

3D-Win ohjelman hyödyntäminen geosuunnittelussa

Marko Seitsonen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala

| | | |
|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| Tekijä(t) Seitsonen, Marko | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Päivämäärä 30.11.2015 |
| | Sivumäärä 53 | Julkaisun kieli Suomi |
| | | Verkkojulkaisulupa myönnetty: x |
| Työn nimi 3D-Win ohjelman hyödyntäminen geosuunnittelussa | | |
| Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma | | |
| Työn ohjaaja(t) Hannu Haapamaa | | |
| Toimeksiantaja(t) Vahnen Jyväskylä Oy | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tilaajana toimi Vahnen Jyväskylä Oy. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia 3D-Win ohjelman ominaisuuksia ja pyrkiä hyödyntämään niitä suunnittelutehtävissä.</p> <p>Työ toteutettiin käyttämällä ohjelman ominaisuuksia esimerkikohteeseen. Opinnäytetyössä keskitytään pääasiassa ohjelman ominaisuuksiin geosuunnittelun tehtävien kannalta. Opinnäytetyöhön sisältyy myös osio, jossa tutkitaan ohjelman mahdollisuuksia rakennesuunnittelussa.</p> <p>Teoriaosiossa käydään läpi 3D-Win ohjelmalla tuotettavien suunnitelmien vaatimaa taustatietoa. Osuus sisältää perustietoa maaperätutkimuksista, rakennustyömaan maastosta sekä maastomallinnuksesta.</p> <p>Työn tuloksena on kirjoitettu auki 3D-Win ohjelmalla tapahtuva suunnittelutyö. Suunnittelutyötä kuvaava osuus toimii jatkossa ohjeena 3D-Win ohjelman käytöstä. Ohjelmalla suoritettiin maastomallinnus olemassa olevista maanpinnoista, luotiin esimerkikohteen tontin pihantasaussuunnitelma sekä käytettiin ohjelman massalaskentaominaisuuksia. Kaikki tavoitteeksi asetetut suunnitelmat saatiin luotua 3D-Win ohjelman avulla.</p> <p>Johtopäätöksenä oli, että ohjelma kannattaa edelleen pitää yrityksen käytössä. Ohjelman avulla on mahdollisuus saavuttaa kustannussäästöjä maastokartoituksen tarpeen vähentyessä. 3D-Win ohjelmalla tehtävä suunnittelu tehostaa suunnitteluprosessia kun useita projektioita on mahdollista saada yhdestä mallista sekä massalaskenta nopeutuu kolmiulotteisen suunnittelun kautta.</p> | | |
| Avainsanat (asiasanat) 3D-Win, geosuunnittelu, maastomallinnus, tonttialueen kuivatus | | |
| Muut tiedot | | |

| | | |
|--|--|-------------------------------------|
| Author(s) Seitsonen, Marko | Type of publication Bachelor's thesis | Date 30.11.2015 |
| | Number of pages 53 | Language of publication: Finnish |
| | | Permission for web publication: X |
| Title of publication Exploiting 3D-Win computer program in geotechnical designing | | |
| Degree programme Civil Engineering | | |
| Supervisor(s) Hannu Haapamaa | | |
| Assigned by Vahanen Jyväskylä Oy | | |
| Description <p>This thesis was assigned by Vahanen Jyväskylä Oy. The goal of this thesis was to examine the benefits and use of 3D-Win computer program in design work.</p> <p>The work was put into practice by using the features of the program to carry out plans for an example project. The thesis concentrates mainly on the features of the program regarding geotechnical design tasks. The thesis includes also a chapter concerning the possibilities of using the program in structural design.</p> <p>The theory section goes through the background information needed to create plans with 3D-Win. The section includes information about site investigation, groundwork and terrain modeling.</p> <p>The result of the study is the design work done with 3D-Win written down. In the future the part that describes the design work will be a manual of using 3D-Win. The program was applied to make a terrain model of the current topography and prospective topography of the example project. The program was also applied to calculate volumes from the models. All the goals set was achieved by using 3D-Win computer program.</p> <p>The conclusion was that the company should keep on using the program. The program enables to gain cost savings when the need of field surveying is reduced. The design work made with 3D-Win rationalizes the design process when multiple projections can be created from one terrain model. Mass calculation is also improved through three-dimensional designing.</p> | | |
| Keywords (subjects) 3D-Win, geotechnical designing, terrain modeling, drainage | | |
| Miscellaneous | | |

Sisällys

| | |
|--|-----------|
| Käsitteitä | 4 |
| 1 Työn lähtökohdat | 5 |
| 1.1 Yleistä..... | 5 |
| 1.2 Vahanen Jyväskylä Oy | 6 |
| 2 Maaperätutkimukset..... | 6 |
| 2.1 Maastokartoitus | 6 |
| 2.2 Pohjatutkimus..... | 7 |
| 3 Rakennustyömaan maatyöt..... | 8 |
| 3.1 Kaivannot | 8 |
| 3.2 Louhinta | 10 |
| 3.3 Täytöt | 10 |
| 3.4 Tonttialueen kuivatus | 12 |
| 3.5 Salaojitus | 16 |
| 4 Maastomallinnus | 18 |
| 4.1 Yleistä..... | 18 |
| 4.2 Hajapiste..... | 19 |
| 4.3 Taiteviiva..... | 20 |
| 4.4 Kolmioverkko..... | 21 |
| 4.5 Neliöverkko | 21 |
| 4.6 Koordinaattijärjestelmä ETRS-GK26 | 22 |
| 4.7 Korkeusjärjestelmä N2000 | 22 |
| 5 2D- ja 3D-suunnittelun vertailu geosuunnittelussa | 23 |
| 5.1 2D-suunnittelu | 23 |
| 5.2 3D-suunnittelu | 23 |
| 5.3 Suunnitteluprosessi..... | 23 |
| 5.4 Suunnitelmien hahmotus | 25 |
| 6 Suunnitelmien teko 3D-Win ohjelmalla | 25 |
| 6.1 Ohjelman esittely..... | 25 |
| 6.2 Tiedostojen hallinta | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 6.3 Taiteviivojen ja hajapisteiden lisäys | 27 |
| 6.4 Kolmiointi ja maastomallin luominen | 29 |
| 6.5 Lähtötiedot ja lähtötilanteen mallinnus | 31 |
| 6.6 Pihantasaussuunnitelman teko | 34 |
| 6.7 Massalaskenta | 35 |
| 6.8 3D-Win ohjelman käyttö rakennesuunnittelussa | 39 |
| 7 Pohdintaa | 39 |
| 7.1 Ohjelman käyttö | 39 |
| 7.2 Ongelmat | 40 |
| 7.3 Hyödyt | 40 |
| 7.4 Mahdollisuudet | 41 |
| 7.5 Johtopäätökset | 42 |
| Lähteet | 43 |
| Liitteet | 45 |
| Liite 1. Olevat maanpinnat.xyz | 45 |
| Liite 2. Olevat maanpinnat.mm1 | 45 |
| Liite 3. Olevat maanpinnat.kk1 | 47 |
| Liite 4. Pihantasaussuunnitelma.xyz | 48 |
| Liite 5. Pihantasaussuunnitelma.mm1 | 48 |
| Liite 6. Pihantasaussuunnitelma.kk1 | 50 |
| Liite 7. Kaivutaso.xyz | 50 |
| Liite 8. Kaivutaso.mm1 | 51 |
| Liite 9. Pihantasaussuunnitelma.dwg | 52 |

Kuviot

| | |
|---|-----------|
| Kuvio 1. Kaivannon tukeminen ja kaivannon luiskaaminen | 9 |
| Kuvio 2. Rakennuksen ulkopuoliset kosteuslähteet | 14 |
| Kuvio 3. Salaojaputken sijainti maanvaraiseen anturaan nähden..... | 17 |
| Kuvio 4. Rakennuksen ympärille kartoitettuja hajapisteitä..... | 19 |
| Kuvio 5. Kartoitettuja tien taiteviivoja | 20 |
| Kuvio 6. Kolmioverkko..... | 21 |
| Kuvio 7. Neliöverkko..... | 22 |
| Kuvio 8. 3D-Win käyttöliittymän etusivu | 26 |
| Kuvio 9. Elementtilista..... | 27 |
| Kuvio 10. Lisää piste-ikkuna..... | 28 |
| Kuvio 11. Kolmiointi-ikkuna..... | 30 |
| Kuvio 12. Viivan editointi..... | 33 |
| Kuvio 13. Kolmioiden piilotus..... | 36 |
| Kuvio 14. Mallien yhdistäminen | 37 |

Taulukot

| | |
|--|-----------|
| Taulukko 1. Maanpintojen enimmäis- ja vähimmäiskaltevuudet..... | 15 |
|--|-----------|

Käsitteitä**Hulevesi**

Maanpinnalta, rakennusten katoilta tai vastaavilta pinnoilta pois johdettavaa sade- tai sulamisvettä.

Kuivatus

Vesien poisjohtaminen joko maanpinnalta pintakuivatuksella tai maaperästä salaojakerroksin ja salaojin.

Maastomalli

Maaston muotoja kuvaava digitaalinen malli, jossa maaston pinta kuvataan kolmiulotteisella kolmio- tai neliöverkolla.

Pintavesi

Katolta tuleva, maanpintaa pitkin virtaava tai maanpinnalla oleva vesi.

Pohjavesi

Vesi, joka on kyllästännyt maa- tai kalliiovyöhykkeen. Voi olla myös paineellista.

Vajovesi

Painovoiman vaikutuksesta maaperässä alaspäin liikkuva vesi.

Vektoritiedosto

Viivoja, pisteitä ja tekstejä sisältävä karttatiedosto.

Valuma-alue

Maanpinnan korkeussuhteiden perusteella määritelty alue, jolta pintavedet virtaavat alueen alimpaan kohtaan.

1 Työn lähtökohdat

1.1 Yleistä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehostaa suunnitteluprosessia ja yrityksen kilpailukykyä geosuunnittelussa 3D-Win ohjelman avulla. Mallinnuksella pyrittiin nopeuttamaan suunnittelua ja massalaskentaa, vähentämään suunnitteluvirheiden määrää sekä parantamaan suunnitelmien havainnollisuutta, jotta saataisiin projektin kaikille osapuolille selkeä ja yksiselitteinen näkemys toteutuksesta. Tarkoitus oli tutkia 3D-Win ohjelman mahdollisuuksia geosuunnittelun tehtäviin. Ohjelmalla oli tarkoitus pystyä mallintamaan olemassa olevat maanpinnat kaupungin maastokartoista riittäväällä tarkkuudella sekä tulevat maanpinnat ja kaivannot. Opinnäytetyössä selvitetään 3D-Win ohjelmasta kaikki mahdolliset hyödyt yrityksessä tehtävää suunnittelutyötä varten. Tarkoituksena oli myös tutkia, mitkä seikat aiheuttavat suunnittelussa ongelmia ja mitä mallinnus tuo tullessaan, kun verrataan keskenään 2D- sekä 3D-suunnittelua. Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Vahanen Jyväskylä Oy:lle.

Vahanen Jyväskylä Oy:llä on käytössään maastomittaustiedon käsittelyyn tarkoitettu Windows ohjelmisto 3D-Win versio 5.7.2. Opinnäytetyön avulla oli tarkoitus selvittää ohjelman sopivuus yrityksen tarpeisiin. Ohjelmaa pyrittiin hyödyntämään sekä geosuunnittelussa että mahdollisuuksien mukaan rakennesuunnittelussa. Esimerkkikohteeseen tehtävän suunnittelutyön perusteella muodostettiin johtopäätös ohjelman sopivuudesta Vahanen Jyväskylä Oy:n tarpeisiin. Työn suorituksesta kertova osuus toimii ohjeena 3D-Win ohjelman käytöstä.

3D-Win ohjelmaa on aikaisemmin käytetty pohjatutkimustulosten jatkokäsittelyyn. Tällä hetkellä yritys ei itse tee pohjatutkimuksia vaan kairaustulokset saadaan yleensä valmiina diagrammeina ja pohjakuviin merkittyinä kairauspisteinä.

Opinnäytetyössä käytettiin 3D-Win ohjelmaa esimerkkikohteen olemassa olevien maanpintojen mallintamiseen. Lisäksi tehtiin pihantasaussuunnitelma sekä kaivantosuunnitelma ohjelmaa käyttäen. Lopuksi suoritettiin massalaskenta 3D-Win ohjelman avulla.

1.2 Vahanen Jyväskylä Oy

Vahanen Jyväskylä Oy on entinen Insinööritoimisto Mittatyö Suomi Oy. Vahanen-konserni osti enemmistöosuuden yrityksen osakekannasta vuonna 2010. Vuodesta 2012 lähtien yritys on tunnettu nimellä Vahanen Jyväskylä Oy. Yrityksellä on myös Tallinnassa toimipiste Vahanen Eesti OÜ.

Vahanen Jyväskylä Oy on noin 15 hengen insinööritoimisto. Yrityksen toimialaan kuuluu asuin-, liike-, toimisto- ja julkisten rakennusten sekä teollisuusrakennusten rakenne- ja geotekninen suunnittelu sekä kuntotutkimukset ja korjaussuunnittelu (Vahanen-yhtiöt 2015).

2 Maaperätutkimukset

2.1 Maastokartoitus

Rakennuskohteessa on tarpeen tehdä maastokartoitus, jos alueen maanpintojen koroista ei ole riittäviä lähtötietoja ja tavoitteena on saada alueesta mahdollisimman tarkka ja todenmukainen kuva kartan avulla (Rantanen 2007, 7). Maastokartoituksessa selvitetään maanpinnan taitekohdat taiteviivoin ja muut alueet hajapisteiden avulla (RT 10-10619 1996, 2). Tätä varten kartoittajan tulee tietää käytettävä korkeusjärjestelmä sekä koordinaattijärjestelmä. Kartoituksen tavoitteena on tuottaa mittaustietoa olemassa olevista maanpinnoista kartan valmistusta varten (Rantanen 2007, 7). Kartassa esitetään yleensä maanpinnan korkeudet, suunniteltaviin alueisiin liittyvät tiet, pihat ja muut liitoskohdat korkeuksineen, nykyisten rakenteiden korkeudet, kuten lattia, sokkeli ja porraskorkeudet, kuivatusvesien purkureitit, avo-ojat, sadevesiviemärit sekä vesistöjen lähellä vedenpinnan korkeus ja sen vaihtelut. (RIL 126-2009, 17.)

Rakennuskohteessa paikan päällä tehtävä maastokartoitus voidaan suorittaa joko takymetri- tai GPS-mittauksella. Takymetrimittauksessa mitataan takymetrin ja prisman avulla maanpintojen sijainti ja korkeusasema valtakunnallisia taso- ja korkeuskiintopisteitä hyödyntäen. Kojeelle syötetään asemapisteen sijaintitiedot eli X-, Y- ja Z-koordinaatit, kojekorkeus ja prismakorkeus. Tällöin koje laskee automaattisesti X-, Y-

ja Z-koordinaatit mitattavasta pisteestä. GPS-mittauksessa mittauspisteen kolmiulotteinen sijainti paikannetaan satelliittien ja vastaanottimien avulla. Interferometrisessä paikannuksessa mitataan kahden vastaanotinyksikön välistä kolmiulotteista koordinaattieroja, kun molemmat vastaanottimet vastaanottavat samoista satelliiteista tulevia signaaleja. (Salmenperä 2006, 52,57.)

Jyväskylän kaupungin kaupunkirakennepalveluilta on mahdollisuus lunastaa maastokartta tämän opinnäytetyön esimerkkikohteen alueelta. Tämä kartta on kolmiulotteinen, joten kartan avulla on mahdollista mallintaa olemassa olevat maanpinnat teemmättä maastokartoitusta kohteessa. Mallinnus voidaan tehdä 3D-Win ohjelmalla ja maastokartta voidaan myös muuttaa tarkemmaksi tihentämällä korkeuskäyriä ohjelman avulla. Näin luotu maastokartta on kuitenkin vain niin tarkka kuin lähtötiedot sallivat. Jos kaupungin kartoissa ei jotakin oleellisia maanpinnan muutoksia näy, eivät ne myöskään tule suunnitelmiin ilman maastokartoitusta. Tarvittaessa kaupungin maastokarttaa voidaan kuitenkin tarkentaa maastokartoituksen avulla. Kohteesta riippuen täytyy miettiä, saadaanko kaupungin karttojen lähtötiedoista tarpeeksi tietoa vai täytyykö kohteessa tehdä maastokartoitus riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi.

2.2 Pohjatutkimus

Tavanomaisen rakennuskohteen pohjatutkimuksella selvitetään maakerrosten rajat, maalajit, routivuus, suhteellinen tiiviys sekä pohjavedenpinnan taso. Pohjatutkimukseen sisältyy tavanomaisissa kohteissa kairauksien suorittaminen, maanäytteiden ottaminen, pohjavedenpinnan tason mittaaminen sekä saven leikkauslujuuden selvittäminen. (RT 10- 10619 1996, 2.)

Kairaukset tehdään yleensä puristin-heijari-, paino- tai heijarikairauksina, ja ne suoritetaan rakennusten kohdalla yleensä 10...15 m välein. Tutkimuspistetiheys riippuu pohjasuhteiden vaihtelusta. (RT 10- 10619 1996, 2.)

Maanäytteet otetaan maalajien geoteknisten ominaisuuksien selvittämistä varten. Maanäytteitä otetaan eri syvyyksiltä; yleensä yksi maanäytesarja 10...15 kairausta

kohden, mutta kuitenkin yksi suunniteltua rakennuspaikkaa kohden. (RT 10-10619 1996, 2.)

Pohjavedenpinnan tason mittausta varten tontille asennetaan yleensä 1...2 havainto-putkea. Tiiviiden ja huonosti vettä läpäisevien kerrosten päällä mahdollisesti oleva orsiveden pinta mitataan myös. Karkeiden ja hyvin vettä läpäisevien kerrosten kohdalla saadaan luotettava mittaustulos myös avonaisesta näytteriästä ja koekuopasta. (RT 10-10619 1996, 2.)

Savikkoalueen pengerrysten ja kaivantojen suunnittelua varten selvitetään saven leikkauslujuus. Leikkauslujuus voidaan määrittää maastossa siipikairauksilla tai laboratoriossa häiriintymättömistä maanäytteistä kartiokokein. (RT 10-10619 1996, 2.)

3 Rakennustyömaan maatyöt

3.1 Kaivannot

Lähes poikkeuksetta rakennusten ja rakenteiden perustukset joudutaan rakentamaan alkuperäistä maanpintaa syvemmälle, minkä vuoksi perustusten rakentamista varten joudutaan kaivamaan maahan kaivanto (Rantamäki & Tamminen 2002, 104). Tämän lisäksi työmaalla tehdään usein myös putkijohtokaivantoja. Kaivantojen suunnittelua ja rakentamista vaikeuttavat vaikeat ja vaihtelevat pohjaolosuhteet, korkealla oleva pohja- tai orsivesi ja niiden alenemisen aiheuttamat ympäristöriskit, kaivannon suuri syvyys, läheiset naapurirakennukset ja -rakenteet sekä kaivannon ulottaminen naapurirakennusten perustusten alapuolelle, kaivannon ulottaminen maakerrosten läpi kalliioon sekä käytettävät uudet pohjatutkimusmenetelmät. Kaivanto voidaan tehdä joko luiskattuna tai rakentaa tuettuna, tai tehdä yhdistettynä luiskattuna ja tuettuna kaivantona. (RIL181-1989, 10-11.)

