

Markus Perälä

# **3D-mallinnuksen ja tulostamisen hyödyntäminen rakennustekniikassa**

Opinnäytetyö

Syksy 2015

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Markus Perälä

Työn nimi: 3D-mallinnuksen ja tulostamisen hyödyntäminen rakennustekniikassa

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 32

Liitteiden lukumäärä:4

---

Rakennuskohteiden suunnitelmien tulkitseminen tuottaa useille ihmisille vaikeuksia, koska rakennuskohteiden suunnitelmat pääsääntöisesti näyttävät pohjakuvan. Pohjakuva on kaksiulotteinen kuva, jossa kohde on kuvattu akseleiden x- ja y-suunnasta. Tässä opinnäytetyössä esitellään 3D-mallinnusta ja 3D-tulostamista. Tavoitteena olisi lisätä kuluttajien tietoisuutta 3D-mallinnuksesta, sekä tulostamisesta. Opinnäytetyössä esitellään Archicad-ohjelmalla tehtyä mallinnusta, sekä vaiheita joita vaaditaan, kun tavoitteena on tulostaa 3D-tulostimella pienoismalli suunnitelmasta.

Opinnäytetyö sisältää myös tietoa eri tulostustekniikoista, joita tämänhetkiset tulostimet käyttävät. Tulostustekniikoiden tietämys on yksi askel hyvään tulosteeseen, koska erilaiset mallit ja materiaalit vaativat erilaisia ominaisuuksia tulostimelta.

Opinnäytetyöhön sisältyy myös kysely, johon vastasi kymmenen ihmistä. Ihmisille esitettiin samasta kohteesta sekä 2D-, että 3D-kuvia, joiden perusteella he vastasivat liitteestä löytyvään kyselyyn.

Avainsanat: 3D, kolmiulotteisuus, 3D-mallinnus, 3D-tulostus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Markus Perälä

Title of thesis: 3D modelling and printing in construction engineering

Supervisor: Marita Viljanmaa

Year:2015

Number of pages:32

Number of appendices:4

---

Reading construction blueprints can be hard for people who do not have experience in reading blueprints. Usually construction blueprints are drawn in 2D-angle and it can be really hard to understand what the blueprint includes. In the thesis a 3D-drawing was presented for the reader and the idea of the thesis was to give some sort of an idea what 3D-drawing and 3D-printing was all about. The thesis presents some advice for people who plan to make 3D-prints and some information can be found in the thesis about materials, printing styles and the steps to take before printing in 3D.

Keywords: 3D, 3D-modelling, 3D-printing

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Tutkimuksen tausta.....	7
1.2 Tutkimuksen tavoite.....	7
2. 3D-MALLINNUS JA TULOSTAMINEN.....	8
2.1 3D-mallinnuksesta yleisesti.....	8
2.2 3D-mallinnusohjelmat.....	9
2.3 3D-TULOSTIMIEN KEHITYS.....	10
2.4 Tulostustekniikat.....	13
2.5 Tulostimen valinta ja materiaalivaihtoehdot.....	15
2.6 3D-tulostamisen tulevaisuus.....	16
3 3D-TULOSETTAVAN RAKENNUKSEN MALLINTAMINEN ARCHICADILLA.....	18
3.1 Aloitus ja piirtäminen.....	18
3.2 Rakennuksen yksityiskohtien suunnittelu ja mallintaminen.....	20
4 3D-TULOSTAMINEN.....	22
4.1 3D-tulostusta edeltävät toimenpiteet.....	22
4.2 Tulostamisen aloittaminen.....	23
5 KYSELYTUTKIMUS PIIRUSTUSTEN HAHMOTTAMISKYVYSTÄ.....	28
5.1 Kyselytutkimuksen tausta.....	28
5.2 Kyselytutkimuksen tulokset.....	29
6 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	31
LÄHTEET.....	32
LIITTEET.....	34

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1 Cubify Cube 14cm x 14cm x 14cm (www.cubify.com) .....	10
Kuva 2 Minifactory 3 (www.minifactory.fi) .....	11
Kuva 3 Stratasys dimension SST 1200ES (www.ebay.com) .....	12
Kuva 4 Kiinalaisten 3D-tulostettu talo Helsingin sanomat .....	16
Kuva 5 Tulostin aloittanut ensimmäisen ABS-muovikerroksen .....	24
Kuva 6 Waterworks tukimateriaalin poistoaine.....	25
Kuva 7 3D-tulostettu talo ja tukimateriaali .....	25
Kuva 8 3D-tulostettu talo puhdistuksen jälkeen .....	26
Kuva 9 3D-tulostetun talon katto.....	26
Kuva 10 3D-tulostettu talo katon kanssa... <b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>	
Kuvio 1 Archicad aloitus.....	18
Kuvio 2 Talo kaksiulotteisena.....	18
Kuvio 3 Talo kolmiulotteisena.....	19
Kuvio 4 Kolmiulotteinen talo katon kanssa.....	20
Kuvio 5 Kolmiulotteinen talo pihamaan kanssa.....	21
Kuvio 6 Pihamaa yksityiskohtien kanssa.....	21
Kuvio 7 Catalyst ohjelman analyysi mallista.....	22
Kuvio 8 Catalyst-ohjelman analyysi netfabb-korjauksen jälkeen.....	26
Kuvio 9 Kysymyksen 1 tulokset.....	26
Kuvio 10 Kysymyksen 2 tulokset.....	27
Taulukko 1 Tulostusmateriaalin valinta.....	15

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>3D</b>	3D tulee englanninkielen sanasta three dimensional, joka tarkoittaa suomeksi kolmiulotteista. 3D esitetään kolmen akselin suhteen (x,y,z), jotka ovat pituus, syvyys ja leveys.
<b>ABS</b>	ABS on muovilaji nimeltään Akrylinitriilibutadieenistyreeni. ABS-muovi on hinnaltaan halpa ja ominaisuuksiltaan kestävä ja kevyt
<b>PLA</b>	PLA on biohajoava muovimateriaali, joka valmistetaan muun muassa maissin tärkkelyksestä. PLA on myös 3D-tulostamisessa käytetty muovi.
<b>PC</b>	Polykarbonaatin lyhenne.
<b>FDM</b>	FDM-menetelmän mukaan nimetty muovinauha, joka tulostettuna on ABS-muovia

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennustekniikassa suunnitelma on nykypäivänä kaiken rakentamisen lähtökohdaksi. Ilman suunnitelmaa ei enää saa edes rakentamista aloittaa ja siksi meillä Suomessa onkin rakennusteknisesti loistavia rakennuksia. Tutkimuksen taustana on antaa näkökulmaa siihen, miten suunnitelmat voisivat olla vieläkin parempia ja kuinka myös rakennusalan ulkopuolelta tuleva henkilö voisi ymmärtää mitä hänelle piirustuksessa yritetään näyttää.

2D-piirustusten lukeminen on asiasta tietämättömälle usein vaikeaa ja kaikkia merkintöjä ei voi kukaan ilman asiaan perehtymistä ymmärtää. Tämän vuoksi tuli päätös lähteä tekemään työtä 3D-mallinnuksesta, jossa piirustuksen pystyy näkemään samalla tavalla kuin valmiin rakennuksen, eli kolmessa ulottuvuudessa (syvyys, pituus, leveys).

3D-tulostaminen tulee kehittymään koko ajan ja on vain ajan kysymys, koska se valtaa oman paikkansa myös rakennusosalalla.

## 1.2 Tutkimuksen tavoite

Tavoitteena on lisätä lukijan ymmärrystä 3D-mallinnuksesta ja tulostuksesta. Tutkimus esittelee lukijalle 3D-ohjelmat sekä ohjelmilla tehtyjä 3D-malleja. Tutkimuksen tavoitteena on myös tulostaa yksi pienoismalli, joka on omakotitalo, jonka pystyy purkamaan pienempiin osiin.

Työssä kerrotaan 3D-mallinnuksen ja –tulostamisen mahdollisuuksista sekä siitä, kuinka jokainen voi itse tehdä 3D-mallin tulostettavaksi tai vain tietokoneen näytöltä esiteltäväksi.

Yksi tutkimuksen tavoite on myös tuoda 3D-mallinnus ja –tulostus lähemmäksi kulluttajia, jotka eivät välttämättä kykene lukemaan 2D-malleja.

