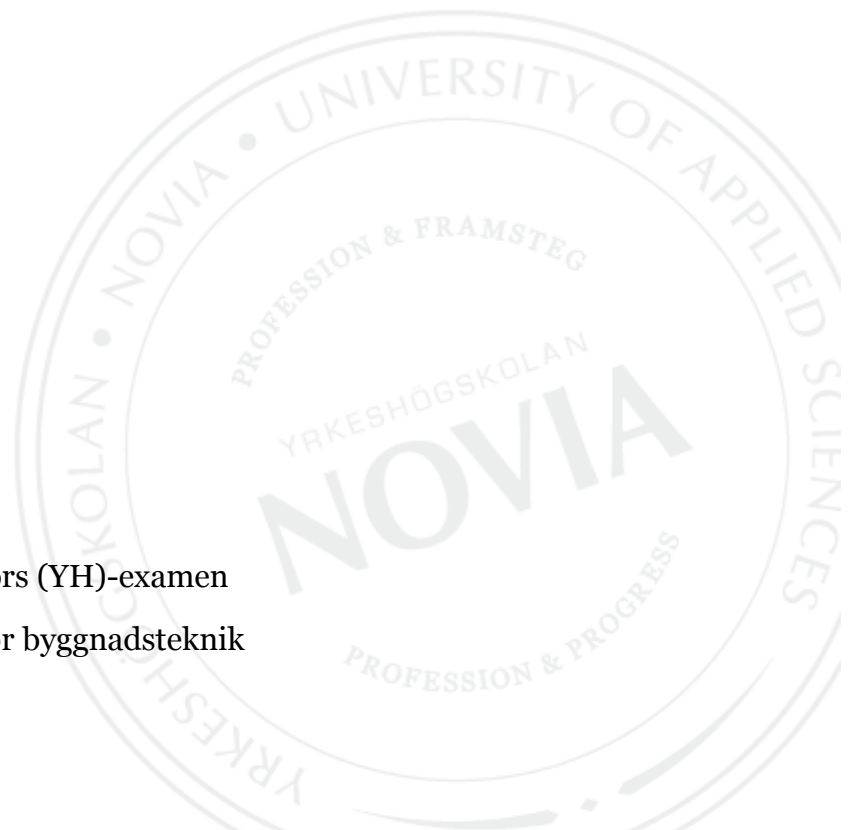


Utskrift av tredimensionell arkitekturmodell

Johnny Nylund

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik
Vasa 2015



EXAMENSARBETE

Författare: Johnny Nylund
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ/Fördjupning: Konstruktionsteknik
Handledare: Leif Östman och Martin Grön

Titel: *Utskrift av tredimensionell arkitekturmodell*

Datum 28.04.2015

Sidantal 36

Bilagor 3

Abstrakt

I examensarbetet behandlas modellering av hus anpassade för 3D-skrivning. Uppdragsgivare har varit Purmia Grön, ett företag i Pedersöre som har byggnadsplanering och 3D-modellering som huvudsakliga affärsområde. Målet med examensarbetet var att skapa en modell av ett hus som skulle lämpa sig för 3D-skrivning och inkorporera olika visuella designaspekter.

3D-skrivning är en tillverkningsprocess där ett fysiskt objekt skapas från en digital modell. Metoden har tidigare använts främst av större företag för prototypframställning men har de senaste åren blivit vanligare även hos småföretag och privatpersoner. I arbetet förklaras begreppet additiv tillverkning och processens olika delsteg går igenom. De allmänna modelleringsprinciperna behandlas, de vanligaste utskriftsteknikerna presenteras och problemen man stöter på vid 3D-skrivning går igenom.

Som resultat har ett exempelhus modellerats och skrivits ut. Instruktioner gällande 3D-modellering för 3D-utskrift gjordes även för de använda programmen. Det visade sig att det viktigaste vid 3D-skrivning är att modellen är noggrant gjord och att tillräckliga förberedande åtgärder är gjorda före utskriften påbörjas. Tillräckliga kunskaper och erfarenheter av 3D-skrivning gör det till en snabb och effektiv metod för att skapa fysiska skalmodeller av byggnader.

Språk: Svenska

Nyckelord: 3D-utskrift, 3D-modellering, additiv tillverkning

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Johnny Nylund
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot:	Rakennesuunnittelu
Ohjaajat:	Leif Östman ja Martin Grön

Nimike: *Kolmiulotteisen arkkitehtuurimallin tulostus*

Päivämäärä 28.04.2015

Sivumäärä 36

Liitteet 3

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä käsitellään talojen mallintamista 3D-tulostusta varten. Toimeksiantajana on ollut pedersöreläinen yritys nimeltä Purmia Grön, jonka päätoimiala on rakennussuunnittelu ja 3D-mallinnus. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda talomalli, joka soveltuisi 3D-tulostukseen ja sisältäisi erilaisia visuaalisia muotoilunäkökulmia.

3D-tulostus on valmistusprosessi, jossa fyysinen esine luodaan digitaalisesta mallista. Menetelmää on aiemmin käytetty lähinnä suuryritysten prototyyppien valmistuksessa, mutta on viime vuosina yleistynyt myös pienten yritysten ja yksityishenkilöiden keskuudessa. Työssä käsitellään additiivista valmistusta ja prosessin eri osavaiheet. Yleiset mallinnusperiaatteet käsitellään, tavallisimmat tulostustekniikat esitellään ja 3D-tulostuksessa kohdatut ongelmat käydään läpi.

Opinnäytetyön lopputuloksena on mallinnettu ja tulostettu mallitalo. Ohjeet koskien 3D-mallinnusta ja -tulostusta tehtiin myös jo käytössä oleville ohjelmille. Työssä kävi ilmi, että tärkein asia 3D-tulostuksessa on mallin huolellinen laatiminen ja riittävien valmistelutoimenpiteiden tekeminen ennen tulostuksen aloittamista. Riittävä kokemus ja osaaminen 3D-tulostuksesta tekee siitä nopean ja tehokkaan tavan rakentaa fyysisiä pienoismalleja rakennuksista.

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: 3D-tulostus, 3D-mallinnus, additiivinen valmistus

BACHELOR'S THESIS

Author: Johnny Nylund
Degree Programme: Construction Engineering, Vaasa
Specialization: Structural design
Supervisors: Leif Östman and Martin Grön

Title: *Printing of three-dimensional architecture model*

Date 28.04.2015

Number of pages 36

Appendices 3

Summary

The thesis deals with the modeling of houses adapted to 3D printing. The client has been Purmia Grön, a company in Pedersöre whose business consists of building design and 3D modeling. The goal of the thesis was to create a model of a house that would be suitable for 3D printing and incorporate various visual design aspects.

3D printing is a manufacturing process where a physical object is created from a digital model. The method has previously been used primarily by large companies for prototyping, but has in recent years become common also among small businesses and individuals. In the thesis the concept of additive manufacturing is explained and the process chain is reviewed. The general modeling principles are introduced, the common printing techniques are presented and the problems encountered in the 3D printing are reviewed.

As a result, a test object has been modeled and printed. Instructions concerning 3D modeling for 3D printing were also made for the applications used. It turned out that the most important thing in 3D printing is that the model is carefully designed and that sufficient preparatory steps are completed before printing begins. Sufficient knowledge and experience of 3D printing makes it a quick and efficient method for creating physical scale models of buildings.

Language: Swedish

Key words: 3D printing, 3D modelling, additive manufacturing

BEGREPP OCH FÖRKORTNINGAR

3D	Tredimensionell.
ABS	Oljebaserat material som används inom 3D-skrivning.
AM/AT	Additive Manufacturing / Additiv Tillverkning.
CAD	Computer-Aided Design / Datorstödd design.
Mångfald	Manifold. Begrepp inom matematiken, en yta i flera dimensioner.
NC	Numerical Control / Numerisk kontroll.
PLA	Material som används inom 3D-skrivning framställt från biologiska material.
Solid modell	Modell med sluten volym och geometrisk massa.
STL	Surface Tessellation Language. Standardformat för 3D-utskrift.
Tessellation	Upprepning av en geometrisk form föra att bilda ett mönster, utan överlappningar eller hål.
Triangulär fasett	En jämn, plan yta i form av en triangel.
Ytmodell	Består av en grupp parametriska ytor som anknyter till varandra genom parametriska kurvor och kontrollpunkter.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Metodval.....	1
1.3	Syfte och mål.....	2
2	3D-skrivning.....	2
2.1	Modellering	4
2.2	Datakonvertering	5
2.3	Granskning	6
2.4	Skiktning.....	7
3	Tekniker.....	7
3.1	Stereolithography (SLA)	8
3.2	Fused Deposition Modelling (FDM)	9
3.3	Selective Laser Sintering (SLS)	10
3.4	Laminated Object Manufacturing.....	11
3.5	Selective Deposition Lamination (SDL)	12
3.6	Multijet Printing (MJP)	13
3.7	ColorJet Printing (CJP).....	13
3.8	Selective Laser Melting (SLM)	14
3.9	Electron Beam Melting (EBM)	16
3.10	Efterbehandling	17
4	Problematik.....	17
4.1	STL-filproblem.....	18
4.1.1	Förlorade fasetter.....	18
4.1.2	Degenererade fasetter	19
4.1.3	Överlappande fasetter	20
4.1.4	Icke-mångfaldiga förhållanden.....	20
4.1.5	Godtagbar modell	21

4.1.6 Ogiltig modell.....	22
4.2 Fysiska problem.....	22
5 Makerbot Replicator 2X.....	23
5.1 Material.....	24
5.1.1 ABS	24
5.1.2 PLA.....	25
5.3 Toleranser och passningar	25
6 Test	26
6.1 Modelling	27
6.2 Granskning och reparation.....	28
6.3 Skivning och 3D-utskrift	29
6.4 Efterbehandling	31
6.5 Resultat	31
7. Sammanfattning och diskussion	33
Källförteckning.....	35

Bilageförteckning

Bilaga 1	Modelling
Bilaga 2	Granskning och reparation
Bilaga 3	Skivning och utskrift

1 Inledning

Idén till arbetet uppkom i oktober månad 2014 när jag utförde företagsförlagd utbildning vid Purmia Grön. Företaget bedriver verksamhet främst inom byggnadsplanering men även inom 3D-modellering. Ägaren till företaget har även verksamhet inom planering och tillverkning av 3D-produkter genom företaget Core3D, som verkar i samma utrymmen som Purmia Grön. Eftersom företaget hade tillgång till modelleringsprogrammet Vertex BD, ett kraftigt verktyg för arkitekter och byggnadsplanerare, och det i programmet går att direkt exportera modeller till STL-filformatet, föddes tanken på att skriva ut ett tredimensionellt hus i skala 1:100. Modellen som har tillverkats kan komma att användas vid presentationer och för försäljningsändamål. 3D-utskrift av husmodeller kan också tänkas bli ett nytt verksamhetsområde för företaget.

1.1 Bakgrund

Arkitekturmodeller kan användas för att framföra och studera aspekter av arkitektonisk utformning eller för att förmedla designidéer till kunder. Arbetsmodeller har vanligen tillverkats av kartong, trä eller polystyren. Konstruktionen av en noggrann sådan modell och presentationsmodeller är ofta tidskrävande och normalt uppdelat i många faser. 3D-skrivningsprocessen snabbar på tillverkningen och ger en precision som är oslagbar.

1.2 Metodval

För att komma underfund med hur 3D-skrivningsprocessen fungerar har litteraturstudier gjorts. Den mest centrala källan har varit *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications*. Boken publicerades 2014 och är den fjärde upplagan av *Rapid Prototyping: Principles and Applications* som utkom första gången 1997.

Ett testobjekt har formgetts och modellerats i Vertex BD. Inspiration till huset togs från olika hus jag hittade på internet. Beslutet till detta metodval gjordes på grund av att om det kommer en beställning på en 3D-utskrift av en husmodell kan man bli tvungen att modellera endast utifrån bilder eller ritningar. Även om man förses med en digital modell är det ingen självklarhet att den går att skriva ut.

1.3 Syfte och mål

Uppdragets syfte var att modellera ett hus som skulle lämpa sig för 3D-utskrift. Huset skulle vara modulärt, d.v.s. man skulle kunna plocka isär taket och kunna observera även insidan på huset. I modelleringen har jag försökt inkorporera olika lösningar på konstruktioner, såsom både pulpettak och åstak, öppen planlösning och olika former på fönster. De ursprungliga fönstren i Vertex BD lämpade sig inte för 3D-skrivning, så nya makron har programmerats in i programmet för de vanligaste fönstertyperna. Vissa defekter uppstod i modellen, orsaken till dem förklaras och förbättringsförslag ges.

Under arbetets gång gjordes även allmänna instruktioner om 3D-modellering för 3D-skrivning. Instruktioner gjordes för de tre programmen som användes för att tillverka den färdiga skalmodellen. Instruktionerna skall hjälpa nya användare och snabba på transformationen från digital modell till fysisk modell.

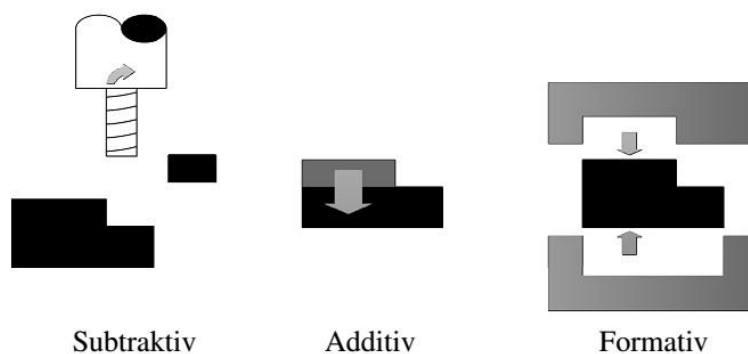
2 3D-skrivning

3D-skrivning är en process för att göra solida tredimensionella objekt från en digital modell. De flesta människor är bekanta med vanliga bläck- och laserskrivare som producerar en stor del av dagens dokument och fotografier, processen vid 3D-skrivning är till en stor del en vidareutveckling av den traditionella tekniken som används i många kontor och hem för närvarande. På ett liknande sätt tillverkar 3D-skrivare föremål genom att kontrollera placeringen och vidhäftningen av byggmaterial tredimensionellt. 3D-skrivare förvandlar digitala modeller till solida, fysiska objekt genom att bygga upp dem i en mängd väldigt tunna lager. Modellerna kan skapas genom CAD-applikationer eller genom någon annan typ av 3D-modelleringsmjukvara, alternativt kan en digital modell skapas genom att skanna ett verkligt objekt. (Barnatt, 2013, s. 2–4)

Termen 3D-skrivning är den allmänna benämningen för den korrekta termen additiv tillverkning (eng. Additive Manufacturing, AM), tidigare känd som snabb friformsframställning (eng. Rapid Prototyping). Teknologin som tidigare var primärt riktad åt att tillverka prototypmodeller, har utvecklats till att inkludera verktyg och direkt tillverkning av konsumentprodukter, och används idag inom en mängd olika industrier. Additiv tillverkning tillåter förverkligandet av komplexa, högpresterande produkter som

integrerar mekanisk funktionalitet, slopar monteringsdelar och gör det möjligt att skapa konstruktioner med hög geometrisk och funktionell mångfald. Många områden drar nytta av möjligheterna som skapas med AM, dessa inkluderar industriell design, maskinteknik, arkitektonisk design och modedesign. AM har en inverkan på alla dessa områden genom att möjliggöra fabricering av konstruktioner som tidigare var oekonomiska eller till och med omöjliga. (Bourell, Campbell & Gibson, 2012, s. 255–258)

Det finns tre fundamentala tillverkningsprocesser, subtraktiv, additiv och formativ (se Figur 1). I den subtraktiva processen börjar man med ett enstaka block av ett fast material större än den slutliga storleken av det önskade objektet. Andelar av materialet avlägsnas tills den önskade formen nås. I kontrast är den additiva processen den exakta motsatsen, på det sättet att slutprodukten är större än det initiala materialet. Materialen manipuleras så att de gradvist kombineras för att bilda det önskade objektet. Slutligen är den formativa processen en där mekaniska krafter eller begränsande former appliceras på materialet för att forma det till den önskade formen. (Chua & Leong, 2014, s. 19–20)



Figur 1. De tre fundamentala tillverkningsprocesserna.

Alla AM-tekniker baserar sig på samma grundläggande tillvägagångssätt, därmed har generellt alla AM-system en liknande processkedja. Det finns totalt fem steg i kedjan och dessa är:

1. 3D-modellering
2. Datakonvertering och överföring
3. Granskning och förberedelse
4. Byggande
5. Efterbehandling

Beroende på kvaliteten av modellen och delen i steg tre respektive fem, kan processen upprepas tills en godtagbar modell eller del har uppnåtts. Varje steg spelar en viktig roll i hur den slutgiltiga delen fungerar och ser ut. Processplanering är viktigt att göra före tillverkningen börjar. (Chua. & Leong, 2014, s. 20–21)

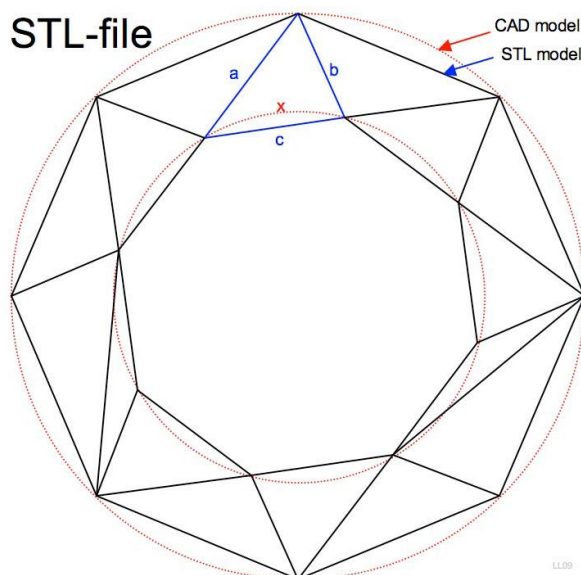
2.1 Modellering

Möjligheten för tredimensionell modellering finns både för additiva och subtraktiva konstruktionsmetoder. Modellens ändamål måste tas i beaktande före man börjar formge den, av den orsaken att vi har två tydligt olika metodologier vi kan utnyttja. Man kan följa väldigt strikt och exakt modellering, vilket ofta är fallet när man gör produktdesign eller iterativt arbete. Denna metodologi är den vanligaste och inträffar när man lägger till mått till modellen. Den är känd som solid modellering eller parametrisk modellering. Den andra metodologin tar ett mer artistiskt tillvägagångssätt vid modellering var man har många fritt flytande ytor, känd som ytmodellering (Stokes, 2013, s. 18). En solid modell har definierats med en geometrisk massa och lämpar sig därför för 3D-skrivning, medan utsidan av en ytmodell är definierad som ett oändligt tunt skal och inte duger till 3D-skrivning. (Finkle, u.å.)

Avancerad tredimensionell CAD-modellering är en allmän förutsättning i AM-processer och är oftast den mest tidskrävande delen i hela processkedjan. Det finns två vanliga missuppfattningar bland nya användare av AM. Till skillnad från NC-programmering (Numerisk kontroll) kräver AM en sluten volym av modellen, oavsett om de grundläggande elementen är ytor eller är solider. Denna förvirring uppstår eftersom nya användare oftast är bekanta med användningen av NC-programmering, var en enda yta eller till och med en linje kan vara ett NC-element. Nya användare brukar också anta att det du ser på skärmen är det du får i slutändan. Dessa två missuppfattningar leder ofta till att användaren underspecificerar processparametrar till AM-system, vilket resulterar i dålig prestanda och icke-optimalt utnyttjande av systemet. Omständigheter som måste tas hänsyn till är bl.a. orienteringen av delar, stöd för delen, svårtillverkade delkonstruktioner såsom tunna väggar, små öppningar eller hål och utskjutande element. Problemen är ofta mer komplexa än kan anas eftersom det finns många olika AM-maskiner som har olika krav och möjligheter. (Chua. & Leong, 2014, s. 22)

2.2 Datakonvertering

Före skrivning måste modellen konverteras till ett format som 3D-skrivarens program förstår. STL-formatet utvecklades 1987 som ett standardformat för att tillåta dataöverföring mellan CAD-program och 3D-skrivare. Det råder oenighet om vad förkortningen STL står för, men det har föreslagits "Stereolithography" eller Surface Tesselation Language. I STL-formatet är modellen indelad i triangulära fasetter i ett 3D-koordinatsystem. Mängden och storleken på trianglarna som modellen delas in i bestämmer kvaliteten och noggrannheten på modellen, desto mindre trianglar som den delas in i desto noggrannare blir modellen. De flesta CAD-programmen kan i dagsläget spara en modell i STL-formatet. (What is an STL file and is it obsolete?, 2011)



Figur 2. Visualisering av skillnaderna mellan en CAD-modell och en STL-modell.

Eftersom STL-filen är en fasettmodell härledd från exakta CAD-ritningar är den endast en ungefärlig modell av delen. Dessutom är många kommersiella CAD-modeller inte tillräckligt solida för att generera fasettmodellen och har ofta problem till följd av detta. Likväl finns det några fördelar med STL-formatet. För det första tillhandahåller det en enkel metod att representera 3D CAD-data. För det andra är det redan en de facto standard och har blivit använt av de flesta CAD- och AM-system. Slutligen kan det leverera små och exakta filer för dataöverföring av vissa former. Det finns dock åtskilliga nackdelar med STL-formatet. STL-filen är många gånger större än den ursprungliga CAD-filen för en given noggrannhetsparameter. STL-filen bär på mycket överflödigt information, såsom dubletter av hörnpunkter och kanter. Många geometriska brister existerar också i STL-filerna. Detta

ger upphov till behovet av en ”reparationsmjukvara”, vilket fördröjer produktionstiden. STL-filen bär också på begränsad information för att representera färg, texturmaterial, substruktur och andra egenskaper hos det tillverkade objektet. Slutligen kan den påföljande skiktningen av stora STL-filer ta flera timmar. (Chua & Leong, 2014, s. 303–304)

På grund av att STL-filformatet erkänns som ineffektivt och ohållbart grundades 2009 en arbetsgrupp för att utforma ett nytt standardfilformat för additiv tillverkning, en lösning som skulle vara mer kompakt än STL och skulle inkludera ytterligare egenskaper såsom färg, enheter och material. På så sätt skulle så mycket information som möjligt för att beskriva ett föremål ingå i 3D CAD-designfasen innan det exporteras till ett standardformat för tillverkningsfasen. Formatet antogs 2011 och namngavs AMF (eng. Additive Manufacturing Format). Modeller i AMF är inte begränsade till rätlinjiga, plana trianglar, utan en tredimensionell yta kan beskrivas genom att den har böjda kanter och inte är plan. Det finns dock lite användning för AMF i dagsläget eftersom de flesta CAD-programmen är oförmögna att exportera till formatet. (AMF – The 3D printing format to replace STL?, 2011)

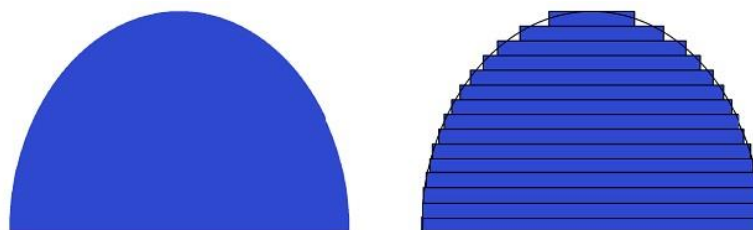
2.3 Granskning

STL-filer exporterade från CAD-program är oftast defekta, detta både på grund av felaktigheter i CAD-modellen men också på grund av det icke-stabila CAD-STL gränssnittet. Modeller som till synes är perfekta på skärmen kan innehålla skador som gör 3D-skrivning svår, eller rentav omöjlig. Dagens CAD-modeller, vilkas kvalitet är beroende av CAD-systemen, mänskliga operatörer och efterbearbetning, drabbas fortfarande av ett brett spektrum av problem, inklusive produktionen av oönskade skalpunkteringar, t.ex. hål, luckor och sprickor. Dessa problem kommer, om de inte åtgärdas, resultera i misslyckande under skiktningen och byggprocessen. (Chua & Leong, 2014, s. 24)

Med kunskapen om filreparation och lämpliga verktyg som eliminerar skadorna i byggfilerna, ökar maskinens produktion och kvaliteten på delarna förbättras. För att reparera felaktigheter i modeller har anpassade program utvecklats för att upptäcka och reparera skador i triangulära skal. Programmen kan stänga hål i modellen, ta bort självkorsningar, radera överflödiga hörnpunkter o.s.v., något som skulle vara synnerligen tidskrävande att göra manuellt. (Netfabb model repair service, u.å.)

2.4 Skiktning

Alla befintliga AM-system har ett gemensamt genomgående tema, ett lagerbaserat förhållningssätt till byggandet av delar. Skiktning (eng. Slicing) är processen att bryta ner en tredimensionell CAD-modell till tvådimensionella skivor. Den skivade informationen översätts sedan till en fysisk modell. För att erhålla 2D-konturerna korsas fasetterna med imaginära horisontella plan och punkterna i korsningarna vid olika höjder beräknas. Raka linjer dras därefter mellan punkterna för att skapa konturen av skivan. Vid varje höjd, beroende på delens geometri, kan det existera en eller flera konturer. (Aziz, Bagchi, Fadel & Tata, 1998, s. 151)



Figur 3. Skiktning av modell.