Matalat kaivannot pyritään tekemään luiskattuina. Luiskattuja kaivantoja suunniteltaessa on kaivantopoikkileikkaus valittava niin, että saavutetaan riittävä varmuus kaivannon luiskien sortumista vastaan sekä pohjamaan heikkojen kerrosten laaja-alaista

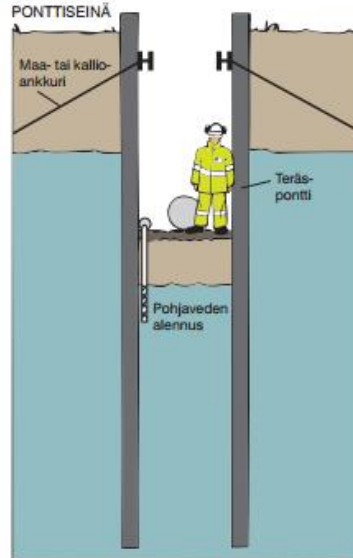
sortumaa vastaan. Vaativien ja hyvin vaativien kaivantojen stabiliteetti on aina tarkistettava laskelmin. (RIL181-1989, 20.)

Kaivanto rakennetaan tuettuna silloin, kun kaivannon tekeminen luiskattuna on epäluotellista suurten kaivu- ja täyttömassojen vuoksi, luiskatun kaivannon vaatima tila on liian suuri tai varmuus luiskan sortumaa vastaan on liian pieni. Kaivannon tuenta voidaan tehdä teräsponttiseinällä, settiseinällä, patoseinällä tai kaivanto voidaan tehdä uppokaivona. (RIL181-1989, 28)

Kaivannon tukeminen

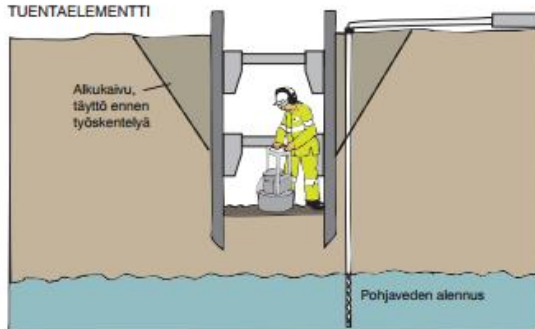
Esimerkkejä kaivannon tukemisesta:

Suunnittelija voi laatia kaivannon tuentasuunnitelman toteuttavaksi mm. teräsponttiseinällä, settiseinällä, kaivannon tuentaelementillä, porapaaluseinällä tai kaivantoseinällä.



Kaivannon sisäpuolinen tuenta voidaan korvata kaivannon ulkopuolelle tehtävällä ankkuroinnilla.

TUENTAELEMENTTI

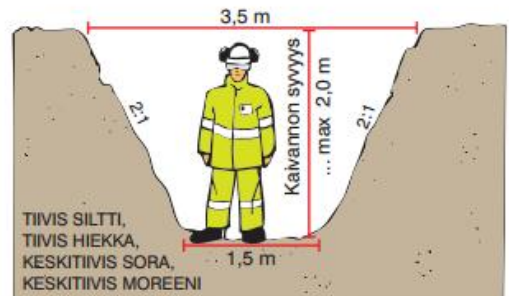


Tuentaelementin yläreunan pitää jäädä ympäröivän maanpinnan yläpuolelle.

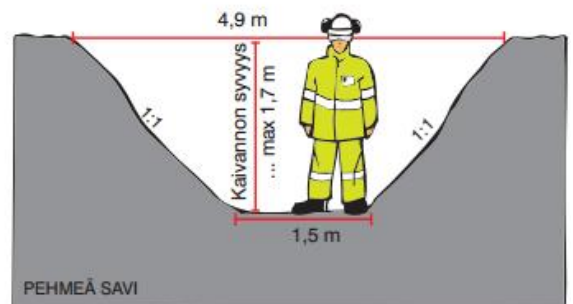
Kaivannon luiskaaminen

Esimerkkejä tukemattomien kaivantojen luiskakaltevuuksista:

Pätevä suunnittelija voi laatia suunnitelman kaivannon luiskaamisesta, mikäli se on tilankäytön, olosuhteiden ja maaperän laadun puolesta mahdollista (VNa 205/2009, 33-34 §).



Pätevän suunnittelijan suunnitelma kaivannon luiskaamisesta tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkin mukaisessa maaperässä kaivannon pohjan leveyden ollessa 1,5 m ja kaivannon syvyyden 2,0 m on yläreunan leveys minimissään 3,5 m.



Pätevän suunnittelijan suunnitelma kaivannon luiskaamisesta tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkin mukaisessa maaperässä kaivannon pohjan leveyden ollessa 1,5 m ja kaivannon syvyyden 1,7 m on yläreunan leveys minimissään 4,9 m.

Kuvio 1. Kaivannon tukeminen ja kaivannon luiskaaminen (Vaara vaanii kaivannossa 2013.)

3.2 Louhinta

Kallionpinnan ollessa osittain lähellä maanpintaa, on rakennusten perustuksia varten tarpeen suorittaa louhintaa. Louhinnassa kalliota poistetaan räjäyttämällä, jotta saadaan rakennuspohjan täytöt samanlaisiksi joka kohdassa. Kallion yläpuoliset maakerrokset poistetaan vähintään yhden metrin etäisyydelle louhinnan teoreettisen rajan ulkopuolelle ja maa luiskataan riittävän loivasti maalajin ja luiskakorkeuden mukaan (MaaRYL 2010, 99).

Kalliokaivanto tulee tehdä louhintasuunnitelman mukaan ja louhinnoista tulee laatia määräysten ja työn edellyttämät räjäytyssuunnitelmat. Räjäytyssuunnitelmassa tulee ottaa huomioon leikkauspintojen tarkkuusvaatimukset sekä vaadittu louhekkoko. Räjäytettävät kentät tulee peittää Louhinta- ja räjäytystyöohje TTK 2010 mukaisesti. (MaaRYL 2010, 99.)

3.3 Täytöt

Yleistä

Talonrakennustyömailla täyttöjä rakennetaan perustusten ja pohjalaattojen alustäyttöihin, rakenteiden vierustäyttöihin, kanaalien ja syvennysten täyttöihin, aluetäyttöihin sekä rakennekerrosten täyttöihin (RIL 132-2000, 40). Täytön ja täyttöjen alle jäävän maapohjan on kestävä sen omasta toiminnasta ja ympäristöstä aiheutuvat kuormat.

Täyttömateriaalit valitaan täytön tiivisyysvaatimusten ja täytön päälle tulevien rakenteiden asettamien vaatimusten mukaan. Liikennöidyillä alueilla käytetään lopputäyttömateriaaleina tiivistyskelpoisia kivennäismaita ja näiden alueiden ulkopuolella yleensä kaivumaita. Jos kaivannoista saatu maa-aines on hyvin tiivistyvää, voidaan sitä käyttää liikennöityjen alueiden täytöissä. Jos liikennöityjen alueiden täyttömateriaali tulee muualta, tulee sen olla routimisominaisuuksiltaan vastaavaa materiaalia kaivannosta poistetun materiaalin kanssa. Suurin sallittu kivien tai lohkkareiden läpimitta molemmissa tapauksissa on 2/3 kerrallaan tiivistettävän kerroksen paksuudesta, kuitenkin enintään 400 mm. (RIL 132-2000, 42.)

Rakennuksen täyttöihin kuuluvat rakennuksen sisäpuoliset täytöt sekä rakennuksen ulkopuoliset täytöt. Sisäpuolisiin täyttöihin kuuluvat rakennuskaivannon täytöt rakennuksen antura- ja sokkelilinjan sisäpuolella sekä lattian alapuolella. Rakennuksen ulkopuolisiin täyttöihin vastaavasti kuuluvat antura- ja sokkelilinjan ulkopuolella olevat täytöt. Täyttömateriaalien kelpoisuus osoitetaan ensisijaisesti CE-merkinnällä. (MaaRYL 2010, 78.)

Rakennekerrokset

Liikennöidyille alueille sekä piha-alueille tulevat täytöt rakennetaan rakennekerroksittain. Jokaisella rakennekerroksella on lopputilanteessa oma tehtävänsä. Alusrakenteesseen kuuluvat pohjamaa ja rakennettu alkutäyttö. Päällysrakenne jakautuu tukikerrokseen, kantavaan kerrokseen ja päällystykseen. Rakennekerrosten materiaalivaatimukset on esitetty julkaisussa RIL 132-2000. (RIL 132-2000, 47.)

Tukikerroksen alin kerros on suodatinkerros. Suodatinkerroksen tehtävä on estää muiden maakerrosten sekoittuminen keskenään, vähentää veden kapillaarista nousua sekä vedenläpäisevyytensä ansiosta toimia rakennetta kuivattavana kerroksena. Suodatinkerroksen materiaali on yleensä hienoa tai karkeaa hiekkaa. Suodatinkerrosta ei tarvita kantavilla maapohjilla kuten kallio- ja louhepohjilla tai jos käytetään suodatinkangasta korvaamassa suodatinkerrosta. (INFRARYL 2009.)

Suodatinkerroksen jälkeen alhaalta päin seuraava kerros on jakava kerros. Jakavan kerroksen tehtävä on lisätä kantavuutta ja jakaa kuormia alempiin maakerroksiin. Jakavan kerroksen materiaali on yleensä luonnonsoraa ja sen tulee olla vettä läpäisevää. (INFRARYL 2009.)

Seuraava kerros ylöspäin on tukikerroksen viimeinen kerros eli kantava kerros. Kantavan kerroksen tehtävä on antaa maarakenteelle jäykkyyttä sekä jakaa kuormia alempiin kerroksiin (INFRARYL 2009). Kantava kerros on yleensä murskettua ja kantavan kerroksen rakeisuuskäyrälle on tiukka ohjealue, joka on esitetty julkaisussa RIL 132-2000.

Päällysrakenne on alueesta riippuen asfalttibetonia, laatoitus, kivituhkaa tai soraa. Asfalttibetonin kerrospaksuus määräytyy kuormituksen ja pohjan mukaan. Laatoituksen alla tulee olla asennushiekka. Kantavan kerroksen ollessa osa päällystekerrosta voidaan päällysteenä käyttää soraa tai kivituhkaa. (INFRARYL 2009.)

Routaeristyksen avulla voidaan vaikuttaa rakennekerrosten paksuuteen. Suodatinkerroksen paksuus määräytyy usein routamitoituksen perusteella. (INFRARYL 2009.) Alusrakenteiden muutoskohdissa routanousun ja tiiviyserojen haittavaikutusten minimoimiseksi käytetään siirtymäkiiloja. Siirtymäkiila on routimatonta maa-ainesta oleva, paksuudeltaan loivasti muuttuva kiila, joka on alus- ja päällysrakenteen välissä. (Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset - Leikkaukset, kaivannot ja avo-ojarakenteet 2005, 16.)

3.4 Tonttialueen kuivatus

Kuivatuksen tavoitteet

Kattovesistä sekä piha-alueiden muista vesistä ei saa aiheutua haittaa rakennuksen julkisivuille eikä perustusrakenteille. Tämä ohjaa rakennuksen korkeusaseman valintaa ja piha-alueiden tasauksen suunnittelua ja toteutusta. Vedet johdetaan pois joko viettoviemäröinnillä tai pumppaamalla sadevesiviemäriverkostoon tai maastoon. (RIL 126-2009, 11.) Maastoon imeytyksen täytyy tapahtua omalla tontilla. Pintavesiä ei saa ohjata viereiselle tontille.

Tonttialueen ja rakennuspohjan kuivatuksen tavoitteena on estää veden aiheuttamat haitat ja vauriot rakenteissa, säilyttää kulkuteiden ja oleskelualueiden kantavuusominaisuudet sekä vähentää routimisen aiheuttamia haittavaikutuksia. Rakennuspohjan kuivatus sisältää maaperän vesien kapillaarisen nousun katkaisemisen, rakennuspohjan alueelle kertyvien pohja- ja vajovesien keräämisen ja johtamisen pois rakennuksen alueelta. (RIL 126-2009, 11.)

Ajoneuvo- ja jalankulkuliikenteelle sekä pysäköintiin ja oleskeluun tarkoitetuille alueille tulevat pintavedet ohjataan yleensä pinnankallistuksilla hulevesikaivoihin,

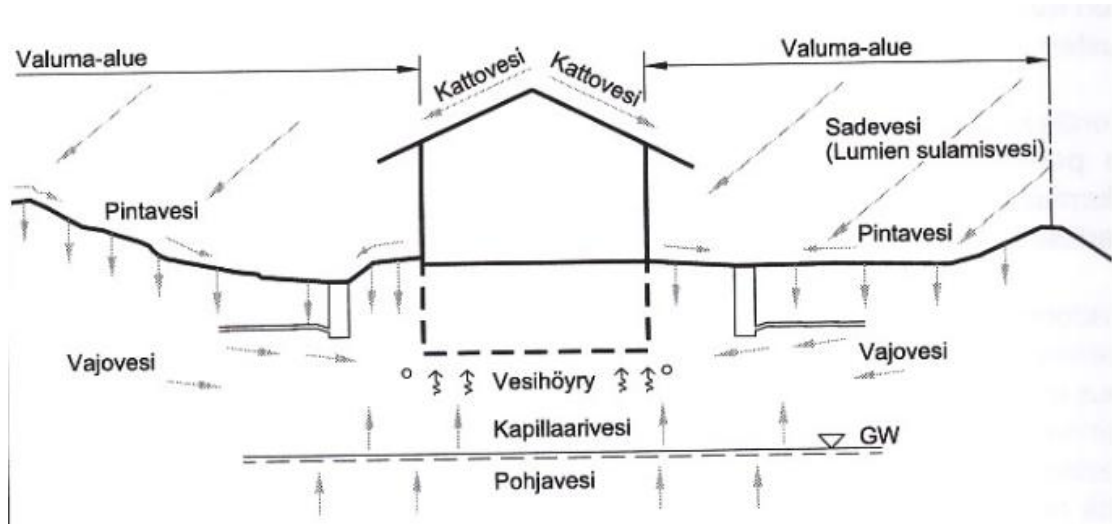
-kouruihin tai ojiin. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää vettä läpäiseviä päällysteitä tai johtaa vedet alueille, joissa vesi pääsee imeytymään maaperään. (RIL 126-2009, 45.)

Piha-alueilla ja teillä maaperän ollessa huonosti vettä läpäisevää on rakennekerrosten kuivatus tarpeen etenkin pohjaveden ollessa lähellä maanpintaa. Käytettäessä hyvin vettä läpäiseviä materiaaleja kuten hiekkaa tai soraa, ei rakennekerrosten kuivatusta ole tarpeen järjestää. (RIL 126-2009, 45.)

Pallo- ja leikkikentillä tai vastaavilla alueilla kuivatus on syytä järjestää yleensä sala-ojituksilla pienten pinnan kallistusten vuoksi. Tämä edellyttää hyvin vettä läpäisevää pintamateriaalia. Istutusalueiden kuivatus riippuu kasvillisuuden laadusta. Nurmikko-alueiden veden ohjaus tulee tapahtua pinnan tasaisilla kallistuksilla myös alueen helpohoitaisuuden vuoksi. Pintavedet on pyrittävä ohjaamaan puiden ja pensaiden juuristoalueille. (RIL 126-2009, 45.)

Rakennuksen ulkopuoliset kosteuslähteet

Tonttialueella esiintyvä kosteus on peräisin vetenä tai lumena sataneesta vedestä. Näistä vesistä osa haihtuu takaisin ilmaan, osa imeytyy maaperään ja osa virtaa maanpintaa pitkin ojiin ja vesistöihin. Vajovetenä maaperään imeytynyt vesi muodostaa pohjaveden ja täyttää maa-aineksen huokokset. Pohjavesi liikkuu painovoiman vaikutuksesta. Maaperään imeytynyt vesi voi myös nousta maa-aineksen ja vesimolekyylien välisen vetovoiman sekä veden pintajännityksen vaikutuksesta kapillaarisesti maaperässä ylöspäin. Kapillaarinen nousukorkeus riippuu maa-aineksesta, mutta mitä hienojakoisempi maa-aines on, sitä suurempi on veden kapillaarinen nousukorkeus. Kapillaarivettä ei voida kuivattaa painovoiman avulla kuten pinta-, vajo- ja pohjavesiä. (RIL 126-2009, 12.) Korkea pohjaveden pinnan taso voi aiheuttaa kosteushaittaa perusrakenteille. Rakennuspohjaan ja maaperään tulee kosteutta myös ulkoilmasta rakenteisiin tiivistyvistä vesihöyryistä. (RIL 107-2000, 23.)



Kuvio 2. Rakennuksen ulkopuoliset kosteuslähteet (RIL 126-2009, 12.)

Lähtötiedot tonttialueen kuivatuksen suunnitteluun

Kuivatuksen suunnittelu on osa pohjarakennesuunnittelua. Suunnittelijalla tulee olla riittävät perustiedot geotekniikasta, talonrakennuksen rakenteista ja laitteista sekä rakennustyön suorituksesta. Lisäksi kuivatustehtävän vaativuudesta riippuen suunnittelijalla tulee olla riittävästi suunnittelukokemusta alalta. (RIL 126-2009, 14.)

Ensisijaisesti tehtävien ratkaisujen rakennuspohjan ja tonttialueen kuivattamiseksi täytyy olla toimintavarmoja (RT 81-11000 2010, 2). Kuivatuksen suunnittelijalla tulee olla riittävät lähtötiedot tontista ja sen ympäristöstä. Lähtötietojen tulee olla niin tarkkoja ja luotettavia, että suunnittelu voidaan toteuttaa kohteen vaatimusten edellyttämällä tavalla. (RIL126-2009, 15.)

Käyttökelpoisia lähtötietoja tonttialueesta ovat ilmakuvat, topografiset kartat, alueelliset putkijohto- ja muut kartat. Myös aikaisemmin tehtyjen pohjatutkimusten tulokset kohteessa tai sen läheisyydessä, alueella olevien rakennusten, pihojen ja rakenteiden suunnitelmat, voimassa olevat asemakaavat ja maankäyttösuunnitelmat sekä tiedot maanalaisista rakenteista parantavat lähtötietojen tarkkuutta. (RIL 126-2009, 15-16.)

Jos suunnittelukohteesta ei ole tarpeeksi lähtötietoja, täytyy rakennuskohteessa suorittaa maastokartoitus. Mittauksella selvitetään olemassa olevat maanpinnan korkeudet

taiteviivoin ja hajapistein. Mittauksen laajuus ja tarkkuus kohteesta riippuen suoritetaan 10...20 m ruudukkoa vastaavalla pistetiheydellä. Rakennuskohteessa suoritetaan lisäksi pohjatutkimus, josta saadaan selville mahdollisen orsivesipinnan sekä pohjavesipinnan keskimääräinen korkeus ja maaperän kerrosten ominaisuudet. Jos pohjaveden korkeuden muutoksista voi olla haittaa rakennuspaikalla tai sen ympäristössä, täytyy selvittää pohjavesialtaan laajuus ja sen korvautuvuus. (RIL 126-2009, 16-17.)

