

Anna Ylänen

Tietomallinnus kalliokohteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

18.4.2013

Alkusanat

Tämä insinööriö tehtiin Pöyry Finland Oy:lle Kalliotilojen yleis- ja rakennesuunnittelu osastolle. Haluan kiittää yritystä ja erityisesti opinnäytetyöni ohjaajaa Magnus Långstedtille haastavasta, mutta palkitsevasta insinööriöaiheesta ja ohjauksesta.

Kiitos myös ammattikorkeakoulun ohjaajalle Päivi Jäväjälle auttamisesta ja ohjaamisesta työssäni.

Kiitos kuuluu lisäksi kaikille minua opinnäytetyötä tehdessä tukeneille henkilöille, erityiskiitos Esalle ja perheelleni.

Helsingissä 18.4.2013

Anna Ylänen

Tekijä Otsikko	Anna Ylänen Tietomallinnus kalliokohteessa
Sivumäärä Aika	43 sivua 18.4.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	rakennetekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Päivi Jäväjä osastopäällikkö Magnus Långstedt
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Pöyry Finland Oy:lle Kalliotilojen yleis- ja rakennesuunnittelu osastolle. Insinöörityön tavoitteena oli etsiä yrityksen ja kalliokohteen asettamiin vaatimuksiin sopivin tietomallinnusohjelmisto, jolla voidaan mallintaa kalliokohteen rakenteet. Ohjelmiston tuli vastata yrityksen vaatimuksiin, joita olivat monimuotoisen geometrian ymmärtäminen, maailmankoordinaatistossa työskenteleminen ja suunnitelmien yhteensopivuus.</p> <p>Aluksi tutustuttiin tietomallintamiseen ja sen tuomiin etuihin rakennusprosessiin, erityisesti suunnittelun näkökulmasta. Seuraavassa vaiheessa selvitettiin kalliokohteen suunnitteluprosessin kulku ja erityisesti se, miten teoreettinen ja todellinen louhinta vaikuttavat suunnitteluun. Selvitetiin myös muut vaatimukset, joihin tietomallinnusohjelmiston tulee vastata. Sen jälkeen rajattiin tutkittavat ohjelmistot kolmeen, joita tutkittiin tarkemmin. Selvitettyjen vaatimusten avulla ja haastattelemalla ohjelmistojen asiantuntijoita selvitettiin, onnistuuko kaikilla tutkituilla ohjelmistoilla kalliokohteen tietomallinnus ja mikä tietomallinnusohjelmisto soveltuu siihen parhaiten. Valinnassa käytettiin apuna vertailua ja pisteytysmenetelmää, jossa vaatimukset pisteytettiin ominaisuuden tärkeyden mukaisesti, niin että yrityksen kannalta tärkeimmät vaatimukset vaikuttivat lopputulokseen enemmän kuin vähemmän tärkeät.</p> <p>Kalliotilojen yleis- ja rakennesuunnittelu osasto on käyttänyt tähän asti kalliotilan rakennesuunnitelmien piirtämiseen kaksiulotteista AutoCAD:iä. Tietomallipohjainen suunnittelu on leviämässä perinteisestä maanpäällisestä rakentamisesta myös infra-alalle, jossa suurten projektien tilaajat ovat alkaneet vaatimaan tietomallipohjaista suunnittelua. Niinpä myös kalliokohteen suunnittelun tulee tulevaisuudessa tapahtua tietomallipohjaisesti, minkä vuoksi opinnäytetyö tehtiin.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena päädyttiin yritykselle sopivimpaan tietomallinnusohjelmistoon. Mikään tutkituista ohjelmistoista ei vastannut täydellisesti vaatimuksiin, mutta kaikilla kalliotilan tietomallintaminen oli mahdollista.</p>	
Avainsanat	tietomalli, BIM, tunneli, kalliokohde, kalliopinta

Author Title	Anna Ylänen Building information modeling in a rock construction
Number of Pages Date	43 pages 18 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructors	Päivi Jävänä, Principal Lecturer Magnus Långstedt, Department Manager
<p>This thesis was made for Pöyry Finland Oy's Shelters and Underground Structures department. The target of this thesis was to search the best information modeling software, which can model structures in underground construction according to the requirements that the company and the underground construction set. The software had to meet the company's requirements, which included understanding of diverse geometry, ability of working with global coordinates and compatibility with other plans.</p> <p>In the beginning, information modeling and the benefits it brings to the building process were familiarized with, in particular from the planning point of view. In the next phase, the running of the rock construction's planning process was familiarized with, especially how theoretical and actual rock surface affects the planning. Also other requirements to which BIM software must respond were examined. After that the software investigated was limited to three, which were further investigated. Through defined requirements and interviews with software experts, the success of the software regarding information modeling of a rock construction and which is the most suitable one for that was examined. In the selection of the most suitable software, comparison and scoring methods were used, in which the requirements were scored according to the importance of the respective quality, so that the most important requirements of the company affected the results more than the less important ones.</p> <p>The Shelters and Underground Structures department has been using two-dimensional AutoCAD for the making of structural plans of rock construction up to now. The information model based planning is spreading from the traditional terrestrial construction to the infrastructure sector, where large projects' subscribers have begun to demand information model based planning. Therefore, the planning of a rock construction must also be information model based in the future, which is why the thesis was made.</p> <p>As a result, the thesis led to the most appropriate information modeling software for the company. None of the examined software met the requirements perfectly, but with every software, the building information modeling of a rock construction was possible.</p>	
Keywords	Building information model, BIM, tunnel, rock construction, rock surface

Sisällys

Lyhenteet ja sanasto

1	Johdanto	1
1.1	Taustaa	1
1.2	Tavoite ja menetelmät	1
1.3	Rajaus	2
2	Lähtökohdat	4
2.1	Tietomallinnus	4
2.1.1	Tietomallinnuksen tuomat hyödyt suunnitteluun	6
2.1.2	Historiaa	7
2.1.3	Tietomallinnus vs. 2D-suunnittelu	8
2.1.4	Tietomallinnus vs. 3D-suunnittelu	9
2.2	Kalliokohteen suunnitteluprosessi	9
2.2.1	Hanke- ja esisuunnittelu	10
2.2.2	Luonnos- ja louhintasuunnittelu	11
2.2.3	Suunnittelu urakkalaskentaa varten	12
2.2.4	Toteutussuunnittelu	13
3	Tietomallintamisen haasteet kalliokohteessa	14
3.1	Todellinen louhittu kalliopinta	14
3.2	Maailmankoordinaatisto	17
3.3	Suunnitelmien yhteensopivuus	18
3.4	Vaatimukset tietomallinnusohjelmistolle	19
4	Ohjelmistot	20
4.1	Tekla	20
4.2	Autodesk	21
4.3	Bentley Systems	22

5	Ohjelmistojen toimivuus kalliokohteessa	22
5.1	Todellisen louhintapinnan aiheuttamat ongelmat	22
5.1.1	Tekla Structures	23
5.1.2	Revit Structure	24
5.1.3	AECOSim Building Designer	25
5.2	Maailmankoordinaatisto	26
5.2.1	Tekla Structures	26
5.2.2	Revit Structure	26
5.2.3	AECOSim Building Designer	27
5.3	Suunnitelmien yhteensopivuus	27
5.3.1	Tekla Structures	28
5.3.2	Revit Structure	29
5.3.3	AECOSim Building Designer	30
5.4	Muita asioita	30
5.4.1	Tekla Structures	30
5.4.2	Revit Structure	31
5.4.3	AECOSim Building Designer	31
6	Ohjelmistojen vertailu	32
6.1	Todellinen louhittu kalliopinta	33
6.2	Maailmankoordinaatisto	34
6.3	Suunnitelmien yhteensopivuus	34
6.4	Muita asioita	35
6.5	Yhteenveto vertailusta	36
7	Tulokset	37
8	Yhteenveto	38
	Lähteet	41

Lyhenteet ja sanasto

AECOSim	<i>AECOSim Building Designer</i> . Tietomallinnusohjelmisto rakenteiden mallintamiseen.
AutoCAD	Yleiskäyttöinen tietokoneavusteisen suunnittelun ohjelmisto, jota kehittää ja julkaisee Autodesk.
Bentley Descartes	Bentley Systems:n pistepilven integroimiseen tietomalliin tarkoitettu ohjelmisto.
BIM	<i>Building Information Model</i> eli tietomalli on rakennuksen tai infrakohteen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa.
CAD-suunnittelu	Tietokoneavusteinen suunnittelu, jossa tietokonetta käytetään apuvälineenä suunnittelutyössä.
Civil 3D	<i>AutoCAD Civil 3D</i> . Autodesk:n tietomallinnusohjelmisto, joka on tarkoitettu erityisesti liikenne-, maankäyttö- ja ympäristöprojekteihin.
Detalji	Pienempään mittakaavaan tehty yksityiskohtainen piirustus, joka tarkentaa haluttua kohtaa.
DWG	<i>DraWinG</i> . Tiedostomuoto, jota käytetään kaksi- ja kolmeulotteisen CAD-datan tallentamiseen.
DXF	<i>Drawing Interchange Format</i> . CAD-datan tiedostomuoto, joka mahdollistaa tietojen yhteensopivuuden AutoCADin ja muiden ohjelmien kesken.
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i> . Kansainvälinen talonrakennusalan tiedonsiirtoformaatti oliopohjaisen tiedon siirtoon tietokonejärjestelmästä toiseen.

Kolmioverkko	Koostuu pisteistä, jotka yhdistetään kolmiolla.
LandXML	<i>eXtensible Markup Language</i> . Kansainvälinen infran tiedonsiirtoformaatti oliopohjaisen tiedon siirtoon tietokonejärjestelmästä toiseen.
Laserkeilaus	Mittaustapa, jolla kohteesta saadaan lasersäteiden avulla mittatarkkaa komiulotteista tietoa koskematta kohteeseen.
Layout	Yleisilme tulevasta suunnitelmasta.
Leica Cyclone	Ohjelmisto pistepilven muokkaamiseen.
Louhintatoleranssi	Louhitun kalliopinnan sallittu mittapoikkeama, joka on määritetty louhintasuunnitelmissa.
Maailmankoordinaatisto	Koordinaattijärjestelmä, joka on käytössä paikassa, jossa maanalainen kohde sijaitsee.
MicroStation	Bentley Systems:n CAD-piirtämiseen käytettävä tietokoneohjelmisto kaksi- ja kolmiulotteisen vektorigrafiikan piirtämiseen.
Natiivimalli	Tietomallinnusohjelmiston alkuperäinen tiedostomuoto.
Objekti	Tietomallissa mallinnettu rakennetta esittävä kolmiulotteinen olio.
Painerakenne	Väestönsuojassa sijaitseva paineiskun kestävä rakenne.
Pintamalli	Pistemäistä geometriatietoa x-, y- ja z-koordinaattien muodossa.
Pistepilvi	Kolmiulotteinen tietokonemalli, joka sisältää kaikki laserkeilausalueen mitatut pisteet koordinaattitietoineen.

PowerCivil for Coutry	Bentley Systems:n infran mallinnusohjelmisto esimerkiksi monimuotoisen maanpinnan mallintamiseen.
Referenssimalli	Muusta ohjelmistosta tuotu malli, jota pystytään vain katselemaan tietomallissa.
RS	<i>Revit Structure</i> . Tietomallinnusohjelmisto rakenteiden mallintamiseen.
Ryöstö	Todellinen louhinta poikkeaa teoreettisesta louhinnasta enemmän kuin louhintatoleranssissa on määritetty.
Solidmalli	Tilavuusmalli.
Takymetri	Mittalaite, jolla mitataan pisteiden sijaintia kojeeseen nähden.
Tarketieto	Mitattu tieto louhitusta kalliopinnasta, joka saadaan takymetrillä.
TATE	Talotekniikka.
Tekla Civil	Tietomallinnusohjelmisto yhdyskuntasuunnitteluun.
Teoreettinen louhinta	Louhintasuunnitelmissa esitetty suunniteltu kalliopinnan louhinta.
Todellinen louhinta	Louhintatöiden jälkeinen toteutunut kalliopinnan louhinta.
TS	<i>Tekla Structures</i> . Tietomallinnusohjelmisto rakenteiden mallintamiseen.

1 Johdanto

Tietotekniikkapohjainen suunnittelu on kehittynyt paljon viime vuosien aikana. Perinteisestä kaksiulotteisesta CAD-suunnittelusta ollaan siirtymässä tietomallintamiseen. Infra-suunnittelussa siirtyminen on ollut hitaampaa kuin talonrakennussuunnittelussa, jossa tietomallinnus on jo yleisesti käytössä. Infra-hankkeet ovat yleensä monimuotoisempia kuin talonrakennushankkeet ja tästä syystä infra-alalla mallinnukseen siirtyminen on ollut hitaampaa. [1, s.7.]

1.1 Taustaa

Opinnäytetyö tehdään Pöyry Finland Oy:lle kalliotilojen yleis- ja rakennesuunnittelu osastolle, jonka suunnittelukohteita ovat tie- ja katutunnelit, rautatie- ja metrotunnelit sekä vesihuollon ja yhdyskuntatekniikan tunnelit. Lisäksi suunnittelukohteita ovat erilaiset kalliotilat, jotka toimivat esimerkiksi pysäköintilaitoksina, väestönsuojina tai vapaa-ajantiloina. Pöyry on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointiyritys, joka tarjoaa Suomessa palveluita eri aloilta: energia, metsäteollisuus, kemian prosessiteollisuus, liikennejärjestelmät ja infrarakentaminen, vesi- ja ympäristö sekä rakentamisen palvelut. Pöyryn toimistoverkko Suomessa toimii 22 paikkakunnalla ja yrityksen pääkonttori sijaitsee Martinlaaksossa Vantaalla. [2; 3.]

Kalliotilojen suunnittelussa ollaan siirtymässä perinteisestä kaksiulotteisesta CAD-suunnittelusta tietomallintamiseen muun infra-alan mukana. Siirtyminen tietomallintamiseen on välttämätöntä, jos halutaan pysyä mukana rakennusalan kehityksessä ja saada tulevaisuudessakin hankittua tärkeitä projekteja. Suurten projektien tilaajat ovat alkaneet vaatia, että tulevaisuudessa kalliokohteen suunnittelutyön tulee tapahtua tietomallintamalla. InfraFINBIM-hanke on perustettu nopeuttamaan infra-alan siirtymistä tietomallipohjaiseen suunnitteluun. Hankkeen visiona on, että vuonna 2014 suurten infra-hankkeiden tilaajat tilaavat vain tietomallipohjaisia palveluita. [4.]

1.2 Tavoite ja menetelmät

Yrityksen tarve siirtyä perinteisestä CAD-piirtämisestä kalliotilan tietomallintamiseen on johtanut opinnäytetyön tekemiseen. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, millä tieto-

mallinnusohjelmistoilla voidaan mallintaa kalliokohde ja mikä ohjelmisto soveltuu siihen parhaiten.

Jotta tietomallintaminen kalliokohteessa olisi mahdollista, tulee tietomallinnusohjelmiston vastata haasteisiin, jotka kalliokohteen tietomallinnus asettaa sille. Suurin näistä haasteista on, että tietomallinnusohjelmiston tulee ymmärtää monimuotoista geometriaa, joka aiheutuu todellisesta louhitusta kalliopinnasta. Tietomallinnusohjelmiston tulee lisäksi ymmärtää maailmankoordinaatteja, joihin maanalainen rakennuskohde suunnitellaan. Lisäksi tietomallinnusohjelmiston tulee olla yhteensopiva muiden kalliokohteen suunnittelualojen käyttämien ohjelmistojen kanssa, erityisesti tietomallinnusohjelmiin tulee olla mahdollista tuoda tieto todellisesta louhitusta kalliopinnasta.

Opinnäytetyö aloitetaan tutustumalla yleisesti tietomallintamiseen ja sen tuomaan lisäarvoon rakennusprosessille verrattuna perinteiseen kaksiulotteiseen CAD-suunnitteluun alan kirjallisuuden ja Internetin avulla. Tämän jälkeen tutustutaan kalliokohteen suunnitteluprosessiin kirjallisuuden ja osaston työntekijöiden haastattelujen avulla ja selvitetään se, miten kalliopinta suunnitteluprosessin edetessä tarkentuu, kun louhintatyöt valmistuvat. Työn lähtötietojen ja pohjustuksen avulla selvitetään ne vaatimukset, joita kalliokohde asettaa tietomallinnusohjelmistolle. Kun selkeät vaatimukset etsittäväille ohjelmistolle ovat tiedossa, siirrytään opinnäytetyön seuraavaan vaiheeseen eri varsinaiseen tutkimukseen.

Tutkimus aloitetaan selvittämällä ja etsimällä Internetistä yrityksiä, jotka tarjoavat tietomallinnusohjelmistoja. Tämän jälkeen tutustutaan markkinoilla oleviin tietomallinnusohjelmistoihin tarkemmin Internetin avulla ja haastatteluilla ohjelmistojen maahantuojille ja edustajille ja tutkitaan määritettyjen vaatimusten toteutuminen ohjelmistoilla. Saatujen vastausten perusteella selvitetään, soveltuuko ohjelmisto kalliokohteen tietomallintamiseen. Lisäksi saadut tulokset pisteytetään ja tehdään vertailu niin, että selviää, mikä tutkituista tietomallinnusohjelmistoista on yritykselle sopivin mallinnettaessa kalliokohdetta.