En exakt modell av en kub kan konstrueras genom korrekt stapling av lagren. Det samma är ändå inte sant för modeller med krökta eller lutande ytor. Dessa kommer oundvikligen att lida av informationsförlust när de skivas och skapas av de resulterande lagren. Detta illustreras i Figur 3 där ett halvklot skivas, ett trappstegsfel uppstår. Det går lätt att dra slutsatsen att genom att minska på lagertjockleken kan man reducera detta fel. Även om detta är ett säkert sätt att förminska trappstegsfelet, resulterar det även i ett ökat antal lager vilket typiskt leder till längre byggtider. (Aziz, et.al., 1998, s. 151–152)

3 Tekniker

Det finns ett flertal olika tekniker inom 3D-skrivning. De flesta av dem kan placeras i en av tre tydliga kategorier. För det första finns det skrivare som formar föremål genom att pressa ut en halvflytande massa från ett datorkontrollerat munstycke. Till den andra kategorin hör skrivare som använder sig av fotopolymerisation för att selektivt härda en vätska med en laserstråle eller en annan ljuskälla. Slutligen finns det maskiner som binder ihop partiklar från pulver, oftast genom sintring. (Barnatt, 2013, s. 26–27)

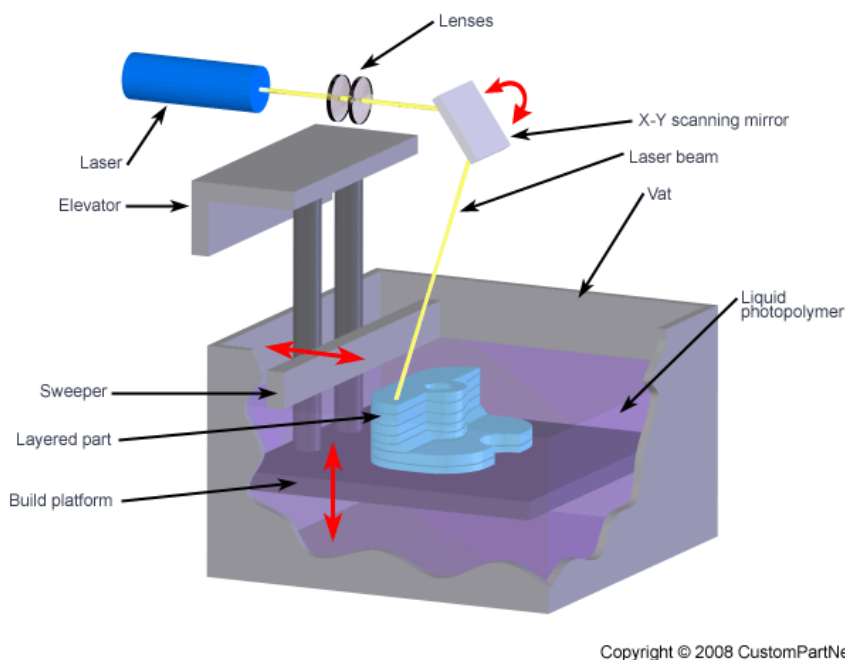
Några av metoderna kan vara väldigt lika varandra men har p.g.a. patent och varumärken olika namn. 3D-skrivning är en 30 år gammal teknik som först på senaste tid har blivit populärt hos gemene man. Det finns orsak att tro att det är just patenten som har hållit tillbaka 3D-skrivning eftersom företagen är rädda för att bli stämnda, och således använder de inte resurser till att forska och utveckla tekniken. Det var efter att de tidiga patenten gällande FDM-tekniken utgick som det skedde en tillväxtboom inom 3D-skrivning på konsumentnivå. (Hornick & Roland, 2013)

Nedan presenteras några av de vanligaste teknikerna.

3.1 Stereolithography (SLA)

SLA-tekniken är pionjären inom additiv tillverkning. Tekniken utvecklades 1984 då Charles Hull experimenterade med ultraviolett ljus för att få flytande fotopolymerplast att stelna. Avsikten var att förbättra processen vid användandet av UV-ljus och fotopolymerplast som ytbeläggning och vid annan traditionell applicering, när han insåg att potentialen att endast få vissa delar i en behållare med fotopolymer att stelna existerade. Hull patenterade metoden 1986 och grundade då företaget 3D Systems Corporation. (Barnatt, 2013, s. 74)

Polymerisation är processen att sammanfoga små molekyler (monomer) till större kedjeliknande molekyler (polymer). Fotopolymerisation är polymerisation initierad av en fotokemisk process som vanligen påbörjas genom induktionen av energi från en lämplig radioaktiv källa. SLA-tekniken utnyttjar en ultraviolett laser som skannar ett lager i gången (se Figur 4). När den flytande plasten utsätts för det ultravioletta ljuset genomgår den fotopolymerisationen och stelnar. När ett lager har skannats sänks byggplattformen och processen upprepas tills det önskade resultatet uppnås. Det optiska skanningssystemet och elevationsmekanismen som sänker byggplattformen efter att varje lager färdigställts styrs av en dator som läser CAD-informationen. (Chua & Leong, 2014, s. 37–40)



Figur 4. SLA-processen.

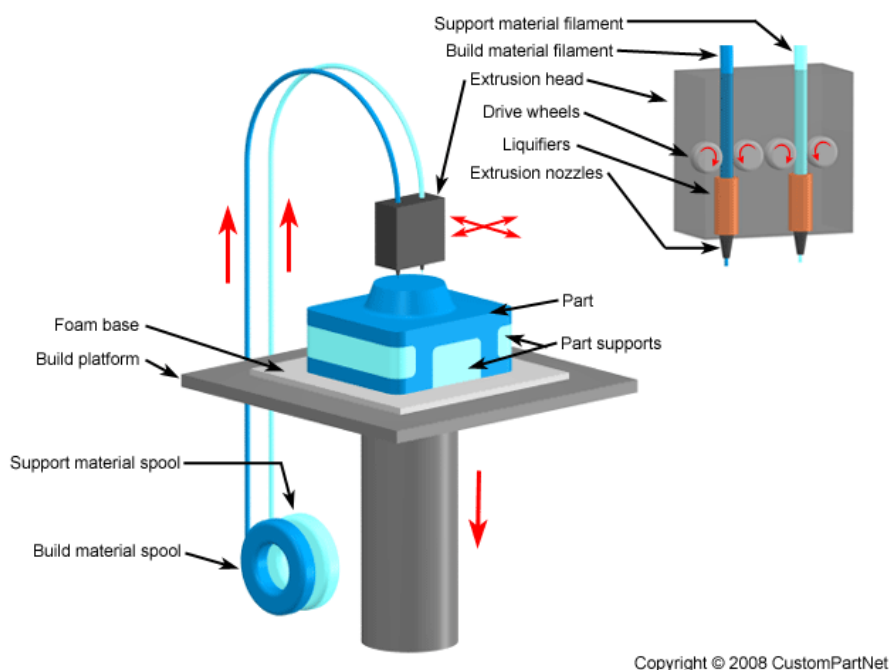
SLA-skrivare har väldigt hög precision och ytjämnheten på de tillverkade delarna är något av det bästa inom AM-system. Det finns ett brett spektrum av material, från material för allmänna ändamål till speciella material för specifika användningsområden. Delarna kräver emellertid stödkonstruktioner, vilket gör efterbehandlingen tidskrävande och avlägsnandet riskerar att skada modellen. Delarna kan även behöva genomgå en efterhärtningsprocess. (Chua & Leong, 2014, s. 43–44)

3.2 Fused Deposition Modelling (FDM)

Stratasys Inc. Grundades 1989 och utvecklade sin AM-teknik baserad på Fused Deposition Modelling (kallas också Fused Filament Fabrication(FFF)). Tekniken utvecklades ursprungligen det föregående året av Scott Crump, en av grundarna av Stratasys. Företaget fick patent på metoden 1992 och deras första 3D-skrivare introducerades samma år. Metoden är känd för dess pålitlighet och för att den tillverkar hållbara delar. (Chua & Leong, 2014, s. 127)

Modelleringsmaterialet kommer i form av en plastmassa, filament, och förvaras i en kassett eller på en spole. Filamentet matas in i ett extruderingshuvud och upphettas till ett halvflytande tillstånd. Det halvflytande materialet pressas ut ur ett munstycke i tunna lager,

ett lager i gången. Eftersom luften som omringar munstycket är under materialets smältpunkt så stelnar materialet snabbt (se Figur 5). (Chua & Leong, 2014, s. 134–135)



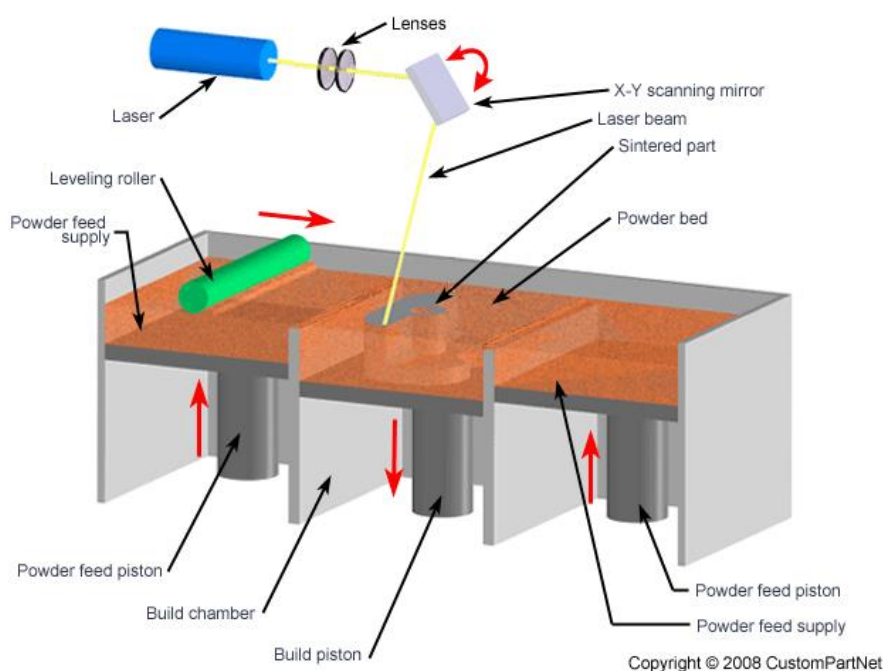
Figur 5. FDM-processen.

Metodens främsta styrkor är att den tillverkar slitstarka, hållbara och funktionella delar och dess enkelhet gör att maskiner med stora byggvolymmer är lätta att tillverka. Materialkostnaderna är förmånliga och litet spill förekommer, och det går lätt att byta material, även när skrivning pågår. Processen är dock långsam, noggrannheten är begränsad och oförutsägbar krympning och förvrängning är ett problem. (Chua & Leong, 2014, s. 136–137)

3.3 Selective Laser Sintering (SLS)

SLS-tekniken utvecklades och patenterades under 1980-talet vid University of Texas. Den första maskinen levererades 1992 av DTM Corporation. DTM hade världsomfattande ensamrätt att kommersialisera SLS-tekniken ända till 2001 då företaget köptes upp av 3D Systems. Sintring är processen där partiklar sammanfogas för att skapa objekt genom att värmas till glasövergångstemperaturen, temperaturen när materialet börjar övergå från fast form till ett geléliknande tillstånd. En stor fördel med sintring istället för sammansmältning är att eftersom partiklarna inte övergår till flytande form undviks distorsionerna som kan uppkomma vid sammansmältning. (Chua & Leong, 2014, s. 193, 201–202)

SLS-processen skapar objekt från CAD-data genom att pulveriserade material värms upp med en CO₂-laser i maskinen. Ett tunt lager av smältbart pulver placeras på byggplattan. Lagret som skall konstrueras blir selektivt skannad av en CO₂-laser. Laserstrålen höjer temperaturen till strax under smältpunkten för pulvret vilket resulterar i att partiklarna sammansmälter och bildar en solid massa. Pulvret som inte smälts fungerar som stödmaterial under byggprocessen. När ett lager är färdigt tillsätts mera pulver ovanpå det föregående lagret och processen upprepas (se Figur 6). (Chua & Leong, 2014, s. 196–197)



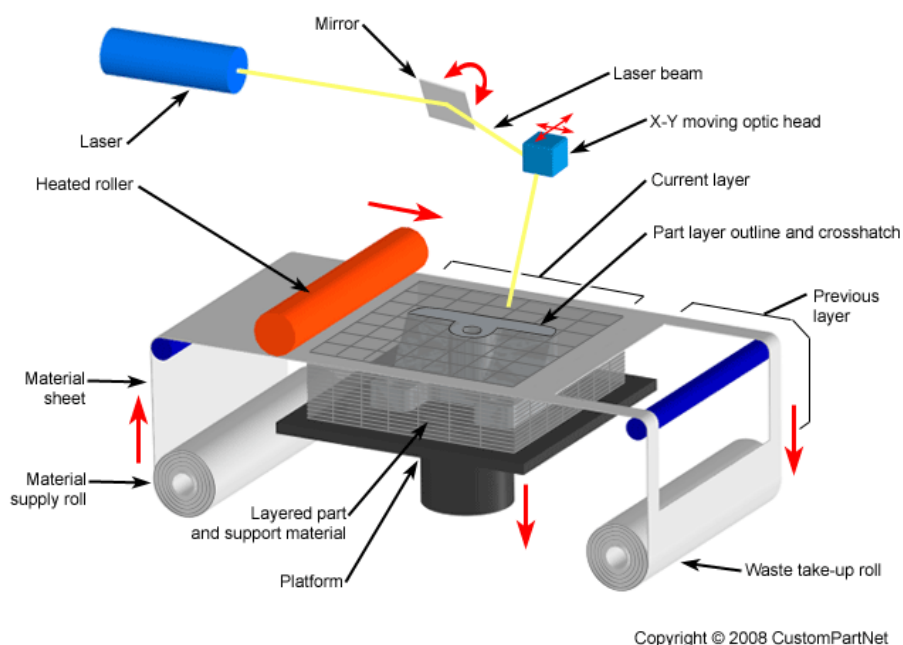
Figur 6. SLS-processen.

Styrkan med SLS är att det finns ett brett utbud av material. Nästan alla material i pulverform kan sintras med SLS, t.ex. nylon, polykarbonat, keramik och metall. Delarna tillverkas i en noggrant kontrollerad omgivning, processen och materialutbudet tillåter funktionella delar att bli tillverkade direkt med ytterst liten efterbehandling. Maskinerna blir emellertid fysiskt stora och lasern som krävs för sintring förbrukar mycket energi. (Chua & Leong, 2014, s. 202–203)

3.4 Laminated Object Manufacturing

LOM-processen är en automatiserad produktionsmetod där ett 3D-objekt konstrueras från CAD-data genom att sekventiellt laminera objektets tvärsnitt. Ett tunt lager av valfritt material läggs på underlaget och värms med lamineringsvalsen fast i underlaget. Laserstrålen

skär ut tvärsnittets konturer och överskottsmaterialet skärs till block som är enkla att avlägsna vid efterbehandlingen. Efter att ett lager är färdigt sänks plattformen och nytt material tillförs som lamineras ihop med det föregående lagret (se Figur 7). (Chua & Leong, 2014, s. 153–156, 159)



Figur 7. LOM-processen.

Ett brett urval av material går att använda med denna metod. I princip går vilket material som helst i ark-form att använda i LOM-system, t.ex. papper, plast, metall, komposit och keramik. Delar som tillverkas är nästan exakta kopior av 3D-modellen eftersom maskinerna arbetar med hög precision och inga spänningar uppkommer under byggprocessen. Byggtiden är även relativt låg eftersom endast konturerna av tvärsnittet scannas av laserstrålen. Svagheter med LOM-system är att tunna väggar blir bräckliga, speciellt i z-axelns riktning. Dessa är oftast inte tillräckligt styva och kan förstöras när överskottsmaterialet avlägsnas. (Chua & Leong, 2014, s. 159–161)

3.5. Selective Deposition Lamination (SDL)

SDL-metoden använder pappersark för att bygga 3D-modeller. Tekniken utvecklades 2003 av Dr. Conor MacCormack och Finton MacCormack. Mcor Technologies Ltd grundades 2004 och tillverkar de enda 3D-skrivarna som använder vanligt kontorspapper som

byggmaterial. Maskinerna kan tillverka 3D-modeller i hög kvalitet med över en miljon färger av vanliga A4-pappersark. (Chua & Leong, 2014, s. 145)

Processen är väldigt lik LOM förutom att den istället för att använda en rulle av papper och en laser använder den pappersark tillsammans med ett limfördelande system och en kniv. Ett pappersark i gången pressas och limmas ihop med det föregående och en kniv skär sedan längs konturerna av tvärsnittet. Eftersom vanligt papper används är detta en mycket förmånlig metod. Modellerna blir även väldigt exakta. Nackdelarna är att de kan skadas enkelt och att byggytan bara har en area av ett A4-pappersark. (Chua & Leong, 2014, s. 148–149)

3.6 Multijet Printing (MJP)

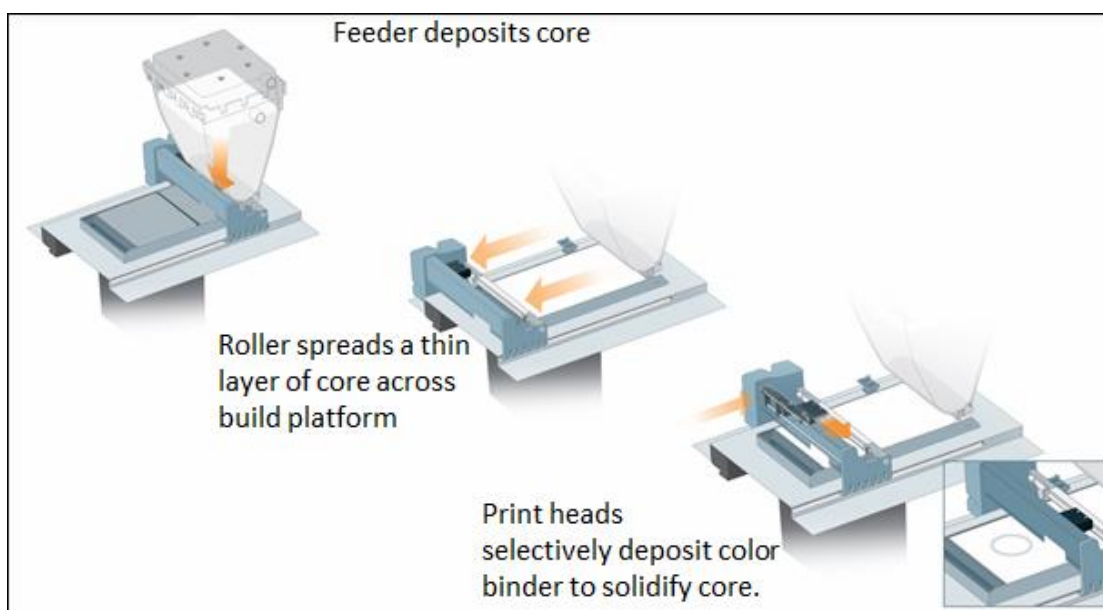
Principen bakom MJP är som i de flesta andra AM-system att modeller byggs upp i skikt. Skrivarhuvudet består av många små munstycken som applicerar material endast där det krävs. Skrivarhuvudet åker fram och tillbaka byggandes ett enskilt lager av vad som snart kommer att bli en tredimensionell modell. Varje lager härdas av en UV-lampa. När lagret är färdigt sänks plattformen och skrivarhuvudet påbörjar byggandet av nästa lager. (Chua & Leong, 2014, s. 63–65)

MJP tillåter en snabb och effektiv process för att skapa konceptmodeller. Det stora antalet munstycken tillåter en snabb och kontinuerlig byggprocess för maximal utnyttjandegrad. Precisionen är en av de bästa i hela AM-industrin. Utbudet av material är dock begränsat och byggvolymen är relativt liten jämfört med andra AM-maskiner i toppsegmentet. (Chua & Leong, 2014, s. 65–66)

3.7 ColorJet Printing (CJP)

3DP-tekniken uppfanns och patenterades 1993 vid Massachusetts Institute of Technology. Tekniken licensierades åt företaget Z Corporation som därefter introducerade sin första 3D-skrivare 1997 baserad på metoden. Deras första fullfärgsskrivare lanserades år 2000. Företaget anskaffades av 3D Systems i april 2013 och namnet på tekniken ändrades till ColorJet Printing (CJP). (Chua & Leong, 2014, s. 208–209)

Processen går ut på att maskinen sprider ut ett jämnt lager pulver som täcker hela byggytan. Skrivaren fördelar därefter ett bindemedel på det lösa pulvret för att forma det första tvärsnittet. Maskinen har fyra skrivarhuvuden som innehåller olika färgbindemedel, genom att var och ett av skrivarhuvudena placerar och blandar en skild färg kan delar med ett brett spektrum av färger produceras. Pulvret som kvarstår efter att bindemedlet har placerats förblir löst och fungerar som stödmaterial. Efter att processen upprepats tills man har en fullständig del dammsuger man upp överloppsmaterialet som går att återanvända vid ett senare tillfälle (se Figur 8). (Chua & Leong, 2014, s. 212–214)



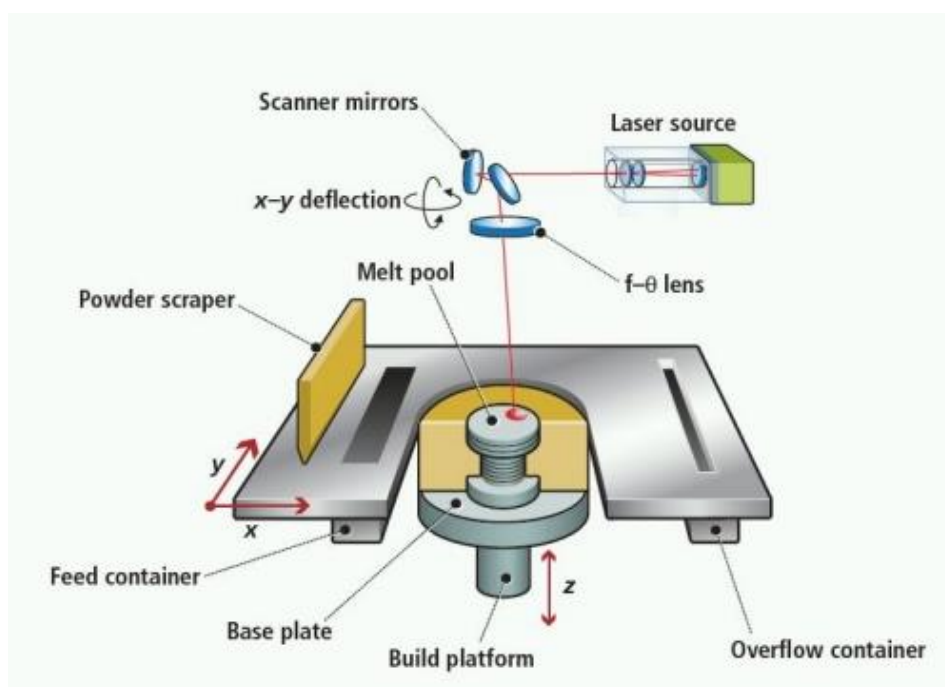
Figur 8. CJP-processen.

Hastigheten är en av de främsta styrkorna med CJP-skrivning, varje fullständigt lager skrivs på några sekunder. Materialspillet är minimalt eftersom överskottsmaterialet kan återanvändas. Maskinerna är väldigt mångsidiga, delarna används inom fordons-, flyg-, kläd- och telekommunikationsindustrin, och även i utbildningssyfte och i medicinskt syfte. I jämförelse med SLS-tekniken är delarna relativt mycket svagare vilket begränsar deras användning till en viss del. Delarna har också en svag ytjämnhet och efterbehandling fordras ofta. (Chua & Leong, 2014, s. 215)

3.8 Selective Laser Melting (SLM)

SLM-system introducerades på marknaden år 2000 och de bygger objekt i kompakt metall. Maskinerna tillverkas av det tyska företaget SLM Solutions GmbH. Maskinerna smälter

metallpulver snarare än att endast sintra det, vilket gör det möjligt att tillverka 100 % kompakta metalldelar från sedvanliga metallpulver. Lagren kan göras så tunna som 20 μm . Processen följer många av de konventionella inställningarna till lagerbaserad tillverkningsprocess. Ett objekt delas in i skikt och varje ett av de skikten byggs ovanpå varandra och smälts samman, lager efter lager, tills delens form har byggts. En laserstråle, kontrollerad med hjälp av optiska linser, passerar på ytan av ett lager pulveriserad metall för att bygga varje lager (se Figur 9). Den slutgiltiga delen har mycket högre hållfasthet och måttnoggrannhet än delar byggda med lasersintring. (Chua & Leong, 2014, s. 262–265)

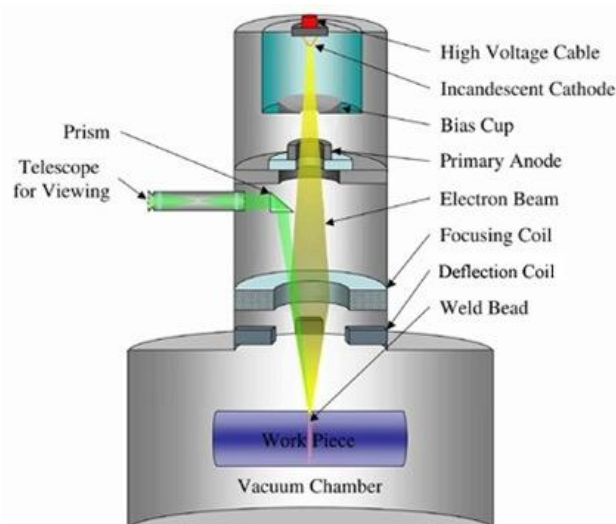


Figur 9. SLM-processen.