Pihan tasausten suunnittelu

Suunniteltaessa pihan tasausta, on lähtötietoina oltava maanpinnan korkoasemat rakennusten vierustoilla sekä tontin rajalla. Lisäksi on tiedettävä mihin hulevedet on tarkoitus ohjata. Vaihtoehtoina on ohjata maanpinnan muotoilun avulla hulevedet kiviin tai maastoon. Maanpinnan muotoilussa on otettava huomioon maanpinnan enimmäis- ja vähimmäiskaltevuudet. Nämä rajoitukset riippuvat alueiden käyttötarkoituksista. Rakennusten vierustoilla maanpinnan kaltevuuden suositus on 1:20 kolmen metrin matkalla. (RT 81-11000 2010, 3.)

Taulukko 1. Maanpintojen enimmäis- ja vähimmäiskaltevuudet (RT 11000 2010, 2.)

Taulukko 1. Pintojen vähimmäiskaltevuuksia eri päällysteillä

| Päällyste | Sivukaltevuus | Viettokaltevuus |
|-------------------|---------------------------|----------------------------|
| Asfaltti | | |
| • ajorata | 2,5...3,0 % (1:40...1:33) | |
| • jalkakäytävä | 2,0...2,5 % (1:50...1:40) | |
| • piha | | 1,0...3,0 % (1:100...1:33) |
| Kiveys, laatoitus | | |
| • ajorata | 3,0...4,0 % (1:33...1:25) | |
| • jalkakäytävä | 2,5...3,0 % (1:40...1:33) | |
| • piha | | 2,0...4,0 % (1:50...1:25) |
| Sora, öljysora | | |
| • ajorata | 4,0...5,0 % (1:25...1:20) | |
| • piha | | 2,0...4,0 % (1:50...1:25) |

Taulukko 2. Suositus pintojen enimmäiskaltevuuksille

| Kohde | Enimmäiskaltevuus | Poikkeus* |
|---------------------------|-------------------|---------------|
| Tonttikatu | | |
| • raskas liikenne | 5 % (1:20) | 8 % (1:12,5) |
| • kevyt ajoneuvo-liikenne | 8 % (1:12,5) | 13 % (~1:7,7) |
| Pysäköinti, ajoväylät | 4 % (1:25) | |
| Lastausalue | 3 % (1:33) | |
| Luiskat | | |
| • jalankulku | 10 % (1:10) | 14 % (~1:7,1) |
| • liikkumisesteiset | 5 % (1:20) | 8 % (1:12,5) |
| • lastenvaunut | 10 % (1:10) | 20 % (1:5) |
| Ulkoporras | 30 % (1:3,3) | 50 % (1:2) |

* Poikkeustapauksessa, jos on toinen yhteys tai matka on erittäin lyhyt

Pintavesien ohjaus tapahtuu muodostamalla vedelle juoksureittejä eri suuntaan kallistettujen piha-alueiden pintojen, niiden välisten taitelinjojen ja reunakivien avulla. Vedet ohjataan joko jiriä pitkin jiiressä olevaan sadevesikaivoon tai päällystealueiden keskelle siellä sijaitsevaan sadevesikaivoon. (RIL 126-2009, 48.)

Rakennuksen katoilta syöksytorvia pitkin pihapäällysteille tulevat vedet tulee ottaa huomioon suunniteltaessa pihan kallistusten suuntaa ja jiirien paikkoja. Nurmialueilla syöksytorvesta tulevat vedet on syytä ohjata kauemmaksi rakennuksesta loiskekivin tai lyhyin kouruin, jotteivät kattovedet imeydy rakennuksen salaojiin. (RIL 126-2009, 49.)

Halvin ja yksinkertaisin vaihtoehto kattovesien ohjaamiseksi on ohjata vedet pinnan kallistuksilla maastoon tai lähimpään sadevesikaivoon. Tässä ongelmaksi muodostuu keväisin ja syksyisin pihaille jäätyvä vesi, joka voi aiheuttaa liukastumisia. Tämä voidaan välttää ohjaamalla kattovedet kattovesisuppilon kautta tai suoraan putkea pitkin sadevesiviemäriin. (RIL 126-2009, 49.)

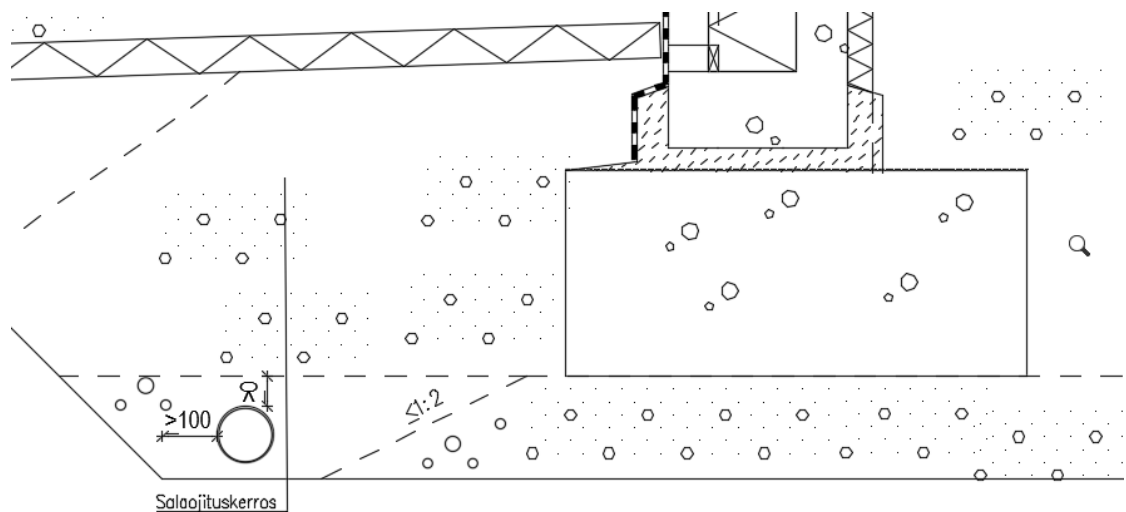
Hulevesikaivot on sijoitettava niin, ettei tulviva vesi pääse aiheuttamaan vahinkoa rakennuksille, ihmisille tai varastoidulle tavaralle. Reunakiviä käytettäessä hulevesikaivon luonteva paikka on reunakivilinjan vieressä. Kun reunakiviä ei käytetä, sijoitetaan kaivo päällysteen viereen tehtävän painanteen pohjalle. Liikennöidyillä pihalueilla kaivojen tiheydelle voidaan ohjearvona käyttää 1 kaivo/600...1000m². (RIL 126-2009, 49-52.)

Tonttialueen kallistuksia suunniteltaessa on otettava huomioon mahdollinen maapohjan painuminen ja routiminen, kun maanpinnan kaltevuudet ovat pieniä. Kallistukset täytyykin mahdollisuuksien mukaan ohjata suurimman painuman suuntaan, jotta oikean suuntainen kallistus säilyisi painuman jälkeenkin. (RIL 126-2009, 51.)

3.5 Salaojitus

Salaojituskerroksen tarkoituksena on katkaista veden kapillaarinen nousu maaperästä. Salaojituksella johdetaan maahan imeytyneet pintavedet pois perustusten vierestä ja rakennuksen alta. Salaojat toteutetaan minimissään DN100 mm kokoisella salaojaputkella, joka riittää normaaleissa olosuhteissa laajankin rakennuspohjan salaojavesien johtamiseen. Salaojavedet puretaan painovoimaisesti ympäröivään maastoon tai sadevesiviemäriverkostoon. Sadevesiä ei saa johtaa salaojaverkostoon. (RIL 126-2009, 29-31.)

Pohjavedenpinnan sijaitessa rakennusten perustusten alapuolella riittää yleensä sala-ojitus rakennuksen ulkoseinien vierustalla. Salaojaverkoston taitepisteisiin tulee sijoit-taa yleensä tarkastuskaivot tai -putket. Salaojat pyritään sijoittamaan mahdollisimman ylös kuitenkin niin, että putken yläpinta on anturan alapinnan tasoa alempana (ks. ku-vio 3). Salaojaputken tulee sijaita niin, että se on 1:2...1:3 kaltevuuden yläpuolella maanvaraisen anturan ulkoreunaan nähden, jotta maapohjan kantavuutta ei heikennetä anturan alla (ks. kuvio 3). (RIL 126-2009, 31.)



Kuvio 3. Salaojaputken sijainti maanvaraiseen anturaan nähden

Salaojien suosituskaltevuus perusmuurin vieressä on 1:100 perusmuurin ulkopuolella. Minimikaltevuus on 1:200. Salaojien peitesyvyys määräytyy toiminnan tärkeyden ja maantieteellisen alueen mukaan niin etteivät ne pääse jäätymään. Perusmuurin vierei-set salaojat suojataan yleensä routaeristeillä, jolloin syvyys määräytyy pääsääntöisesti kuivatusnäkökohtien mukaan. (RIL 126-2009, 33.)

Salaojaputken kaivanto tulee tehdä niin, että putken sivuille jää 100 mm ja yläpuolelle 200 mm tilaa salaojasorakerrosta varten. Salaojaputket on suositeltavaa asentaa suo-raan tasatun pohjamaan varaan levitetyn suodatinkankaan päälle. Perusmuurin ulko-

puolisen salaojakerroksen tulee olla yhteydessä sokkelipalkin tai perusmuurianturan alla olevan salaojakerroksen kanssa. (RIL 126-2009, 35.)

4 Maastomallinnus

4.1 Yleistä

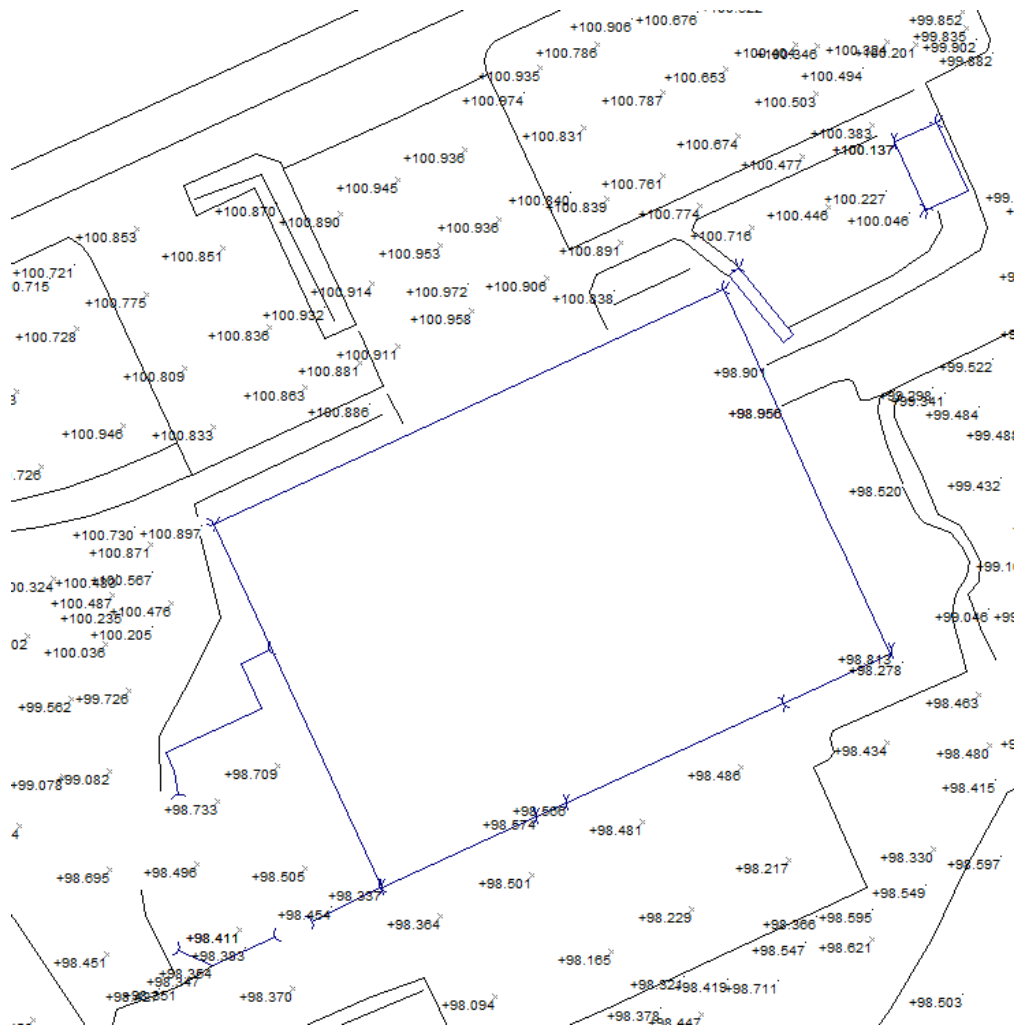
Maastomalli on pisteistä muodostuva verkosto, joka kuvaa maanpinnan muotoja. Maastomallinnuksessa mallinnetaan maaston muodot käyttämällä maastomallinnukseen soveltuvaa tietokoneohjelmistoa. Tietoja maanpinnan muodoista maastomallin luomiseen voidaan saada maastomittauksista, fotogrammetrisistä ilmakuvauksista tai lentokoneiden ja satelliittien avulla tehdyistä skannauksista. Maastomallia varten maastosta mitataan hajapisteitä alueilta, joissa maanpinnan muoto vaihtelee paljon. Maaston selkeisiin taitekohtiin mitataan taiteviivoja mahdollistamaan maastomallin todenmukainen muodostuminen. Mitatuista pisteistä lasketaan kolmioverkko maastomallinnusohjelmalla. (Vermeer 2013, 167.)

Maastomalli voidaan luoda myös ilman mittauksia, jos halutaan esimerkiksi kuvata tulevia maanpintoja tai kaivantoja. Maastomallista on mahdollista luoda eri projektioita, leikkauksia sekä kolmiulotteisia neliöverkkoja parantamaan mallin havainnollisuutta.

Maastomalleja voidaan käyttää muun muassa korkeuskäyrien laskemiseen, maamassojen määrälaskentaan sekä kolmiulotteisten maisemamallien luomiseen (Vermeer 2013, 170). Maastomallin korkeus on määritelty jokaisessa kohdassa mallia, jolloin ohjelma pystyy laskemaan korkeuskäyrät maastomallin korkeuden vaihteluvälillä. Maamassojen määrälaskenta voidaan suorittaa vertaamalla eri maastomallien välisiä tilavuuksia keskenään.

4.2 Hajapiste

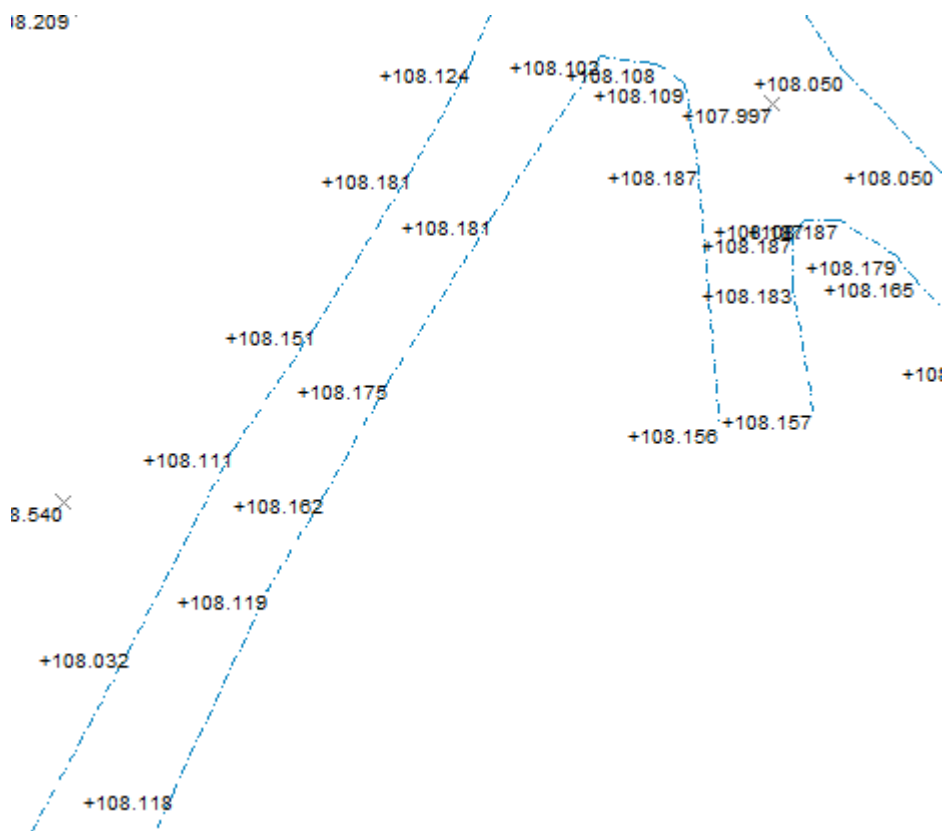
Hajapiste tarkoittaa maastosta mitattua pistettä, jolla on X-, Y- ja Z koordinaatit. Hajapisteiden avulla saadaan maanpinnan koordinaatti tallennettavaksi mittaustiedostoon. Hajapisteissä ei sijaitse varsinaisesti mitään kohdetta, mutta niiden avulla voidaan kartoittaa alue, josta ei ole tiedossa yhtään mittauspistettä. Hajapisteiden mitauspaikkoja valittaessa tulee ottaa huomioon, että kahden hajapisteen välisen kolmiulotteisen suoran tulee kuvata pisteiden välistä maastoa mahdollisimman todenmukaisesti. Tavoitteena on saada kartoitettua hajapisteiden avulla riittävän tiheä verkosto, jonka avulla luodaan mahdollisimman hyvin maanpintoja kuvaava mittaussaineisto. (Rantanen 2001, 257-258.)



