

Användning av 3D-skrivare i grundskolan för barn med synnedsetsättning

Gustav Knape

Certec, avdelningen för rehabiliteringsteknik • Maskinkonstruktion

Institutionen för Designvetenskaper

Lunds Tekniska Högskola • Lunds Universitet • 2013



Examensarbete Certec 2:2013



Användning av 3D-skrivare i grundskolan för barn med synnedsettnig

Gustav Knape

Certec, avdelningen för rehabiliteringsteknik • Maskinkonstruktion

Institutionen för Designvetenskaper

Lunds Tekniska Högskola • Lunds Universitet • 2013

Certec, avdelningen för rehabiliteringsteknik
och
avdelningen för maskinkonstruktion, Institutionen för designvetenskaper
Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet
Box 118
221 00 LUND

ISRN LUTMDN/TMKT 13/5467 SE

Tryckt i Sverige

E-Huset, Lund 2013

Förord

Denna rapport beskriver resultatet av ett examensarbete på civilingenjörsutbildningen Maskinteknik med Teknisk Design vid Lunds tekniska högskola som genomfördes under våren 2013. Arbetet kom till genom en idé från Certec, avdelningen för rehabiliteringsteknik och genomfördes i samarbete med avdelningen för Maskinkonstruktion. Båda hörandes till Institutionen för designvetenskaper vid Lunds Universitet.

Ett stort tack till min handledare Kirsten Rasmus-Gröhn på Certec för all hjälp under arbetets gång. Tack till alla de elever, lärare och resurspersonal som jag fått besöka och som varit mycket hjälpsamma och positiva till projektet.

Jag vill också tacka:

Giorgios Nikoleris på avdelningen för maskinkonstruktion, som varit examinator

Georgia Pantazopoulou på Specialpedagogiska skolmyndigheten för hjälp med kontakt med skolor och tips på litteratur

Ulf Ganrot i verkstaden på IKDC för hjälp med 3D-utskriften

Stefan Lindgren på Humanities Lab, Lunds universitet som delade med sig av inskannade arkeologiska fynd

Lund, Maj 2013

Gustav Knape

Abstract

Students with blindness don't have the same access to images in textbooks as sighted people do. They are instead given tactile pictures which can be time consuming and hard to interpret and some images are not even possible to form into a tactile picture. This Master's thesis explores the technical and pedagogical possibilities of using a 3D-printer for making educational models as a complement or sometimes a replacement for tactile pictures in schools.

The teachers of two students, in 4th and 6th grade, in two different schools were given a number of models which they could use as a part of their normal curriculum during four weeks' time. The teachers were asked before about ideas and what they thought could be useful and the models were later 3D-printed at Lund University.

After the test period, the teachers and students were interviewed about the experienced value of having 3D-printed models as an education aid. Their conclusion was that it was an asset which increased the comprehension of the visually impaired students and also allowed them to participate more in some of the discussions of which they earlier couldn't. They were all positive of in some way incorporating 3D-printed models in their teaching of the visually impaired children in the future.

Keywords:

3D-printing, visual impairment, haptic, blindness, education

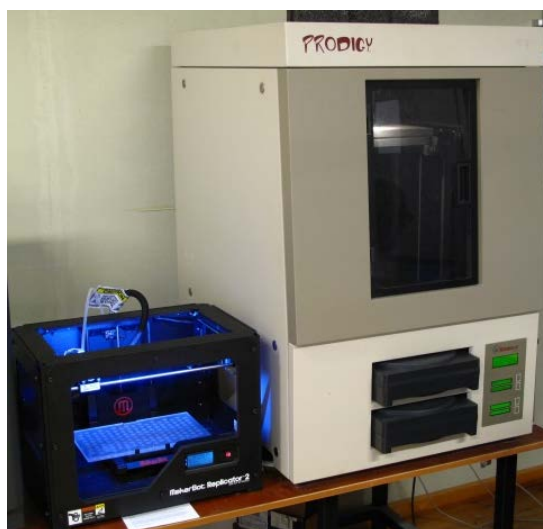
Sammanfattning

Syftet med arbetet var att undersöka om det går att använda 3D-skrivare för att skriva ut modeller i pedagogiskt syfte för barn med synnedsättning. Ett antal modeller skrevs ut till två barn med blindhet som gick på två olika grundskolor i Skåne. Båda eleverna gick i vanliga klasser men hade i skolan extra stöd i form av en resursperson. De 3D-utskrivna modellerna anpassades till deras vanliga undervisning som komplement eller ersättning till delar av deras vanliga undervisningsmaterial. I den första skolan där eleven gick i fjärde klass efterfrågades modeller relaterat till vikingatiden, rymden och matematik. Den andra eleven som gick i sjätte klass fick modeller till geografi, matematik och kemi. Ett exempel på modellerna som användes var en jordglob på ungefär 10 cm i diameter med upphöjda landtyper, se figur 1. Efter att de haft modellerna i ungefär fyra veckor intervjuades de om sina upplevelser av modellerna och huruvida det underlättat undervisningen något.



Figur 1. En av 3D-modellerna som skrevs ut

Två 3D-skrivare med tekniken Fused Deposition Modeling (FDM) användes för att skriva ut modellerna. Den stora till höger på figur 2, Stratasys Prodigy, tillverkades 2002 och är ämnad för professionellt bruk. Den mindre till vänster på samma figur, Makerbot Replicator 2, är tillverkad under 2012 och är främst till för hemmabruk. En del av arbetet bestod av att välja ut ett förslag på en lämplig 3D-skrivare att använda på en grundskola, ifall det skulle bli verklighet. Här var de viktigaste egenskaperna att den är lättanvänd, skriver ut med god kvalitet och är relativt billig att köpa in. Ett urval av 15 3D-skrivare användes där en valdes ut som förslag.



Figur 1. De två 3D-skrivarna som användes

Tre olika modelleringsprogram användes, Creo, Blender och OpenSCAD där Blender och OpenSCAD är gratis. Resultatet blev totalt 27 objekt som skrevs ut och gavs till skolorna som fick behålla dem efteråt. Flera misslyckade utskriftsförsök gjordes också på vägen som berodde på antingen felkonstruerade filer eller krångel hos 3D-skrivaren.

Efter testperioden utvärderades de 3D-utskrivna objekten genom fysisk intervju på den ena skolan och mailintervju på den andra. Eleverna och lärarna på båda skolorna hade sett modellerna som en tillgång och använt dem regelbundet under perioden. Modellerna hade ökat förståelsen hos eleverna och de ansågs i vissa fall vara enklare att använda än taktila bilder och i andra fall som ett bra komplement. De var mycket positiva till att i framtiden använda 3D-skrivare för att underlätta för elever med synnedsättning.

Ordlista:

3D-skrivare – Tillverkningsmetod för att skapa tredimensionella objekt automatiskt från en datormodell (eng. 3D-printer).

ABS – Akrylnitril-Butadien-Styren, termoplast som används för 3D-utskrift och i till exempel LEGO.

Braille – Punktskrift.

CAD – Computer Aided Design. Programtyp till datorer där en användning är att skapa modeller för 3D-skrivare.

FDM – Fused Deposition Modeling. En typ av teknik för 3D-skrivare där plast smälts och sprutas ut i tunn tråd.

Filament – Materialet som används till många 3D-skrivare består av tunn tråd på spole som benämns filament.

GCode – Arbetsväg för hur en modell skrivs ut i en 3D-skrivare.

PLA – Polylaktid, termoplast som ofta används till FDM-skrivare.

PVA – Polyvinylalkohol, termoplast som kan användas till FDM-skrivare, är löslig i vatten.

SPSM – Specialpedagogiska skolmyndigheten, erbjuder bland annat specialpedagogiskt stöd och anpassade läromedel.

STL – Ett filformat som används för modeller till 3D-skrivare.

Stödmaterial – Det material som 3D-skrivare använder för att till exempel stödja upp material som hänger fritt i luften, till exempel under en bro.

Taktil bild – Bild med upphöjda ytor eller linjer för att känna på med fingrarna.

Termoplast – Samlingsnamn för plaster som kan smältas och stelnas upprepade gånger.

Innehållsförteckning

1 Introduktion	1
1.1 Mål.....	1
1.1.1 Frågeställningar	1
1.2 Rapportdisposition	2
2 Metod och utrustning	3
2.1 Litteraturstudier	3
2.2 Utskrivningsbara modeller.....	3
2.3 Urval av 3D-skrivare.....	3
2.4 Val och testning av modeller	4
2.5 Utvärdering av modellerna	4
2.6 Använda 3D-skrivare.....	4
2.6.1 Stratasys Prodigy	4
2.6.2 Makerbot Replicator 2	5
2.7 Skrivarmjukvara	6
2.7.1 Makerbot	6
2.7.2 Stratasys	6
2.8 Modelleringsmjukvara	6
2.9 Tekniska begränsningar	6
2.10 Avgränsningar	7
3 Visualisering för personer med synnedsättning	9
3.1 Skillnad mellan känsel och andra sinnen.....	9
3.2 Känsel och vardagsobjekt.....	10
3.3 Metoder för att känna	11
4 Hjälpmedel för elever med synnedsättning i skolan	13
4.1 Punktskrift.....	13
4.2 Skriva Punktskrift	14
4.3 Tekniska hjälpmedel	14

4.4 Hipp-projektet.....	15
4.5 Taktila bilder.....	15
4.6 Bildvägledning.....	16
4.7 Perspektiv och överskärningar.....	17
4.8 Modeller.....	18
4.9 Överföring från tre till två dimensioner.....	18
5 Hur en 3D-skrivare fungerar	19
5.1 Historia.....	19
5.2 3D-utskrift som tillverkningsmetod.....	20
5.3 FDM-skrivare.....	20
5.4 Material.....	21
5.5 Exempel på tillämpningar.....	22
6 Val av 3D-skrivare.....	25
6.1 Marknaden.....	25
6.2 Materialkostnad.....	25
6.3 3D-skrivare i urvalet.....	26
6.4 Utvärdering.....	26
6.5 Utvärderingsmetod.....	27
6.5.1 Behov.....	27
6.5.2 Kriterier.....	27
6.5.3 Referensvärde.....	29
6.6 Primärutvärdering.....	29
6.7 Sekundär utvärdering och val av 3D-skrivare.....	30
6.8 Diskussion.....	30
7 Identifiering av behov.....	31
7.1 Besök i skola.....	31
8 Presentation av modeller för ÅK 4	33
8.1 Vårt solsystem.....	33
8.2 Modell av Mars.....	35
8.3 Vikingatiden.....	36
8.4 Bältesspanne.....	37
8.5 Matematik.....	38
9 Presentation av modeller för ÅK 6	39

9.1 Modell av jorden	39
9.2 Modell av jorden med linjer	40
9.3 Atommodell	41
9.4 Geometriska kroppar.....	42
9.5 Skalmodeller	43
10 Utvärdering med skolor.....	45
10.1 Frågeställning 1	45
10.2 Frågeställning 2.....	46
10.3 Frågeställning 3.....	47
11 Diskussion och slutsatser	51
11.1 Metoddiskussion	51
11.2 Tidsplan.....	52
11.3 Slutsatser	52
11.3.1 Frågeställning 1	52
11.3.2 Frågeställning 2	52
11.3.3 Frågeställning 3	52
11.3.4 Frågeställning 4	53
12 Framtid	55
12.1 3D-skrivare på skolor	55
12.2 3D-skrivare hos SPSM/Regionalt	55
12.3 Vision.....	55
Referenser.....	57
Bilaga A : Utvärderingstabeller från kapitel 6.....	61
Bilaga B : Tidsplan	65

1 Introduktion

I detta kapitel introduceras bakgrunden till arbetet och dess mål, med frågeställningar. Även en kort sammanfattning av vad som ingår i rapporten ges.

Idag används flera typer av datorhjälpmedel för barn med synnedsättning i grundskolan, men också modeller och fysiska föremål för visualisering. Det kan till exempel vara taktila kartor i relief och spel som anpassats för barn med synnedsättning. Det material som används är ofta dyrt att ta fram eftersom de tillverkas och säljs i liten upplaga till en smal målgrupp och kan i vissa fall vara handgjorda.

Med hjälp av en 3D-skrivare kan modeller i plast tillverkas billigt, snabbt och mer flexibelt i nära anslutning eller på plats i skolan där de ska användas. 3D-skrivartekniken har funnits länge men har först under de senaste få åren gjorts mer tillgängliga för allmänheten med priser ner mot bara några tusenlappar och storleksmässigt inte större än vad bläckstråleskrivaren var när den introducerades i hemmen. Man kan tänka sig att en sådan på ett eller annat vis kan komma att användas i skolan och att det finns en, för skolor, gemensam databas där modeller kan hämtas och skrivas ut.

1.1 Mål

Arbetets mål är att i praktiken undersöka ifall en 3D-skrivare är intressant att använda i grundskoleundervisningen. Det främsta syftet med de utskrivna objekten är att underlätta inläringen för barn med synnedsättning, men också med möjligheter för flera användningsområden. Det ska utredas ifall tekniken är tillräckligt enkel att använda och om resultatet blir tillräckligt bra för ändamålen.

1.1.1 Frågeställningar

- Fyller objekten som skrivs ut ett syfte i undervisningen?
- Har objekten lämpligt material och tillräckligt hög kvalitet och noggrannhet för att användas som modeller?
- Finns det en önskan att använda sig av 3D-utskrivna modeller för elever med synnedsättning?
- Vilken modell av 3D-skrivare är lämplig att använda på plats i en grundskola?

1.2 Rapportdisposition

Kap 1: Introduktion

Arbetets bakgrund, mål och frågeställningar beskrivs.

Kap 2: Metod

Arbetets upplägg och metod beskrivs. En kort genomgång av vilka 3D-skrivare med tillhörande mjukvara som använts.

Kap 3: Visualisering för synskadade

Om hur man kompenserar för nedsatt syn. Olika tekniker för att känna på objekt och fördelar och begränsningar hos känselsinnet.

Kap 4: Om hjälpmedel i skolan

Vilka typer av hjälpmedel för barn med synnedsättning som är vanliga i skolan idag.

Kap 5: Hur en 3D-skrivare fungerar

Hur en 3D-skrivare (i första hand FDM) fungerar.

Kap 6: Val av 3D-skrivare

Undersökning och utvärdering av 3D-skrivare på marknaden. En passande modell av 3D-skrivare för syftet att använda på en grundskola väljs ut utifrån ett urval av 15 3D-skrivare.

Kap 7: Presentation av modeller för ÅK 4

Presentation av de utskrivna objekten som använts för utvärdering i skolan. Objekten är anpassade till undervisningen i klassens läroplan för vårterminen.

Kap 8: Presentation av modeller för ÅK 6

Samma upplägg som i kapitel 7.

Kap 9: Utvärdering

Utlåtanden om de 3D-utskrivna objekten från de lärare och elever som använt dem under 4 veckor.

Kap 10: Diskussion och slutsatser

Metoddiskussion, tidsplanering, det faktiska utfallet och slutsatser.

Kap 11: Framtid

Förslag på hur man i framtiden skulle kunna använda sig av 3D-utskrivna modeller för elever med nedsatt syn.

2 Metod och utrustning

Den valda metoden och vilka 3D-skrivare med tillhörande mjukvara som användes behandlas i detta kapitel.

