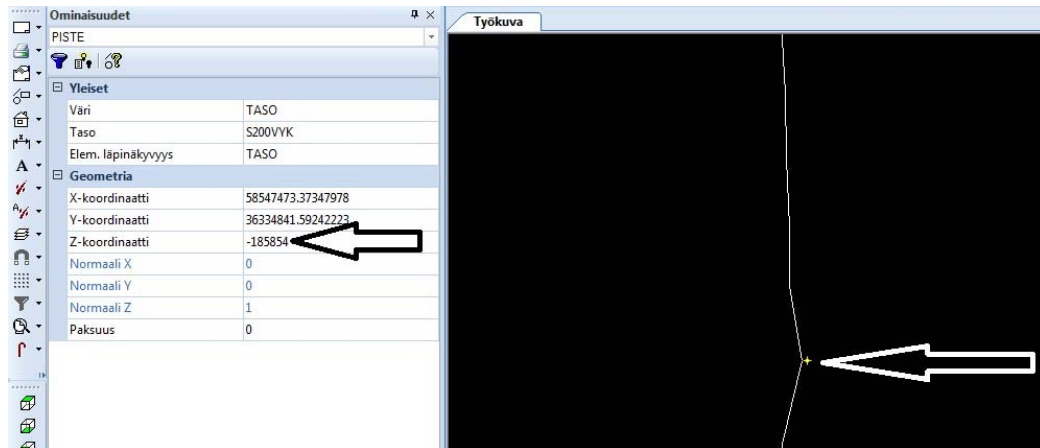
Kuva 5. Piste sijoitettuna karttapohjaan

- 3) Pisteelle määritetään korko Z-koordinaatti noin kolme metriä korkeammalle kuin nykyinen korko. Kuvassa 6 on pisteen nykyinen korko.



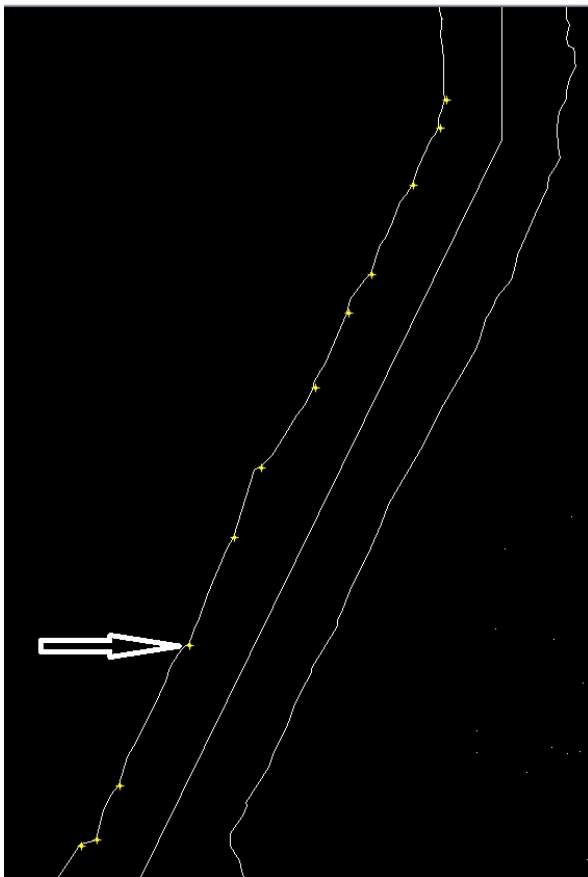
Kuva 6. Pisteen nykyinen korko

- 4) Korkeus muutetaan -188854 -> -185854 ja siirretään pistettä seinästä irti vähän, jotta se näkyy paremmin. Kuvassa 7 on pisteen korkeus muutettu ja sitä on siirretty seinästä vähän irti.



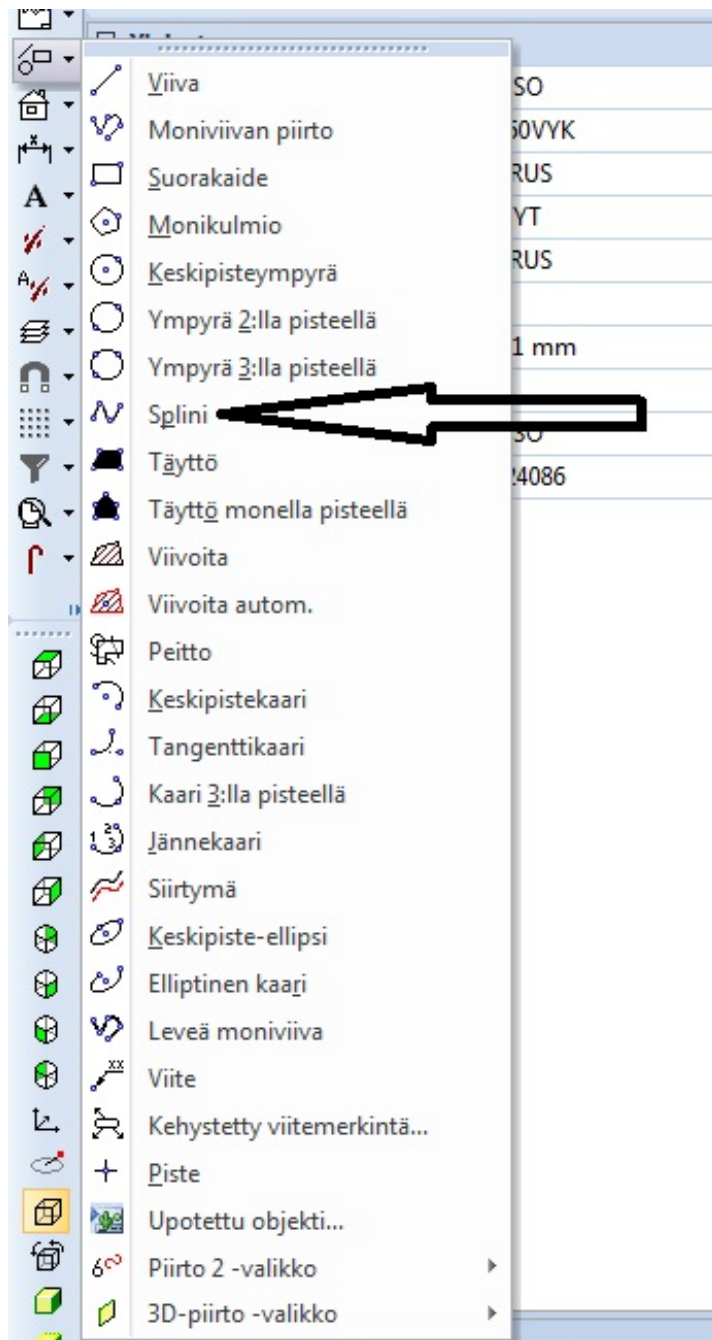
Kuva 7. Pisteen korkeus on muutettu ja siirretty seinästä irti

- 5) Pisteitä sijoitetaan karttapohjaan riittävästi linjaa varten. Kuvassa 8 pisteitä on sijoitettu riittävästi linjaa varten.



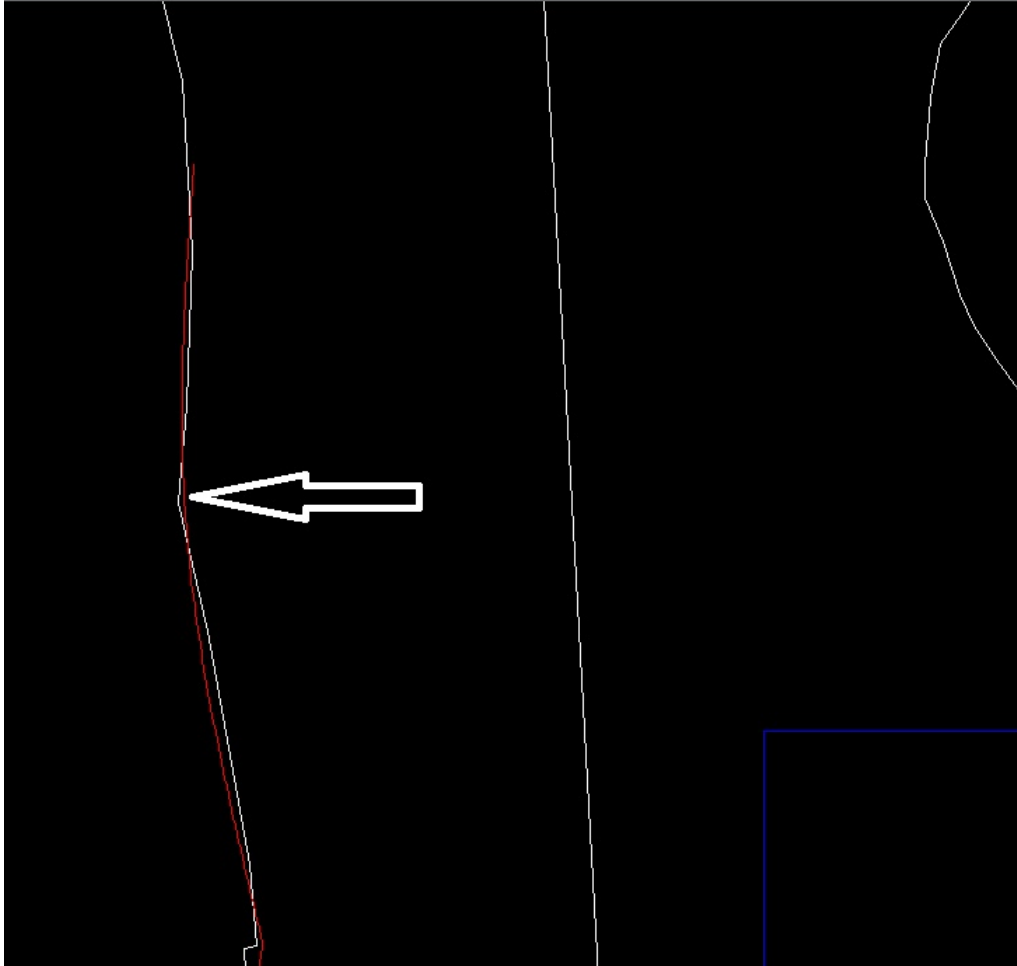
Kuva 8. Pisteitä on sijoitettu karttapohjaan riittävästi

- 6) Pisteiden laitton jälkeen piirretään linja, joka kuvaa VYK-linjaa. Valitaan CADs piirtovalikosta Splini. Splini sen takia koska sillä voidaan piirtää koko linja valmiiksi ja muokata se sopivaksi karttapohjaan. Kuvassa 9 on piirtovalikko josta valitaan splini.