Kuvio 4. Rakennuksen ympärille kartoitettuja hajapisteitä

4.3 Taiteviiva

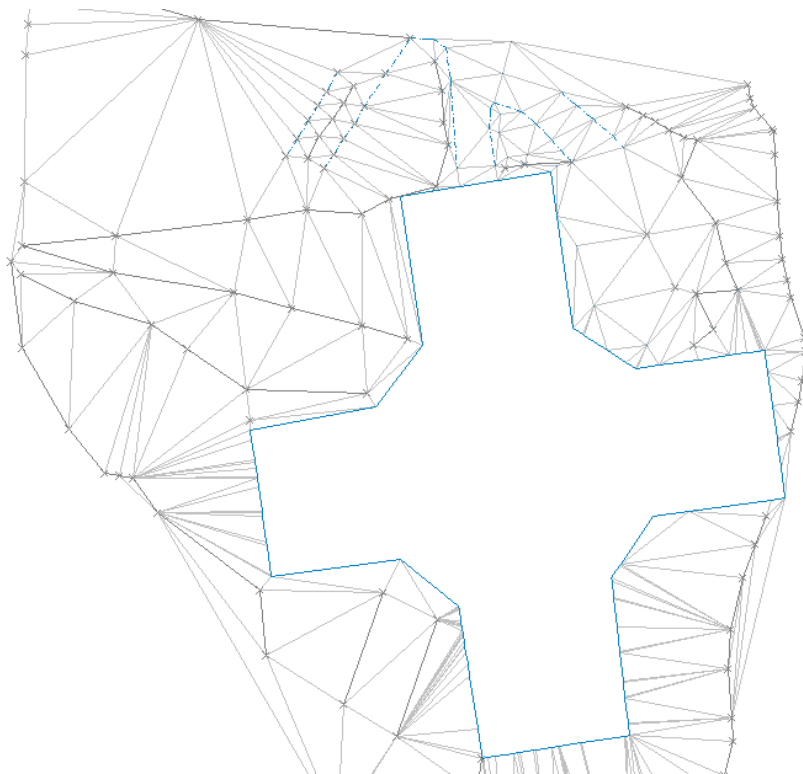
Taiteviiva on mittaustiedostossa samalla viivakoodilla kartalle viivana kuvautuva kohde. Taiteviivojen avulla kuvataan rakennusten ääriviivat, tien reunat ja maaston selvät taitekohdat. Taiteviiva kartoitetaan mittaamalla hajapisteitä järjestyksessä taitekohtaa pitkin. Näiden hajapisteiden välille muodostuu kolmiulotteinen taiteviiva, joka kuvaa maanpinnan muotoa taitekohdassa. Ilman taiteviivojen mittaamista täytyisi hajapisteitä mitata maaston taitekohdissa erittäin tiheästi, jotta se kuvautuisi maastomallinnuksessa oikein. Taiteviiva estää kahden hajapisteen välisen kolmioinnin, jotka ovat taiteviivan eri puolilla. Tämä tarkoittaa maanpinnan muotojen kuvautumista maaston taitekohdissa. (Rantanen 2001, 259-260.)



Kuvio 5. Kartoitettuja tien taiteviivoja

4.4 Kolmioverkko

Kolmioverkko on maastomalliohjelman mallintama kolmiulotteinen malli maanpinnan muodoista. Kolmioverkko muodostuu hajapisteiden väliin piirtyvistä avaruusvektoreista, jotka muodostuvat toisiaan lähimpinä olevien hajapisteiden väliin. Kun kahden toisiaan lähellä olevan hajapisteen välistä kulkee taiteviiva, piirtyvät avaruusvektorit taiteviivan pisteiden ja hajapisteiden välille. Näin muodostuu kolmioita eli kolmiulotteisia kolmiopintoja, jotka kuvaavat maanpintaa kyseisessä kohdassa. Mitä tiheämmin hajapisteitä ja taiteviivoja mitataan, sitä enemmän kolmioita mallissa muodostuu ja sitä kautta maastomallista tulee tarkempi. (Rantanen 2001, 259.)

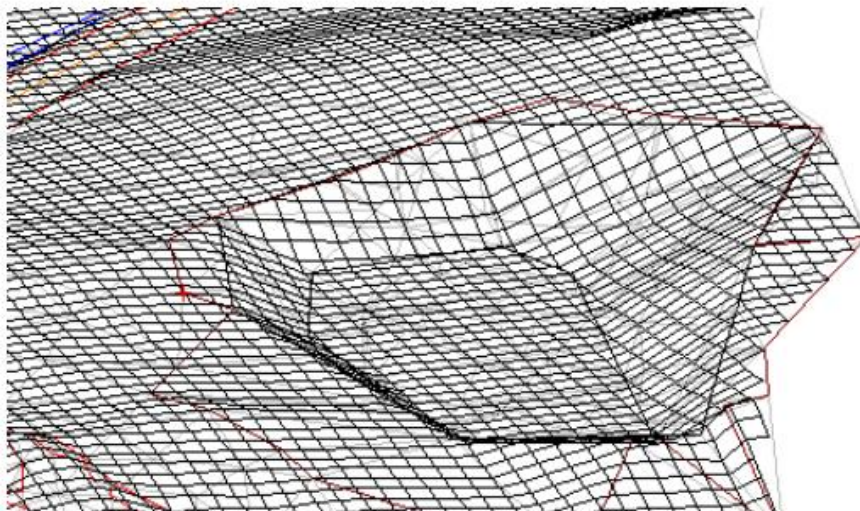


Kuvio 6. Kolmioverkko

4.5 Neliöverkko

Neliöverkko antaa visuaalisesti havainnollisen kuvan. Neliöverkko voidaan laskea luodusta maastomallista. (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 15.) Neliöverkon neliöt kuvaavat maastomallin pinnan osia kuten kolmioverkon kolmiot, mutta neliöt saadaan

malliin tiheämmin. Tällöin ne kuvaavat maanpinnan muotoja selkeämmin kuin suuremmat kolmiot. Neliöverkkoa voidaan käyttää mallin visualisointiin ja esittelyyn.



Kuvio 7. Neliöverkko (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 19.)

4.6 Koordinaattijärjestelmä ETRS-GK26

Maastomallia luotaessa on tärkeää tietää mihin koordinaatistoon mallia tehdään. ETRS-GK:n tasokoordinaattijärjestelmässä on yhden asteen levyisiä projektiokaistoja. Koordinaatteja tässä järjestelmässä ovat pohjoiskoordinaatti N ja itäkoordinaatti E. N-koordinaatti kertoo etäisyyden päiväntasaajalta. Itäkoordinaatti on valitun kaistan keskimeridiaanilla 500 000 ja pienenee siitä länteen päin ja kasvaa itään päin mentäessä. (Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät n.d.) Tämän opinnäytetyön esimerkkikohde sijaitsee Jyväskylän seudulla, jossa on ollut käytössä ETRS-GK26 tasokoordinaattijärjestelmä kesäkuusta 2009 lähtien (EUREF-FIN koordinaattijärjestelmä n.d).

4.7 Korkeusjärjestelmä N2000

Jääkauden jälkeen maa on hiljalleen kohonnut ja maankohoaminen jatkuu edelleen. Tämän vuoksi Suomessakin on ollut käytössä historian saatossa useita eri korkeusjärjestelmiä. Nykyään valtakunnallisissa kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa suositellaan käytettäväksi N2000-korkeusjärjestelmää. N2000-järjestelmä on pyritty sitomaan eurooppalaiseen korkeusjärjestelmään niin hyvin kuin mahdollista. Lähtötasona N2000-korkeusjärjestelmässä onkin Amsterdamin nollapiste Normal Amsterdams

Peil, NAP. N2000-järjestelmässä ilmoitettava korkeus kuvaa kiintopisteen etäisyyttä geodista. Geodi on kuvitteellinen merenpinnan jatke mannerten kohdalla. (Poutanen 2006, 12.) Kun suunnitelmissa esitetään korkoja, tulee korkeusjärjestelmä aina mainita.

5 2D- ja 3D-suunnittelun vertailu geosuunnittelussa

5.1 2D-suunnittelu

2D-suunnittelulla tarkoitetaan tietokoneavusteista suunnittelua, jossa suunniteltava kohde kuvataan yhdestä tietyistä kuvaussuunnasta kerrallaan kaksiulotteisena. Kohteesta voidaan suunnitella eri projektioita, kuten tasokuva sekä leikkaus 2D:nä, jotta kokonaisuus voidaan hahmottaa paremmin. Eri 2D-suunnitelmat täytyy suunnittelu-työssä piirtää aina erikseen, joten ristiriitojen syntymisen riski on mahdollinen etenkin, jos kuviin tulee muutoksia ja useita kuvia täytyy päivittää.

5.2 3D-suunnittelu

3D-suunnittelu on tietokoneavusteista suunnittelua, jossa kohde suunnitellaan kolmiulotteisena XYZ-koordinaatistossa. Maastomallinnuksessa kolmiulotteisessa suunnittelussa saadaan kohteesta luotua kerralla selkeä kokonaisuus. Maamassat saadaan laskettua kolmiulotteisten pintojen välisiä tilavuuksia vertaamalla. 3D-mallista saadaan luotua eri projektioita kuten tasokuva ja leikkaus kaksiulotteisena. Etuna tässä verrattuna 2D-suunnitteluun on massalaskennan nopeutuminen sekä ristiriitojen väheneminen, kun eri projektiot otetaan samasta mallista.

5.3 Suunnitteluprosessi

Suunnittelun käynnistyessä lähtötilanne on sama, tapahtui suunnittelu sitten kaksiulotteisena tai kolmiulotteisena. Ensin saadaan pohjatutkimustulokset ja kairausdiagrammit pohjatutkijalta. Seuraavaksi on selvittävä lähtötilanne eli olemassa olevat rakenteet ja maanpinnan korot tontilla. Tämän jälkeen tehdään tarvittavat suunnitelmat kohteen mukaan. Suunnitelmia voivat olla louhintapiirustus, kaivantopiirustus, salaojapii-

rustus ja pihantasaussuunnitelma. Tämän lisäksi kohteessa täytyy suunnitella tulevat piharakenteet alueen käyttötarkoitusten mukaan.

Kohteesta on yleensä saatavilla joko kaupungilta tai maanmittauslaitokselta kolmiulotteinen kartta tontin alueelta lähtötietona. 3D-Win ohjelmalla saadaan näistä lähtötiedoista luotua kolmiulotteinen malli olemassa olevista maanpinnoista. Mallin tarkkuus riippuu lähtötietojen tarkkuudesta. Tarkkuutta voidaan tarvittaessa parantaa tekemällä kohteessa maastokartoitus. Mallista saadaan luotua leikkauksia, korkeuskäyräkuva sekä pintamalli neliöverkko.

2D-suunnittelussa täytyy olemassa olevat maanpinnan korot yleensä selvittää maastokartoituksen avulla. Tällöin saadaan tontin tasokuvaan merkittyä mitatut hajapisteet. Olemassa olevista maanpinnoista ei 2D-suunnittelussa piirretä korkeuskäyräkuva, vaan maastokartoituksessa mitatut pisteet näytetään yleensä samassa kuvassa, missä näkyy myös tulevat maanpinnat. Maamassojen laskenta on näiden tietojen perusteella epätarkkaa ja hidasta. Kolmiulotteisista suunnitelmista maamassat voidaan laskea 3D-Win ohjelmalla vertaamalla eri maastomallien välisiä tilavuuksia keskenään.

Suunnitelmien, kuten kaivantopiirustuksen ja pihantasaussuunnitelman, suunnittelu suoraan kolmiulotteisena voi olla haastavaa. Lopputulos saadaan nopeasti ja tehokkaasti aikaan, jos tiedetään, miltä lopullisen suunnitelman pitää näyttää. Selkein onkin hahmotella ensin suunnitelma kaksiulotteisena paperille, jotta osataan lisätä hajapisteet ja taiteviivat oikeille paikoilleen kolmiulotteiseen malliin halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Kolmiulotteisesta suunnittelusta on hyötyä itse suunnittelijalle sekä määrälaskijalle. Omien suunnitteluvirheiden sekä ristiriitojen havaitseminen on helpompaa ja mahdolliset ongelmatilanteet korkojen kanssa tulevat paremmin esille. Liittymissä oleviin maanpintoihin saattaa 2D-suunnittelussa helposti tulla isoja virheitä, kuten pystysuoria seiniä muutosalueen tai tontin rajalle, jotka toteutusvaiheessa voivat muodostua isoksi ongelmaksi. 3D-suunnittelu karsii nämä virheet suoraan pois, sillä 3D-Win ohjelma ei pysty tällaisessa tilanteessa edes luomaan maastomallia, kunhan olemassa olevien maanpintojen maastomalli ulotetaan riittävästi tontin ulkopuolelle.

Kolmiulotteinen suunnittelu myös tehostaa suunnitteluprosessia. Maastokartoitus on joissain kohteissa tarpeeton, kun 3D-Win ohjelmalla saadaan kaupungin kartasta luotua malli olemassa olevista maanpinnoista. Tulevien rakennusten ääriiviivat tulee syöttää maastomalliin manuaalisesti, sillä niitä ei kaupungin kartoissa ole. Tehtävistä suunnitelmista saadaan eri projektioita ja leikkauksia yhdestä mallista. Kun suunnitelmia täytyy muuttaa, saadaan kolmiulotteista mallia muuttamalla päivitettyä kaikki projektiot ja leikkaukset samalla kertaa, kun taas 2D-suunnittelussa jokainen kuva joudutaan korjaamaan erikseen.

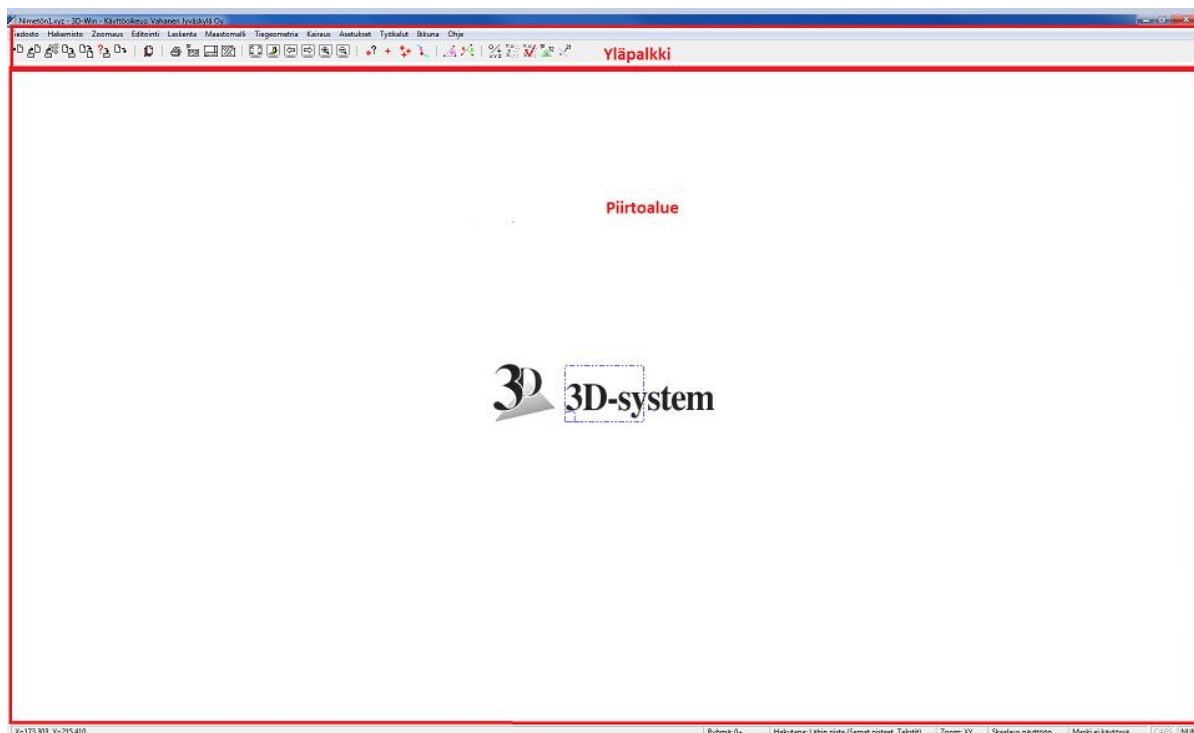
5.4 Suunnitelmien hahmotus

Kohteesta on tärkeää saada selkeä ja yksiselitteinen kuva jo suunnitteluvaiheessa. Ongelmana kaksiulotteisessa suunnitelmien tulkinnassa on lopputuloksen hahmottamisen vaikeus. Esimerkiksi pihantasaussuunnitelmasta lopputuloksen hahmotus kaksiulotteisesta kuvasta on vaikeaa ja vaatii kokemusta. Eri vaihtoehtojen vertailu ja esittely ongelmien ratkaisemiseksi on kuvaavampaa kolmiulotteisen mallin ansiosta. Kolmiulotteisessa mallissa saa esiteltäviä haluamansa asiat yksiselitteisesti ja selkeästi. Kolmiulotteisen suunnittelun hyötynä on suunnitelmien helppo tulkittavuus kaikille rakennushankkeen osapuolille, kuten muille suunnittelijoille, urakoitsijoille, tilaajille ja käyttäjille.

6 Suunnitelmien teko 3D-Win ohjelmalla

6.1 Ohjelman esittely

3D-Win on suomalainen ohjelmisto, joka on tarkoitettu maastomittaustiedon käsitteilyyn. Ohjelmistolla pystytään käsittelemään useita vektori- ja rasterikuvaelementtejä samaan aikaan. 3D-Win ohjelmalla tiedostoja voidaan lukea ja kirjoittaa ohjelman oman formaatin lisäksi useisiin muihin formaatteihin. (3D-Win 5.6 Käyttöönottomanuaali 2011, 3.) 3D-Win ohjelmistossa on useita eri ominaisuuksia, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään erityisesti ohjelmiston maastomallinnusominaisuuksiin.



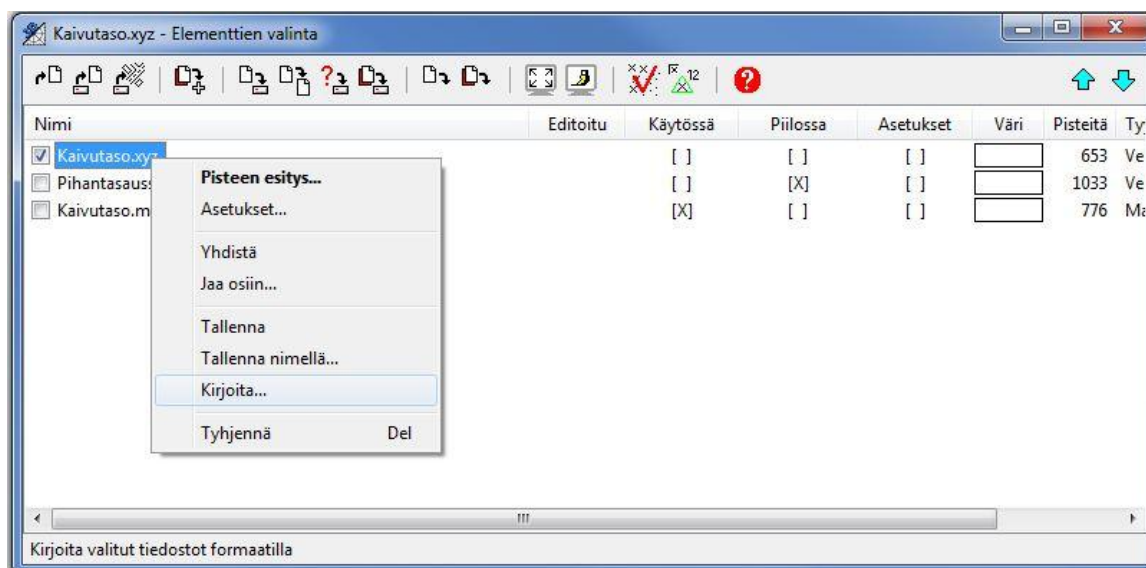
Kuvio 8. 3D-Win käyttöliittymän etusivu

6.2 Tiedostojen hallinta

Uusi tiedosto luodaan valitsemalla yläpalkista *Tiedosto - Uusi*. Seuraavaksi ohjelma kysyy luotavan tiedoston nimeä. Oletuksena ohjelma antaa tiedostolle nimen *Nime-tön.xyz*. Vastaavasti jo aikaisemmin luodun tiedoston voi avata valitsemalla *Tiedosto - Avaa*. Tiedostoja hallitaan elementtilistasta (ks. kuvio 9). Elementtilista saadaan auki yläpalkista valitsemalla *Tiedosto - Elementit - Valinta*.