Metoden som valdes för att undersöka 3D-skrivarens nytta i grundskolan gick ut på att låta lärare använda utskrivna modeller i deras vanliga undervisning under några veckor. Objekten valdes och modellerades efter önskemål från lärare och resurspersonal och skrevs ut i 3D-skrivare på LTH.

2.1 Litteraturstudier

Genom litteratur och studiebesök undersöktes inledningsvis vilka hjälpmedel som idag används för synskadade barn i skolan. För att kunna förstå hur objekten skall vara utformade i storlek, form och tyngd krävdes en förståelse för hur känselsinnet fungerar och vad eleverna vanligtvis använder för redskap och hjälpmedel i skolan.

2.2 Utskrivningsbara modeller

Det finns många skolor runt om i världen som har införskaffat 3D-skrivare men det är ovanligt att de används i syftet att underlätta för elever med synnedsättning. Eftersom communityt kring 3D-skrivare har devisen att dela med sig och hjälpas åt har vissa modeller och tankar delats på forum och bloggar med bland annat lärare från andra länder. Några av de utskrivna modellerna i rapporten har hämtats från internet och modifierats innan utskrift. Både de modeller som delats ut och laddats ner på internet går under creative commons-licensen by-sa¹.

Att dela modeller är en viktig förutsättning för att den tänkta användningen i skolan skall fungera eftersom det är både tidskrävande och i många fall svårt att modellera medan det är relativt enkelt att skriva ut. När en modell är skapad i datorn en gång kan den enkelt skrivas ut hur många gånger som helst.

2.3 Urval av 3D-skrivare

Det finns idag över hundra stycken olika modeller av 3D-skrivare för hemmabruk att välja på med olika egenskaper och stor skillnad i pris [1]. I kapitel 6 har en 3D-

¹ Creative commons är ett alternativ till copyright och finns i olika varianter. By-sa innebär att man får dela med sig av och modifiera verket ifall man uppger upphovsmannen och sprider vidare verket under samma licens.

skrivare valts som förslag ifall det potentiellt skulle köpas in en för att användas av personal på en grundskola. Som utvärderingsmetod har Ulrich & Eppingers metod använts som beskrivs i boken *Product Design and Development* [2].

2.4 Val och testning av modeller

Två barn med synnedsättning fick testa de utskrivna modellerna i skolan. En flicka i 4:e klass och en pojke i 6:e klass, båda med nedsatt syn sedan födseln. De gick i vanliga klasser men hade varsin resursperson som var med på alla lektioner. Testet av 3D-modellerna gjordes i tre steg. Först diskuterades vad som skulle 3D-skrivas ut med elevernas lärare och resurspersoner. De fick då se exempel på utskrivna objekt och inspiration till vad som kunde göras. Sedan modellerades ett antal objekt och skrevs ut under några veckors tid på LTH. Till sist fick lärarna, resurspersonerna och eleverna använda modellerna i undervisningen under fyra veckor.

2.5 Utvärdering av modellerna

Efter de fyra veckorna intervjuades klassföreståndare och resursperson till pojken i sjätte klass om deras upplevelse av modellerna. Intervjun spelades in och transkriberades. För eleven i årskurs fyra skedde kontakten enbart med eleven och resurspersonen och inte med klassföreståndaren. Tyvärr kunde inte en lämplig tid hittas för den avslutande intervjun där, istället besvarades frågorna via email av elevens resursperson. Under projektets gång gavs även kortare utlåtanden vid besök på skolan och dessa användes också i utvärderingen i kapitel 10. Deltagarna går i denna rapport under de fingerade namnen i tabell 2.1.

Tabell 2.1. Fingerade namn på deltagare

	Skola 1 (ÅK 4)	Skola 2 (ÅK 6)
Elev	Emma	Erik
Resursperson	Rebecka	Robert
Lärare (klassföreståndare)		Lisa

2.6 Använda 3D-skrivare

Två fabrikat av 3D-skrivare användes till att skriva ut objekten (se figur 2.1). För att skilja dem åt i rapporten kommer de att benämnas vid tillverkarnas namn Makerbot och Stratasys. Båda använder sig av FDM-teknik men 10 år skiljer dem i deras lanseringsdatum. De har båda fördelar och nackdelar gentemot varandra. I tabell 2.2 nedan jämförs de två skrivarna vilket visar på utvecklingen i kostnad och prestanda de senaste 10 åren. Mer om hur de fungerar går att läsa i kapitel 5.

2.6.1 Stratasys Prodigy

Stratasys Prodigy är tillverkad 2002 och skriver ut i ABS-plast. Den har två munstycken vilket gör att man kan välja att skriva ut med ett sprött stödmaterial,

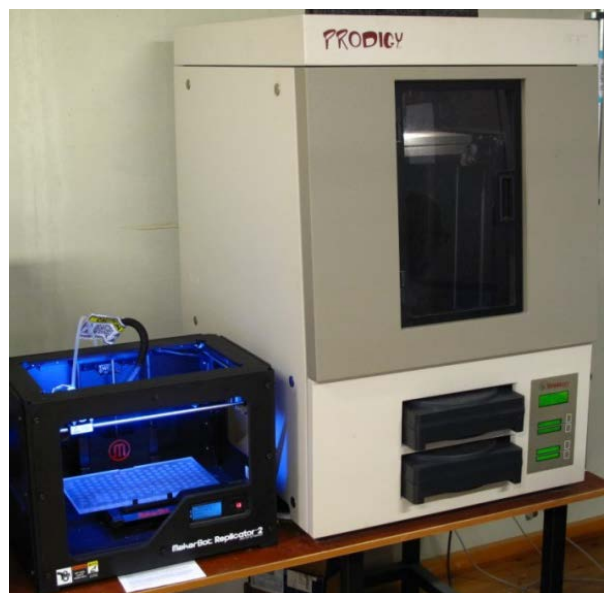
också av ABS, som enkelt går att ta bort efteråt för hand. Den har en uppvärmd kammare vilket gör att materialet stelnar långsamt på ett önskvärt sätt. Plattan som maskinen skriver ut på är av skummateriale och måste bytas ut efter ett antal utskrifter när den inte längre är tillräckligt plan [3].

2.6.2 Makerbot Replicator 2

Makerbot Replicator 2 lanserades under 2012 och är idag en av de mest populära 3D-skrivarna för hemmabruk. Den kan enbart skriva ut i PLA och kan bygga stödstruktur, men då av samma material som resten av modellen skrivs ut i då den bara har ett munstycke. Den har varken kammare eller uppvärmd platta vilket gör att stelning av materialet kan ske ojämnt och därför böjas. Plattan är av akrylplast vilket gör att den håller för betydligt fler utskrifter än en platta på Prodigys skrivare [4].

Tabell 2.2. Jämförelse mellan de två använda 3D-skrivarna

	Stratasys Prodigy	Makerbot Replicator 2
Tillverkningsår	2002	2012
Inköpspris	ca 895 000 kr	ca 22 000 kr
Material	ABS	PLA
Materialkostnad per kg	ca 5000 kr	ca 500 kr
Minsta lagertjocklek	0,178 mm	0,1 mm
Maximal byggyta	203x203x350 mm	285x153x155 mm
Vikt	128 kg	11,5 kg



Figur 2.1 Makerbot Replicator 2 och Stratasys Prodigy

2.7 Skrivarmjukvara

För att kunna skriva ut måste man ha mjukvara på datorn för att generera en arbetsväg specifikt gjord för skrivaren, kallad GCode. I 3D-skrivarnas fall innebär det att modellen delas upp i tunna tvärsnitt på höjden som skrivaren tillverkar ett i taget [5].

2.7.1 Makerbot

Till Makerbots skrivare användes Open Source-programmet ReplicatorG som stödjer många olika skrivarfabrikat och har en stor valfrihet i inställningarna. ReplicatorG använder sig av programmet Skeinforge för att skapa GCode [5].

Makerbot har också sitt egna program MakerWare som bara stödjer deras egna skrivare och är mer lättanvänt.

2.7.2 Stratasys

Till Prodigyskrivaren användes Stratasys egna program CatalystEX.

2.8 Modelleringsmjukvara

3D CAD-program brukar delas upp i ytmodelleringsprogram och solidmodelleringsprogram. Generellt brukar det funka bättre att skriva ut filer på 3D-skrivare från det sistnämnda. För modelleringen i detta projekt användes tre olika program:

- PTC Creo Parametric 1.0 (solidmodellering)
- OpenSCAD v 2013.01 (open source, solidmodellering)
- Blender v 2.66.1 (open source, ytmodellering)

För samtliga modeller exporterades filerna till STL-format som kunde skrivas ut felfritt.

2.9 Tekniska begränsningar

Att hitta uppslag för modeller till att skriva ut på 3D-skrivare är inga problem, slår man upp en skolbok innehåller den många bilder som ofta är av förklarande eller förtydligande natur.

Under projektets gång visade det sig att 3D-skrivaren som tillverkningsmetod inte alltid är det bäst lämpade för att skapa modellerna med. Ofta är det enklare eller billigare att skapa modeller eller bilder med till exempel svällpapper, laserskärning eller att på något sätt att skapa modellerna för hand. Till objekt som består av en enkel grundform (till exempel en sfär) eller objekt av en tvådimensionell natur, är det enda man tillför med en 3D-skrivare en onödigt lång tillverkningstid.

3D-skrivarens styrka är snarare att kunna skriva ut ett komplext objekt i ett stycke. I projektet begränsades dock alltför avancerade objekt på grund av den långa tiden det skulle ta att modellera dem för 3D-utskrift. Inte heller alla objekt är möjliga att skriva ut utan att det finns ett bra stödmaterial, vilket de billiga 3D-skrivarna ofta saknar. På

grund av det valdes vissa idéer bort och det fokuserades mer på de objekt som var bättre lämpade för 3D-utskrift och tog rimligt lång tid att modellera.

2.10 Avgränsningar

Trots att en ganska stor del av tiden i detta projekt gick åt till modellering i CAD-program, ses inte det som en speciellt intressant del av undersökningen. Om det finns en framtid för att använda modeller för elever med synnedsättning, utskrivna på 3D-skrivare, så kommer med största sannolikhet flertalet av dessa inte att modelleras ute på skolorna. Det är helt enkelt för tidskrävande och/eller svårt. Någon tyngdpunkt lades därför inte i denna rapport på att visa hur modellerna är gjorda i CAD-programmen. Det presenteras endast hur de ser ut, hur de är tänkta att användas, tiden det tog att skriva ut och materialkostnad.

Det hade varit intressant att studera hur det hade fungerat att använda 3D-skrivaren ute på plats i en skola. Det hade dock krävt mer tid på skolan och ett större engagemang från lärarna, vilket det inte är säkert att man hade kunnat få. Det ansågs bättre att istället först introducera modellerna och tekniken till dem på det sätt som det gjordes i detta projekt.

3 Visualisering för personer med synnedsättning

I detta kapitel beskrivs hur känselsinnet fungerar och hur man känner igen föremål och läser av bilder med händer och fingrar.

En person med synnedsättning kompenserar ofta sitt funktionshinder genom att använda hörseln och känseln för varseblivning. Det finns en bild av att om man har förlorat till exempel synen eller hörseln så blir de andra sinnen förstärkta och att vi alltså inte utnyttjar våra sinnen till full grad. Det stämmer inte att de förbättras men de kan användas mer effektivt och övas upp för att kompensera då man ägnar mer uppmärksamhet åt dem [6].

När man pratar om känselsinnet förekommer ofta orden taktil och haptik. Båda begreppen betyder ungefär att vidröra och att ta in information via känseln, det kan vara att man känner vibrationer från tåget i marken eller att känna att snön är kall med fingrarna.

I skolan läggs största vikten på lärandet med hjälp av bilder och text och mindre på att förmedla information taktilt. Men om det finns en elev i klassen med blindhet som får extra material i form av modeller så skulle man kunna tänka sig att även inläringen för de andra eleverna berikas genom att man undersöker de taktila kvalitéerna mer [7].

Informationen man kan få genom att taktil beröring är bland annat:

- Form
- Storlek
- Position relativt andra objekt (avstånd)
- Hårdhet
- Ytstruktur
- Temperatur/värmeledningsförmåga

Med objekt utskrivna från en 3D-skrivare förlorar man information jämfört med ”riktiga” objekt. Hårdhet, temperatur och delvis ytstruktur kan inte varieras för de detaljer som användes i detta projekt, då de tillverkades i enbart plast.

3.1 Skillnad mellan känsel och andra sinnen

En person med synnedsättning använder känseln som ersättning eller komplement till synen för att orientera sig, att hitta eller se objekt. En skillnad mellan synen och känselsinnet är att känseln som avläsningsmetod är mer sekventiell än synen och utgör därmed en större kognitiv belastning. Synen är effektiv för att snabbt skapa sig

en översikt som till exempel i en tidning eller i ett rum. När man utforskar ett objekt eller ett rum med händerna tar det längre tid att skapa en helhetsbild. Temperatur, ytstruktur och hårdhet går snabbt att undersöka men storlek, form och avstånd tar längre tid [7]. Det tar bara ett ögonblick att känna ifall något är hårt eller mjukt, kallt eller varmt och grovt eller lent. Dessvärre har handen och fingrarna en begränsad kontaktyta med ett objekt och man måste samtidigt skapa en mental bild och använda minnet när man utforskar utan att se, och hjärnans korttidsminne är begränsat till 10-15 sekunder [8].

Synen är alltså mer momentan än känselsinnet och man kan säga att känseln är mer lik hörseln i det avseendet. Men även synen kräver att man fokuserar ögonen på vissa delar för att undersöka närmare och är alltså också delvis sekventiell. Man har till exempel bara färgseende i en liten del av synfältet, men har man en gång sett färgen på ett objekt i det så minns vår hjärna färgerna på objektet även när det befinner sig i periferin. Människan har ett relativt simpelt öga jämfört med många andra djur och insekter som kompenseras med att vi har en stor hjärna [9].

Hörselintryck tas in linjärt och sekvensen kan inte ändras då budskapet i så fall skulle förvrängas i tal, musik, rytmer och så vidare. Med känseln kan man utforska i vilken ordning man vill och hur många gånger man vill. Förutom att ta in intryck använder man också händerna till handlingar. Man använder händerna för att greppa, flytta och på andra sätt interagera med objekt och inom haptik är varseblivning och aktion närliggande [10].

3.2 Känsel och vardagsobjekt

Det som alla använder känselsinnet till i vardagen är att på ett effektivt sätt känna igen bekanta saker utan att se dem. Att skriva på ett tangentbord utan att titta och att hitta mobiltelefonen i väskan går i de flesta fall bra. I en studie av Klatzky, Lederman och Metzger visades att testpersonerna kunde känna igen 100 bekanta vardagsobjekt i princip helt utan fel och med en responstid på under 2 sekunder för varje objekt [11].