## 2. 3D-MALLINNUS JA TULOSTAMINEN

### 2.1 3D-mallinnuksesta yleisesti

3D-mallinnus tarkoittaa esineen esittämistä kolmessa ulottuvuudessa X- Y- ja Z-akselien suhteen. 3D-mallinnus toteutetaan tietokonepohjaisella ohjelmalla, jonka valintaan vaikuttaa piirrettävän mallin tyyli sekä käyttötarkoitus.

3D-mallien piirtäminen on ollut aiemmin hankalaa ja siksi onkin käytetty paljon perinteisempiä viivapiirtotyökalulla varustettuja 2D-ohjelmia, joilla esimerkiksi rakennusten piirustukset ovat olleet helpompia tehdä. Ongelmana 2D-kuvassa on lähinnä se, että sen lukemiseen vaaditaan kykyä hahmottaa mitä kuvassa on, joten esimerkiksi talon markkinoiminen pelkällä pohjakuvalla on hankalaa. Tällaisia tilanteita tulee varsinkin silloin, kun talo on vasta rakenteilla, mutta jo myynnissä.

3D-mallia voidaan käyttää useaan käyttötarkoitukseen. 3D-mallinnusta on käytetty pitkään elokuvateollisuudessa sekä nykypäivänä muun muassa NC-työstökoneiden kanssa. Viimeisin innovaatio on tuottanut 3D-tulostimen, joka tuottaa 3D-mallista tulosteen samalla tavalla kuin normaali tulostin tulostaa kahteen ulottuvuuteen (X ja Y-akseleille).

3D-mallinnuksella pystyy katsomaan mallia samaan tapaan kuin se olisi jo valmiiksi olemassa oleva tuote. 3D-mallinnus antaa mahdollisuuden katsojalle nähdä tuote kolmessa ulottuvuudessa, kun esimerkiksi normaali piirros antaa kuvaajalle vain kaksi ulottuvuutta.

Kuvanlukutaito on tärkeä taito jokaisessa alalla, jolla piirustuksia käytetään paljon. Kuvanlukutaito ei välttämättä ole jokaiselle ihmiselle itsestäänselvyys, kun puhutaan kahdesta ulottuvuudesta, mutta kun kuvaan tuodaan kolmas ulottuvuus kuvan tulkitseminen helpottuu huomattavasti.

(Wings 3D 30.10.2015)



## 2.2 3D-mallinnusohjelmat

3D-mallinnusohjelmia on markkinoilla useita. Yleisesti ohjelman valintaan vaikuttaa muiden käyttäjien kokemukset, sekä oma osaamis pohja. Tutut ja koulutuksessa käytetyt ohjelmat yleensä otetaan mukaan, kun lähdetään mallintamaan 3D-kuvaa. Työssä käytettiin Archicadia, koska se on tuttu opinnäytetyöntekijälle, ja sillä pystyy tallentamaan rakennuksen 3D-tulostuksen vaatimaan tiedostomuotoon.

Ohjelmat eroavat toisistaan piirtotyylin sekä tallennusmuotojen perusteella. Oikea tallennusmuoto on tärkeä varsinkin, kun halutaan tulostaa 3D-mallia, koska tulostimet vaativat tallennusmuodokseen muodon nimeltä StereoLithography (.stl).

Seuraavassa kevyt esittely käytetyimmistä 3D-mallinnusohjelmista:

**Autodesk 3ds Max:** 3ds Maxia käytetään laajalti 3D-mallinnuksessa, ja se on myös elokuvateollisuuden käytössä. Myös arkkitehtuuriset tilat pystytään mallintamaan ohjelmalla vaivattomasti. Autodeskin huono puoli on suhteellisen kallis 5000euron hinta. 3ds Max on myös mahdollista vuokrata kuukausimaksulla, jonka summa on 133€/kk (Autodesk 30.10.2015)

**Archicad:** Archicad on jo pitkään ollut arkkitehtien käyttämä ohjelma sen helppokäyttöisyyden vuoksi. Archicadissa talon pystyy piirtämään kaksiulotteisessa maailmassa ennen kuin sitä tarvitsee viedä 3D-kuvakulmaan. Myös Archicad on kallis ja sen hinnaksi asettuu 6900e. (Micro aided design 30.10.2015)

**Autocad 3D:** Autocad pysyi pitkään 2D-mallinnuksessa, mutta valmisti oman 3D-ohjelmansa huomattuaan 3D-mallinnuksen yleistymisen. Autocadin 3D-ohjelma on hieman kömpelöähkö ja vaikea käyttää, mutta jos käyttäjällä on 2D-autocadista kokemusta, se hieman helpottaa siirtymään 3D-versioon. Autocadin hinta on kuukausimaksuinen ja se asettuu hintaan 167e/kk. Autocad on myös Autodesk-yhtiön alainen ohjelma. Autodesk omistaa myös 3ds Max-ohjelman. (Micro aided design 30.10.2015)

### 2.3 3D-TULOSTIMIEN KEHITYS

Ensimmäiset 3D-tulostimet valmistettiin 1980-luvulla. Isot ja hintavat laitteet eivät tarjonneet tarvittavaa monipuolisuutta tulostamiseen, johon yhtenä syynä oli rajalliset materiaalivaihtoehdot.

Nykyaikainen tallennusmuoto StereoLithography (.stl) on saanut nimensä vuonna 1987, kun Chuck Hull patentoi StereoLithographyn. Hull sai idean keksintöönsä kun hän käytti UV-valoa kovettaakseen pöydän pinnoitteita. (Ponsford, M. ja Glass, N. 14.02.2014)

Tulostaminen myös kotioloissa on mahdollista kehityksen myötä. Eri tulostinvalmistajat ovat alkaneet valmistaa edullisia tulostimia kotikäyttöön. Varsinkin osapaketina tilattavat itsekoottavat tulostimet ovat edullisia ja käyttökelpoisia, ellei niitä käytetä ammattikäytössä.

Oheisessa kuvassa 1 on Cubifyn valmistama Cube, joka on tarkoitettu kotikäyttöön. Hinta opinnäytetyön tekohetkellä on 950 euroa.



Kuva 1 Cubify Cube 14cm x 14cm x 14cm ([www.cubify.com](http://www.cubify.com)).

Toinen varteenotettava ehdokas kotikäyttöön on suomalainen Minifactory, jonka hinta asettuu 1895 euroon (kuva 2).



Kuva 2 Minifactory 3 ([www.minifactory.fi](http://www.minifactory.fi)).

Tulostimia on käytetty ammattikäytössä varsinkin CAD/CAM-jyrsinnän ohella. Tulostamisen hinta on edullinen, kun lähdetään kokeilemaan valmiin mallin toimintaa tulostimella. Toinen vaihtoehto on lähteä jyrsimään mallia suoraan jyrsimellä, missä on riskinä, että osa menee pilalle.

Tulostimia käytetään ammattimaisesti muun muassa koruteollisuuden, hammastekniikan ja veistostaiteen aloilla, mutta myös rakennustekniikassa erilaiset pienoismallit ovat yleistyneet.

Tulostimista on myös syntynyt artikkeli The Economist-lehteen. Artikkelin kuvaus 3D-tulostamisen kehittymisestä. Siinä haudotaan ideaa, jossa tulostimet synnyttäisivät teollisen vallankumouksen, koska ihmisillä on mahdollisuus tulostaa tuotteita itse. (The Economist. 05.09.2015)

Yksi vaihtoehto ammattimaiseen käyttöön on Stratasys dimension SST 1200ES. Kammion koko on 254mm x 254mm x 305mm. Hintaa tulostimella on opinnäytetyön tekohetkellä hieman yli 20 000 euroa. Seinäjoen ammattikorkeakoulun tiloista löytyy myös Stratasys dimension SST, joka on hieman vanhempi versio uudistetusta 1200ES-mallista (kuva 3).



Kuva 3 Stratasys dimension SST 1200ES ([www.ebay.com](http://www.ebay.com)).

## 2.4 Tulostustekniikat

3D-tulostimia on monenlaisia ja niiden myötä myös tulostustekniikoita on useampia. Seuraavaksi kerrotaan minkälaisia tekniikoita tällä hetkellä on saatavilla tulostukseen.