Elementtilistasta voidaan valita aktiivinen tiedosto klikkaamalla aktiiviseksi nimen edessä näkyvä ruutu. Pisteiden ja viivojen lisäys tapahtuu aina siihen tiedostoon, joka elementtilistassa on aktiivisena. *Käytössä*-sarakkeen rastilla valitaan ne tiedostot, joiden pisteitä voidaan valita ja editoida. *Piilota*-sarakkeen rastilla voidaan piilottaa tiedostoja näkyvistä, kun halutaan selkeyttää piirtoalueen näkymää. Kun mikään *Piilota*-sarakkeen rasti ei ole valittuna, näkyvät kaikki elementtilistan tiedostot piirtoalueella yhtä aikaa.

Tiedosto voidaan poistaa elementtilistasta klikkaamalla hiiren oikealla näppäimellä tiedoston nimen kohdalla ja valitsemalla *Tyhjennä*. Ohjelma kysyy ennen sulkemista tallennetaanko tiedostoon tehdyt muutokset. Tiedoston voi tallentaa niin ikään hiiren oikealla näppäimellä klikkaamalla ja valitsemalla *Tallenna* tai *Tallenna nimellä* ja valitsemalla tallennuskansion.



Kuvio 9. Elementtilista

Kirjoita-toiminnolla ohjelman avulla voidaan tehdä formaatinmuunnoksia. Tämä toiminto on hyödyllinen silloin, kun halutaan muokata 3D-Win ohjelmalla tehtyä tiedostoa jollakin toisella ohjelmalla.

6.3 Taiteviivojen ja hajapisteiden lisäys

3D-Win ohjelmassa pisteiden ja viivojen lisäys aktiiviseen tiedostoon tapahtuu lähes samalla tavalla. Viivat piirretään luomalla yksi piste kerrallaan. Valitsemalla yläpalkista *Editoi – Pisteet/Viivat – Lisää* saadaan näkyviin *Lisää piste/viiva* – ikkuna, jossa on kuusi koodikenttää ja kolme koordinaattikenttää (ks. kuvio 10). Koodikenttien merkitykset ovat seuraavat:

- T1 = Pintatunnus maastomallia käytettäessä
- T2 = Viivatunnus, normaalisti juokseva numero tiedoston viivoille
- T3 = Pisteiden lajikoodi, määrää kohteen lajin esim. puu, rakennus tms.
- T4 = Pisteiden numero
- T5 = Pisteiden tarkkuusluokka
- T6 = Viivan kulkutapa, määrää viivan kulkutavan (kaari, murtoviiva tms.)
(3D-Win 5.6 Käyttöönottomanuaali 2011, 5.)

Pisteellä voi olla yhdestä kuuteen tunnusta. Viivan pisteillä kentät T1-T3 ovat aina samat, kun taas kentät T4-T6 voivat olla yksilölliset jokaiselle viivan pisteelle. (3D-Win 5.6 Käyttöönottomanuaali 2011, 5.) Koodi voidaan valita klikkaamalla haluttua koodikenttää ja painamalla *Koodi** painiketta. Esiin tulee listaus eri koodien merkityksistä ja niitä vastaavista koodeista.

Kuvio 10. Lisää piste - ikkuna (3D-Win 5.6 Käyttöönottomanuaali 2011, 16.)

Kun tarvittavat koodit on saatu määritettyä, tulee valita lisättävän pisteen XYZ-koordinaatit. Tässä kohtaa täytyy tietää käytettävä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä. Esimerkkikohteessa käytettävä koordinaattijärjestelmä on ETRS-GK26 ja korkeusjärjestelmä N2000. Pisteiden lisäys voidaan tehdä useammalla eri tavalla. Koordinaatit voidaan syöttää joko manuaalisesti kirjoittamalla ne koordinaattikenttiin yksi kerrallaan tai piste voidaan osoittaa painamalla hiirellä piirtoalueelta koordinaattipisteen

kohtaa. Kun käytetään hiirtä pisteiden lisäämiseen, täytyy ensin valita hakutapa, jolla ohjelma lisää pisteen. Hakutavat saadaan näkyviin painamalla hiiren oikeaa näppäintä piirtoalueella. Seuraavat hakutavat ovat käytössä:

- Hiiri
- Hiiri XYZ
- Lähin piste
- Taiteviiva
- Koodeilla
- Ominaisuuksilla
- Alue
- Suorakaide
- Hajapisteet
- Kaikki

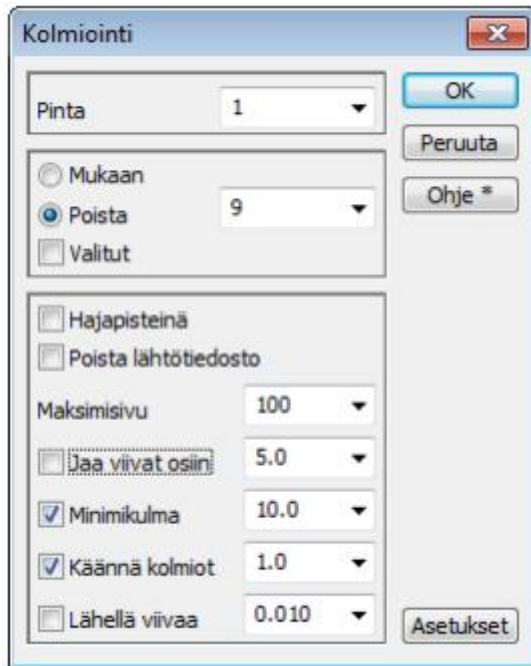
(3D-Win 5.6 Käyttöönottomanuaali 2011, 13.)

Esimerkkikohteessa olen käyttänyt pääasiassa hakutapaa hiiri. Tällä hakutavalla pisteelle täytyy manuaalisesti syöttää Z-koordinaatti, mutta hiirellä pystyy osoittamaan minkä tahansa XY-kohdan piirtoalueelta, jolloin ohjelma lisää pisteen aktiiviseen tiedostoon.

6.4 Kolmiointi ja maastomallin luominen

Maastomallin luominen tapahtuu kolmioimalla aktiivinen vektorielementti. Maastomalli voidaan myös luoda vain valituista pisteistä. (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 11.) Kolmioimalla aktiivinen hajapisteitä ja taiteviivoja sisältävä vektoritiedosto ohjelma luo uuden tiedoston, johon kolmioverkko tallentuu.

Kolmiointi tapahtuu valitsemalla yläpalkista *Maastomalli – Kolmiointi*, kun kolmioitava vektorielementti on aktiivisena. Esiin tulee kolmiointi-ikkuna (ks. kuvio 11).



Kuvio 11. Kolmiointi-ikkuna (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 11.)

Pinta. Ensimmäisessä ruudussa valitaan pintatunnus, joka kertoo minkä pintatunnuksen omaavista pisteistä luotava maastomalli muodostetaan. 3D-Win ohjelman pintatunnukset ovat seuraavat:

- 1 = maanpinta
- 2 = kallio
- 3-5 = eri maalajit loogisessa järjestyksessä pintakorkeuksien mukaan
- 6 = maalaatikko
- 7 = irtilouhinta
- 8 = valekallio
- 9 = ei malliin
- 11 = alin rakenne/leikkauspohja (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 24.)

Mukaan/Poista/Valitut. Jos halutaan luoda vain tietyllä pintatunnuksella olevat pisteet, voidaan valita *Mukaan*-valintaruutu aktiiviseksi. Jos halutaan jättää tietyillä pintatunnuksilla olevia pisteitä pois mallista, valitaan *Poista*-valintaruutu aktiiviseksi. Useamman pinnan voi tarvittaessa lisätä pilkulla tai välilyönnillä erotettuna. Pinnan lisäksi voidaan valita myös *Valitut*, eli valitut pisteet, jotka täyttävät *Mukaan/Poista* ehdot.

Hajapisteinä. Lähtöaineisto voidaan kolmioida hajapisteinä, jolloin ohjelma muuttaa viivat hajapisteiksi.

Poista lähtötiedosto. Poistamalla lähtötiedosto voidaan suurissa tiedostoissa säästää tietokoneen muistia.

Maksimisivu. Maksimisivu rajoittaa kolmioinnissa kolmion sivunpituutta. Valittua arvoa kauempana olevia pisteitä ei kolmioida toisiinsa.

Jaa viivat osiin. Viivoja sisältävässä aineistossa ohjelma luo pisteitä annetuin välein jos *Jaa viivat osiin*-valintaruutu on aktiivisena.

Minimikulma. Maastomallin reunalla olevat kolmiot, joiden kulma on alle annetun raja-arvon, piilotetaan mallista.

Käännä kolmiot. Tässä toiminnossa voidaan valita luku väliltä 0-10, jossa luku 0 toteuttaa lyhyin sivu – periaatteen. Luku 1 tarkoittaa parasta muotoa.

Lähellä viivaa. Pisteet, jotka ovat lähempänä kuin annetun arvon etäisyydellä viivasta, jätetään kolmioimatta. (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 11-12.)

Ennen kolmioinnin suoritusta ohjelma poimii mukaan tulevat pisteet ja tarkistaa kolmioitavan aineiston. Tiedostossa ei saa olla kaaria eikä leikkaavia taiteviivoja, jotta tiedosto voidaan kolmioida. Tiedosto voidaan korjata *Tiedoston korjaus* -toiminnolla, jossa ohjelma etsii yksiselitteisesti korjattavia ja selkeitä virheitä. Muut virheet korjataan tarkoitukseen sopivalla komennolla kuten *Editoi piste* ja *Leikkaavat viivat* -komennolla. (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 6.)

6.5 Lähtötiedot ja lähtötilanteen mallinnus

Esimerkkikohteessa on tarkoitus tehdä uusi pihantasaussuunnitelma. Kohteessa on tällä hetkellä rakennuksen ympärillä liian tasainen maasto, joten pintavedet eivät poistu riittävässä määrin. Tavoitteena on toteuttaa pintavesien poisjohtaminen maastoon pelkillä pinnan kallistuksilla ilman sadevesikaivoja.

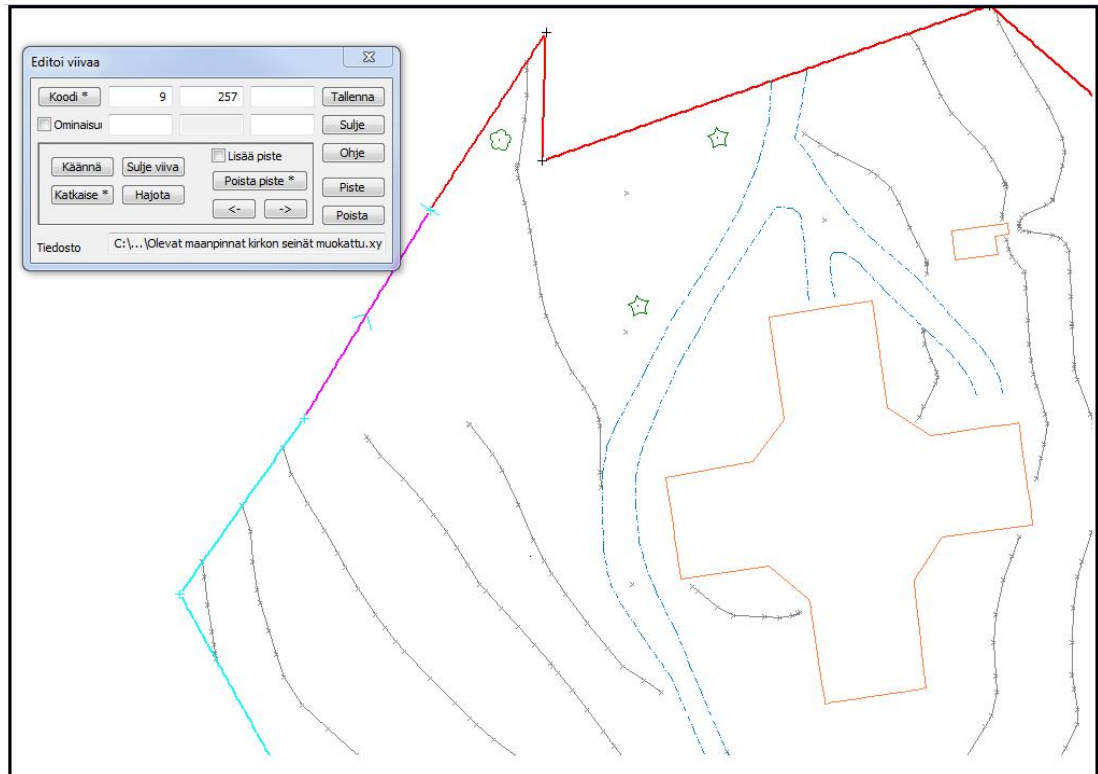
Ensimmäinen vaihe suunnittelussa on mallintaa lähtötilanne. Se tapahtuu tilaamalla Jyväskylän kaupungin kaupunkirakennepalveluilta maastokartta rakennuskohteen alueelta. Tämä kartta on kolmiulotteinen ja karttaan on merkitty olemassa olevat maanpinnat korkeuskäyrien, rakennusten ja teiden taiteviivojen sekä muutamien korkeus-

pisteiden avulla. Jos kyseessä olisi uudisrakennus, tulisi rakennusten ääriviivat syöttää karttaan manuaalisesti. Korkeuskäyrät ovat yhden metrin välein. Pihantasaussuunnitelmassa korkeuskäyrät tulee olla kymmenen senttimetrin välein, joten hyödynnetään 3D-Win ohjelmaa muuttamalla tämä kaupungilta tilattu kartta vastaavaksi eli korkeuskäyrät kymmenen senttimetrin välein.

Maastokarttatiedosto on dwg-muodossa, joten se täytyy muuttaa sellaiseen tiedostomuotoon, että sen saa 3D-Win ohjelmalla auki. Käytetään tässä formaatinmuunnoksessa avuksi AutoCAD ohjelmaa. Avataan maastokartta AutoCAD ohjelmalla ja tallennetaan maastokartta dxf-muodossa. Tiedosto on syytä muokata poistamalla kaikki ylimääräinen, kuten korkeuskäyrät sekä muut rakennukset tontin rajojen ulkopuolelta. Tämän jälkeen maastokartta voidaan avata 3D-Win ohjelmalla.

Seuraavaksi käytetään 3D-Win ohjelmaa mallintamaan lähtötilanne. Luodaan uusi tiedosto *Olevat maanpinnat.xyz*. Avataan maastokartta ja valitaan tästä rakennuksen ääriviivat, tontin rajat sekä tontilla olevat korkeuskäyrät ja korkeuspisteet. Tuodaan valitut kohteet tiedostoon *Olevat maanpinnat.xyz* käskyllä *Editoi - Poimi merkityt - Aktiiviseen elementtiin*.

Tiedostoon tuoduille viivoille ja pisteille annetaan seuraavaksi niiden merkitystä kuvaava koodi kenttään T3. Rakennuksen taiteviivalle annetaan rakennuksen nurkkaa vastaava koodi 200, hajapisteelle hajapisteen koodi 0 ja tien taiteviivoille tien taiteviivaa vastaava koodi 127. Valitaan ylävalikosta *Editoi – Viivat – Editoi*, jolloin esiin tulee *Editoi viivaa* -ikkuna (ks. kuvio 12). Valitaan hakutavaksi hiiren oikealla näppäimellä *Taiteviiva*. Osoitetaan ensimmäisenä tontin rajaviivaa ja klikataan hiiren oikealla näppäimellä, jolloin tontin rajaviiva tulee valituksi. Klikataan hiiren oikealla näppäimellä ruudusta T3 ja sen jälkeen *Koodi**. Nyt näkyviin tulee 3D-Win ohjelman koodilistaus, josta nähdään, mitä mikäkin numerokoodi merkitsee. Etsitään listasta ja valitaan *Tontin raja 257*, jolloin numero ilmestyy ruutuun T3. Ruutuun T1 annetaan koodi *9 – ei malliin*, koska tontin rajalla ei ole kartassa korkeusasemaa. Painetaan vielä *Tallenna* ja muutos tallentuu tiedostoon. Sama toimenpide tehdään tien taiteviivoille, korkeuspisteille sekä rakennuksen taiteviivoille ja annetaan näille niiden merkitystä vastaava koodi ruutuun T3 ja ruutuun T1 koodi *1 - maanpinta*.



Kuvio 12. Viivan editointi

Hajapisteiden kooditus tapahtuu samantapaisesti sillä erotuksella, että kyseessä on piste. Valitaan yläpalkista *Editoi – Piste – Editoi*. Hakutavaksi valitaan hiiren oikealla näppäimellä *Lähin piste*. Nyt valitaan T3 ruutuun *Hajapiste 0* ja tallennetaan. Nyt on lähtöaineisto kooditettu oikein tiedostoon *Olevat maanpinnat.xyz* (ks. liite 1).

Seuraava vaihe on äsken luodun tiedoston *Olevat maanpinnat.xyz* kolmiointi. Ennen kolmiointia suljetaan tai otetaan pois käytöstä kaikki elementit joiden ei ole tarkoitus tulla maastomalliin. Valitaan ylävalikosta *Tiedosto - Elementit* ja otetaan pois *Käytössä* rastit sellaisten tiedostojen kohdalta, joita ei ole tarkoitus kolmioida. Tässä tapauksessa kaupungin maastokartta otetaan pois käytöstä. Tämän jälkeen suoritetaan tiedoston tarkistus kohdasta *Editointi - Tiedoston tarkistus*. Tiedoston tarkistuksen avulla varmistetaan, että tiedosto kolmioituu oikein. Tarkistuksessa poistetaan tarpeettomat nollakorot sekä korjataan leikkaavien taiteviivojen kohdat. Aineiston kolmiointi tapahtuu kohdasta *Maastomalli – Kolmiointi*. Kolmioidaan hajapisteinä pinta 1 ja poistetaan mallista pintatunnuksen 9 pisteet eli tässä tapauksessa tontin raja. Ohjelma luo uuden tiedoston nimeltä *Olevat maanpinnat.mm1*. Mallista huomataan, että kolmio-

verkko tuli nyt myös rakennuksen ääri viivojen sisäpuolelle. Nämä kolmiot poistetaan käskyllä *Maastomalli – Lisää viiva*. Tuodaan rakennusten taiteviivat tiedostosta *Olevat maanpinnat.xyz* koodilla 200 ja valitaan aktiiviseksi myös kohta *Piilota kolmiot*, jolloin ohjelma piilottaa kolmiot rakennusten ääri viivojen sisäpuolelta. Nyt on luotu kolmiulotteinen kolmioverkko olemassa olevista maanpinnoista tiedostoon *Olevat maanpinnat.mm1* (ks. liite 2).