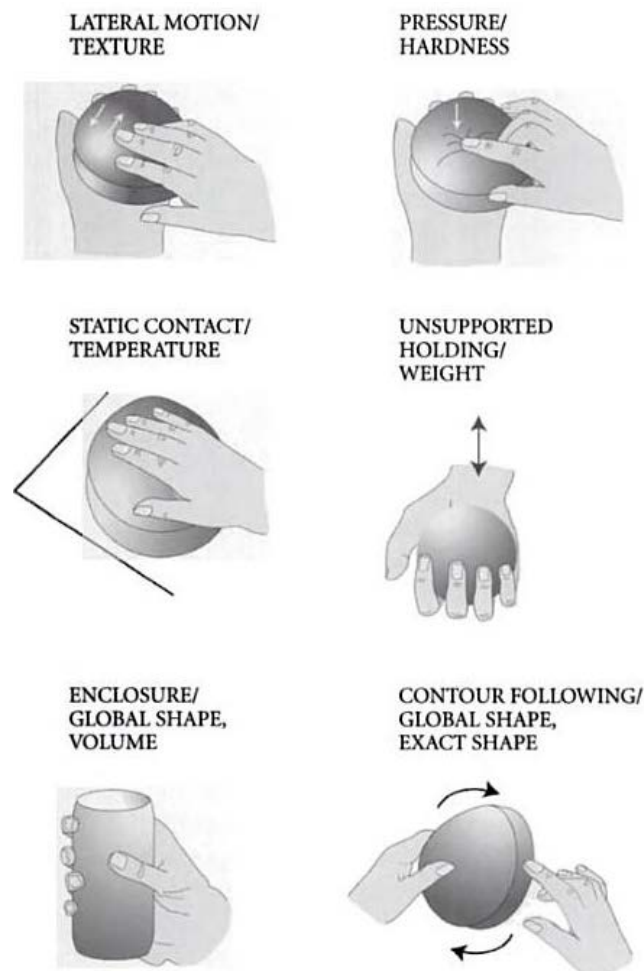
Lederman, Klatzky, Chataway och Summers gjorde en studie där seende personer med ögonbindel och personer med blindhet fick känna på bilder med upphöjda linjer föreställande vardagliga objekt. De fick upp till två minuter på sig där de seende kände igen 34 % av avbildningarna och personerna med blindhet bara 10 % [12]. Dessa två studier visar tillsammans att det är betydligt svårare att med hjälp av taktila bilder känna igen vardagliga objekt, jämfört om man får känna på de verkliga objekten med händerna.

Som tidigare nämnts så försvinner en del kvalitéer för att känna igen objekt när de är utskrivna i 3D-skrivare eftersom materialet som används har begränsade valmöjligheter i ytkvalité. Hur lätt är det att känna igen objekt enbart med hjälp av form och storlek? I samma studie som den senast nämnda så gjorde man också ett test där testpersonerna fick ha på sig en tjock handske och enbart känna på objektets konturer med ett finger. Objekten var fastsatta i bordet så man kunde inte uppfatta objektets massa. Här var antal korrekt identifierade objekt 75 % vilket talar för att det är betydligt lättare att känna igen tredimensionella objekt enbart med hjälp av formen jämfört med tvådimensionella representationer i relief på papper. Om man använder

sig av 3D-utskrivna objekt så kommer det inte vara lika lätt att identifiera som verkliga objekt men kommer förhoppningsvis ändå att vara lättare än att känna reliefbilder på papper och kräva en mindre mängd kompletterande beskrivning i form av text eller tal [12].

3.3 Metoder för att känna

Det är lämpligt att använda olika tekniker för att känna på objekt beroende på vad det är man vill veta. I figur 3.1 nedan har Klatzky och Lederman kategoriserat olika undersökningsprocedurer [13].



Figur 3.1. Metoder för att känna

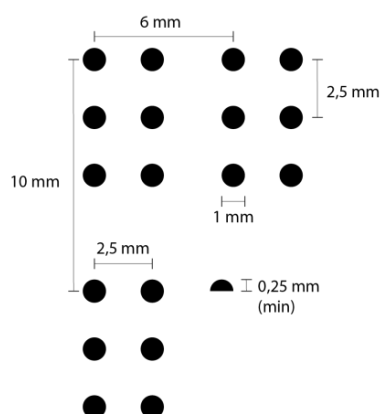
Man kan variera händernas användning till antal fingrar, en eller två händer, olika tryck, snabb eller långsam rörelse och vilken del av handen som vidrör. Objektet kan man välja att ha i handen eller liggandes på bordet. Skickliga taktila läsare använder en kombination av dessa tekniker för att läsa av ett objekt [7].

4 Hjälpmedel för elever med synnedsättning i skolan

Det finns många olika typer av hjälpmedel för elever med synnedsättning och man har olika behov beroende på grad av synnedsättning. Om man kan se, men till exempel har svårt att läsa kan man använda sig av olika hjälpmedel för att förstora texten optiskt eller med hjälp av datorn. Till matematiken används bland annat kulramar för räkning, linjaler med upphöjda linjer och vaxsnören (som används som flexibla linjer).

4.1 Punktskrift

Fransmannen Louis Braille introducerade punktskriften som blev uppkallad efter honom år 1824. Det ses som det största genombrottet för personer med blindhet genom historien men även datorns introduktion har varit viktig för spridningen av det skrivna ordet. Braillealfabetet är inte helt standardiserat internationellt trots försök men är utformat nästan likadant i olika länder. Inte heller storlekarna på punkterna är standardiserade [14]. En bokstav eller ett tecken representeras i Braille av en cell. Den ursprungliga cellen har plats för 6 stycken punkter och rymmer 64 tecken inklusive blankt tecken. För datorn finns en variant med 8 punkter för att rymma fler tecken, upp till 256. Det finns rekommendationer för punkternas dimensioner (se figur 4.1) [15]. En 3D-skrivare i de lägre prisklasserna idag har en noggrannhet på ner till 0.1-0.2 mm och kan därmed i teorin producera läsbar punktskrift på till exempel en utskriven plastdetalj.



Figur 4.1. Rekommenderade dimensioner för punktceller

4.2 Skriva Punktskrift

På de skolorna som besöktes hade eleverna med synnedsättning varsin skrivmaskin som man kan skriva punktskrift med (visas på figur 4.2). Ett tecken skapas genom att trycka ner de tangenter av de sex möjliga som ingår i tecknet simultant för att göra upphöjningar i pappret. Detta kan användas som en ersättning för anteckningsblocket när man är inte har tillgång till datorn att skriva på. Man kan också skriva för hand med en så kallad reglett där man spänner fast ett papper och trycker ner varje hål manuellt med ett stift. Här blir upphöjningarna på undersidan och man måste skriva spegelvänt.



Figur 4.2. Skrivmaskin för Braille

4.3 Tekniska hjälpmedel

Det går att med talsyntes (artificiellt tal) få text uppläst i datorn, vilket också gör det relativt enkelt att skriva i datorn i ordbehandlingsprogram som Microsoft Word. Ett annat vanligt datorhjälpmedel för att läsa är punktdisplayen som är lite mindre än ett tangentbord och kopplas in med USB eller Bluetooth (se figur 4.3). Den har mekaniska punkter som var och en kan höjas upp och består vanligtvis av en rad med ca 40 punktceller i bredd. Båda de skolor som besöktes hade även punktskrivare som kan skriva ut en sida med punktskrift på några sekunder.



Figur 4.3. Punktdisplay till dator

4.4 Hipp-projektet

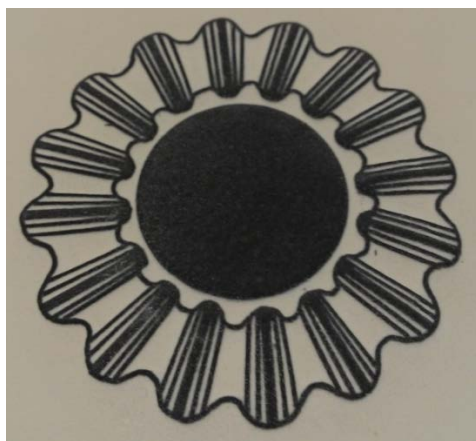
En av eleverna som besöktes deltog i HIPP som är ett projekt skapat för barn med synnedsättning av Certec vid LTH. Det står för "Haptik I Pedagogisk Praktik" och omfattar ett datorprogram som används tillsammans med en PHANToM-penna (se figur 4.4). Pennan ger haptisk återkoppling genom en motkraft när man kommer i kontakt med linjer eller objekt. Motkraften genereras av inbyggda motorer som ger motstånd vid vissa positioner trots att pennspetsen befinner sig fritt i luften. HIPP-programmet liknar andra enkla ritprogram som Paint. Man kan rita egna bilder och sedan utforska dem med pennan och få ljud uppspelade, till exempel förklaringar eller ljudeffekter. Det går också att känna på tredimensionella objekt skapade i datorn. [16], [17].



Figur 4.4. HIPP-programmet med PHANToM Omni

4.5 Taktila bilder

Taktila bilder, även kallat reliefbilder, består av linjer eller ytor som är upphöjda för att man ska kunna känna dem med fingrarna. Ett exempel visas i figur 4.5. Det finns olika metoder att framställa dessa och med vissa tekniker kan man höja upp ytorna till olika nivåer och även variera ytstrukturen.

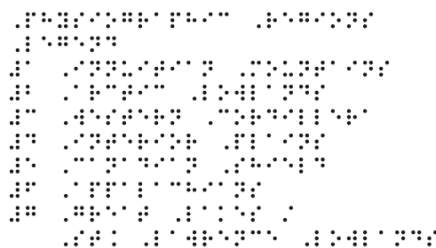
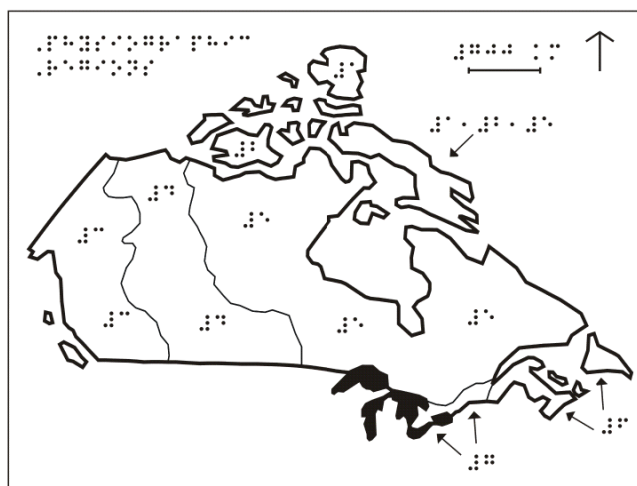


Figur 4.5. Taktil bild föreställande en kakform sedd från ovan

En av de vanligaste tillämpningarna av taktila bilder är kartor. För att en bild eller en karta ska bli taktilt avläsningsbar måste den förenklas genom att ta bort linjer och förenkla de som finns. Om en karta över ett land ska visa både städer, floder, berg och motorvägar blir det väldigt svårt att läsa av [18]. Om den taktila kartan är utplacerad vid till exempel en järnvägsstation, vilket är vanligt förekommande på svenska orter, är det viktigt att man dels kan hitta sin egen position på kartan och dels att kartan är placerad och riktad åt rätt håll så att rakt fram på tavlan blir rakt fram i omgivningen. Det är svårare för personer med blindhet jämfört med seende personer att lära sig läsa kartor och förstå hur en tvådimensionell bild representerar en tredimensionell miljö [19].

4.6 Bildvägledning

Oftast krävs en bildbeskrivning i form av text eller en muntlig bildvägledning i samband med taktila bilder på grund av att de är så pass svårt att läsa av dem. Om det krävs beskrivande text till bilden får det eventuellt inte plats utskrivet i punktskrift i bilden utan det ersätts då med en symbol eller första bokstaven och så får man läsa på medföljande blad vad förkortningen betyder (se figur 4.6 nedan) [18].

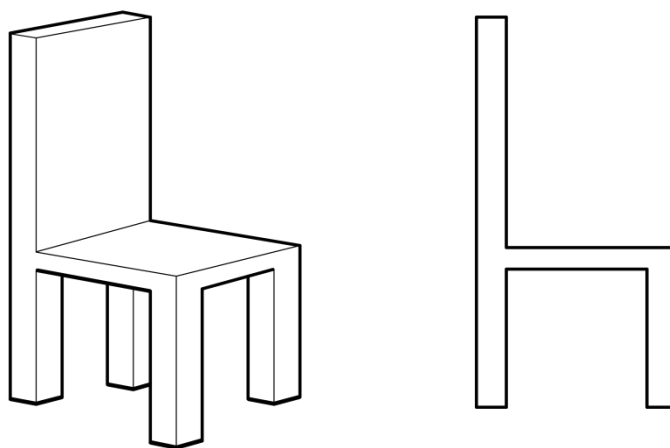


Figur 4.6. Taktill karta över Kanada med medföljande blad innehållande förkortningarnas betydelse

Det blir också enklare att tolka en bild med fingrarna om man vet vilken kategori som bilden tillhör. När man i en studie berättade i förväg kategorin (kök, möbler et cetera) som bilden föreställde så ökade rätt tolkning från 25 % till 63 % bland seende personer med ögonbindel [20].

4.7 Perspektiv och överskärningar

Ofta används ortogonal projektion på samma sätt som i tekniska och arkitektoniska ritningar för att undvika perspektiv och överskärningar, som kan vara mycket svårt att tolka rätt i taktila bilder [19], [21]. Ett exempel visas i figur 4.7 nedan med en stol i tvåpunktperspektiv med överskärningar och en stol sett rakt ifrån sidan. En taktil bild med stolen avbildad sedd från sidan är enklare att avläsa med fingrarna.



Figur 4.7. En stol med och utan överskärningar

Det är också svårt att avläsa de avbildade föremålens storlek och volym i taktila bilder. Om ett objekt i en vanlig bild är mindre än ett annat objekt betyder det att det är av mindre storlek eller befinner sig längre bort. I en taktil bild fungerar inte den illusionen, då den som känner på bilden med sina fingrar hela tiden är på samma avstånd från objekten [18].

Illusionen av volym i bilder ges av skuggor, ljus, linjetjocklek och andra optiska knep som är svårare att använda sig av för taktila bilder. Man kan använda liknande tekniker genom att göra ett lutande plan ifrån hög upphöjning till en lägre eller lura fingret med olika linje- och ytmönster [18], [21].

Kennedy har undersökt hur personer med blindhet ritat och avläser konturbilder med upphöjda linjer i boken *Drawing and the blind*. Han diskuterar där både bland annat svårigheter med perspektiv och konventioner för att rita [22].

4.8 Modeller

Modeller är precis som kartor eller bilder representationer av objekt eller miljöer fast i tre dimensioner istället för två. Det förekommer en del modeller i skolan som även är till för seende, bland annat inom naturvetenskapen. De som är tillverkade för specialpedagogiken har inte använts så länge i undervisningen och delas ofta mellan skolor efter behov på grund av hög tillverkningskostnad [18].

4.9 Överföring från tre till två dimensioner

Det finns många museer som väljer att göra konst tillgängligt med olika tekniker, både med taktila bilder och med tredimensionella modeller som besökarna får känna på. Både tavlor och statyer översätts till kännbara modeller. Det diskuteras om det estetiska värdet går att förmedla rätt på detta sätt och responsen hos besökare varierar från att det är mycket uppskattat till att det upplevs som värdelöst. Det finns dock museum anpassade för personer med synnedsättning i flera städer runt om i världen. När man anpassar en målning till ett taktilt medium blir det en tolkning som kan ligga långt ifrån originalet och frågan är om det ska betraktas som en avbild av konstverket eller en tolkning av det [19], [21].

Europeana är ett EU-samarbete mellan ett antal muséer och de har i skrivande stund över 13000 3D-scannade objekt i sin databas av kulturella föremål där en del av dem går att ladda ner och skriva ut [23]. 3D-skrivare kan därmed vara ett användbart medium för att reproducera och tillgängliggöra unika eller ömtåliga föremål.