1.3 Rajaus

Työ tehdään rakennesuunnittelijan näkökulmasta kalliokohteessa. Opinnäytetyön tulosta ei voi suoraan verrata talonrakentamisen suunnitteluun, koska sen asettamat vaati-

mukset tietomallintamiselle ovat erilaiset kuin kalliutilan asettamat vaatimukset ohjelmistolle. Opinnäytetyö rajataan tutkimusosion alkuvaiheessa vain soveltuvimpien tietomallinnusohjelmistojen tutkimiseen.

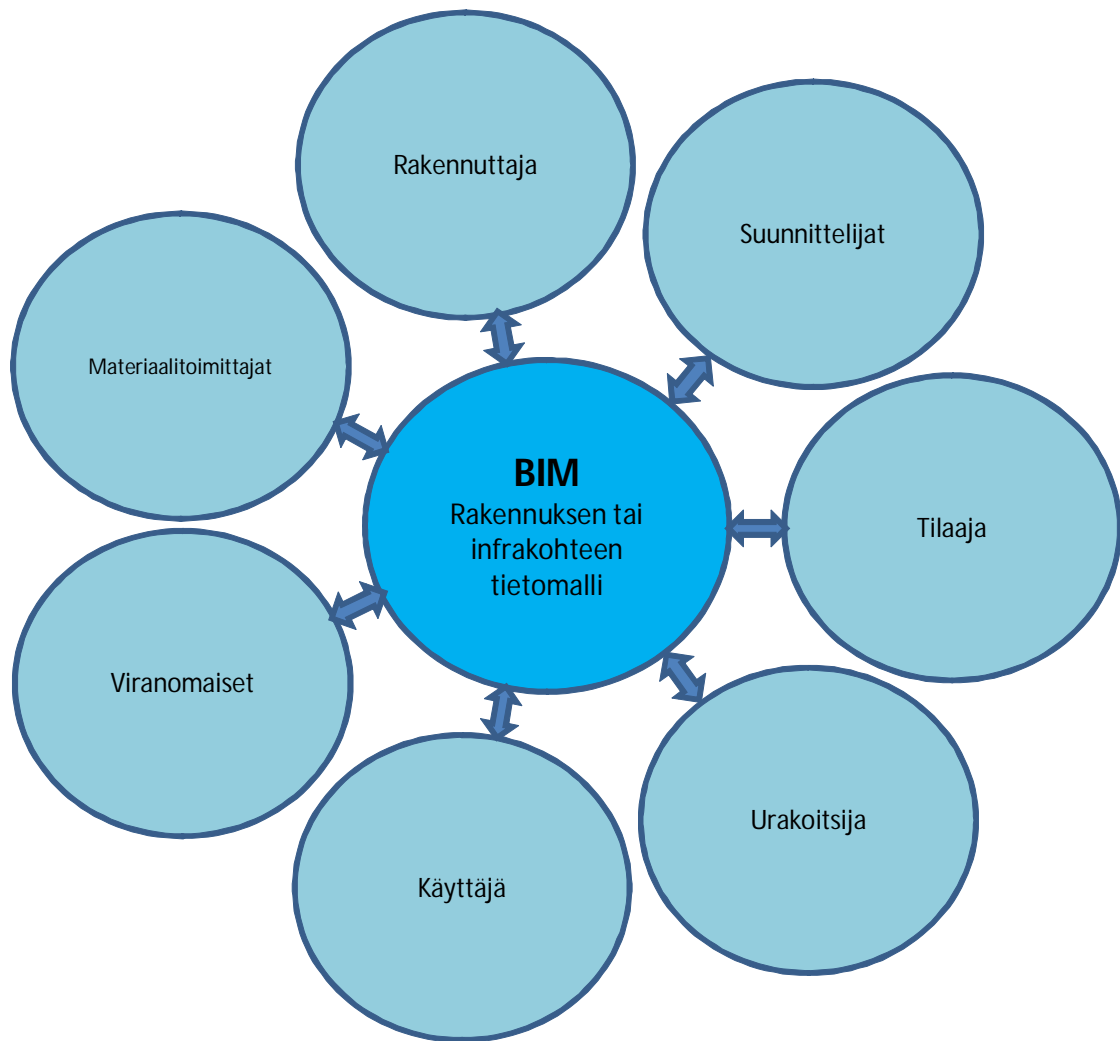
2 Lähtökohdat

2.1 Tietomallinnus

Tietomallintaminen eli BIM tarkoittaa kokonaisvaltaista, integroitua tapaa hallita rakennushankkeen tietoja digitaalisessa muodossa. Tietomallin avulla tarvittava tieto rakennusten suunnittelussa, toteuttamisessa, käytössä ja ylläpidossa on hallittavissa paremmin kuin perinteisiä piirustuksia käytettäessä. [5, s.8-9.]

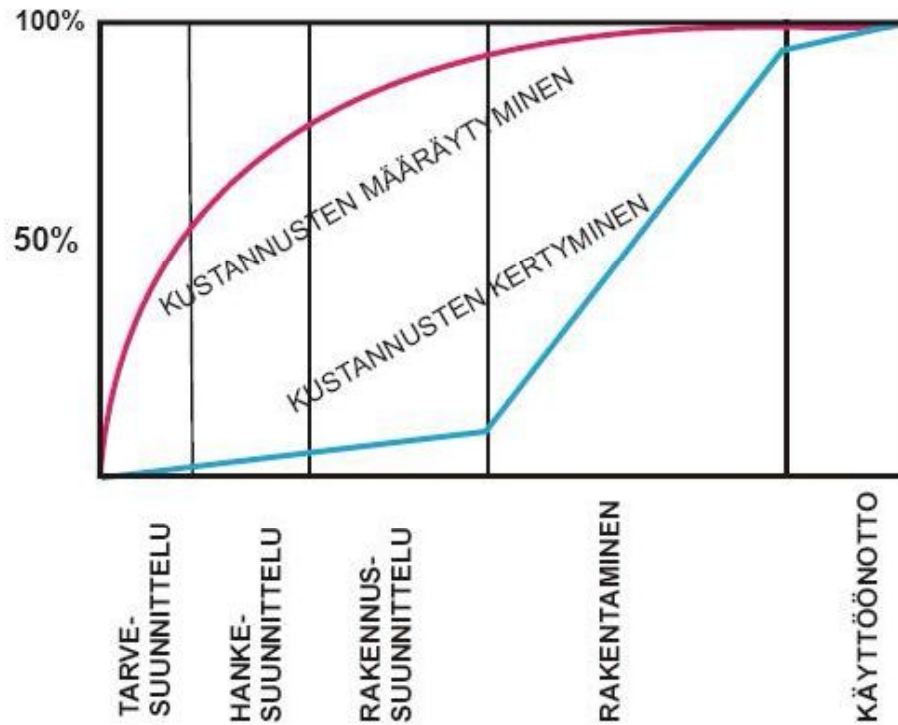
Tietomallipohjainen suunnittelu tuottaa lisäarvoa suunnittelu- ja rakentamisprosessille. Lisäarvoa tuo etenkin se, että koko rakentamisprosessin hallinta paranee, kun tietomalliin voidaan tallentaa ja siitä saadaan poimittua tietoa mm. rakenteista, rakennuksen tiloista, materiaaliominaisuuksista sekä mitoista ja määristä. Tietomallia hyödynnetään koko rakennushankkeen elinkaaren ajan suunnittelun alusta projektin jälkeiseen käytön ja ylläpidon aikaan. [5, s.8-9; 6.]

Tietomallista saadaan paljon tärkeää tietoa ja hyötyä kaikille rakennushankkeen osapuolille (Kuva 1). Saatavia hyötyjä ovat muun muassa: suunnitelmien tarkentuminen ja monipuolistuminen, suunnitteluvirheiden havaitseminen aiemmassa vaiheessa ja eri suunnittelualojen suunnitelmien ristiriitojen tarkastamisen helpottuminen. Lisäksi mallin tuoma kolmiulotteinen visuaalisuus helpottaa ymmärtämään esimerkiksi haastavien rakenteiden toteutusta. Koko rakennushankkeen hallinta paranee ja helpottuu tietomallintamisen myötä. [5, s.9-10; 7.]



Kuva 1. Tietomalli kaikkien osapuolten käytössä.

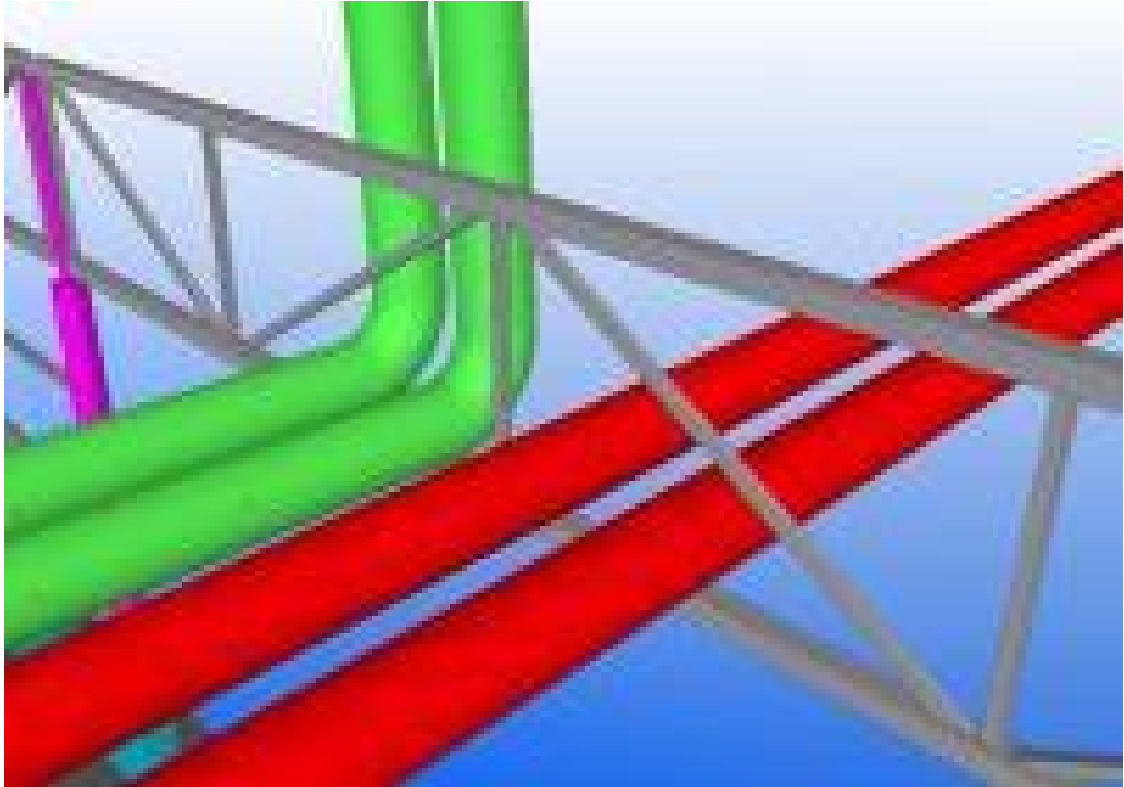
Tietomallintaminen tuo lisäksi merkittävää hyötyä rakennushankkeen elinkaaren kustannusten hallintaan. Rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa määräytyy suurin osa hankkeen kustannuksista. Tällöin kustannuksiin voidaan myös vaikuttaa (Kuva 2.). [5, s. 20-21.]



Kuva 2. Rakennushankkeen kustannusten määräytyminen [8].

2.1.1 Tietomallinnuksen tuomat hyödyt suunnitteluun

Tietomallintaminen tuo monia hyötyjä rakennushankkeeseen suunnittelijan näkökulmasta, kun suunnittelu tehostuu ja suunnitelmien laatu paranee. Suunnittelutyön seuranta ja ohjeistus on monipuolisempaa tietomallihankkeessa. Lisäksi suunnitelmien yhteensovitus ja tarkastaminen eri suunnittelualojen kanssa helpottuu. Tietomallinnusohjelmistoissa voidaan tehdä törmäystarkasteluja, jotka ovat erinomaisia esimerkiksi tarkistettaessa talotekniikkaputkistojen kulkemista rakenteissa. Törmäystarkastuksella (Kuva 3.) varmistutaan, etteivät putkistot kulje esimerkiksi kantavien palkkien läpi ja alenna niiden kantavuutta haitallisesti. [5, s.10,14.]



Kuva 3. Törmäystarkastelu [9].

Lisäksi tietomallinnus tuo lisäarvoa suunnitteluun, kun suunnitteluvirheet ovat helpommin havaittavissa visuaalisesta 3D-mallista. Virheet havaitaan nopeasti ja ne voidaan korjata aikaisessa vaiheessa, jolloin niiden korjaaminen on usein helpompaa ja kustannustehokkaampaa. Tietomallintamisen ansiosta rakennushankkeen kokonaissuunnittelu-aika tehostuu edellyttäen, että kaikki mallintaminen eri suunnittelualoilla aloitetaan likimain samaan aikaan. Myös suunnitelmien muunneltavuus paranee, kun haluttu muutos tehdään ainoastaan tietomalliin, jolloin se päivittyy parhaimmillaan mallista tuotettuihin dokumentteihin, esimerkiksi leikkauskuviin, automaattisesti. [5, s.12,14.]

2.1.2 Historiaa

Tietotekniikkapohjainen suunnittelu on kehittynyt viime vuosien aikana paljon, kun dokumenttipohjaiset piirustusohjelmat korvautuvat tietomallipohjaisilla ohjelmistoilla. Talonrakennesuunnittelussa on jo pitkälti siirrytty tietomallipohjaiseen suunnitteluun, mutta infra-alalla yleisesti sekä maanalaisten tilojen suunnittelussa kehitys on ollut hitaampaa. [1, s.7-8.]

Ennen tietokoneavusteista suunnittelua suunnitelmat laadittiin paperille tai muoville tussilla piirtäen. Käsien piirtämisestä siirryttiin pois, kun tietotekniikkaa alettiin käyttää suunnittelun apuna 1970-luvulla. Tietokoneavusteisella suunnittelulla tarkoitetaan tietokoneen käyttämistä työn apuvälineenä suunnittelussa. Tällöin puhutaan yleisesti CAD-suunnittelusta, joka yleistyi nopeasti. 1990-luvulla tietokoneet ja mikrotietokoneet alkoivat olla jokapäiväistä elämää suunnittelutoimistoissa. Viime vuosina tietokoneavusteinen suunnittelu on kehittynyt jatkuvasti kohti älykkäämpää suunnittelua, jossa suunnitelmia laaditaan objekteilla, jotka sisältävät erilaista tietoa. Esimerkiksi betonipalkki voi sisältää tietoa betonin massasta ja raudoituksen määrästä. [1, s.24-26.]

2.1.3 Tietomallinnus vs. 2D-suunnittelu

CAD-suunnittelussa muodostetaan erilaisten viivojen, pisteiden ja kaarien avulla suunnitelmia. Nämä suunnitelmat ovat usein kaksiulotteisia. Rakennesuunnittelussa erilaisia suunnitelmia tehdään useita, esimerkiksi erilaisia leikkauskuvia voidaan joutua tekemään hyvinkin monta laajassa rakennushankkeessa, jotta työmaalla voidaan suunnitelmien pohjalta tehdä halutut rakennustyöt. Erilaisten kuvien tuotto vie luonnollisesti paljon aikaa. [7.]

CAD-suunnittelussa dokumentoitu suunnittelutieto siirtyy rakennushankkeen eri osapuolten kesken pääosin piirustuksina, teksteinä ja taulukoina. Nämä dokumentit voivat siirtyä joko digitaalisessa muodossa tai paperitulosteina eivätkä ne itsessään sisällä informaatiota, toisin kuin tietomalli. Tietomallintamisessa sen sijaan tehdään vain yksi kolmiulotteinen digitaalinen malli, joka sisältää informaatiota muun muassa rakennusosien ominaisuuksista. Tietomallista voidaan tuottaa haluttuja piirustuksia, esimerkiksi leikkaus- tai tasopiirustuksia, suoraan. Ohjelmalle kerrotaan, mistä esimerkiksi leikkaus halutaan ottaa, jolloin ohjelma osaa itse luoda halutun piirustuksen. [5, s.17.]

Rakennushankkeen edetessä luonnosvaiheesta toteutusvaiheeseen, suunnitelmiin tulee aina muutoksia. CAD-suunnittelussa jokainen muutos joudutaan tekemään erikseen jokaiseen tehtyyn piirustukseen. Hyvin usein muuttunut rakenne esiintyy useamassa kuin yhdessä piirustuksessa, jolloin sama virhe toistuu ja vastaavasti piirustusten korjaamiseen kuluva aika kasvaa. Sen sijaan tietomallissa riittää, kun päivityksen tekee vain malliin, jolloin se osaa päivittää muuttuneen tiedon jokaiseen mallista tuotettuun piirustukseen itse. Muutos tehdään siis vain yhteen paikkaan. Tämä vähentää

suunnitteluvirheitä verrattuna CAD-suunnitteluun. On hyvin yleistä, että epähuomiossa CAD-suunnittelussa jokin piirustus saattaa jäädä päivittämättä.

2.1.4 Tietomallinnus vs. 3D-suunnittelu

3D-suunnittelulla tarkoitetaan tietokonegrafiikkaa, joka on sisäisesti mallinnettu kolmen tilaulottuvuuden suhteen. 3D-suunnittelu on kehitetty visualisoimaan rakenteita. Mallia voidaan pyörittää tietokoneen näytöllä. Se ei kuitenkaan sisällä mitään informaatiota rakennushankkeesta, toisin kuin tietomalli. [10, s.3.]