Olemassa olevista maanpinnoista luodaan vielä korkeuskäyrätiedosto. Valitaan ylävalikosta *Maastomalli – Korkeuskäyrät - Laske*. Ohjelma hakee automaattisesti tiedostosta korkeimman ja matalimman pisteen ja ehdottaa korkeuskäyrien luontia tälle välille. Korkeuskäyrien tiheydeksi valitaan 0,1 m. Painetaan *Ok*, jolloin ohjelma luo jälleen uuden tiedoston *Olevat maanpinnat.kk1* (ks. liite 3). Lisätään korkeuskäyrille tekstit kohdasta *Maastomalli – Korkeuskäyrät – Teksti*. Piirretään murtoviiva aina sille linjalle, mihin korkeuskäyrän korkeuslukema halutaan. Murtoviiva piirretään osoittamalla hiirellä kaksi pistettä piirtoalueelta. Nyt kaikki lähtötilannetta kuvaavat tiedostot ovat valmiit. Tallennetaan luodut tiedostot.

6.6 Pihantasaussuunnitelman teko

Avataan pohjalle *Olevat maanpinnat.mm1* ja *Olevat maanpinnat.kk1* -tiedostot. Luodaan uusi vektoritiedosto ja annetaan nimeksi *Pihantasaussuunnitelma.xyz* (ks. liite 4). Valitaan rakennuksen ääri viivat tiedostosta *Olevat maanpinnat.mm1* ja tuodaan ne luotuun tiedostoon *Pihantasaussuunnitelma.xyz*. Seuraavaksi valitaan hajapisteitä muutosalueen rajalta eli siitä rajakohdasta, jossa pintavesien kulkua varten muutetut maanpinnat liittyvät olemassa oleviin, sellaisekseen jääviin maanpintoihin. Hajapisteet valitaan tiedostosta *Olevat maanpinnat.kk1* ja tuodaan aktiiviseen elementtiin eli *Pihantasaussuunnitelma.xyz* -tiedostoon.

Tämän jälkeen lisätään hajapisteitä ja taiteviivoja, jotta saadaan vaadittavat maanpinnan kallistukset pintavesien poisjohtamista varten. Hajapisteitä on syytä lisätä kohtiin, joissa maanpintojen korot tiedetään varmasti. Rakennuksen ympärillä 1:20 kallistuksella kolmen metrin päästä rakennuksesta maanpinta tulee olla 150 mm sokkelin vierustalla olevaa maanpintaa alempana. Hajapisteitä on syytä lisätä myös veden kulku-

reitille ja näiden pisteiden välille piirretään taiteviiva. Pisteitä tulee olla riittävän tiheästi, jotta tiedosto kolmioituu oikein. Maastomalli *Pihantasaussuunnitelma.mm1* (ks. liite 5) luodaan kolmioimalla tiedosto *Pihantasaussuunnitelma.xyz*. Lisätään rakennusten ääriviivat maastomalliin samalla tavalla kuten edellisessä kohdassa käskyllä *Maastomalli - Lisää viiva*. Maastomallin avulla lasketaan korkeuskäyrät käskyllä *Maastomalli - Korkeuskäyrät - Laske*. Ohjelma luo tiedoston *Pihantasaussuunnitelma.kk1* (ks. liite 6). Lisätään korkeuskäyrille tekstit kuten edellisessä kohdassa ja tallennetaan luodut tiedostot.

6.7 Massalaskenta

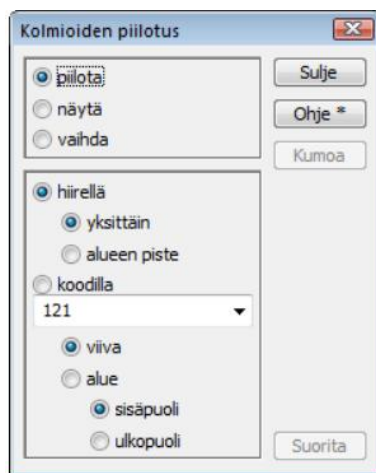
Olemassa olevien maanpintojen taso on oleellinen tieto maamassojen laskennassa. 3D-Win ohjelmalla voidaan tehdä kaivusuunnitelma kolmiulotteisena, jolloin saadaan laskettua maankaivun ja olemassa olevien maanpintojen välinen tilavuus. Kaivutasoon vaikuttavat rakennuksen perustamissyvyys, tulevat alueiden rakenteet sekä pohjatutkimustulokset. Maankaivun laajuuden määrittää alueen sekä tulevien rakenteiden koko että kaivantojen suurimmat sallitut kaltevuudet ja mahdolliset tukiseinät.

Tulevien täyttöjen määrä riippuu tulevien alueiden rakenteista sekä tulevien maanpintojen koroista. Edellisessä kohdassa mallinnettiin tulevat maanpinnat kolmiulotteisena. Tulevien täyttöjen tilavuus voidaan laskea vertaamalla kolmiulotteista kaivusuunnitelmaa ja pihantasaussuunnitelmaa.

Luodaan uusi vektoritiedosto ja tallennetaan se nimellä *Kaivutaso.xyz* (ks. liite 7). Tuodaan muutosalueen reunalla olevia pisteitä sekä rakennusten ääriviivat tiedostoista *Pihantasaussuunnitelma.xyz* sekä *Pihantasaussuunnitelma.kk1* aktiiviseen tiedostoon. Piharakennetyyppien perusteella maankaivun syvyys on nurmialueilla noin 300 mm ja tiealueilla noin 900 mm valmiista maanpinnasta. Lisätään muutosalueen reunalla olevien hajapisteiden läheisyyteen, noin 1:1 kaltevuuden päähän hajapisteitä, jotka kuvaavat kaivutasoa. Seuraavaksi lisätään eri kaivutasojen rajakohdille taiteviivoja kuvaamaan luiskan ylä- ja alareunaa. Taiteviivoja tulee lisätä rakennuksen ympärille sekä tien reunoille. Korkeudet asetetaan vastaamaan piharakennetyypin vaatimaa kaivutason korkeutta eli joko 300 mm tai 900 mm tulevaa maanpintaa alemmaksi riippu-

en alueesta. Kenttään T1 annetaan pintatunnus *11 - Alin pinta* ja kenttään T3 kutakin pistettä kuvaava lajikoodi. Lisätään tarvittaessa kaivutasoa kuvaavia hajapisteitä alueille, joissa hajapisteiden väliset etäisyydet ovat suurempia kuin kolmioitaessa asetettava maksimisivu.

Seuraavaksi kolmioidaan tiedosto *Kaivutaso.xyz* valitsemalla *Maastomalli - Kolmiointi*. Kolmioitava pinta on 11. Ohjelma luo uuden tiedoston *Kaivutaso.mm1* (ks. liite 8). Tarkistetaan, onko tiedosto kolmioitunut oikein. Tarkistusta helpottavat korkeuskäyrien sekä neliöverkon laskeminen mallista. Tarkistus suoritetaan silmämääräisesti. Jos suuria virheitä havaitaan, on syytä muokata tiedostoa *Kaivutaso.xyz* ja suorittaa kolmiointi uudelleen. Maastomallista poistetaan muutosalueen reunalle tehdyn luiskan yläreunaa kuvaavan taiteviivan ulkopuolelle jäävät kolmiot. Valitaan yläpalkista *Maastomalli - Piilota*, jolloin esiin tulee *Kolmioiden piilotus* -ikkuna (ks. kuvio 13). Tämän jälkeen valitaan aktiiviseksi *hiirellä* ja *yksittäin* -kohdat, jolloin piilotettavat kolmiot voidaan osoittaa maastomallista hiirellä klikkaamalla.



Kuvio 13. Kolmioiden piilotus

Avataan *Kaivutaso.mm1* tiedoston rinnalle *Olevat maanpinnat.mm1*. Massalaskenta suoritetaan vertaamalla näiden kahden maastomallin pintojen välistä absoluuttista tilavuutta. Valitaan *Maastomalli - Mallien yhdistäminen*. Menetelmäksi valitaan *Eropinta ja massat*. *Pinta 1* on ylempi pinta joka on tässä tapauksessa *Olevat maanpinnat.mm1*.

Pinta 2 on alempi pinta, joka on nyt *Kaivutaso.mm1*. Painetaan *Suorita*, jolloin ohjelma suorittaa massalaskennan näiden pintojen väliltä (ks. kuvio 14).

| Pinta | Alue | Tilavuus |
|----------|---------------------|--------------------|
| Leikkaus | 1770 m ² | 939 m ³ |
| Täyttö | 22 m ² | 2 m ³ |

Kuvio 14. Mallien yhdistäminen

Mallien yhdistäminen -ikkunassa on louhintaa varten *m²-raja* sekä *Kaltevuus* -valintaruudut. *m²-raja*-ikkuna kertoo pinta-alarajan, jota pienemmät louhinnat lasketaan neliömetreinä. *Kaltevuus* määrittää kalliolouhinnan alapinnan minimikaltevuuden. Tätä pienemmät kaltevuudet lasketaan louhinnan osalta neliömetreinä ja jyrkemmät kuutiolouhintana. *Rajaus* -kohdassa voidaan määrittää rajaustiedosto. Rajaustiedostossa olevat sulkeutuvat taiteviivat määrittelevät alueet, joista massalaskennat erotellaan. (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 25.)

Tuloksina saadaan *Leikkaus* -rivi sekä *Täyttö* -rivi. *Leikkaus* -riviltä voidaan lukea pinta-ala, jossa *Kaivutaso.mm1* maastomalli on alempana kuin *Olevat maanpinnat.mm1*. Tilavuus-sarakkeesta *Leikkaus* -riviltä nähdään absoluuttinen maastomallien välinen tilavuus, jossa *Kaivutaso.mm1* on alempana kuin *Olevat maanpinnat.mm1*. *Täyttö* -riviltä nähdään, että *Kaivutaso.mm1* on joissakin kohdissa ylempänä, kuin *Olevat maanpinnat.mm1*. Tarvittava täyttöjen määrä ja pinta-ala nähdään tällä rivillä.

Kullekin pinnalle voidaan laskea tarvittaessa myös vinopinta-alat valitsemalla *Vinopinta-alat*-ruutu aktiiviseksi. Vinopinta-ala kertoo maalajin yläpinnan todellisen pinta-

alan. *Taulukkomuoto*-rasti aktiivisena saadaan tulokset esitettäväksi tekstitiedostossa taulukoituna, kun painetaan *Mallien yhdistäminen*-ikkunassa *Näytä*. (3D-Win 5.6 Maastomalliohje 2011, 25-26.)

Maastomalleista voidaan laskea myös poikki- ja pituusleikkauksia. Leikkausten sijainnin määrittämiseen täytyy tehdä mittalinja. Valitaan yläpalkista *Maastomalli - Mittalinja - Tee*. Asetetaan paaluväli sen mukaan, kuinka tiheään poikkileikkauksia mittalinjalta halutaan. Valitaan hakutapa hiiren oikealla näppäimellä ja tämän jälkeen osoitetaan kahta pistettä, joiden välille mittalinja luodaan. Mittalinjaa voidaan jälkeinpäin editoida kohdasta *Maastomalli - Mittalinja - Editoi*.

Poikkileikkaus luodaan kohdasta *Maastomalli - Poikkileikkaus*. Poikkileikkaus voidaan laskea useista malleista kerrallaan. Avataan maastomallit *Olevat maanpinnat.mm1* ja *Kaivutaso.mm1*. Luodaan poikkileikkaus ja valitaan aktiiviseksi kohdat *Kaikki pinnat* ja *Uusi ikkuna*. Valitaan myös poikkileikkauksen leveys asettamalla etäisyys *Vasen* ja *Oikea*. Painetaan *Ok*, jolloin ohjelma luo uuden tiedoston ja avaa luodut poikkileikkaukset uuteen ikkunaan.

Pituusleikkaus voidaan luoda kohdasta *Maastomalli - Pituusleikkaus*. Valitaan jälleen aktiiviseksi *Kaikki pinnat* sekä *Uusi ikkuna*. Ohjelma luo uuden tiedoston ja avaa luodun pituusleikkauksen uuteen ikkunaan.

3D-Win ohjelmalla voidaan mallintaa tarvittaessa eri rakennekerroksia. Tietyn rakennekerroksen kohdalla täytyy hajapisteille ja taiteviivoille antaa tätä rakennekerrosta vastaava pintatunnus koodikenttään T1. Näin voidaan laskea erikseen eri rakennekerrosten absoluuttisia tilavuuksia 3D-Win ohjelman avulla. Oleellisimmat massat, jotka saatiin tässä kohteessa laskettua, olivat maan kokonaiskaivun tilavuus sekä tulevien täyttöjen kokonaistilavuus. Maan kokonaiskaivun tilavuus saatiin vertaamalla *Olevat maanpinnat.mm1* -maastomallia *Kaivutaso.mm1* -maastomalliin. Tulevat täytöt saatiin laskettua vertaamalla *Pihantasaussuunnitelma.mm1* -maastomallia *Kaivutaso.mm1* -maastomalliin.

6.8 3D-Win ohjelman käyttö rakennesuunnittelussa

3D-Win ohjelmaa pystytään hyödyntämään myös rakennesuunnittelussa. Korjausrakentamisessa vanhojen rakenteiden sijainti voidaan mitata samoilla menetelmillä kuin maastokartoituksessa. Kun tuloksena saadaan vektoritiedosto sellaisessa formaatissa, jota 3D-Win ohjelma tukee, voidaan olemassa olevat rakenteetkin mallintaa 3D-Win ohjelman avulla. Esimerkkikohteessa olevien vanhojen palkkien sijainnit mitattiin ja tuloksena saatiin gt-päätteinen tiedosto. Tämä tiedosto pystyttiin avaamaan 3D-Win ohjelmalla ja vanhat palkit saatiin mallinnettua kolmiulotteisina. Uudisrakentamisessa voidaan mallintaa myös tulevat rakenteet 3D-Win ohjelman avulla lisäämällä malliin manuaalisesti pisteitä, mutta näihin tehtäviin on olemassa paremmin soveltuvia ohjelmia. 3D-Win ohjelmalla tehtävä mallinnus on pääasiassa maastomallinnusta ja ohjelmaa tulee käyttää harkiten rakennesuunnittelun tehtävissä.

7 Pohdintaa

7.1 Ohjelman käyttö

Tähän asti pihantasaussuunnitelmat ja kaivantosuunnitelmat on tehty AutoCAD ohjelmalla kaksiulotteisena. Ohjelmalla on piirretty korkeuskäyriä, jotka kuvaavat maanpintojen korkoja. 3D-Win ohjelmalla tapahtuva suunnittelu vaatii ohjelmaan perehtymistä, sillä ohjelman komennot eivät ole samankaltaisia AutoCAD ohjelmaan verrattuna.

3D-Win ohjelman käyttö vaatii ymmärrystä kolmioverkosta ja kolmioinnista, jotta suunnittelija osaa tarkistaa kolmioinnin oikeellisuuden. Kolmioinnin oikeellisuus on avaintekijä maastomallin luomisessa sekä sitä kautta maastomallin avulla luotavien suunnitelmien kannalta. 3D-Win ohjelmalla suunniteltaessa korkeuskäyrät luodaan kolmioverkon avulla, mutta kaksiulotteisessa suunnittelussa AutoCAD-ohjelmalla korkeuskäyrät piirtää suunnittelija itse, jolloin 2D-suunnittelussa ei ole kolmioverkkoa ollenkaan.

Suunnittelijan täytyy ymmärtää koodikenttien merkitys 3D-Win ohjelmalla suunniteltaessa. Tässä opinnäytetyössä tehdyissä suunnitelmissa oleellimmat koodikentät olivat T1 eli pintatunnus ja T3 eli pisteen lajikoodi. Etenkin massalaskenta on tarkka pintatunnusten koodauksesta, kun verrataan eri pintatunnuksella koodattujen maastomallien välisiä tilavuuksia. Pisteen lajikoodilla kerrotaan esimerkiksi se, onko tiedostossa oleva piste maanpinnan hajapiste vai rakennuksen ääriiviiva.

7.2 Ongelmat

Lähtötilanteen mallinnuksessa lähtötietojen tarkkuus määrittelee 3D-Win ohjelmalla tehtävien suunnitelmien tarkkuuden. Kohteesta riippuen täytyy pohtia onko kohteessa tarpeen tehdä maastokartoitus lähtötietojen tarkentamiseksi. Jos kaupungin kartasta saatava tieto kohteen olemassa olevista maanpinnoista on liian epätarkka tai kartta ei muuten vaikuta tarpeeksi luotettavalta, on maastokartoitus tarpeen.

Erittäin monimuotoisten maastojen mallinnuksessa saattaa yksityiskohtien suunnittelu olla vaikeaa 3D-Win ohjelmalla. Hajapisteitä täytyy olla todella tiheään ja kolmioidin oikeellisuus voi olla tässä tapauksessa vaikea hahmottaa. Vaikeiden yksityiskohtien suunnittelussa lopullinen hienosäätö suunnitelmiin voi olla syytä tehdä kaksiuuloitteisena.

3D-Win ohjelmalla tehtävät suunnitelmat vaativat usein jatkokäsittelyä selkeyden parantamiseksi. Suunnitelmat voi olla mahdollista saada tuotettua suhteellisen nopeasti, mutta monesti on selkeintä tehdä formaatinmuunnos dxf-muotoon ja tehdä suunnitelmien yhdistäminen ja tulostus esimerkiksi AutoCAD-ohjelmalla (ks. liite 9).

7.3 Hyödyt

Selkein hyöty 3D-Win ohjelmasta saadaan olemassa olevien maanpintojen mallinnuksesta. Tämän ansiosta luonnossuunnittelu nopeutuu. Kaupungilta tilattava maastokartta sisältää korkeuskäyriä, rakennusten ääriviivat sekä hajapisteitä. Näiden lähtötietojen perusteella saadaan mallinnettua 3D-Win ohjelman avulla olemassa olevat maanpin-

nat, eikä maastokartoituksen tarvetta ole. Jos maastokartoitus täytyy kuitenkin suorittaa, voidaan mallia tarkentaa kartoituksen tulosten perusteella.

3D-Win ohjelmalla luotu maastomalli voidaan esittää usealla eri tavalla. Työmaalle voidaan korkeuskäyräkuvan tueksi antaa havainnollistamiseen tuloste kolmiulotteisesta neliöverkosta. Nämä kuvat tukevat toisiaan eikä ristiriitoja kyseisten kuvien välillä ole kun ne ovat luotu samasta maastomallista. Ristiriidat vähenevät myös suunnittelu- vaiheessa, kun jo lähtötilanteesta luodaan kolmiulotteinen malli.