Nästan alla typer av metall går att använda, t.ex. rostfritt stål, titan, aluminium, kobolt-krom och diverse icke-järnhaltiga metaller. Delarna blir dimensionellt korrekta, ingen förvrängning förekommer, möjligheten att tillverka delar med komplexa geometrier, interna skärningar och kanaler gör det till ett eftertraktat system vid tillverkning av funktionella prototyper och specifika delar. Systemen lider dessvärre av hög energiförbrukning, den relativt långsamma processen och maskinens fysiska storlek. (Chua & Leong, 2014, s. 265–266)

3.9 Electron Beam Melting (EBM)

Det grundläggande utvecklingsarbetet för det svenska företaget Arcam Ab:s AM-teknik började 1995 i samarbete med Chalmers tekniska högskola. Företaget grundades 1997 deras EBM-teknik kommersialiserades 2001. EBM utnyttjar en elektronstråle för att smälta metallpulver. Ett tunt lager pulver placeras på en vertikalt justerbar plattform. Den datorstyrda elektronstrålen smälter pulverlagret, som befinner sig i en vakuumkammare, genom ökningen i kinetisk energi. Vakuummiljön i EBM-maskinen bibehåller den kemiska kompositionen av materialet och ger en utmärkt miljö för att bygga delar med reaktiva material, såsom titanlegeringar. Ett lager tillsätts efter att det föregående har smält (se Figur 10). På det här sättet är de solida detaljerna uppbyggda som tunna sammansmälta metallskivor. (Chua & Leong, 2014, s. 244, 246–247)



Figur 10. EBM-processen.

EBM-processen producerar helt kompakta metalldelar med hög hållfasthet och utmärkta materialegenskaper. Vakuudet förser en god termisk miljö som resulterar i god formstabilitet och kontrollerad termisk jämvikt i föremålet, vilket avsevärt minskar krympning och termiska påfrestningar. Vakuummiljön eliminerar också orenheter, såsom oxider och nitriter. Elektronstrålen som används i processen kan dock producera gammastrålning. Vakuumkammaren fungerar som en sköld mot gammastrålningen, därför är det absolut nödvändigt att vakuumkammaren måste underhållas på rätt sätt. (Chua & Leong, 2014, s. 247–248)

3.10 Efterbehandling

Den sista uppgiften i processkedjan är efterbehandling. Några manuella åtgärder är oftast nödvändiga i det här skedet. Risken att skada föremålet är relativt stort, därför har den som utför detta sista steg ett stort ansvar för det framgångsrika förverkligandet av hela processen. De nödvändiga efterbehandlingsuppgifterna för några AM-system visas i Tabell 1. (Chua & Leong, 2014, s. 26)

Tabell 1. Väsentliga efterbehandlingsuppgifter för olika AM-system.

Additiva tillverkningsprocesser				
Efterbehandlingsuppgifter	SLS	SLA	FDM	LOM
1. Rengöring	✓	✓	X	✓
2. Efterhärdning	X	✓	X	X
3. Slutbehandling	✓	✓	✓	✓

(✓ = nödvändig, X = inte nödvändigt)

Rengöring syftar på avlägsnandet av tilläggsdelar som kan ha lämnat kvar på delen, såsom stödkonstruktioner och oanvänt pulver. SLA-delar tillverkas med fickor av vätska inbäddade i delen och kräver därför efterhärdning, oftast i en UV-ugn. Slutbehandling hänvisar till andrahandsprocesser såsom slipning och målning, vilka görs främst för att förbättra ytan eller det estetiska utseendet av delen. Dit inkluderas också ytterligare maskinbearbetning såsom borring, gängning och fräsning. (Chua & Leong, 2014, s. 26–28)

4 Problematik

Eftersom 3D-skrivning är en långt automatiserad process är det viktigt att ha en hållbar modell före man skickar den till skrivaren. Om modellen inte är tillförlitlig blir det slutliga objektet inte exakt. Om det finns felaktigheter i STL-filen finns det risk för att föremålet inte kommer att kunna tillverkas. Därför är det väsentligt att man förstår hur STL-filerna är uppbyggda och hur man skapar en godtagbar modell är en investering som kommer att löna sig i längden.

4.1 STL-filproblem

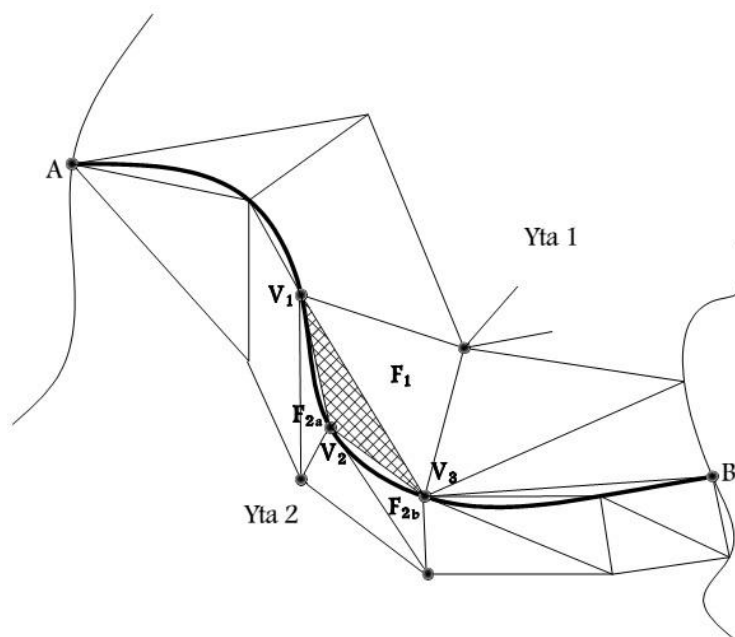
Flera problem plågar STL-filerna och de grundar sig på hur de är uppbyggda, de innehåller t.ex. inte någon topologisk information. Många algoritmer som används i CAD-program idag är inte tillräckligt robusta, vilket leder till att de tenderar skapa polygonalt ungefärliga modeller som uppvisar följande typer av fel:

1. Luckor (hål, sprickor) d.v.s. förlorade fasetter
2. Degenererade fasetter (där alla dess kanter är samlinjära)
3. Överlappande fasetter
4. Icke-mångfaldiga topologiförhållanden

Problemet ligger delvis i svårigheterna med att tessellera (Tessellation = upprepning av en geometrisk form för att skapa ett mönster) trimmade ytor, ytornas skärningspunkter och att kontrollera numeriska fel. Algoritmernas oförmåga att generera en godtagbar fasettmodell gör det nödvändigt att utföra modellgranskningskontroller före den tessellerade modellen sänds till AM-utrustningen för tillverkning. Om den tessellerade modellen är ogiltig måste åtgärder tas för att avgöra vad de specifika problemen är, huruvida de beror på luckor, degenererade fasetter eller överlappande fasetter eller något annat. (Chua & Leong, 2014, s. 305)

4.1.1 Förlorade fasetter

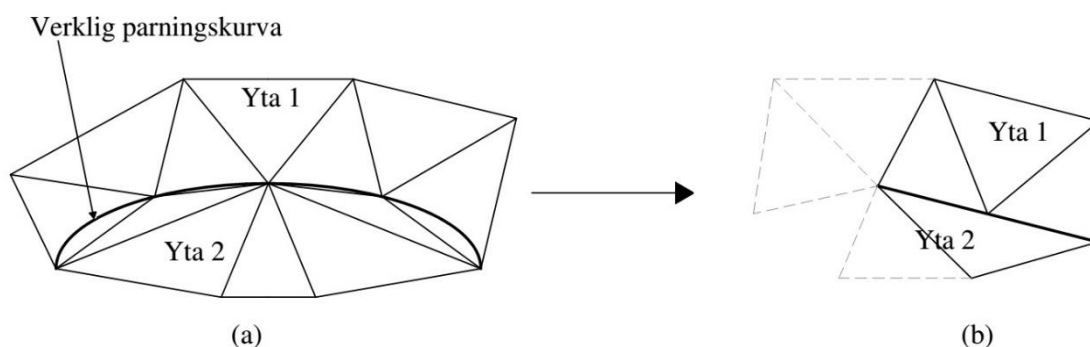
Ytor med stor kurvatur kan vid tessellering drabbas av fel vid skärningspunkterna mellan sådana ytor, där luckor eller hål kan uppstå. En avvikelse vid en skärning som resulterar i en lucka illustreras i Figur 11. (Chua & Leong, 2014, s. 306)



Figur 11. Lucka på grund av förlorad fasett.

4.1.2 Degenererade fasetter

En geometrisk degeneration av en fasett inträffar när fasettens alla kanter är samlinjära, även om alla dess hörn är distinkta. Det här kan orsakas av algoritmer som försöker sy ihop fasetter för att undvika skalpunkteringar som i Figur 12(a). De erhållna fasetterna som skapas i Figur 12(b), eliminerar skalpunkteringarna. Detta görs dock på bekostnad av skapa en degenererad fasett. (Chua & Leong, 2014, s. 307)



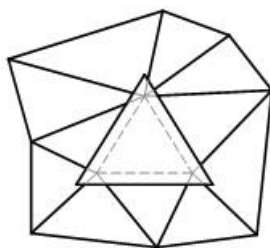
Figur 12. Skalpunkteringar (a) skapad av oregelbunden tessellering av två intilliggande ytområden längs deras gemensamma parningskurva och (b) avlägsnade på bekostnad av att lägga till en degenererad fasett.

I detta fall följs inte vertex to vertex regeln som bestämmer att triangel måste dela två av dess hörn med varje intilliggande triangel (Rypl, D. 2005). Samtidigt som degenererade

fasetter inte innehåller godtagbara ytnormaler, representerar de implicit topologisk information om hur två ytor förenas. Denna viktiga information sparas följaktligen innan den degenererade fasetten förkastas. (Chua & Leong, 2014, s. 307)

4.1.3 Överlappande fasetter

Överlappande fasetter kan skapas på grund av numeriska avrundningsfel som uppstår under tesselleringen. Hörnen är representerade i 3D-rymden som flyttal istället för heltal. Således kan de numeriska avrundningsfelen leda till att fasetterna överlappas om toleranserna sätts alltför fritt. Ett exempel på en överlappande fasett illustreras i Figur 13. (Chua & Leong, 2014, s. 307–308)



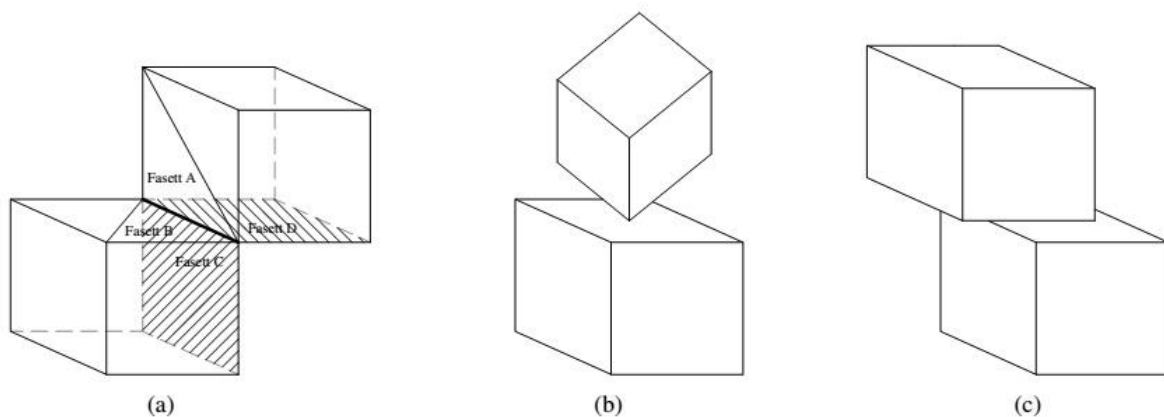
Figur 9. Överlappande fasett.

4.1.4 Icke-mångfaldiga förhållanden

En mångfald (eng. manifold) är ett geometriskt topologiskt begrepp som betyder: att tillåta osammanhängande objekt att existera i en enda logisk kropp. Icke-mångfald betyder då: alla osammanhängande objekt måste vara sin egen logiska kropp. Denna definition är ofta mer förvirrande, så kanske det bästa sättet att tänka är att mångfald innebär i princip att föremålet går att tillverka, och icke-mångfald betyder att det inte kan tillverkas (Dennis, 2013). Det finns tre typer av icke-mångfaldiga förhållanden, nämligen:

1. En icke-mångfaldig kant
2. En icke-mångfaldig punkt
3. En icke-mångfaldig yta

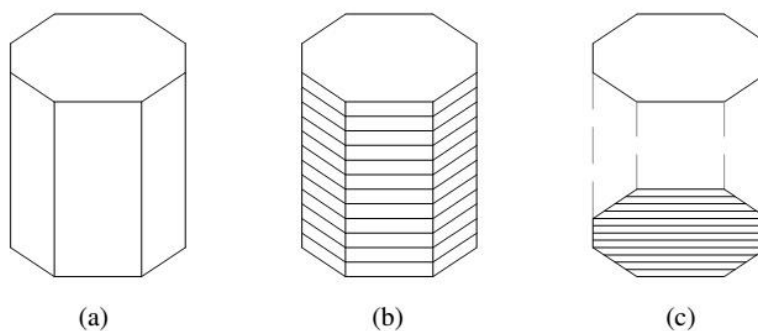
Dessa kan skapas på grund av att tessellering av små särdrag är känsliga för avrundningsfel. En illustration av en icke-mångfaldig kant illustreras i Figur 14(a). En hållbar modells fasetter skulle ha endast en intilliggande fasett på var, d.v.s. en kant skulle dela endast två fasetter. Därför måste icke-mångfaldiga kanter åtgärdas så att varje fasett har endast en angränsande fasett längs varje kant, genom att rekonstruera en topologiskt mångfaldig yta. I Figur 14 (b) och (c) illustreras två andra typer av icke-mångfaldiga förhållanden. (Chua & Leong, 2014, s. 308–309)



Figur 10. Icke-mångfaldig kant (a), icke-mångfaldig punkt (b) och icke mångfaldig yta (c).

4.1.5 Godtagbar modell

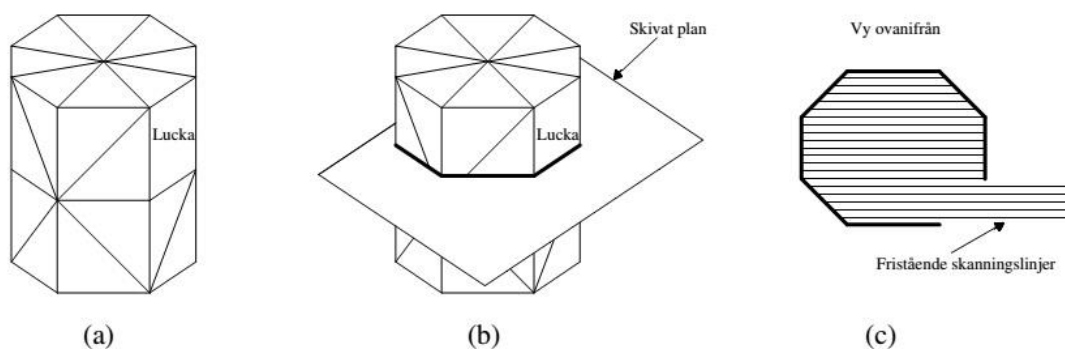
En tessellerad modell sägs vara godtagbar om the inte finns några förlorade fasetter, degenererade fasetter, överlappande fasetter eller andra avvikelser. När en godtagbar modell (se Figur 15 (a)) används som indata kommer den först att delas in i tvådimensionella lager (se Figur 15 (b)). Varje lager omvandlas till endimensionella skanningslinjer (se Figur 15 (c)) för lasern eller annan AM-teknik att följa när det påbörjar byggandet av modellen. Skanningslinjerna fungerar som av/på punkter för laserstrålen så att föremålet kan byggas utan några problem. (Chua & Leong, 2014, s. 310)



Figur 11. (a) Godtagbar 3D-modell, (b) 3D-modell skivad i 2D-lager och (c) konvertering av 2D-lager till endimensionella skanningslinjer.

4.1.6 Ogiltig modell

Om en solid modell är ohållbart tessellerad kan det resultera i luckor som i Figur 16 (a). Om det här felet inte korrigeras och modellen följaktligen skivas, som i Figur 16 (b), skulle den förlorade fasetten i den geometriska modellen leda till att systemet inte har någon fördefinierad gräns vid den skivan. Därför skulle byggnadsprocessen fortsätta till den fysiska gränsen av AM-maskinen och skapa en fristående fysisk linje, och således förstöra delen som tillverkas (se Figur 16 (c)). Det är därför ytterst viktigt att modellen repareras före den skickas för att byggas. (Chua & Leong, 2014, s. 310–311)



Figur 12. (a) Felaktig tessellerad modell, (b) felaktig modell skivad och (c) ett lager av en felaktig modell blir skannad.

4.2 Fysiska problem

Förutom de digitala bristfälligheterna modellen kan innehålla kan man stöta på problem när man skriver ut själva modellen. Många problem är dock maskinspecifika och en korrekt inställd maskin borde inte ge några problem alls. Eftersom modellerna i detta examensarbete

har skrivits ut med en skrivare baserad på FDM-tekniken redogörs här för vissa problem denna kan medföra. (A visual Ultimaker troubleshooting guide, 2015)

Förvrängning sker när plasten svalnar och krymper. När objektet svalnar och krymper en aning börjar det dra in på sig själv. Så småningom blir krafterna så stora att utskriften böjer upp från plattformen. Det bästa sättet att förhindra detta är med en uppvärmd byggplattform. Plasten hålls då strax under glasövergångstemperaturen och stannar därför platt och ansluten till plattformen. (A visual Ultimaker troubleshooting guide, 2015)

Problem kan även uppstå om första lagret inte fastnar. Det vanligaste felet här är oftast att byggplattformen inte är tillräckligt plan. Det är mycket viktigt att plattformen är i perfekt nivå i förhållande till rörelsen av skrivarhuvudet och att utgångsavståndet från munstycket är noggrant inställt. Om delarna inte är fast i byggplattformen kan de lossna innan utskriften är klar. (A visual Ultimaker troubleshooting guide, 2015)

5 Makerbot Replicator 2X

Makerbot är kanske den mest kända tillverkaren av skrivare inom konsumentsegmentet. Företaget grundades 2009 från framgångar gjorda av RepRap-skrivare. Målet med RepRap-projektet som startades 2005 av Dr. Adrian Bowyer var att skapa en prisvärd, självreplikerande 3D-skrivare med öppen hårdvara (fri från patent samt proprietära och slutna hårdvarudesigner). Makerbot växte snabbt och förvärvades 2013 av Stratasys för \$403 miljoner USD. (Stokes, 2013, s. 9)

Modellen i examenarbetet har skrivits ut av en Makerbot Replicator 2X, en skrivare som baserar sig på FDM-tekniken. Skrivaren är väldigt lätt att använda och materialet är förmånligt. Den har en uppvärmd byggplattform och en stängd byggkammare vilket gör att den kan använda de flesta material som finns till förfogande för FDM-skrivare. I examensarbetet har modellen delats upp och skrivits ut i två olika material, PLA och ABS. Möjlighet till att använda två olika färger eller material finns också eftersom skrivaren har två extruderingshuvuden. Skrivarens mest relevanta specifikationer visas i Tabell 2.

Tabell 2. Makerbot Replicator 2X specifikationer (Makerbot Replicator 2X User Manual, (u.å.), s. 8)

Specifikationer	
Teknik	Fused Filament Fabrication
Byggvolym	24.6 x 16.3 x 15.5 cm
Lagrens upplösning	Hög 100 µm Medel 200 µm Låg 300 µm
Lägesprecision	XY: 11 µm Z: 2.5 µm
Filamentdiameter	1.75 mm
Munstyckens diameter	0.4 mm

5.1 Material

FDM-tekniken har förmodligen tillgång till det största utbudet av material, allt från vanliga plaster till material som är vattenlösliga och material flexibla som gummi. För stödkonstruktioner skulle det lämpa sig att använda ett material som löses upp i en vätska. I examensarbetet har ändå stödkonstruktionerna skrivits ut i samma material som övriga konstruktioner, av den orsaken att det finns mindre risk för komplikationer vid skrivningen. Även fast skrivaren har två extruderingshuvuden kan endast ett i gången arbeta. Det hade tidigare varit problem med materialet i ett extruderingshuvud kunde hopa sig och stocka munstycket när det andra huvudet arbetade.

5.1.1 ABS

ABS-plast (akrylnitril-butadien-styrenplast) är ett av de två materialen som dominerar marknaden för FDM-skrivare. Eftersom ABS är en kombination av tre polymerer är det möjligt att utforma den för många olika ändamål. I allmänhet är det en stark plast med måttlig flexibilitet. När man skall tillverka delar som skall kopplas samman används den ofta på grund av dess flexibilitet. Den är enkel att slipa och bearbeta. Dess styrka, flexibilitet, bearbetbarhet och högre värmetålighet gör det till en vanligt föredragen plast av ingenjörer och de med mekaniska ändamål i åtanke. Utan en uppvärmd byggplattform är det ändå nästan omöjligt att skriva ut i ABS eftersom den inte fäster sig på en kall yta. Spänningar kan även uppstå i delarna, i värsta fall så att de förvrängs eller spricker. (Chilson, 2013)

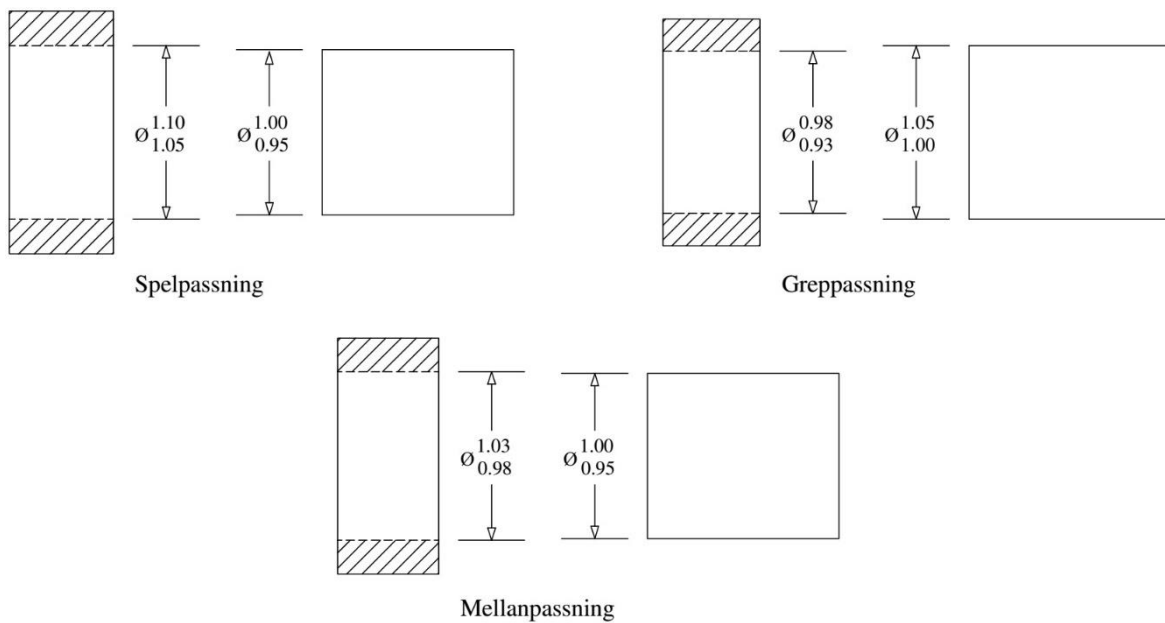
5.1.2 PLA

Det andra populära materialet vid FDM-skrivning är PLA (polylaktid), som framställs från ett flertal olika växter inklusive majs, potatis eller sockerbetor. PLA är biologiskt nedbrytbar och anses vara en mera naturvänlig plast än den oljebaserade ABS-plasten. Den är styvare än ABS och kan emellertid vara svår att använda när föremål skall sammankopplas. Den kräver lite mera jobb vid slipning och bearbetning. Den har en lägre värmetålighet, men är därför också enklare att göra utskrifter med. Risken för sprickning och förvrängning är avsevärt mindre. Dess användningsändamål är däremot något mera begränsat på grund av dess värmetålighet. Materialet är däremot populärt hos hobbyutövare och skolor. (Chilson, 2013)

5.3 Toleranser och passningar

När man planerar två olika delar som skall monteras ihop måste man beakta toleranser och passningar. Utan att märkbart påverka funktion kan vissa mått, egenskaper och förhållanden variera inom en viss gräns. Har man ett tillräckligt noggrant mätinstrument kan man alltid hitta en avvikelse. Makerbot Replicator 2X har en tolerans på $\pm 11 \mu\text{m}$ i XY-riktningen och $\pm 2.5 \mu\text{m}$ i Z-axelns riktning. Ett exempel kunde vara att modellera en kub vars sidor skulle vara 1 mm. Efter skrivning kan kuben faktiskt vara någonstans mellan 0.9890-1.0110 mm för X och Y och 0.9975-1.0025 mm för Z. Denna tolerans kommer mer än väl att räcka för denna uppgift, men det är viktigt att komma ihåg att vad man planerar är inte exakt vad man får. (Stokes, 2013, s. 49)

Passningar är avsedda spelrum mellan komponenter. Vilken typ av passning varierar beroende på användning och det är planerarens ansvar att välja en. Passningarna kan grupperas in i tre olika kategorier: spelpassning, grepppassning och mellanpassning. Exempel på de olika passningstyperna illustreras som en axel och ett hål i Figur 17. (Stokes, 2013, s. 50)



Figur 13. De tre olika passningstyperna.