3D-suunnittelu on kehitetty, jotta katselijan olisi helpompi havainnollistaa asioita. Sen päätehtävä onkin muodostaa vaikeasti havaittavat ja ymmärrettävät asiat selkeäksi kuvamateriaaliksi. Tietomalli on myös kolmiulotteinen malli, mutta pelkän 3D-ominaisuuden lisäksi se sisältää informaatiota. [1, s.68.]

2.2 Kalliokohteen suunnitteluprosessi

Kalliokohteen suunnitteluprosessi eroaa maanpäällisen kohteen suunnittelusta. Kalliorakennushankkeeseen ryhtymiseen voi olla monia eri syitä:

- Tarve hyödyntää kallion ominaisuuksia: suojausta, lämpötilaa tai pysyvyyttä. Kohteena esimerkiksi ydinjätteen loppusijoituspaikka, jossa halutaan hyödyntää kallion ominaisuuksia.
- Kallio on osana jotain muuta hanketta. Kohteena on esimerkiksi liikennetunneli.
- Rakennustarve, joka voidaan toteuttaa myös kalliohankkeena kalliota hyväksi käyttäen, mikäli se on taloudellisesti kannattavaa. Kohteena on esimerkiksi paikoitushalli.

Kaupungistumisen myötä tiiviissä kaupunkiyhteisössä maanalainen rakentaminen on nostanut suosiotaan. Liikenne- ja huoltotilat on käytännöllistä sijoittaa maan alle suurissa kaupungeissa, joissa maanpäällistä tilaa on vähän. Maanalaista rakentamista voidaan pitää ympäristötekona verrattuna maanpäälliseen rakentamiseen. Maan alle rakennettaessa maanpäällinen alue säästyy parempaan käyttöön, esimerkiksi puistoiksi. Kalliorakentamisessa ei tarvitse erikseen rakentaa seiniä ja kattoja, jolloin rakennusmateriaalia säästyy. Lisäksi louhittua kalliota voidaan käyttää hyväksi, jolloin kiviainesta ei

tarvitse erikseen louhia muualta. Maan alle voidaan rakentaa lähes mitä tahansa. [11, s.293; 12.]



Kuva 4. Maan alle voidaan rakentaa lähes mitä tahansa, esimerkkinä Itäkeskuksen uimahalli [13].

Kalliorakennushankkeessa on mukana samoja osapuolia kuin maanpäällisessä rakennushankkeessa: tilaaja tai rakennuttaja, suunnittelijat ja asiantuntijat, urakoitsijat ja viranomaiset. [11, s.293.]

2.2.1 Hanke- ja esisuunnittelu

Kalliorakennushanke alkaa samalla kaavalla kuin maanpäällisen kohteen rakennushanke. Hankesuunnittelussa selvitetään kohteen tarpeellisuus, karkea laajuus, vaihtoehtoiset sijoituspaikat, investointi- ja kannattavuuslaskelmat, suositus toteutustavasta sekä alustava aikataulu. Hankesuunnitelman pohjalta päätetään, ryhdytäänkö rakennushankkeeseen. [11, s.294-295.]

Hankesuunnitelman jälkeen tehdään esisuunnitelma. Esisuunnittelu vaihtelee paljon, riippuen rakennettavasta kalliokohteesta ja sen laajuudesta. Yleisesti esisuunnitelman

tarkoituksena on tarkentaa hankesuunnitelmaa. Mitä haastavampi ja monimuotoisempi tuleva kalliorakennushanke on, sitä laajempi on myös esisuunnitelma. Esisuunnittelussa selvitettäviä asioita ovat muun muassa:

- kallioon tulevat toiminnot ja liikenne
- kriisiajan laitoksen suojaustaso ja normaaliajan käyttö kriisiajan hankkeessa
- kohteeseen rakennettavien tilojen pinta-alat, korkeudet ja erikoislaitteet
- henkilömäärät kalliotiloissa
- rakennuspaikan rakentamiskelpoisuuden määrittäminen
- suunnittelun ja rakentamisen toteuttamisaikataulu.

Esisuunnittelua seuraa usein huomattava määrä jatkosuunnitteluohjeita ja -tavoitteita. Hanke- ja esisuunnitteluvaiheen jälkeen alkaa varsinainen suunnittelu. [11, s. 295.]

2.2.2 Luonnos- ja louhintasuunnittelu

Kalliokohteen varsinainen suunnittelu alkaa, kun tiedetään hanke- ja esisuunnitelman pohjalta, minne kohde rakennetaan. Lähtötietoina varsinaiselle suunnittelulle tulee olla hankkeen käyttö- ja tilaohjelma, alueen asemakaava sekä tehdyt pohjatutkimukset maa- ja kallioperästä. Näiden perusteella yleissuunnittelu voidaan aloittaa. [11, s.309.]

Yleissuunnittelulla tarkoitetaan kalliorakennuskohteen kokonaissuunnittelua ja sen pohjalta tehdään muut suunnitelmat. Yleissuunnittelu voi alkaa jo hankkeen esisuunnitteluvaiheesta ja jatkua hankkeen toteutuksen loppuun asti. Yleissuunnitelma vastaa maanpäällisen rakennushankkeen arkkitehtisuunnitelmaa. Kalliorakennushankkeessa yleissuunnittelijana toimii usein kalliosuunnittelija tai muu erikoissuunnittelija kalliorakennuskohteesta riippuen. Joissain tapauksissa yleissuunnittelijana voi toimia arkkitehti kalliosuunnittelijaa apunaan käyttäen. Yleissuunnittelija toimii yleensä myös hankkeen pääsuunnittelijana. [11, s.298.]

Suunnittelun alussa tehdään erilaisia ehdotuksia rakennuspaikan käytön ja tilasijoittelun suhteen. Näistä valitaan paras ehdotus tarkempaa luonnossuunnittelua varten. Alustavat tekniset suunnitelmat ja louhinta- ja lujituspiirustukset tehdään hyväksytyjen luonnosten pohjalta. Kallioteknistä asiantuntemusta tulisikin käyttää hyväksi heti kallio-

kohteen suunnittelun alusta lähtien. Kalliotekninen suunnittelija vastaa siitä, että louhinta- ja lujitustyöt sekä rakennustyöt ovat järkevästi tehtävissä. Lisäksi kalliotekninen suunnittelija avustaa yleissuunnittelijaa laatimaan layoutin, joka täyttää toiminnalliset vaatimukset ja kallion laadun aiheuttamat vaatimukset. [11, s. 295-296, 309.]

Kalliotekninen suunnittelija laatii louhintasuunnitelmat yleissuunnitelman pohjalta. Louhintasuunnitelmiin sisältyy louhintapiirustukset sekä louhintatöiden työselitys. Asemapiirustuksessa louhittava kohde on sidottava maailmankoordinaatistoon. Louhintasuunnitelmasta on selvittävä, miten kalliokohteen lujitus tehdään. Myös muut rakennushankkeessa olevat suunnittelualat voivat aloittaa oman suunnittelunsa hyväksytyyn yleissuunnitelman pohjalta samaan aikaan louhintasuunnitelmien kanssa. [11, s.320.]

2.2.3 Suunnittelu urakkalaskentaa varten

Maanpäälliseen rakennushankkeeseen verrattuna kalliokohteessa louhinta- ja lujitustyöt ovat täysin ylimääräinen vaihe, joka suoritetaan omana urakkana (Kuva 5.). Usein niiden kesto on jopa useita vuosia. Niinpä louhinta- ja lujitustöiden vaihe käytetään hyväksi jatkotöiden eli sisustusurakan suunnittelussa. [11, s.297.]



Kuva 5. Kalliotilan louhintatyöt käynnissä Stockmannin parkkihallissa [14].

Kalliotilan suunnittelussa ovat kalliosuunnittelijan lisäksi mukana yleensä arkkitehti, rakennesuunnittelija, LVI- ja sähkösuunnittelija. Nämä kaikki suunnittelijat voivat aloittaa oman työnsä heti yleissuunnitelman valmistuttua. Urakkalaskentavaiheen suunnitelmat laaditaan yleensä louhintasuunnitelmien mittojen mukaisesti eli teoreettisen kalliopinnan mitoilla. Rakenteet siis suunnitellaan kalliontilaan, jonka profiili selviää louhin-

tasuunnitelmasta. Maanpäällisessä rakentamisessa voitaisiin ajatella, että louhittu kalliopinta muodostaa rakennuksen ulkoseinät.

Urakkalaskentavaiheen suunnitelmien tulee olla riittävän tarkkoja, jotta voidaan laskea, paljonko erilaisia kustannuksia tulee ja kuinka paljon työtä rakentaminen vaatii. Urakkatarjousvaiheessa suunnitelmien tiedot luovutetaan urakkatarjouskilpailuun osallistuvien urakoitsijoiden käyttöön. Urakoitsija laskee rakennesuunnitelmien avulla arvion muun muassa muotti-, rauditus- ja betonimenekin ja paikallavaluosien rakentamiseen kuluvan työajan. Urakoitsijat siis tekevät suunnitelmien pohjalta urakkatarjouksen ja rakennustyön alustavat suunnitelmat. Tilaaja valitsee urakkatarjouskilpailuun osallistuvista urakoitsijoista kokonaistaloudellisesti edullisimman, joka urakoi tulevan kohteen. [15, s.15-16.]

2.2.4 Toteutussuunnittelu

Urakkalaskentasuunnitelmien jälkeen alkaa tarkempi toteutussuunnittelu. Toteutussuunnitelmien perusteella suoritetaan varsinaiset rakennustyöt, joten suunnitelmien tulee siis olla tarkat ja esimerkiksi rakennesuunnitelmien detaljit kunnossa. Toteutussuunnitelmien perusteella tehdään tarkat määrälaskelmat rakennusmateriaaleista ennen rakennustöiden aloittamista. [15, s.13.]

Toteutussuunnitelmat tehdään päivittämällä urakkalaskentavaiheen suunnitelmia tarkempaan muotoon, esimerkiksi detaljeja hiomalla tai lisäämällä mittoja rakentamista varten. Toteutussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnitelmiin lisätään myös tarketiedot. Tarketiedoilla tarkoitetaan toteutuneesta louhitusta kalliopinnasta mitattua tietoa. Louhintasuunnitelmissa esitetty teoreettinen kalliopinta saattaa poiketa hyvinkin paljon siitä, miltä kalliotila todellisuudessa näyttää räjäytystöiden jälkeen. Toteutunut kalliopinta saattaa poiketa jopa metrin suunnitellusta. Lisäksi louhittu pinta on aina epätasainen. Kalliopinnan mukaan rakenteet joudutaan tarkastamaan, esimerkiksi muuttuneiden jännevälien vuoksi. Myös suunnitelmat tarkastetaan todellisen kalliopinnan mukaan, esimerkiksi venyttämällä kalliopintaa vasten tuleva paikallavalulaatta ulottumaan todelliseen kalliopintaan asti. Lisäksi urakkalaskentavaiheen suunnitelmia täydennetään uusilla suunnitelmilla toteutusvaiheessa, jotta rakentamisen tarkka toteutus onnistuisi. Rakennustyöt voidaan kalliotilassa aloittaa, kun suunnitelmat rakentamisen toteuttamista varten löytyvät.

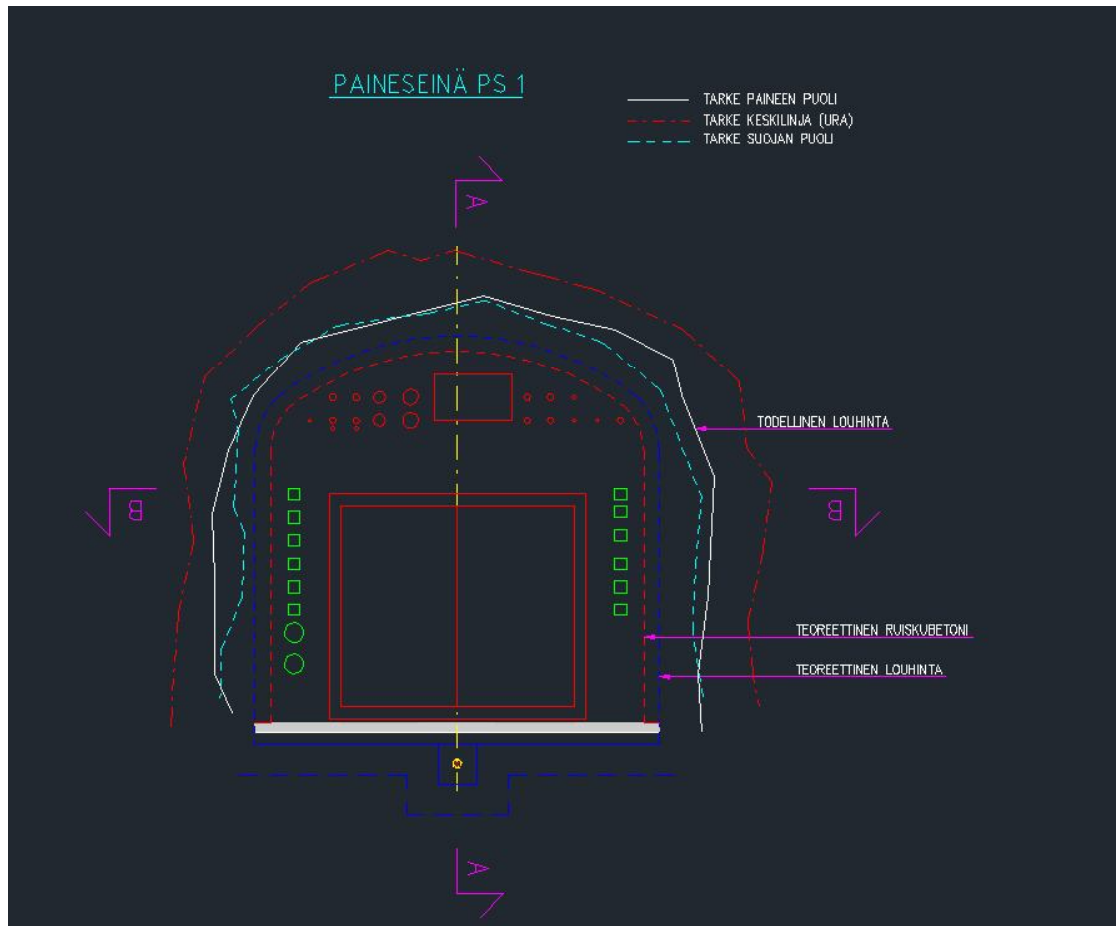
3 Tietomallintamisen haasteet kalliikohteessa

Tässä kappaleessa tarkastellaan niitä haasteita, joita kalliikohteen suunnittelu tuo tietomallintamiseen. Näihin haasteisiin lähdetään opinnäytetyön myöhemmässä vaiheessa etsimään ratkaisuja. Työn lopputuloksena päädytään yrityksen tarpeisiin soveltuviin tietomallinnusohjelmistoon.

3.1 Todellinen louhittu kalliopinta

Teoreettisella louhinnalla tarkoitetaan suunniteltua kalliopintaa, jonka mukaan urakoitsija louhii tilan. Louhintasuunnitelmissa esitetään tarkkuusvaatimus, jolla tuleva tila tulee louhia. Tämä tarkkuusvaatimus on normaalisti 400 mm yli teoreettisesta kalliopinnasta. Sitä käytetään sellaisissa tiloissa, joissa ylilouhinnalla ei ole merkitystä. Louhintasuunnitelmissa voidaan esittää myös tarkkuusvaatimuksia, joissa työtoleranssi on edellistä tarkempi, yleensä 200 mm. Tarkkuuslouhintaa käytetään esimerkiksi kalliosuojien painerakenteiden kohtia louhittaessa. Todellinen louhinta saattaa myös poiketa kokonaan tarkkuusvaatimuksista, jos kiveä irtoaa katosta kallion heikkouden takia. Tällöin puhutaan ryöstöstä, jota tapahtuu usein. [11, s. 321.]

Kuvassa 6. on edestäpäin kuvattu AutoCAD:llä piirretty paineseinä, johon on tuotu tieto todellisesta louhinnasta. Kuten kuvasta on huomattavissa, poikkeaa todellinen louhinta huomattavasti suunnitellusta, yli 200 millimetriä eli enemmän kuin tarkkuusvaatimus painerakenteiden kohdalla on. Kalliopintaan ei ikinä anneta mittoja, vaan tarvittava mittoitus rakenteisiin tehdään tunnelin keskilinjan suhteen. Piirustuksesta voi kuitenkin silmämääräisesti nähdä todellisen louhinnan ryöstäneen, koska mitta teoreettisen louhinnan ja teoreettisen ruiskubetonin välillä kuvassa 6. on 200 millimetriä. Paineseinien kohdassa tarketieto mitataan työmaalla toteutuneesta louhinnasta kolmesta eri kohtaa: painekuorman puolelta seinän reunasta (tarke paineen puoli), seinälinjan keskeltä louhitusta urasta (tarke keskilinja (ura)) ja suojan puolelta seinän reunasta (tarke suojan puoli). Louhinnan tarkkuusvaatimukseen verrattuna tarke paineen puoli ja tarke suojan puoli tulisi siis olla tarkkuusvaatimuksen eli 200 millimetrin sisällä. Piirustuksessa on lisäksi keskellä paineovi ja muut reiät ovat LVI ja S läpivientejä seinästä.