**SLA (stereolithografia).** Vuonna 1988 kehitetty stereolithografia käyttää tekniikkaa, jossa epoksipohjainen fotopolymeeri kovetetaan uv-valolla kerroksittain. Valmis kappale on notkean nesteen seassa kovetettuna, jolloin sen voi poistaa nesteen seasta helposti. SLA-tekniikalla valmistetaan nykypäivänä paljon prototyyppisiä ja muotteja. (RPCase 30.10.2015)

**SLS (selective laser sintering).** SLS-tekniikassa materiaalina on jauhemuodossa oleva muovi. Muovi sulatetaan laserilla kerroksittain, jonka jälkeen päälle laitetaan uusi sulatettava jauhekerros muovia. SLS-tekniikan suurimpia hyötyjä on tukimateriaalin tarpeettomuus, koska muovijauhe itsessään toimii materiaalin tukena tulostuksen ajan. Myös SLS-tekniikalla valmistetaan nykypäivänä prototyyppisiä sekä pieniä sarjoja. SLS-tekniikka on hinnaltaan edullinen tulostustapa. (RPCase 30.10.2015)

**CJP (colorjet printing).** CJP-tekniikassa tarvitaan kaksi eri pääkomponenttia tulostukseen. Toinen aineista on jauhe ja toinen sidosaine. Tulostettaessa jauhepeti levitetään tulostimeen, minkä jälkeen tulostin alkaa tulostaa 0.1mm paksuisina kerroksina mallia. CJP tulostustekniikka kykenee tekemään täydellä värikartalla esineitä ja tuotteet ovat jo tulostettaessa valmiin näköisiä. CJP-tekniikalla tulostettu kappale käsitellään ennen käyttöä esimerkiksi suolaliuoksella tai epoksilla, koska se on hauras. Uusimmat tulostimet ovat kehittyneet jo sen verran, että niissä käytetään jauheena muovia, jolloin jälkikäsitelyä ei tarvita. CJP on suosittu etenkin arkkitehtuurisissa tulosteissa, sekä myös eri figuurien tulosteissa. (RPCase 30.10.2015)

**MJP (multijet printing).** MJP-tekniikassa materiaali on lämmitettyä akryylipohjaista fotopolymeeriä, joka tulostetaan rakennusalustalle kerros kerrokselta ja sen jälkeen kovetetaan uv-valolla. MJP-tekniikka on tarkka, koska materiaali on valmiiksi lämmitettyä ja helpommin hallittavaa. MJP-tekniikka vaatii tulostustapansa vuoksi tukimateriaalin, joka on kynttilän steariinin kaltaista. Tukimateriaali poistetaan lämmittämällä kappaletta uunissa noin 65 asteen lämpötilassa. MJP-tekniikka soveltuu parhaiten kappaleille, joilta vaaditaan hyvää tarkkuutta ja tarkkoja yksityiskohtia. (RPCase 30.10.2015)

**DMS (Direct Metal Sintering).** DMS-tekniikassa käytetään metallijauhetta, joka levitetään tulostuspinnalle kerros kerrokselta ja sen jälkeen jauhe sintrataan erittäin voimakkaalla laserilla yhteen. Tulostuksessa voidaan käyttää lähes kaikkia metalleja. Kappale irrotetaan tukipinnasta esimerkiksi lankasahalla, ja se voidaan viimeistellä mekaanisesti. Sintrattuja metalliosia käytetään usein hankalissa geometrioissa, joiden valmistustapa on muulla tavalla hankalaa. DMS-tekniikassa mittatarkkuus on jokaisella akselilla erittäin tarkka (0.02mm) ja kappaleiden toistettavuus on helppoa. (RPCase 30.10.2015)

**FTI (Film Transfer Imaging).** FTI-tekniikka muistuttaa suuresti SLA-tekniikkaa, mutta tässä tekniikassa kappale on ylösalaisin työalueella ja rakentuu pöydän alapuolella. Niinsanotun filmin päälle levitetään ohut kerros hartsia, joka siirretään kappaleeseen eli kovetetaan projektorin tuottaman uv-valon ansiosta. Tekniikan suurimmat edut ovat todella nopea valmistus ja mittatarkkuus. Tekniikkaa käytetään suurissa määrin vapaamuotoisiin kappaleisiin ja prototyyppeihin. (RPCase 30.10.2015)

**FDM (Fused Deposition Modeling).** FDM-tekniikassa kestopuovilanka sulatetaan tulostimen tulostuspäässä. Kerrokset levitetään alustalle kerros kerrokselta. Tekniikka perustuu muovin sulattamiseen muotoiltavaan muotoon ja sen jälkeen jäädytyksen aiheuttamaan kovettumiseen. Tulostustekniikassa käytetään usein ABS ja PLA-muoviseoksia, mutta järeämissä laitteistoissa myös PC ja Ultime-seokset ovat käytössä. Kotikäyttöiset tulostimet käyttävät FDM-tekniikkaa sen helppokäyttöisyyden sekä toistettavuuden takia. FDM-muovinauha on myös suhteellisen edullista ja puhdasta käyttää. FDM-tekniikka ei sovellu kovin hyvin kuitenkaan teolliseen

käyttöön, koska tulostaminen on suhteellisen hidasta muihin tekniikoihin verrattuna.  
(RPCase 30.10.2015)

## 2.5 Tulostimen valinta ja materiaalivevaihtoehdot

Tulostimen valintaan vaikuttaa tulostettava malli, haluttu materiaali sekä haluttu valmistusmäärä. Tulostustekniikan valinta kannattaa siis miettiä tarkasti ennen ensimmäisen mallin tekoa. Materiaalivevaihtoehtoja on useita. Metallisia tulostusmateriaaleja on esimerkiksi ruostumaton teräs, titaani, alumiini, työkaluteräs, kulta ja hopea. Muovisia materiaaleja ovat esimerkiksi ABS ja PLA. Varsinkin ABS-muovi on hyvän käytettävyytensä ansiosta suosittua. Alapuolella on materiaalien mukaan tehty taulukko, josta voi tarkastella mikä tulostustekniikka sopisi parhaiten tulosteellesi. Taulukosta 1 voi tarkastella, mikä tulostustekniikka sopii parhaiten tulosteellesi.

Taulukko 1 Tulostintekniikan valinta

<b>materiaali</b>	<b>tulostustekniikka</b>
Metalli	DMS- Direct Metal sintering
Muovi kotikäytössä/yksittäiskappale	FDM-Fused deposition modeling
Muovi ammattikäytössä	CJP ja SLA

## 2.6 3D-tulostamisen tulevaisuus

3D-tulostimilla pystytään jo tulostamaan taloja. Uutisoitiin kiinalaisesta yrityksestä, joka käyttää talojen tulostamisessa valtavia 3D-printtereitä, jotka ruiskuttavat talojen elementit sementistä ja jätteistä valmistetusta, nopeasti kuivuvasta betonista. Printterit ovat kooltaan suuria. Pituutta tulostimella on 32 metriä, leveyttä 10 metriä ja korkeutta 6.6 metriä. Tällaisella tulostimella pystytään tulostamaan noin 200 neliömetrin talo. (Tuohinen, P. 30.04.2014)



Kuva 4 Kiinalaisten 3D-tulostettu talo (Helsingin sanomat).