Spelpassning tillåter full rörelse av axeln i hålet. Ett mellanrum finns här mellan axeln och hålet, vilket åstadkoms genom att antingen överdimensionera hålet eller underdimensionera axeln. I grepppassningen sitter axeln säkert i hålet. Axeln måste pressas in eller passas in med uppvärmnings- och kylnings-/krympningsmetoden. Grepppassningar är inte avsedda att ta isär. Mellanpassningen är en kompromiss mellan de två övriga. Axeln hålls säkert i hålet och har också förmågan att avlägsnas utan skada. För användning med Makerbot Replicator 2X kommer mellanpassning vara när man inte beaktar toleranssättning. (Stokes, 2013, s. 50–51)

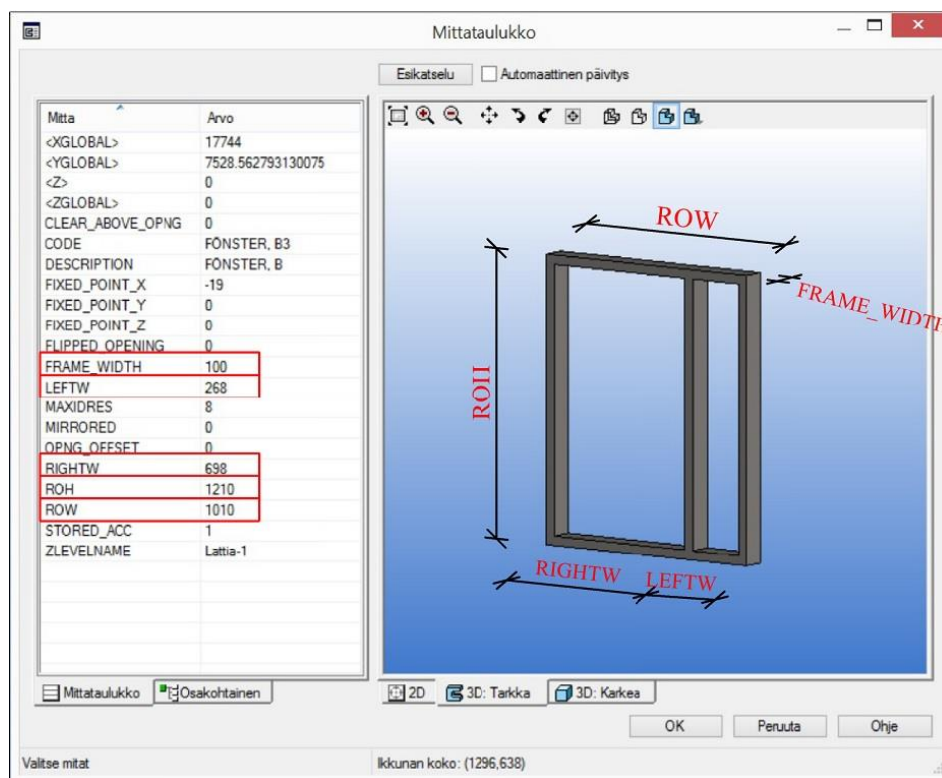
6 Test

På basen av kunskaperna jag lärt mig om 3D-skrivning och instruktionerna från uppdragsgivaren har ett exempelhus modellerats. Till mitt förfogande hade jag programmet Vertex BD Architectural. Målet var att få planerat ett hus som skulle inkorporera olika designaspekter och utnyttja skrivarens byggyta effektivt. Skalan 1:100 fastslogs som en passande skala eftersom det är en vanligt använd skala inom byggnadssektorn. Det modellerade huset utnyttjar också en stor del av skrivarens byggnadsyta med skalan 1:100.

6.1 Modelling

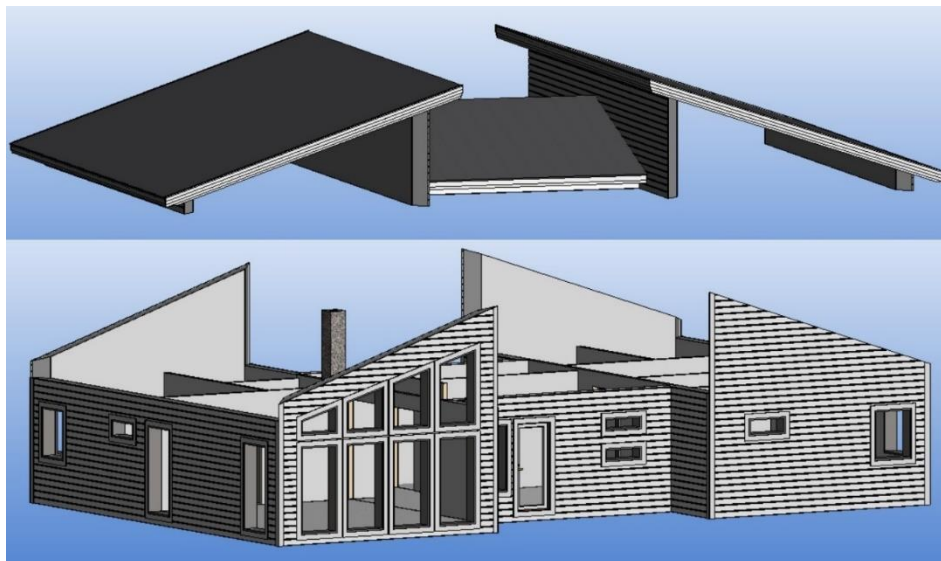
Exempelhuset modellerades i 3D på vanligt sätt i Vertex BD, med all inredning och utrustning på plats. På detta sätt behöver man inte ändra på vedertagen praxis endast med tanke på 3D-skrivning. Efter att huset är färdigt modellerat kan man istället tänka på de krav som ställs för 3D-skrivning.

Det gick snabbt att konstatera att de ursprungliga fönstren inte skulle vara lämpliga för 3D-skrivning. Även fast fönsterglasen endast var några millimeter tjocka, i skalmodellen inte mer än några hundradelar, så registrerades de ändå när modellen genomgick skiktning. Jag programmerade därför in nya makron för de vanligaste fönstertyperna. Alla fönstertyperna har programmerbara mått, d.v.s. deras bredd, längd, ramtjocklek och andra nödvändiga mått går att specificera när de sätts in (se Figur 18).



Figur 18. Fönstermakro.

Modellen har delats upp i två separata moduler, en för huset och en för taket (se Figur 19). När Vertex sparar en fil i STL-formatet så sparas allt som syns i 3D-vyn. Ett lämpligt sätt att dela modellen var att välja ut de alla delar som inte skulle tillhöra husmodulen och göra dem synliga endast i 2D-vyn. På detta sätt finns de kvar i modellen och går att återställa senare, fast de är osynliga i 3D-vyn.



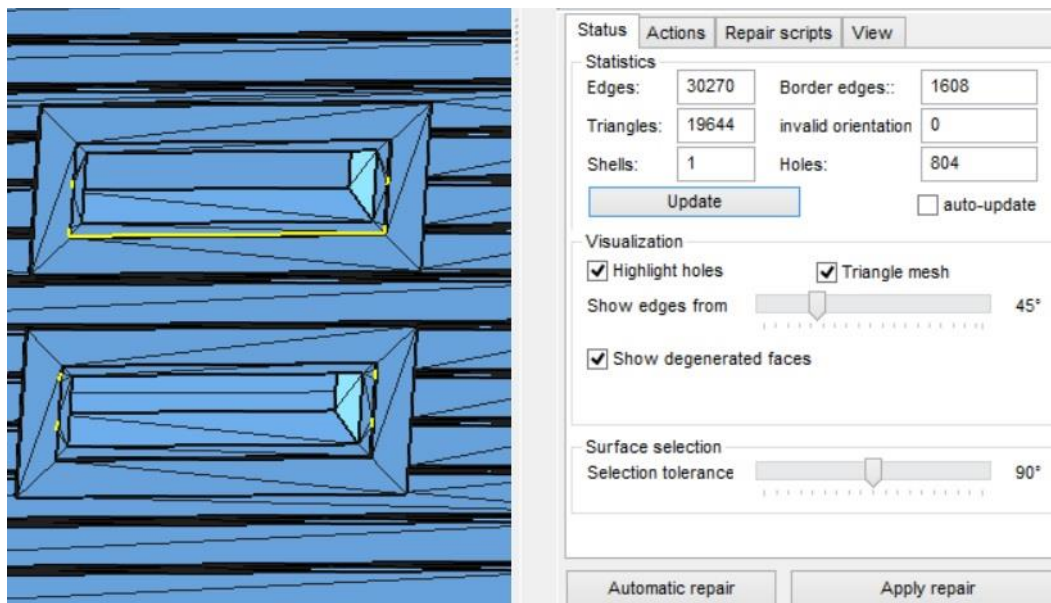
Figur 19. De två modulerna uppdelade.

Vertex klarar av konverteringen till STL relativt bra. Vissa fel förekommer ändå. Programmet informerar om det uppstår fel vid skapandet av triangelnätet och rekommenderar att man skall ändra på upplösningens noggrannhet. Att få en helt perfekt modell anpassad för 3D-skrivning är ändå näst intill omöjligt, enklast är det att reparera den bristfälliga modellen med separat programvara.

6.2 Granskning och reparation

För att reparera modellen användes programmet Netfabb Basic, ett gratisprogram som finns att ladda ner från internet. Det finns även en molntjänst vart man kan ladda upp modellen och få en korrigerad tillbaka, jag har dock inte testat den tjänsten. Netfabb tar hand om många av de vanliga felen i 3D-modeller som annars skulle kräva manuella reparationer av användaren. Redigeringen tar inte mycket tid om inga större fel existerar och de inte på något sätt gör modellen omöjlig att reparera.

Programmet analyserar modellen och rapporterar hurudana fel som upptäckts och hur många fel modellen innehåller. Det yttre skalet är ljusblått i programmet, det inre skalet rött och felen som upptäckts markeras med gul färg. Före reparationen tillämpas inspekteras modellen så man kan kontrollera att programmet inte tar bort något ur modellen eller stänger några hål som finns där för ett visst ändamål. Modellen kan därefter repareras manuellt eller så kan programmet köra en automatisk reparation (se Figur 20).

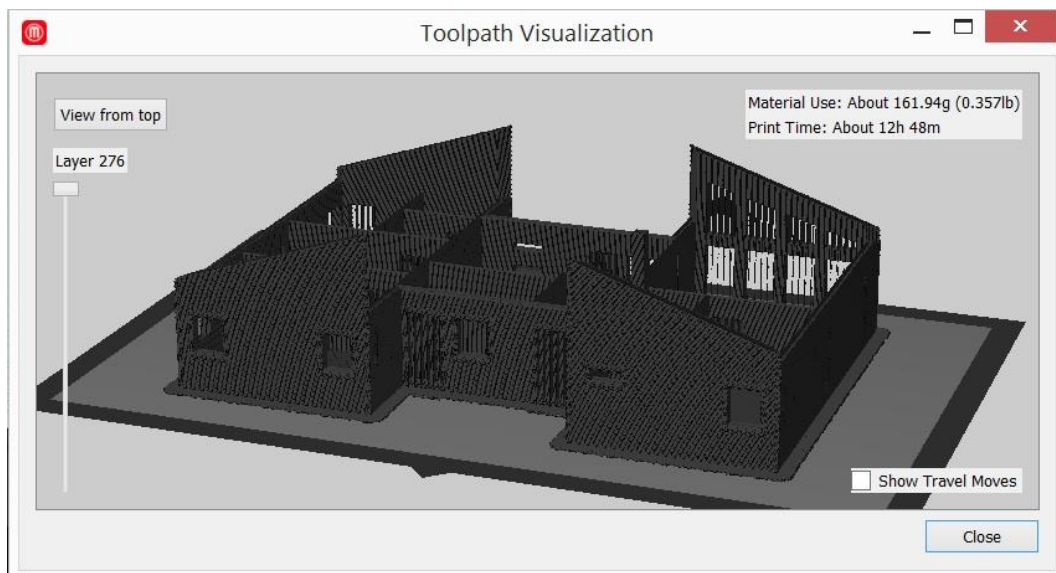


Figur 20. Fel i modellen och reparation med Netfabb Basic.

Man kan även skära av modellen i X-, Y- och Z-led om modellen är för stor med avseende på skrivarens byggplattform. Viktigt att tänka på vid 3D-skrivning är orienteringen av delarna. I programmet skalade jag modellen till skalan 1:100 och orienterade delarna så att skrivaren skulle förbruka så lite stödmaterial som möjligt. Modellen kan efter redigering exporteras till en mängd olika filformat, bl.a. STL och AMF.

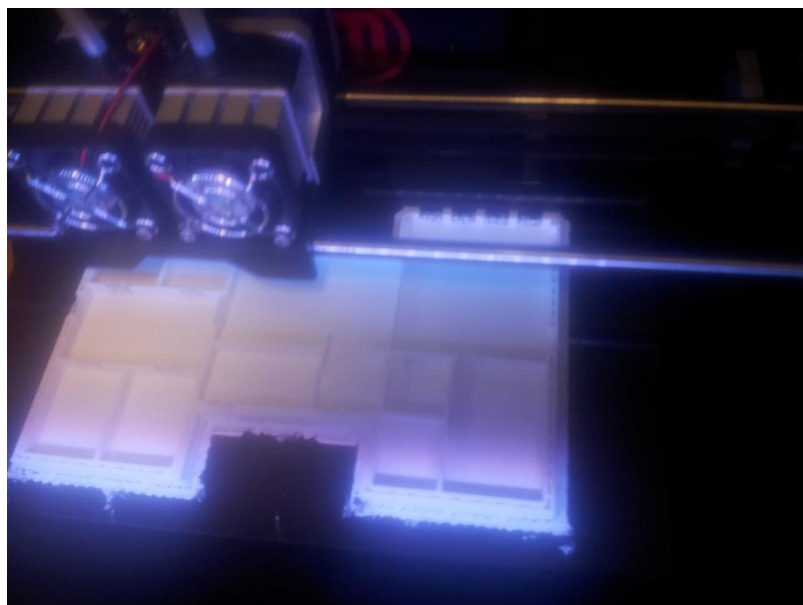
6.3 Skiktning och 3D-utskrift

För att skrivaren skall kunna tillverka något måste den få instruktioner om var material skall placeras. Detta görs tvådimensionellt, ett lager i gången. För att skiva modellen användes Makerbots egna programvara, Makerbot Desktop 3.5. I programmet bestäms inställningar som gäller lagerhöjd, hastighet, temperaturer och om stödmaterial skall genereras där det anses nödvändigt. När modellen har skivats presenteras en visualisering av modellen där skrivarens rörelser för varje lager kan granskas. Man får också en uppskattning av byggtiden och materialåtgången (se Figur 21).



Figur 21. Visualisering i Makerbot Desktop av hur den utskrivna modellen konstrueras.

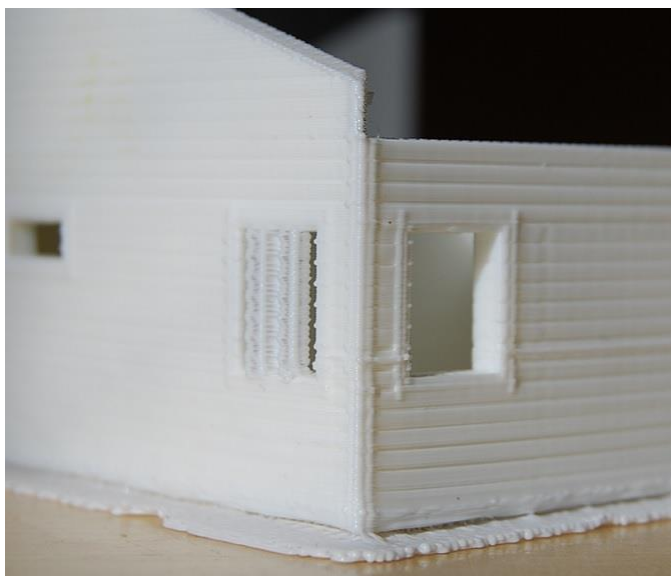
Efter att man har fastställt vilka inställningar som skall användas, kan modellen skrivas ut genom kontakt mellan datorn och skrivaren med USB-kabel, eller genom att exportera filen till ett minneskort. Minneskortet är att föredra eftersom att om datorn stängs av under skrivning upphör även skrivarens tillverkningsprocess. När filen har exporterats till minneskortet sätter man in det i skrivaren, startar skrivningen av modellen och därefter är processen helt automatiserad (se Figur 22).



Figur 14. Modellen tillverkas i skrivaren.

6.4 Efterbehandling

När modellen skivas genererar programmet stödmaterial under konstruktioner som annars skulle hänga i luften, t.ex. i fönster och dörrar. Stödkonstruktionerna tillverkades av samma material som resten av modellen och måste därför avlägsnas manuellt. Hade ett upplösningbart material använts för stödkonstruktionerna kunde modellen ha placerats i en vätska efter skrivningen som skulle lösa upp det. Stödkonstruktionerna var dock enkla att avlägsna genom att skära lös dem med en kniv och ta bort dem med en tång.



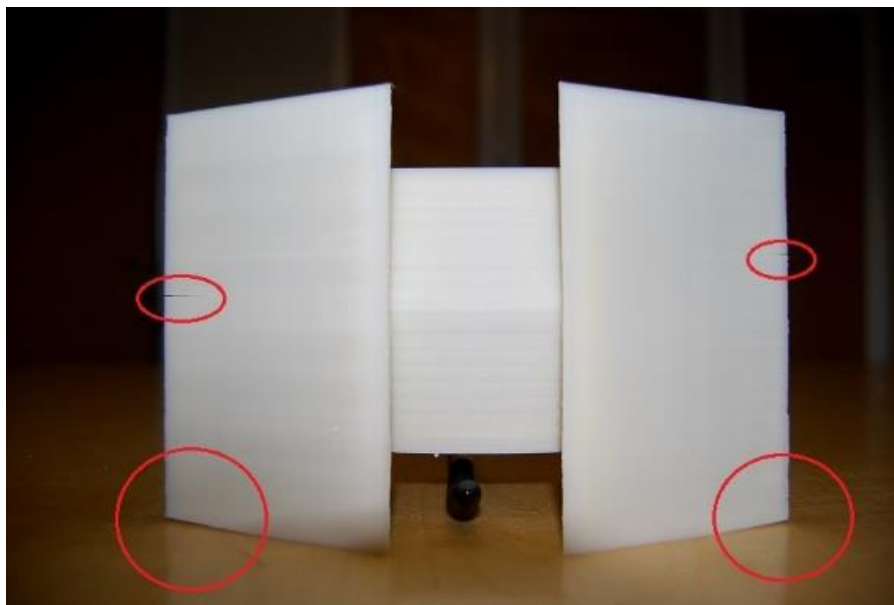
Figur 15. Stödkonstruktioner genererades endast i vissa fönster.

Stödkonstruktionerna genererades väldigt irrationellt (se Figur 23). Vissa fönster lämnade utan stödkonstruktioner fastän de var exakt likadana i modellen som de fönster där programmet valde att tillverka stöd. I och med att den enda valmöjligheten i Makerbot Desktop gällande stödkonstruktioner är att tillverka dem eller att inte tillverka dem, så måste stöden skapas före skiktning om det är absolut nödvändigt för skrivningen. Resultatet i fönstren utan stödmaterial blev ändå rätt bra, övre kanten hängde endast lite. Under modellen skapades en ”raft”, en platta som skall öka modellens vidhäftning till byggplattan.

6.5 Resultat

De två modellerna tog mellan 9-10 timmar var att skriva ut. Taket har skrivits ut i naturell ABS och huset i vit PLA. Båda modellerna fick små skador under skrivningen. Som underlag på byggplattformen användes kaptontejp, en tejp som är populär vid 3D-skrivning p.g.a. dess

värmeförmåga. Problemet uppstod ändå eftersom både ABS-plasten och PLA-plasten inte ville fästa på tejpytan. Hörnen på både taket och huset började därför lyfta och böja sig efter en tid. I taket uppkom även sprickor (se Figur 24).



Figur 16. Skador i taket.

Taket skrevs ut först, så när huset skulle skrivas ut senare gjorde jag några förbättringar. För att försöka eliminera problemet med hörnen som lyfte kalibrerade jag om initialhöjden mellan munstycket och byggplattan. Resultatet blev bättre, men ändå inte helt optimalt. Efter några försök med olika temperaturer på både munstycket och byggplattan utan godtagbara resultat, prövade jag med funktionen ”raft” i Makerbot Desktop. En raft är en platta bestående av flera lager som formar en flat yta för modellen att vila på. Om byggplattan är ojämn eller har brister, kan raften förse ett bättre byggunderlag. Grundlaget av raften är tjockare än ett vanligt lager och skrivs långsammare så det fäster bättre till byggplattan. Resultatet förbättrades avsevärt, men vissa hörn lyfte ändå efter en tid. Istället för att avbryta skrivningen pausade jag den och limmade fast hörnen i underlaget.

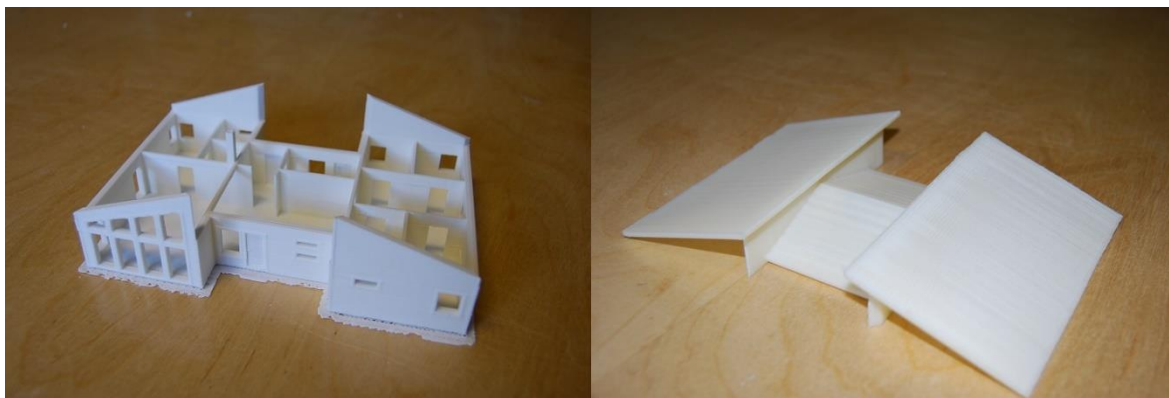
Det största problemet vid skrivningen var absolut att få modellerna att fästa på underlaget. Även fast jag försökte optimera avståndet mellan byggytan och skrivarmunstycket och använde ”raft”-funktionen, fanns det fortfarande rum för förbättring. Som förbättringsförslag anser jag att underlaget borde behandlas före skrivningar påbörjas. Ett sätt att få modellerna att fästa är att förbehandla underlaget med ett vanligt limstift eller hårspray (Abella, u.å.). Detta skulle göra att det första lagret, vilket är det viktigaste när det gäller vidhäftning av modellen, fäster ordentligt i underlaget.

Eftersom det fanns många brister med genereringen av stödkonstruktioner i Makerbot Desktop, rekommenderar jag att man skulle använda sig av en annan programvara för skiktning. Företaget har även tillgång till programmet Simplify3D, ett program med mer avancerade funktioner för skiktning. Efter att programmet har genererat stödkonstruktioner kan man manuellt sätta in eller ta bort stöd där man anser att de behövs eller inte behövs (Adding and modifying support structures, u.å.). Med denna funktion skulle man kunna spara material, förkorta byggtiden och förenkla efterbehandlingsprocessen.

Allmänna instruktioner för hur man skall gå tillväga för att tillverka en utskriftsduglig modell har utarbetats för programmen Vertex BD, netfabb Basic och Makerbot Desktop. Dessa är till för att hjälpa nya användare och förkorta tiden från ursprunglig modell till modell lämpad för 3D-utskrift.

7. Sammanfattning och diskussion

Detta examensarbete har varit väldigt intressant och lärorikt. Jag har fått bekanta mig med ett ämne som tidigare var okänt för mig, och har genom detta arbete fått mycket kunskap som jag kommer ha nytta av i framtiden. Jag har insett att det finns begränsningar inom tekniken som endast kan överkommas genom utbildning och tilläggs-kunskaper. 3D-utskrift är en teknik som har potential att ändra på sättet produkter tillverkas i dagsläget. Målsättningen och kraven som ställdes av uppdragsgivaren har uppfyllts. Modellen kommer att användas i marknadsföringssyfte för att visualisera övergången från digital modell till fysisk modell. Den slutgiltiga modellen ger en bild av kvaliteten och möjligheterna som föremål tillverkade genom 3D-skrivning kan förse. Manualerna till de olika programvarorna assisterar nya användare som vill producera en utskrivningsbar modell.



Figur 17. Utskrivna modeller.

Produkten motsvarar referensobjektet mycket noga. Alla detaljer var inte väsentliga eller ens möjliga att inkludera i resultatet, men utgången är mycket positivt. Skrivarens förmåga har utmanats med små och speciella detaljer som den godtagbart klarade av. Precisionen som FDM-skrivare levererar räcker gott och väl till för ändamålet med modellerna. Vill man ha noggrannare resultat borde annan teknik användas vid utskrift.

3D-skrivning är en relativt okänd teknik och speciellt i Finland är avstampet ännu att vänta. Genom examensarbetet lärde jag mig väldigt mycket om 3D-skrivning och det var lätt att fördjupa sig i ämnet. Ett intresse för ämnet väcktes även och jag har numera även skaffat en egen skrivare för personligt bruk. Tekniken är i dagsläget för invecklad och lider ännu av problem som avskräcker folk från den. Vartefter att tekniken förbättras och enkla modelleringsprogram utvecklas kommer 3D-skrivning kunna bli ett vardagligt sätt att tillverka föremål i hemmet.

Källförteckning

Abella, J., (u.å.). *Stick it from the start*. [Online]

<http://makezine.com/projects/make-42/stick-it-from-the-start/> [hämtat 5.4.2015]

Adding and modifying support structures (u.å.). [Online]

<https://www.simplify3d.com/support/tutorials/adding-and-modifying-support-structures/>
[hämtat 5.4.2015]

AMF – The 3D printing format to replace STL?. 2011. [Online]

<http://3daddfab.com/blog/index.php?/archives/5-AMF-The-3D-Printing-Format-to-Replace-STL.html> [hämtat 23.2.2015]

A visual Ultimaker troubleshooting guide. 2015. [Online]

<http://support.3dverkstan.se/article/23-a-visual-ultimaker-troubleshooting-guide#nostick>
[hämtat 19.4.2015]

Aziz, N., Bagchi, A., Fadel, G. & Tata, K., 1998. Efficient slicing for layered manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*. 4(4), s. 151-167.