Suunnitteluprosessia on mahdollista saada tehostettua 3D-Win ohjelmalla tehtävän suunnittelun ansiosta. Kaksiulotteisessa suunnittelussa piirretään jokainen korkeuskäyrä suunnitelmiin erikseen. Olemassa olevien maanpintojen korot esitetään maastokartoituksen tuloksena yksittäisinä hajapisteinä sekä kaupungin karttojen yhden metrin välein olevien korkeuskäyrien avulla. 3D-Win ohjelman avulla korkeuskäyräkuva voidaan luoda hajapisteiden ja taiteviivojen avulla kohteesta riippuen hyvinkin nopeasti verrattuna siihen, että jokainen korkeuskäyrä piirretään erikseen. Lisäksi liittymät olemassa oleviin maanpintoihin tapahtuu tarkemmin kuin kaksiulotteisessa suunnittelussa, kun liittymäkohdat voidaan tuoda suoraan olevista maanpinnoista luodusta maastomallista. Tämä vähentää suunnitelmien ristiriitaisuutta.

Maastomalleista pystytään suorittamaan massalaskenta eri pintojen välillä 3D-Win ohjelmalla. Ohjelma laskee pintojen väliset absoluuttiset tilavuudet ja muodostaa pintojen välisistä korkeuseroista uuden maastomallin. Maastomalleista saadaan myös poikki- ja pituusleikkauksia piirtämällä mittaviiva kohtaan, josta leikkauksia halutaan.

7.4 Mahdollisuudet

3D-suunnittelussa saadaan tarvittaessa tuotua kaikki tarvittava tieto samaan malliin tonttialueen kuivatukseen ja kaivantojen suunnittelussa. Tämä nopeuttaa suunnitelmiin tutustumiseen käytettävää aikaa, kun eri asioita ei tarvitse poimia monista eri kuvista. Yhdessä mallissa voidaan näyttää esimerkiksi tulevat sadevesikaivot ja putket, kaivannot ja salaojat. Yleensä nämä asiat täytyy etsiä vähintään kolmesta eri piirustuksesta ja se vaatii kuvien lukijalta myös hyvää hahmotuskykyä.

7.5 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena selvittää mahdollisuuksia tehdä geosuunnitelmia 3D-Win ohjelmalla. Tätä ohjelmaa ei ole aikaisemmin yrityksessä hyödynnetty maastomallinnuksen avulla tehtävien geosuunnitelmien tekemiseen. Suunnitelmat on tehty tähän asti AutoCAD ohjelman avulla. Suunnittelun on tarkoitus olla tehokkaampaa 3D-Win ohjelman avulla ja virheiden riskit pyritään minimoimaan maastomallinnuksen myötä.

Kaikki esimerkkikohteeseen tarvittavat geosuunnitelmat saatiin toteutettua 3D-Win ohjelman avulla. Suunnitelmien tuottamiseen käytetty aika oli samaa luokkaa kaksiulotteisena suunnitteluun verrattuna. Tämä johtui siitä, että ohjelman käyttö ei ollut itselleni vielä sujuvaa ja monia asioita joutui etsimään ohjelman käyttömanuaaleista. Suunnitelmia tuli kuitenkin nyt useampia kuin kaksiulotteisessa suunnittelussa normaalisti olisi tullut. Suunnitelmien avulla pystyttiin lisäksi suorittamaan massalaskenta 3D-Win ohjelmaa käyttäen.

Opinnäytetyössä haastavinta oli 3D-Win ohjelman käytön soveltaminen. Ohjelma oli opinnäytetyön alkuvaiheessa itselleni uusi, joten jouduin käymään läpi useita ohjelman käyttömanuaaleja, jotta osasin tuottaa suunnitelmia ohjelman avulla. Ohjelman käyttö täytyi opetella peruskomennoista lähtien, sillä komennot eivät olleet samankaltaisia muiden aikaisemmin käyttämäni ohjelmien kanssa. Opinnäytetyön edetessä ohjelman käyttö muuttui sujuvammaksi.

Vahanen Jyväskylä Oy:n kannattaa edelleen pitää 3D-Win ohjelma käytössään. 3D-Win ohjelmalla pystyy esimerkkikohteessa tehtyjen suunnitelmien lisäksi tekemään muitakin maastomalleja ja suunnitelmia. Näitä suunnitelmia voivat olla esimerkiksi pintamalli kalliosta ja louhintapiirustus, salaojapiirustus sekä pintamalli putkijohtokaivannoista. Tulevissa kohteissa uskon tämän opinnäytetyön myötä 3D-Win ohjelman hyödyntämisen lisääntyvän yrityksessä. Ohjelmaan sisältyvän formaatinmuuntimen ansiosta 3D-Win ohjelmalla tehtyjä suunnitelmia voidaan muokata muillakin suunnittelutyössä käytettävillä ohjelmilla. Kaikki maastomallinnuksen avulla tehtävät suunnitelmat pystytään toteuttamaan tässä opinnäytetyössä kerrotuilla ohjeilla.

Lähteet

3D-Win 5.6 Käyttöönottomanuaali. 2011. Käyttöohje. 3D-system. Viitattu 26.11.2015. [Http://www.3d-system.fi/index.php/asiakkaat](http://www.3d-system.fi/index.php/asiakkaat).

3D-Win 5.6 Maastomalliohje. 2011. Käyttöohje. 3D-system. Viitattu 26.11.2015. [Http://www.3d-system.fi/index.php/asiakkaat](http://www.3d-system.fi/index.php/asiakkaat).

EUREF-FIN koordinaattijärjestelmä. N.d. Tiedote Jyväskylän kaupungin sivustolla. viitattu 11.10.2015. [Http://kartta.jkl.fi/EUREF/euref_tiedote.htm](http://kartta.jkl.fi/EUREF/euref_tiedote.htm).

INFRARYL 2009/2. 2009. Rakennustieto.

Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. N.d. Tietoa Maanmittauslaitoksen sivustolla. Viitattu 11.10.2015. [Http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/koordinaatti-korkeusjarjestelmat](http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/koordinaatti-korkeusjarjestelmat).

MaaRYL 2010 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset - Talonrakennuksen maatyöt. 2010. Helsinki: Rakennustieto.

Poutanen, M. 2006. Suomen uusi korkeusjärjestelmä N2000. Viitattu 11.10.2015 [Http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk406/mk406_970_poutanen.pdf](http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk406/mk406_970_poutanen.pdf).

Rantamäki, M. & Tammirinne, M. 2002. Pohjarakennus. Helsinki: Hakapaino Oy.

Rantanen, P. 2001. Maastomittauksen perusteet. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

RIL 126-2009, 2010. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki: Hansaprint Oy.

RIL 107-2000, 2000. Rakennusten veden ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki: Hansaprint Oy.

RIL 132-2000, 2000. Talonrakennuksen maarakenteet – yleinen rakennusselostus ja laatuvaatimukset. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki: Yleisjäljennös Oy.

RIL 181-1989. 1989. Rakennuskaivanto-ohje. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

RT 81-11000. 2010. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus. Rakennustieto.

RT 10-10619. 1996. Asuinrakennushankkeen pohjatutkimus ja pohjarakennussuunnittelu. Rakennustieto.

Salmenperä, H. 2004. Maasto- ja rakennusmittausten perusteet. Tampere: Juvenes-Print TTY.

Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset - Leikkaukset, kaivannot ja avo-ojarakenteet. 2005. Tiehallinnon verkkojulkaisu. Viitattu 25.11.2015. http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200042-v-05leikkaukset_kaivannot.pdf.

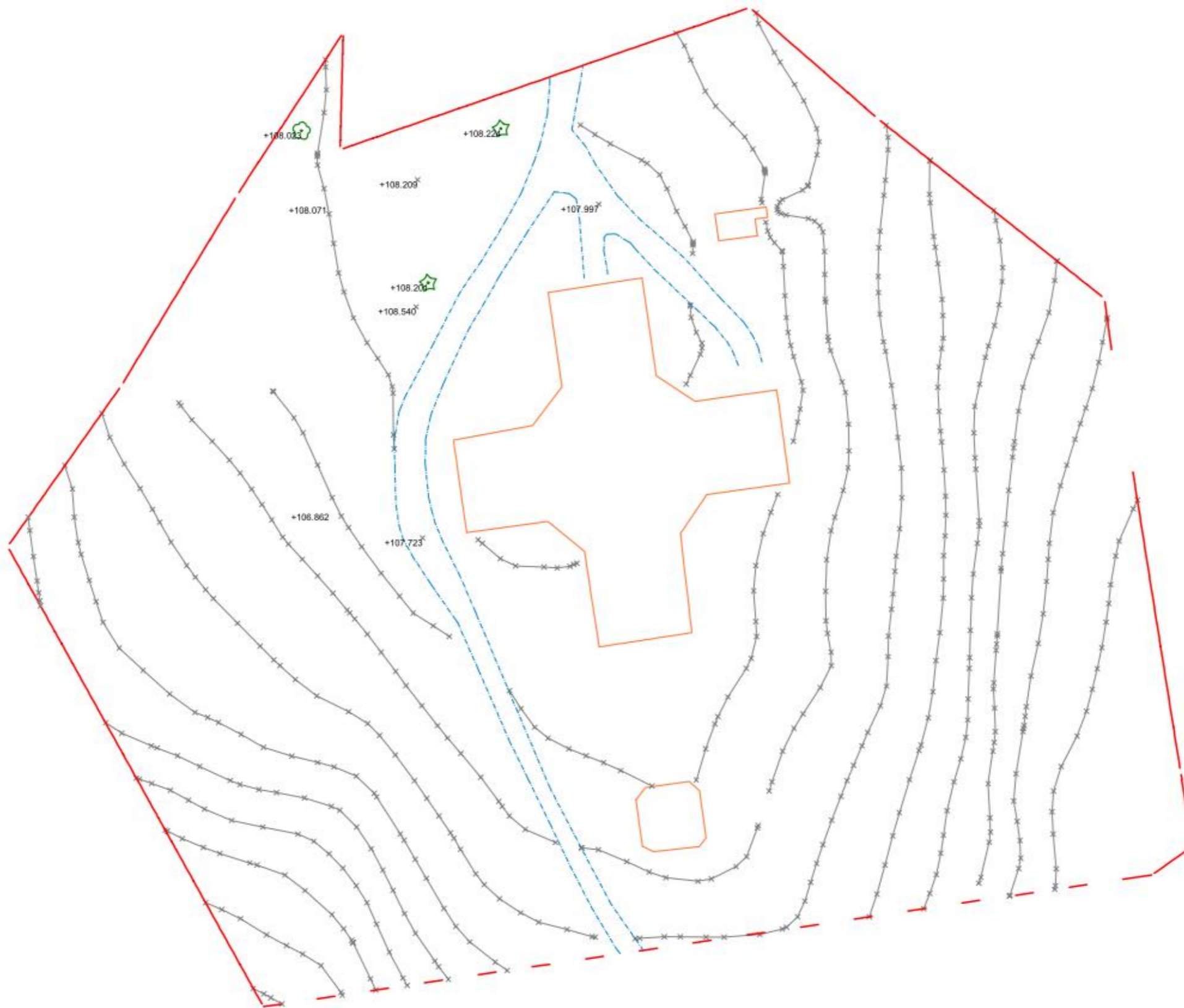
Vaara vaanii kaivannossa. Opas kaivannon turvalliseen toteuttamiseen. 2013. Viitattu 14.11.2015. [Http://www.ril.fi/media/20130611_vaara-vaanii-kaivannossa_opas.pdf](http://www.ril.fi/media/20130611_vaara-vaanii-kaivannossa_opas.pdf).

Vahanen-yhtiöt. 2015. Tietoa Vahanen-yhtiöiden nettisivustolla. N.d. Viitattu 20.3.2015. <http://www.vahanen.com/fi/>.

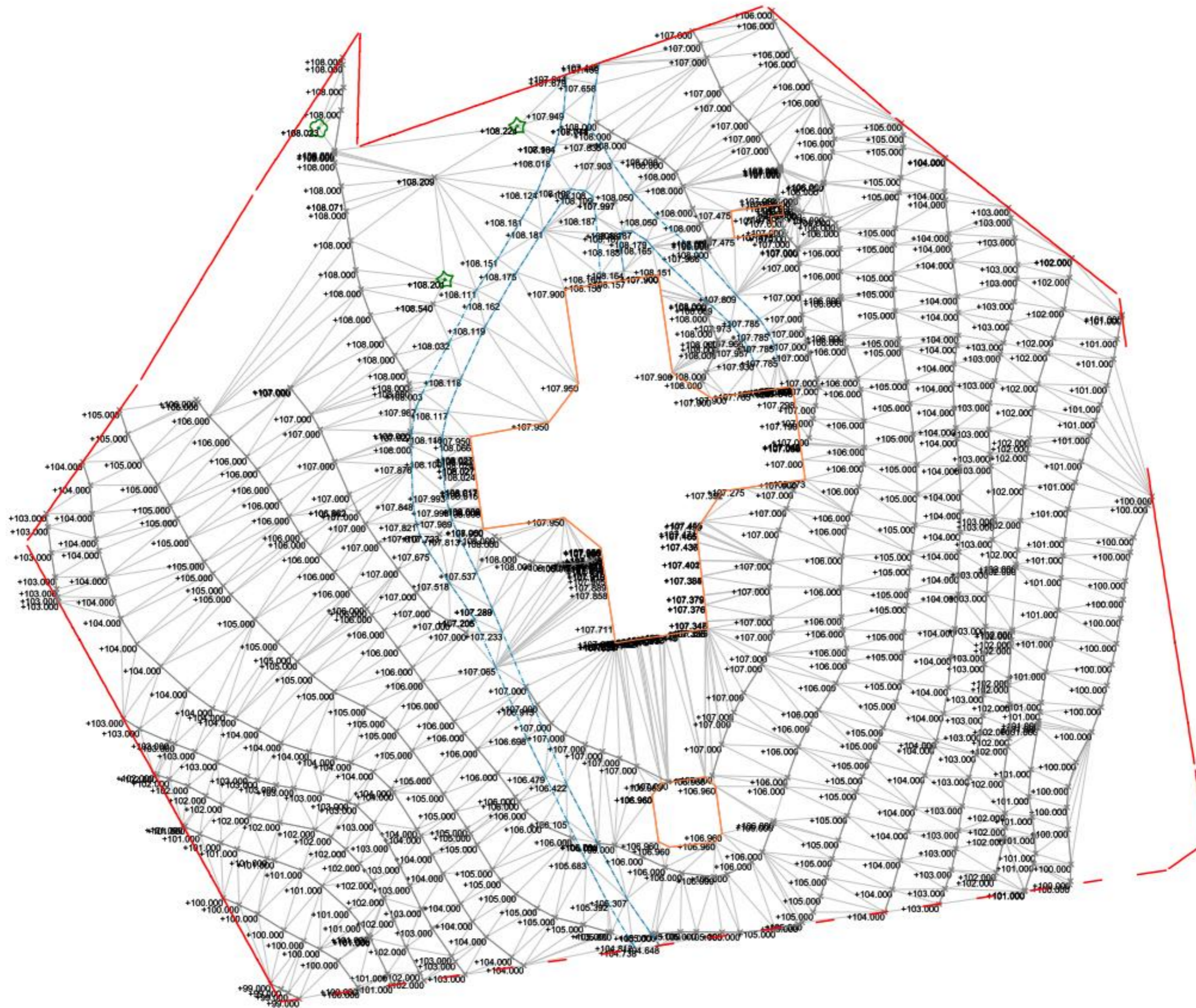
Vermeer, M. 2013. Geodesia. Helsinki: Samizdat kustannus.

