UMEÅ UNIVERSITET **28 oktober 2015**
Kvalitetsprojekt inom Teknisk fysik, 3 hp
Förstudie inför inköp av hartsbaserad 3D-skrivare

Produktrapport

Torbjørn Ludvigsen
tobben@fastmail.fm

Små ändringar enl. kommentarer på avslutningsmöte	TL	26–10–2015
Alla stycken fyllda, stavkontroll utförd	TL	23–10–2015
Initierad	TL	7–10–2015

Tack till

Denna rapporten fick värdefull input genom möten och mailkontakt med Maria Hamrin, Jesper Vesterberg, Roushdey Sahl, Lars Isaksson och Magnus Lindgren.

Tack också för input via mail från Krister Wiklund, Jonna Wilen, Michael Bradley, Cappie Pomeroy (Autodesk support), Magnus Andersson och Aleksandra Foltynowicz.

Innehåll

1 Beställare **5**

2 Översiktlig beskrivning av projektet **5**
2.1 Syfte och mål 5
2.2 Leveranser 6
2.3 Begränsningar 6
2.4 Organisationsplan 7

3 Introduktion till vätskebaserade 3D-skrivare **8**
3.1 Vätskan 8
3.1.1 Fotopolymer och botning 8
3.1.2 Hjälpsubstans 9
3.2 UV-ljus 9
3.2.1 Solljus och efter-botning 10
3.2.2 Lasrar 10
3.2.3 Projektorer 10
3.3 Backen 11
3.4 Utskriftsytan 12
3.5 Övergripande om underhållsbehov 12
3.5.1 Laser 12
3.5.2 Projektor 12
3.5.3 Harts och back 13

4 Marknad och open source miljö **13**
4.1 En liten varning 13
4.2 Hartsskrivarmarknad 15
4.2.1 Peachy Printer 15
4.2.2 Fabtotum Personal Fabricator med PRISM 15
4.2.3 Nobel 1.0 16
4.2.4 Sedgewick v2 16
4.2.5 mUVe 1.5 18
4.2.6 Form 1+ 18
4.2.7 Form 2 19
4.2.8 Moonray 19
4.2.9 MiiCraft+ 20
4.2.10 B9Creator 20
4.2.11 Ember 20
4.3 Något om vilken nivå som krävs av studenterna 21

4.4 Hartsmarknad . . . 22
4.5 Relaterade open source projekt . . . 23
4.5.1 Arduino . . . 23
4.5.2 Build your own SLA . . . 23
4.5.3 Marlin . . . 23
4.5.4 Raspberry Pi . . . 23
4.5.5 Repetier . . . 24
4.5.6 Skylight . . . 24
4.5.7 Slic3r . . . 24
4.5.8 Spark . . . 24
4.5.9 3DRip . . . 24
4.6 Nyhetskällor . . . 25

5 Inkluderande **25**
5.1 Entusiasm . . . 25
5.1.1 Göra 3D-labbet välkomnande . . . 26
5.1.1.1 Konstnärliga utskrifter . . . 26
5.1.1.2 Enkel användarupplevelse . . . 26
5.1.1.3 Fotopolymerer, kemin bakom . . . 26
5.1.1.4 Industridesign och marknadsutveckling . . . 27
5.2 Praktisk/ekonomisk motivation . . . 27
5.2.1 Projektgrupper . . . 27
5.2.2 Kurser och obligatoriska moment . . . 27
5.3 Lärares önskemål och synpunkter . . . 27
5.4 Studenters önskemål och synpunkter . . . 31

6 Säkerhetsaspekter **31**
6.1 UV-strålning . . . 31
6.2 Lasrar . . . 31
6.2.1 Riskkällor . . . 31
6.2.2 Regler . . . 31
6.3 Projektorer . . . 32
6.3.1 Riskkällor . . . 32
6.3.2 Regler . . . 32
6.3.3 Farliga situationer . . . 33
6.3.4 Åtgärder . . . 33
6.4 Kemikalier . . . 34
6.4.1 Riskkällor . . . 34
6.4.2 Regler . . . 35
6.4.3 Farliga situationer . . . 36
6.4.4 Åtgärder . . . 37