Barnatt, C., 2013. *3D printing: the next industrial revolution*. England: Explainingthefuture.com.

Bourell, D., Campbell, I. & Gibson, I., 2012. Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. *Rapid Prototyping Journal*, 18(4), s. 255-258.

Chilson, L., 2013. *The difference between ABS and PLA for 3D printing*. [Online]

<http://www.protoparadigm.com/news-updates/the-difference-between-abs-and-pla-for-3d-printing/> [hämtat 24.3.2015]

Chua, C.K. & Leong, K.F., 2014. *3D printing and additive manufacturing: principles and applications*. (4. uppl.) Singapore: World Scientific Publishing Company.

Dennis, C., 2013. *What is non-manifold and manifold geometry?* [Online]
<http://www.transmagic.com/blog/19-what-is-non-manifold-and-manifold-geometry>
[hämtat 24.3.2015]

Finkle, C., (u.å.). *Solids vs surface modeling: what and why you need to know.* [Online]
http://fireuser.com/articles/solids_vs_surface_modeling_what_and_why_you_need_to_know/ [hämtat 17.3.2015]

Hornick, J. & Roland, D., 2013. *Many 3D Printing Patents Are Expiring Soon: Here's A Round Up & Overview of Them* [Online]
<http://3dprintingindustry.com/2013/12/29/many-3d-printing-patents-expiring-soon-heres-round-overview/> [hämtat 24.2.2015]

Makerbot Replicator 2X User Manual (u.å.). [Online]
https://eu.makerbot.com/fileadmin/Inhalte/Support/Manuals/MakerBot_Replicator2X_UserManual_Eng.pdf [hämtat 24.3.2015]

Netfabb model repair service (u.å.). [Online]
http://www.netfabb.com/userfiles/pdf/netfabb-MS_Cloud-Model_Repair.pdf [hämtat 16.3.2015]

Rypl, D., 2005. *Stl File Format.* [Online]
<http://mech.fsv.cvut.cz/~dr/papers/Lisbon04/node2.html> [hämtat 22.3.2015]

Stokes, M., 2013. *3D Printing for Architects with Makerbot.* England: Packt Publishing.

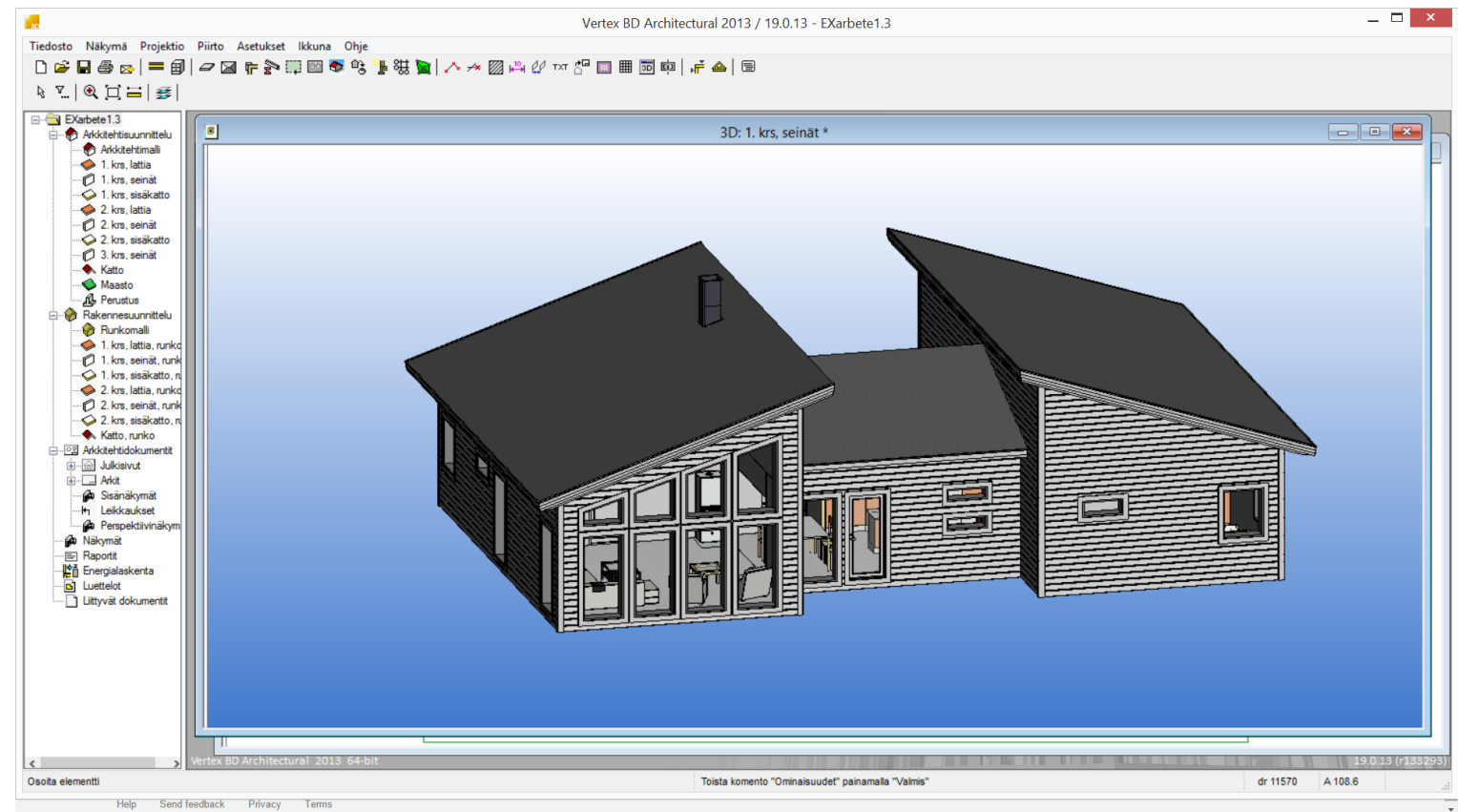
What is an STL file and is it obsolete?. 2011. [Online]
<http://3daddfab.com/blog/index.php/?archives/4-What-is-an-STL-file-and-is-it-obsolete.html> hämtad [hämtat 23.2.2015]

Modellering

Vertex BD Architectural 19

Vertex BD är en avancerad programvara för byggnadsdesign. Arkitekt- och konstruktionsritningar, tillverkningsritningar, materialrapporter, tillverkningsdata, och marknadsföringsrenderingar genereras allt från en byggnadsmodell (BIM). Vertex har även möjlighet att exportera modeller till ett flertal olika format som lämpar sig för 3D-utskrift.

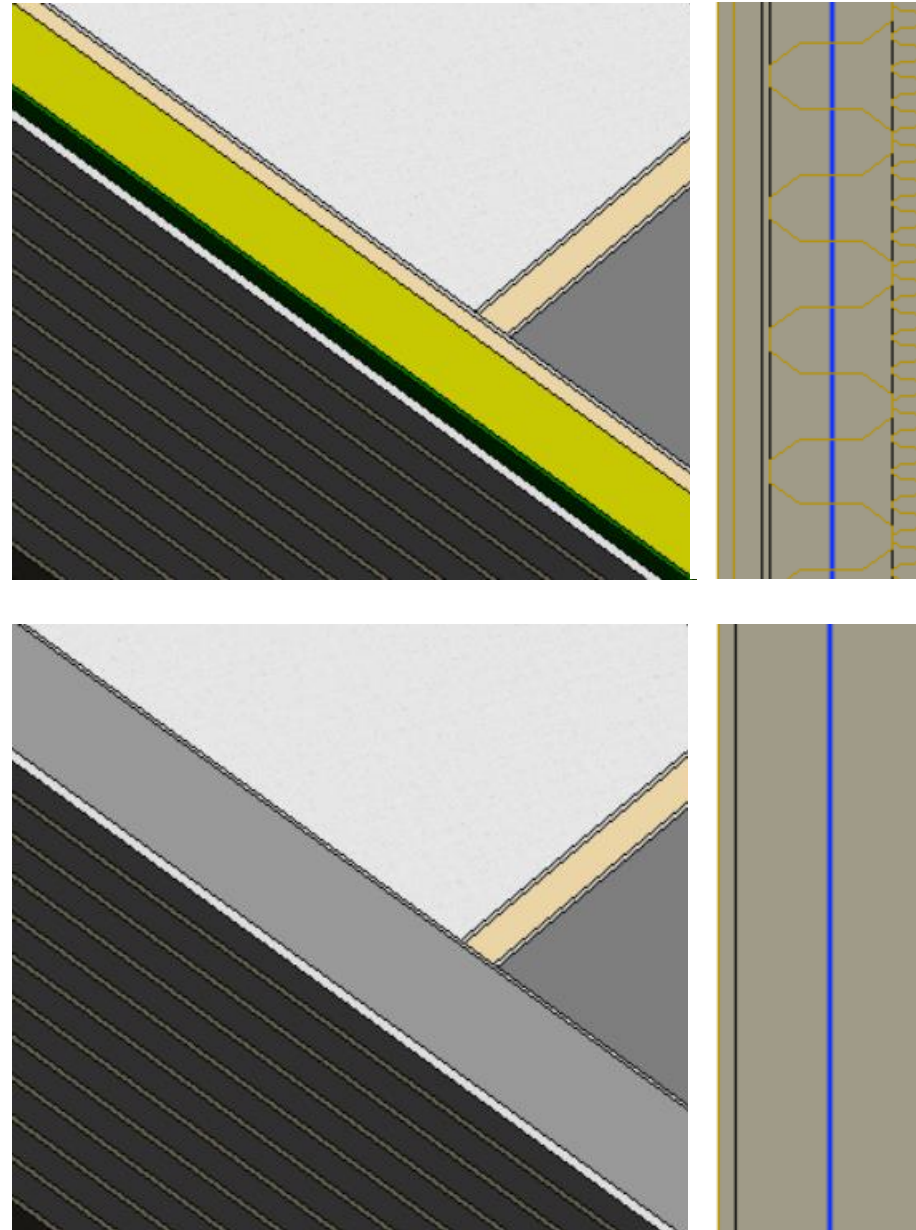
Det förväntas att man är bekant med mjukvaran från förr och har en färdig modell, denna guide går endast igenom vilka åtgärder som bör göras med tanke på modellens anpassning för 3D-utskrift.



1. En vanlig yttervägg med trästomme skulle skapa problem vid 3D-utskrift eftersom den innehåller en luftspalt vilket skapar ett gap mellan fasadmaterialet och stommen.

En väggtyp som lämpar sig för 3D-utskrift är **Luonnosteluseinä**. När man modifierar väggen måste man ta i beaktande var väggens **rakeneviiva** befinner sig.

Den nya väggens **rakeneviiva** måste matcha den gamla väggens, annars kommer väggen förflytta sig i sidled. Linjen går i mitten av den huvudsakliga stommen, vilket betyder att materialens tjocklek måste anpassas så att linjernas placering är samma i den gamla och nya väggen.



2. De ursprungliga fönstren som finns i Vertex lämpar sig inte för 3D-utskrift eftersom fönsterglasen blir väldigt tunna när man skalar ner modellen, och troligen vill man inte fylla fönstren med material eftersom det inte motsvarar verkligheten. Det går inte att ta bort fönsterglasen ur de ursprungliga fönstren om man inte har tillägsmodulen **3D-mallinnus**. Man kan därför bli tvungen att skapa nya fönstermakron.

För att tillverka ett nytt fönstermakro väljer man

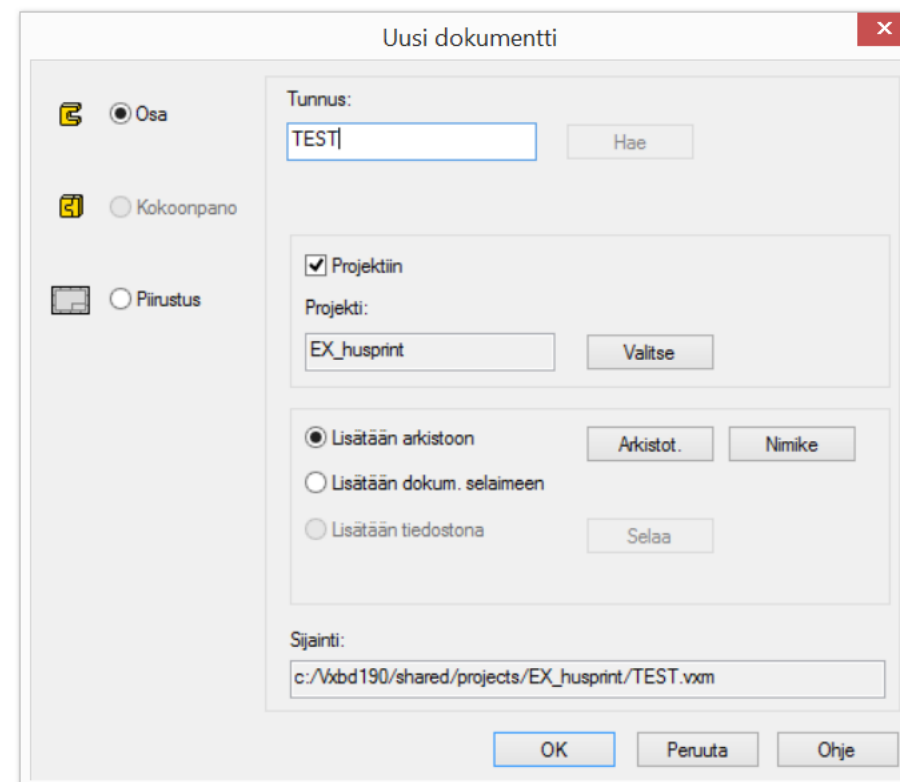
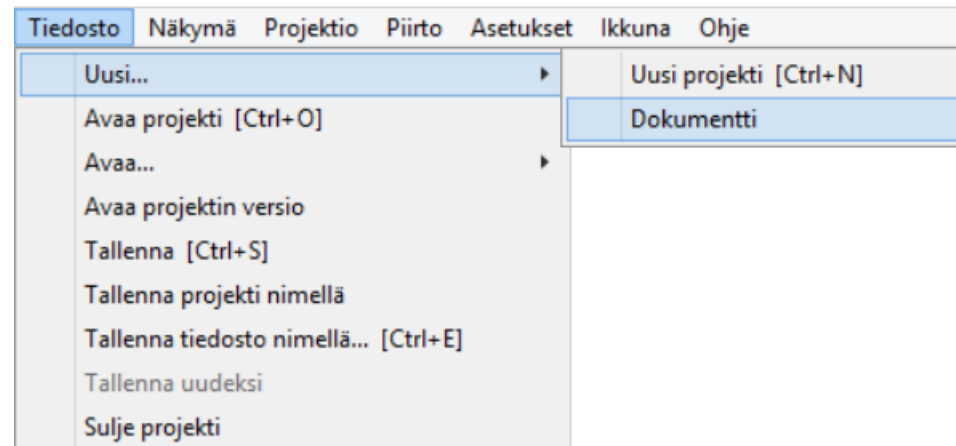
Tiedosto→

Uusi...→**Dokumentti**.

Vid **Tunnus** namnger man delen. Om delen inte hör till ett skilt projekt lämnas

Projektiin tomt. Om

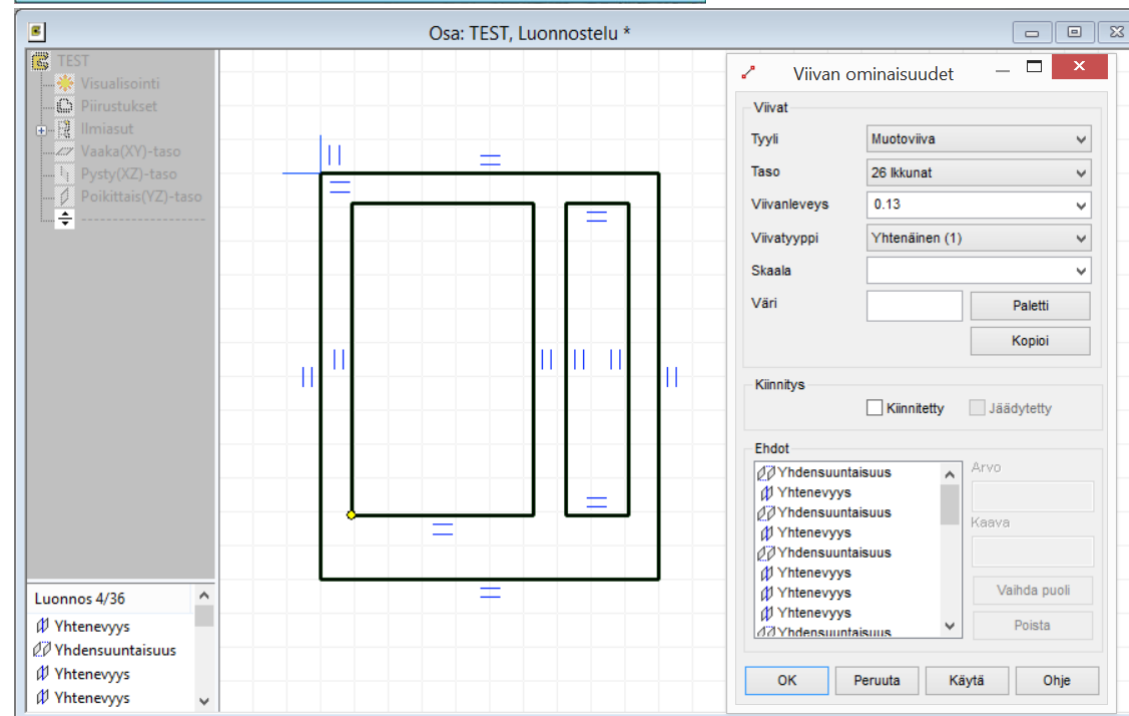
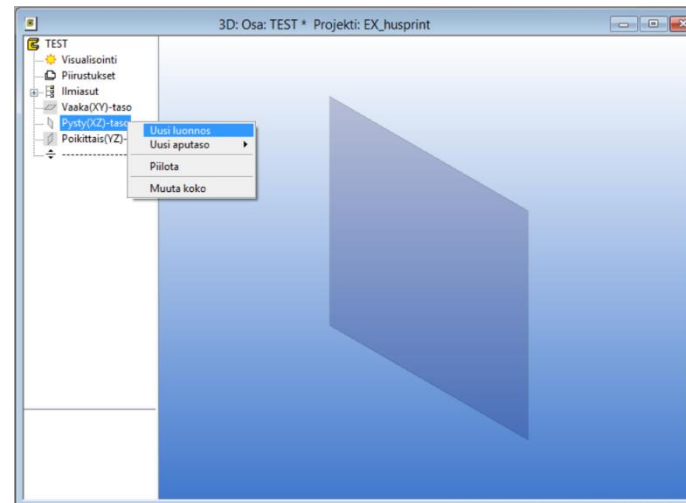
Lisätään arkistoon är valt sparas delen till arkivet och kan användas till flera projekt.



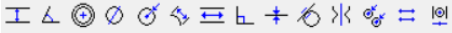
3. Fönster modelleras i XZ-ledet.
Högerklicka på **Pysty(XZ)-taso** och välj **Uusi luonnos**.

Fönster ritas med origo i karmens övre vänstra hörn. Linjernas bredd skall vara **0.13** och skall befinna sig på lager **26**, förutom linjen som följer karmens yttre kant vilken man lägger till efter att delen är färdigt modellerad.

Linjerna ritas med något av dessa verktyg:



4. Måtten bestäms med något av



 dessa verktyg:

När ett mått bestäms får man ställa vissa villkor. **Arvo** är grundvärdet som makrot sätts in med när man använder det. Om man namnger **Kaava** kommer värdet att kunna modifieras senare. Om inget skrivs i **Kaava** är måttet bestämt och kan inte ändras när makrot används.

Till höger ett exempel på namngivning av mått.

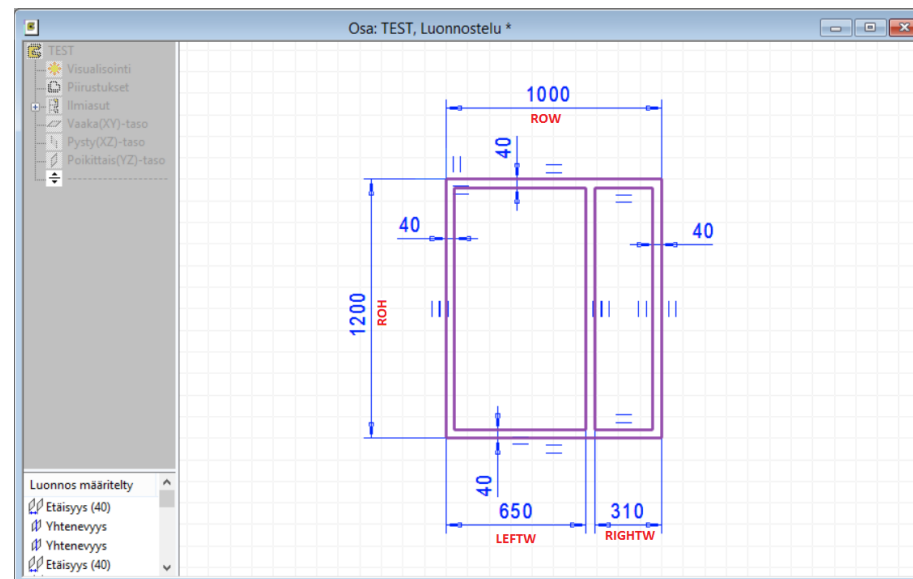
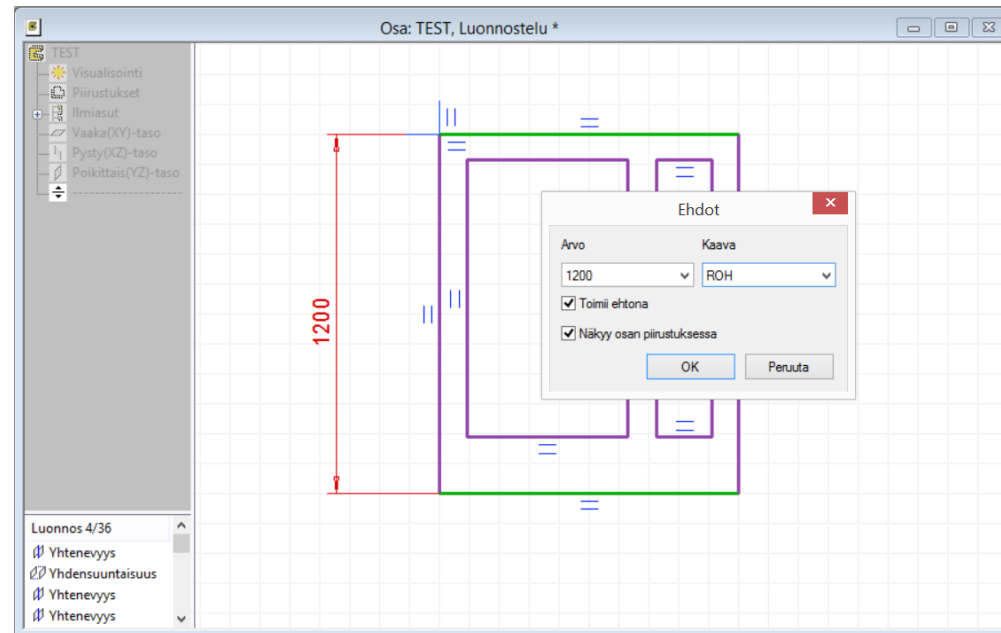
ROH = höjd


ROW = bredd

LEFTW = vänstra öppningens bredd

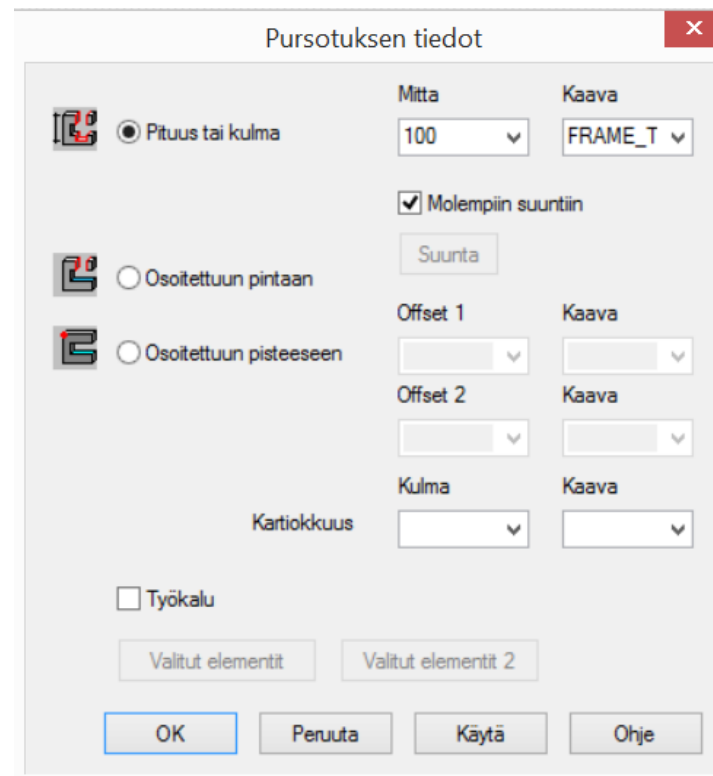
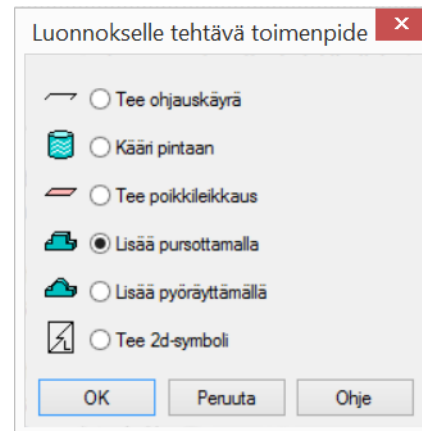
RIGHTW = högra öppningens bredd