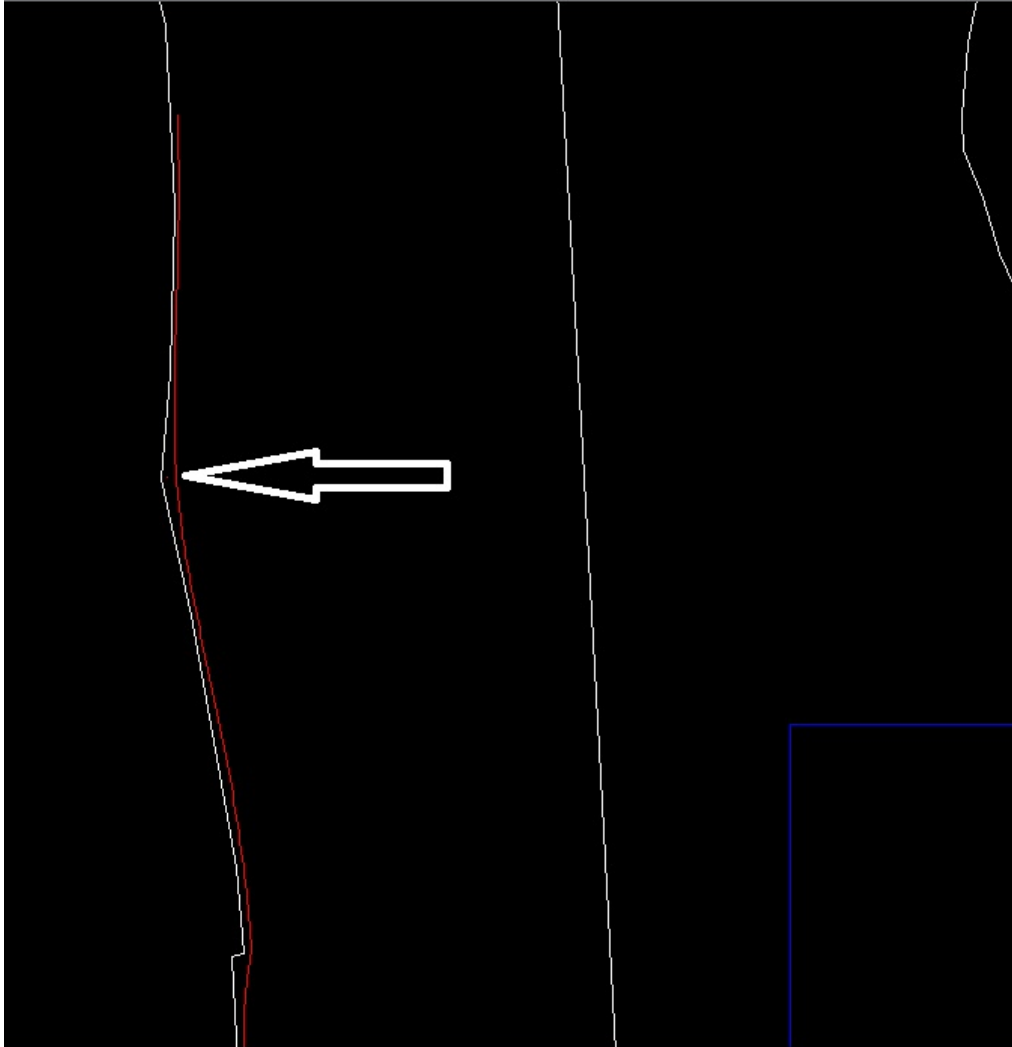
Kuva 9. Piirtovalikko

- 7) Piirretään splini-pisteitä apuna käyttäen karttapohjaan. Kuvassa 10 on splini piirretty karttapohjaan.



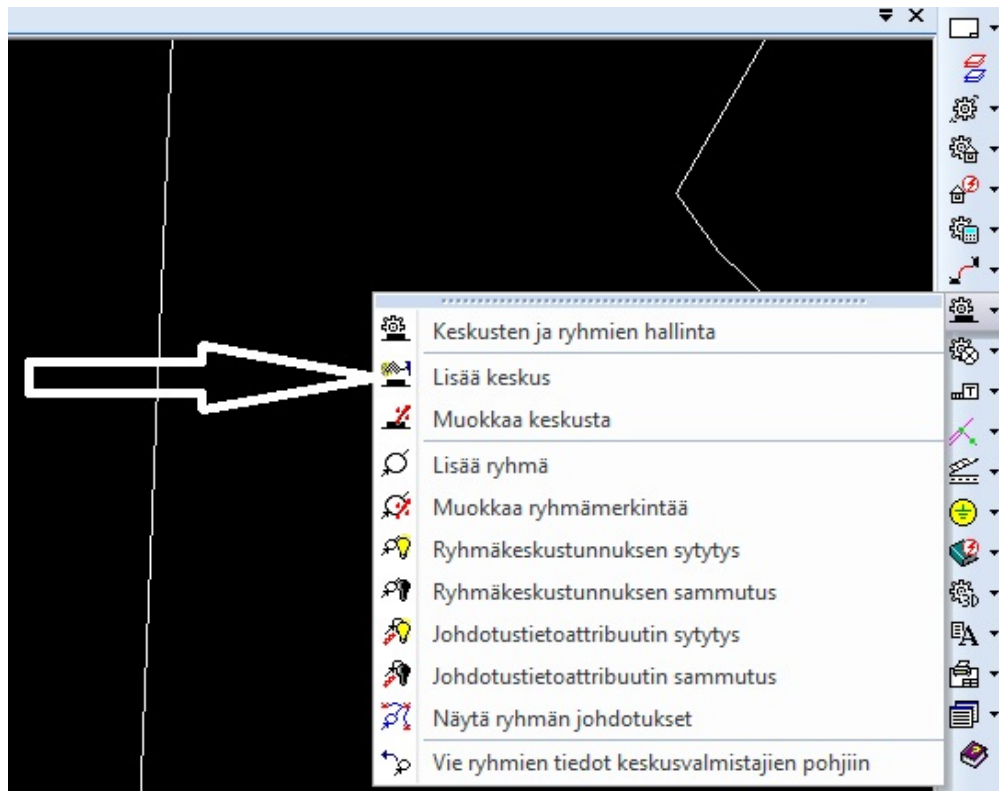
Kuva 10. Splini on piirretty karttapohjaan

- 8) Muokataan splini karttapohjaan sopivaksi. Kuvassa 11 on splini muokattuna.



Kuva 11. Splini on muokattu karttapohjaan sopivaksi

- 9) Kun VYK-linja on piirretty splininillä sijoitetaan karttapohjaan VYK keskus. VYK keskus sijoitetaan karttapohjaan sille kohdalle, jossa se on todellisuudessaakin, noin metrin tarkkuudella. Kuvassa 12 on valikko, josta keskus valitaan.

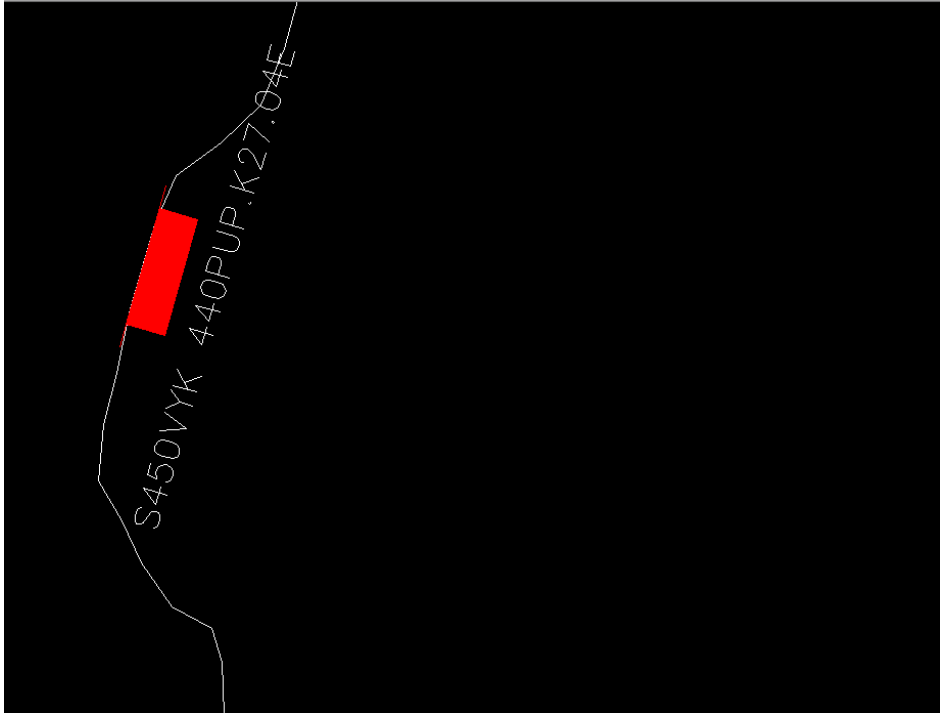


Kuva 12. Keskustoiminnot valikko

10) Lisää keskus valitaan, jolloin aukeaa kuvassa 13 näkyvä ikkuna. Tässä ikkunassa annetaan keskuksen tiedot, kuten keskustunnus, ryhmä ja 3D-symboli.

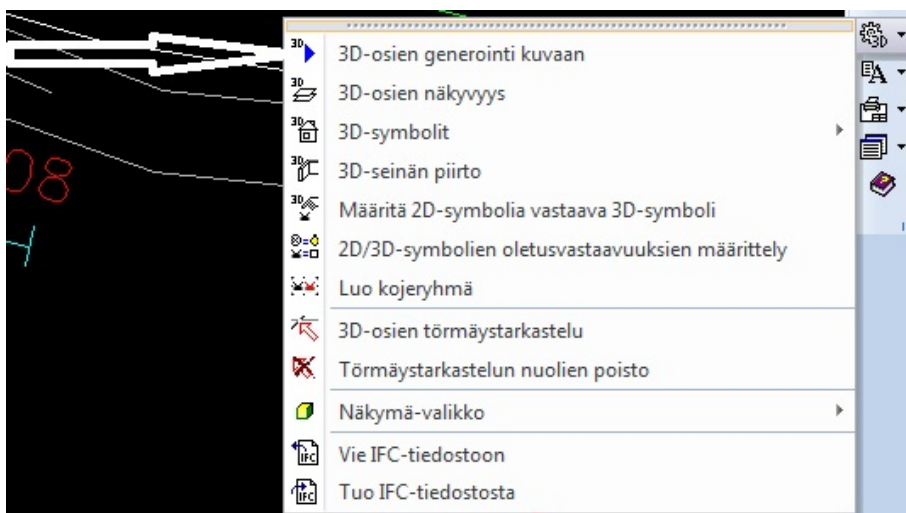
Kuva 13. Keskuksen tiedot ikkuna

11) Sijoitetaan VYK keskus karttapohjaan. Kuvassa 14 on VYK keskus sijoitettu karttapohjaan.



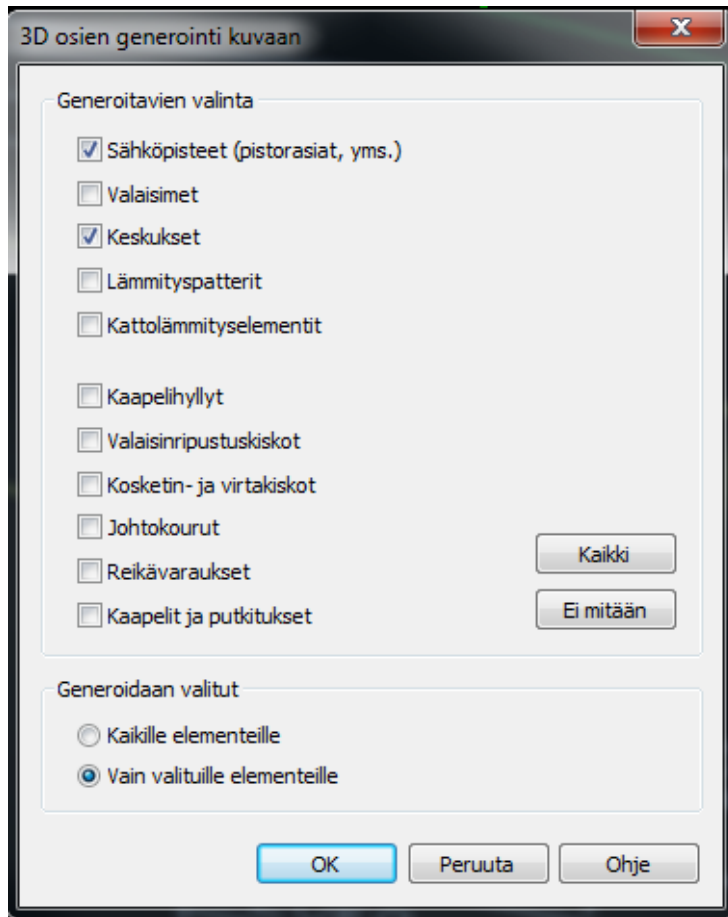
Kuva 14. VYK keskus on sijoitettu karttapohjaan

12) Kun VYK keskus on sijoitettu karttapohjaan, generoidaan sille 3D-symboli. Valitaan CADS valikosta 3D-piirtotoiminnot 3D-osien generointi kuvaan. Kuvassa 15 on 3D-piirtotoiminnot valikko.