6.5 Mer om åtgärder . . . 37
6.5.1 Handskbox . . . 37
6.5.2 Auto-off . . . 38
6.5.3 Producenten ansvarar . . . 39

7 Förslag till inköp 39
7.1 Själva 3D-skrivaren . . . 39
7.2 Handskbox . . . 40
7.3 UV-ugn . . . 41
7.4 Skyddsglasögon mot UV-ljus och kemikalier . . . 42
7.5 Långa handskar . . . 42
7.6 Kostnader . . . 42

8 Förslag till att-göra-lista inför inköpet 42
8.1 Innan jul 2015 . . . 43
8.2 Tidigast februari 2016 . . . 43
8.3 När hartsskrivaren är på plats . . . 44

9 Förslag till rutin för användande 45
9.1 Att göra en utskrift . . . 45
9.2 Harts . . . 46
9.2.1 Förvaring . . . 46
9.2.2 Underhåll . . . 47
9.2.3 Inköp . . . 47
9.3 Om man ska använda hartsskrivaren utanför handskboxen . . . 47
9.4 Om man får harts på huden . . . 47
9.5 Om man får harts eller isopropylalkohol i ögat . . . 47
9.6 Om man svalt harts . . . 48
9.7 Om man svalt isopropylalkohol . . . 48
9.8 Avfall och sophantering . . . 48
9.8.1 Botad harts . . . 48
9.8.2 Gammal harts och hartsrester . . . 48
9.8.3 Trasor med alkohol/harts-blanding . . . 49
9.8.4 Behållare med alkohol/harts-blanding . . . 49
9.8.5 3D-skrivaren . . . 49

10 Förslag till regler för användande 49

A Checklista för laser 53

1 Beställare

Beställare av projektet är programansvarig för programmet teknisk fysik på Institutionen för fysik på Umeå Universitet.

2 Översiktlig beskrivning av projektet

Projektet genomförs som ett Kvalitetsprojekt 3 hp på programmet teknisk fysik under höstterminen 2015.

Projektets huvudleverans är råd och undersökningar presenterade i denna rapporten.

2.1 Syfte och mål

Undersökningen ska förbereda ett eventuellt inköp av en hartsbaserad 3D-skrivare till 3D-labbet.

Institutionens/programmets syfte med inköpet är att fler studenter ska få mera hands-on erfarenhet av ny produktionsteknik genom att själv använda sig av olika typer at 3D-skrivare. Förundersökningens syfte är att ge institutionen/programmet så gott beslutsunderlag som möjligt både för inköp och förvaltning.

Frågor inom fyra områden ska utvärderas:

Utbud och önskemål

1. Vilka vätskeskrivartekniker finns idag och vilka av dessa är rimliga att användas i teknisk fysiks 3D-labb där det finns både avancerade och nybörjande användare?
2. Vad vill användarna ha för typ av teknik?
3. Hur kan den utnyttjas inom Teknisk fysiks utbildning?

Kostnader

4. Vad är typisk kostnad för att köpa in färdigt?
5. Vad är typisk kostnad för att bygga eget?
6. Vilken nivå på studenterna krävs?
7. Vad är kostnaden för normalt underhåll?

Miljö och hälsa

8. Hur är miljö- och hälsopåverkan vid användande av hartsbaserade tekniker i en sån liten lokal som 3D-labbet?

9. Hur bör praktiska rutiner se ut i dagens 3D-labb för att hälsopåverkan ska bli minimal?

Inkluderande

10. Om institutionen/programmet köper en sådan produkt, hur kan de göra för att marknadsföra den (och 3D-labbet) till egna studenter?