Liitteet

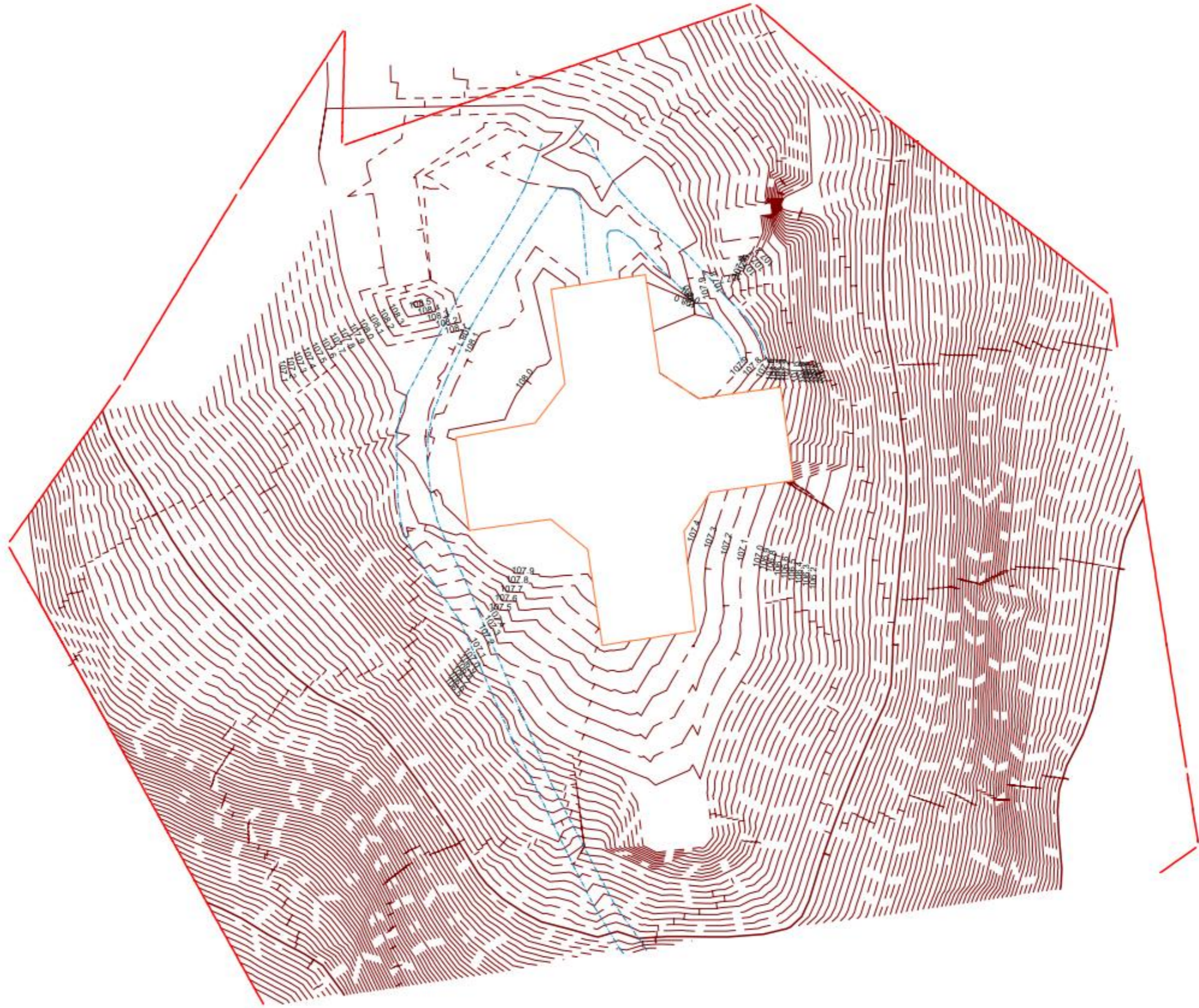
Liite 1. Olevat maanpinnat.xyz



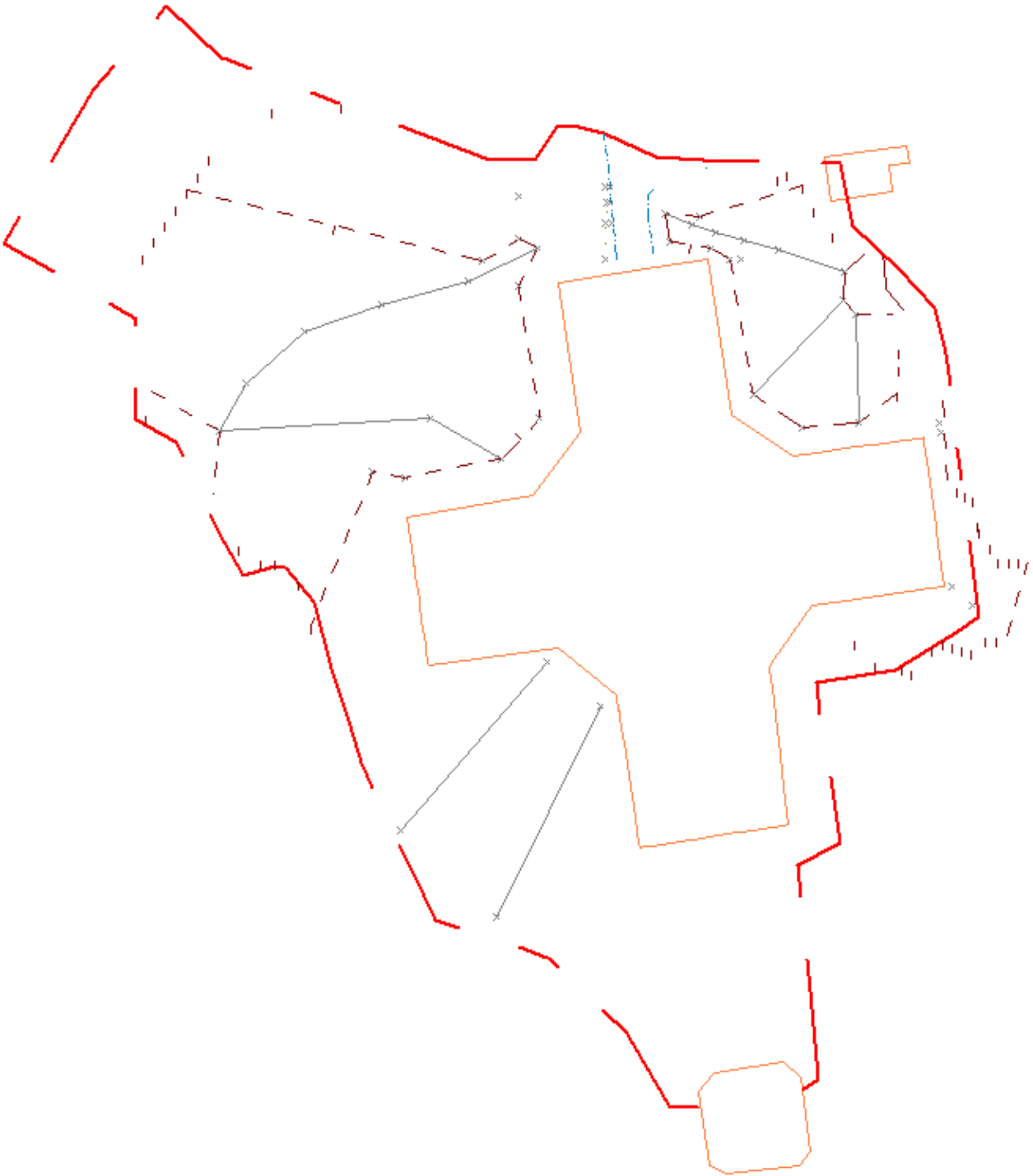
Liite 2. Olevat maanpinnat.mm1



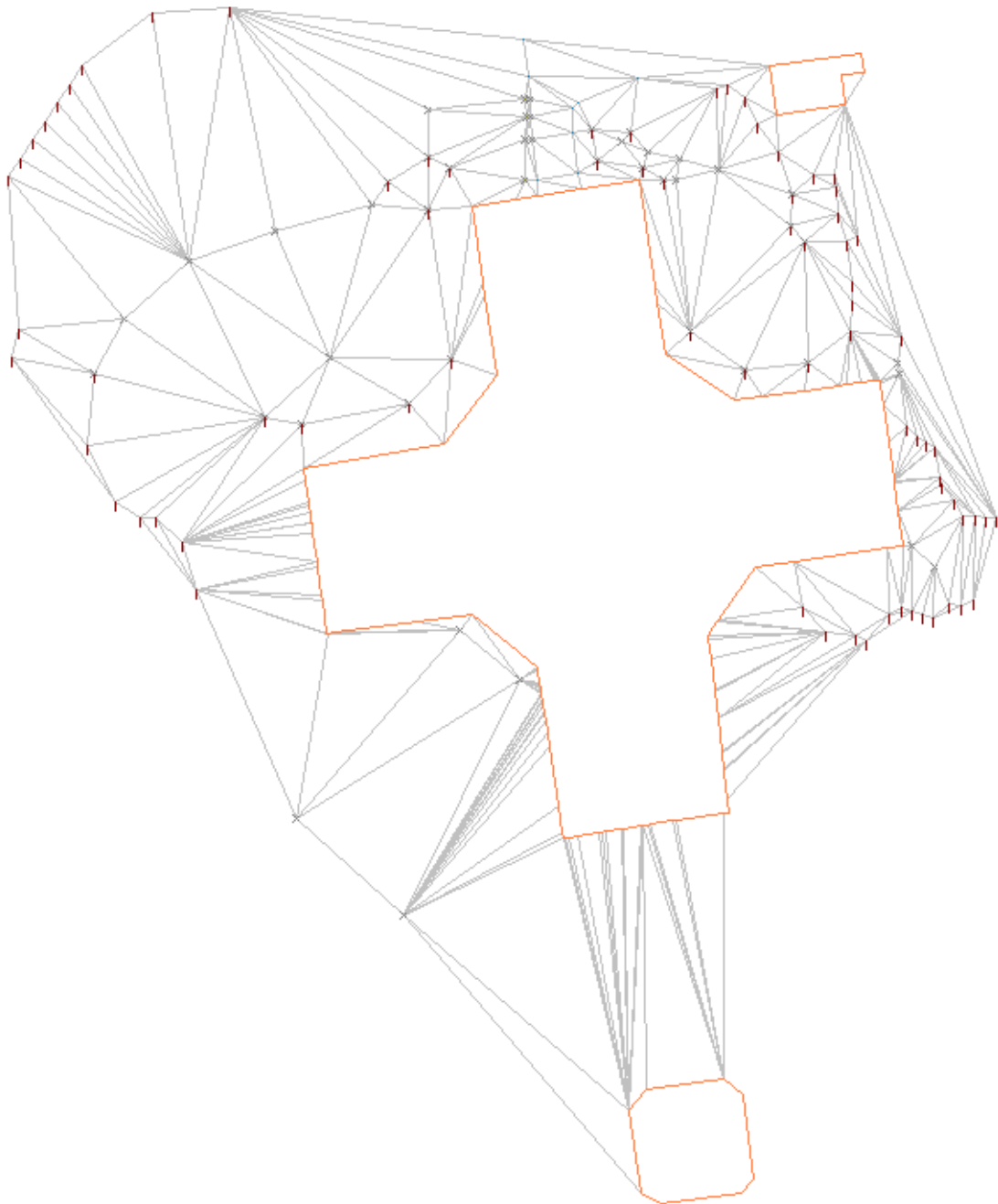
Liite 3. Olevat maanpinnat.kk1



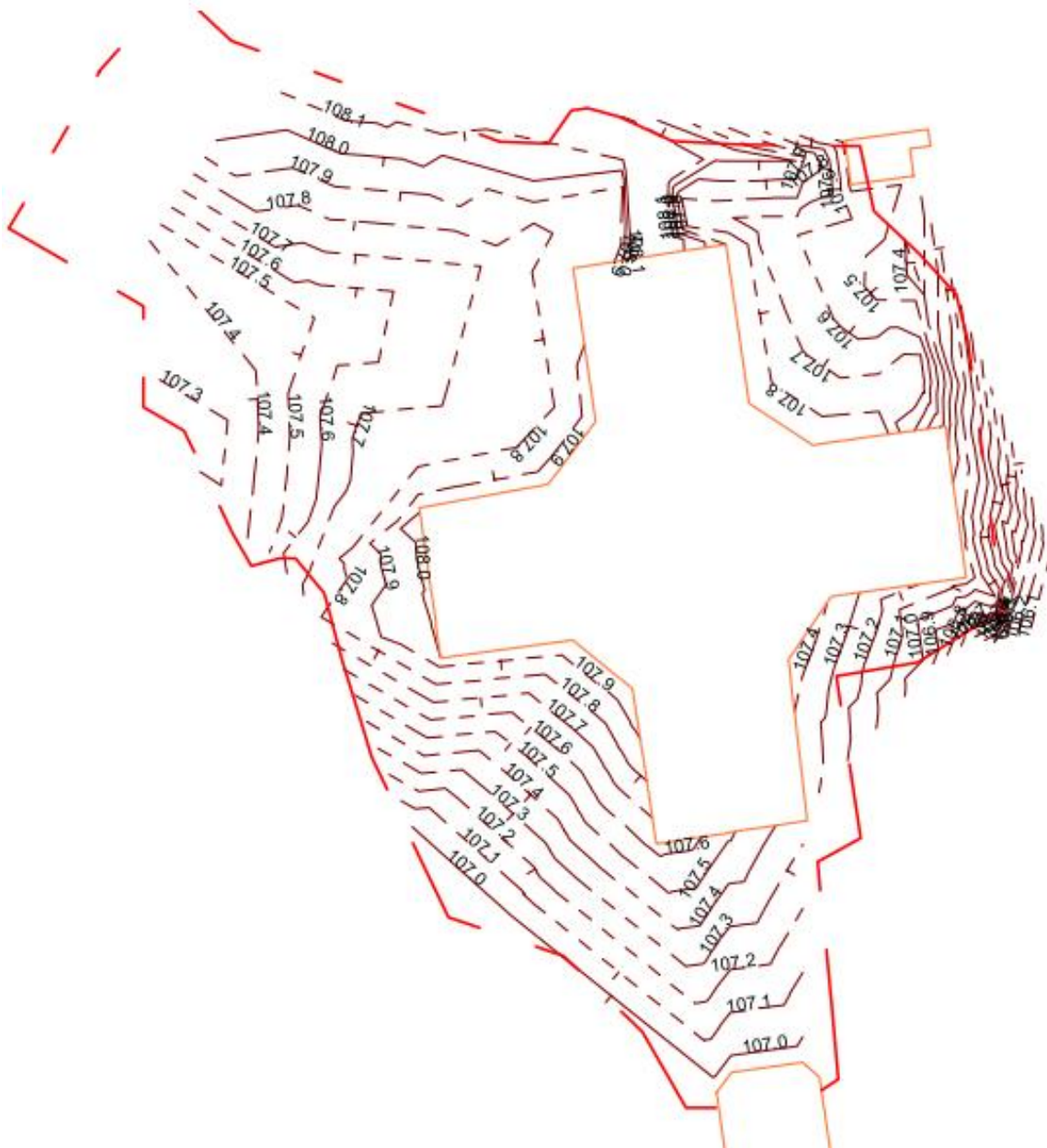
Liite 4. Pihantasaussuunnitelma.xyz



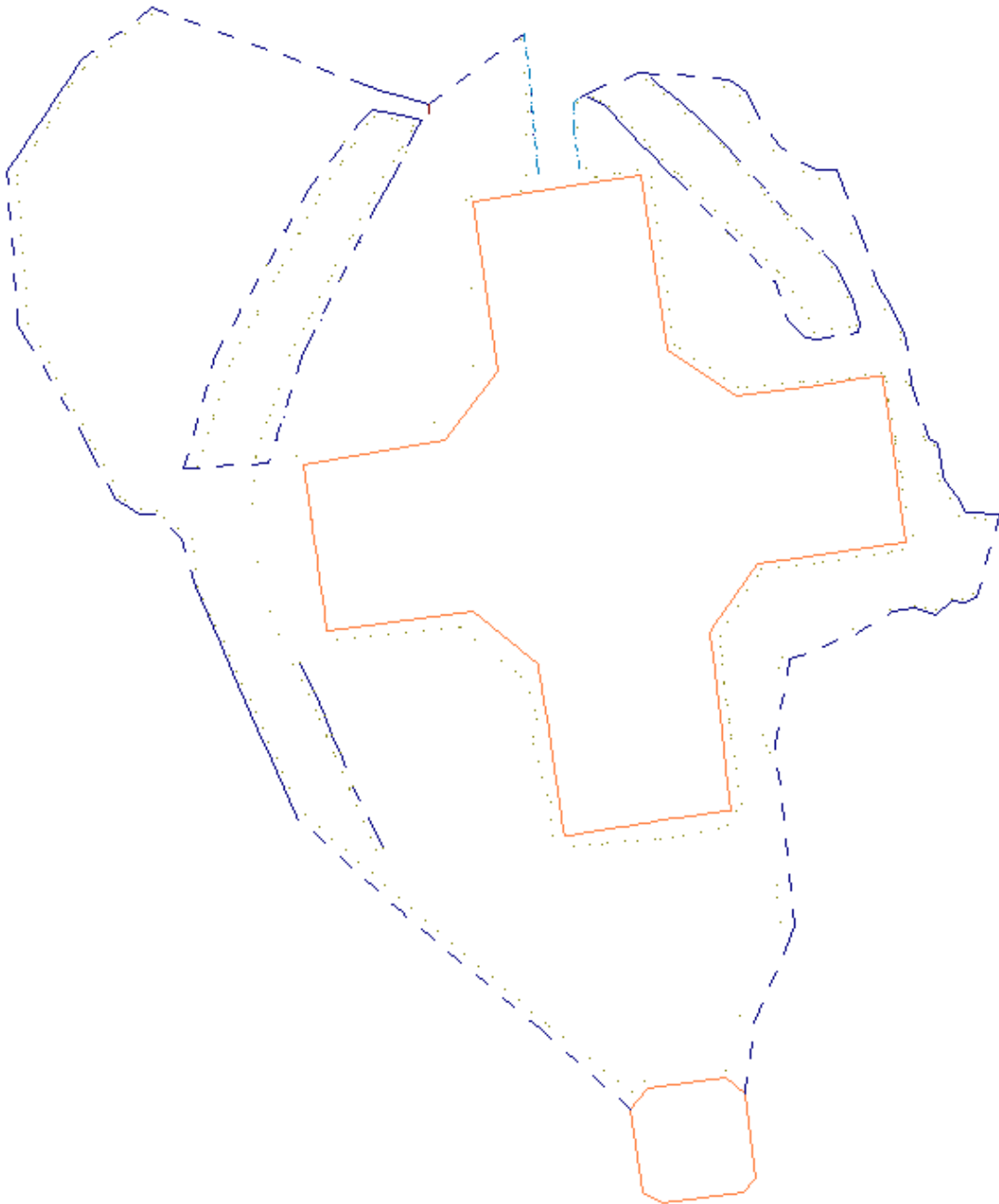
Liite 5. Pihantasaussuunnitelma.mm1



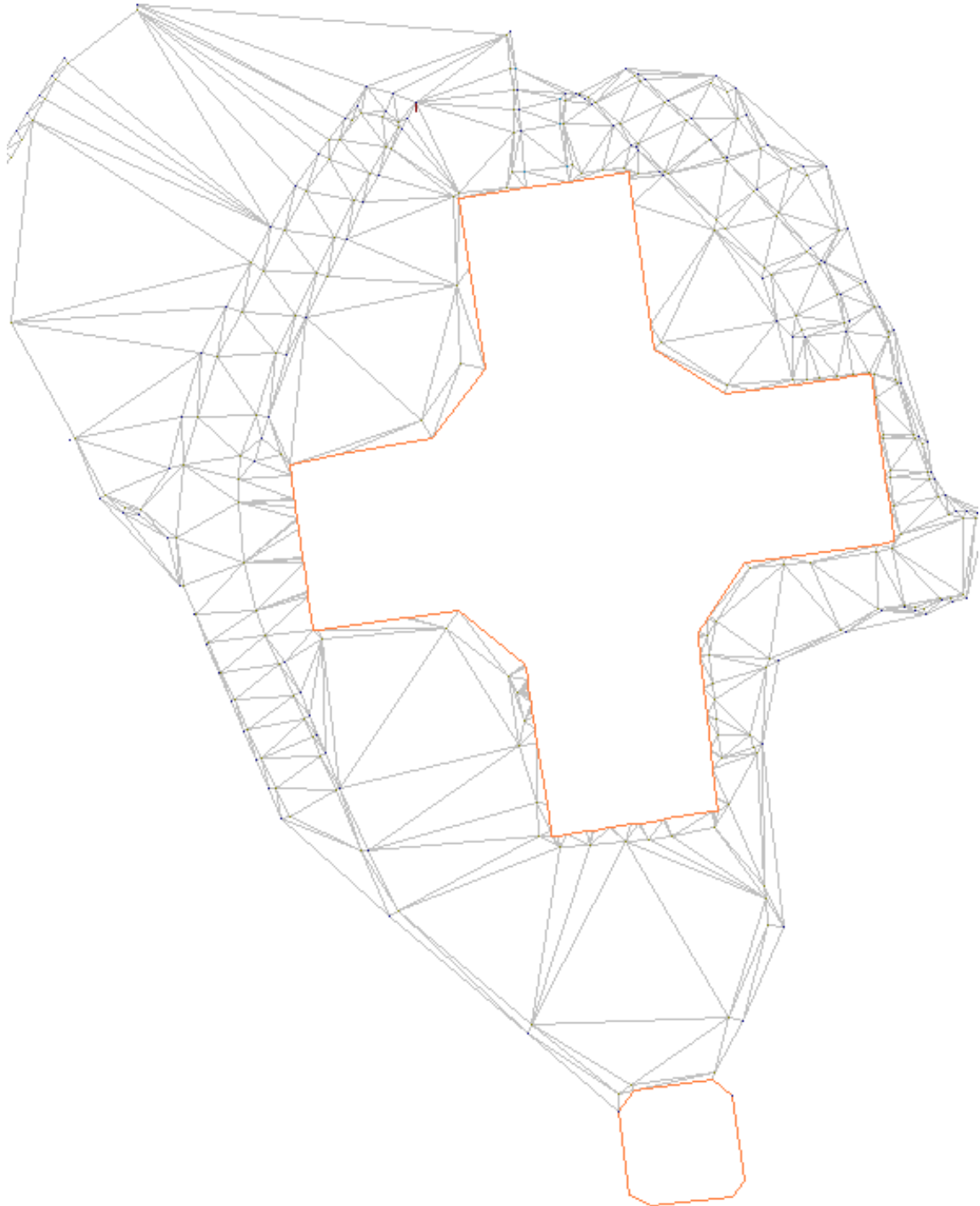
Liite 6. Pihantasaussuunnitelma.kk1



Liite 7. Kaivutaso.xyz



Liite 8. Kaivutaso.mm1



Liite 9. Pihantasaussuunnitelma.dwg