5 Hur en 3D-skrivare fungerar

Detta kapitel tar upp historia och funktionen hos 3D-skrivare. I slutet visas några bilder på lämpliga användningsområden för 3D-utskrift.

3D-skrivare är ett samlingsnamn för olika typer av tekniker för friformsframställning som går ut på att tillverka objekt lager för lager i mycket tunna tvärsnitt. Detta går att göra med ett flertal olika typer av metoder och maskiner. Material som kan användas är till exempel metallpulver, fotopolymer eller gips. Den typ av skrivare som används i det här arbetet är FDM (Fused Deposition Modeling), även kallat FFF (Fused Filament Fabrication) eller MDP (Molten Polymer Deposition). Det finns ännu fler benämningar på tekniken hos olika tillverkare av 3D-skrivare men de fungerar på snarlikt vis och kommer i fortsättningen här att benämnas som FDM. Eftersom det är den tekniken som använts i projektet så är det bara den som kommer att förklaras närmare i detta kapitel. I skrivande stund är en stor majoritet av de billiga maskinerna för hemmamarcknaden av just FDM-typ (men kan kallas vid de andra benämningarna ovan) men andra tekniker finns och det kommer säkert att komma ännu fler varianter även för hemmabruk [1].

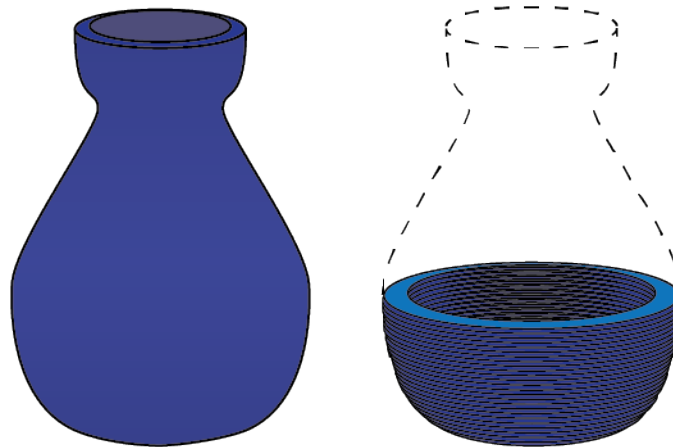
5.1 Historia

3D-skrivare har under den senaste tiden fått mer och mer uppmärksamhet i media och framställs ofta som en ny och högteknologisk metod som till och med av vissa spås som nästa industriella revolution, bland annat i Chris Anderssons bok *Makers* [24]. Detta trots att tekniken funnits sedan 1986 då Chuck Hull uppfann stereolitografien och STL-filformatet som är den filtypen som fortfarande används till de senaste 3D-skrivarna idag. Flera företag har sedan dess tillverkat och sålt 3D-skrivare för industriellt bruk, bland annat Stratasys och 3D Systems [25].

Det senaste uppsvinget kommer av att den första av många 3D-skrivare för hemmabruk lanserades 2007 av RepRap. RepRap står för *Replicating Rapid prototyper* och är ett Open Source-projekt startat av Adrian Bowyer år 2005. Projektet går ut på att sprida 3D-skrivartekniken billigt och att tillgängliggöra tekniken i så stor mån som möjligt. Maskinerna byggdes i början ihop av användarna själva och kunde dessutom skriva ut hälften av delarna för att bygga en ny likadan maskin, därav namnet RepRap. Idag finns färdigmonterade 3D-skrivare att köpa men för att få det så billigt som möjligt kan man även köpa dem omonterade. Flera fabriker, både Open-Source och kommersiella har tillkommit sedan 2007 vilket har gjort att priserna sjunker och tekniken och användbarheten snabbt blir bättre [26].

5.2 3D-utskrift som tillverkningsmetod

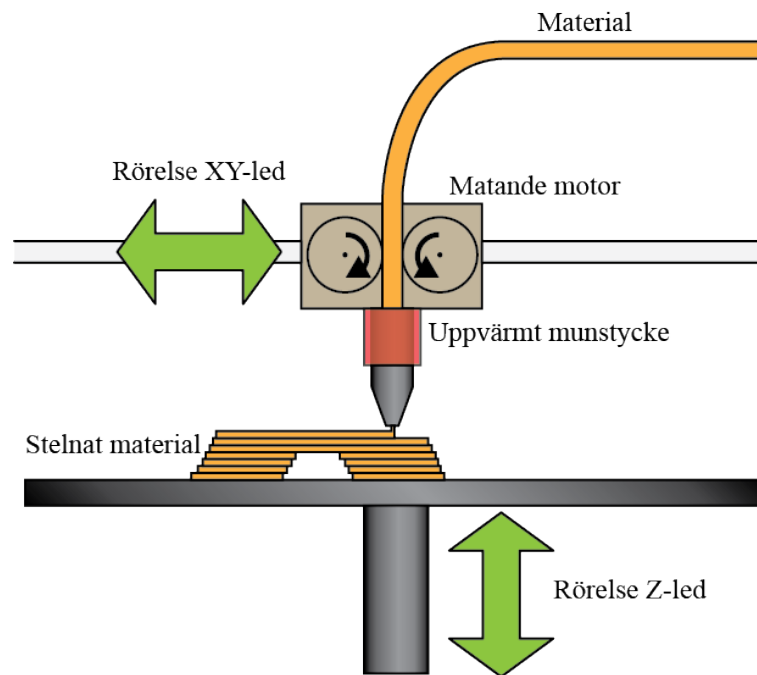
3D-utskrift är en additiv tillverkningsmetod där man lägger till material, i motsats till avverkande tillverkningsmetoder som fräsning och svarvning där man börjar med ett arbetsstycke som bearbetas ner till den önskade formen. Additiv tillverkning ger i jämförelse mindre spillmaterial. Programvaran som används för 3D-skrivare delar upp modellen i tunna tvärsnitt som skrivs ut ett i taget (se figur 5.1). Fördelen med det är att komplexitet hos detaljen inte påverkar tiden det tar att skriva ut den. Tiden det tar att skriva ut på en 3D-skrivare är istället, något förenklat, ungefär proportionerlig mot storleken på objektet som skrivs ut. Beroende på metod beror utskriftstiden på volymen på objektet som skrivs ut eller på objektets höjd. För en FDM-skrivare tar ett tvärsnitt med stor area längre tid än ett tvärsnitt med liten area men det finns metoder där hela tvärsnittet härdas samtidigt, oberoende av storlek på arean [27].



Figur 5.1. Mjukvaran delar upp objekt i tunna tvärsnitt

5.3 FDM-skrivare

En FDM-skrivare kan liknas vid en bläckstråleskrivare, men istället för bläck lägger den ett tunt lager plast på en byggplatta (Se figur 5.2). Material matas av en liten motor in i ett uppvärmt munstycke som kan röra sig fritt i ett plan (XY-led). Materialet spritsas ut på en byggplatta i form av en tråd som vanligtvis är mellan 0.1 och 0.3 mm tjock och smälter ihop med det underliggande lagret. När lagret är färdigt sänks plattan i höjdlid (Z-led) en mycket kort sträcka för att kunna bygga nästa lager ovanpå. Materialet som används är oftast filament, plasttråd på rulle.



Figur 5.2. Funktion hos en FDM-skrivare

Varje objekt man skriver ut kan vara unikt eftersom ingen form används. Metoden lämpar sig bra för enstycksproduktion och prototypframtagning. Det kan vara lönsamt att tillverka i små serier men vid större serier finns det ofta andra metoder som är bättre och billigare om inte detaljen är för komplex. Om man använder till exempel formsprutning i plast kan man få ut en detalj på under en minut som skulle ta flera timmar att skriva ut på en 3D-skrivare [27].

5.4 Material

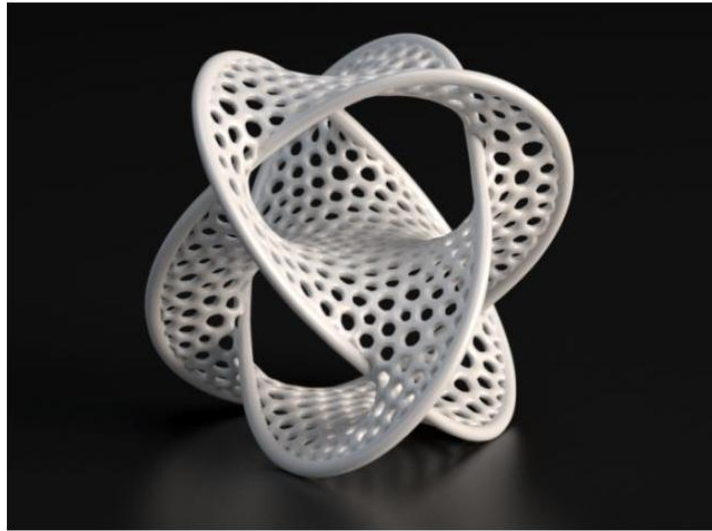
Materialvalet för FDM-skrivare är begränsat till ett fåtal material. Termoplaster har olika smältpunkt och lämpar sig olika bra för FDM. De som används mest för de billiga 3D-skrivarna är PLA och ABS.

PLA är en mjölksyrebaserad bio-polyester och är skapad av förnyelsebara energikällor som till exempel majs- och sockerstärkelse. PLA går att få livsmedelsgodkänt och är ett vanligt användningsområde är matförpackningar.

ABS är en stark och seg plast och är relativt billig. Den är lätt att infärga och att förkroma för att få en metallyta vilket gör den till en attraktiv plast till FDM-tekniken. Vanliga användningsområden för ABS är i bilbranschen och i leksaksbranschen, de flesta LEGO-bitar som inte är transparenta är tillverkade av ABS [27].

5.5 Exempel på tillämpningar

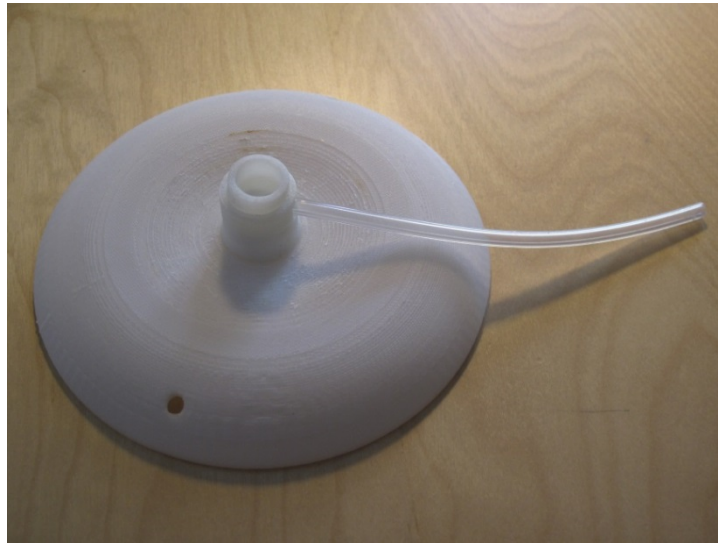
Det är med 3D-skrivare mer lönsamt att tillverka produkter i ett exemplar eller i mycket små serier jämfört med andra tillverkningsmetoder för plast. Det är ett bra redskap för snabba iterationer för att testa prototyper då man kan skriva ut ett exemplar, göra en liten ändring och skriva ut nästa. Se figurena 5.3–5.6 nedan för exempel på fyra användningsområden för 3D-skrivare. Observera att objekten i figur 5.3 och 5.6 inte är tillverkade med FDM-metoden, utan istället en för de ändamålen mer lämplig typ av 3D-skrivare. I dessa två fall är det SLS, Selektiv LaserSintring.



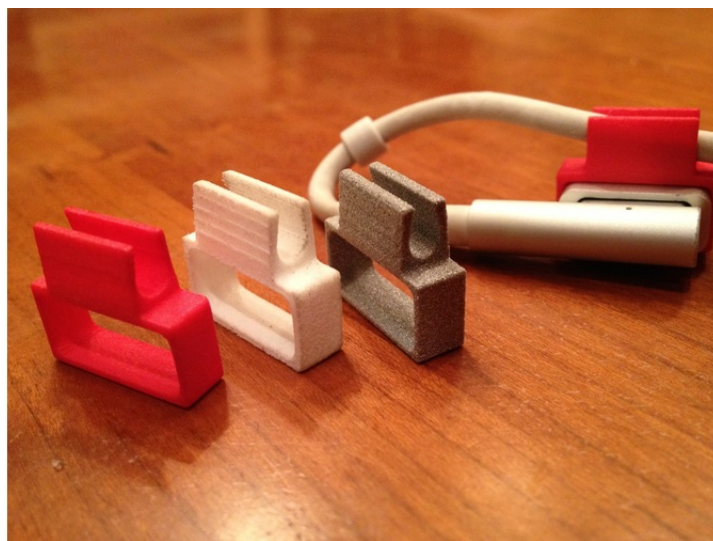
Figur 5.3. Konstverk som med andra metoder är omöjlig att tillverka



Figur 5.4. Penna där varje exemplar kan göras unikt



Figur 5.5. Form- och funktionsprototyp för ett duschmunstycke



Figur 5.6. Exempel på småskaleproduktion av datortillbehör

6 Val av 3D-skrivare

I detta kapitel presenteras och motiveras ett förslag på en 3D-skrivare som är lämplig att använda på en grundskola. Den antas stå i en datorsal eller liknande men kan tänkas vara placerad på en rullvagn och vara mobil och kan då användas i klassrum vid behov. Eftersom marknaden för lågkostnadsmaskiner av FDM-typ är så ung och utvecklingen går fort finns det säkert bättre och/eller billigare alternativ ett år efter detta är skrivet.

6.1 Marknaden

De 3D-skrivare som finns att välja på idag i den låga prisklassen är i flera fall skapade av entusiaster på mindre företag och finansierade genom crowdfunding² på exempelvis kickstarter.com [28]. Företag har också skapats på grund av den nya trenden med 3D-skrivare för hemmabruk. Företaget Makerbot (vars skrivare används i detta projekt) som startade 2009 när de släppte sin första 3D-skrivare, har växt till mer än 150 anställda och har sålt över 13000 maskiner [29]. Även de större företagen som varit verksamma längre i branschen, till exempel 3D-systems, har också släppt lågkostnadsmaskiner (Cube).

6.2 Materialkostnad

Materialet som används i 3D-skrivarna i urvalet i detta kapitel är antingen ABS eller PLA (och ibland PVA). Det varierar lite i inköpspris för material beroende på vilken skrivare det är till och vilken leverantör man beställer ifrån. Några av 3D-skrivarna använder sig av samma standardiserade storlek (1,75 mm) och vissa av dem kan använda material i flera tjocklekar medan andra kräver material från sitt eget fabrikat. Kostnadsaspekten för materialet valdes bort i utvärderingen, då det blev för många parametrar i materialvalet och för svårt att överse vad som var bra och dåligt med de olika alternativen [30].

² Crowdfunding innebär att man får finansiering av slutkunderna innan man tillverkat produkten genom donationer i utbyte mot ett exemplar (eller något annat av värde) när de är klara om tillräcklig finansiering uppnås.