11. Hur kan vi utnyttja en ny produkt för att göra 3D-labbet till en än mer välkomnande miljö för alla?

2.2 Leveranser

Projektets huvudleverans ska vara en produktrapport som utförligt tar för sig och diskuterar frågorna ur de fyra olika aspekterna beskrivna ovan. Den ska innehålla ett förslag till vad institutionen/programmet bör köpa, och en utarbetat skriftlig rutin för användandet, som tar hänsyn till eventuella hälsoeffekter.

Projektet ska också leverera en projektrapport innehållande sådant som rör själva projektutförandet, till exempel projektplaner, målbeskrivningar, analyser etcetera.

Slutligen ska projektet leverera en individuell självvärderingsrapport och en populär beskrivning av projektet med korrekt svensk och engelsk titel.

2.3 Begränsningar

Projektet tar inte hänsyn till eventuella tekniker eller 3d-skrivare som förväntas bli tillgängliga mer än 6 månader fram i tid. Projektet gör ingen komplett marknadsundersökning och garanterar inte att det hittat bästa pris för omtalade produkter. För att undvika extra-arbetet vid import från icke EU/EÖS-länder räknar projektet på moms- och fraktkostnader endast på skrivare som kan köpas inom EU/EÖS. Projektet kontaktar inga producenter eller återförsäljare direkt. Projektet förvaltar inga pengar och gör inga beställningar.

På grund av begränsad tids-budget kommer inte omtalade 3d-skrivare att testas inom projektet, utan förslag kommer baseras på muntliga och skriftliga andrahands-källor.

Projektet är begränsat till en tidsbudget på 80 arbetstimmar och en projektmedlem, i tillägg till den tid som övriga referensgruppen och styrgruppen lägger ner på möten.

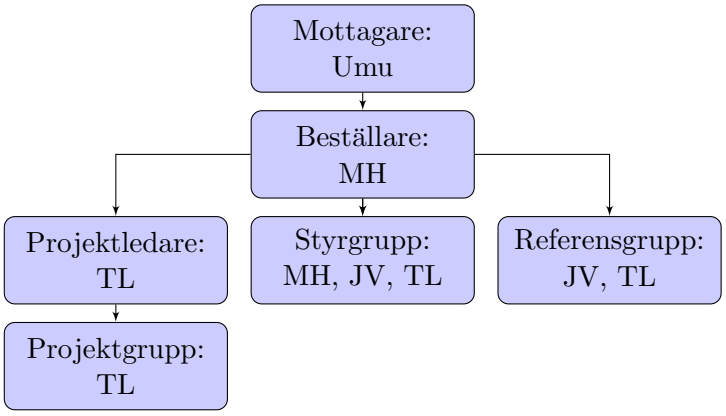
2.4 Organisationsplan

Projektets roller och kontaktuppgifter finns i tabell 1.

Tabell 1: Projektets samtliga roller

Roll	**Namn**	**E-post**
Mottagare	Inst. för fysik, Umeå Univ.	
Beställare	Maria Hamrin	Maria.Hamrin@space.umu.se
Projektledare	Torbjørn Ludvigsen	tobben@fastmail.fm
Projektgrupp	Torbjørn Ludvigsen	tobben@fastmail.fm
Styrgruppmedlem	Jesper Vesterberg	jeve0010@student.umu.se
Referensgruppmedlem	Jesper Vesterberg	jeve0010@student.umu.se

En figur av hierarkin presenteras i figur 1.



Figur 1: Projektets formella organisation. Strukturen är minimal då bara tre personer ingår. Fulla namn och kontaktuppgifter till initialerna finns i tabell 1.

3 Introduktion till vätskebaserade 3D-skrivare

Med "3D-skrivare" avser vi i denna rapport en maskin som stegvis bygger upp ett objekt genom att kontrollera ett mjukt/rinnande materials utplacering och/eller härdande fasövergång utan att behöva manuell assistans under processen, och med mycket lite spill av byggmaterial. Vi kommer härunder gå igenom de olika fysiska delarna av vätskeskrivaren och allt som hör till.