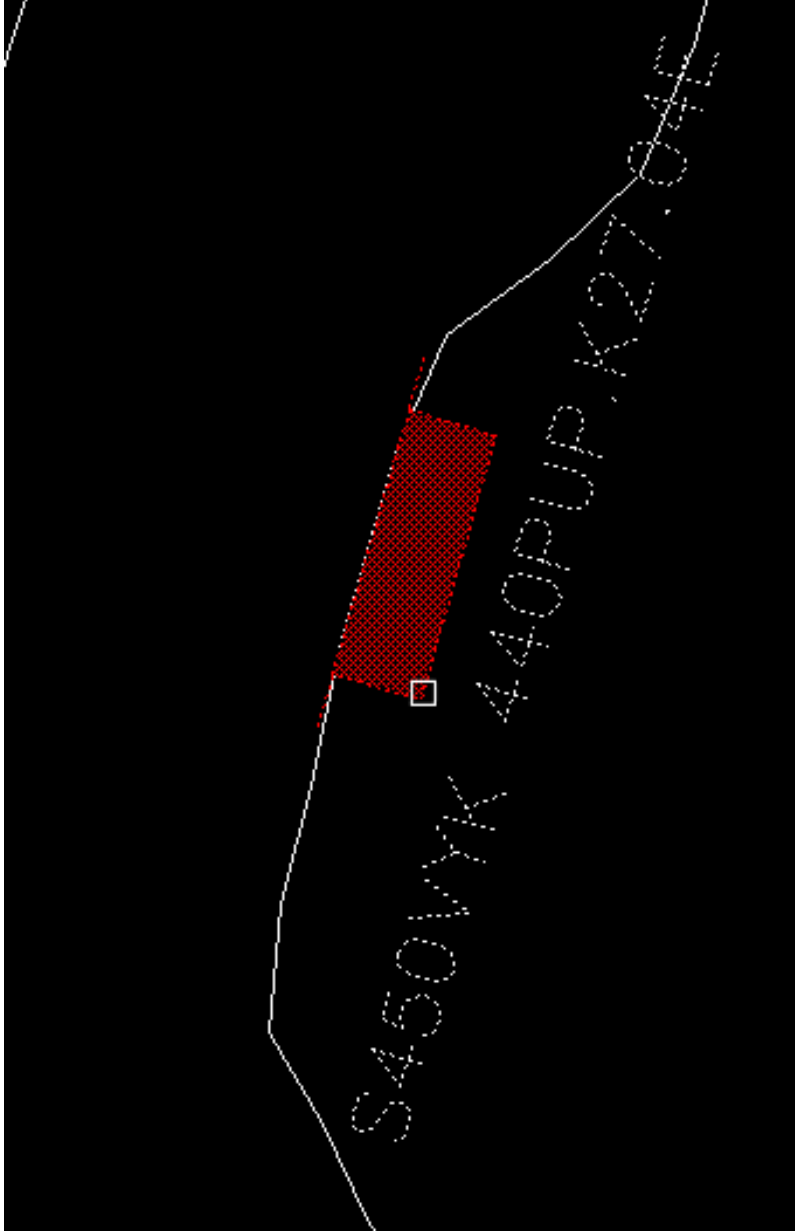
Kuva 15. 3D-piirtotoiminnot valikko

13) Valitaan 3D-osien generointi kuvaan, jolloin aukeaa kuvassa 16 näkyvä ikkuna. Ikkunassa valitaan generoitavat kohteet.



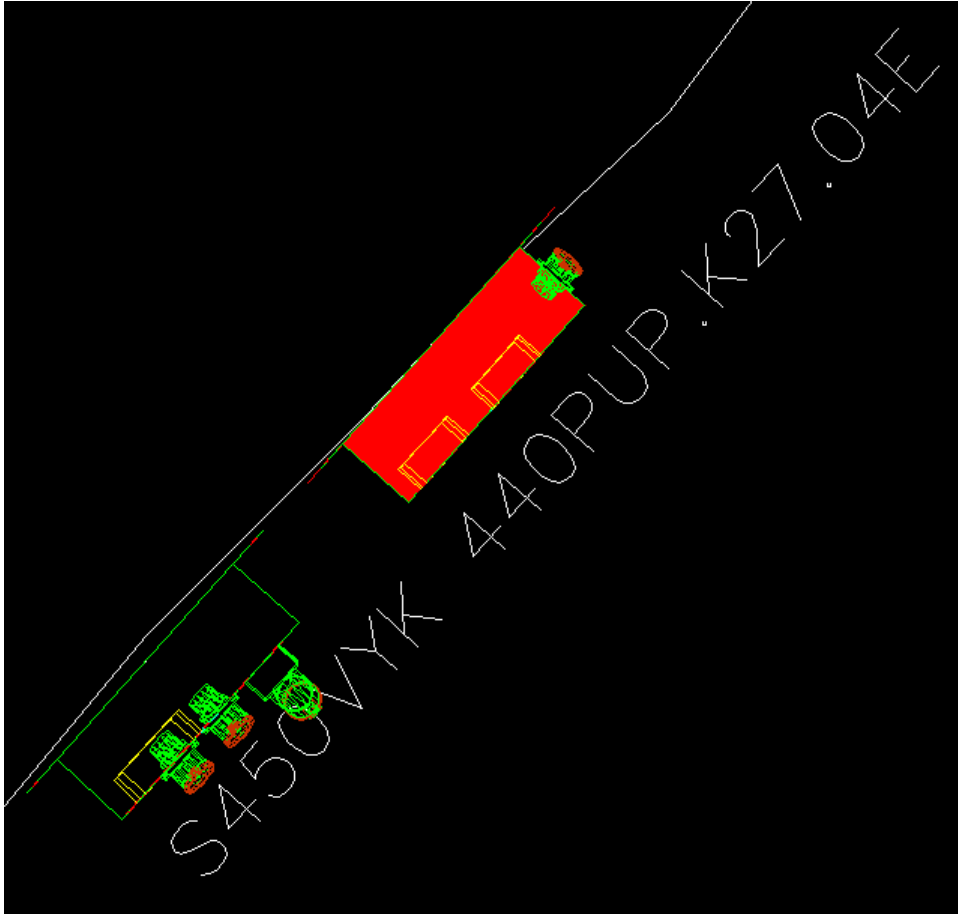
Kuva 16. Generoitavien valinta

14) Valitaan generoitava VYK, yleensä useampia kerralla. Kuvassa 17 on VYK keskus valittuna.



Kuva 17. VYK keskus valittuna

15) Valinnan jälkeen painetaan enter ja CADS generoi valitun 3D-symbolin kuvaan. Kuvassa 18 on kuvaan generoitu VYK keskus.

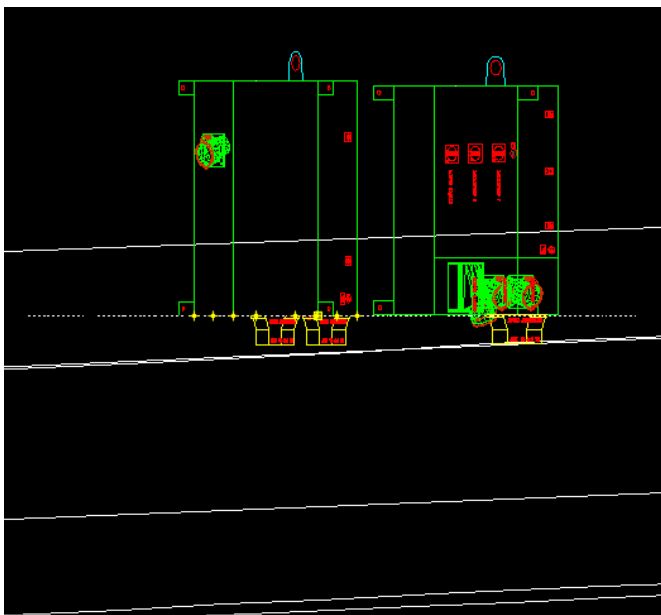


Kuva 18. Kuvaan generoitu 3D VYK keskus

16) Generoinnin jälkeen muutetaan VYK keskuksen z-koordinaatti noin metrin korkeammalle kuin asetettu korko. Kuvassa 19 on sijoitettu VYK keskus ilman koron muutosta ja kuvassa 20 on VYK keskus muutetulla korolla.