Projektin johtajana ja yrityksen toimitusjohtajana toimiva Ma Yihe sanoo, että yrityksellä on valmiudet tulostaa minkä tahansa digitaalisen suunnitelman mukainen talo, jopa pilvenpiirtäjä. Tällä hetkellä yrityksen ainoana ongelmana on Kiinan rakennuslainsäädäntö, joka kieltää kaksikerroksiset ja enemmän kerroksia sisältävät 3D-tulostetut rakennukset. (Tuohinen, P. 30.04.2014)

Yle uutisoi verkkosivuillaan hollantilaisesta arkkitehtiyrityksestä nimeltään DUS, joka 3D-tulostaa taloja muovista. Yritys käyttää biopohjaista muovia, joka muotoillaan seinäelementiksi. Tällaisella työmaalla rakennusmiehet korvaa jättiläisprintteri Kamer maker, joka on suomennettuna huoneentekijä. Sen on suunnitellut mittatilaustyönä hollantilainen 3D-printterivalmistaja Ultimaker. (Miettinen, S. 22.04.2014)



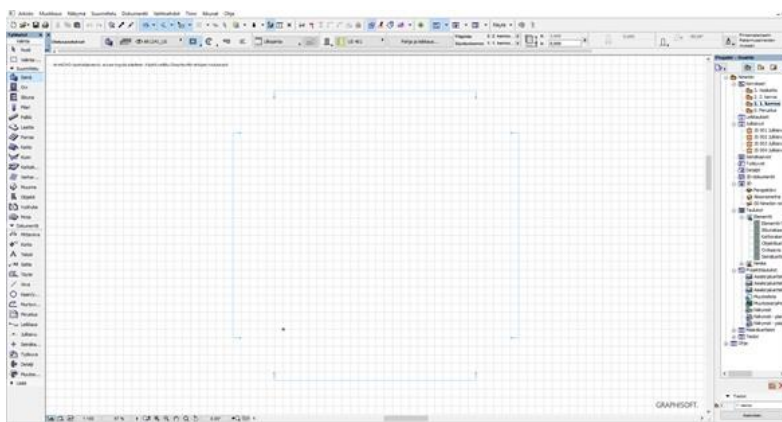
Yritys nimeltään Allied Market Research on tehnyt tutkimuksen, joka käsittelee 3D-tulostamisen markkinoiden kehittymistä. Tutkimuksen nimi on World 3D Printing Market - Opportunities and Forecasts 2014 – 2020 (suom. Maailman 3D-tulostamisen markkinat – mahdollisuudet ja ennusteet 2014-2020). Tutkimuksen tuloksena on, että 3D-tulostamisen markkinoiden kokonaisarvo kasvaa vuoteen 2020 mennessä 8,6 miljardiin dollariin (n. 7,86 miljardia euroa). Vertailukohtana voidaan käyttää vuoden 2012 3D-tulostamisen markkina-arvoa joka oli 2.2 miljardia dollaria. (Allied Market Research 27.10.2015)

Tutkimuksen ennakkoarvion mukaan stereolithographia pysyy tulostamisen käytetyimpänä muotona käyttöasteensa vuoksi. Stereolithographia tukee teknisesti parhaiten eri tulostustapoja ja tulee ennakkoarvion mukaan olemaan siksi jatkossakin käytetyin tulostusmuoto.

## 3 3D-TULOSETTAVAN RAKENNUKSEN MALLINTAMINEN ARCHICADILLA

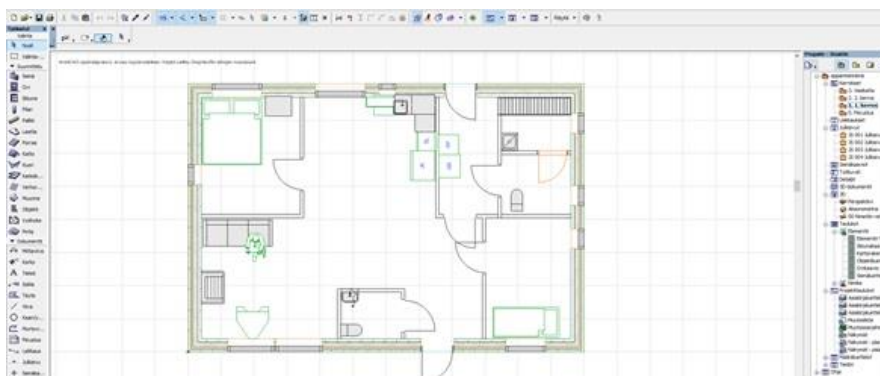
### 3.1 Aloitus ja piirtäminen

Aloitusruudussa aloitetaan piirtämään mallia. Malli aloitetaan piirtämällä rakennuksen pohja eli perustus. Perustukset piirretään ulkoseinän mittojen mukaan, jolloin perustuksen päälle ulkoseinien piirtäminen on helppoa (kuvio 1).



Kuvio 1 Archicad aloitus.

Ulkoseinien piirron jälkeen voidaan piirtää halutut väliseinät talon sisälle. Kun kaikki seinät ovat valmiit, voidaan aloittaa ikkunoiden ja ovien sijoitus taloon. Seuraavassa kuvassa talossa on valmiina kaikki väliseinät, ulkoseinät sekä ikkunat ja ovet (kuvio 2). Ohessa myös kuva samasta vaiheesta kolmiulotteisena (kuvio 3).

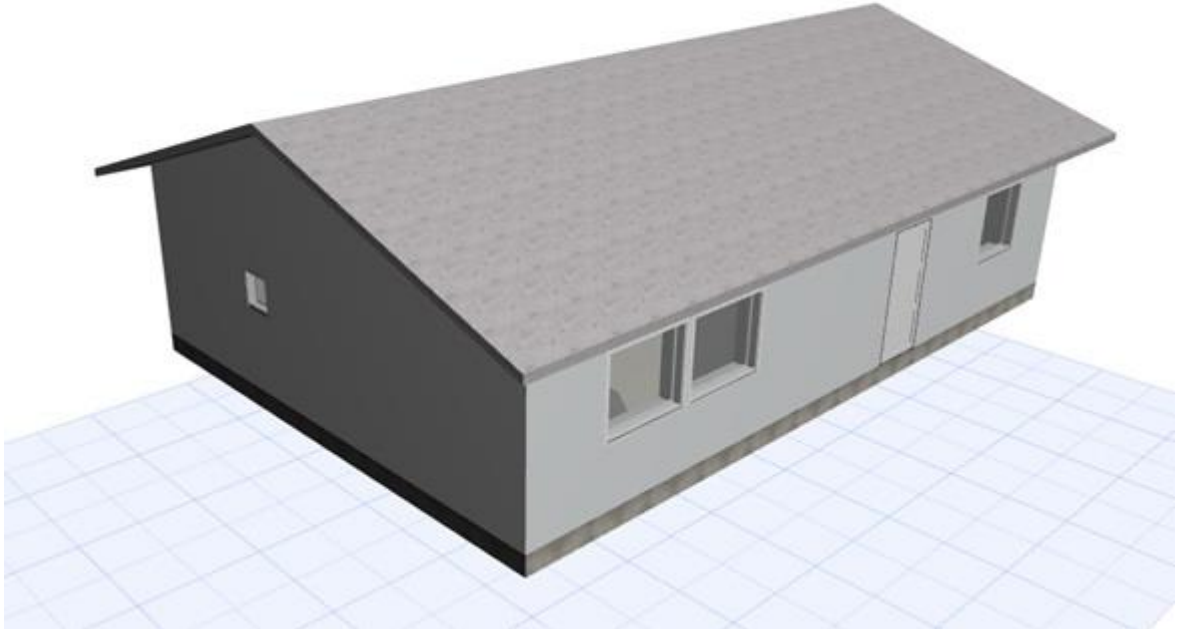


Kuvio 1 Talo kaksiulotteisena.



Kuvio 2 Talo kolmiulotteisena.

Viimeisin vaihe on katon sovitus malliin. Talon seiniä ei välttämättä tarvitse mitata tiettyyn korkeuteen, koska seinien korkeus voidaan rajata katolla. Archicad -ohjelmassa on helppo tapa tehdä toiminto ”rajaa katoilla” (kuvio 4 ja 5).



Kuvio 3 Kolmiulotteinen talo katon kanssa.

### 3.2 Rakennuksen yksityiskohtien suunnittelu ja mallintaminen

Archicad -ohjelmaan on mahdollista ladata kirjastoja, joissa on erilaisia objekteja. Hyvänä esimerkkinä ovat erilaiset yksityiskohdat sisälle (maljakot, taulut, kellot yms.). Archicadilla on myös mahdollista piirtää piha-alue suunnitellulle rakennukselle. Seuraavassa kuvassa on esimerkki pihan suunnittelusta (kuvio 5).



Kuvio 4 Kolmiulotteinen talo pihamaan kanssa.

Pihamaata voi elävöittää erilaisilla istutuksilla ja yksityiskohtilla. Archicadissa pintaan on mahdollista laittaa lukematon määrä erilaisia yksityiskohtia, joita voi myös hankkia lisää lataamalla kirjastopaketteja ohjelmaan (kuvio 6).