3.1 Vätskan

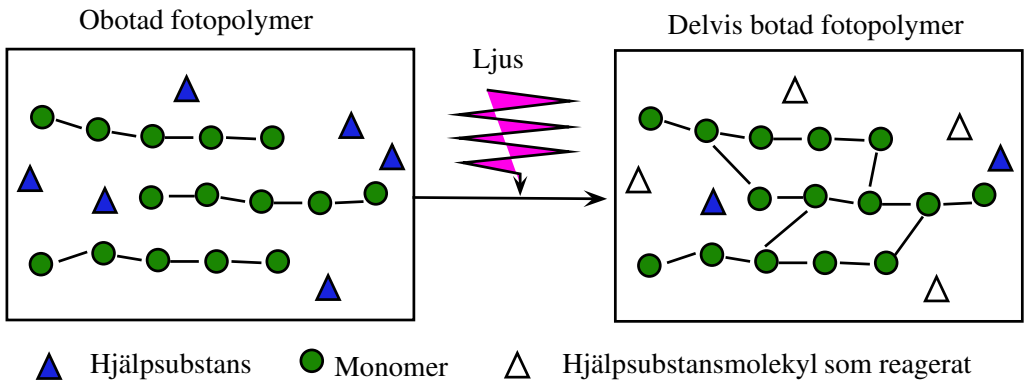
Det som är "vätskan" i 3D-skrivare på marknaden idag kallas ofta *harts*, *syntetharts*, *resin* (engelska) eller *fotopolymer*. Man kan tänka sig vätskebaserade 3D-skrivare baserad på andra typer av vätskor, som till exempel vatten, men denna rapport kommer endast ta för sig fotopolymerbaserade 3D-skrivare. Även om vätskan ibland slarvigt kallas bara för fotopolymer så är den oftast utblandad med några procent *hjälpsubstans* (på engelska *photoinitiator*) innan den säljs som en hartsprodukt för 3D-printing.

3.1.1 Fotopolymer och botning

En polymer är en typ av molekyl som består av mycket långa kedjor av mindre upprepade enheter som kallas monomerer. Kortare kedjor kallas oligomerer. Polymerer är huvuddelen av det vi i dagligt tal kallar plast. En fotopolymer är en polymer som genomgår en fasövergång när den utsätts för ljus med viss våglängd. Man säger att fotopolymeren *blir fast*, *härdar* eller *botar*. Det engelska verbet är *to cure*. Vi kommer för enkelhetens skull använda termen fotopolymer även för harts som baserar sig på monom- eller oligomerer.

Det som sker på molekylnivå när fotopolymerer botar, är att nya kemiska band bildas mellan monomerer. Kedjorna förlorar därmed sin mobilitet relativt varandra och ett fastare material bildas. Vi kommer i denna rapporten använda termen *tvärband* för att referera till nya kemiska band som bildas under botning. Den engelska termen för detta är *cross-links*. Botningen kan vara anjonisk, katjonisk eller basera sig på fria radikaler. En mycket förenklad bild av botningsprocessen visas i Figur 2

Typen av monomer, typen av tvärband och densiteten av tvärband avgör det härdade materialets egenskaper. Det finns riktigt många typer av monomer, och vi kommer gå igenom de egenskaper hos de som är aktuella på dagens 3D-skrivarmarknad senare i rapporten. Det viktigaste att veta om typen av tvärband är om de kan åtskiljas från de band som redan fanns mellan monomerna innan botningen. Om tvärbanden är av samma typ som



Figur 2: En förenklad bild av hur tvärbanden bildas när en fotopolymer botar.

håller ihop polymerens kedjor blir polymeren svår att återställa till kedjor efter botning. Det gör effektiv återvinning mycket svår.

Vi kommer i denna rapporten begränsa oss till harts som baserar sig på fria radikaler och som botas av ljus med våglängder mellan 380 och 410 nm, eftersom det är vanligast i billigare 3D-skrivare.