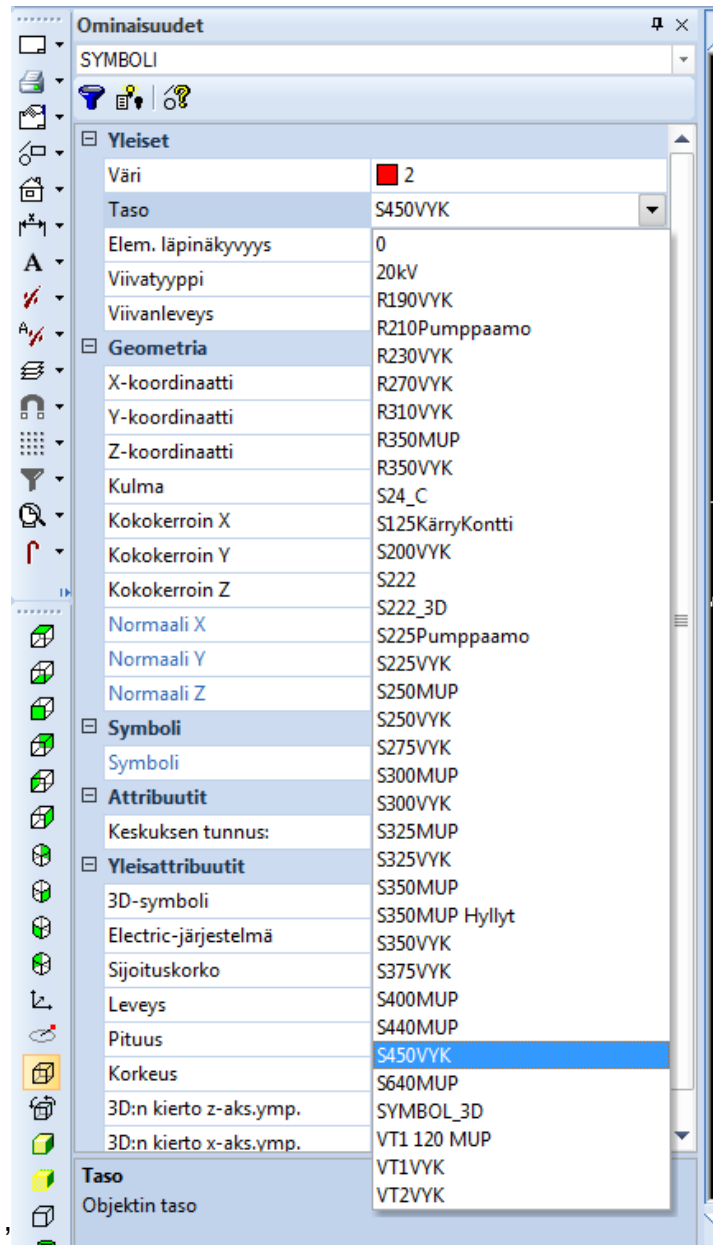


Kuva 19. 3D VYK keskus ilman koron muutosta



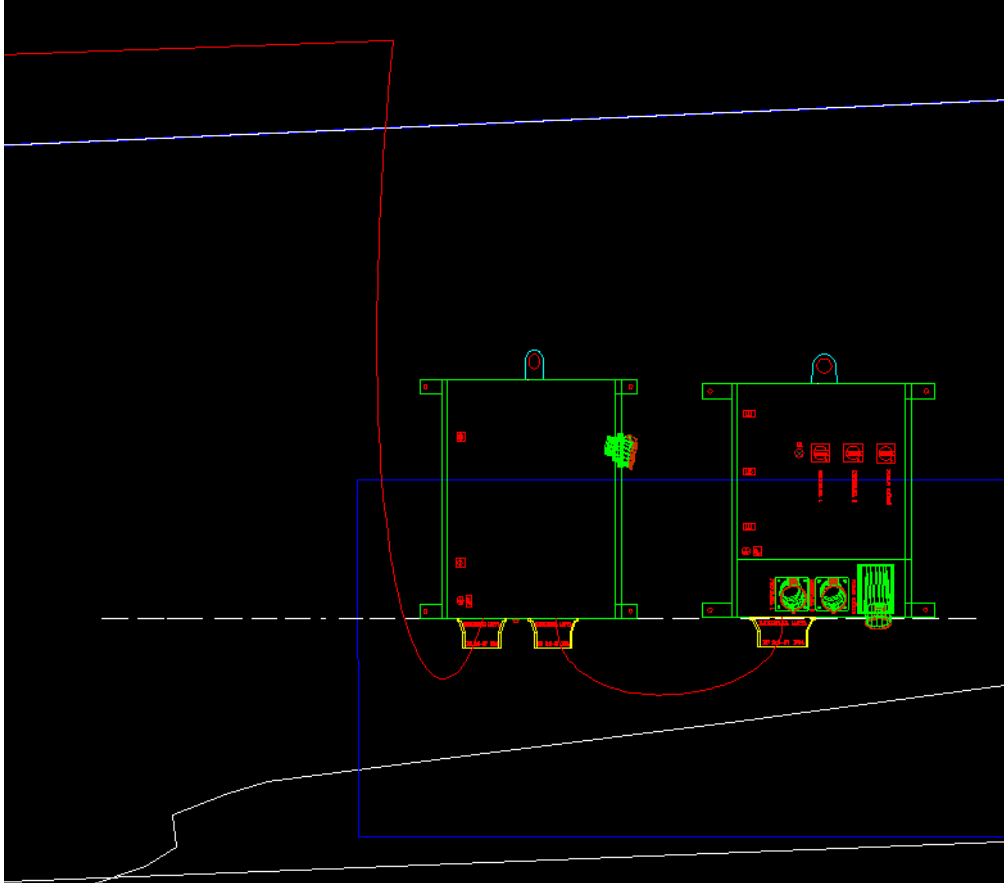
Kuva 20. 3D VYK keskus korko muutettuna

17) Koska VYK-linjat ja kesukset on piirretty omalle tasolle, on VYK keskuksen taso laitettava oikeaksi. Valitaan VYK keskus ja sen attribuuteista vaihdetaan taso. Kuvassa 21 on valikko mistä taso valitaan.



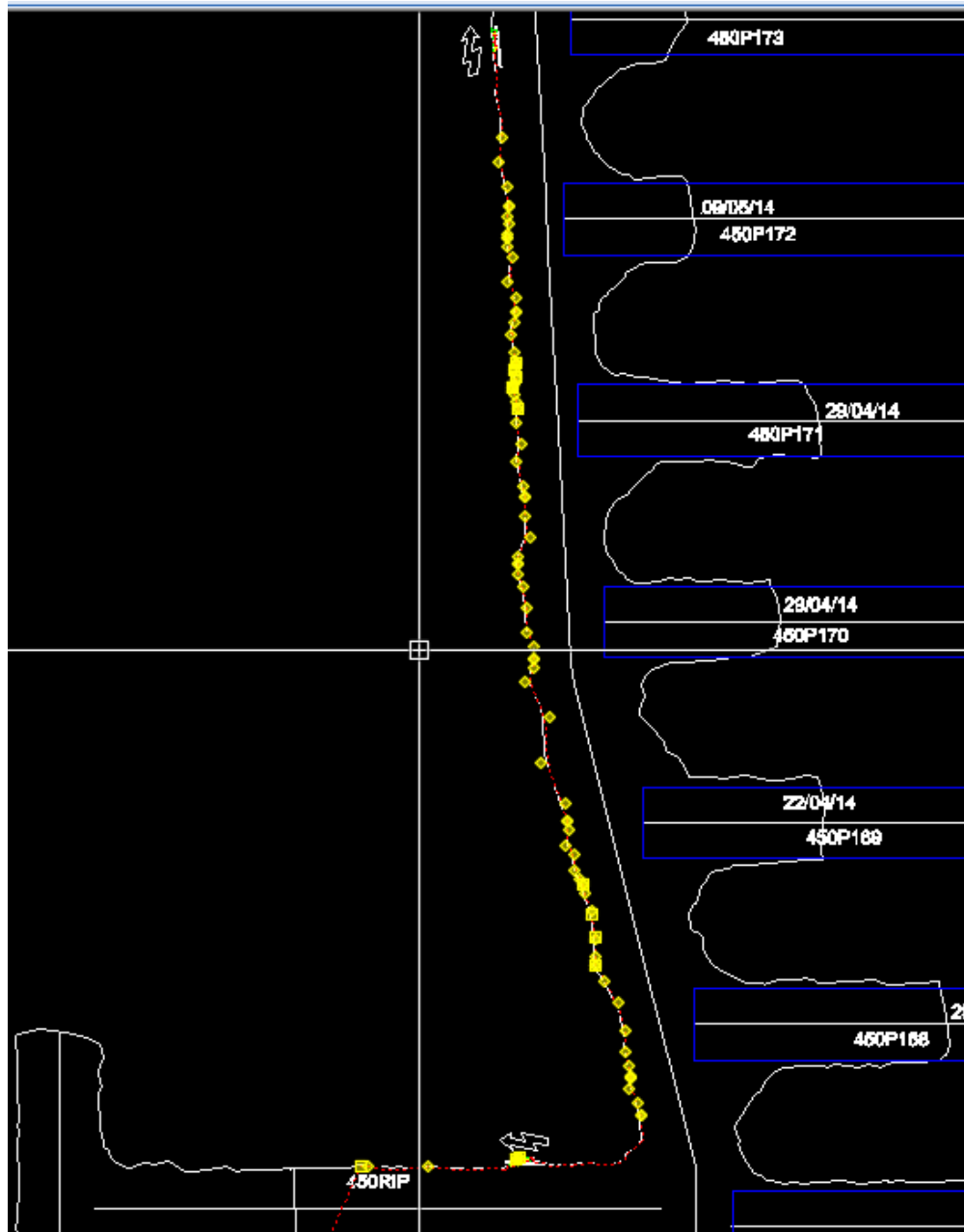
Kuva 21. Ominaisuudet valikko

18) Kun VYK keskus on sijoitettu karttapohjaan piirretään VYK-linja loppuun. Kuvassa 22 splini on piirretty VYKkiin.



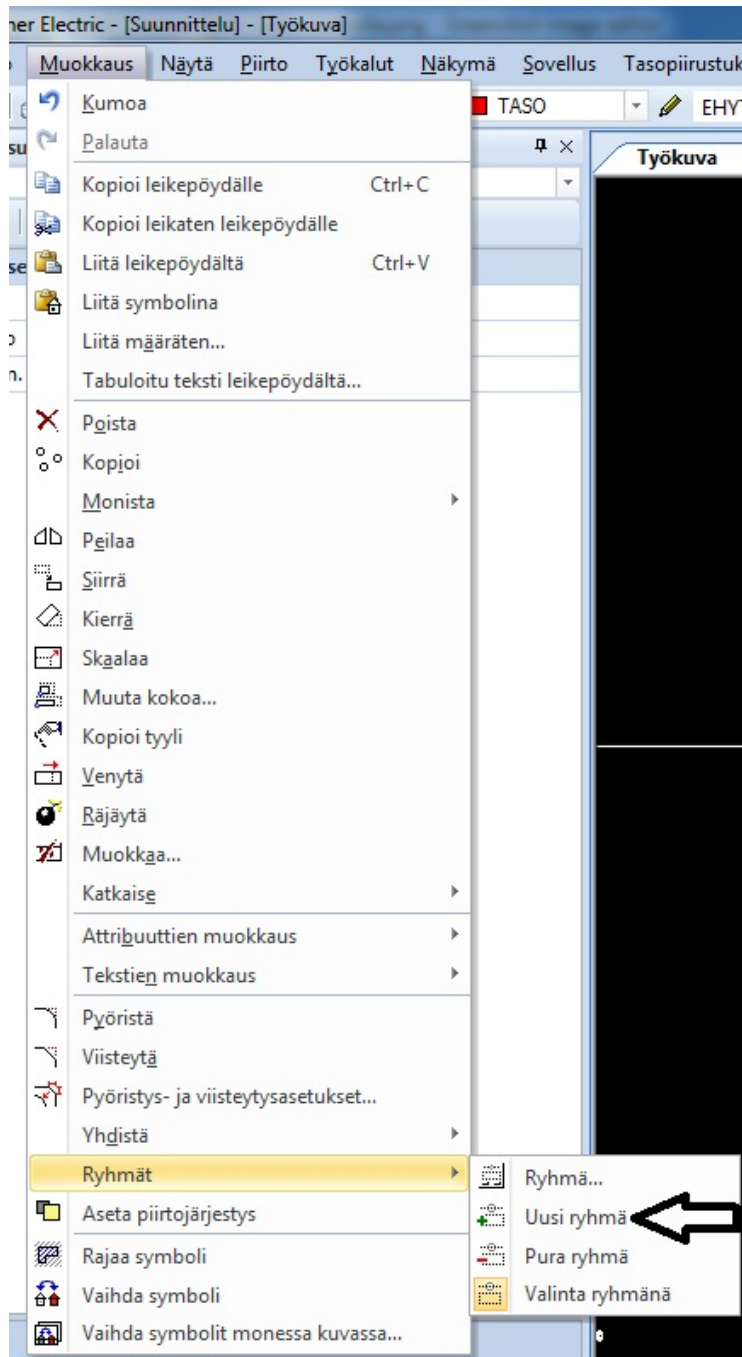
Kuva 22. 3D VYK keskus linja piirrettynä

19)VYK-linjan piirtämisen jälkeen splinistä tehdään kaapeli. Valitaan koko splini-ryhmä. Kuvassa 23 on koko splini-ryhmä valittuna.



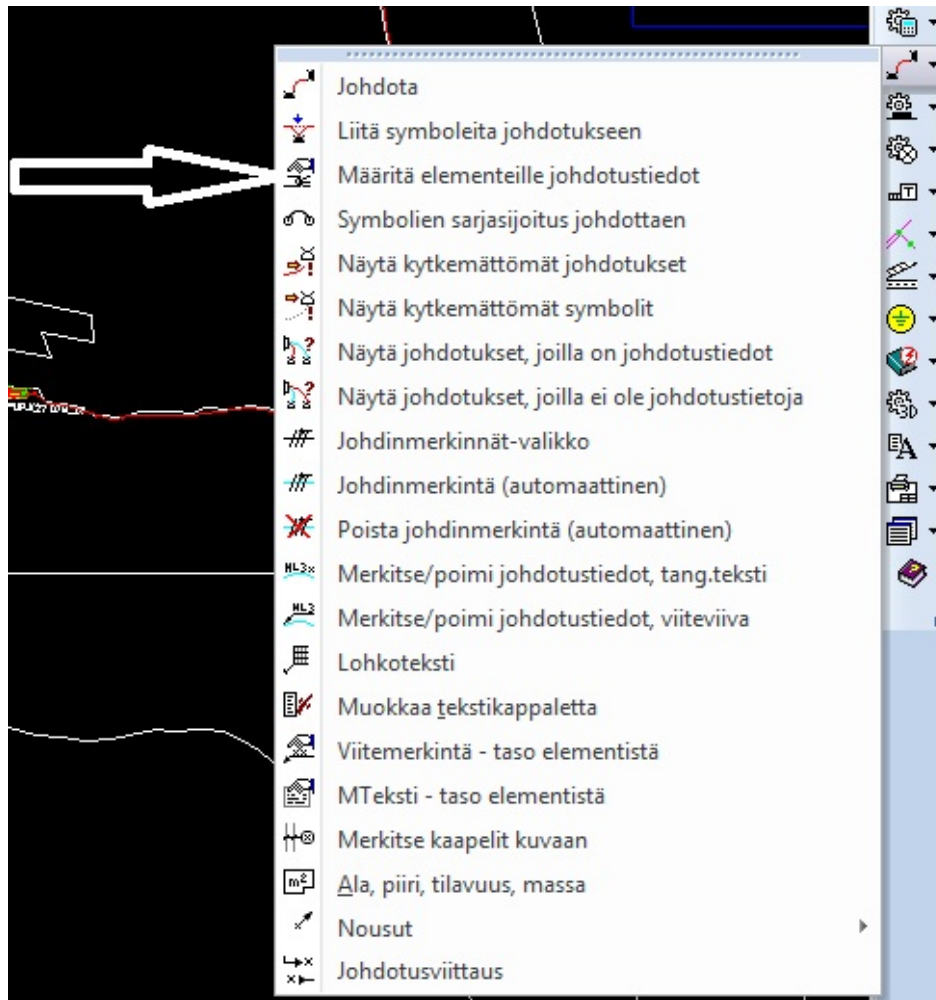
Kuva 23. Splini valittuna koko matkalta

20) Kun splini-ryhmä on valittu, tehdään siitä uusi ryhmä. Kuvassa 24 näkyy uuden ryhmän luonti.