öppningens bredd



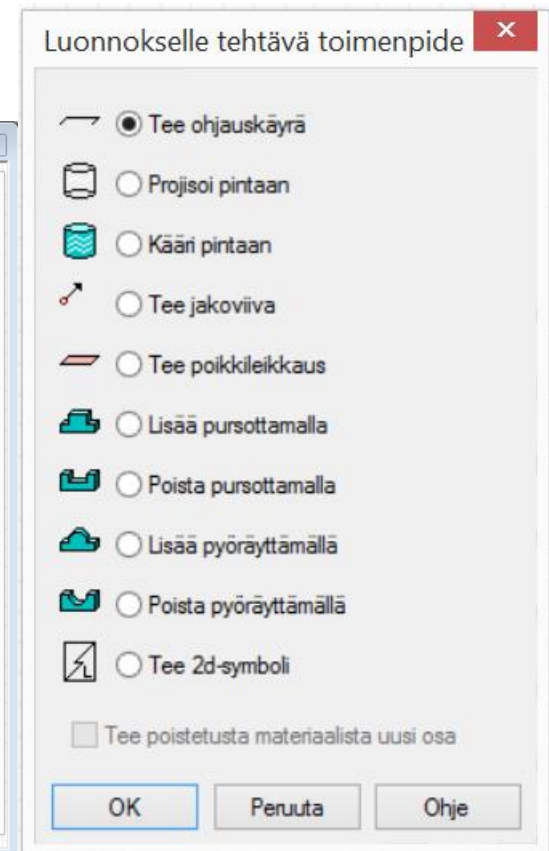
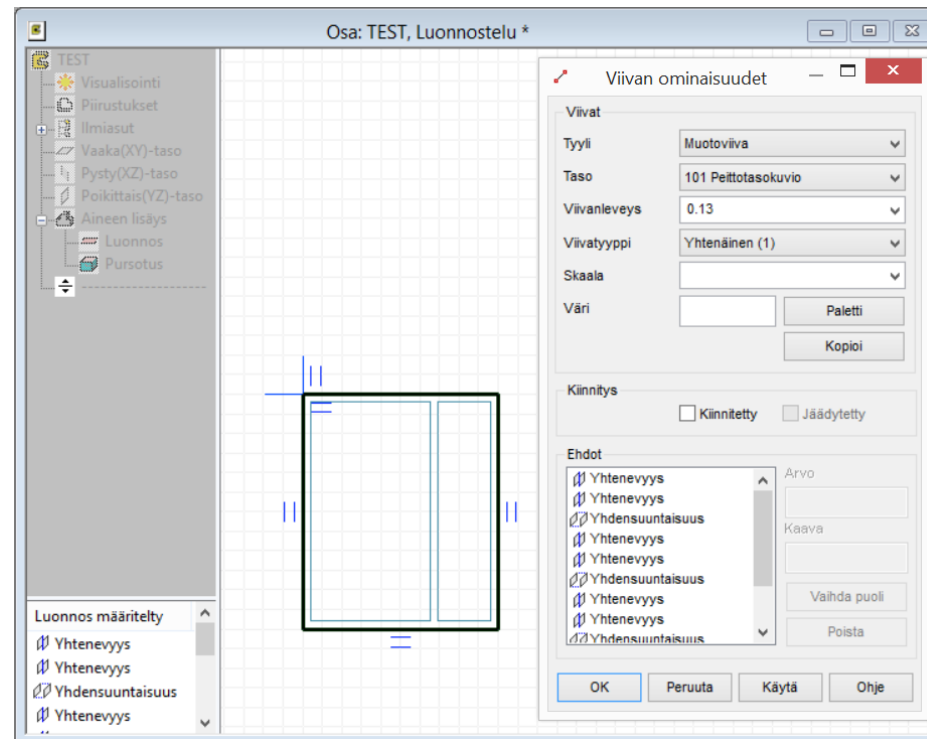
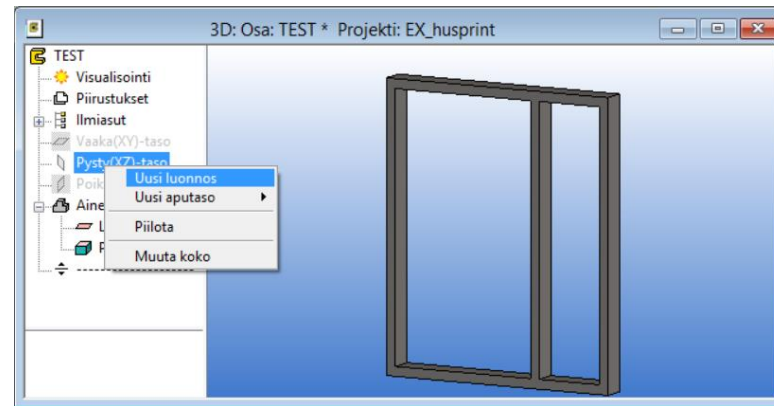
5. När modellen är färdig klickar man på  **OK**. Här väljer man **Lisää pursottamalla**.

Här väljs fönsterkarmens djup. **Molempiin suuntiin** gör att karmen extruderas i båda riktningarna (från mitten av karmen). **Kaava** namnges t.ex. **FRAME_THICK**.



6. När modellen har extruderats adderas en linje som följer karmens yttre kant. **Uusi luonnos** väljs igen och en linje ritas med lager **101**. När fönstret sätts till i byggnadsmodellen gör programmet ett hål i väggen på basen av denna linje. Foderbrädesmakron kommer även att kunna använda tillsammans med detta makro.

Efter att man godkänner modelleringen med **OK** väljer man nu **Tee ohjaukskäyrä**. Inga måttbestämmelser görs här, linjen följer automatiskt med karmens ytterkant.



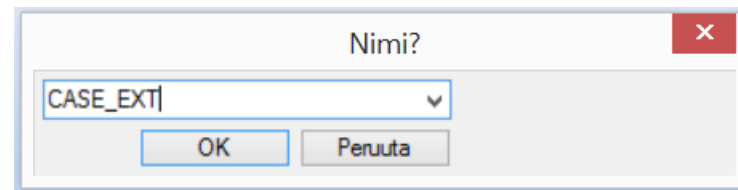
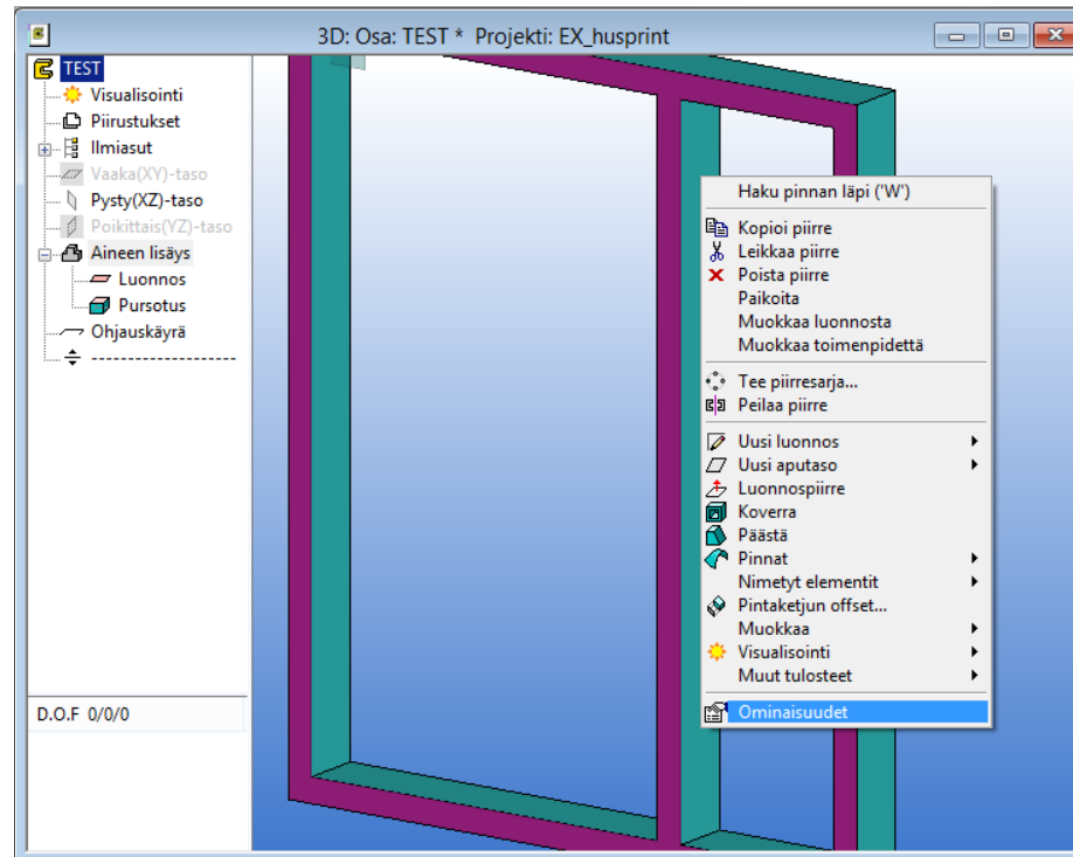
7. Karmens ytor måste namnges genom att högerklicka och välja **Ominaisuuudet**.

Karmens ytor namnges enligt följande:

CASE_EXT = Ytterväggens yta

CASE_INT = Innerväggens yta

Om ytan är delad namnges delarna **CASE_EXT1**, **CASE_EXT2** och så vidare.



8. Fönstermakrot är nu färdigt och kan sparas. Högerklicka i rutan och välj **Tallenna kirjastoon** → **Makrokirjastoon**. Modellen kommer då att sparas till Makrobiblioteket med de flesta andra komponenterna, såsom möbler, inredning och annan utrustning.

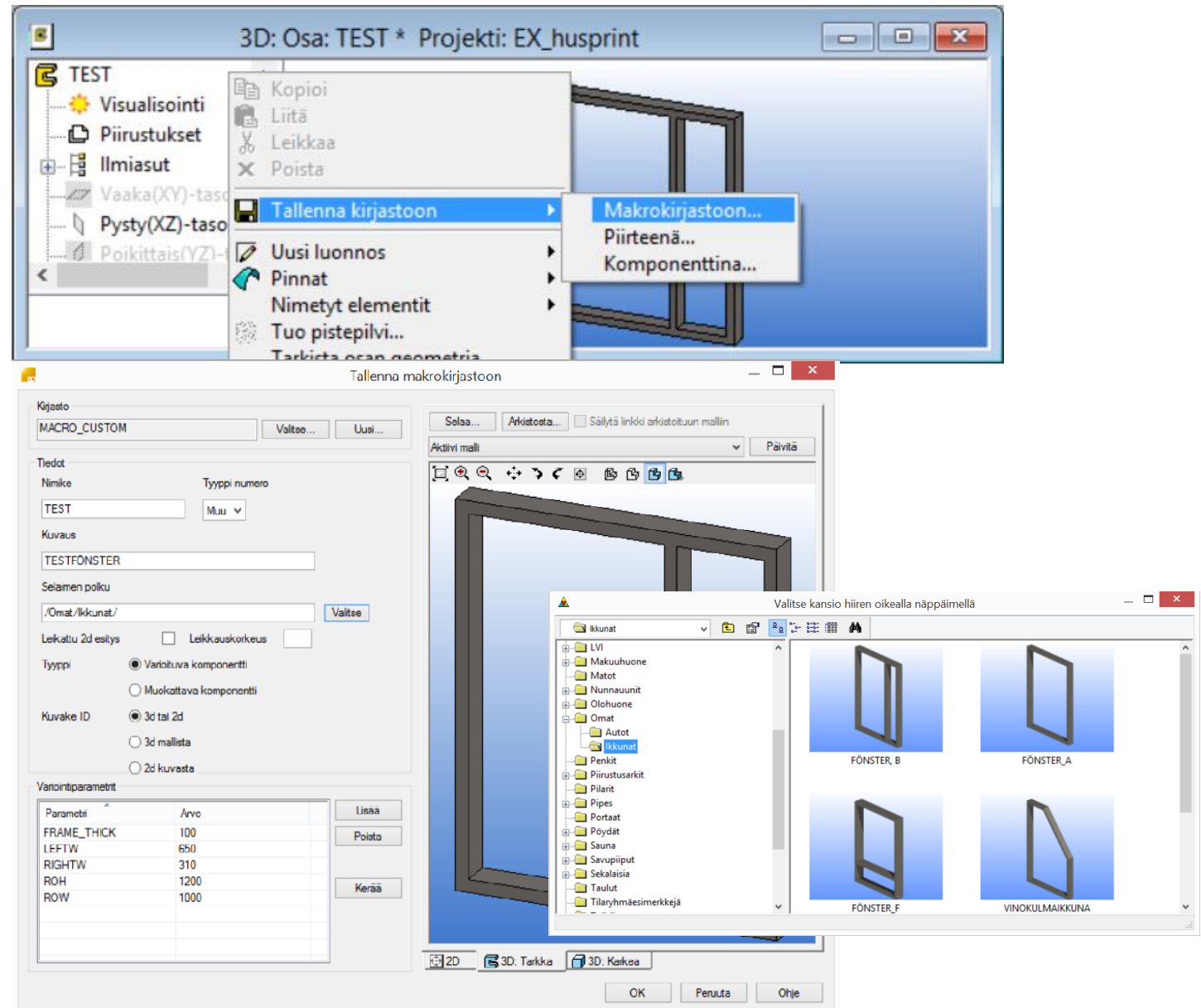
Makrot kan namnges och man kan ge en beskrivning för makrot under **Kuvaus**.

Tyyppi numero skall för fönster vara **301 Ikkuna**.

Under **Selaimen polku** väljs mappen i vilken makrot placeras. Makrots **Tyyppi** skall vara **Muokattava komponentti**.

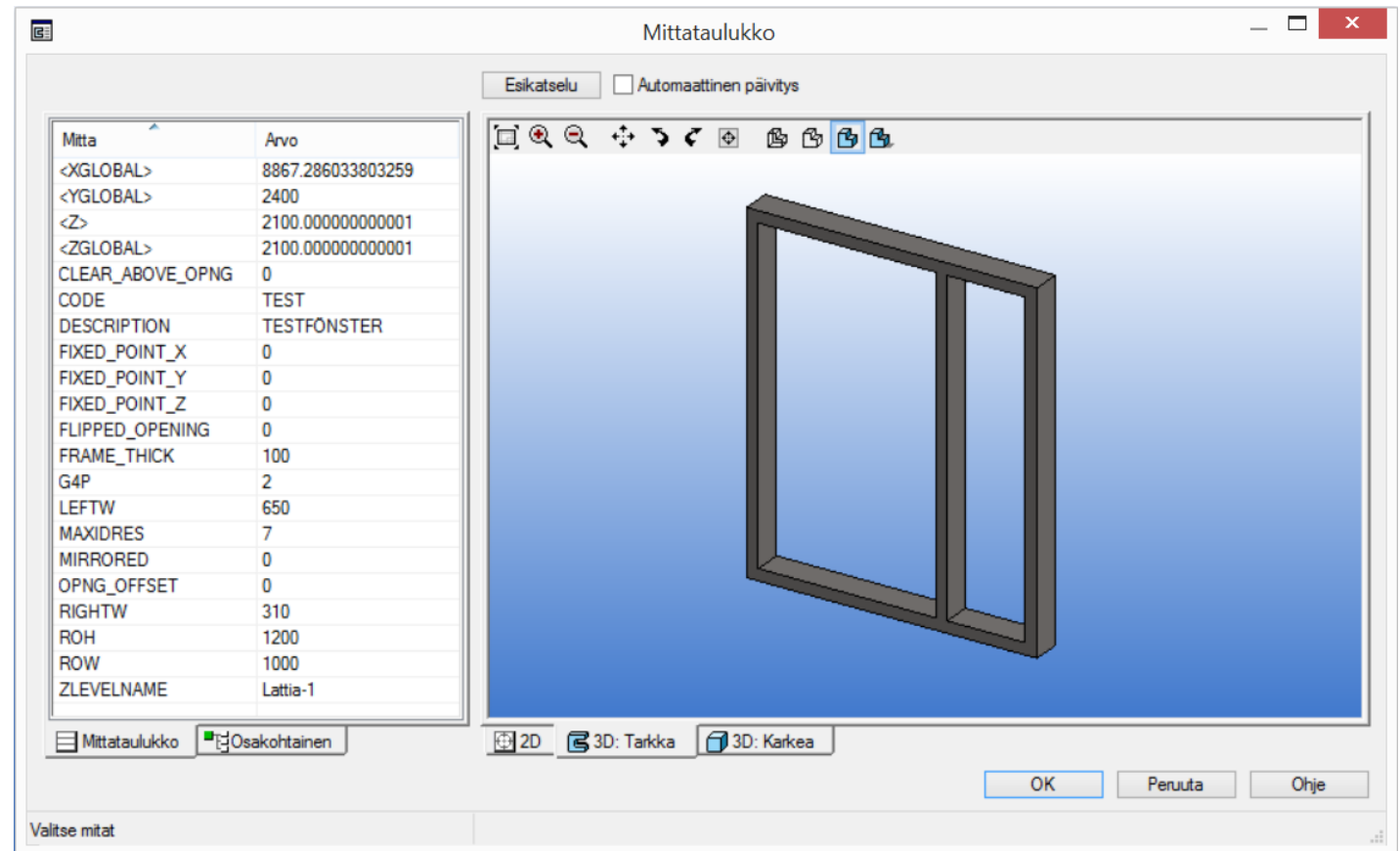
Under **Variointiparametrit** kan man kontrollera att alla anpassningsbara mått man har bestämt finns kvar.


När allt är klart klickar man på **OK**.



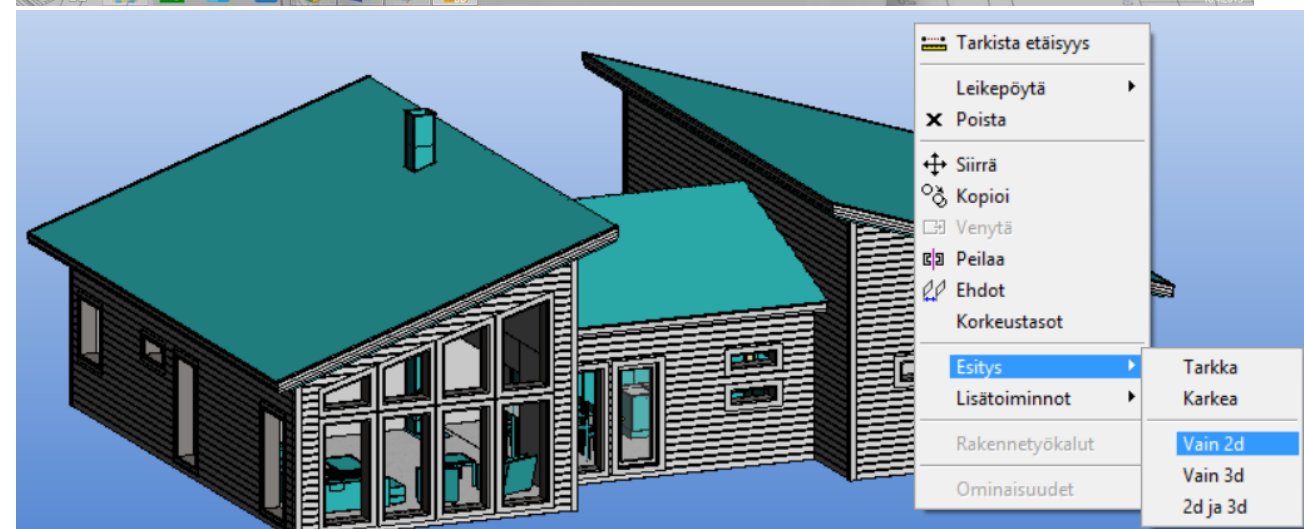
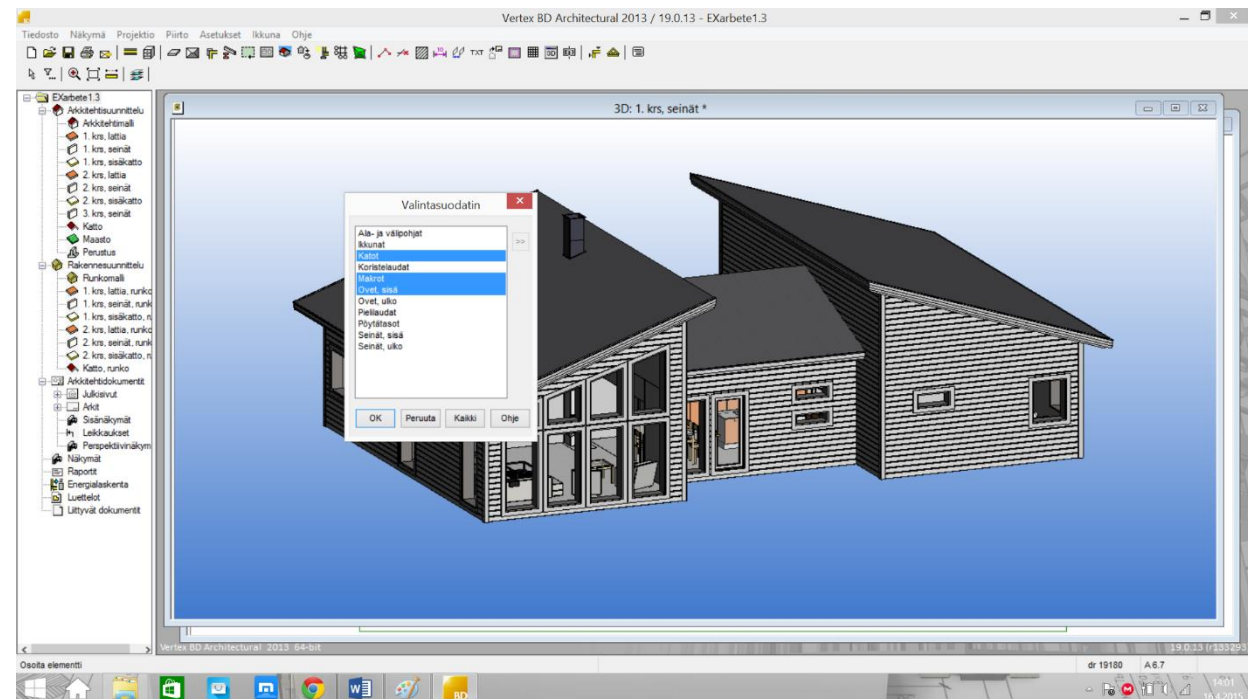
9. Makrot är nu sparade och de ursprungliga fönstren kan bytas ut mot de nya.

Till höger syns det färdiga makrot. När fönstret har satts in i byggnadsmodellen kan man ändra de anpassningsbara måtten genom att högerklicka på det och välja **Ominaisuudet**.



10. Om man inte vill skriva ut precis hela modellen på en gång måste den delas upp före man exporterar den till STL-formatet. Det enklaste sättet är att välja  **Valintasuodatin** och välja de komponenter som inte skall skrivas ut. De komponenter man väljer i **Valintasuodatin** kommer att låsas så att man i modellen inte kan markera andra än dem.

Därefter kan man markera alla komponenterna, högerklicka och välja **Esitys** → **Vain 2d**. Komponenterna finns då kvar i byggnadsmodellen men syns endast i 2D-vyn.

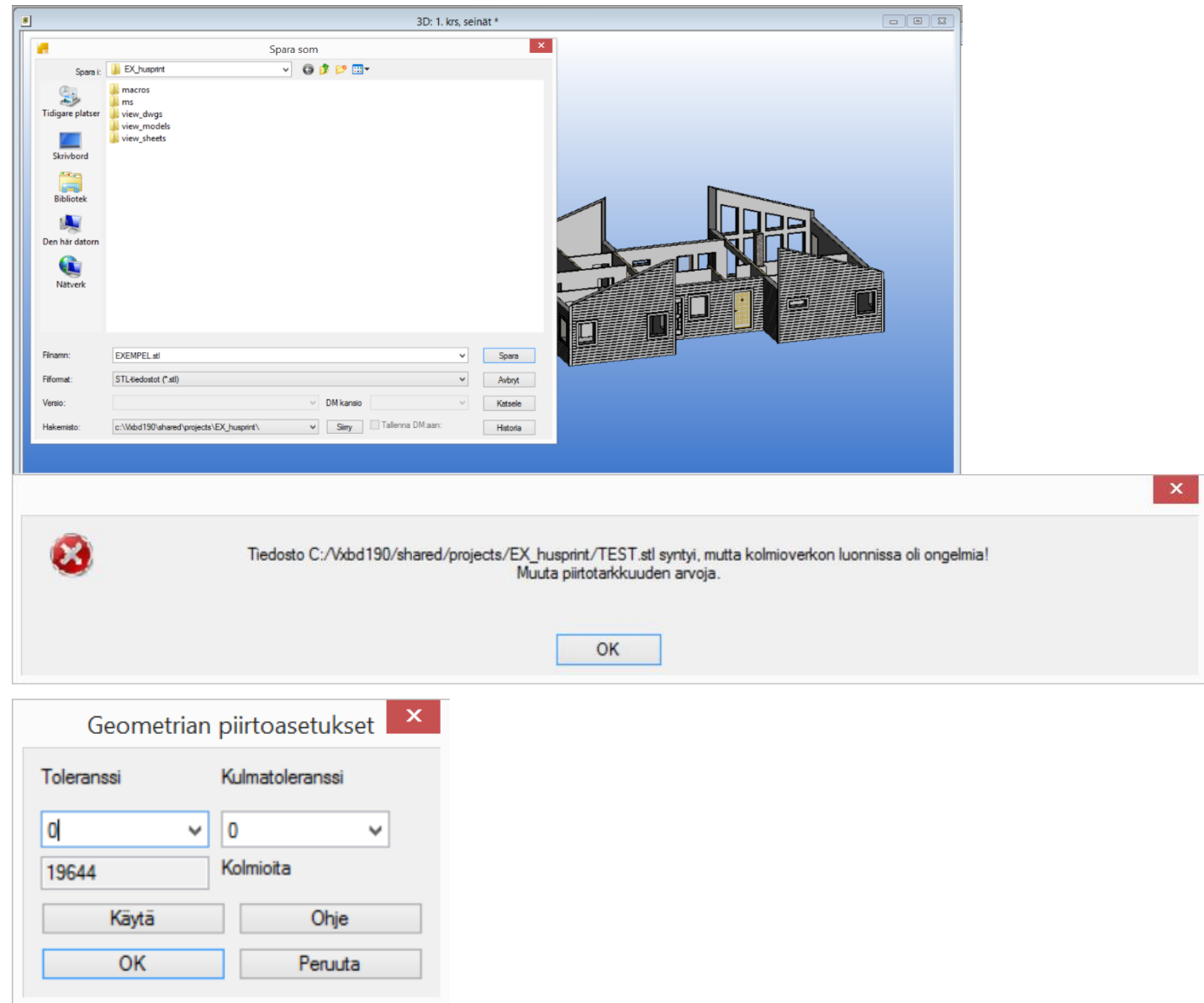


11. Modellen kan nu exporteras till ett format som lämpar sig för 3D-utskrift. Gå in på menyn **Tiedostot** → **Tallenna tiedosto nimellä....**

För att försäkra sig om att modellen kan skrivas ut sparar man den i **STL**-formatet. Andra format kan även fungera, t.ex. kan **VRML**-formatet användas av vissa fullfärgsskrivare. **STL**-formatet är dock speciellt utvecklat för 3D-skrivare.