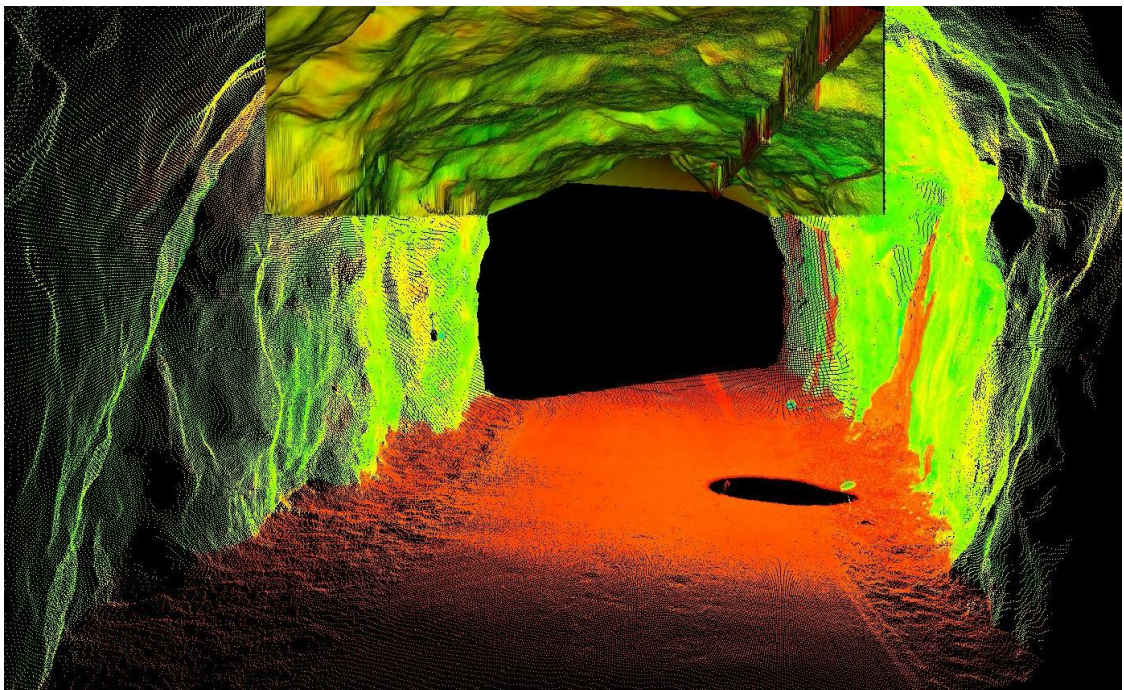
Kuva 6. Painesseinä, jossa teoreettinen louhinta ja ruiskubetoni ja tarkkeet [16].

Todellinen louhinta poikkeaa siis aina teoreettisesti suunnitellusta louhinnasta. Tämä tuo omat haasteensa suunnitteluun ja tietomallintamiseen, kun teoreettisilla mitoilla laadittu malli joudutaan muokkaamaan todellisen louhintapinnan mukaan.

Nykyiset tietomallinnusohjelmat on tehty alun perin maanpäällisten rakennuksien mallintamiseen. Maanpäällisissä rakennuksissa linjat ovat selkeitä ja suorita, toisin kuin kalliotilassa, ja ohjelmistot on tehty ymmärtämään näitä tasaisia pintoja. Epätasaisten pintojen teko mallintamalla on vielä melko haasteellista. [15, s.23.]

Kun kalliotila on louhittu, halutaan todellinen louhinta tuoda rakennesuunnitelmiin. Todellisen kalliopinnan mittaaminen onnistuu laserkeilaimella. Laserkeilain on laite, jolla voidaan mitata pisteiden koordinaatit lasersäteiden avulla koskematta kohteeseen. Maanalainen tila keilataan maalaserkeilaimella, jonka mittatarkkuus on alle kaksi senttimetriä. Näistä mitatuista pisteistä muodostetaan kolmiulotteinen pistepilvi. Kohteen laserkeilaaminen on suhteellisen helppoa ja nopeaa. Laserkeilaimella tehdään mittauk-

sia 10-15 metrin välein tunnelissa. Yhteen keilaukseen kuluu aikaa noin kuusi minuuttia, joten suurenkin kohteen keilaus onnistuu nopeasti. Ongelmaksi muodostuu syntyneen datan valtava määrä ja turhan tiedon karsiminen pois, kun yhden neliömetrin keilatulla pinnalla on jopa 10 000 eri pistettä ja yksi keilaus tuottaa jopa 10 000 000 eri pistettä. Pistepilven jälkikäsitteilyllä voidaan tuottaa kolmioverkko, joka voidaan viedä tietomalliin (Kuva 7.). Kolmioverkon datamäärä tekee mistä tahansa ohjelmasta raskaasti pyörivän, koska tämän hetken tietokoneet eivät ole riittävän tehokkaita. Kolmioidin tarkkuutta voidaan muuttaa esimerkiksi Leica Cyclone ohjelmalla. Suurentamalla kolmioiden pinta-alaa saadaan dataa karsittua, mutta tämä heikentää kolmioverkon tarkkuutta, jota vasten rakenteet mallinnetaan. [1, s.33-34; 17; 18.]



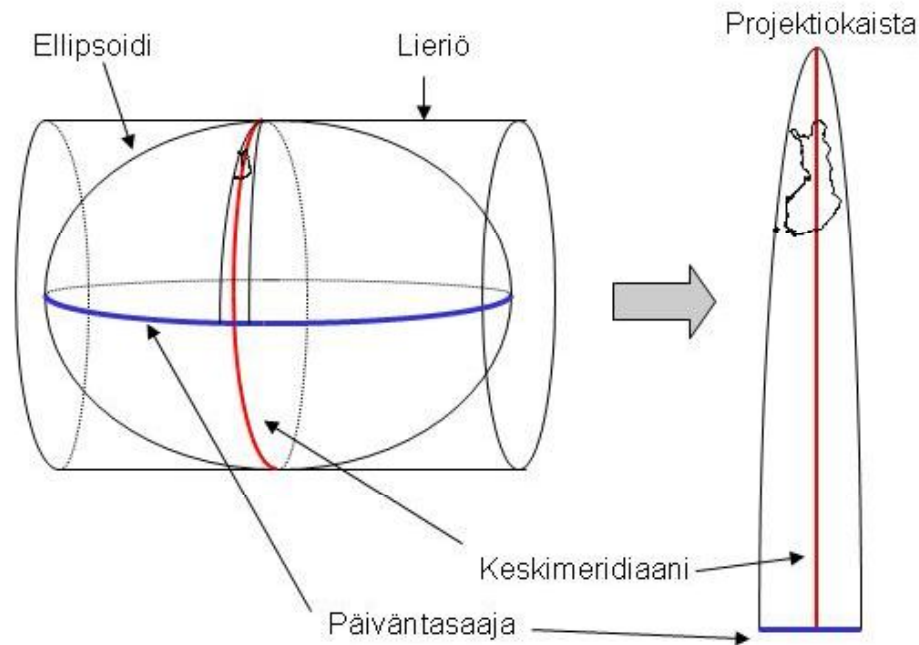
Kuva 7. Tunnelista laserkeilaamalla saatu pistepilvi, josta tunnelin katto on muokattu kolmioverkoksi Leica Cyclone ohjelmalla [18].

Tänä päivänä kaksiulotteisessa CAD-suunnittelussa voidaan haluttuun piirustukseen tuoda tarketieto toteutuneesta louhinnasta. Tarketieto saadaan tuotua rakennepiirustuksiin koordinaattien avulla. Halutulta tasolta tehdään tarkemittaus, joka voidaan siirtää samalta tasolta tehtyyn leikkauspiirustukseen. Näin voidaan tarkastella teoreettisen ja toteutuneen louhinnan eroja. Kolmiulotteisella tarkastelulla saadaan suunnittelun tarkkuustasoa kasvatettua huomattavasti. [15, s. 24.]

Todellisen louhintapinnan epätasaisuus ja poikkeamat sen sijainnissa tuovat haasteita tietomallintamiseen. Todellinen louhintapinta asettaa ohjelmistolle vaatimuksen, että sen tulee ymmärtää epäsymmetrisiä ja kaarevia pintoja eli monimuotoista geometriaa. Lisäksi kalliotilaan tulevien rakenteiden tulee olla muokattavissa suhteellisen helposti, kun todellinen louhintapinta saadaan tuotua malliin eli kun urakkalaskentavaiheen suunnitelmat päivitetään toteutusvaiheessa. Rakenteet muokataan siis myötäilemään todellista louhintapintaa eli esimerkiksi kalliokattoon nousevan betoniseinän korkeus saattaa kasvaa 400 mm, kun se venytetään todelliseen kalliokattoon.

3.2 Maailmankoordinaatisto

Maailmankoordinaatistolla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä koordinaattijärjestelmää, joka on käytössä paikkakunnalla, johon kalliokohde rakennetaan. Koska suurin osa opinnäytetyön toimeksiantajan kalliokohteista rakennetaan pääkaupunkiseudulle, käytetään lähes aina suunnittelun pohjana pääkaupunkiseudulla ja muuallakin Suomessa yleisesti käytössä olevaa ETRS-GK25-tasokoordinaatistoa, joka perustuu eurooppalaisen ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalaiseen realisaatioon EUREF-FIN:iin. Tasokoordinaatiston origo sijaitsee päiväntasaajalla (Kuva 8.). Korkeusjärjestelmänä toimii N2000 korkeusjärjestelmä. Euraasian mannerlaattaan sidottu ETRS89-koordinaattijärjestelmä sen sijaan perustuu maailmanlaajuiseen satelliittipaikannuksessa käytettävään WGS84-koordinaattijärjestelmään. Tästä juontuu kalliokohteen suunnittelussa nimi maailmankoordinaatisto. [19; 20; 21.]



Kuva 8. Suomen tasokoordinaatiston muodostuminen [21].

Kalliotilassa kaikki suunnittelu tapahtuu maailmankoordinaatiston mukaan, toisin kuin maan päällisten rakennuksien suunnittelussa. Maanpäällisessä rakentamisessa suunnittelija määrittää usein itse tontin rajoihin sidotun projektiokohtaisen koordinaatiston. Yleisesti kalliotilassa suunnittelun perustana on käytössä maailmankoordinaatisto, jota kaikkien hankkeessa mukana olevien suunnittelijoiden tulee noudattaa, jotta rakentaminen ja suunnitelmien yhdistäminen on mahdollista. [1, s.22.]

Koska maan alta ei löydy tonttirajoja, joihin suunnitelmat voisi sitoa, pitää tilat suunnitella maailmankoordinaatistossa. Maanpintayhteydet, kuten pystykuilut, porataan maan pinnalta. Jotta poraus osuu oikeaan kohtaan, tulee myös maanpäällisten suunnitelmien olla samassa koordinaatistossa. Kalliikohteen mallinnusohjelmiston tulee ymmärtää maailmankoordinaatteja, jotta suunnittelu voidaan tehdä tarkasti oikeaan koordinaatistoon.

3.3 Suunnitelmien yhteensopivuus

Tiedonsiirto suunnittelualojen välillä täytyy onnistua, jotta tietomallipohjainen suunnittelu on mahdollista. Sähköinen tiedonsiirto eri suunnittelualojen välillä on suunnittelun

perusedellytys, jotta rakennushankkeen eri osapuolet saavat oikeaa ja ajan tasalla olevaa tietoa. Jotta tiedonsiirto suunnittelualojen välillä onnistuisi, tulee kaikkien osapuolten käyttää yhteisesti sovittuja tiedostotyyppejä. [5, s.33; 10, s.36.]

Rakennushankkeen tiedonsiirto voidaan toteuttaa yksisuuntaisesti osapuolelta toiselle tai keskitettyyn projektipankkiin tallentaen. Projektipankissa voidaan tuotemallitietoa säilyttää tuotemallitiedostoina. Näissä molemmissa tapauksissa on tärkeää, että rakennushankkeessa sovitaan etukäteen yhteisesti käytettävistä tiedostomuodoista. Yleisesti käytössä olevia tiedonsiirtoformaatteja on kaksi: IFC ja LandXML. IFC tarkoittaa ohjelmistoriippumatonta tiedonsiirtomuotoa rakentamisen ja kiinteistönpidon eri tietojärjestelmien välillä. Ennen rakennushankkeen alkamista on tärkeää, että sovitaan yhteisesti käytettävästä IFC-versiosta, jotta tieto saadaan siirtymään mahdollisimman mutkattomasti suunnittelijalta toiselle. IFC on käytössä yleisesti talonrakennuksessa. Infra-alalla sen sijaan on oma tiedonsiirtoformaatti LandXML, joka on kansainvälinen oliopohjaiseen tiedonsiirtoon tietokonejärjestelmästä toiseen tarkoitettu standardi. Niinpä tietomallinnusohjelmiston tulee ymmärtää sekä IFC-, että LandXML-tiedonsiirtoformaatteja. [1, s.48; 10, s.37,40.]

Kalliokohteen tiedonsiirto suunnittelualojen välillä noudattaa pitkälti samaa kaavaa maanpäällisen suunnittelun kanssa arkkitehti-, rakenne-, ja TATE-suunnitelmien tiedonsiirron osalta. Erona maanpäälliseen suunnitteluun tulee kalliosuunnittelussa tiedonsiirtoon mukaan louhintasuunnitelmat. Lisäksi louhintavaiheen jälkeen myöhemmässä toteutussuunnitteluvaiheessa lisätään suunnitelmiin todellinen louhinta. Tässä vaiheessa tulee ajankohtaiseksi se, että laserkeilaimella mitattu todellinen kalliopinta saadaan mukaan tiedonsiirtoon ja tuotua tietomallinnusohjelmistoon.

3.4 Vaatimukset tietomallinnusohjelmistolle

Jotta kalliokohteen mallintaminen olisi mahdollista, asettaa se siis tietomallinnusohjelmistolle vaatimuksia. Suurin haaste mallinnusohjelmistolle ovat epäsymmetriset ja kaarevat pinnat, joita kalliopinta aiheuttaa. Lisäksi teoreettisilla mitoilla tehty malli tulee olla muokattavissa todellisen louhinnan mukaan. Toisena haasteena on koordinaatisto. Maanalaisen suunnittelun tulee tapahtua maailmankoordinaatistossa, koska maan alla ei ole kiintopisteitä, joihin suunnitelmat voitaisiin sitoa. Kolmantena haasteena tietomallinnusohjelmistolle on mutkaton tiedonsiirto. Lähinnä tämä tarkoittaa sitä, miten todelli-

nen kalliopinta saadaan malliin. Tällä hetkellä varteenotettavin vaihtoehto on laserkeilaus, josta saatu pistepilvi voidaan jälkikäsitteilyn jälkeen tuoda varsinaiseen rakenteiden tietomallinnusohjelmaan. Ohjelmiston tulee myös ymmärtää yleisimpiä tiedonsiirtoon tarkoitettuja standardeja IFC- ja LandXML-formaatteja.

Työn jatkovaiheessa lähdetään selvittämään eri vaihtoehtoja rakenteiden tietomallinnusohjelmistolle. Verrataan eri ohjelmistojen toimivuutta kalliokohteen suunnitteluun määritettyjen vaatimusten pohjalta. Työn lopputuloksessa päädytään yrityksen kannalta parhaaseen tietomallinnusohjelmistoon ja selvitetään, onko kaikilla tutkituilla ohjelmistoilla kalliokohteen tietomallinnus mahdollista.

4 Ohjelmistot

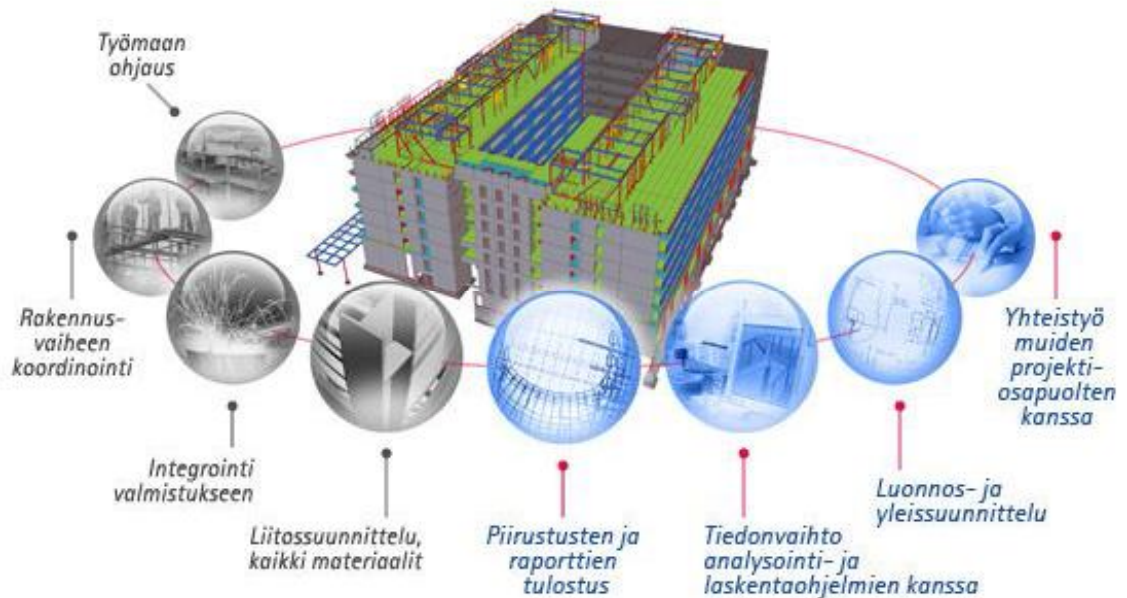
Markkinoilla on tarjolla paljon ohjelmistoja tietomallintamiseen. Suomessa käytössä olevia ohjelmistojen valmistajia rakennesuunnitteluun ovat Tekla, Autodesk ja Bentley Systems. Tässä opinnäytetyössä tutustutaan näiden valmistajien tarjoamiin ohjelmitoihin tarkemmin, vertaillaan niiden toimivuutta maanalaisen kohteen rakenteiden tietomallintamisessa, selvitetään soveltuvatko kaikki ohjelmistot kalliokohteen tietomallintamiseen ja päädytään lopulta yrityksen kannalta sopivimpaan ratkaisuun. [1, s.31; 5, s.53.]