Kuva 24. Muokkaus valikko

21)Kun uusi ryhmä on tehty, annetaan sille johdotustiedot. Kuvassa 25 on valikko, josta valitaan määritä elementeille johdotustiedot.



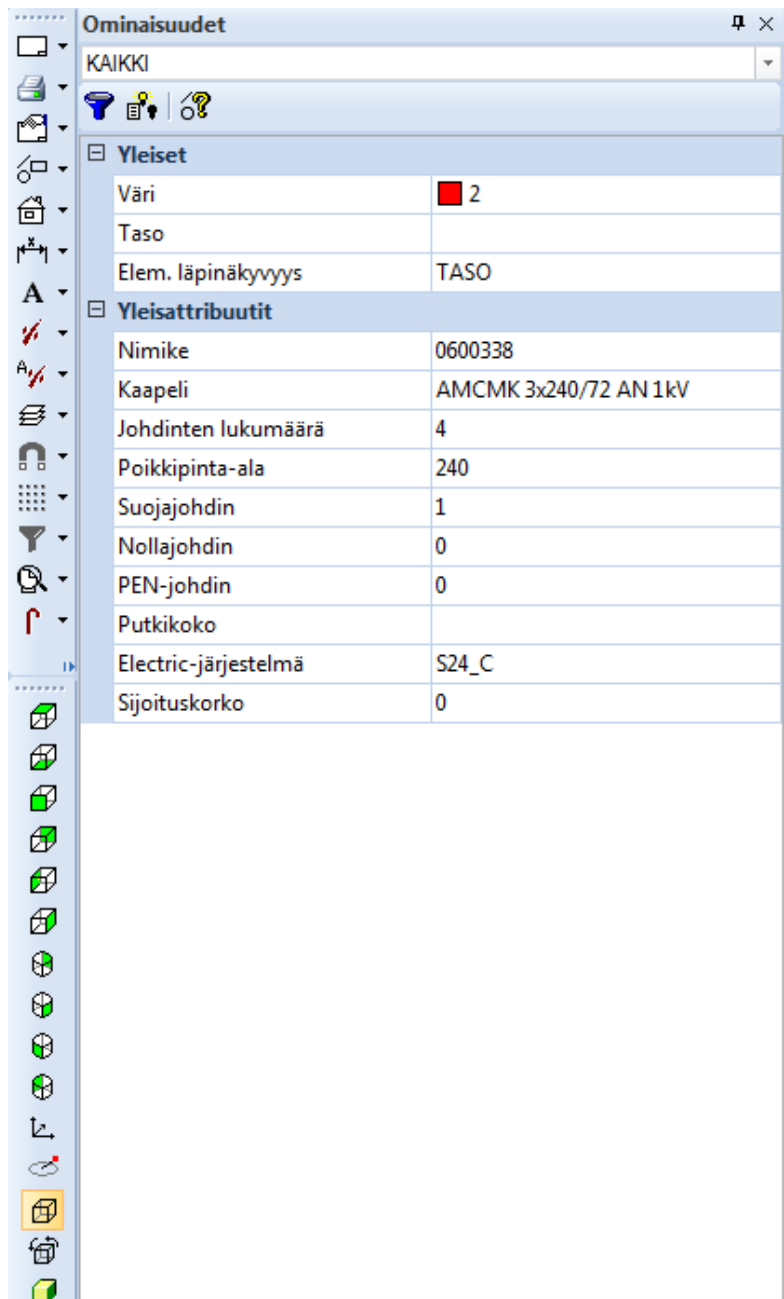
Kuva 25. Johdotus ja merkinnät valikko

22) Valitaan splini-ryhmä, josta tehdään kaapeli ja painetaan enter, jolloin avautuu kuvassa 26 näkyvä ikkuna. Ikkunasta valitaan kaapeli ja painetaan ok.

Tyyppi	Valmistaja	Nimike
MCMK 3x240/120 AN 1 kV	Draka	0600138
AMCMK 3x240/72 AN 1kV	Draka	0600338
AHXCMK 1x185/25	REKA	0622414
AHXCMK-WTC/PE 3x185/35 12/20kV	REKA	0622444
AHXAMK-W 3x185+35 12/20kV	Draka	0623518

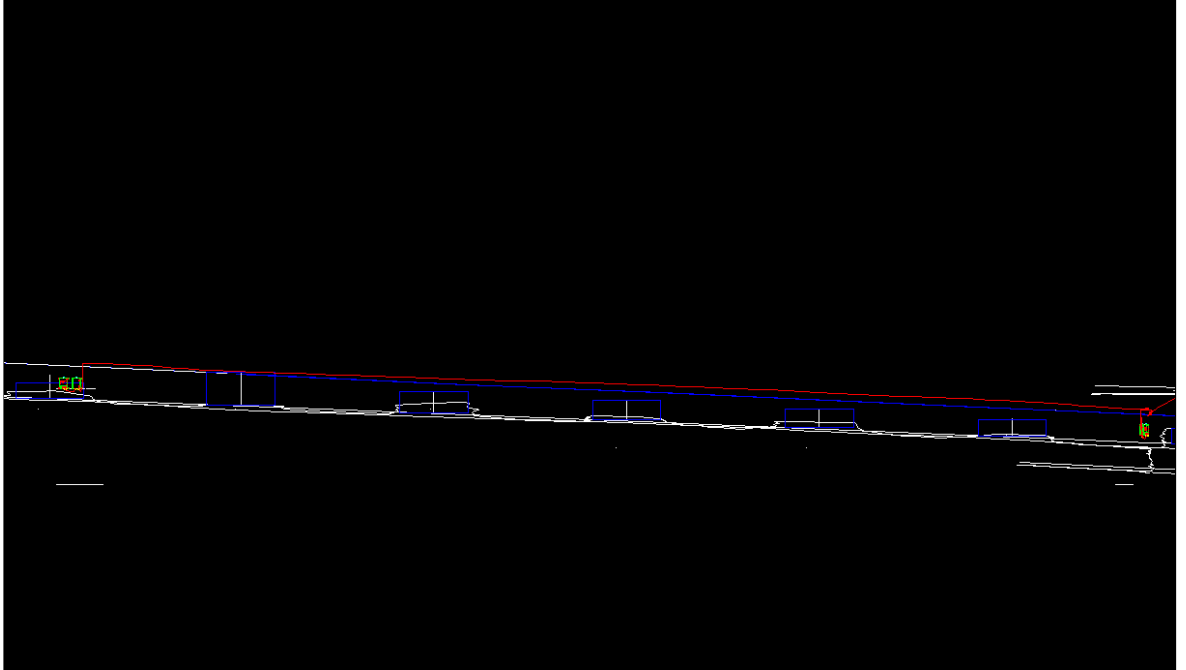
Kuva 26. Johdotustiedot

23) Splinin attribuuteissa näkyy nyt valittu kaapeli tyyppi ja CADS käsittelee spliniä nyt kaapelina. Kuvassa 27 on esitetty attribuutit.



Kuva 27. Kaapelin attribuutit

24)VYK-linja on nyt mallinnettu kaivoksen karttapohjaan. Kuvassa 28 näkyy VYK-linja ja VYK keskus sivusta kuvattuna.



Kuva 28. VYK-linja ja VYK keskus sivusta kuvattuna

VYK-linjat ja 20kV-linjat on mallinnettu samalla tavalla, kuin yllä on selvitettyinä kaivoksen 3D-karttapohjaan.

7 TIETOKANTAPOHJAINEN LASKENTAMALLI

Opinnäytetyöhön kuului myös laskentamallin tekeminen VYK-verkolle. Laskenta tehdään minimioikosulkuvirroilla, ja laskennassa otetaan huomioon vain normaalitilanne. Laskenta tehdään VYK-linjakohtaisesti. Laskentamallista olisi tarkoitus saada jännitteenalenema ja oikosulkuvirtatiedot selville. VYK-verkon laajennuksista tulisi laskennan kautta jo suunnitteluvaiheessa tiedot laskennallisista arvoista kaapelin päässä.

7.1 Porasähköverkon laskentamalli

CADS Planner Electric Prossa on sähkötekniset laskenta ominaisuudet, joita on käytetty hyväksi laskentamallia tehdessä. CADSissä sähköteknisillä laskelmilla tarkoitetaan ryhmien minimioikosulkuvirran laskentaa ja ryhmien johdotuksen jännitteenaleneman laskentaa. Laskelmat CADS suorittaa automaattisesti. Käyttäjälle jää vain tarvittavien lähtötietojen syöttäminen ja kuvan piirtäminen. Pakolliset laskelmiin liittyvät osat ovat keskus, ryhmämerkki ja johdotus. CADS Planner Electric Pro sähkötekniset laskelmat ovat tarkoitettu vain ryhmien minimioikosulkuvirroille. CADS käyttää minimioikosulkuvirran laskentaan kaavaa (2) ja jännitteenalenemaan CADS käyttää kaavaa 3. (CADS Planner Electric Pro 2015.)

$$dU\%_{3v} = \frac{Z_k * l * \sqrt{3} * \frac{P}{U_n * \sqrt{3}}}{U_n} * 100 \quad (3)$$

missä

$dU\%_{3v}$ = 3 vaiheinen jännitteenalenema

Z_k = kaapelin impedanssi / metri

l = reitin pituus

U_n = pääjännite oletusarvoista (CADS Planner Electric Pro 2015.)

CADSin laskennoissa käytettävät ominaisresistanssit ja muut oletusarvot voidaan määrittää laskentaoletukset taulukossa. CADSissä on suojalaitteena sulake tai johdonsuojakatkaisija. CADS saa vaadittavan oikosulkuvirran selville

taulukosta tai laskee sen suojalaitteen tyypistä riippuen. Vaaditut arvot CADS saa laskentaoletukset taulukosta sulakkeen nimellisvirran ja vaaditun poiskytkentäajan kautta. Kaivoksessa käytetään kompaktikatkaisijoita suojalaitteena, joten sulake tai johdonsuojakatkaisija ei kelpaa laskennassa. CADSin laskentaoletuksissa pystytään muuttamaan tai tekemään Gg-sulakkeen arvoja. Laskentaoletukset löytyvät valitsemalla Tasopiirustukset > Laskentatoiminnot > Laskentaoletukset. (CADS Planner Electric Pro 2015.)

Katkaisijaa vastaava Gg-sulake luotiin, jonka 5,0s vaaditun poiskytkentäajan virta arvoksi laitettiin kaivoksessa käytettävän katkaisijan virta arvo 320A. Kuvassa 29 on laskentaoletukset ikkuna, johon on muutettu pääjännite, Gg-sulake on tehty ja alenemakerroin on muutettu taulukon 1 mukaiseksi.