6.3 3D-skrivare i urvalet

Femton 3D-skrivare (här listade enligt tillverkare: modell) valdes ut för utvärdering:

- Bits from bytes: 3D Touch
- Microboards Technology: Afinia H (PP3DP: Up! i Europa)
- Deezmaker: Bukobot 8
- 3D Systems: Cube
- Felix Printers: Felix 1.0
- Aleph Objects: LulzBot AO-100
- MakerGear: MakerGear M2
- Trinity Labs: MendelMaxPro
- Printrbot: Printrbot LC
- Printrbot: Printrbot Jr.
- Makerbot: Replicator 2
- SeeMeCNC: SeeMeCNC H1.1
- Solidoodle: Solidoodle 2
- Type A Machines: Type A Series 1
- Ultimaker: Ultimaker

6.4 Utvärdering

Skrivarna kan utvärderas utifrån ett stort urval av egenskaper. Vissa är mätbara och lätta att hitta i tillverkarnas informationsblad så som maximal utskriftsstorlek och utskriftshastighet. Andra egenskaper är subjektiva som till exempel om den är lätt att använda. Användaren till den tänkta 3D-skrivaren, som i detta fall är en svensk grundskola, har förmodligen ingen erfarenhet av den typen av maskiner. De kan därmed inte veta vad som är viktiga egenskaper och värden på flera punkter, mer än att gissa. Metoden att undersöka behoven genom att intervjua anställd datoransvarig eller specialpedagog på skolan har därför valts bort. Istället listades de tänkbara behoven efter vad som ansågs vara lämpliga egenskaper till det som 3D-skrivarna användes till i detta projekt och samtidigt ur perspektivet att 3D-skrivaren potentiellt skulle användas på en grundskola senare.

Eftersom det var orimligt tidsmässigt och kostnadsmässigt att testa skrivarna själv togs testresultat för användbarhet, precision och andra värden som kräver testning från ett stort test i ett nummer av det amerikanska magasinet Make Magazine: Ultimate Guide to 3D-printing [30].

6.5 Utvärderingsmetod

För att utvärdera skrivaren användes Ulrich & Eppingers metodik [2]. Först ställdes alla tänkbara behov upp där varje behov graderades och viktades efter den givna situationen.

I enlighet med Ulrich & Eppinger användes en femgradig skala där varje siffra svarar mot en viss vikt:

1. Behovet är onödigt
2. Behovet är oviktigt men får finnas där
3. Behovet är bra men inte nödvändigt
4. Behovet är högst önskvärt
5. Behoven är direkt nödvändigt

6.5.1 Behov

Alla behov listas i tabell 6.1 nedan.

Tabell 6.1. Behovslista

Nr		Behov	Vikt
1	3D-skrivaren	Skriver ut detaljer av hög kvalité	5
2	3D-skrivaren	Skriver ut överhäng och support på ett bra sätt	4
3	3D-skrivaren	Skriver ut detaljer med stor noggrannhet	4
4	3D-skrivaren	Är lättanvänd	5
5	3D-skrivaren	Har bra och lättanvänd mjukvara	4
6	3D-skrivaren	Är lätt att installera	3
7	3D-skrivaren	Har hög tillförlitlighet	4
8	3D-skrivaren	Har bra dokumentation	3
9	3D-skrivaren	Har hög utskriftshastighet	4
10	3D-skrivaren	Har bra navigering på skrivaren	4
11	3D-skrivaren	Har ett lågt pris	4
12	3D-skrivaren	Har stor mängd materialval	3
13	3D-skrivaren	Har låg ljudvolym	3
14	3D-skrivaren	Har stöd för flera operativsystem	3
15	3D-skrivaren	Har minneskortsläsare	3
16	3D-skrivaren	Kan skriva ut stora detaljer	2
17	3D-skrivaren	Är Open Source	1

6.5.2 Kriterier

Behoven tolkas sedan in i kriterier som 3D-skrivarna skall utvärderas utefter. Alla kriterier och de enheter de mäts i redovisas i tabell 6.2.

Tabell 6.2. Lista med kriterier

Nr	Kriterium	Från Behovsnummer	Vikt (1-5)	Enhet
1	Utskriftskvalité	1	5	Subjektivt
2	Support/Överhäng	2	4	Subjektivt
3	Noggrannhet	3	4	Subjektivt
4	Lättanvänd	4, 10	5	Subjektivt
5	Mjukvara (slicer)	5	4	Subjektivt
6	Maskinprogramvara	5	4	Subjektivt
7	Installation	6	3	Subjektivt
8	Tillförlitlighet	7	4	Subjektivt
9	Dokumentering	8	3	Subjektivt
10	Skrivhastighet	9	4	mm ³ /s
11	Pris	11	4	\$
12	Materialval	12	3	Antal
13	Oljud	13	3	Subjektivt
14	OS-stöd	14	2	Antal
15	Minneskortsläsare	15	3	Ja/Nej
16	Plattans storlek	16	2	mm ³

Kommentarer till kriterier:

1. Mycket viktigt eftersom fingertopparna kan känna väldigt små höjdskillnader i materialet.
2. Viktigt att den kan skriva ut så stor variation av detaljer som möjligt.
3. Mycket viktigt av samma skäl som utskriftskvalité.
4. Mycket viktigt så att många kan lära sig att använda den.
5. Viktigt att den är ett bra och lättanvänt program så att flera kan lära sig att använda den.
6. Det går ofta även att styra med en display på maskinen, viktigt av samma anledning som nummer 5.
7. Inte så viktigt eftersom det är en engångsföreteelse som i värsta fall kan göras av en utomstående.
8. Viktigt att minimera mängden problem som uppstår.
9. Bra om problem skulle uppstå.
10. Hastighet kan ha betydelse men är inte avgörande då man generellt planerar undervisningen i förväg.
11. Tekniska hjälpmedel är ofta dyra så en 3D-skrivare kan i jämförelse vara relativt billig, men pris ansågs ändå vara av stor vikt.
12. Har liten betydelse då allt som skall skrivas ut är modeller utan större krav på hållfasthet.
13. Beror på placering av skrivaren och svårt att veta.

14. Alla skrivare är Windowskompatibla, vilket en skola med största sannolikhet har på åtminstone någon dator.
15. Är bra men inte nödvändigt
16. Stora objekt krävs generellt inte då det är svårt att få översikt med händerna. Man kan dela upp och limma vid behov.

6.5.3 Referensvärde

För att göra en första sällning av 3D-skrivarna i urvalet så skapas en referens som visas i tabell 6.3. Den döptes till A och har ett medelvärde på alla 16 kriterier. Värdet för skrivhastighet och pris (nr 10 och 11) är medelvärdet beräknat på alla 3D-skrivare i urvalet. Plattans storlek är angiven i kvadrattum och även den ett medelvärde. Höjden på maxstorlek på utskrivna objekt skulle också kunna användas för att avgöra utskriftsstorlek men det ansågs vara lättare att relatera till byggplattans storlek jämfört en volym. Referensens materialval (nr 12) är satt till två då alla stödjer minst ett och max tre (PLA, ABS, PVA). Samma sak gäller för stöd för antal operativsystem (nr 14, OS-stöd) då alla har minst ett (Windows) och som flest tre.

Tabell 6.3. Referensskrivare

Nr	Kriterier	Referens A	Enhet
1	Utskriftskvalité	3	
2	Support/Överhäng	3	
3	Noggrannhet	3	
4	Lättanvänd	3	
5	Mjukvara (slicer)	3	
6	Maskinprogramvara	3	
7	Installation	3	
8	Tillförlitlighet	3	
9	Dokumentering	3	
10	Skrivhastighet	103	kubikmillimeter/s
11	Pris	\$1 515	
12	Materialval	2 Material	
13	Oljud	3	
14	OS-stöd	2 OS	
15	Minneskortsläsare	Ja	
16	Plattans storlek	57	kvadrattum

6.6 Primärvärdering

Primärvärderingen är en första sällning från 15 stycken ner till de fyra bästa som sedan utvärdes mer noggrant. Alla 3D-skrivare jämfördes mot referens A och erhöll ett "+" om de bedömts bättre än referensen och "-" vid sämre. Då de bedömts likvärdigt erhöles en nolla. Plus och minus räknades ihop och de fyra med flest antal

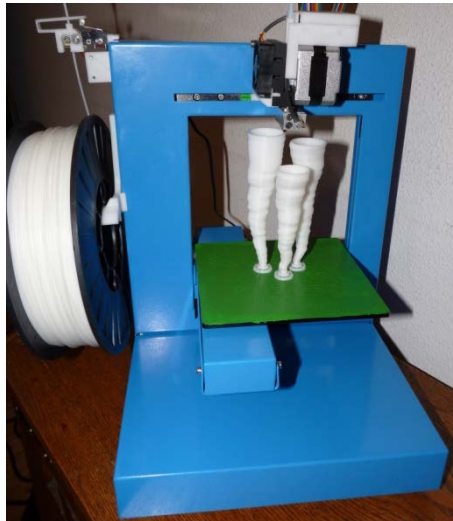
plustecken gick vidare till nästa del av utvärderingen, men med kravet att de måste fått ett plus i kriterierna ”utskriftskvalité” och ”lättanvänd” eftersom de ansågs viktigast. De som gick vidare från primärvärderingen var Afinia H, Replicator 2, Makergear M2 och Ultimaker. Hela resultatet finns bifogat i tabell A.1. och A.2. i bilaga A.

6.7 Sekundär utvärdering och val av 3D-skrivare

I andra utvärderingen användes ett något mer utförligt urval där kriterierna viktades efter hur stor betydelse de hade. Detta moment kallas av Ulrich och Eppinger för concept scoring. Enbart de fyra skrivarna som gick vidare för primärvärderingen var med i den sekundära utvärderingen. 3D-skrivaren som fick högst poäng och därför valdes var Afinia H (se figur 6.1). De viktade poängen var för de fyra 3D-skrivarna följande:

- Afinia H: 4,28
- Makergear M2: 4,17
- Replicator 2: 4,19
- Ultimaker: 4,08

Hela resultatet finns bifogat tabell A.3. i bilaga A.



Figur 6.1. 3D-skrivare av modell Afinia H (PP3DP Up! i Europa)

6.8 Diskussion

Afinia H ansågs vara den bäst lämpade 3D-skrivaren för bruk i en skola men inte så mycket skiljde i poäng i den sekundära utvärderingen. Vid en lite annorlunda viktning av poäng är det möjligt att något av de andra alternativen hade fått högst poäng. Alla de fyra 3D-skrivarna sågs som goda alternativ för det tänkta användningsområdet.

7 Identifiering av behov

I detta kapitel presenteras kort hur objekten som skrevs ut valdes ut. Objekten presenteras i detalj i nästkommande två kapitel.

7.1 Besök i skola

För att modellerna som skrevs ut skulle passa in i undervisningen gjordes besök hos två elever med synnedsättning i två olika skolor i Skåne. Den första eleven som besöktes gick i fjärde klass. De skulle under våren behandla vikingatiden och rymden. Elevens lärare önskade modeller relaterat till dem två ämnena och även till matematik.

Önskemål för elev i ÅK 4:

- Objekt från vikingatiden – Båtar, hus, verktyg, smycken
- Matte – Något för att mäta skala
- Planeter eller rymdrelaterade objekt

Den andra eleven gick i årskurs sex. Där efterfrågades något till kemi där de skulle undervisa om atomer. I samhällsorienterade ämnen undervisades just nu geografi.

Önskemål för elev i ÅK 6:

- Geografi – Modell av jorden med ekvator och vändkretsar
- Geografi – Modell av jorden där man kan känna världsdelarna
- Kemi – Atommodell med elektronskal
- Modell av ögat
- Matte – Något för att mäta skala

8 Presentation av modeller för ÅK 4

I detta kapitel presenteras modellerna som testades för eleven i årskurs 4. Utskriftstider, vikt för modellerna och materialkostnad är ungefärliga och avrundade till heltal.

8.1 Vårt solsystem

För rymdtemat modellerades vårt solsystems planeter i korrekt skala relaterat till varandra och solen. De representerades i form av halvklot på en platta, där också planetens namn och ordningsföljd räknat från solen stod skrivet i Braille. Solen representerades av en badboll med 50 cm i diameter. Eftersom planeter skiljer så mycket i storlek och avstånden mellan dem är så stora avbildas de nästan aldrig korrekt på bilder. Ofta visas istället de fyra inre planeterna i rätt storlek i förhållande till varandra och de yttre på samma sätt. I tabellen nedan visas planeternas storlek och avstånd ifrån solen. De verkliga storlekarna och avstånden är hämtade ifrån Allen's Astrophysical Quantities och förminskade med bibehållet avstånds- och storleksförhållande till modellformat (visas i tabell 8.1) [31]. För att illustrera de stora avstånden mellan himlakropparna kan man till exempel lämna solen i klassrummet, gå 41,6 meter för att visa Merkurius position, gå ytterligare 36,2 meter för Venus position, och så vidare.

Tabell 8.1. Avstånd och storlekar för himlakroppar

Himlakropp	Verklig storlek på himlakroppar i diameter	Modellstorlek diameter	Verkligt avstånd från solen	Modellernas avstånd från solen
Solen	1391000 km	500 mm	0	0
Merkurius	4880 km	0,9 mm	57 900 000 km	41,6 m
Venus	12104 km	2,2 mm	108 200 000 km	77,8 m
Jorden	12742 km	2,3 mm	149 600 000 km	107,6 m
Mars	6792 km	1,2 mm	227 900 000 km	163,9 m
Jupiter	142984 km	26 mm	778 300 000 km	559,6 m
Saturnus	120536 km	22 mm	1427 000 000 km	1026 m
Uranus	51118 km	9,2 mm	2871 000 000 km	2064 m
Neptunus	49532 km	8,9 mm	4497 000 000 km	3233 m

Modellerna (två av dem visas i figur 8.1) är skapade i OpenSCAD och skrevs ut i både Makerbot och Stratasys skrivare med utskriftstid och materialkostnad enligt tabell 8.2.