Kyseisten yritysten tietomallinnusohjelmistoihin tutkimiseen päätymisellä oli jokaisella jokin syy. Autodeskin ohjelmat ovat edustettuina tämän opinnäytetyön tilaajayrityksessä ja tällä hetkellä maanalaisten kalliotilojen rakennesuunnittelussa käytetään AutoCAD:iä. Teklaan päädyttiin, koska kyseisen yrityksen rakennesuunnitteluun tarkoitettu tietomallinnusohjelmisto on käytössä opinnäytetyön tilaajayrityksessä ja tietoa sen toimivuudesta löytyy yrityksen sisältä. Bentley Systems:n tutkimiseen päädyttiin, koska myös tämän yrityksen lippulaivaohjelmisto MicroStation on jo käytössä opinnäytetyöyrityksen kalliosuunnittelijoilla.

4.1 Tekla

Tekla Oyj on suomalainen ohjelmistovalmistaja, joka valmistaa mallipohjaiseen olioteknologiaan perustuvia ohjelmistoja rakentamis-, energia-, ja infra-alalla. Rakennesuun-

nitteluun Tekla tarjoaa Tekla Structures ohjelmistoa. TS on tietomallinnus eli BIM-ohjelmisto kaikkiin rakentamisen vaiheisiin. Sillä voi luoda ja hallita rakentamisen prosesseja tukevia kolmi- ja neliulotteisia rakennemalleja ja sitä voidaan hyödyntää kaikissa rakennusprosessin vaiheissa luonnossuunnittelusta rakentamisen hallintaan. [22.]



Kuva 9. Tekla-malli rakennushankkeen osapuolten käytössä [22].

4.2 Autodesk

Autodesk Inc on yhdysvaltalainen yritys, joka tarjoaa ohjelmistoja muun muassa arkkitehtuurin, suunnittelun ja rakentamisen aloilla. Autodeskin tietomallinnusohjelmisto rakennesuunnittelijoille on Revit Structure. [23.]

Revit Structure tarjoaa rakennesuunnittelijoille työkalut rakenteiden tarkkaan suunnitteluun. RS:n älykkäät mallit tarjoavat tärkeää tietoa simulointiin ja analysointiin. Revit tuoteperheeseen kuuluu RS ohjelmiston lisäksi Revit Architecture-ohjelmisto, joka on tarkoitettu arkkitehtisuunnitteluun ja Revit MEP-ohjelmisto, joka on tarkoitettu talotekniikan suunnittelijoille. Revit tuoteperheen ohjelmistot toimivat perinteisen AutoCAD:n kanssa hyvin yhteistyössä tukien samoja tiedostomuotoja. Myös Autodeskin Civil 3D on hyvä työkalu RS:n kanssa. Civil 3D on infra-alalla käytettävä tietomallinnusohjelmisto, joka soveltuu esimerkiksi liikenne-, maankäyttö- ja ympäristöprojekteihin. Useat maanalaist projektit ovat osa suurempaa infraprojektia, esimerkiksi ratahanketta, joka sisäl-

tää tunneleita. Niinpä on ehdottoman tärkeää, että sekä kalliokohteen, että muun infran suunnittelussa käytettävät ohjelmistot keskustelevat keskenään. [23; 24.]

4.3 Bentley Systems

Bentley Systems Inc on yhdysvaltalainen yritys, joka tarjoaa ohjelmistoja koko infrastruktuurin elinkaarelle eri ammattilaisten tarpeisiin, joita ovat muun muassa suunnittelijat, arkkitehdit, urakoitsijat ja käyttäjät. Bentley Systems on mukana tietomallinnuksessa ja Bentley BIM kattaa kaikentyyppisten rakennusten ja rakennelmien suunnittelun. [25; 26.]

Bentley Systems:llä on laaja valikoima ohjelmistoja infrasuunnitteluun. Yritys tarjoaa rakenteiden tietomallintamiseen kahta ohjelmistoa: AECOSim Building Designer ja Speedikon. Näistä kahdesta suurin kehitys tapahtuu AECOSim:n puolella ja se onkin soveltuvampi tämän opinnäytetyön toimeksiantajan tarkoitukseen kuin Speedikon, joka on ollut käytössä lähinnä Saksassa erilaisissa projekteissa, mutta se ei ole osoittautunut sopivaksi heidän käyttöön. AECOSim on ohjelmistopaketti, jossa on viisi eri osaluuetta: arkkitehtisuunnittelu, rakennesuunnittelu, mekaaninen suunnittelu, sähkösuunnittelu ja MicroStation. Eli ohjelmistoperheellä on täysi toimivuus sekä MicroStationiin, että tietomallintamiseen. AECOSim:n lisäksi kalliopinnan tuottamiseen Bentley Systems:llä on PowerCivil for Country. Näillä kahdella ohjelmistolla kalliokohteen tietomallintaminen on mahdollista. Bentley Systems:llä on lisäksi pistepilviohjelmisto Bentley Descartes, jota voisi myös käyttää hyödyksi AECOSim:n kanssa. [26.]

5 Ohjelmistojen toimivuus kalliokohteessa

Tässä luvussa perehdytään saatuihin tuloksiin jokaisen ohjelmiston toimivuudesta erikseen eri ongelmaan. Tulokset on saatu haastatteluiden ja kyselyiden avulla ohjelmistojen asiantuntijoilta ja myyjiltä.

5.1 Todellisen louhintapinnan aiheuttamat ongelmat

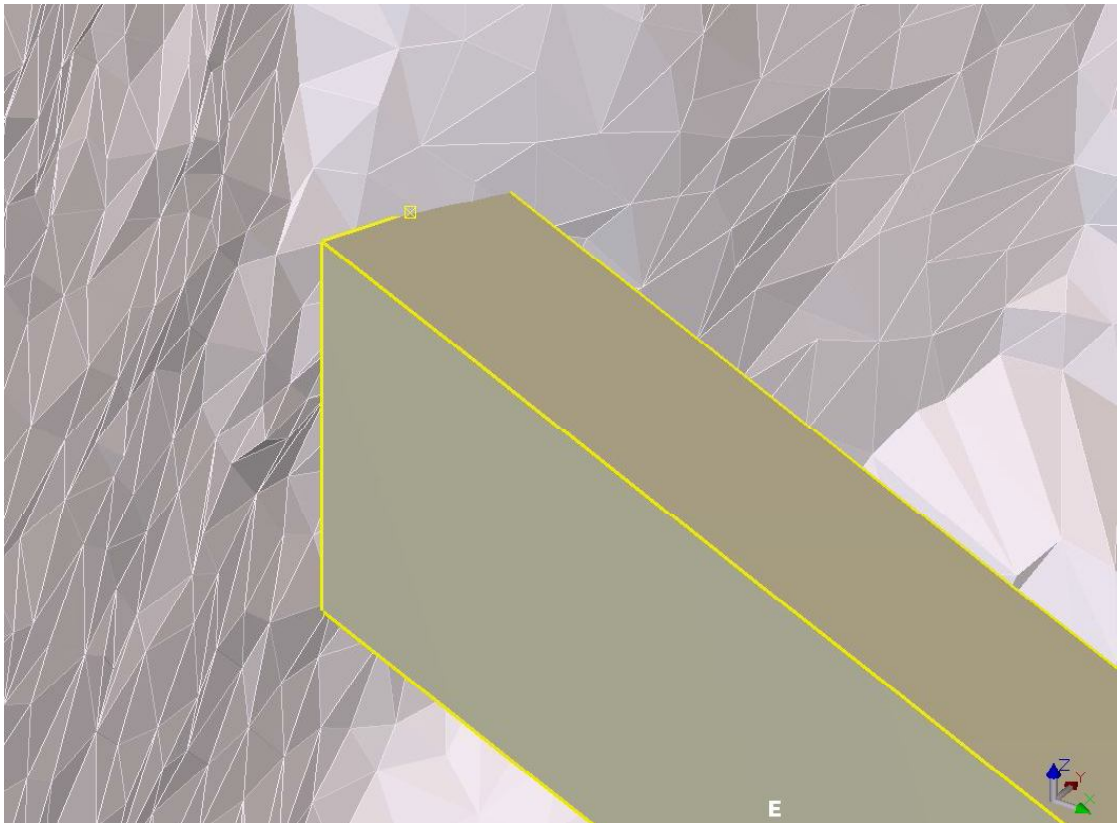
Todellisen louhintapinnan ongelmiin tietomallintamisessa etsittiin vastausta seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

- Ymmärtääkö ohjelmisto kaarevia ja epäsymmetrisiä pintoja? Aiheuttavatko ne ongelmia ja jos aiheuttavat, minkälaisia? Kuinka paljon lisätyötä kaarevat ja epäsymmetriset pinnat tuovat mallintamiseen?
- Onko mallin muokattavuus helppoa, kun kerran mallinnetut rakenteet teoreettiseen pintaan halutaan venyttää todelliseen louhittuun pintaan?

5.1.1 Tekla Structures

Ohjelmisto ymmärtää tietyssä määrin kaarevia ja epäsymmetrisiä pintoja. Geometrian muodostaminen TS:lla tapahtuu pääsääntöisesti määrittämällä objektille alku- ja loppupiste polyline-työkalulla. Polyline tarkoittaa murtoviivaa, joka sisältää useita pisteitä. Näiden pisteiden väliin muodostetaan geometriamuoto. Geometrian muodostamisessa on siis rajoitteita, koska piirrettävät murtoviivat ovat suoria. Monimuotoiset geometriat voidaan kuitenkin muodostaa siten, että yksi objekti määritellään koostumaan useiden objektien joukosta. Tällöin mallintamiseen kuluvan työn määrä riippuu siitä, kuinka monesta eri osaobjektista varsinainen objekti joudutaan muodostamaan eli kuinka tarkasti haluttu objekti halutaan mallintaa. Mikäli pienempi tarkkuus riittää, vaatii objektin mallinnus vähemmän työtä. [27.]

Rakenteet voidaan venyttää todelliseen louhintapintaan useilla TS:n työkalulla, esimerkiksi fit part end-, fit part with line- ja move käskyillä. Venyttämistyö on kuitenkin manuaalista ja vie luonnollisesti paljon aikaa. Myöskään näillä työkaluilla rakenteet eivät osu tarkasti todelliseen louhintapintaan, koska objektin reunat ovat suoria (Kuva 10.). Rakenteiden venyttämistyö manuaalisesti onnistuu sekä referenssinä, että natiivina tietomalliin tuotuun todelliseen louhintapintaan. Referenssinä tietomalliin tuotu todellinen louhinta on edullisempi ratkaisu, jos täysin mittatarkkaan mallinnukseen ei ole tarvetta päästä. Jos todellinen louhinta tuodaan natiivina, on monimuotoisen geometrian muodostaminen vasten todellista louhintapintaa mahdollista toteuttaa niin, että rakenteet saadaan täysin todellista louhintaa vasten. Tämä onnistuu siten, että natiivista voi ohjelmointirajapintojen kautta kysellä natiiviobjektien geometriaa, jolloin laatta tai muu rakenne saadaan myötäämään louhittua kalliopintaa. [27; 28.]

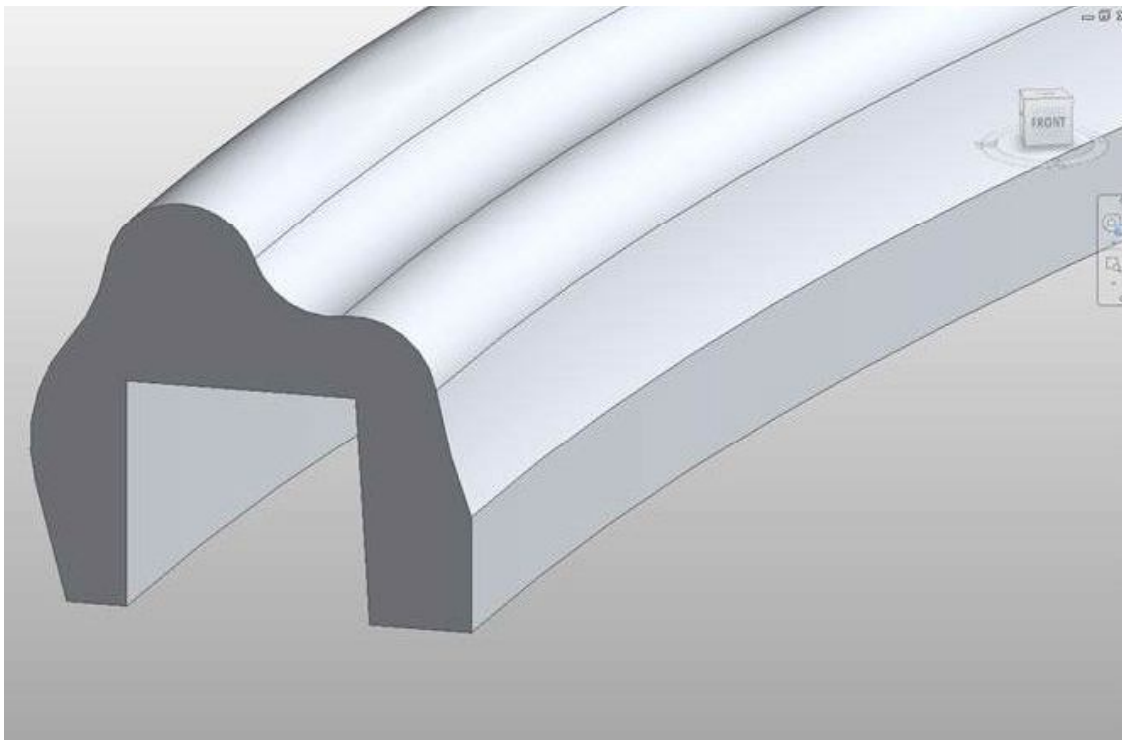


Kuva 10. Palkki venytetty move-käskyllä referenssipintaan Tekla Structures ohjelmistossa [29].

5.1.2 Revit Structure

RS ohjelmistolla voidaan mallintaa sekä kaarevia että epäsymmetrisiä pintoja. Rakenteita voidaan mallintaa kahdella RS:n työkalulla: family-objekteina tai massoittelemalla. Family-objekti on RS:n valmis määritelty objekti objektikirjastosta. Ohjelmiston massoitteletyökalu soveltuu erityisesti monimuotoisen geometrian omaavien rakenteiden mallintamiseen. Kuitenkin, mitä monimuotoisempi kappale tai rakenne on kyseessä, sitä enemmän sen mallintaminen vaatii määrittelytyövaiheita. Rakenteet muokataan todelliseen louhintapintaan esimerkiksi siten, että ensin tuodaan todellisesta louhinnasta pistepilven kautta tehty kolmioverkko AutoCAD:iin, jossa siitä voidaan tehdä joko pintamalli tai solid-malli. Tiedosto tuodaan tämän jälkeen Revitin massafamilyyn, jolloin pinta on hyödynnettävissä RS:ssa. Solidin pintojen avulla voidaan seinä-, katto- ja laatta työkaluilla muodostaa erilaisia rakenteita. Betonirakenteet saadaan haluttuun pintaan joko manuaalisesti venyttämällä tai kalliotilasta tehdystä solidista vähentämällä siitä toinen tilavuusmassa eli esimerkiksi betonirakenne. Tilavuusmassojen vähentäminen on yksinkertaista, koska ohjelma laskee tilavuudet automaattisesti. Sen sijaan paljon työtä vaatii kalliotilasta massaobjektin tekeminen. Tämä tapahtuu siten, että kalliotilasta

tehdään määrätyn välein poikkileikkauksia, jotka sitten yhdistämällä saadaan yhdeksi tilavuusmassaksi eli solidiksi. Mitä tiheämmin välein, eli mitä tarkemmin tunnelin profiili tehdään, sitä enemmän solidin tekeminen vaatii työtä. [30.]



Kuva 11. Revit Structures ohjelmistolla tehty yksinkertainen tunneli massoittelulla [30].

5.1.3 AECOSim Building Designer

AECOSim:ssa on täydet MicroStation:n ominaisuudet monimuotoisen geometrian hallintaan, joten monimuotoiset geometriat eivät tuota ongelmia. Se, kuinka paljon työtä kaarevat ja epäsymmetriset pinnat tuovat mallintamiseen, riippuu siitä, mistä mallintamisen alittaa, eli kuinka paljon etukäteistyötä tehdään todellisen louhintapinnan kanssa, ennen varsinaisten rakenteiden mallintamista. AECOSim:iin voidaan tuoda laserkeilaamalla saatu pistepilvi yksinkertaisesti. Jos pistepilveä halutaan muokata, voidaan se tehdä Bentley Systems:n Descartes pistepilviohjelmistolla, jossa siitä voidaan tuottaa varsinainen pinta ja tämä pinta tuoda AECOSim:iin. Betonirakenteiden venyttäminen todellista louhintapintaa vasten onnistuu useilla ohjelmiston työkaluilla. [26.]