Laskentaoletukset

Ominaisvastus, Cu: 0.0175 Ohm mm²/m

Ominaisvastus, Al: 0.029 Ohm mm²/m

Johdinlämpötila: 70 °C

Pääjännite: 690 V

Jännitteenalenukerroin: 1

Pienimmät oikosulkuvirrat (Gg)

320 320

Virta (A)	0.2s	0.4s	5.0s
125	1550	1450	715
160	2100	1600	950
200	2600	2100	1250
250	3400	2800	1650
315		3700	2200
400		4800	2840
500		6400	3800
630		8500	5100
320			320

Palauta oletukset Poista

OK Peruuta Ohje

Kuva 29. Laskentaoletukset

Keskus sijoitetaan karttapohjaan samaan tapaan kuin VYK keskuskin, mutta sille ei määritetä ryhmää vaan annetaan kiinteäoikosulkuvirta. Oikosulkuvirta saadaan kaivokselle jo tehdystä muuntamoiden minimoikosulkuvirta laskentataulukosta. Kuvassa 30 on keskuksen arvot syötettynä.

Keskus

Keskusten tiedot

Keskustunnus: 440PUP.K27A.07B Uusi...

Tunnus kuvaan Viiteviiva

Kuvaus:

Järjestelmä: S222, Pääjakelujärjestelmä

Osoita Kysy sijoitettaessa

Sijoitus- ja mittatiedot

Aiemmat mitat:

Mitat (x*y*z): 600 200 800 mm

Oletuskorko (h): 1800 mm

Keskusten syöttö

Kiinteä oikosulkuvirta: 8800 A

Ryhmä:

Syöttö: Sähkölaitos
Pääjännite: 690 V
Oikosulkuvirta: -
Teho: -

Symbolit

2D-symboli:

STPKESK1

Valitse...
Kuvasta...
Tiedostosta...

3D-symboli:

Valitse...
Kuvasta...
Tiedostosta...
Tyhjennä

Keskuskaaviosymboli:

Valitse...
Kuvasta...
Tiedostosta...
Tyhjennä

OK Peruuta Ohje

Kuva 30. Keskuksen tiedot

Jotta CADs pystyy suorittamaan laskennat, on karttapohjaan sijoitettava ryhmämerkki ja annettava sille tarvittavat tiedot. Laskennoissa käytettiin tehossa nyrkkisääntönä 150kW, joka on suurimman sähkökäyttöisen työkoneneen teho. Kuvassa 31 ryhmämerkki ikkuna jossa sille annetaan tarvittavat tiedot.

Kuva 31. Ryhmän tiedot

Syötönpituus määritetään määrälaskenta toiminnolla, jolla voidaan laskea symbolien ja metrimääräisten osien määrä. Määrälaskenta toiminto löytyy valitsemalla Tasopiirustukset > Laskentatoiminnot > Määrälaskenta. Määrälaskenta tehdään valituille elementeille.

CADS listaa kaikki keskukset, joista on kuvassa tietoja keskusten ja ryhmien hallinta toiminnolla, jossa näkyy sähkötekniset laskenta arvot. Toiminto löytyy valitsemalla Tasopiirustukset > Keskustoiminnot > Keskusten ja ryhmien hallinta. Kuvassa 32 on keskusten ja ryhmien hallintaikkuna.

Keskusten ja ryhmien hallinta

Tietokanta: H:\Cads piirustukset\EDBProject.mdb

Keskukset: <Kaikki>

Ryhmät:

Keskus	Ryhmä	Osoite	Johdotus	Johdinpitu...	Max johdin...	Teho (...)	Ylivirtasuoj...	Oikosulkuvi...	Jänniteale...
125VAPkärry.01C	1	VT3 VYK Linja	AMCM...	81.0	-	0.0	S 320	-	-
225PUP PK18A.05D	4	Syöttö S250TP3 Vyk linja	AMCM...	562.6	2536.4	150.0	S 320	1283	2.14
225PUP PK18A.06A	2	Syöttö S225TP1 Vyk linja	AMCM...	209.2	2536.4	150.0	S 320	2780	0.80
225PUP PK18A.06B	3	Syöttö S250TP1,TP2 Vyk linja	AMCM...	666.6	2536.4	150.0	S 320	1107	2.54
225PUP PK18A.06D	1	Syöttö S200TP2 Vyk linja	AMCM...	631.1	2536.4	150.0	S 320	1161	2.40
250MUP G50.03C	1	Syöttö S200TP2 Vyk linja	AMCM...	320.7	2514.7	150.0	S 320	1930	1.22
250MUP G50.03D	2	Syöttö S225TP4 Vyk linja	AMCM...	179.5	2514.7	150.0	S 320	2855	0.68
250MUP G50.03E	3	Syöttö S225TP2 Vyk linja	AMCM...	792.0	2514.7	150.0	S 320	928	3.02
250MUP G50.03F	4	Syöttö S250TP2 Vyk linja	AMCM...	410.7	2514.7	150.0	S 320	1600	1.56
440PUP.K27A.07B	1	Syöttö 450TP1 vyk linja	AMCM...	357.8	2534.3	150.0	S 320	1856	1.36
R.210PUP.06D	1	Syöttö R.210PUP VYK LINJA R.190	AMCM...	207.0	2534.3	150.0	S 320	2781	0.79
R.210PUP.G24.05E	6	VT2 VYK LINJA	AMCM...	680.7	2534.3	150.0	S 320	1084	2.59
R.210PUP.G24.06C	2	VYK LINJA R.210->R.230TP2	AMCM...	216.0	2534.3	150.0	S 320	2701	0.82
R.210PUP.G24A.04D	5	Syöttö R.210PUP VYK LINJA R.270TP2	AMCM...	252.8	2534.3	150.0	S 320	2415	0.96
R.210PUP.G24A.06B	3	VYK LINJA R.210->R.230TP1	AMCM...	252.7	2534.3	150.0	S 320	2416	0.96
R.210PUP.G24A.06D	4	Syöttö R.210PUP VYK LINJA R.270TP1	AMCM...	264.2	2534.3	150.0	S 320	2339	1.01
R.350MUP G40.03C	1	Syöttö VT2VYK linja	AMCM...	132.0	2535.4	150.0	S 320	3715	0.50
R.350MUP G40.03E	4	Syöttö R.350TP2 Vyk	AMCM...	143.2	2535.4	150.0	S 320	3540	0.55
R.350MUP G40.03F	3	Syöttö R.310TP2 Vyk	AMCM...	142.6	2535.4	150.0	S 320	3549	0.54
R.350MUP G40.03I	2	Syöttö VT2VYK linja	AMCM...	272.3	2535.4	150.0	S 320	2294	1.04
VT1.120MUP.G48.02F	1	Syöttö VT2 VYK LINJA	AMCM...	498.3	2424.7	150.0	S 320	1196	1.90

Selitteet

✓ = Arvot OK ? = Puutteelliset lähtötiedot ⚠ = Jokin raja-arvo lähellä sallittua ⚠ = Jokin raja-arvo ylittää sallitun

Lisää... Muokkaa... Poista Sijoita kuvaan Jatka johdotuksella Näytä kuvassa Kopioi leikepöydälle Tuo... Sulje Ohje

Kuva 32. Keskusten ja ryhmien hallinta

Tuloksia havainnollistetaan värikoodein:

Vihreä = arvot ok

Harmaa = puutteelliset lähtötiedot

Keltainen = jokin raja arvo lähellä sallittua

Punainen = jokin raja arvo ylittää sallitun

Tulokset voidaan myös viedä leikepöydälle >>Excel.

Porasähköverkon laskentamallina käytetään CADSin keskusten ja ryhmien hallinta ominaisuutta, joka on viety Excelliin. Laskentamalli on esiteltyä liitteessä 7.

7.2 Lasketut arvot

Laskennalla tarkastetaan CADSin antamia oikosulkuvirta ja jännitteenalenema arvoja. Tarkastelun kohteeksi tuli pisin VYK-linjan, joka on S225TP2 VYK-linja, jonka syöttö tulee 250MUPista. Sen pituus on 792 metriä.

Oikosulkuvirran laskentaan käytetään kaavaa 2 ja jännitteenalenemaan kaavaa 1.

Ensin lasketaan kaapelin impedanssit 792 metrille.

$$240\text{mm}^2 \text{ ALU } 0,792\text{km} * 0,150 \Omega/\text{km} = 0,1188 \Omega/\text{km}$$

$$72\text{mm}^2 \text{ CU } 0,792\text{km} * 0,356 \Omega/\text{km} = 0,281952 \Omega/\text{km}$$

$$Z_k = 0,1188 \Omega/\text{km} + 0,281952 \Omega/\text{km} = 0,400752 \Omega/\text{km}$$

Oikosulkuvirta laskettuna

$$I_k = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * Z_k} = \frac{1,00 * 690\text{V}}{\sqrt{3} * 0,400752 \Omega/\text{km}} = 994,06 \text{ A}$$

Jännitteenalenema

$$\begin{aligned} U_h &= \frac{P}{U^2} (R + X \tan \varphi) \\ &= \frac{150\text{kW}}{690^2} ((0,792 \text{ km} * 0,14 \Omega/\text{km}) + (0,792 * 0,072 \Omega/\text{km}) * \tan 0) * 100 \\ &= 3,49338\% \approx 3,5\% \end{aligned}$$

Taulukosta 2 näkyy S225TP2 VYK-linjan lasketut arvot ja CADSin antamat arvot.

Taulukko 2. S225TP2 VYK-linjan lasketut arvot ja CADSin antamat arvot

CADS		Lasketut	
oikosulkuvirta (A)	jännitteenalenema (%)	oikosulkuvirta (A)	jännitteenalenema (%)
997	3,0	994,06	3,5

Kuten nähdään, lasketut arvot eroavat CADSin laskemista arvoista. Yksi syy tähän on, että CADS laskee johtimen impedanssit poikkipintojen ja materiaalin ominaisresistanssien kautta. Oikosulkuvirtaa laskiessa CADS korjaa vielä lämpötilakertoimella johtimen resistansseja. Lasketuissa arvoissa on käytetty valmistajan likimääräisiä arvoja +70 °C.

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Kittilän kultakaivokselle mallinnus tunnelin sähkönjakeluverkosta, joka rajattiin koskemaan 20kV-verkkoa ja 690V porasähköverkkoa. Porasähköverkolle tehtiin tietokantapohjainen laskentamalli, josta saadaan johdon päässä olevat minimioikosulkuvirrat ja jännitteenalenema. Tulevaisuudessa porasähköverkon laajennuksista tulee laskennan kautta jo suunnitteluvaiheessa tiedot laskennallisista arvoista kaapelin päässä.

Sähköverkon mallintaminen ei ollut entuudestaan tuttua, jonkin verran kuullut asiasta mutta ei sen enempää. Tutustuin mallintamiseen ja huomasin, että mallinnukset ovat enimmäkseen verkostolaskentajärjestelmiin tehtyjä pohjakuvia, jotka ovat 2D-muodossa. 3D-mallintamisesta tiesin sen verran, että sitä käytetään laitesuunnittelussa, mutta opinnäytetyöni tapaista mallinnusta ei ollut tehty. Kaivoksen 3D-karttapohja ei ole suoranainen 3D-malli kaivoksesta, vaan se on tehty taso kerrallaan 2D-kuvana, jossa on otettu huomioon tunnelin kaltevuus alaspäin tai ylöspäin. Näin ollen kaikkia tasoja kerrallaan tai tiettyä tasoa voidaan kolmiulotteisessa avaruudessa pyöritellä ja katsoa mistä suunnasta tahansa. Tämä piti ottaa huomioon mallinnusta tehdessä, että sitä voidaan katsoa mistä suunnasta tahansa kolmiulotteisessa avaruudessa, eikä vain ylhäältä päin, ja että kaapelit, VYKit ja muuntamot ovat oikeilla tasoilla. Opinnäytetyötä tehdessä opin perusasiat 3D-mallintamisesta ja tekemään CADSillä yksinkertaisia 3D-mallinnuksia yksittäisistä komponenteista, kuten VYK keskuksen.