3.1.2 Hjälpsubstans

Hartsprodukter för 3D-printing innehåller oftast 5 - 10 % av en kemikalie som själv inte botar. De är där för att att de blir radikala (väldigt reaktiva) när UV-fotonerna klyver dem, exciterar deras elektroner eller river loss deras elektroner. Radikaler kan sätta igång en kedjereaktion mellan monomerer så att nya tvärband bildas.

Vid full botning binder all hjälpsubstansmolekyler sig till polymer-kedjorna[11], men det är svårt att garantera att varenda molekyl reagerar, så sannolikt kommer man i kontakt med hjälpsubstans om man rör vid utskrifter.

3.2 UV-ljus

Även om våglängder över 400 nm är synliga och alla undersökta ljuskällor skickar ut en viss del synligt ljus, kommer vi genomgående att använda termen UV-ljus istället för att ibland säga violett ljus i denna rapporten.

UV-ljus används på tre olika sätt i förbindelse med 3D-printing:

- Efter-botning
- Projektor

- Laser

Vanliga våglängder som används för UV-botande harts ligger i intervallet 380 nm till 410 nm. Som en tumfinger-regel kan man säga att kortare våglängder ger snabbare botning och är skadligare för människokroppar.

3.2.1 Solljus och efter-botning

När en 3D-skrivare är färdig med en fotopolymer-figur är det inte säkert att all harts har botat. Om figurens yta inte är helt tät kan obotad harts kan rinna ut och göra skada. Därför brukar man UV-bestråla färdiga figurer en stund efter utskrift. Hur lång tid som behövs varierar väldigt mycket beroende på figurens form och färg, men även figurer med mycket stor yta per volym verkar behöva minst 15 minuter i solen[14, 17]. På den andra ändan av skalan är fotopolymerklumpar på ca 15 kg som kommer ut ur rengörningssystemet på större industriella skrivare. Dessa klumpar kan behöva en hel sommar i Umeå-solen med regelbunden omrörning för att bota.

På molniga dagar kan mindre utskrifter botas i en *UV-ugn*. Dessa kan köpas färdigbyggda eller byggas själv för mycket lägre priser (se till exempel [7, 20]).

3.2.2 Lasrar

Många hartsbaserade 3D-skrivare på marknaden använder en laser för att bota fotopolymeren. Denna tekniken kallas *stereolitografi*, ofta förkortat till SLA. Observera att projektor/DLP-skrivare ibland refereras till som SLA-skrivare i andra rapporter och artiklar. I denna rapporten kommer vi skilja på de två typerna som projektor=DLP och SLA=laser.

3.2.3 Projektorer

På senare tid har projektorer börjat ersätta lasrar vid hartsbaserad 3D-printing. En teknik som används i en viss typ av projektorer kallas *Digital Light Processing* eller DLP. Också denna förkortning används inkonsekvent hos olika källor. I denna rapporten refererar vi till alla projektortekniker när vi skriver DLP-skrivare.

Ultra High Pressure lamp module

Detta är glödlampan i vanliga hemmabio-projektorer. De kan kosta ca 1500 kr per styck, kräva ca 200 W, oftast fungera i 3000 till 5000 timmar och avger väldigt lite UV-ljus. Däremot avger de ljus i ett brett spektrum av

färger. Det är har varit ganska vanligt att bygga billiga DLP-skrivare med sådana projektorer tidigare och några av skrivarna på marknaden använder dem fortfarande.

Specialiserade UV-projektorer

Dyrare skrivare använder alltid specialiserade UV-projektorer. De kan ha antingen glödlampor som hemmabio-projektorer, men med andra våglängder, eller använda LED-ljus på olika sätt.

LCD-baserade system

Att belysa backen underifrån med en LCD-skärm har blivit allt vanligare. Antingen utnyttjas LCD-skärmen själv som ljuskälla, eller så används den som mask över en annan UV-källa.

LCoS-baserade system

Detta är projektorer som kollimerar strålning från en UV-ljuskälla på ca 5 W (mätt i stålningsflux), till exempel en UV-LED. Ljuset kollimeras genom att reflekteras fram och tillbaka mellan små Liquid Crystal on Silicon brickor.