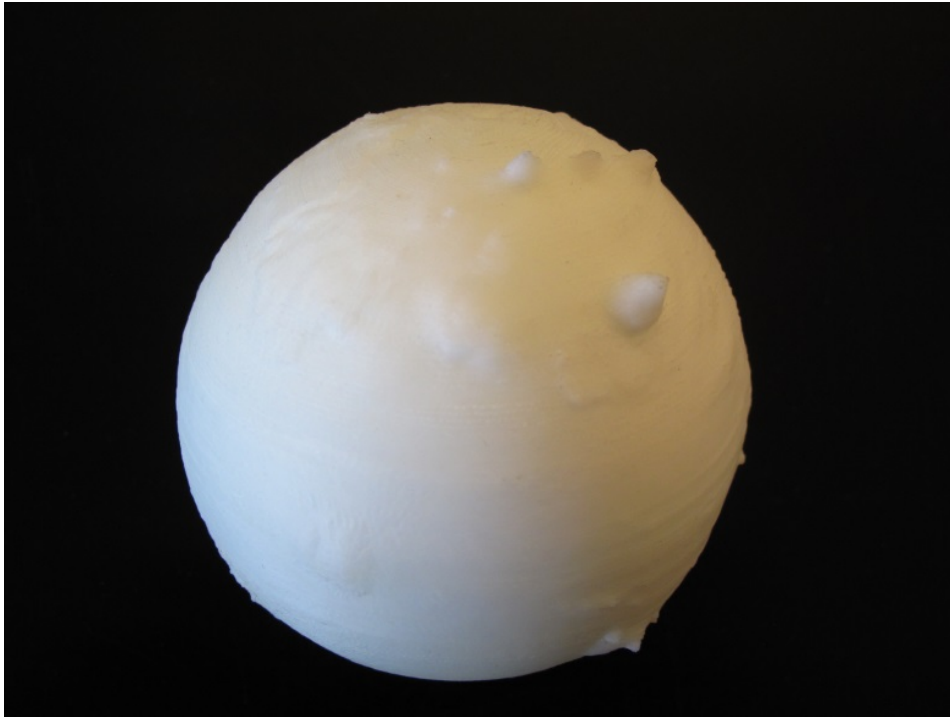
Figur 8.1. Modell av Jorden och Saturnus

Tabell 8.2. Utskriftsdata för himlakroppar

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Merkurius	Makerbot	00:27	4	2 kr
Venus	Makerbot	00:20	3	2 kr
Jorden	Makerbot	00:25	3	2 kr
Mars	Makerbot	00:21	4	2 kr
Jupiter	-	-	-	-
Saturnus	Makerbot	04:28	37	19 kr
Uranus	Stratasys	00:25		36 kr
Neptunus	Stratasys	00:30		46 kr

8.2 Modell av Mars

En modell av Mars skrevs ut där topografin är förstärkt 50x så att man lättare kan känna den. Modellen är skapad av användaren neurothing på thingiverse.com i programmet Rhino 3D [32]. Bild av modellen visas i figur 8.2 och utskriftsdata i tabell 8.3.



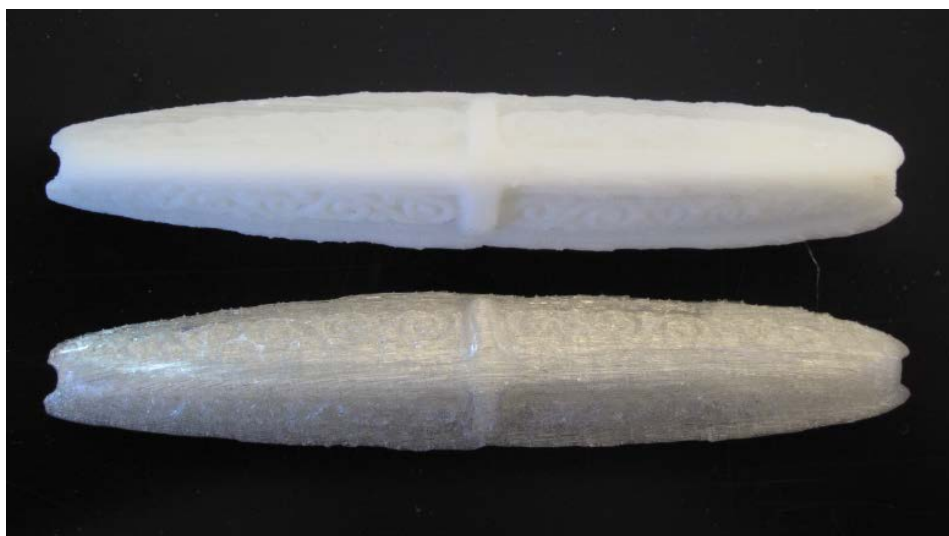
Figur 8.2. Modell av mars med topografi förstärkt 50x

Tabell 8.3. Utskriftsdata för Mars med topografi

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Mars, topografi	Stratasys	11:41		240 kr

8.3 Vikingatiden

För att få objekt ifrån vikingatiden kontaktades Institutionen för Arkeologi och Antikens historia vid Lunds universitet. De delade med sig av tre objekt där två var 3D-skannade fynd och ett var ett datormodellerat hus. Enbart ett objekt, ett skannat smycke, kunde skrivas ut med bra resultat. Det skalades upp till skala 2:1 för att man tydligare skulle kunna se och känna ornamenten på sidorna. En jämförelse gjordes här mellan de två 3D-skrivarna, som visas i figur 8.3. och tabell 8.4.



Figur 8.3. Mönstrat smycke från vikingatiden.

Överst: Stratasys, nederst: Makerbot

Tabell 8.4. Utskriftsdata för vikingasmycke

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Vikingasmycke	Stratasys	05:00		70 kr
Vikingasmycke	Makerbot	02:30	11	6 kr

8.4 Bältesspänne

Ett 1000 år gammalt bältesspänne skrevs också ut som var inskannat av användaren CreativeTools på thingiverse.com [33]. Se figur 8.4 för bild av modell och tabell 8.5 för utskriftsdata.



Figur 8.4. Bältesspänne från vikingatiden

Tabell 8.5. Utskriftsdata för vikingabälte

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Vikingabälte	Makerbot	01:30	4	2 kr

8.5 Matematik

För matematiken gjordes en förenklad modell av en tuschpenna som skrivs ut i tre olika skalor. Modellen är gjord i Creo Parametric. Pennorna på figur 8.5 är utskrivna på Makerbot och utskriftsdata för båda maskinerna visas i tabell 8.6.



Figur 8.5. Pennor i skala

Tabell 8.6. Utskriftsdata för pennor

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Penna 2:3	Makerbot	00:40	5	3 kr
Penna 1:2	Makerbot	00:29	4	2 kr
Penna 1:3	Makerbot	00:09	2	1 kr
Penna 2:3	Stratasys	00:45		70 kr
Penna 1:2	Stratasys	00:19		20 kr
Penna 1:3	Stratasys	00:11		10 kr

9 Presentation av modeller för ÅK 6

I detta kapitel presenteras modellerna som testades för eleven i årskurs 6.

9.1 Modell av jorden

En modell av jorden med upphöjda landmassor i förhållanden till havet hittades på thingiverse.com, skapad av användaren bld. För att man tydligare skulle kunna känna världsdelarna förstärktes upphöjningarna ytterligare innan den skrevs ut. Modellen är både modellerad och modifierad i Blender. Utskriven modell visas i figur 9.1 och dess utskriftsdata i tabell 9.1.



Figur 9.1. Modell av jorden

Tabell 9.1. Utskriftsdata för modell av jorden

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Jorden	Stratasys	16:00		250 kr

9.2 Modell av jorden med linjer

Ekvatorn, kräftans och stenbockens vändkrets och nollmeridianen märktes ut på samma modell som ovan och skrevs ut i något mindre storlek. Landmassornas upphöjning är inte lika stor i den modellen jämfört den i figur 9.1. Modellen är först gjord i Blender och linjer har lagts till i OpenSCAD. Utskriven modell visas i figur 9.2 och dess utskriftsdata i tabell 9.2.



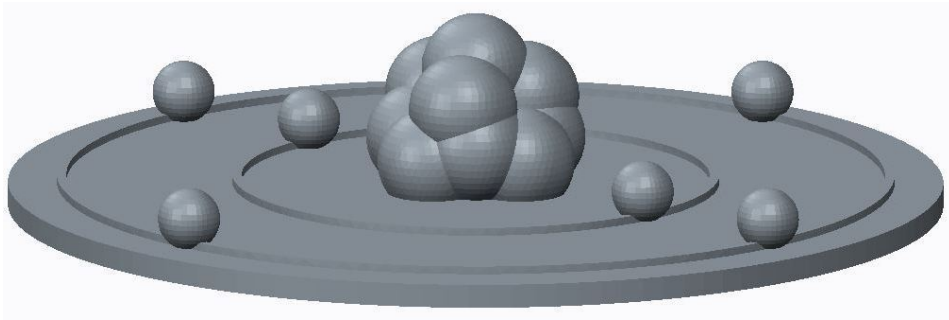
Figur 9.2. Modell av jorden med linjer

Tabell 9.2. Utskriftsdata för modell av jorden med linjer

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Jorden med linjer	Makerbot	03:35	31	16 kr

9.3 Atommodell

En modell av en kolatom (isotopen ^{12}C) modellerades i Creo Parametric (skärmdump av STL-fil i figur 9.3). Linjerna som går i cirklar runt skall representera elektronskalen och alla 12 protoner och neutroner går att känna i atomkärnan. Utskriftsdata finns i tabell 9.3.



Figur 9.3. Atommodell av kol

Tabell 9.3. Utskriftsdata för atommodell

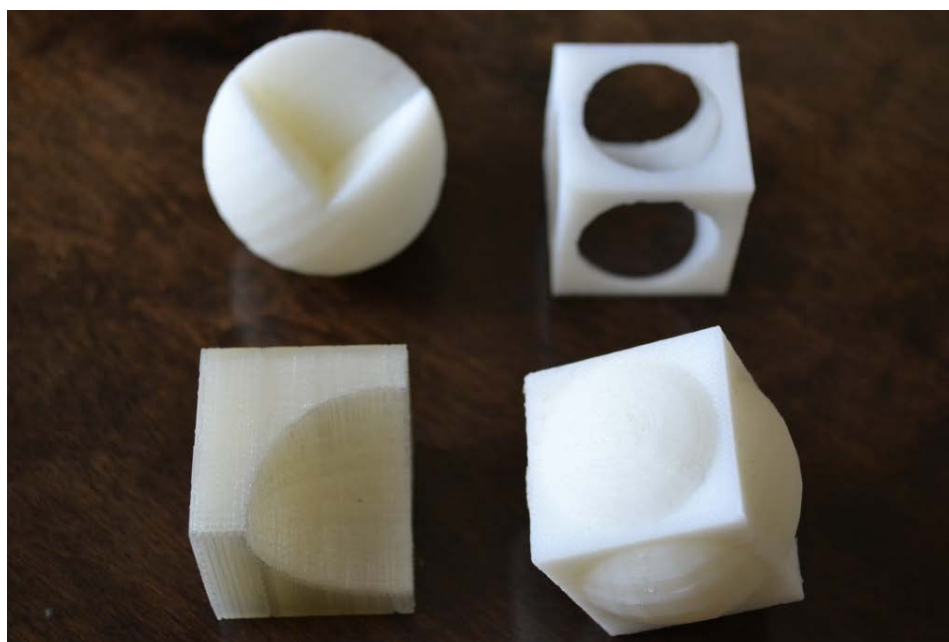
Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Atommodell	Stratasys	02:17		224 kr

9.4 Geometriska kroppar

Eftersom grundformerna ofta finns på skolor modellerades fyra enkla former som antogs vara mindre förekommande och dessutom svåra att tillverka med andra tillverkningsmetoder. De är modellerade i OpenSCAD och uppbyggda på följande sätt:

- En kub där en fjärdedels sfär skurits ut (se figur 9.4, undre till vänster)
- En sfär där en fjärdedels kub skurits ut (övre till vänster)
- En kub där en sfär skurits ut i centrum (övre till höger)
- En union av en sfär och en kub (undre till höger)

Samtliga sfärer som använts har diametern 40 mm och kuberna har sidan 30 mm. Utskriftsdata finns i tabell 9.4.



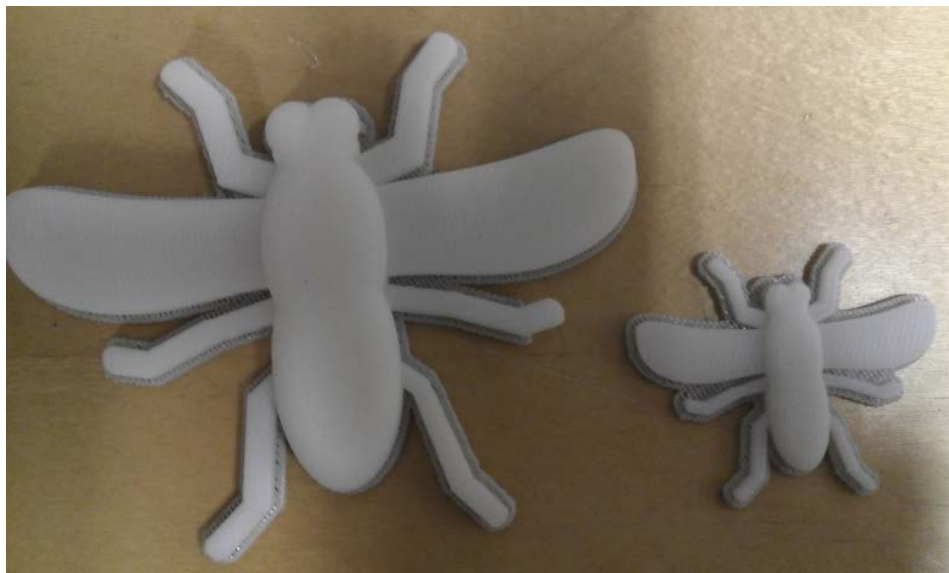
Figur 9.4. Geometriska kroppar

Tabell 9.4. Utskriftsdata för geometriska kroppar

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Geometri diff	Stratasys	02:30		19 kr
Geometri union	Stratasys	03:45		176 kr
Geometri kub	Makerbot	03:10	20	10 kr
Geometri sfär	Stratasys	03:00		130 kr

9.5 Skalm modeller

Förutom en uppsättning av skalmodellerna av pennan i avsnitt 8.4 så fick eleven även en uppförstorad fluga modellerad i Creo Parametric i två olika storlekar för att mäta skala i matematiken (se figur 9.5). Utskriftsdata finns i tabell 9.5.



Figur 9.5. Skalm modeller av fluga

Tabell 9.5. Utskriftsdata för skalmodeller av fluga

Modell	Skrivare	Utskriftstid (hh:mm)	Vikt (g)	Materialkostnad
Fluga 10:1	Stratasys	01:08		85 kr
Fluga 5:1	Stratasys	00:16		15 kr

10 Utvärdering med skolor

Utvärderingen skedde genom mailkontakt och samtal med eleven på skola 1. På skola 2 intervjuades en lärare och en resursperson tillsammans efter testperioden. Samtalet spelades in och transkriberades. I detta avsnitt ges en sammanfattning och citat från samtalen och mailutvärderingen med utgångspunkt från studiens frågeställningar från kapitel 1. Alla modeller som diskuteras i detta kapitel finns det bilder och beskrivning på i kapitel 8 och 9.

10.1 Frågeställning 1

Den viktigaste frågeställningen var ifall de 3D-utskrivna objekten tillför någonting till undervisningen och elevernas förståelse. Vanligtvis använder elever med nedsatt syn eller blindhet taktila bilder istället för vanliga bilder som ibland kan vara svåra att läsa av. På frågan om det är enklare att använda sig av modellerna jämfört med taktila bilder svarar Eriks lärare följande:

Robert: Ja helt klart.

Lisa: Ja på de här pennorna som vi hade i olika skala, än om han bara ska känna på taktila bilder.

Robert: Han har svårt med taktila bilder måste jag säga.

Lisa: Det har varit jättebra för honom. [modellerna, författarens anmärkning]

Robert: Det märkte jag när vi höll på med europakartan [taktil bild, författarens anmärkning], han har problem att känna av skillnader från en linje till en annan linje. För den ena linjen är så tunn eller så är det uppehåll i den.

Lisa: Eller så är den tjock eller så är det en prickad linje och streckad linje.

Robert: Och du måste vara väldigt, väldigt fin, fingertoppskänslig och det är inte han tillräckligt ännu.

Nästa fråga handlade om ifall 3D-modellerna hade underlättat undervisningen någonting.

Lisa: Ja det tycker jag absolut. För det är ju mycket lättare, ifall de kan känna på saker bredvid varandra och liksom jämföra storleksförhållande och relation, tycker de att det är mycket enklare.