Opinnäytetyön toteutuksessa syntyi Kittilän kultakaivokselle mallinnettu tunnelin 20kV-verkko ja 690V porasähköverkko sekä laskentamallipohja. Sähköverkon mallinnusta voidaan käyttää tulevaisuudessa laajennuksien suunnitteluun sekä käytönvalvontajärjestelmän pohjakuvana, ja koska kaapelireitit ovat yleisesti tiedossa, saadaan tunnelin varustelureikien, vesireikien ja geologisten kairausreikien porauksessa sekä muussakin tunnelissa tapahtuvassa työssä tietoon, missä kaapelit menevät suurin piirtein, jotta niihin ei porattaisi tai rikottaisi vahingossa.

Laskentamalli syntyi CADSillä kuin itsestään, samalla kun teki mallinnusta, ja se helpotti työtä. Ainoastaan laskennan tarkistuksessa tuli ongelmia, kun CADS laski ominaisresistanssin kautta kaapelin impedanssin ja tarkistus laskennassa käytettiin valmistajan ilmoittamia arvoja kaapeleille.

9 LÄHDELUETTELO

ABB Oy 2000. ABB TTT-Käsikirja 2000-7.

ABB Oy 2013. Verkostolaskenta Luotettavuutta ja muutosten hallintaa mallinnetulla sähköverkolla. Viitattu 22.4.2015
[http://www02.abb.com/global/gad/gad02465.nsf/0/fc6051ca66007638c1257adb00382bb7/\\$file/ABB+Verkostolaskenta+low+res.pdf](http://www02.abb.com/global/gad/gad02465.nsf/0/fc6051ca66007638c1257adb00382bb7/$file/ABB+Verkostolaskenta+low+res.pdf)

ABB Oy 2007. Pienjännitekojeet. Tmax -pienjännitekatkaisijat. Viitattu 27.4.2015
[http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/ae33607b95acd8c1257af7004a0bca/\\$file/1SDC210015D0202_FIN.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/ae33607b95acd8c1257af7004a0bca/$file/1SDC210015D0202_FIN.pdf)

Agnico Eagle Finland Oy 2015. Kotisivut, Tietoa Meistä. Viitattu 27.1.2015
<http://www.agnicoeagle.fi/fi/aboutus/Pages/home.aspx>

Aura, L. & Tonteri, A.J. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY.

CADS Planner 2015. Kotisivut. Viitattu 22.4.2015
<http://www.cads.fi/fi/>

CADS Planner Electric pro 2015. Ohje.

Heinonen, P. & Karvonen, K. 2004. Sulakkeeton Suojaus. Kustannuspaikka: Sähkötieto ry

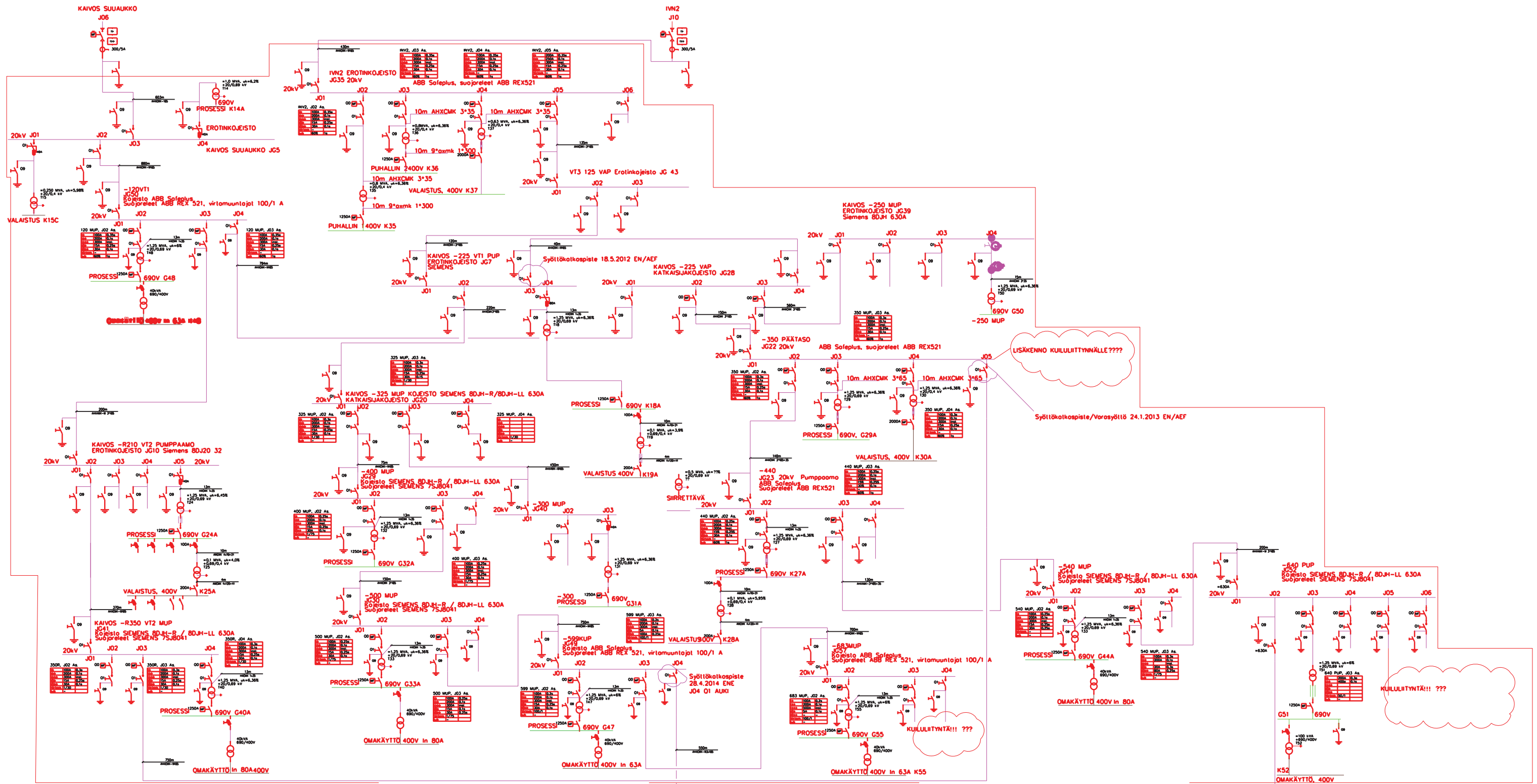
Lakervi, E. & Partanen, J. 2007. Sähkönjakelutekniikka. Viitattu 22.4.2015
https://moodle.eoppimispalvelut.fi/pluginfile.php/525110/mod_resource/content/1/sahkonjakelutekniikka-kirja-22-1-06.pdf

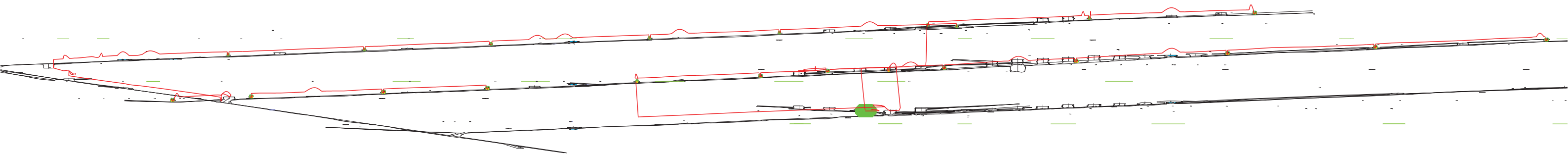
Niskanen, P. & Autio, I. 2004. Sähkölaitteet ja -asennukset kaivoksissa sekä huolto- ja työtunneleissa. Kustannuspaikka: Sähkötieto ry

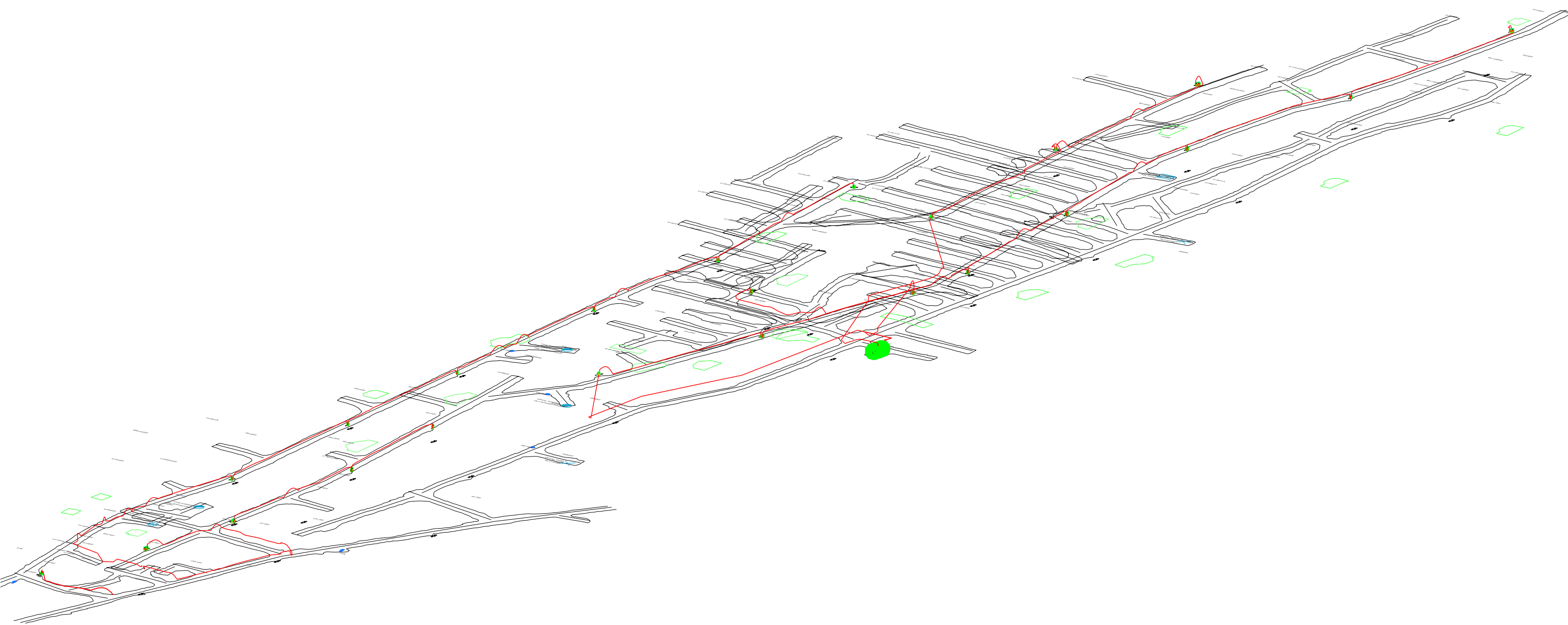
Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-Mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.