5.2 Maailmankoordinaatisto

Maailmankoordinaatistossa työskentelemiseen etsittiin vastausta seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

- Pystytäänkö tietomalli tekemään maailmankoordinaatistoon?
- Aiheuttaako maailmankoordinaatistossa työskenteleminen malliin epätarkkuutta, kun ollaan kaukana origosta? Kuinka paljon epätarkkuutta syntyy?

5.2.1 Tekla Structures

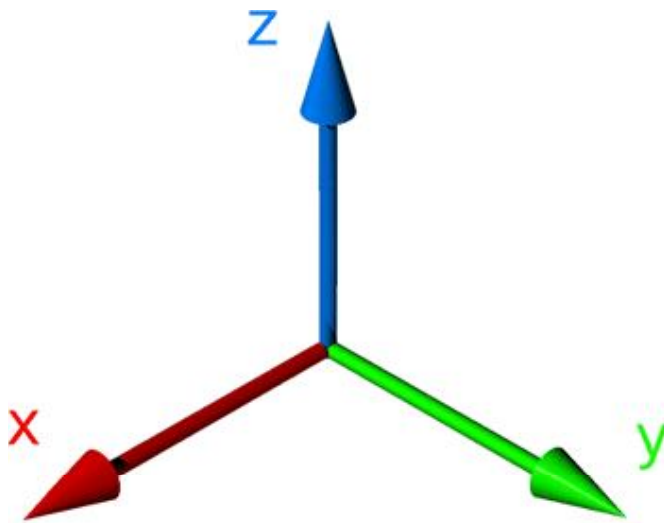
TS ei ole suunniteltu käyttämään maailmankoordinaatistoa. Origo tulisi valita mahdollisimman lähelle mallinnettavia osia. Koordinaatiston origo voidaan asettaa korkeintaan 50 kilometrin päähän kalliokohteesta, jotta tietomallintaminen on vielä mahdollista. Tämä johtuu siitä, että näytönohjain tai muutkaan laitteet eivät hallitse tietoa, joka on tätä kauempana. Sijaintitietoa voidaan kuitenkin konvertoida apumuuttujien kautta maailmankoordinaatistoon tietomallista tuotettuihin raportteihin ja piirustuksiin tietomallin itsessään pysyen lähellä origoa. [27; 28.]

5.2.2 Revit Structure

Haastatteluissa selvisi, että RS:lla ei voi tehdä tietomallia maailmankoordinaatistoon, koska origo on tällöin liian kaukana mallista. Jos kalliokohde mallinnettaisiin RS:lla, tulisi origo tuoda lähemmäs rakennuskohdetta ja perustaa näin ollen hankkeelle oma projektikohtainen koordinaatisto. Yhteisestä koordinaatistosta tulisi sopia projektin alussa kaikkien hankkeen osapuolten kanssa. Myös RS:ssa, kuten TS:ssa, voidaan dokumentteja muokata maailmankoordinaatistoon, kuitenkin niin, että itse tietomalli pysyy alkuperäisessä koordinaatistossa. Tietomalliin voidaan myös tuoda esimerkiksi AutoCAD:llä maailmankoordinaatistoon piirrettyjä dokumentteja referenssinä. [30.]

Keskustelussa heräsi kuitenkin toinen ongelma liittyen koordinaatteihin. Autodeskin AutoCAD:lla kolmioverkosta tuotetusta todellisen louhinnan pintamallissa tulee jokaisella pisteellä, kun z-koordinaatti muuttuu, olla myös xy-pisteellä eri arvo edelliseen pisteeseen nähden. Eli pystysuorien pintojen tekeminen pintamalliin mittatarkasti ei onnis-

tu, jolloin myöskään rakenteiden mallintaminen mittatarkasti ei onnistu, kun ne mallinetaan todellisen louhintapinnan mukaan. [30.]



Kuva 12. X-Y-Z-koordinaatisto [31].

5.2.3 AECOSim Building Designer

AECOSim:lla tietomallin tekeminen onnistuu sekä maailmankoordinaatistoon, että paikalliskoordinaatistoon. Maailmankoordinaatistossa työskenteleminen saattaa aiheuttaa epätarkkuutta tietomalliin, kun ollaan kaukana origosta. Niinpä, jos halutaan varmistua siitä, ettei koordinaattivirheitä synny, voidaan apuna käyttää ylimääräisiä koordinaatteja. Eli tietomalli tehdään tällöin haluttuun koordinaatistoon niin, että mallin origo on mahdollisimman lähellä itse kohdetta. Tämän jälkeen, kun malli halutaan muokata maailmankoordinaatistoon, on se mahdollista siirtämällä ja kääntämällä saada siihen. Tai vaihtoehtoisesti, mikäli tietomalli tehdään suoraan maailmankoordinaatistoon, tulee kaikki oudot kulmat, joita mallissa mahdollisesti esiintyy, käsitellä erikseen. [26.]

5.3 Suunnitelmien yhteensopivuus

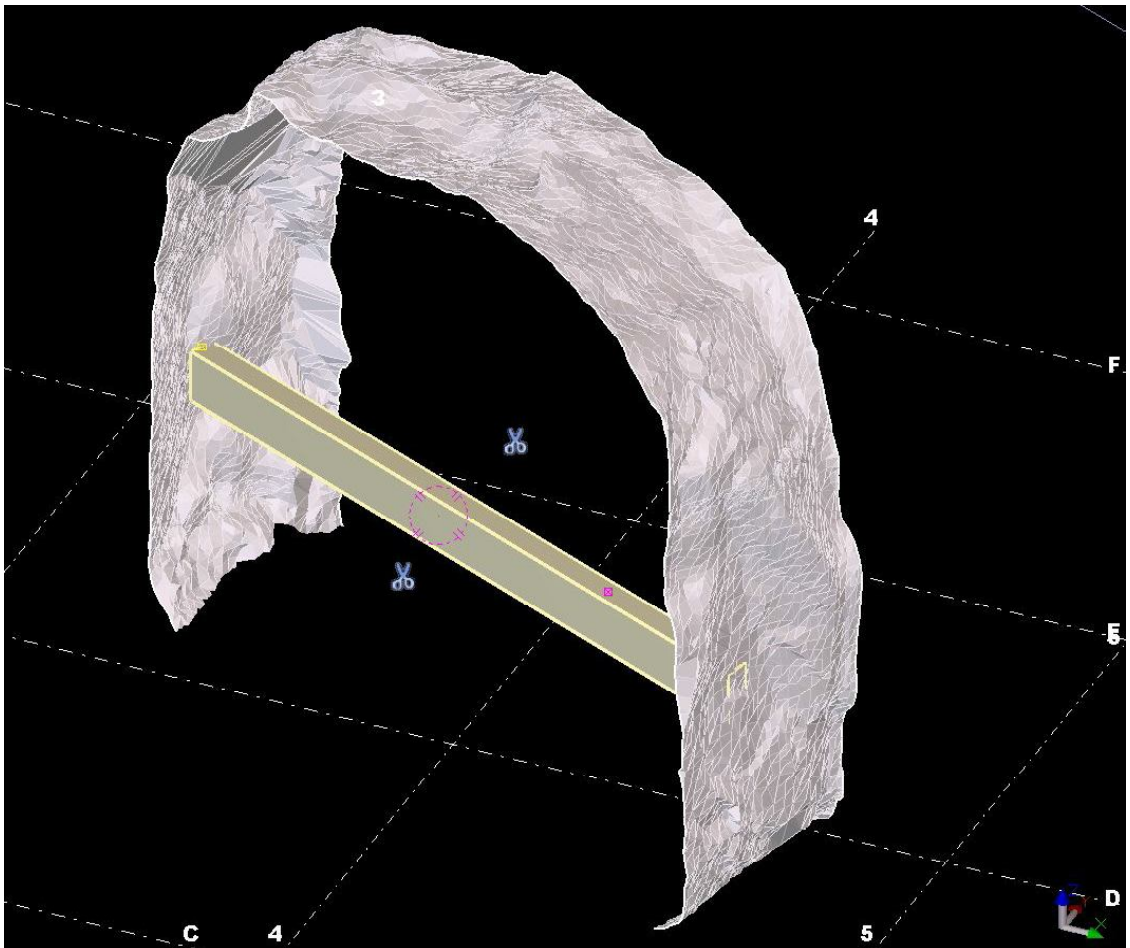
Suunnitelmien yhteensopivuuteen etsittiin vastausta seuraavalla tutkimuskysymyksellä:

- Saadaanko jo mallinnettuun malliin tuotua todellinen louhinta, joka on saatu esimerkiksi laserkeilauksen avulla? Tuleeko tietomallista tällöin liian raskas ja hidas pyöritettäväksi? Miten se tuodaan malliin?

- Miten tiedonsiirto onnistuu? Ymmärtääkö ohjelmisto IFC- ja LandXML tiedonsiirtoformaatteja?

5.3.1 Tekla Structures

Louhintapinnan tuominen pintamallina TS:iin on tietyssä määrin mahdollista extranetissä olevan lisätyökalun avulla. Tällä hetkellä louhintapinnan tuonti TS:iin onnistuu parhaiten kolmioituilla dwg- tai dxf-verkoilla (Kuva 13.). Todellisen louhinnan tuonti tietomalliin kasvattaa luonnollisesti sen kokoa ja saattaa hidastaa tietomallissa työskentelyä. Kuinka paljon ohjelmisto hidastuu, riippuu tietomallin koosta, käytettävästä tietokoneesta ja muusta työskentely ympäristöstä. [27.]



Kuva 13. Kolmioitu dwg-verkko toteutuneesta louhinnasta tuotu Tekla Structures ohjelmistoon [29.]

Tekla on aina panostanut jouhevaan tiedonsiirtoon ja onkin alan huippuja siinä. TS ymmärtää hyvin IFC tiedonsiirtoformaattia. TS ei lue suoraan LandXML formaattia.

Teklan Civil ohjelmisto sen sijaan lukee, joten sitä kautta LandXML voidaan konvertoida TS:lle sopivampaan muotoon. Jotta todellinen louhittu kalliopinta voidaan tuoda malliin, tulee laserkeilaamalla saatu pistepilvi käsitellä kolmioverkoksi ulkopuolisella ohjelmistolla, esimerkiksi Leica Cyclonella ja tuoda TS:iin dwg- tai dxf-tiedostona eli Autodeskin tiedostotyyppinä. Tieto todellisesta louhinnasta tuodaan TS:iin joko referenssinä tai natiivina. Ero näiden välillä on, että referenssi ei sisällä tietoa vaan se on vain visuaalinen pinta. Natiivi on raskaampaa kuin referenssitieto ja se on niin sanotusti oikea pinta. Kun todellinen kalliopinta tuodaan TS:iin natiivina, se muutetaan levyksi, esimerkiksi PL30, jolloin ohjelmisto ymmärtää sen todellisena objektina. Rakenteiden tuominen louhintapintaa vasten ei onnistu referenssinä mittatarkasti. Natiivina tuotuun louhintaan voidaan rakenteet mallintaa kalliopintaa myöden. Todellisen louhinnan tuominen TS:iin kasvattaa mallin kokoa riippumatta siitä, tuodaanko todellinen louhintapinta natiivina vai referenssinä. [28.]

5.3.2 Revit Structure

Ohjelmisto ymmärtää yleisimpiä tiedonsiirtoformaatteja eli IFC- ja LandXML-muotoja, joten tiedonsiirron eri suunnittelualojen välillä ei pitäisi tuottaa suuria ongelmia. RS toimii infra-alalla yhdyskuntasuunnitteluun käytettävän Civil 3D-tietomallinnusohjelmiston kanssa mutkattomasti yhteen. Ne ovat molemmat Autodeskin ohjelmistoja ja käyttävät samoja tiedostomuotoja. Civil 3D:llä voidaan tehdä kalliotilasta tietomalli ja tuoda ohjelmaan tieto todellisesta louhinnasta. Nämä tiedot voidaan tuoda RS:iin, jolla kalliotilaan tulevat rakenteet mallinnetaan. Tiedonsiirron tärkeyttä kalliotilan suunnittelu ja kalliotilan rakennesuunnittelu alojen välillä ei voi korostaa liikaa. [30.]

Laserkeilaamalla saatu tieto todellisesta louhinnasta voidaan tuoda RS:iin. Kuitenkaan Autodeskin ohjelmistoilla ei pistepilveä voi muokata kolmioverkoksi. Pistepilvi pitää viedä ulkopuoliseen ohjelmaan, kuten Leica Cycloneen, jossa se muokataan kolmioverkoksi, minkä jälkeen Autodeskin AutoCAD-ohjelmalla kolmioverkosta voidaan tuottaa joko pintamalli tai solidi. Vasta tämän jälkeen tieto toteutuneesta louhinnasta tuodaan tarpeen mukaan joko Civil 3D:hen tai RS:iin. [30.]

5.3.3 AECOSim Building Designer

Ohjelmisto ymmärtää sekä IFC-, että LandXML-tiedonsiirtoformaatteja. AECOSim:lla voidaan tehdä rajoitetussa määrin kalliopinnan mallintamista. Kuitenkin parempi keino tähän olisi Bentley Systems:n PowerCivil for Country-ohjelmisto, jossa on täydet valmiudet työskentelyyn maan muotojen kanssa. Sillä voidaan tehdä mitatusta kalliopinasta kolmioverkko tai tilavuusmalli ja tuoda tämä tieto AECOSim:iin, jossa varsinainen rakenteiden mallintaminen tapahtuu. Tietomallin koko luonnollisesti kasvaa, kun tieto todellisesta louhinnasta tuodaan malliin, mutta kuitenkin tietomallin koko on huomattavasti pienempi kuin Autodeskin BIM-sovelluksissa. [26.]

5.4 Muita asioita

Tässä osiossa tarkastellaan vielä muita asioita, jotka heräsivät keskustelujen aikana. Saadaan myös vastauksia siitä, onko ohjelmistolla tehty tietomallinnusta vastaavissa kohteissa ja millaisia kokemuksia niistä on. Lisäksi selvitetään, onko ohjelmisto ollut käytössä muissa yrityksissä kalliokohteiden tietomallintamisessa ja millaista palautetta ohjelmistosta on tullut suoraan käyttäjiltä. Selvitetään, onko ohjelmistoon saatavilla ilmaista kokeiluversiota ja onko käyttökoulutusta mahdollista järjestää.

5.4.1 Tekla Structures

Pöyry Finland:n Civil-osasto, joka suunnittelee maanpäällisiä rakennuksia, on tehnyt tietomallin Kehärata-projektin maanalaisesta asemasta. Tietomalliin on mallinnettu sekä maanpäälliset, että maanalaiset rakenteet. Tietomalliin on tuotu tieto kalliopinnasta referenssinä kolmioverkkona. Kyseinen projekti eroaa normaaleista maanalaisista projekteista, koska se on tehty osin elementtirakenteisena. Tämä tarkoittaa sitä, että asema on pystykuilujen osalta toteutettu betonielementeistä. Aseman paikallavaletut betonirakenteet on kuitenkin myös mallinnettu todellisen louhinnan mukaan. Muitakin maanalaisia kohteita, joissa TS on ollut käytössä, löytyy, esimerkiksi Länsimetro ja erilaisia kaivoksia. [27; 28.]

Haastatteluissa selvisi, että tällä hetkellä kaikilla tietomallinnusohjelmistoilla ongelmia tuottaisi etenkin piirustusten luonti mallista. Tietomalli tehdään aluksi urakkalaskentavaiheessa teoreettisen louhinnan mitoilla ja mallista tuotetaan tässä vaiheessa tarvitta-

vat piirustukset. Tämän jälkeen myöhemmässä toteutussuunnitteluvaiheessa, kun tieto todellisesta louhinnasta saadaan tietomalliin ja rakenteet muokataan sen mukaan, eivät suuret muutokset mallissa välttämättä päivity oikealla tavalla jo tuotettuihin piirustuksiin. Pahimmassa tapauksessa piirustukset joudutaan tekemään kokonaan uudestaan, jos muutokset tietomallissa ovat suuria. [29.]

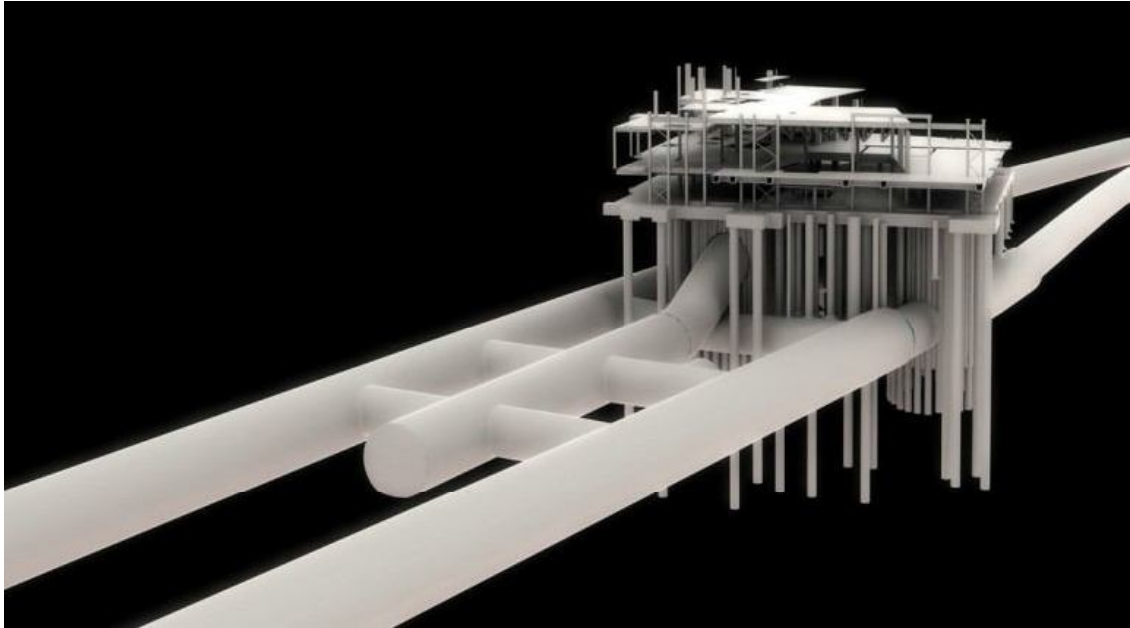
TS:sta ei ole saatavissa ilmaista kokeiluverisota yritykselle, mutta kuitenkin opinnäytetyötarkoitukseen ohjelmisto olisi ollut mahdollista saada. Käyttökoulutus on järjestettävissä. [27.]