3.3 Backen

Medan utskriften pågår måste figuren vara helt eller delvis nedsänkt i harts. Det som håller både harts (och ibland figur) på plats kallas en back eller *vat* eller *tray* på engelska. Vissa backar går sönder efter kort tids användande och måste ersättas, medan andra aldrig behöver bytas. Backens area har stor betydelse för 3d-skrivarens utskriftsvolym och för hur mycket harts som krävs för att en utskrift ska vara möjlig.

Om 3D-skrivaren baserar sig på att belysa hartsen underifrån (på engelska *top-down printing*) är också backens optiska och klibbiga egenskaper viktiga faktorer. För att hindra att utskriften fäster sig i själva backen har det varit vanligt att täcka den med silikon. Tyvärr slits silikonet ut efter ca två liters utskrifter och måste bytas ut, något som har motiverat utveckling av många alternativ de senaste två åren.

Ett sätt har varit att täcka silikonet med ett tunnt teflonlager, något som förbättrat livslängden avsevärt. Ett annat sätt som också möjliggör snabbare utskrifter med top-down-skrivare är att låta backens undersida släppa igenom syre som hindrar botningsprocessen.[24]

3.4 Utskriftsytan

Utskriftsytans utformning beror på om ljuskällan är placerad över eller under backen. Om ljuskällan är placerad över backen (på engelska: *bottom-up printer*) måste utskriftsytan vara i eller en del av backen.

Vissa utskriftsytor är flexibla så att utskriften lätt plockas av utskriftsytan medan andra är hårda och kräver verktyg för att lösgöra figurer.

3.5 Övergripande om underhållsbehov

3.5.1 Laser

Den vanligaste typen av lasrar är diod-lasrar. Deras livslängder varierar mycket, men vi kan förvänta oss mellan 1000 och 10000 aktiva timmar[12, 19]. Temperaturen som lasern jobbar under gör stor skillnad för livslängden[12]. Lägre temperaturer medför mycket längre livslängder.

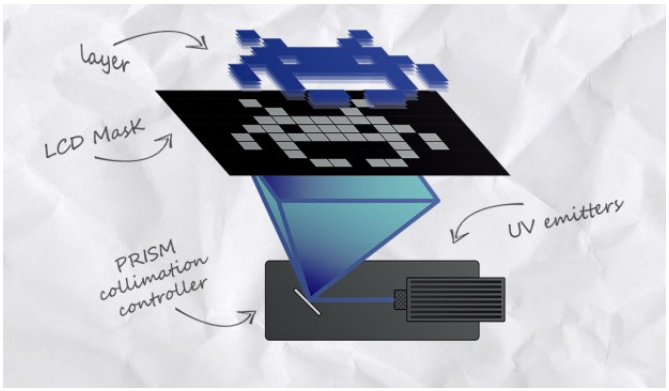
3.5.2 Projektor

Att säga något säkert om hur länge en glödlampa för en hemmabio-projektor kommer att hålla verkar väldigt svårt. Inga oberoende tester har hittats och livslängder mellan 1000 h och 10000 h har rapporterats på olika forum för hemmabio-användare. De två mest frekventa tipsen för att förlänga livslängd är att inte lämna fingermärken på glödlampan, undvika att vibrera den, och att ge den lång tid (många timmar) på att värma upp/kyla ner sig innan/efter användning.

Det finns stora skillnader mellan DLP-glödlampor på 3d-skrivarmarknaden. En specialiserad UV-lampa ger högre effekt vid de våglängder som används och slösar mycket mindre energi. Vi kan anta att en 3d-skrivar-anpassad DLP-glödlampa håller längre än en som är gjord för hemmabio-användning. Vi vet dock inte något om hur länge, annat än att fabrikanter reklamerar med livslängder upp mot 50000 timmar.