En modell kan ta några sekunder att exportera till ett par timmar, beroende på hur detaljerad den är. Det är därför viktigt att modellen är korrekt gjord.

När man exporterar modellen kan det uppstå problem i triangelnätet. Filen skapas hursomhelst men programmet föreslår att man ändrar geometrinoggrannheten. Det är inte garanterat att detta hjälper, enklast är det att reparera den bristfälliga modellen i annan programvara.



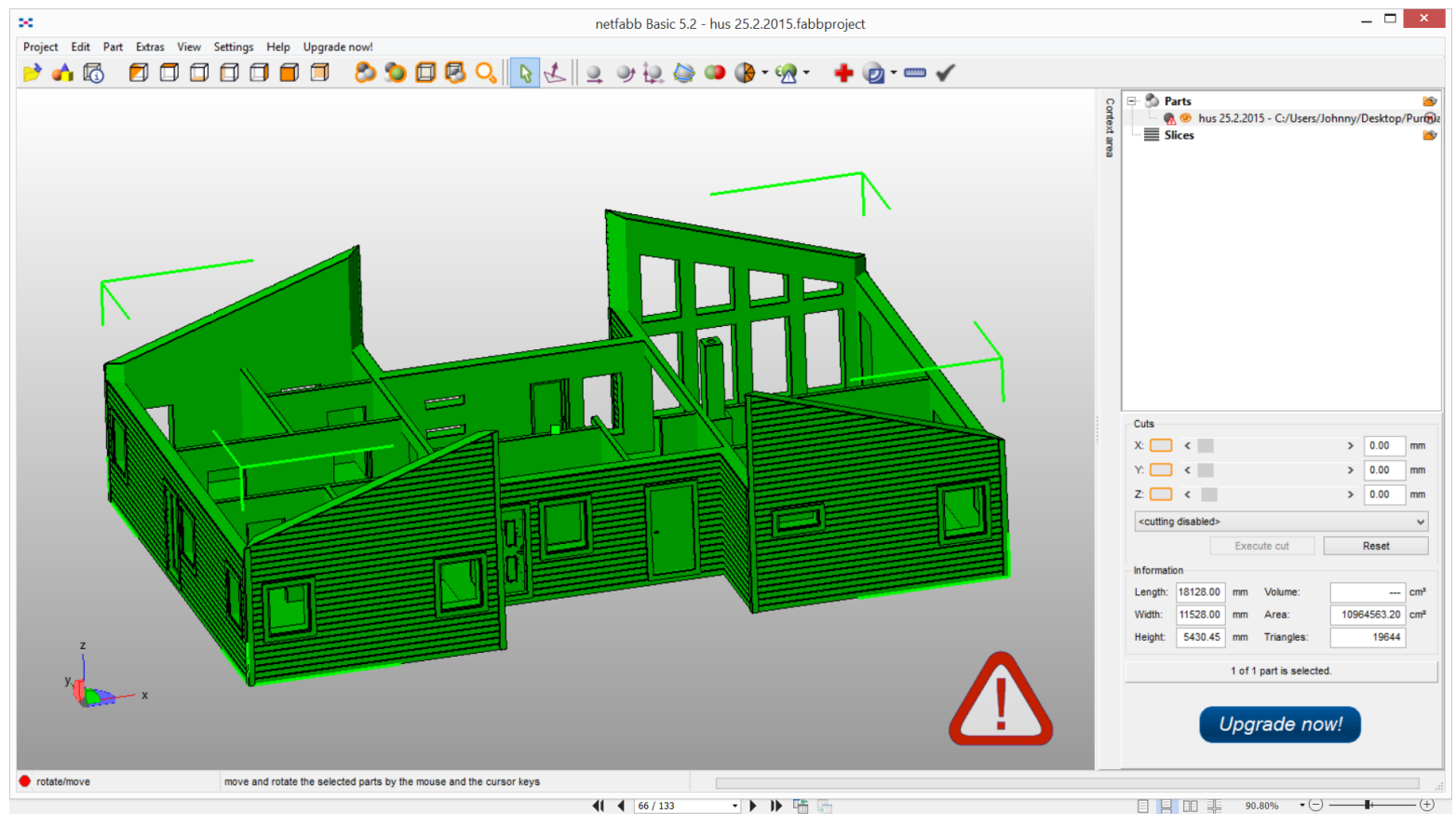
Granskning och reparation

netfabb Basic 5.2

I denna guide går de vanligaste funktionerna igenom i netfabb Basic gällande reparation av 3D-modeller. Genom att reparera modellerna avlägsnar man felaktigheter som annars skulle skapa bekymmer under 3D-skrivningen.


Här har en modell öppnats i netfabb. Information gällande modellens längd, bredd, höjd och area indikeras till höger i rutan. Programmet meddelar även hur många trianglar modellen består av.

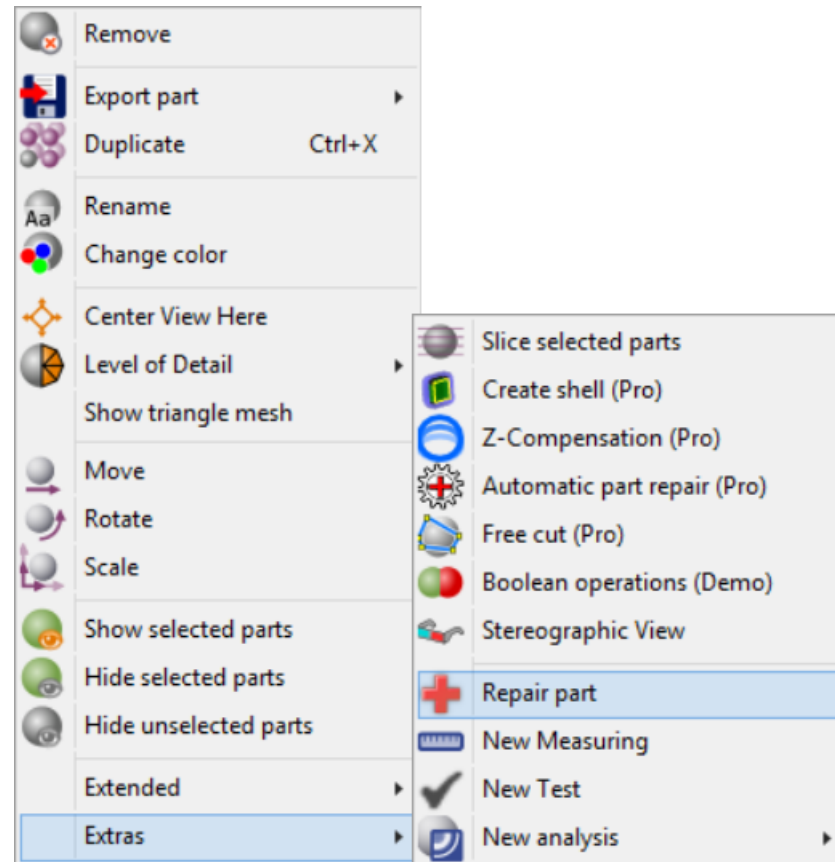
Något av det första man märker är att i det nedre högra hörnet visas en triangel med ett utropstecken i. Detta betyder att det finns felaktigheter i modellen som borde repareras.



1. För att reparera modellen högerklickar man på modellen och väljer **Extras**. En ny meny öppnas med flera verktyg.

De flesta verktygen är låsta i gratisversionen av programmet.

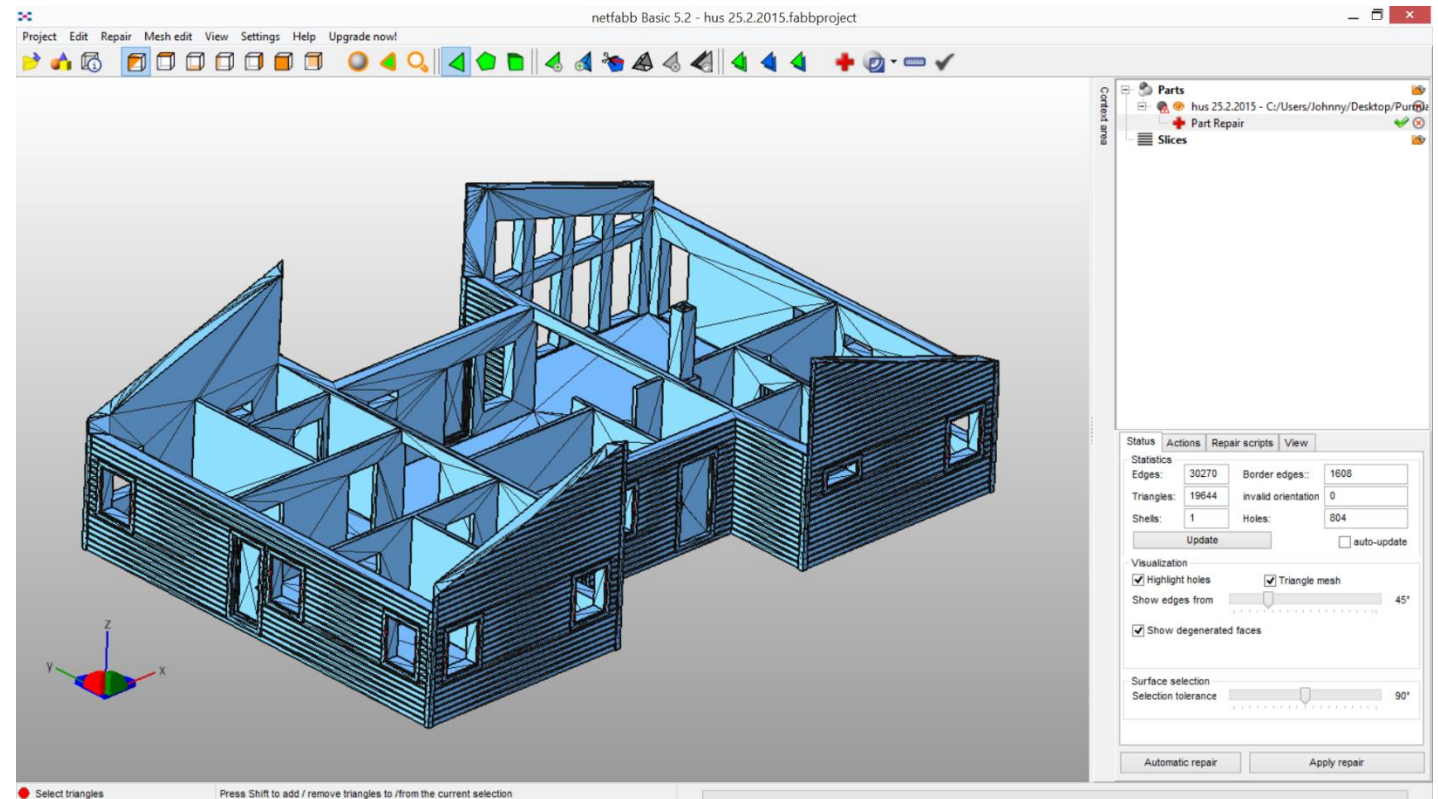
Genom att klicka på  **Repair part** kommer verktyget för reparation av modeller öppnas.



2. Modellen är i denna vy uppdelad i fasetter i formen av trianglar.

Utsidan av trianglarna visualiseras med färgen blå, insidan med röd, och om det finns brister i modellen markeras de problematiska områden gul färg.

Genom att klicka på **Update** analyserar programmet modellen och meddelar hur många fel och hurdana fel den innehåller.

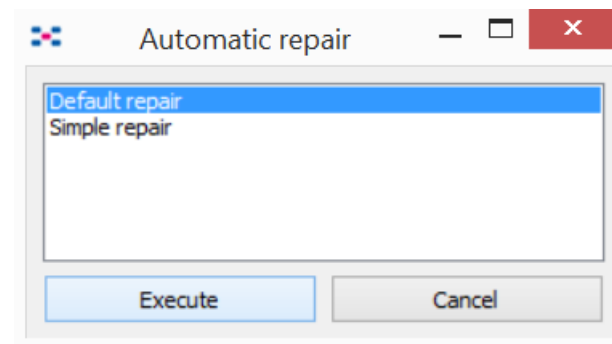
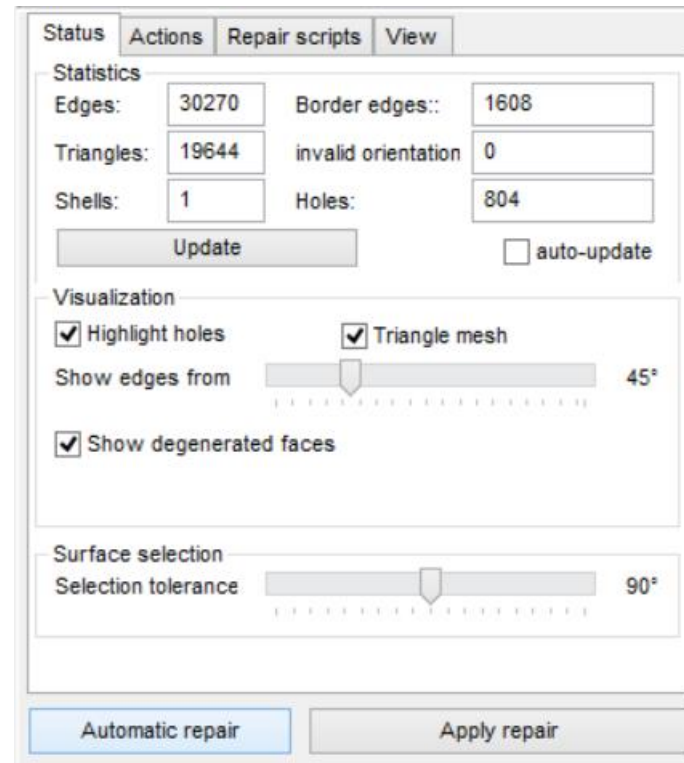


3. Det enklaste sättet att reparera modellen är att köra en automatisk reparation.

Under fliken **Repair scripts** kan man granska vilka åtgärder den automatiska reparationen kommer att utföra.

Genom att klicka på **Automatic repair** får man två valmöjligheter: **Default repair** eller **Simple repair**. Av dessa är **Default repair** att föredra eftersom det kör flera script medan **Simple repair** endast kör några enstaka.

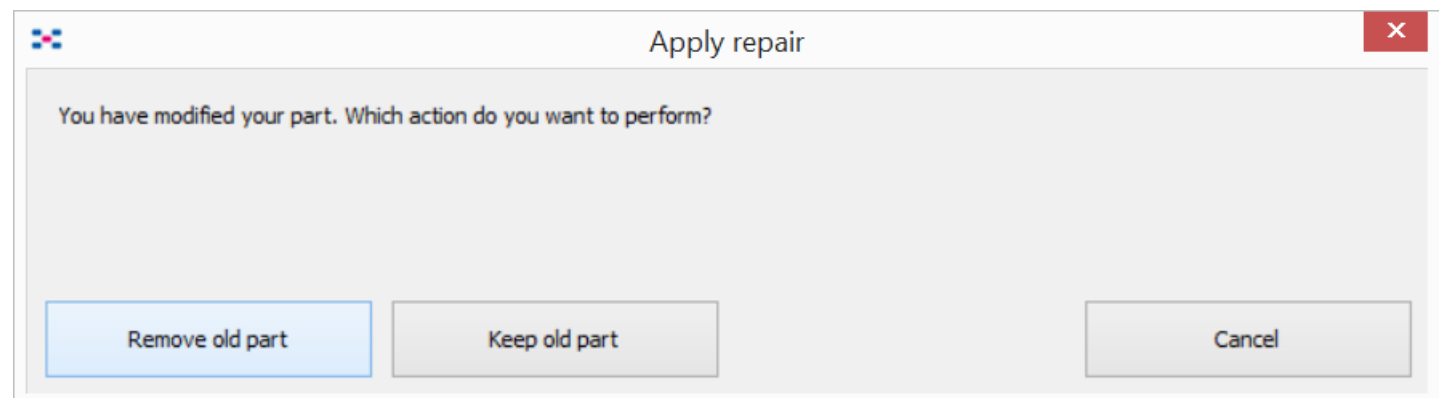
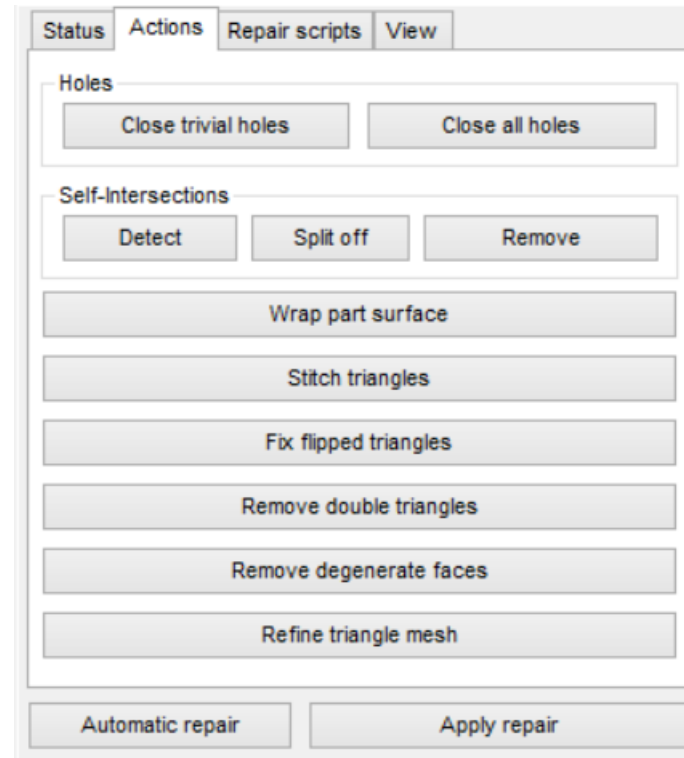
Efter att den automatiska reparationen har utförts klickar man på **Update** igen. I vissa fall måste flera reparationer utföras.




4. Den automatiska reparationen lyckas inte varje gång. Vissa fel kan lämna kvar, konstruktioner som fanns i modellen av ett syfte kan raderas eller nödvändiga hål kan stängas. Om så är fallet kan man manuellt försöka åtgärda problemen.

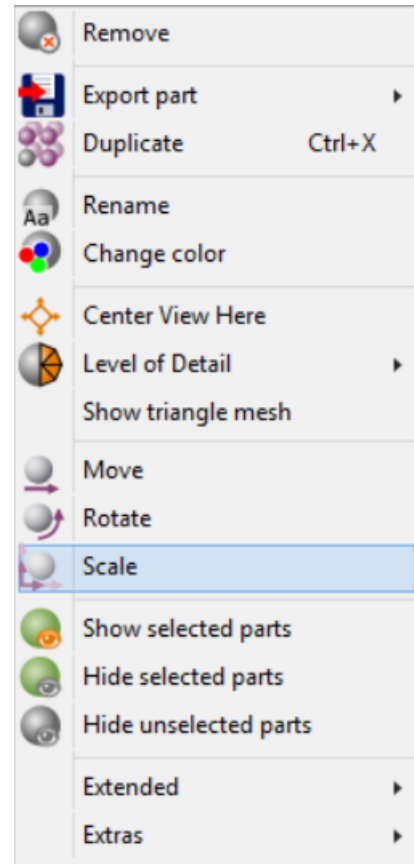
Under fliken **Actions** går det att utföra enskilda reparationer, en i gången. Genom att köra ett i gången och granska modellen varje gång försäkras man sig om att inga viktiga delar raderas.

När man anser att modellen är godtagbar klickar man på **Apply repair**. Programmet frågar om man vill radera eller behålla den gamla modellen. Eftersom den gamla hade brister är den inte av intresse längre och kan raderas.



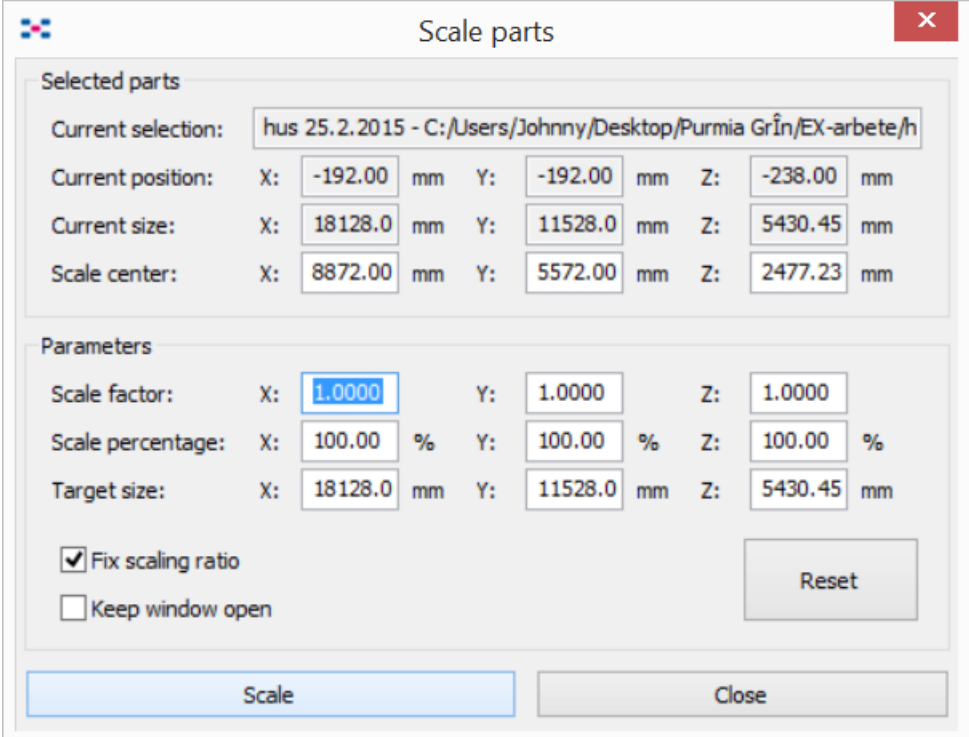
5. Genom att högerklicka på modellen fås en meny med ett flertal funktioner.

För att skala modellen klickar man på  **Scale**. Här kan modellens mått skalas genom att ändra endera skalfaktorn eller modellens enskilda mått.



Om **Fix scaling ratio** är iklickad kommer varje mått att skalas med en lika stor faktor.

När modellen har skalats klickar man på **Scale** för att verkställa skalningen.