Robert: Jag också. Ja även om man hade gjort det här, till exempel en Europakarta, en plan europakarta, i detta så hade man kunnat göra det på ett

helt annat sätt än som nu när du gör en taktil bild. Så är det ju så att det är ju bara en viss förhöjning du får. Och du får det bara på ett visst sätt, du kan liksom inte få ut floder och sånt här på ett sånt sätt som du skulle kunna få i 3D-version, för då skulle du kunna få liksom gröpa ur en fåra på ett annat vis.

Lisa: Ja det är jag helt övertygad om att det ökar förståelsen.

Gustav: Jordgloberna, har ni använt dem?

Robert: Ja absolut, han kunde plocka fram länder och sånt.

Lisa: Och han fick nog lite större förståelse för linjerna på jordgloben när han fick känna, så just gradnätet var bra. (...)

Ja kanske framförallt att man kan prata om olika projektioner att man känner på en bild så är ju inte storleksförhållandena riktigt samma som om du får det på en rund figur, för det rätta är ju egentligen det runda. Jag brukar skala en apelsin och sätta ut skalet så ser man ju att det glipar emellan och då måste man ju fylla i för det blir ju andra storleksförhållande på en taktil bild. Och det har ju varit bra för då har han ju också kunnat vara med i den diskussionen som de seende ser när man ritar och förklarar.

De hade under testperioden haft nationellt prov i årskurs sex som är samma för alla barn i landet och då anpassas proven för de eleverna med synnedsättning. Lisa och Robert påpekade att det kunde vara till hjälp att även där använda sig av 3D-utskrivna objekt för att göra det enklare att förstå uppgifterna.

Lisa: Där borde, kan jag tänka mig att man skulle kunna använda taktila... eller jag menar såna här modeller istället ibland till de nationella proven. Det hade varit mycket enklare.

Robert: Absolut! Det hade varit mycket, mycket lättare. Det var ju till och med så att vissa bilder kunde de inte skicka med.

Gustav: Varför inte?

Lisa: Det var vissa kartor som blev för svåra att känna.

De berättade att Erik använt modellerna ungefär ett par gånger styck under veckorna som gått och att de säkert kunde komma fram igen eftersom det går lite i perioder vad man pratar om och går igenom. Nästa år skulle de få en ny elev med synnedsättning i klassen och trodde att de säkert skulle få användning av modellerna då igen.

På skola 1 uppskattade Rebecka att Emma använt modellerna 15-20 gånger under testperioden, och jordgloben har hon nästan alltid haft liggandes på bänken. De hade också använt pennorna till att mäta skala i matten och vikingasakerna när de pratat om hur man var klädd på vikingatiden.

10.2 Frågeställning 2

Har objekten lämpligt material och tillräckligt hög kvalitet och noggrannhet för att användas som modeller? Noggrannheten i 3D-utskriften upplevdes som tillräckligt god. Emma, som fick några modeller med punktskrift gjord med 3D-skrivare, kunde

enkelt läsa den med fingrarna. Men innan hon fick reda på att det var punktskrift uppfattade hon punkterna som något tillhörande modellen eller bara ojämnheter.

Samtliga modeller var utskrivna i antingen vitt eller translucent material vilket gjorde att de uppfattades som tråkiga i materialet av lärarna på skola 2.

Gustav: Hur tycker ni att materialet var i dem?

Robert: Lite tråkigt material, jag upplevde dem som lite för kalt hårda på nåt vis.

Lisa: Den ena jordgloben upplevde jag också som hård kantig, samtidigt vet jag inte hur jag hade velat att det skulle kännas men. När man inte har någonting att jämföra med så är det svårt att säga riktigt.

Robert: Vet du vad jag tror det kan vara? Jag hade nog upplevt det... Om man hade haft olika färger på plasten, då hade JAG visuellt upplevt dem annorlunda. För jag tror att mycket det här, jag menar HAN [Erik, författarens anmärkning] ser ju inte i färger men jag ser ju det. Så att för mig blir upplevelsen en sak. För honom blir det någonting annat.

Eriks lärare berättade också att Erik hade lättare att läsa av modellerna och gjorde det snabbare än vad de andra barnen i klassen gjorde.

Robert: Han har bättre perceptionsförmåga, att ta upp kunskapen på ett annat sätt. Det känns, han kan liksom lättare ta till sig det än vad vi gör. För vi ser för mycket med ögat. Han är van att använda fingrarna och tänka i andra banor helt enkelt. Det är där det ligger va. Och då tror jag att det är ett perfekt instrument och jag skulle tro att det är ett perfekt instrument även för lite äldre.

10.3 Frågeställning 3

Finns det en önskan att använda sig av 3D-utskrivna modeller för elever med synnedsättning? Lärarna såg en möjlig framtida användning av 3D-modeller för elever med synnedsättning. Om hur det skulle gå till diskuterades flera alternativ. Till exempel att ha en på skolan, att man skulle kunna låna en vid behov eller att syncentralen (eller en annan enhet) skickade fysiska modeller med paket. De trodde att det eventuellt kan vara för litet användningsområde för en 3D-skrivare att enbart förse en elev med synnedsättning med modeller.

Robert: Som jag sa att ur 3D-synpunkt, att kunna ha en sån här maskin på en skola och kunna köra ut [skriva ut, författarens anmärkning], det ser jag som en fördel. Men maskinen får ju vara rimligt billig och materialet får vara rimligt billigt.

Lisa: Ja det hade varit smart att ha ett bibliotek med såna här grejer som man kunde få låna hit. Eller att syncentraler hade haft en sån här skrivare som man hade kunnat skicka beställningar inför nåt område. Det var en sån grej som jag tänkte på.

Robert: Jag tänkte nog att, är skrivarna så pass billiga som de är idag och materialet inte kostar mer så borde ju en skola kunna ha en egen skrivare men

de måste ju ha någon som är ansvarig för att det fungerar. Och det är någon som är tekniskt duktigt och villig att ta hand om den.

Lisa: Jag förstår att du vill använda till alla, men i så fall skulle det funnits typ på AV-centralen eller nånting sånt.

Gustav: Vad är AV-centralen?

Lisa: Det är stället vi lånar filmer och videokameror och tv-apparater och sånt på, som kanske skulle kunna ha såna här som ett bibliotek, att låna en vecka. Nu ska vi arbeta med projekt där vi hade haft nytta av 3D-modeller eller så och så skulle man kunna. SLI [Svenska Läromedel på Internet, författarens anmärkning] kan det heta också.

Robert: Just det är ju det att ha bildmaterial alltså, och tillgång. Även nu har de digitala medier där. Som man kan ladda ner. Men jag tänker liksom rent allmänt på den, men just för Eriks skull så skulle, just för de blindas skull så ska man nog se på att... Där tror jag, där är en 3D-skrivare för mycket för bara en skola liksom för att ta hand om just dem. Då är det mer, just som du [Lisa, författarens anmärkning] säger att man har det inom, så att man har hela skolområdet.

Eriks lärare trodde att det fanns en nytta att även använda 3D-skrivare i skolan till andra projekt för alla elever.

Robert: De ska bygga en miljöstad som då ska vara självförsörjande et cetera. Då skulle de kunna bygga små hus och annat med en sån här 3D-skrivare som liksom hade varit en grej att få in CAD lite grann och så va. Och då ska de ju ha dataundervisning och det ligger ju i tiden att de får det faktiskt. Inte bara att vi kör de här vanliga Word och annat utan att man får lite mer kunskap, tycker jag i alla fall. (...)

Det är ju mycket man kan göra, det är ju samma som nu. Broprojektet, och det hade varit rätt festligt om de hade kunnat bygga bron i 3D-skrivare istället.

På båda skolorna upplevde lärarna att det fanns en viss nytta för alla elever i klassen och en stor nyfikenhet. På skola 1 hade de enligt Rebecka haft stor nytta av jordgloben då de pratat om bland annat klimat- och växtzoner. När de andra eleverna hade sett planeternas storleksförhållande till varandra på film hade hon kunnat jämföra dem med hjälp av 3D-modellerna av planeterna.

På frågan om de i skola 2 hade använt de 3D-utskrivna modellerna i helklass svarade Eriks lärare:

Lisa: Alla tyckte det var jättespännande och ville känna och titta och så. (...)

Sen har ju vi en jordglob som är kanske lättare för de seende att titta på med färger och så för det var det ju inte på den här [3D-utskrivna jordglob, författarens anmärkning]. De seende ser nog enklare på en modell som vi har i skolan, såna här släta jordglöbar än vad de gjorde på denna [3D-utskrivna jordglob, författarens anmärkning]. Trots att det stod upp så, så var det svårare att orientera sig vilket land som var vilket.

Robert: Men atomerna var nog, de var nog tydligare för dem att titta på.

Lisa: Dem tror jag att alla hade glädje av.

På frågan om de i framtiden ville använda 3D-skrivare till Emma blev svaret:

Rebecka: Tidigare har jag varit fascinerad över att kunna göra svällpappersbilder så att Emma har kunnat känna på bilder taktilt. Detta är ytterligare en dimension. 3D-modeller gör att Emmas värld också blir verklig. Vi använder oss oftast av verkligheten dvs. tar in löv, växter mm, men när det gäller större föremål är 3D-skrivaren fantastisk. Tror att vi hade använt den mycket om vi hade haft tillgång till skrivaren.

11 Diskussion och slutsatser

I detta kapitel diskuteras metoden, tidsplanen och slutsatser.

11.1 Metoddiskussion

Metoden för att ta fram vilka modeller som skulle användas gick ut på att fråga skolorna vilka ämnen de skulle ha under våren och om de hade några idéer om vad man skulle kunna använda för modeller. Eftersom hela projektets natur var att testa koncept och inte krävde några slutliga produkter behövdes inga iterationer av designen på de utskrivna modellerna förutom när filerna var felaktiga. Flera av filerna togs från internet och modifierades. Det finns, för detta användningsområde, inget självändamål att modellera allting från grunden då det finns många filer på internet som är tillåtna att använda och modifiera för icke kommersiellt bruk.

3D-skrivaren från Makerbot ligger förmodligen i den prisklass som en grundskola skulle köpa in och använda. Jämförelsen mellan de två gav också ett intressant perspektiv på hur utvecklingen gått framåt och priserna minskat under de senaste 10 åren för 3D-skrivare.

Lärarna på skolorna var mycket hjälpsamma och tillmötesgående men de har många andra saker att göra och planera så besöken fick anpassas efter lov och ledigheter. Alla besök på skolorna gjordes på eftermiddagen efter avslutad ordinarie undervisning. Skola 1 besöktes två gånger, en gång för introduktion och en gång när de fick de utskrivna objekten. Det sista planerade besöket kunde inte genomföras då eleven hade träning med syncentralen under slutet av terminen. Ingen tid fanns över så de avslutande frågorna besvarades istället via mail, men hade gett mer uttömmande svar vid en personlig intervju. Vid skola 2 skedde alla besöken som planerat.

I början fanns en tanke att använda 3D-skrivarna direkt på skolan vilket hade varit intressant för att testa hur det hade fungerat och vilka problem som hade uppstått. Det hade varit mer flexibelt att kunna skriva ut de detaljer som efterfrågades för stunden istället för att planera vad som behövdes flera veckor i förtid. Nu blev vissa av modellerna de fick inaktuella, då de redan hade passerat delar av området de berörde. Om man använt 3D-skrivaren på skolan hade man även fått värdefulla synpunkter av lärarna vilket också hade underlättat valet av 3D-skrivare i kapitel 6. Nu baserades istället valet på testresultat från ett omfattande test i en tidsskrift. Det kunde ändå varit en fördel att göra valet av 3D-skrivaren som avslutning i projektet då det fanns mer information om användningen att tillgå, men det hade blivit svårt på grund av tidsbrist i slutet.

11.2 Tidsplan

Tidsplanen för projektet hölls ungefär som planerat. Eftersom att man i grundskolan under våren har sportlov, påsklov, studiedagar och utflyktsdagar fick besöken där anpassas efter när de hade tid vilket kunde vara både tidigare och senare än planerat.

En av 3D-skrivarna (Makerbot Replicator 2) som användes i projektet levererades till LTH senare än planerat, men då användes istället den andra mer i början av projektet. Båda 3D-skrivarna användes också i många andra projekt och kurser i skolan men som tur var så var beläggningen låg under den perioden som de användes till detta projekt.

Eftersom en del av projektet bestod av mer tidsberoende moment som litteraturstudie, CAD-arbete och att välja en lämplig 3D-skrivare hölls projektet alltid i rullning, trots att det gick några veckor mellan besöken hos skolor. Den planerade tidsplanen och det faktiska utfallet finns bifogat i bilaga B.

11.3 Slutsatser

11.3.1 Frågeställning 1

Lärarnas utlåtanden visar att det finns användning för modellerna i skolan, både under genomgångar och till provsituationer för att ersätta och/eller komplettera bildtext och taktila bilder. Också de övriga barnen i klassen tyckte att modellerna var intressanta. I vissa fall kunde modellerna fungera som material för hela klassen istället för att bara vara ett hjälpmedel eller som anpassning för den eleven med synnedsättning. I situationer där läraren skulle förklara något med hjälp av att rita på tavlan eller med bilder som blir otillgängligt för den synskadade eleven, kan det vara bra med en 3D-modell så att eleven med synnedsättning också kan delta i diskussionen. Men det kräver så klart framförhållning hos läraren.

11.3.2 Frågeställning 2

Inga direkta klagomål fanns på materialet så det ansågs uppfylla syftet. Det gick att skriva ut fullt läsbar punktskrift, vilket har ganska små dimensioner. Plastmaterialet som man skriver ut i finns att köpa i många olika färger. För de två elever som deltog hade inte färgen spelat någon roll, då de hade väldigt lite respektive inget färgseende alls. Men för andra barn som ser lite bättre kan det vara en fördel att skriva ut i andra färger men det antas vara individuellt vad som passar bäst för de eleverna. För lärarna och de övriga eleverna i klassen borde dock färgvalet anpassas till det som passar för den givna 3D-modellen. De kan också med fördel ges olika färger för att lättare gå att skilja från varandra.

11.3.3 Frågeställning 3

Det fanns en vilja hos lärarna att fortsätta att använda 3D-modeller i undervisningen. Skola 2 hade minst ett par projekt där man bygger små objekt där lärarna trodde att det skulle vara bra och kul att använda en 3D-skrivare. Det skulle också vara ett sätt att få in mer datorundervisning i skolan i vad som sågs som ett relevant och intressant ämne.

Det fanns olika förslag på hur det ska fungera i praktiken. Under projektet har det visat sig ganska tidskrävande att först modellera objekt för att sen skriva ut och även ta hand om problem som uppstår med 3D-skrivaren. Om man ska ha en 3D-skrivare på plats är det bra ifall det finns en databas med modeller att tillgå och att man i princip bara trycker på "print" för att inte 3D-skrivaren ska ta för mycket tid. Den kan också användas för andra projekt där eleverna kanske modellerar själva i ett enklare CAD-program (finns gratis både på läsplatta och för dator). Då kan tid avsättas till 3D-skrivaren vilket mer kan motivera dess existens på en skola.