5.4.2 Revit Structure

Haastattelussa selvisi, että muun muassa WSP, Sito, Sveco ja Rockplan omistavat lisenssit ohjelmaan, mutta se ei kuitenkaan välttämättä tarkoita sitä, että yritykset käyttäisivät RS:a kalliokohteen tietomallintamisessa. Käyttökokemuksia asiakkailta ei ollut. Haastateltava ei osannut nimetä suoraan yhtäkään kohdetta, jossa tietomallintamalla olisi kalliokohteen suunnittelu tehty ainakaan Autodesk:n ohjelmistoilla. Hän ei kuitenkaan nähnyt ongelmaa siinä, miksi kalliokohteen tietomallintaminen ei onnistuisi RS:lla. Ohjelmistosta on ladattavissa yrityksen kotisivuilla ilmainen kokeiloversio omaan tai yrityksen käyttöön 30 vuorokaudeksi. Käyttökoulutus on myös mahdollista järjestää tarvittaessa. [30.]

5.4.3 AECOSim Building Designer

Keskustelussa selvisi, että Englannissa Lontooseen rakennettavassa Crossrail-rautatie-hankkeessa koko projekti toteutetaan tietomallintamalla käyttäen Bentley Systems:n ohjelmistoja: AECOSim:a ja PowerCivil for Countries:a. Hanke on Euroopan suurin ja mahdollisesti myös maailman suurin rakennusprojekti, jonka on määrä helpottaa Lontoon ylikuormittunutta metro- ja paikallisjunaverkkoa. Hankkeeseen kuuluu laajoja maanalaisia osia, jotka on tehty kyseisillä ohjelmistoilla. Hankkeeseen kuuluu 37 asemaa, joista yhdeksän ovat uusia (Kuva 14.) ja 21 kilometriä uusia tunneleita. Rautatieyhteyden on määrä aloittaa liikennöinti vuonna 2018. [26; 32.]



Kuva 14. Farringdon-aseman lippuhallin rakenne. [33.]

Rakennesuunnitteluun tarkoitetun tietomallinnusohjelmiston asiantuntijaa ei löydy Bentley Systems:ltä Suomesta, joten tietojen saaminen yrityksen ohjelmistoista on melko haastavaa. AECOsim:sta on saatavilla yrityksen käyttöön ilmainen kokeiluversio. Lisäksi käyttökoulutus ohjelmistoon on saatavilla, mutta etäyhteyden kautta ja englannin kielellä, koska suomenkielistä asiantuntemusta rakennesuunnitteluohjelmistoon ei yritykseltä löydy. [34.]

6 Ohjelmistojen vertailu

Tässä osiossa ohjelmistojen vertailu aloitetaan sanallisesti yrityksen tärkeimmistä kriteereistä: todellisesta louhitusta kalliopinnasta, maailmankoordinaatistosta ja suunnitelmien yhteensopivuudesta. Tämän jälkeen yhteenveto-osiossa ohjelmistojen vertailussa käytetään menetelmänä pisteytystä, jossa jokainen ominaisuus pisteytetään erikseen. Ominaisuudet on painotettu niin, että yrityksen kannalta tärkeimmät ominaisuudet vaikuttavat eniten lopputulokseen ja vastaavasti ei niin tärkeät ominaisuudet vaikuttavat vähemmän. Lisäksi ominaisuudet pisteytetään arvosanoin nolasta kolmeen niin, että mikäli ominaisuus onnistuu täydellisesti ohjelmistolla, saa se siitä arvosanan kolme ja mikäli ei ollenkaan, tulee arvosanaksi nolla. Näin selvitetään, voidaanko kaikilla tutkituilla ohjelmistoilla kalliokohde tietomallintaa ja, mikä ohjelmistoista vastaa parhaiten yrityksen tarpeisiin.

6.1 Todellinen louhittu kalliopinta

Todellinen louhittu kalliopinta tuo haasteita rakenteiden tietomallintamiseen monimuotoisen geometrian vuoksi. Ohjelmistot kehittyvät jatkuvasti paremmiksi ja soveltuvammiksi ymmärtämään myös kaarevia ja epäsymmetrisiä pintoja rakenteissa. Vielä kuitenkin monimuotoisen geometrian ymmärtäminen rakenteissa on haastavaa kaikille ohjelmistoille, kun työkalut mallin rakenteiden muokattavuuteen ovat melko suppeita. Keskusteluiden pohjalta selvisi, että TS on pisimmällä kehityksessä monimuotoisten geometrian omaavien rakenteiden mallintamisessa. Monimuotoiset objektit mallinnetaan TS:lla esimerkiksi siten, että ne koostuvat useista osaobjekteista. Mitä monimuotoisempi geometria kappaleella on, sitä enemmän työtä ja osaobjekteja sen mallintaminen vaatii. Objektien venyttäminen vasten kalliopintaa ei ole aivan yksinkertaista ja venyttämistyö on pääasiassa manuaalista, mikäli todellinen louhinta tuodaan referenssitietona malliin. Jos todellinen louhinta sen sijaan tuodaan natiivina, on rakenteiden venyttäminen tarkasti kalliopintaa myöden mahdollista toteuttaa ohjelmistorajapintojen avulla. RS:lla monimuotoisen geometrian mallintaminen onnistuu parhaiten massoittelutyökalulla. Monimuotoisen geometrian mallintamiseen tarvitaan monia määrittelyvaiheita, joten rakenteiden mallintaminen on aikaa vievää. AECOSim:lla rakenteiden venyttäminen kalliopintaa vasten onnistuu useilla ohjelmiston työkaluilla, eikä sen pitäisi tuottaa ongelmia.

TS on ainoa tutkituista ohjelmistoista, jossa konkreettisesti nähtiin, kuinka rakenteet saadaan todellista louhintaa vasten. Tämä lisää luotettavuutta siitä, että ohjelmisto olisi sopivin tähän tarkoitukseen. Myös RS:n työkalu vaikutti toimivalta, mutta konkreettista näyttöä sen toimivuudesta ei saatu eikä esimerkkikohteitakaan ollut, joten se puolestaan heikensi RS:in pisteitä. AECOSim:n tutkiminen jäi näistä ohjelmistoista kaikista pintapuolisimmaksi, koska vastausten saaminen oli haastavaa. Tämä heikentää ohjelmiston pisteitä, koska tulokset jäivät vähäisiksi. Kuitenkin niiden tulosten perusteella, mitä saatiin, oli myös AECOSim:lla mahdollista muokata rakenteet myötäämään epäsymmetristä kalliopintaa.

Kaikki tutkitut ohjelmistot ymmärsivät siis monimuotoista geometriaa, kaarevia ja epäsymmetrisiä pintoja, jotka aiheutuvat todellisesta louhitusta kalliopinnasta, joten tästä vaatimuksesta kaikki ohjelmistot saavat kolme pistettä. Rakenteiden muokkaaminen vasten monimuotoista geometriaa on enemmän tai vähemmän haastavaa kaikille oh-

jelmistoille. TS saa tästä vaatimuksesta kaksi pistettä, RS yhden pisteen ja AECOSim yhden pisteen.

6.2 Maailmankoordinaatisto

Tutkittavista ohjelmistoista TS:lla ja RS:lla ei voida tehdä tietomallia suoraan maailmankoordinaatistoon, vaan projektissa käytettävä koordinaatisto tulee valita aina hankekohtaisesti. Koordinaatiston origo tulee valita näissä ohjelmistoissa mahdollisimman lähelle mallinnettavia osia. TS:ssa on työkalu, jolla voidaan tietomallista tuotetut dokumentit muokata haluttuun koordinaatistoon eli esimerkiksi maailmankoordinaatistoon. Myös RS:ssa on vastaava ominaisuus ja ohjelmaan voidaan tuoda esimerkiksi AutoCAD:llä maailmankoordinaatistoon tehtyjä piirustuksia referenssitietona. AECOSim on ainoa ohjelmistoista, jolla maailmankoordinaatistossa tietomallintaminen on mahdollista. Niinpä TS:lle ja RS:lle kaksi pistettä, koska dokumenttien muokkaaminen maailmankoordinaatistoon on mahdollista. AECOSim saa tästä vaatimuksesta kolme pistettä, koska se on ainut ohjelmisto, jolla maailmankoordinaatistossa tietomallintaminen on mahdollista.

6.3 Suunnitelmien yhteensopivuus

Kaikki ohjelmistot ymmärsivät IFC tiedonsiirtoformaattia, joten tästä vaatimuksesta kaikille ohjelmistoille kolme pistettä. RS ja AECOSim ymmärsivät LandXML tiedonsiirtoformaatteja, toisin kuin TS. Kuitenkin TS:iin voidaan Tekla Civil:n kautta tuoda konvertoitua tietoa LandXML:stä, joten tästä vaatimuksesta RS ja AECOSim saavat kolme pistettä ja TS kaksi pistettä. Myös todellisen louhintapinnan tuominen tietomalliin oli mahdollista kaikilla ohjelmistoilla, tosin kaikilla ohjelmistoilla eri tavoin. TS:iin todellinen louhinta tuodaan kolmioverkkona, joko referenssitiedostona tai natiivina, joka on levyiksi muutettu kolmioverkko. RS:iin todellinen louhinta tuodaan kolmioverkosta muokattuina pintamallina tai solidina, joka on valmis tilavuusmalli. AECOSim:iin tieto todellisesta louhinnasta tuodaan joko kolmioverkkona, tilavuusmallina tai jopa pelkkänä pistepilvenä. Kaikki ohjelmistot saavat tästä vaatimuksesta kolme pistettä.

6.4 Muita asioita

Muita asioita, jotka otetaan myös huomioon sopivinta ohjelmistoa valittaessa, painotetaan vertailussa vähemmän. Näitä asioita ovat:

- Ohjelmasta on saatavilla ilmainen kokeiluversio.
- Käyttökoulutus on mahdollista järjestää.
- Ohjelmistolla on mallinnettu vastaavia kohteita.
- Tiedonsaanti on ollut helppoa.

TS:sta ei ole varsinaisesti saatavissa ilmaista kokeiluversiota, mutta opinnäytetyötarkoitukseen se olisi ollut mahdollista saada. RS:sta on Autodeskin kotisivuilla ladattavissa ilmainen kokeiluversio 30 päiväksi. AECOSim:stä olisi mahdollista saada kokeiluversio ainakin kyseistä opinnäytetyötä varten. Niinpä tästä osiosta TS:lle kaksi pistettä, RS:lle kolme pistettä ja AECOSim:lle kaksi pistettä.

Käyttökoulutuksen järjestäminen onnistuu kaikista ohjelmistoista. Tosin, koska Bentley Systems:llä ei ole suomenkielistä asiantuntijaa eikä myöskään kouluttajaa rakennesuunnitteluohjelmistoista, olisi koulutus mahdollista järjestää vain englanniksi ja etäyhteyden kautta. Myös paikan päällä yrityksessä koulutus on mahdollista järjestää niin, että asiantuntija lennätetään paikan päälle. Tällöin hinta olisi toki paljon korkeampi. TS ja RS saavat tästä osiosta kolme pistettä ja AECOSim yhden pisteen.

Tärkeä asia valittaessa soveltuvampaa ohjelmistoa on tieto siitä, että ohjelmistoa on käytetty vastaavassa tarkoituksessa eli kalliokohteen rakenteiden tietomallintamisessa. Se lisää luottamusta siitä, että mallintaminen ohjelmistolla on ylipäätään mahdollista. TS on ollut käytössä muutamassa vastaavassa hankkeessa, esimerkiksi Länsimetrossa. Myös Pöyry Finland:n Civil-osasto on tehnyt oman mallinsa kokeilumielessä Kehäradan osasta. RS:sta ei sen sijaan ollut vastaavia kokemuksia. Bentley Systems:n ohjelmistoilla sen sijaan tehdään Lontooseen Euroopan suurinta rautatieprojektia tietomallintamalla ja AECOSim:lla hankkeeseen mallinnetaan rakenteet. Niinpä tästä vaatimuksesta TS saa kolme pistettä, RS nolla pistettä ja AECOSim kolme pistettä.

Myös tiedonsaannin helppous yrityksistä pisteytetään. Se, saadaanko yrityksiltä tässä vaiheessa tietoa, kertoo jotain siitä, saadaanko tietoa silloin, kun sitä todella tarvitaan,

jos ohjelmiston kanssa tulee ongelmia tai kysymyksiä. Suomalaisesta TS:sta on tiedonsaanti ollut helpointa ja palvelu ystävällisintä. TS:lla on paljon ohjelmiston asiantuntemusta ja käyttäjiä Suomessa. Lisäksi ohjelmiston asiantuntemusta on tilaajayrityksellä, jossa TS on käytössä maanpäällisten rakennusten rakennesuunnittelussa. RS:sta tiedon saaminen ei ole ollut yhtä mutkatonta, kun kysymyksiin vastaamiseen tai yhteydenottoopyyntöihin on kulunut paljon aikaa. Palvelu on kuitenkin ollut ystävällistä. AECOsim:sta tiedon saaminen on ollut haastavinta, koska Bentley Systems:llä ei ole ohjelmiston asiantuntijaa Suomessa. Tästä osiosta TS saa kolme pistettä, RS kaksi pistettä ja AECOsim yhden pisteen.

6.5 Yhteenveto vertailusta

Taulukossa 1. on vaatimukset pisteytettynä. Painotus on tehty niin, että yrityksille tärkeimmissä vaatimuksissa painotus on suurempi eli ne vaikuttavat lopputulokseen 15 - 20 prosenttia. Näitä vaatimuksia ovat todellisen louhitun kalliopinnan tuomat haasteet, mallin muokattavuus ja maailmankoordinaatistossa työskenteleminen. Muiden vaatimusten painotus on viisi prosenttia.

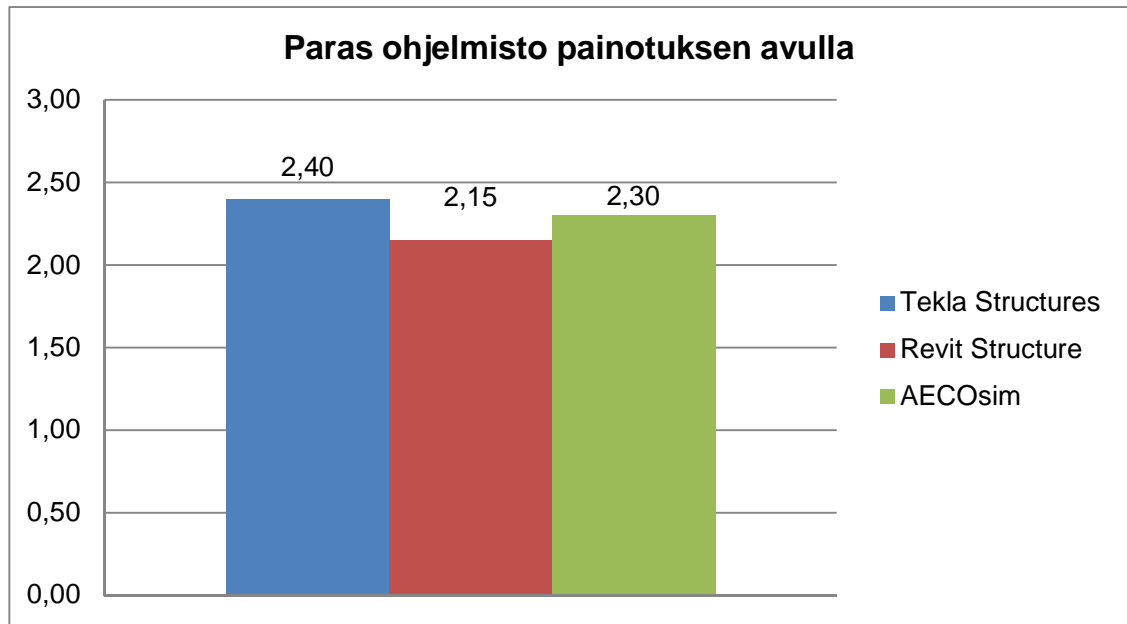
Taulukko 1. Pisteytystaulukko vaatimuksista ja niiden toteutumisesta ohjelmistoissa

Painotus %	Tietokoneohjelman nimi			Yrityksen vaatimus
	TS	RS	AECOsim	
0,2	3	3	3	Kaarevien ja epäsymmetrisien pintojen ymmärrys
0,2	2	1	1	Rakenteet saadaan muokattua kalliopintaan
0,15	2	2	3	Tietomalli toimii maailmankoordinaatistossa
0,05	3	3	3	IFC-yhteensopivuus
0,05	2	3	3	LandXML-yhteensopivuus
0,15	3	3	3	Todellinen louhittu kalliopinta saadaan tietomalliin
0,05	2	3	2	Ohjelmistosta on saatavissa ilmainen kokeiluversio
0,05	3	3	1	On mahdollista saada käyttökoulutus
0,05	3	0	3	Ohjelmistolla mallinnettu vastaavia kohteita
0,05	3	2	1	Tiedonsaanti on ollut helppoa
	2,40	2,15	2,30	Pisteitä yhteensä

7 Tulokset

Pisteytystaulukon avulla on tehty kuvio (Kuvio 1.), josta selviää jokaisen ohjelmiston saavuttamat pisteet vertailussa. Paras pistemäärä on siis kolme pistettä, mikäli jokainen vaatimus on täytynyt täydellisesti.