Kuvio 5 Pihamaa yksityiskohtien kanssa.

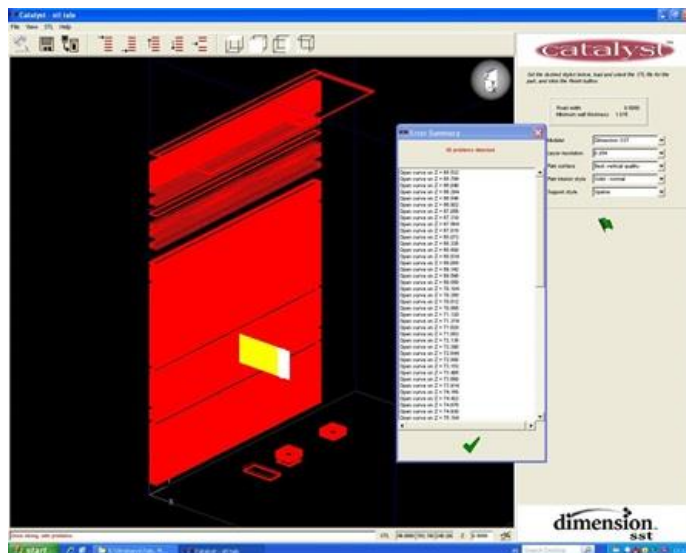
## 4 3D-TULOSTAMINEN

### 4.1 3D-tulostusta edeltävät toimenpiteet

Ennen 3D-mallin tulostamista malli täytyy muuttaa tulostettavaan muotoon. 3D-tulostimet tukevat pääsääntöisesti tiedostomuotoa .stl (StereoLithography). 3D-mallinnusohjelmasta riippuen mallinnus voidaan muuttaa suoraan ohjelmalla tallentamalla mallinnus oikeaan tiedostomuotoon. Tallentamisen aikana valitaan muodoksi .stl, jolloin ohjelma kysyy mittayksikköä ja mittasuhdetta. Kun oikea mittayksikkö ja mittasuhte ovat kirjattuina, malli voidaan tallentaa.

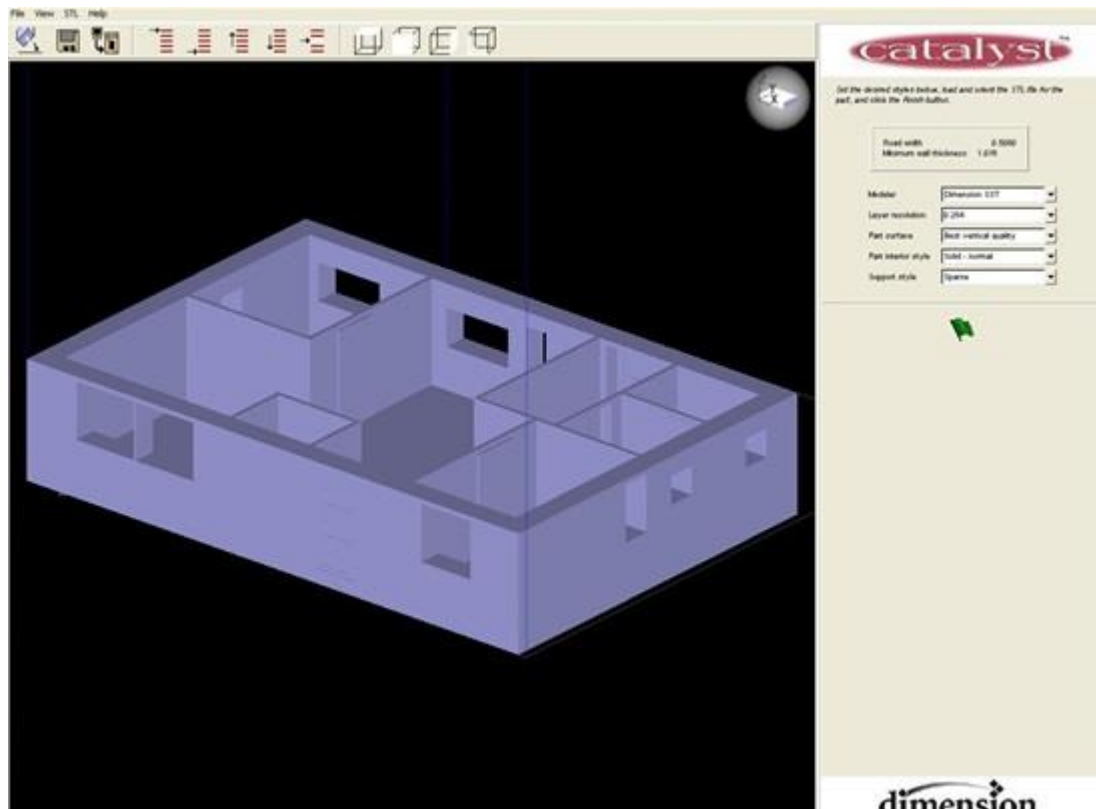
Ennen kuin mallia voidaan lähteä tulostamaan, talosta tulee poistaa turhat yksityiskohdat, joihin tulostimen tulostuskyky ei riitä. Tällaisia osia ovat esimerkiksi ovenkahvat ja ikkunan lasiosa. Archicad-ohjelmassa ovenkahvat ja lasiosat voidaan poistaa valitsemalla objekti ja muokkaamalla sitä objektin asetuksista.

Ohjelmana Archicad pystyy tallentamaan .stl-muotoon. Ongelmaksi kuitenkin tallentamisen jälkeen tuli tulostimen vaatima umpinainen materiaali, jonka piirtäminen suoraa Archicadilla ei onnistunut. Umpinaisesta materiaalista käytetään 3D-tulostimien yhteydessä englanninkielistä sanaa Solid.



Kuvio 6 Catalyst ohjelman analyysi mallista.

Tulosteen muuttaminen solid-muotoon vaati mallin korjaamista microsoftin sivuilta löytyvällä netfabb-ohjelmalla (<https://modelrepair.azurewebsites.net/>). Ohjelmassa .stl-muodossa oleva malli ladataan netfabb-ohjelman verkkosivuille, jonka jälkeen ohjelma korjaa mallin 3D-tulostettavaan muotoon. Ohjelman suorittaman korjauksen jälkeen verkkosivuilta ladataan korjattu malli, jonka tulostin ymmärtää umpinaiseksi materiaaliksi (kuvio 8).

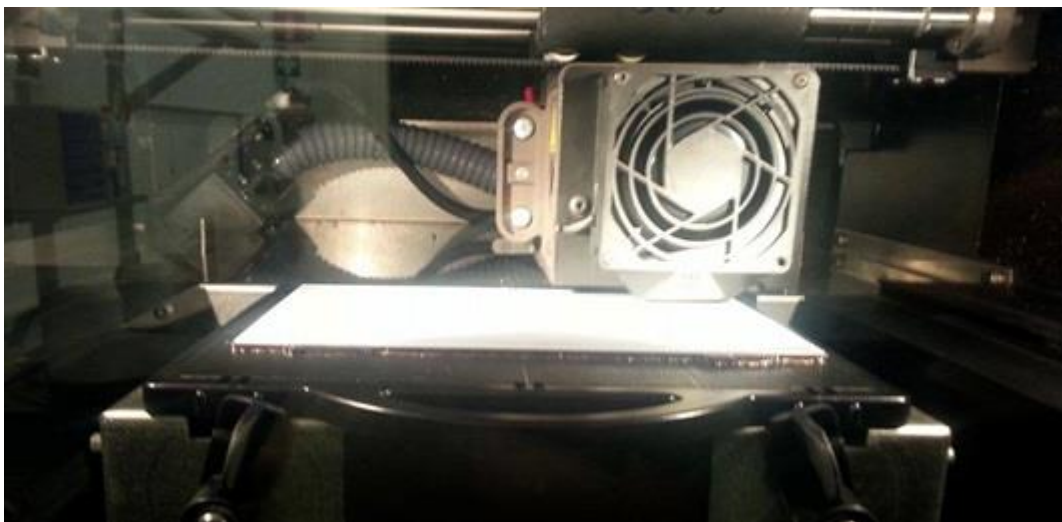


Kuvio 7 Catalyst-ohjelman analyysi netfabb-korjauksen jälkeen.