11.3.4 *Frågeställning 4*

3D-skrivaren som valdes i kapitel 6 kostar ungefär 15 000 kr men det finns idag också de som kostar ner mot 4 000 kr, som då måste byggas ihop själv. Om en 3D-skrivare ska köpas in som hjälpmedel för en elev med synskada kan den då ses som relativt billig i sammanhanget då datortekniska hjälpmedel med nödvändig kringutrustning och programvara kan kosta över 100 000 kr [34]. Ett kg filament att skriva ut med kostar ungefär 500 kr idag men finns både dyrare och billigare. En uppsättning av alla objekt som modellerades i detta projekt (27 stycken) uppskattas till att väga ungefär 400 gram om de skrivits ut på en Makerbot Replicator 2, vilket hade gett dem en kostnad på sammanlagt ungefär 200 kr. Att exakt ange kostnaden för en utskrift är svårt då det beror på vilken skrivare man använder och vilka utskriftsparametrar man ställer in från gång till gång.

12 Framtid

Detta projekt har visat på att det finns en nytta med 3D-utskrivna objekt i skolan för barn med synnedsättning. Både elever och lärare har varit positiva. Om man ska använda sig av 3D-skrivare i framtiden finns det flera scenarier på hur det kan gå till.

12.1 3D-skrivare på skolor

Ett förslag är att man testat att ha en 3D-skrivare på en skola under en period för att se hur det fungerar. Det kräver att någon med god datorkunskap och intresse till en början tar ansvar för driften av den. Andra lärare och kanske till och med elever kan förmodligen lära sig att använda sig av tekniken också, men det är ännu inte lika enkelt som till exempel en pappersskrivare. Modeller att skriva ut kan då vara gratismodeller från internet eller enklare modeller som de skapar själva. Om det fungerar bra kan det finnas anledning att upprätta en databas, gemensam för alla skolor, där de kan ladda ner modeller. Det behöver inte bara vara modeller anpassade för elever med synnedsättning, det kan lika gärna också finnas för andra elever.

12.2 3D-skrivare hos SPSM/Regionalt

Ett annat alternativ är att till exempel SPSM både sköter skapandet och utskriften av modeller på samma sätt som det fungerar att beställa böcker i tal eller punktskrift. Samma fördel existerar för 3D-modeller som för böcker, när materialet är skapat en gång i datorn går det bra att skriva ut det hur många gånger som helst. Fördelen med att det sker centralt är att det kan skötas effektivt då de 3D-skrivare som finns utnyttjas på ett bra sätt. Nackdelen är att det inte blir lika snabbt och flexibelt som om man hade kunnat skriva ut på plats i skolan, i och med frakttid och eventuell väntetid.

12.3 Vision

3D-skrivaren ligger idag på en låg och rimlig prisnivå för att använda i en skola både i inköpskostnad och i materialkostnad. Materialet kan i framtiden komma att bli ännu billigare. Att köpa material till 3D-skrivare är idag ungefär tio gånger så dyrt som att köpa samma plastmaterial i form av granulat³. Det är även möjligt att återanvända plasten som används, så eventuellt kommer det en bra metod att själv göra det till sin 3D-skrivare i framtiden. 3D-skrivarna för hemmabruk är en väldigt ung marknad som

³ Några millimeter stora korn som används för att hantera plast som råmaterial

är långt ifrån sin fulla potential. Tillverkarna för 3D-skrivare av lågprismodell kommer antagligen att lägga sin energi på att utveckla mer stabila maskiner som är lättare att använda och med bättre mjukvara för att nå en bredare publik än idag.

Om man, för skolornas bruk, kan ladda ner utskriftsbara modeller från internet istället för att behöva skicka dem med post skapas ett snabbt, billigt och miljövänligt system där väldigt lite material går till spillo. Då behöver man ute på skolan, förutsatt att man har en 3D-skrivare, bara välja storlek och färg på modellen man vill ha, trycka "skriv ut" och vänta.

Referenser

- [1] Price compares - 3D printers (Elektronisk).
<http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters>, 2013-05-17
- [2] Ulrich, K & Eppinger, S (2008). Product Design and Development (Fourth Edition), Mc Graw Hill, Singapore, Singapore
- [3] Prodigy plus user guide (Elektronisk).
http://www.technical-tutor.com/hesk/promo/ProdigyPlusUserGuide04_web.pdf,
2013-04-15
- [4] MakerBot Replicator 2 (Elektronisk).
<http://store.makerbot.com/replicator2.html>, 2013-05-17
- [5] GCODE Generators (Elektronisk).
<http://replicat.org/generators>, 2013-04-15
- [6] Hollins, M (1989). Blindness and Perception. I M Hollins (red.). Understanding blindness. An integrative approach. New Jersey, USA
- [7] Klingenberg, O (2008). Taktil/haptisk persepsjon i et pedagogisk perspektiv. Fosse P & Klingenberg, O (red.) Pedagogiske og psykologiske perspektiver på opplæring av synshemmede. Trondheim, Norge, 43-55
- [8] Elmerskog, B, Martinsen, H, Storliløkken, M, & Tellevik, J M (1993). Førlighetsopplæring. Mobility i en funksjonell sammenheng. Tapir forlag, Trondheim, Norge
- [9] Solso, R (1994). Cognition and the Visual Arts, Cambridge, England
- [10] Hatwell, Y (2003). Touch and cognition. Touching for knowing. John Benjamins publishing, Amsterdam, Holland, s 1-14.
- [11] Klatzky, R, Lederman, S, & Metzger, V (1985). Identifying objects by touch: An "expert system". Perception and Psychophysics, 37, 299-302
- [12] Lederman, S & Klatzky, R, Chataway, C & Summers, C (1990). Visual mediation and the haptic recognition of two-dimensional pictures of common objects. Perception and Psychophysics, 47, 54-64
- [13] Lederman, S & Klatzky, R (1993). Extracting Object Properties Through Haptic Exploration, Acta Psychologica 84, 29-40

Referenser

- [14] Punktskriftsnämnden, Om punktskrift (Elektronisk).
http://www.punktskriftsnamnden.se/om_punktskrift, 2013-05-02
- [15] Punktskriftsnämnden, Läsa-Skriva (Elektronisk).
http://www.punktskriftsnamnden.se/om_punktskrift/lasa_skriva, 2013-05-02
- [16] HIPP – Ett ritprogram för elever med synskador (Elektronisk).
<http://hipp.certec.lth.se>, 2013-05-17
- [17] Rasmus-Gröhn, K (2008). User Centered Design of Non-Visual Audio-Haptics. Doktorsavhandling, Certec, avdelningen för rehabiliteringsteknik, Lunds universitet, Lund
- [18] Eriksson, Y (1997). Att känna bilder. Perssons Offsettryck, Solna, Sverige
- [19] Hatwell, Y, Martinez-Sarrochi, F (2003). The tactile reading of maps and drawings, and the access of blind people to works of art. Touching for knowing, John Benjamins publishing. Amsterdam, Holland 255-270
- [20] Heller, M, Calcaterra J, Burson L, Tyler, L (1996). Tactual picture identification by blind and sighted people, North Carolina, USA
- [21] Costes, E, Bassereau J F, Rodi O, Aoussat A (2009). Graphic design for blind users: an industrial case study. Arts et Métiers Paris Tech, Paris, Frankrike
- [22] Kennedy, J M (1993). Drawing and the Blind: Pictures to touch, Vail-Ballou Press, New York, USA
- [23] Europeana – About us (Elektronisk).
<http://www.europeana.eu/portal/aboutus.html>, 2013-05-17
- [24] Anderson, C (2012). Makers: The New Industrial Revolution, Crown business, New York, USA
- [25] 25 Years of Innovation (Elektronisk).
<http://www.3dsystems.com/sites/www.3dsystems.com/files/3DS-TCT-Article-25thAnn.pdf>, 2013-05-17
- [26] About RepRap pro (Elektronisk).
<http://reprappro.com/About>, 2013-05-17
- [27] Bruder, U (2012). Värt att veta om plast, andra upplagan, Printfabriken AB, Karlskrona, Sverige
- [28] Discover Kickstarter projects (Elektronisk).
<http://www.kickstarter.com/discover>, 2013-05-17
- [29] Makerbot frequently asked questions (Elektronisk).
<http://www.makerbot.com/faq>, 2013-04-15
- [30] Griffin, M et al., “Buyers guide”, Make Magazine, Ultimate Guide to 3D Printing, 42-71, Winter, (2013)
- [31] Cox, A (2000). Allen's Astrophysical Quantities, 4th ed., Springer, New York

- [32] Mars Globes (Highly & slightly exaggerated) (Elektronisk).
<http://www.thingiverse.com/thing:26311>, 2013-05-17
- [33] 1000-year-old Viking belt buckle (Elektronisk).
<http://www.thingiverse.com/thing:2306>, 2013-05-17
- [34] Åström, E. (2009). Att lära, att göra, att klara. Institutionen för Tema, Linköping, Sverige

Bildkällor:

- [Figur 3.1] Hatwell, Y. (2003). Manual exploratory procedures in children and adults. Touching for knowing. John Benjamins publishing. Amsterdam, Holland, s 69
- [Figur 4.4] HIPP-programmet (Elektronisk).
<http://hipp.certec.lth.se/programmet.html>, 2013-05-02
- [Figur 4.6] Karta över Kanada (Elektronisk).
<http://geogratis.gc.ca/api/en/nrcan-rncan/ess-sst/c44fc192-fd12-5463-90a9-c5afd9688dbc.html>, 2013-05-02
Enligt licens: <http://geogratis.cgdi.gc.ca/geogratis/en/licence.jsp>, 2013-05-17
- [Figur 5.3] 3D-utskrivet objekt av användaren Bathsheba (Elektronisk).
<http://www.shapeways.com/model/462035>, 2013-05-02
- [Figur 5.4] 3D-utskrivet objekt av användaren BrandonW6 (Elektronisk).
<http://www.thingiverse.com/thing:45576>, 2013-05-02
- [Figur 5.5] Söderberg, M. (2013). Designing a full-body washing system for a Martian base, Examensarbete, Institutionen för designvetenskaper, Lunds Universitet
- [Figur 5.6] 3D-utskrivet objekt av användaren barbecuesteve (Elektronisk).
<http://www.shapeways.com/model/677256>, 2013-05-02

Bilaga A: Utvärderingstabeller från kapitel 6

Tabell A.1. Resultat i primärvärdering för alternativ A-G

Kriterier	A	B	C	D	E	F	G
1	Referens 3	3D Touch 3	Afinia H 5	Bukobot 8 4	Cube 4	Felix 1,0 3	Cube 3
2	3	4	5	4	4	3	2
3	3	2	5	4	2	4	4
4	3	3	4	3	5	3	3
5	3	3	5	3	3	3	3
6	3	5	3	3	5	1	3
7	3	5	5	4	5	3	5
8	3	5	5	5	5	3	5
9	3	3	5	4	4	4	4
10	103	15	30	120	15	150	150
11	\$1 515	\$4 370	\$1 500	\$1 385	\$1 300	\$1 165	\$2 500
12	2 Material	3	2	3	1	1	2
13	3	3	4	3	2	5	3
14	2 OS	1	2	3	1	1	3
15	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja
16	57	78,475	30,25	64	30,25	79,56	59,25
Summa +/-		2+	7+	9+	3+	3+	5+
Går Vidare		Nej	Ja	Nej (ej lättanvänd)	Nej	Nej	Nej

Tabell A.2 Resultat i primärutvärdering för alternativ H-P

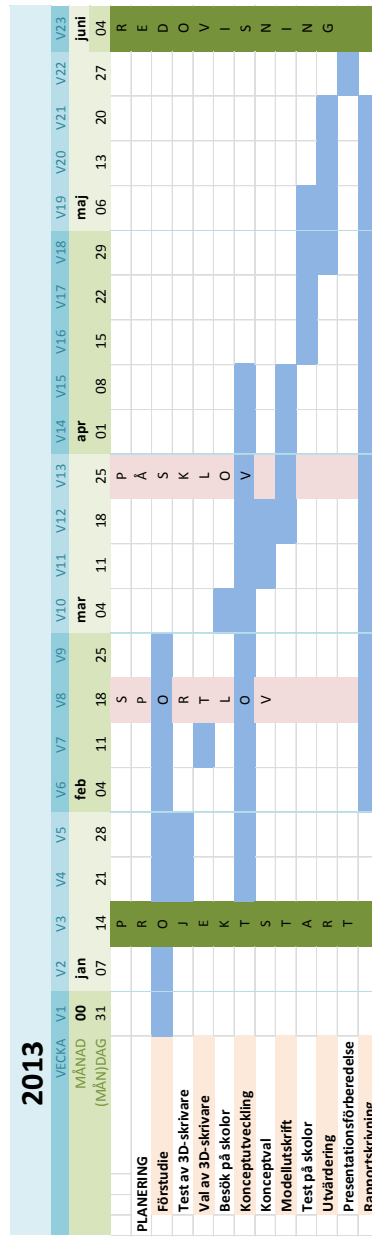
Kriterier	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	Makergear M2	MendeiMaxPro	Printbot LC	Printbot Jr	Replicator 2	SeeMeCNC H1.1	Solidoodle 2	Type A Series 1	Ultimaker
1	5	3	3	4	4	2	3	5	4
2	5	4	3	3	5	2	2	4	4
3	5	2	3	3	4	2	2	4	5
4	4	4	3	5	5	2	3	4	4
5	3	3	3	3	4	3	3	3	4
6	3	5	3	3	5	1	5	3	4
7	4	4	4	4	4	2	3	3	4
8	4	4	3	4	4	2	5	5	4
9	4	4	4	2	4	3	4	1	3
10	150	150	200	100	100	80	50	90	150
11	\$1 500	\$1 300	\$800	\$400	\$2 200	\$550	\$700	\$1 400	\$1 650
12	2	3	2	1	1	3	2	3	2
13	2	2	3	3	5	4	4	2	4
14	3	3	3	3	3	3	3	3	3
15	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja
16	80	90	36	16	67,2	36	36	81	68,89
Summa +/-	Summa 9+	Summa 9+	Summa 4+	Summa 1+	Summa 9+	Summa 6+	Summa 1+	Summa 4+	Summa 12+
Gär Vidare	Ja	Nej (klarar ej kvalitét)	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja

Tabell A.3. Resultat i sekundär utvärdering

Kategori	Kriterium	Vikt	C Afinia H	H Makergear M2	L Replicator 2	P Ultimaker
Lätt att använda	Lättanvänd	25	4	4	5	4
	Installation	15	5	4	4	4
	Dokumentation	5	5	4	4	3
Valmöjligheter	OS-stöd	5	2	3	3	3
	Minneskortsläsare	1	3	5	5	5
	Materialval	3	2	2	1	2
		20				
Hårdvara	Maskinprogramvara	7	3	3	5	4
	Tillförlitlighet	10	5	4	4	4
	Oljud	3	4	2	5	4
Mjukvara		10				
	Mjukvara (slicer)	10	5	3	4	4
Utskrifter		30				
	Skrivhastighet	8	2	5	4	5
	Utskriftskvalite	10	5	5	4	4
	Noggrannhet	5	5	5	4	5
	Support/Överhäng	5	5	25	5	25
	Plattans storlek	2	3	6	5	8
Pris		10				
	Pris	10	5	5	3	4
	Summa	100	428	417	419	408
	Poäng		4,28	4,17	4,19	4,08

Bilaga B: Tidsplan

Figur B.1. Projektets tidplan



Figur B.2. Faktiska utfallet