Kuvio 1. Ohjelmistojen pisteet



Opinnäytetyön tulos osoittaa, että mikään tässä opinnäytetyössä tutkituista rakenteiden tietomallinnusohjelmistoista ei vastaa täydellisesti kalliokohteen ja yrityksen asettamiin vaatimuksiin. Painotuksen avulla saaduista tuloksista selvisi, että TS on soveltuvin ohjelmisto yrityksen tarkoitukseen, AECOSim sijoittui toiseksi ja RS kolmanneksi. Vaikka yksikään ohjelmistoista ei saanut täysiä pisteitä vertailusta, saadut tulokset ohjelmistojen asiantuntijoilta osoittavat, että kaikilla tutkituilla ohjelmistoilla kalliokohteen tietomallintaminen on mahdollista. Se, miten järkevää ja kustannustehokasta kalliokohteen tietomallinnus tämän päivän tietomallinnusohjelmistoilla on, nähdään vasta kokeilemalla mallinnusta käytännössä projekteissa. Välttämättä tietomallinnuksella saavutettavat hyödyt eivät ole niin suuria, että ne korvaavat tänä päivänä kalliokohteen tietomallintamiseen kuluvan ajan ja työn.

Suurimmat ongelmat tämän päivän tietomallinnusohjelmistoilla liittyvät todellisen louhitun kalliopinnan monimuotoiseen geometriaan, jota vasten kalliotilaan tulevat rakenteet

venytetään, eli mallin muokattavuuteen. Jokaiselle tutkitulle ohjelmistolle se aiheutti ongelmia. Kaikki ohjelmistojen valmistajat kuitenkin tekevät kehitystyötä ohjelmistojen parissa jatkuvasti, joten kalliokohteen mutkaton tietomallintaminen voi olla lähempänä kuin kuvitellaankaan.

Maailmankoordinaatistossa työskenteleminen oli yksi tärkeimmistä kriteereistä tietomallinnusohjelmistolle, kun tätä opinnäytetyötä lähdettiin tekemään. Opinnäytetyön aikana selvisi, ettei tietomallinnusohjelmistoja ole tehty toimimaan maailmankoordinaatistossa. AECOSim on ainoa ohjelmistoista, jolla se oli mahdollista. Kuitenkin opinnäytetyön edetessä, kun selvisi, ettei tietomallintaminen ole välttämättä ollenkaan mahdollista maailmankoordinaatistoon, tuli yrityksen puolelta uusi ajatus siitä, ettei se välttämättä ole pakollista. Tällöin on ensiarvoisen tärkeää varmistua siitä, että sama koordinaatisto säilyy suunnitelmissa sekä maan päällä, että maan alla.

AECOSim:n tulosta ei voi pitää täysin totuudenmukaisena, koska tässä opinnäytetyössä saadut vastaukset jäivät kovin suppeiksi, pelkästään sähköpostikeskustelujen vuoksi. Kyseinen ohjelmisto vaikutti kuitenkin kovin mielenkiintoiselta, etenkin käynnissä olevan Lontoon rautatiehankkeen perusteella ja voi olla, että se olisi jopa parempi ja soveltuvampi ohjelma kalliokohteen tietomallintamiseen kuin TS. Tosin ohjelmiston haittapuolena on se, ettei suomenkielistä asiantuntemusta tai käyttötukea löydy, mitä TS:sta löytyy paljon sekä opinnäytetyön tilaajayritykseltä, että suoraan ohjelmistoyritykseltä.

8 Yhteenveto

Pöyry Finland Oy:n kalliotilojen yleis- ja rakennesuunnittelu osastolle tehdyn opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä rakennesuunnitteluun sellainen tietomallinnusohjelmisto, jolla maanalaisen kalliotilan tietomallintaminen on mahdollista ja lisäksi valita yrityksen vaatimuksiin soveltuvin ohjelmisto. Taustatietojen määrittäminen oli suhteellisen helppoa, koska tiedettiin, mitkä ovat ne vaatimukset, jotka kalliotila asettaa tietomallinnusohjelmistolle. Kuitenkin taustatyön tekemiseen kului paljon aikaa, koska kalliorakentamisalaan liittyvää kirjallisuutta tai muuta tietoa on niukasti saatavilla. Haastavan opinnäytetyöstä teki myös se, että kalliokohteen rakennusprosessi eroaa niin sanotusti normaalin maanpäällisen rakennuksen rakennusprosessista ja kaikki kokemus kalliotilan rakennusprosessista oli se, mitä on ehtinyt näkemään ja kokemaan työskennellessä.

sä yrityksessä opiskelujen ohessa. Lisäksi opinnäytetyöstä haastavan teki se, että tietomallintaminen ei ollut kovin tuttu aihe, eikä tietomallintamalla ollut tehty vastaavaa kalliokohteen suunnittelua tiettävästi, kun opinnäytetyö aloitettiin. Opinnäytetyö oli haastava, mutta palkitseva ja sitä tehdessä oppi paljon, sekä kalliokohteen suunnittelu-prosessista, että tietomallintamisesta.

Kirjallisuuden ja Internetin avulla selvisi tietomallipohjaiseen suunnitteluun siirtymiseen liittyvät edut verrattuna perinteiseen kaksiulotteiseen CAD-suunnitteluun. Näitä etuja oli muun muassa suunnitteluprosessin tehostuminen ja tarkentuminen, kun tieto on kaikkien rakennushankkeessa mukana olevien osapuolten saatavilla ja suunnitelmien yhteensopivuuden tarkastaminen törmäystarkasteluilla. Tämän jälkeen selvitettiin, mitä suunnitteluvaiheita kalliokohteen suunnitteluprosessiin kuuluu ja miten rakennesuunnitelmat tehdään aluksi urakkalaskentavaiheessa teoreettisen louhintapinnan mukaan ja myöhemmin toteutussuunnitteluvaiheessa muokataan todellista louhintapintaa vastaaviksi. Näin saatiin tarkennettua ne haasteet ja vaatimukset, jotka kalliokohteen suunnitteluprosessi ja kalliopinta tuovat tietomallinnusohjelmistolle. Muita vaatimuksia, joihin tietomallinnusohjelmiston tuli vastata, oli: maailmankoordinaatistossa työskenteleminen ja suunnitelmien yhteensopivuus.

Ohjelmistojen valitseminen oli helppoa, koska Suomessa käytössä olevia rakennesuunnitteluun tarkoitettuja tietomallinnusohjelmistoja ei ole kovin useita. Niinpä päädyttiin tutkimaan Teklan, Autodeskin ja Bentley Systemsin tietomallinnusohjelmistoja. Päätökseen vaikutti myös se, että jokaisen ohjelmistoyrityksen jokin ohjelmisto on käytössä jo opinnäytetyön tilaajayrityksellä, joten ohjelmistoyritykset olivat sitä kautta tuttuja. Tietomallinnusohjelmistoja alettiin tutkia tarkemmin ohjelmistojen asiantuntijoille tehdyillä haastatteluilla ja keskusteluilla ja selvitettiin ohjelmistojen soveltuvuutta kalliokohteen suunnitteluun. Itse ohjelmistojen toimivuuden vertailu oli haastavaa, koska ainoa ohjelmistoista, josta oli etukäteen vähän tuntumaa, oli Tekla Structures. Muut ohjelmistot ja niiden toimivuus olivat täysin vieraita.

Alun perin opinnäytetyössä oli tarkoituksena päästä kokeilemaan valittuja tietomallinnusohjelmistoja käytännössä. Ohjelmistojen tarjoajien puolelta kaikkiin ohjelmistoihin olisi ollut saatavilla kokeilulisenssi, mutta ongelmaksi tuli se, että opinnäytetyön edetessä kävi ilmi, miten monimuotoisia ja erilaisia jokainen ohjelmisto oli keskenään. Niinpä kaikkien ohjelmistojen käyttämisen opetteleminen olisi vienyt kohtuuttomasti aikaa ja vaivaa, joten tätä ei ollut mahdollista toteuttaa. Jatkokehitysideana tälle opin-

näytetyölle olisikin tehdä käyttötutkimus siitä, pitääkö tässä opinnäytetyössä saadut tulokset paikkaansa myös käytännössä. Jatkotutkimuksessa voisi selvittää etenkin, miten piirustusten luonti tietomallinnusohjelmistoissa onnistuu. Tässä opinnäytetyössä kävi ilmi, että ongelmia mallintamisessa tulisi viimeistään silloin, kun teoreettisilla mitoilla mallista tuotetut piirustukset, eivät välttämättä päivittyisikään, kun malli muokataan todellista kalliopintaa vastaavaksi. Lisäksi voisi selvittää, miten betonirakenteiden raudoitukset käyttäytyvät, jos betonirakenteita venytetään, kuinka paljon raudoituksia joudutaan rakenteiden lisäksi muokkaamaan. Jatkotyötä tekemään vaadittaisiin henkilö, jolle tietomallintaminen on tuttua mahdollisimman monesta eri ohjelmistosta. Koska käyttötutkimusta ei tässä opinnäytetyössä voitu toteuttaa, voidaan tehtyä tutkimusta ja saatuja tuloksia pitää ennemminkin suuntaa antavina, yrityksen tehdessä lopullista valintaa tulevasta kalliokohteen tietomallinnusohjelmistosta. Lisäksi Bentley Systems:n ohjelmistosta tulisi tehdä lisäselvityksiä, koska ohjelmistosta saadut tulokset jäivät melko suppeiksi. Eräs jatkokehitysidea tälle opinnäytetyölle olisi tarkempi tutkimus AECOsim ohjelmiston käytöstä ja selvittää voidaanko todella raakaa pistepilveä käyttää ohjelmistossa suoraan hyväksi. Mikäli näin on, vähentäisi se huomattavasti työtä, joka todellisen louhintapinnan tietomalliin saamisen eteen joudutaan tekemään. Tällöin data todellisesta louhinnasta saataisiin suoraan työmaalta ohjelmaan, ilman jälkikäsitteilyä.

Varsinaisessa ohjelmistojen vertailussa ja yritykselle soveltuvimman ohjelmiston valinnassa käytettiin pisteytysmenetelmää, jossa jokainen ohjelmistolta vaadittava ominaisuus pisteytettiin arvosanoin nolasta kolmeen sen mukaan, miten hyvin ohjelmisto selvisi vaatimuksesta. Lisäksi pisteytysmenetelmässä vaatimukset painotettiin niin, että tärkeimmät vaatimukset vaikuttivat enemmän lopputulokseen kuin vähemmän tärkeät. Tulokseksi saatiin, että Tekla Structures ohjelmisto oli soveltuvimman yrityksen tarpeisiin. Kaikilla ohjelmistoilla kalliokohteen tietomallintaminen oli mahdollista, mutta mikään ohjelmistosta ei vastannut täydellisesti kaikkiin yrityksen kriteereihin.

Lähteet

- 1 Halttula, Heikki ym. 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK.
- 2 Pöyryn palvelutarjonta Suomessa. 2013. Pöyry Suomen kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://poyry.fi/poyry-suomessa/poyry-suomessa>>. Luettu 18.1.2013.
- 3 Tunnelit ja maanalaiset tilat. 2013. Pöyry Suomen kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://poyry.fi/toimialat-palvelut/liikennejarjestelmat/tunnelit-ja-maanalaiset-tilat>>. Luettu 18.1.2013.
- 4 INFRA FINBIM-työpaketti. Verkkodokumentti. Rym Oy. <<http://www.rym.fi/tutkimusohjelmat/PRE/infracinbimtyopaketti/>>. Luettu 21.1.2013.
- 5 Penttilä, Hannu ym. 2006. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa Yleiset periaatteet. Tampere: Rakennustieto.
- 6 Yleiset tietomallivaatimukset 2012: Osa 5 Rakennesuunnittelu. 2012. Verkkodokumentti. Building Smart Finland. <http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_5_rak.pdf>. Luettu 21.1.2013.
- 7 Rakennuksen tietomalli. 2013. Verkkodokumentti. Wikipedia. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuksen_tietomalli>. Luettu 21.1.2013.
- 8 Tuotemallintamisen peruskäsitteet ja periaatteet. 2005. Verkkodokumentti. Arkit-DATA. <<http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/L5-0.htm>>. Luettu 21.1.2013.
- 9 Törmäystarkastelut. Verkkodokumentti. Imatran Juva Oy. <http://www.imjuva.com/Tietomallinnus_laatusuunnitteluun.html>. Luettu 21.1.2013.
- 10 Valjus, Juha ym. 2007. Tuotemallintaminen rakennesuunnittelussa. Tampere: Rakennustieto.
- 11 Juhola, M.O. ym. 1987. RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus I. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.
- 12 The World of Underground Opportunities. 2013. Verkkodokumentti. Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys MTR: Video maanalaisesta rakentamisesta. <<http://www.youtube.com/watch?v=fGILwarH18s>>. Luettu 8.2.2013.

- 13 Itäkeskuksen kylpylä. 2012. Verkkodokumentti. Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys MTR. <<http://www.getunderground.fi/web/page.aspx?refid=179>>. Luettu 8.2.2013.
- 14 Hallilouhintaa tuhansien asiakkaiden jalkojen alla. 2012. Verkkodokumentti. Kalliorakennus yhtiöt. <<http://www.kalliorakennus.com/portfolio-item/stockmann/>>. Luettu 8.2.2013.
- 15 Aittoniemi, Jarkko. 2012. Tietomallintaminen maanalaisen rakennushankkeen rakennesuunnittelussa. Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö. Hämeen Ammattikorkeakoulu.
- 16 Paineseinä. 2013. Kalliotilojen yleis- ja rakennesuunnitteluosaston projektin tietokanta. Pöyry Finland Oy.
- 17 Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. 2012. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf>. Luettu 15.2.2013.
- 18 Joutsen, Olavi & Mäkelä, Jukka. Pöyry CM. Vantaa. Keskustelu. 1.3.2013.
- 19 Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. 2012. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki. <<http://www.hel.fi/hki/Kv/fi/Kaupunkimittausosasto/Kartat+ja+paikkatiedot/Koordinaatisto>>. Luettu 13.4.2013.
- 20 Käytössä olevia koordinaattijärjestelmiä ja koordinaatistoja. 2013. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Koordinaattij%C3%A4rjestelm%C3%A4>>. Luettu 13.4.2013.
- 21 Tasokoordinaatistot. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/tasokoordinaatistot>>. Luettu 13.4.2013.
- 22 Rakennesuunnittelu ja rakentamisen suunnittelu. 2013. Verkkodokumentti. Tekla Oy. <<http://www.tekla.com/FI/SOLUTIONS/BUILDING-CONSTRUCTION/STRUCTURAL-ENGINEERS/Pages/Default.aspx>>. Luettu 22.2.2013.
- 23 Autodesk Revit -tuotteet. 2013. Verkkodokumentti. Autodesk Inc. <<http://www.autodesk.fi/adsk/servlet/pc/index?siteID=448412&id=18758793>>. Luettu 22.2.2013.
- 24 AutoCAD Civil 3D. 2013. Verkkodokumentti. Autodesk Inc. <<http://www.autodesk.fi/products/autodesk-autocad-civil-3d/overview>>. Luettu 22.2.2013.

- 25 Ratkaisut. 2013. Verkkodokumentti. Bentley Systems Inc. <<http://www.bentley.com/fi-FI/Solutions/>>. Luettu 22.2.2013.
- 26 McGuckin, Randal. Ohjelmistoinsinööri, Bentley Systems Inc. Yhdysvallat. Keskustelu. 3.4.2013.
- 27 Pilli-Sihvola, Sampo. Myyntipäällikkö, Tekla Oy, Espoo. Keskustelu. 4.4.2013.
- 28 Jylhä, Keijo. Pöyry Finland, Vantaa. Keskustelu. 1.3.2013.
- 29 Juusela, Matti. Pöyry Finland, Vantaa. Keskustelu. 27.3.2013.
- 30 Vähäkainu, Pekka. Liiketoiminta-alueen johtaja, Cad-Q, Helsinki. Keskustelu. 4.4.2013.
- 31 Macromedia FreeHand Support Center. 2013. Verkkodokumentti. Adobe. <http://www.adobe.com/support/freehand/basics/3d_animations/>. Luettu 8.3.2013.
- 32 Bentley Partners with Crossrail to Collaborative BIM tools for Europe's largest Construction Project. 2013. Verkkodokumentti. Bentley Systems, Inc. <<http://www.bentley.com/en-US/Corporate/News/News+Archive/2012/Quarter+1/crossrail+collaborative.htm>>. Luettu 3.4.2013.
- 33 Building information modeling (BIM). 2013. Verkkodokumentti. Crossrail Ltd. <<http://www.crossrail.co.uk/benefits/design-innovation#.UV059qLDuCB>>. Luettu 3.4.2013.
- 34 Pehkonen, Jani. Alueellinen asiakasvastaava, Bentley Systems. Keskustelu. 4.4.2013.