## 4.2 Tulostamisen aloittaminen

Tulostus voidaan aloittaa, kun Catalyst-ohjelman suorittama analyysi mallin tulostamisesta on hyväksytty. Seinäjoen ammattikorkeakoululta löytyvä tulostin on merkittävästi Dimension SST, josta valitaan tulostuskerroksen paksuudeksi 0.254 mm. Tulostimella pystyy myös tulostamaan paksumpaa kerrosta, jolloin tulostus nopeutuu, mutta tulosteen laatu kärsii.

Tulostusta aloitettaessa tulee tulostin laittaa päälle vähintään 30 minuuttia ennen ensimmäisen kerroksen tulostamista, koska tulostimen käyttämä tekniikka (Stratasys FDM) vaatii kammion lämmöksi 70 celsiusastetta. Tulostuskärjen lämmöksi tarvitaan noin 290 celsiusastetta. Tällaiset lukemat tarvitaan siksi, että tulostin käyttää tulostusmateriaalina akrylinitriilibutadieenistyreeniä, joka tunnetaan myös nimellä ABS-muovi. ABS-muovin sulamispiste on 105 celsiusastetta. Kammiossa käytetään 70 celsiusasteen lämpöä, koska pinnan ei tule kovettua täysin ennen kuin pinnalle lisätään uusi kerros materiaalia. Kuvassa 14 tulostin on tehnyt tukimateriaalipinnan, sekä ensimmäisen ABS-muovipinnan



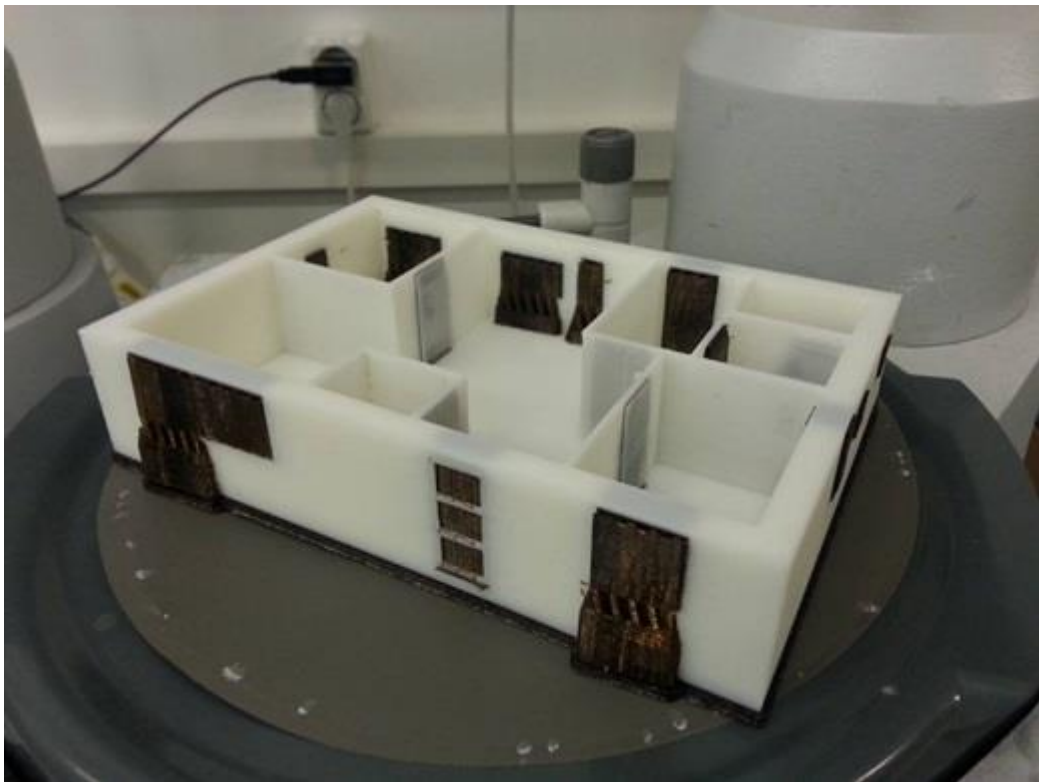
Kuva 5 Tulostin aloittanut ensimmäisen ABS-muovikerroksen.

Tulostin tulostaa tukirakennetta paikkoihin, joihin ei ilman tukirakennetta voisi tehdä tulostuskerrosta. Tukirakenne on erilaista muovia kuin tulosteen ABS-muovi ja se voidaan poistaa käyttämällä Stratasysin omaa tukirakenteen poistoainetta (kuva 6). Kuvassa 7 on tulostettava talo tukimateriaalien kanssa.



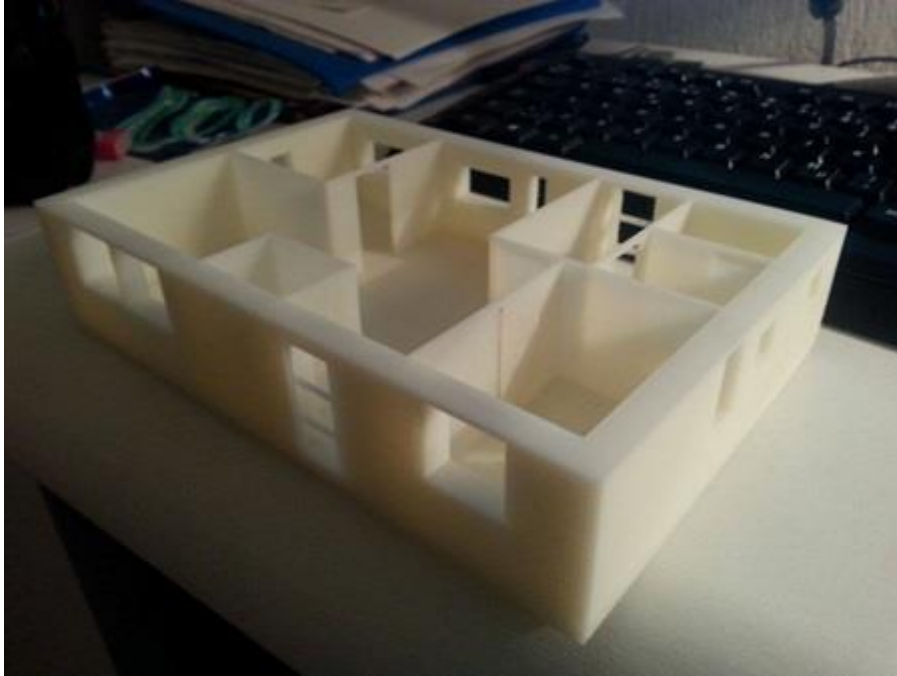


Kuva 6 Waterworks tukimateriaalin poistoaine.



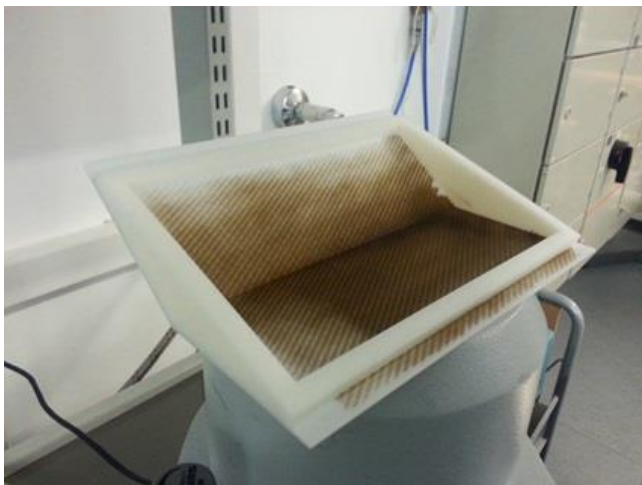
Kuva 7 3D-tulostettu talo ja tukimateriaali.

Tukimateriaalin poisto tapahtuu kuumennettavassa astiassa. Astiaan laitetaan vettä ja tukimateriaalin poistoainetta valmistajan ohjeen mukaisesti. Kappaletta liotetaan astiassa niin kauan, kunnes tukimateriaali on poistunut täysin.