The screenshot shows the 'Scale parts' dialog box with the following data:

Selected parts									
Current selection:	hus 25.2.2015 - C:/Users/Johnny/Desktop/Purmia GrIn/EX-arbete/h								
Current position:	X:	-192.00	mm	Y:	-192.00	mm	Z:	-238.00	mm
Current size:	X:	18128.0	mm	Y:	11528.0	mm	Z:	5430.45	mm
Scale center:	X:	8872.00	mm	Y:	5572.00	mm	Z:	2477.23	mm

Parameters									
Scale factor:	X:	1.0000		Y:	1.0000		Z:	1.0000	
Scale percentage:	X:	100.00	%	Y:	100.00	%	Z:	100.00	%
Target size:	X:	18128.0	mm	Y:	11528.0	mm	Z:	5430.45	mm

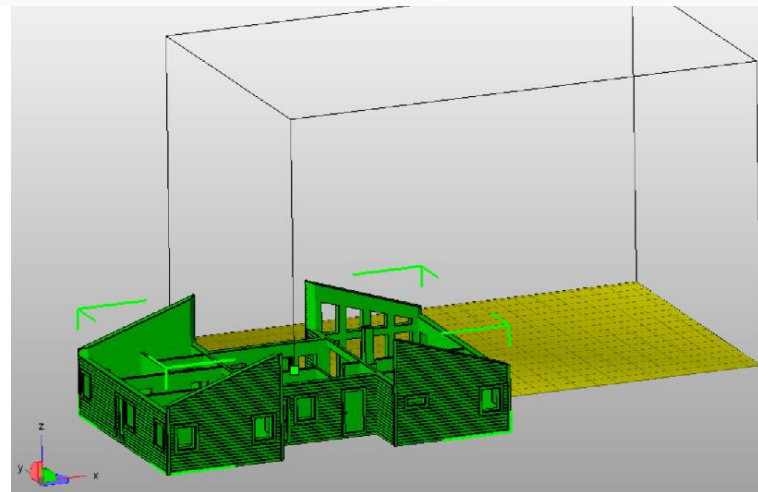
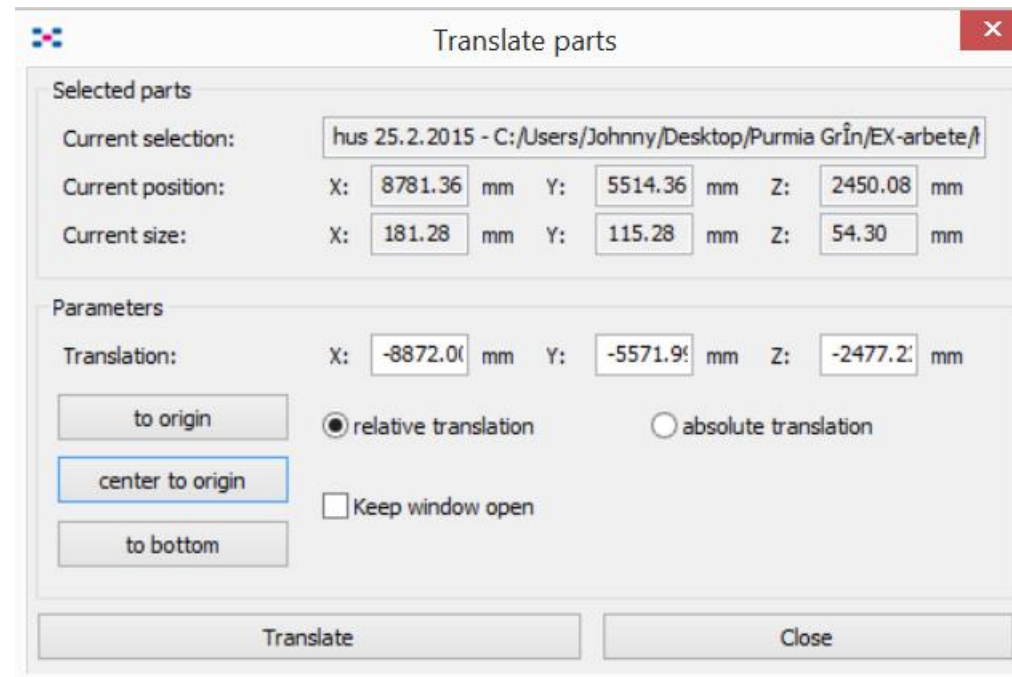
Options:
 Fix scaling ratio
 Keep window open

Buttons: Scale, Close, Reset

6. Modellen är nu placerad ute i rymden och borde förflyttas till plattformen. För att flytta den högerklickar man igen på modellen och väljer  **Move**.

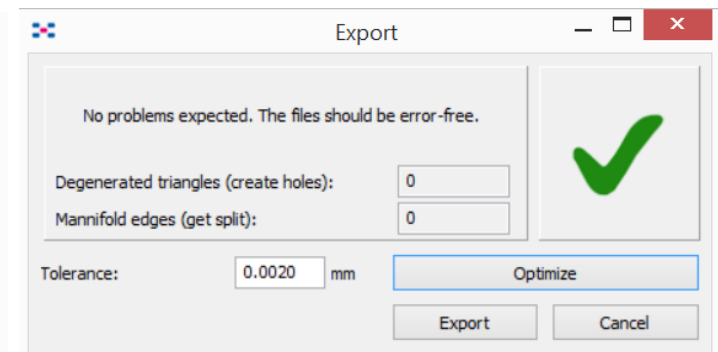
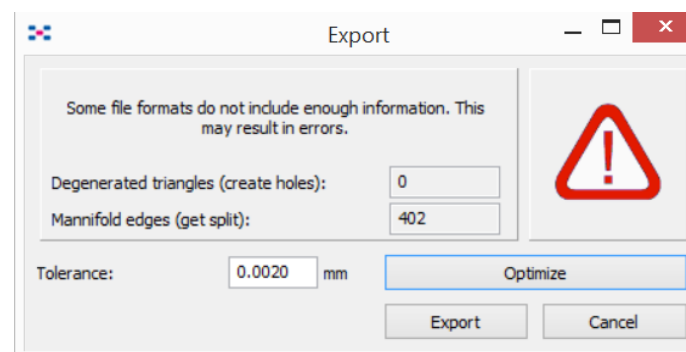
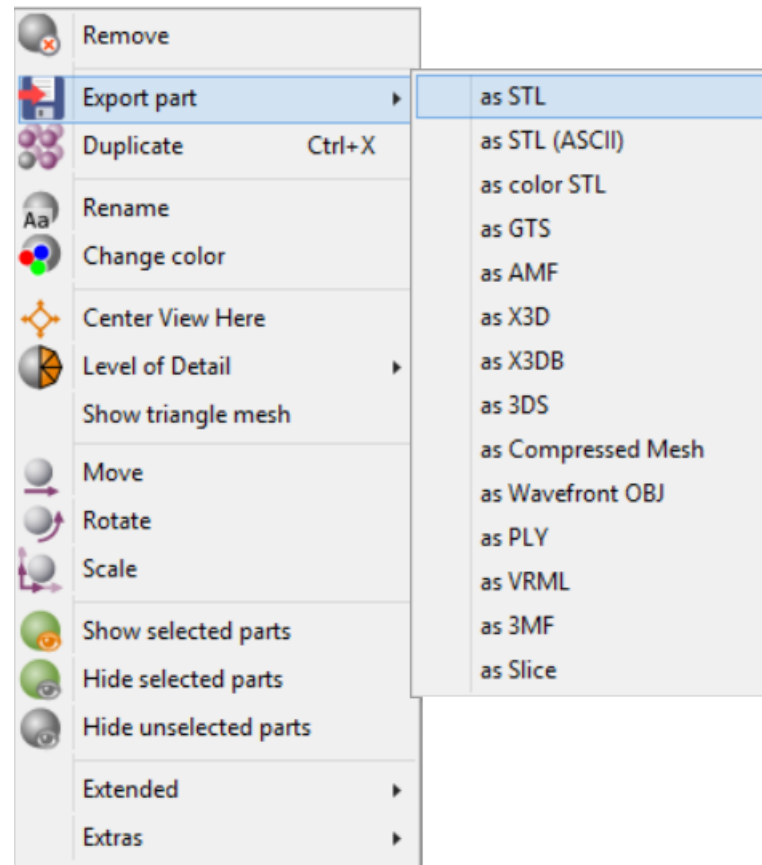
Koordinaterna för modellen syns nu. För att flytta modellen till det som kommer vara mittpunkten på byggplattan i Makerbot Desktop väljer man **center to origin**. Modellen mittpunkt flyttas då till origo (0,0,0). I Z-led vill man dock placera modellen bas på Z=0, därför ändras Z-värdet så att modellen hamnar på plattformen.

Origo av plattformen i netfabb Basic motsvarar mittpunkten av byggplattformen i Makerbot Desktop.



7. För att exportera modellen högerklickar man på den och väljer  **Export part**. Det säkraste formatet att spara modellen i är **STL**.

Modellen innehåller fortfarande fel. Värdet **Tolerance** bestämmer precisionen med vilka felen beräknas. Med knappen **Optimize** repareras felen automatiskt. Filen granskas igen och blir godkänd.

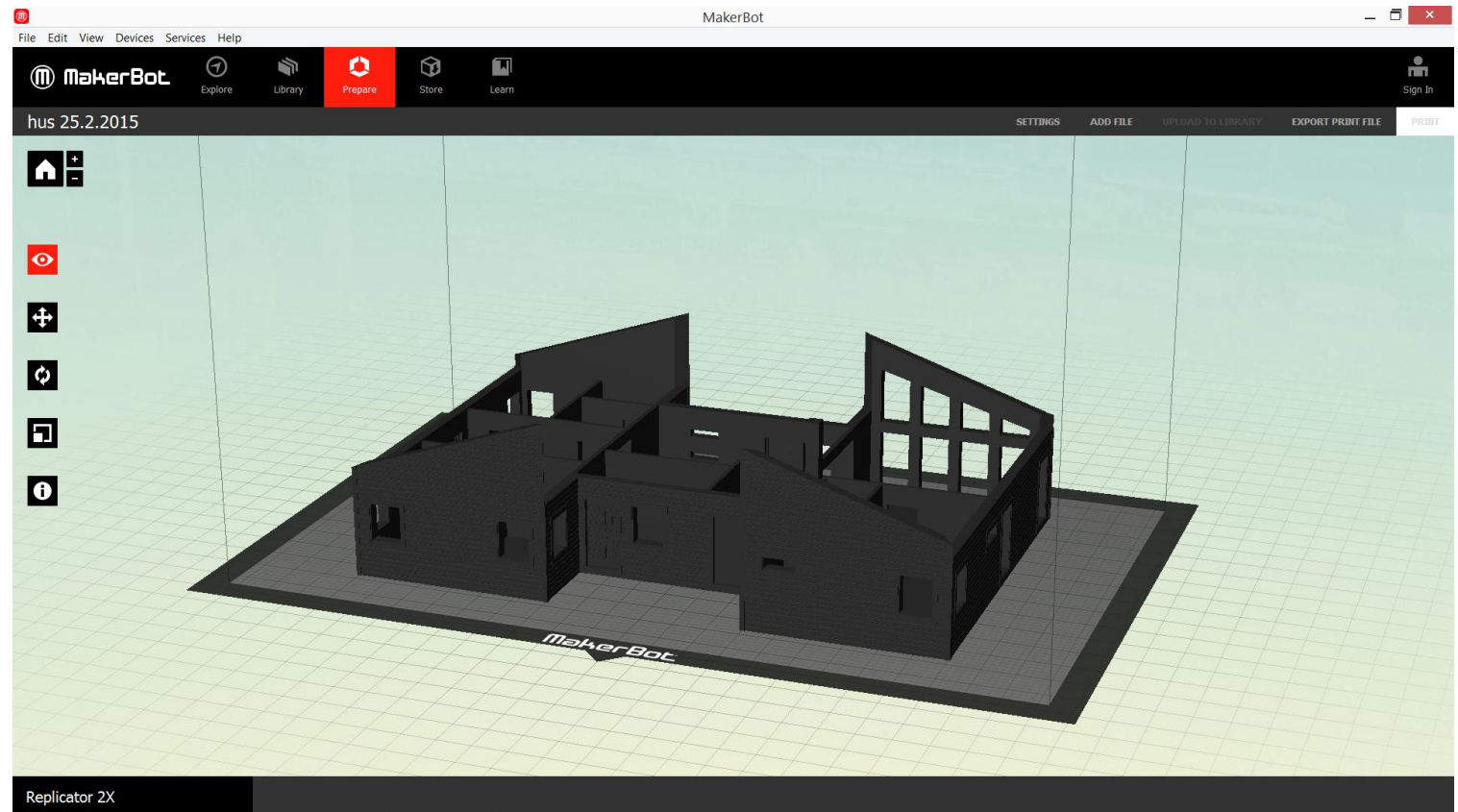


Skivning och utskrift

Makerbot Desktop 3.6

Makerbot Desktop är företaget Makerbots egna programvara för att skiva modeller. En ”slicer” är det verktyg man behöver för att konvertera en digital 3D-modell till utskriftsinstruktioner för 3D-skrivaren. Den skär upp modellen i horisontella skivor, genererar verktygsbanor för att fylla dem och beräknar den mängd material som skall adderas.

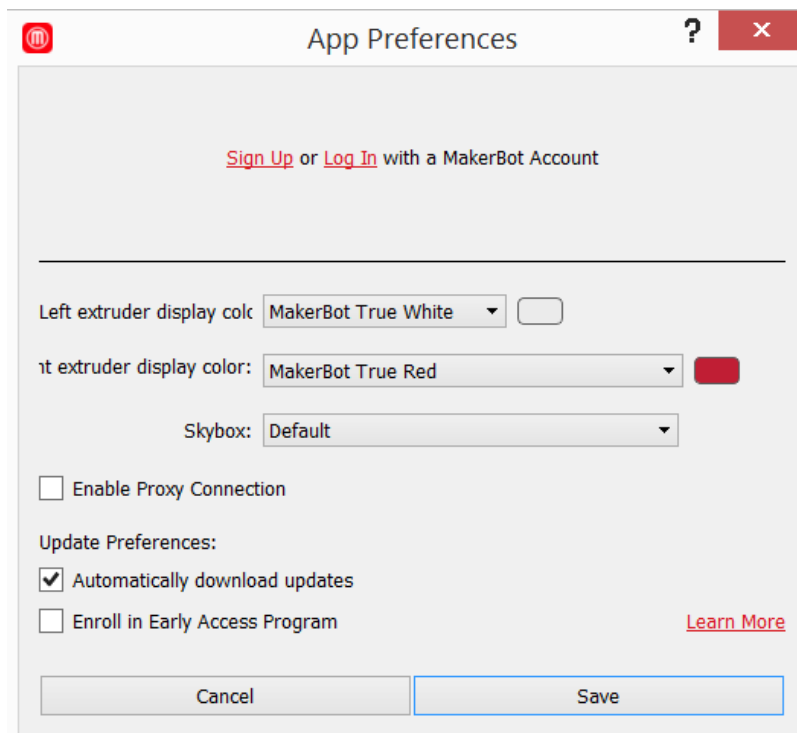
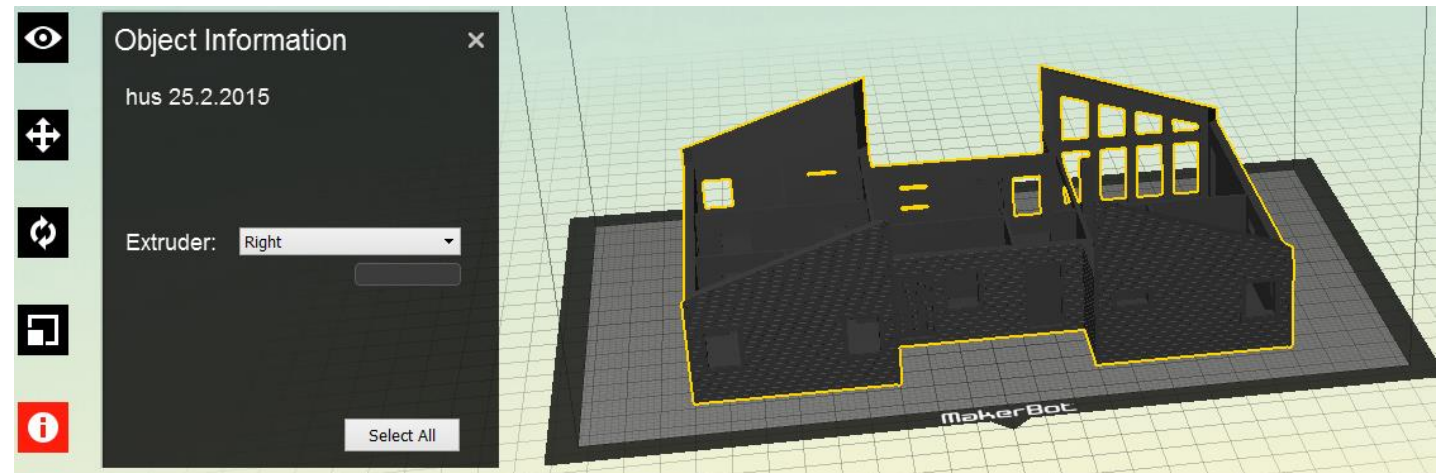
Modellen syns här på en digital visualisering av skrivarens byggplattform. Modellen kan roteras, skalas och flyttas på plattformen. Flera modeller kan även skrivas ut på samma gång om de ryms på plattformen.



1. Genom att klicka på **i**Part info & properties får man välja med vilket skrivarhuvud delen kommer att tilverkas.

Skrivarhuvuden kan använda olika material, t.ex. kan det ena skrivarhuvudet användas för att placera stödmaterial.

Det går att byta vilken färg som representerar vilket skrivarhuvud under menyn **Edit** och där välja **App Settings**.



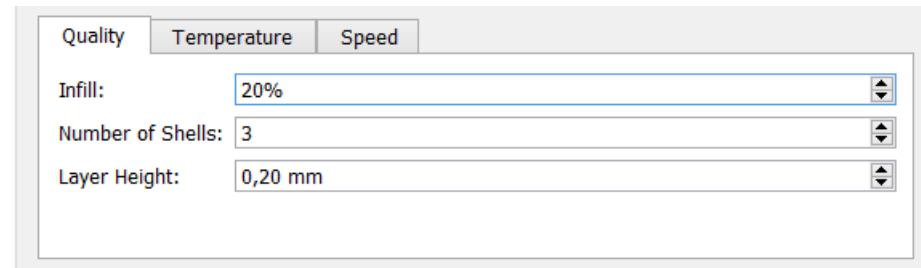
2. Inställningarna för skrivningen kan man påverka genom att välja **Settings**. Här görs alla inställningar för den kommande 3D-utskriften.

Man kan välja att använda en standardinställning med förinställda värden eller specificera egna inställningar.

Här fastslår man vilka material skrivarehuvudena använder, om föremålet skall tillverkas på en flotte (**Raft**), om stödkonstruktioner (**Supports**) skall genereras och med vilket skrivarehuvud stödmaterialen skall tillverkas.

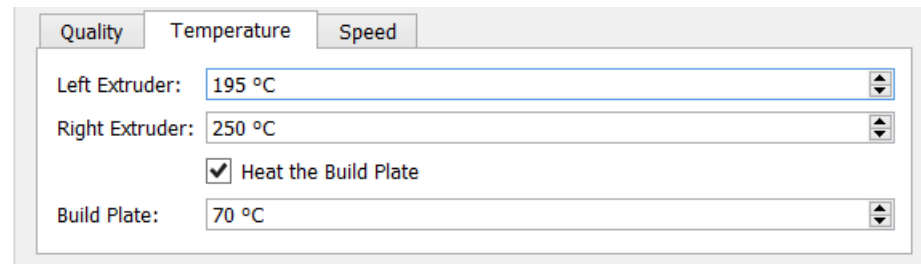
The screenshot shows the 'Print Settings' dialog box. At the top, there is a title bar with a question mark and a close button. Below the title bar, there are two columns of settings. The left column has 'Left: MakerBot PLA' and 'Resolution: Low (Faster), Standard * (selected), High (Slower)'. The right column has 'Right: MakerBot Dissolvable Filament', 'Raft: Left Extruder', and 'Supports: Left Extruder'. A blue button labeled 'Advanced Options' is centered below these settings. Below that, there is a 'Profile: Standard' dropdown and 'Slicer: MakerBot Slicer'. A section with three tabs: 'Quality', 'Temperature', and 'Speed'. Under 'Quality', there are three settings: 'Infill: 20%', 'Number of Shells: 3', and 'Layer Height: 0,20 mm'. At the bottom, there are four buttons: 'Use Defaults', 'Create Profile...', 'Cancel', and 'Save Settings'.

Under fliken **Quality** väljs inställningarna som påverkar modellens styrka och utseende. Här bestäms fyllningsgraden, antalet yttre lager och lagerhöjden.



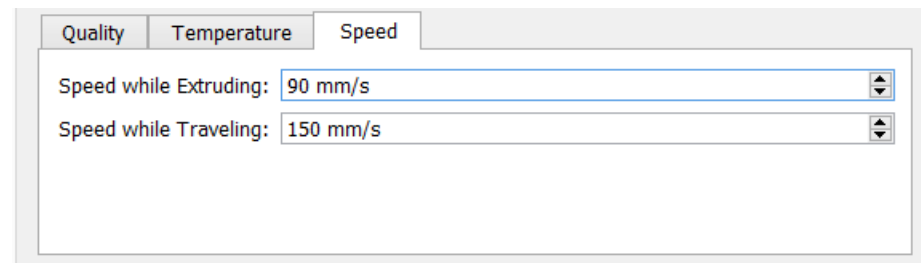
The screenshot shows the 'Quality' settings panel. It has three tabs: 'Quality', 'Temperature', and 'Speed'. The 'Quality' tab is selected. There are three input fields: 'Infill' set to 20%, 'Number of Shells' set to 3, and 'Layer Height' set to 0,20 mm. Each field has a small up/down arrow icon on the right side.

Under fliken **Temperature** väljs temperaturen för skrivarhuvudena och byggplattformen.



The screenshot shows the 'Temperature' settings panel. It has three tabs: 'Quality', 'Temperature', and 'Speed'. The 'Temperature' tab is selected. There are three input fields: 'Left Extruder' set to 195 °C, 'Right Extruder' set to 250 °C, and 'Build Plate' set to 70 °C. Each field has a small up/down arrow icon on the right side. There is also a checked checkbox labeled 'Heat the Build Plate'.

Under fliken **Speed** väljs hastigheten för skrivarhuvudet under skrivning och vid förflyttning.

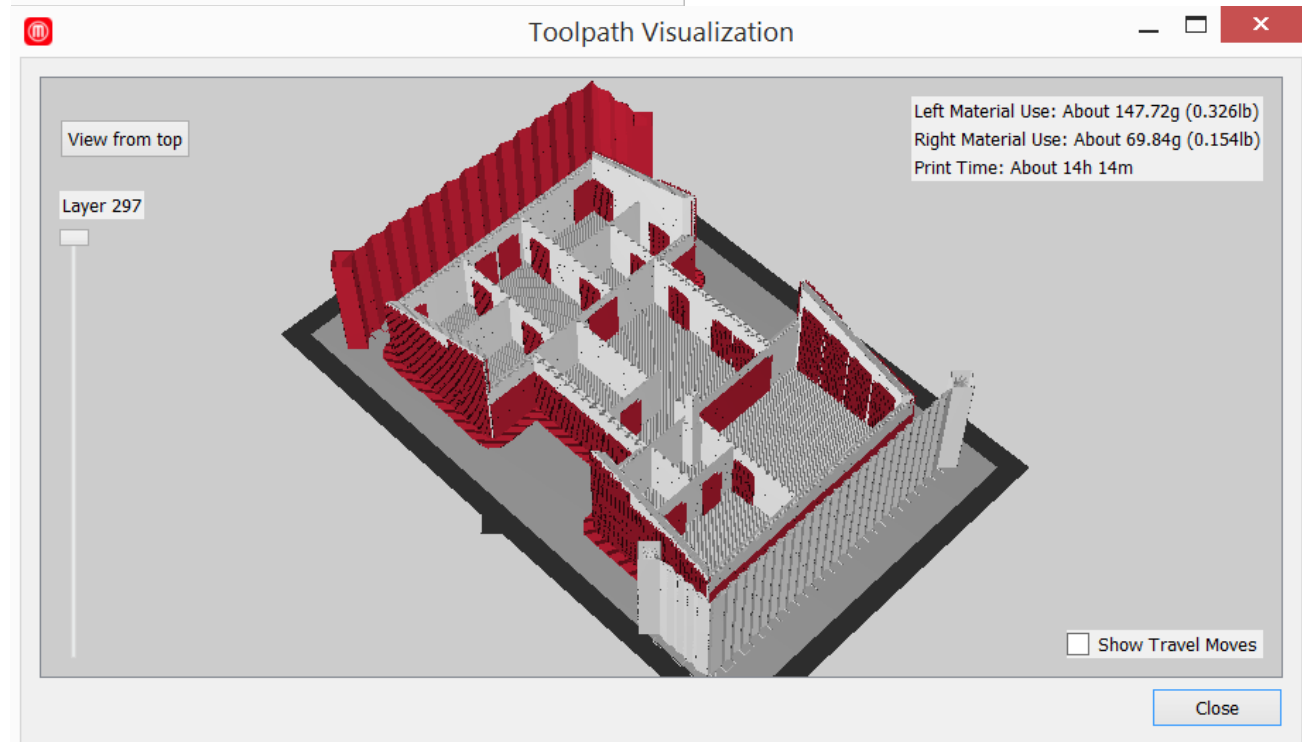
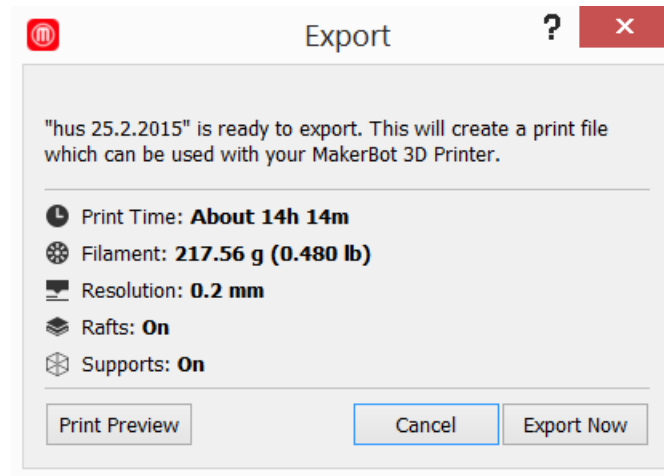


The screenshot shows the 'Speed' settings panel. It has three tabs: 'Quality', 'Temperature', and 'Speed'. The 'Speed' tab is selected. There are two input fields: 'Speed while Extruding' set to 90 mm/s and 'Speed while Traveling' set to 150 mm/s. Each field has a small up/down arrow icon on the right side.

3. Efter att inställningarna är gjorda väljer man **EXPORT PRINT FILE** för att skapa en fil som kan användas med skrivaren.

Programmet uppskattar hur länge det tar att skriva ut modellen och hur mycket material som behövs.

Genom att välja **Print Preview** kan man kontrollera skrivarens alla rörelser vid varje lager. Materialen är visualiserade med de färger man valde i punkt 1, här är själva modellen vit och stödmaterialet rött. Om man även vill se förflyttningsrörelserna klickar man i **Show Travel Moves**, vilka då visualiseras med svart färg.



- Om resultatet är godtagbart väljer man **Export Now** för att exportera printfilen.

Utskriften kan därefter skrivas ut via uppkoppling mellan datorn och skrivaren med USB-kabel eller genom att kopiera filen till ett minneskort som skrivaren läser av.

När minneskortet har placerats i skrivaren väljer man från menyn **Build from SD**. Därefter väljer man filen man vill skriva ut och skrivaren påbörjar utskriften.