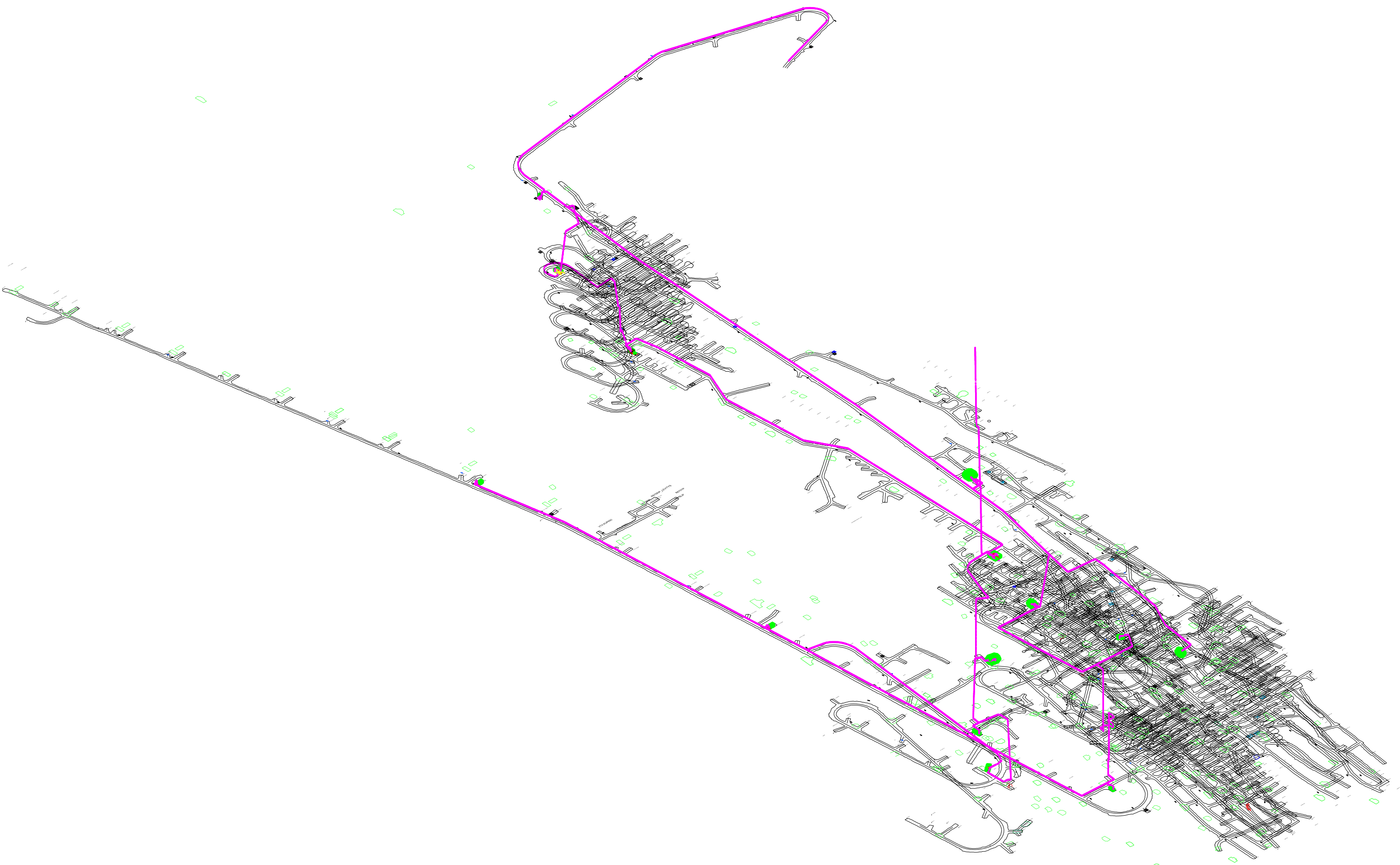
10 LIITELUETTELO

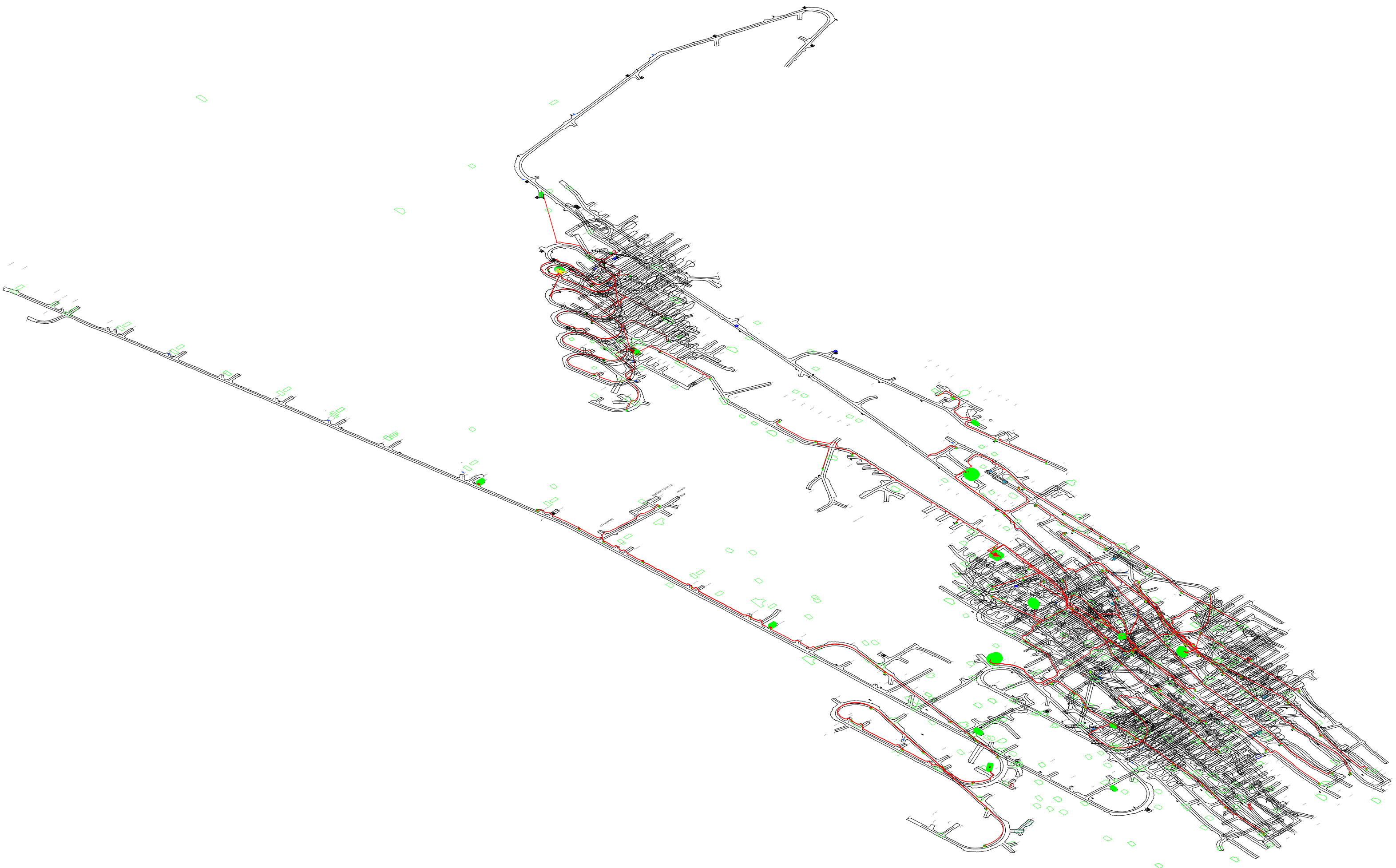
- Liite 1. Osaleikkaus Kittilän kultakaivoksen sähkönjakelun pääkaaviosta koskien maanalaista kaivosta.
- Liite 2. S200 ja S225 VYK-linjat ylhäältäpäin kuvattuna
- Liite 3. S200 ja S225 VYK-linjat ylviistostakuvattuna
- Liite 4. Kittilän kultakaivoksen maadoitusverkkokaavio
- Liite 5. Kaivoksen mallinnettu 20kV-verkko
- Liite 6. Kaivoksen VYK-verkko mallinnettuna kokonaisuudessaan.
- Liite 7. Laskentamalli











Sähkötekniset laskennat										
Keskus	Ryhmä	Osoite	Johdotus	Johdinpituus (m)	Max johdinpit. (m)	Teho (kW)	Katkaisija (A)	Oikosulkuvirta (A)	Jännitealenema (%)	
125VAPkärry.01C	1	VT3 VYK linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	81	-	0	S 320	-	-	PUUTE: Syötön oikosulkuvirta 0A,
225PUP PK18A.05D	4	Syöttö S250TP3 Vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	562,6	2757,6	150	S 320	1377	2,14	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
225PUP PK18A.06A	2	Syöttö S225TP1 Vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	209,2	2757,6	150	S 320	2943	0,8	
225PUP PK18A.06B	3	Syöttö S250TP1,TP2 Vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	666,6	2757,6	150	S 320	1191	2,54	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
225PUP PK18A.06D	1	Syöttö S200TP2 Vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	631,1	2757,6	150	S 320	1249	2,4	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
250MUP G50.03C	1	Syöttö S200TP2 Vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	320,7	2733,9	150	S 320	2051	1,22	
250MUP G50.03D	2	Syöttö S225TP4 Vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	179,5	2733,9	150	S 320	3001	0,68	
250MUP G50.03E	3	Syöttö S225TP2 Vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	792	2733,9	150	S 320	997	3,02	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
250MUP G50.03F	4	Syöttö S250TP2 Vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	410,7	2733,9	150	S 320	1707	1,56	
300MUP G31.03A	2	275TP1 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	140,6	2756,5	150	S 320	3759	0,54	
300MUP G31.03B	1	275TP2 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	514,9	2756,5	150	S 320	1481	1,96	
350MUP G29.02D	1	350 Korjaamon vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	220,8	2755,3	150	S 320	2817	0,84	
350MUP G29.03C	4	375 VT6 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	508,7	2755,3	150	S 320	1493	1,94	
350MUP G29.03D	5	375TP1 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	533,1	2755,3	150	S 320	1436	2,03	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
350MUP G29.04B	2	350TP2 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	592,8	2755,3	150	S 320	1313	2,26	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
350MUP G29.04C	3	350TP1 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	604,3	2755,3	150	S 320	1292	2,3	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
400MUP G32.03B	1	375TP2 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	446,4	2757,6	150	S 320	1669	1,7	
440PUP K27.04E	4	450TP2 vyk linja 2	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	605,9	2755,3	150	S 320	1289	2,31	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
440PUP K27.05D	3	450TP2 vyk linja 1	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	187,8	2755,3	150	S 320	3136	0,71	
440PUP.K27A.07B	1	Syöttö 450TP1 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	357,8	2755,3	150	S 320	1981	1,36	
440PUP.K27A.07C	2	450TP4 vyk linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	226,3	2755,3	150	S 320	2770	0,86	
599MUP G47.0209	1	VT1 VYK linja 600->640	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	442,1	2760,9	150	S 320	1693	1,68	
640MUP.G51A.07D	2	VT1 VYK linja 640->750	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	763,8	2755,3	150	S 320	1054	2,91	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
640MUP.G51A.07E	1	VT1 VYK linja 640->725	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	672,3	2755,3	150	S 320	1179	2,56	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
R210PUP.06D	1	Syöttö R210PUP VYK LINJA R190	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	207	2755,3	150	S 320	2942	0,79	
R210PUP.G24.05E	6	VT2 VYK LINJA	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	680,7	2755,3	150	S 320	1166	2,59	VAROITUS: Ryhmän jännitelalenema yli 2%,
R210PUP.G24.06C	2	VYK LINJA R210->R230TP2	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	216	2755,3	150	S 320	2860	0,82	
R210PUP.G24A.04D	5	Syöttö R210PUP VYK LINJA R270TP2	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	252,8	2755,3	150	S 320	2565	0,96	
R210PUP.G24A.06B	3	VYK LINJA R210->R230TP1	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	252,7	2755,3	150	S 320	2565	0,96	
R210PUP.G24A.06D	4	Syöttö R210PUP VYK LINJA R270TP1	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	264,2	2755,3	150	S 320	2485	1,01	
R350MUP G40.03C	1	Syöttö VT2VYK linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	132	2756,5	150	S 320	3897	0,5	
R350MUP G40.03E	4	Syöttö R350TP2 Vyk	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	143,2	2756,5	150	S 320	3719	0,55	
R350MUP G40.03F	3	Syöttö R310TP2 Vyk	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	142,6	2756,5	150	S 320	3729	0,54	
R350MUP G40.03I	2	Syöttö VT2VYK linja	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	272,3	2756,5	150	S 320	2439	1,04	
VT1 120MUP.G48.02F	1	Syöttö VT2 VYK LINJA	AMCMK 3x240/72 AN 1kV	498,3	2636,1	150	S 320	1268	1,9	