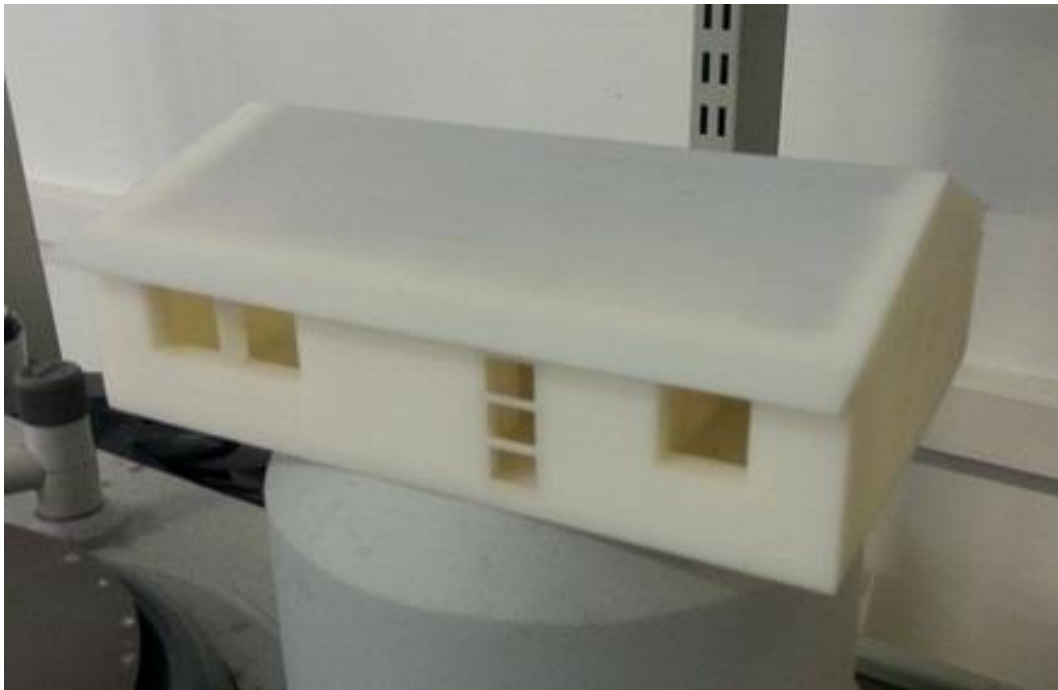
Kuva 8 3D-tulostettu talo puhdistuksen jälkeen.

Talon tulostamisessa kului aikaa noin 23 tuntia. Talon tulostamisen jälkeen tulostukseen laitettiin talon katto. Katossa kuluva aika oli pienempi, noin 13 tuntia. Katon tulostamisessa rakennetta oli paljon vähemmän kuin talossa, mutta katossa jouduttiin käyttämään huomattavasti enemmän tukimateriaalia.



Kuva 9 3D-tulostetun talon katto.

Katon valmistumisen jälkeen katon pystyi asettamaan aikaisemmin tulostetun talon päälle.



Kuva 10 3D-tulostettu talo katon kanssa.

## 5 KYSELYTUTKIMUS PIIRUSTUSTEN HAHMOTTAMISKYVYSTÄ

### 5.1 Kyselytutkimuksen tausta

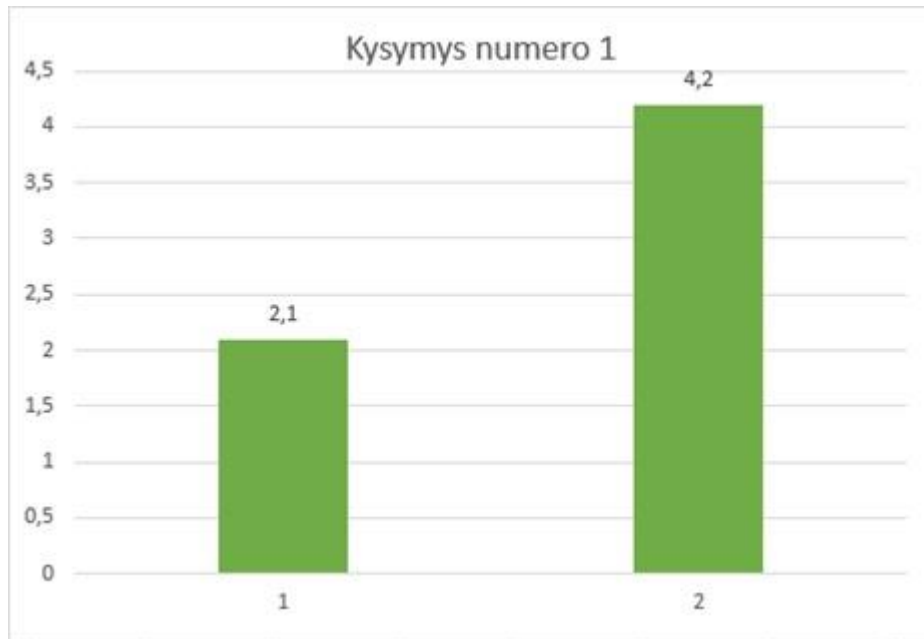
Kyselytutkimuksen ideana on esittää rakennuspiirustuksia, jotka ovat sekä 2- että 3-ulotteisia. Kyselyyn osallistui 10 henkilöä. Vastaajilla ei ole kokemusta rakennuspiirustuksien tulkitsemisesta, eivätkä he myöskään ole itse piirtäneet rakennuksia tietokonepohjaisilla ohjelmilla. Kyselyssä näytetään vastaajille ensin 2D-kuvat, jotka vastaavat perinteistä rakennuspiirustusta, joka näytetään suoraan ylhäältäpäin. Kyselyyn osallistuvat vastaavat valmiiksi laadittuun lomakkeeseen ensin nähtyään 2D-kuvat.

2D-kuvien jälkeen tulokset lasketaan ja katsotaan eri osa-alueiden pisteytys. Pisteytys tapahtuu välillä 0-5, joista 0 on huonoin ja näin ollen tarkoittaa, että ei ole lainkaan samaa mieltä. Osallistujan vastatessa kysymykseen numeroarvolla 5 hän on täysin samaa mieltä.

Seuraavassa kyselyn vaiheessa osallistujille näytetään sekä 2D että 3D-malli, jossa osallistujat pääsevät näkemään miltä malli näyttää kolmiulotteisena. Tämän katsottuaan osallistujat vastaavat samaan kyselylomakkeeseen, minkä jälkeen tulokset lasketaan uudelleen. Uudelleenlaskennan jälkeen voidaan katsoa, kuinka paljon osallistujien kuvan ymmärryskyky parani, kun piirustusta näytettiin myös kolmiulotteisena.

## 5.2 Kyselytutkimuksen tulokset

Kysymyksen 1 tulokset (kuvio 9). Vasemmalla on tulos pelkän 2D-kuvan katsomisen jälkeen. Oikeanpuoleinen tulos on 3D- ja 2D-kuvien katsomisen jälkeen.



Kuvio 8 Kysymyksen 1 tulokset (kysymyslomake liitteenä).

Kysymyksen 2 tulokset (kuvio 10). Kyselyssä nähdään, kuinka paljon selvemmin pystyy ihminen ymmärtämään 3D-mallin, kun verrataan pelkän 2D-mallin varassa vastattuihin tuloksiin.



Kuvio 9 Kysymyksen 2 tulokset (kysymyslomake liitteenä).

Kyselytutkimuksen kirjallisessa osuudessa kyselyyn vastanneet pystyivät kertomaan 2D-kuvassa ovien ja huoneiden lukumäärän, mutta esimerkiksi ikkunoiden lukumäärä ja sijainti tuottivat vastanneiden keskuudessa vaikeuksia. Ohessa yksi kirjalliseen kysymykseen annettu vastaus:

”Talossa on 8 ovea ja 7 huonetta. 2 huoneista on makuuhuoneita ja talossa on todennäköisesti sauna. Talossa on myös kaksi vessaa. Mallista en pysty tarkasti käsittämään mitä kaikkea talo sisältää, koska en ymmärrä kaikkia symboleja.”

Kyselytutkimuksen toisessa vaiheessa vastaajille näytettiin 2D-mallin ohessa myös 3D-malli. Vastanneet pitivät ensinäkemältään jo taloa helpommin hahmotettavana, ja he pystyivät ”lukemaan” kuvaa huomattavasti paremmin. Kyselytutkimuksen toisessa osassa yksi vastanneista sanoi näin:

”Talossa on keittiössä kodinkoneet ja kaapit paikallaan sekä talossa on kymmenen ikkunaa, joista osa on erikokoisia. Talon mittasuhteet on helpompi hahmottaa. Pystyn ymmärtämään suunnitelmaa paljon paremmin, kuin 2D-mallista, koska talo avautuu samankaltaisessa näkymässä kuin se olisi todellisuudessa.”

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämänhetkinen rakennusten myynnin voimanlähde on asiakkaan kanssa mahdollistettu rakennuksen suunnittelu. Varsinkin valmistalopuolella asiakkaat haluavat osallistua mahdollisimman paljon suunnitteluvaiheeseen. 3D-mallinnus voi tuoda asiakkaalle paljon, kun lähdetään suunnittelemaan rakennuksen sisäseinien sijoittelua, ulkopintojen materiaaleja, sekä eri kodinkoneiden paikkoja.

3D-mallinnus antaa myös suunnittelijalle itselleen mahdollisuuden viedä suunnitelmansa pidemmälle, koska mallinnus mahdollistaa suunnitelman konkreettisemmän näkymän, jolloin pystytään näkemään mahdolliset rakennuksen kehityskohdat.

Opinnäytetyön toisena osana oli 3D-tulostaminen ja sen hyödyntäminen rakennustekniikassa. 3D-tulostaminen on useilla aloilla jo äärimmäisen tärkeä työkalu, jolla pystytään tekemään tuotteiden prototyyppjä ennen varsinaista valmistusta. Rakennustekniikassa 3D-tulostamista käytetään vasta vähän suhteessa sen potentiaaliin. 3D-tulostamisen suurin mahdollisuus todennäköisesti tulee olemaan mahdollinen paikallavalettujen betonielementtien valmistus, johtuen betonin nestemäisestä muodosta ennen kovettumistaan. Betoni rakennusmateriaalina mahdollistaa 3D-tulostimien käyttämän menetelmän, jossa tulostinkärki tulostaa ulos nestemäistä materiaalia.

3D-tulostettuja monikerroksisia rakennuksia on jo mahdollista tulostaa, mutta esimerkiksi Kiinan lainsäädäntö estää sen. Lisäksi tulostimet eivät ole vielä tarpeeksi pitkälle kehittyneitä, minkä vuoksi tulostaminen on äärimmäisen hidasta. Tulostimet vaativat vielä runsaasti kehittämistä, jotta voitaisiin tulostaa asumiskelpoisia rakennuksia inhimillisessä ajassa. Tulevaisuudennäkymien mukaan asumiskelpoisten rakennusten tulostaminen voi hyvinkin olla mahdollista. 3D-tulostaminen saattaa mulistaa koko rakennusalan, mikäli tulostimien tulostuskyky kehittyy sellaiseen pisteeseen, että tulostaminen on taloudellisesti ja aikataulullisesti tehokasta.

## LÄHTEET

Allied Market Research 27.10.2015. World 3D Printing Market is Expected to Reach \$8.6 Billion, by 2020 - Allied Market Research. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.10.2015] saatavana: <http://www.prnewswire.com/news-releases/world-3d-printing-market-is-expected-to-reach-86-billion-by-2020---allied-market-research-537473201.html>

Autodesk. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.10.2015]. Saatavana:<http://www.autodesk.fi/products/3ds-max/overview>

Miettinen, S. 22.04.2014. Muovista tulostettu talo nousee huone kerrallaan kanavan varrelle amsterdamissa – video jättiprintteristä. Julkaisija:YLE. [verkkosivu]. [viitattu 30.10.2015] saatavana: [http://yle.fi/uutiset/muovista\\_tulostettu\\_talo\\_nousee\\_huone\\_kerrallaan\\_kanavan\\_varrelle\\_amsterdamissa\\_\\_video\\_jattiprintterista/7237585](http://yle.fi/uutiset/muovista_tulostettu_talo_nousee_huone_kerrallaan_kanavan_varrelle_amsterdamissa__video_jattiprintterista/7237585)

Micro aided design. Ei päiväystä. [Verkkosivu] [Viitattu 30.10.2015]. Saatavana: <http://www.mad.fi/mad/hinnasto.html?tuoteluokka=Ohjelmat>

RPCase. Ei päiväystä. Tietoa eri tulostustekniikoista ja termeistä.[Verkkosivu]. [Viitattu 30.10.2015]. Julkaisija:RPCase Saatavana: <http://www.rpcase.fi/Sovellukset/Tietoa-eri-tekniikoista>

Ponsford, M. ja Glass, N. 14.02.2014. The night I invented 3d printing. Julkaisija: CNN. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.10.2015]. Saatavana: <http://edition.cnn.com/2014/02/13/tech/innovation/the-night-i-invented-3d-printing-chuck-hall/>

Tuohinen, P. 30.04.2014. Kiinalaisfirma printtasi kymmenen taloa päivässä. Julkaisija: Helsingin Sanomat. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.10.2015]. Saatavana: <http://www.hs.fi/ulkomaat/a1398746969817>



The Economist. 05.09.2015. A bridge to the future. Julkaisija: The Economist.  
[Verkojulkaisu]. [Viitattu 30.10.2015]. Saatavana:  
<http://www.economist.com/news/technology-quarterly/21662647-civil-engineering-3d-printing-technologies-are-being-adapted-use>

Wings 3D. Ei päiväystä. 3D COORDINATE SYSTEM BASICS. Julkaisija:Wings  
3D [verkkosivu] [Viitattu 30.10.2015]. Saatavana:  
[http://www.wings3d.com/?page\\_id=490](http://www.wings3d.com/?page_id=490)

## **LIITTEET**

Liite 1. Kyselytutkimuksen kysymyslomake

Liite 2 Kyselytutkimuksen kuvamateriaali

Liite 3 Kyselytutkimuksen kuvamateriaali

Liite 4 Kyselytutkimuksen kuvamateriaali

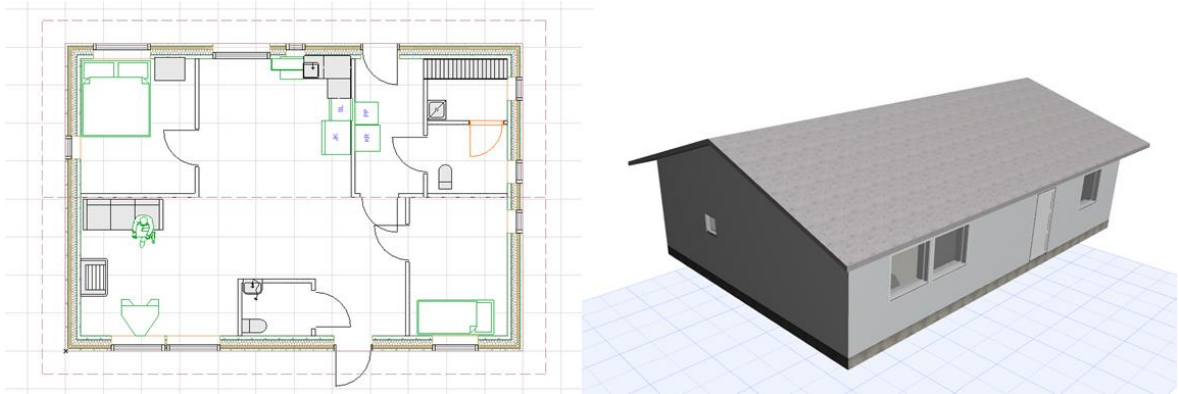
**Liite 1 Kyselytutkimuslomake**

1.Ymmärrän piirustuksen sisällön.	
2. Piirustus on helppolukuinen.	

Kerro omin sanoin mitä näet piirustuksessa, esimerkiksi kuinka monta ovea, ikkuna ja huonetta talossa on, kerro myös mallista mielipiteesi.

LIITE 2 Kyselytutkimuksen kuvamateriaali.



**LIITE 3. Kyselytutkimuksen kuvamateriaali**

**LIITE 4 Kyselytutkimuksen kuvamateriaali**