Ytterligare en lösning som kallas LCD-matris används av Fabtotum PRISM. Denna är ganska ny på marknaden, men förväntas komma starkare. Den visas i Figur 3. Vi vet inget om livslängd för denna lösning.

Sammanfattningsvis verkar laser och glödlampa kunna köra ungefär lika länge mellan byten. Om man räknar antal utskrifter mellan byten borde DLP-lampan komma bättre ut eftersom DLP-teknik ger högst utskriftshastigheter.



Figur 3: Lösning som kontrollerar botning med hjälp en LCD-matris. Hämtad från Fabtotums PRISM Kickstartersida.

3.5.3 Harts och back

Harts måste sparas i speciella flaskor eller harts-tankar, helst mörkt och kallt. Detta för att hålla hartsen obotad och fri från damm och annat. Ibland behöver harts-tankar rengöras. Man riskerar behöva byta harts-tank riktigt ofta på vissa modeller, oftast på grund av känsligt silikonlager.

De flesta skrivare baserar sig på att ljuset ska passera genom ett fönster innan det träffar hartsen. Detta fönstret behövs hållas rent och oskadat. Speglar och/eller linser i både SLA- och DLP-skrivare behöver hållas rena. För att hindra att olika beståndsdelar i harts skiljer sig behöver hartsbehållare skakas om någon gång per månad[9]. Harts har också en begränsad hållbarhetstid (ca ett år), och gammal harts behöver identifieras och slängas enligt procedur en gång per år.

4 Marknad och open source miljö

4.1 En liten varning

Marknaden för hartsbaserade 3d-skrivare i prisklassen under 50000 SEK är fortfarande väldigt ung. Det har tittats på lite över 15 skrivare under denna undersökning, och över hälften har lanserats via förhandsbeställningskampanjer på Kickstarter eller Indiegogo. Formlabs var ett par år tidigare ute än övriga. De har visat att de kan leverera, men vanligtvis blir leverans av hårdvara som har finansierats genom förhandsbeställningskampanjer försenad.

Formlabs har också visat att det finns en marknad för dessa maskinerna, men de har inte visat att det finns en stor nog marknad för att 15 olika

Tabell 2: Färdigbyggda hartsbaserade 3D-skrivare på marknaden hösten 2015

Namn	Open source	Teknik	Lanserades	cirka-pris
Peachy Printer	Ja	SLA	2015	3300 SEK
Peachy Printer Pro	Ja	SLA	2016	8200 SEK
Fabtotum + PRISM	Ja	DLP	2015	11000 SEK
Nobel 1.0	Nej	SLA	2015	12500 SEK
Sedgewick v2	Ja	DLP	2014	13000 SEK
mUVe 1.5	Ja	DLP	2015	14500 SEK
Form 1+	Nej	SLA	2012	26000 SEK
Moonray	Nej	DLP	2016	28500 SEK
Form 2	Nej	SLA	2015	30000 SEK
MiiCraft+	Nej	DLP	2015	37000 SEK
B9Creator	Osäker[1]	DLP	2013	38000 SEK
Ember	Ja[2]	DLP	2015	50000 SEK

tillverkare ska överleva. Många av tillverkarna nämnt under kommer antagligen att gå konkurs ganska snart eftersom utbudet har växt så snabbt. Inom FFF-skrivare ser man nu att Makerbot, som är en motsvarighet till Formlabs inom FFF, sliter och har nyligen sagt upp en tredjedel av sina anställda.

Någon som går in i marknaden nu måste alltså ta höjd för att tillverkaren kanske går konkurs ganska snart. Detta gör icke-fria closed source produkter mindre attraktiva eftersom de är beroende av tillverkaren för buggfixar och ibland både harts och andra förbrukningsvaror.

Konkursrisk differentierar även bland open source-alternativen. Om ett open source-företag går konkurs vill man som användare undvika att hamna i en situation där produkten är obrukbar. Ett sätt att undvika en sådan situation är att köpa an produkt som består av delar som är vanliga i övriga open source-världen. Specialiserad hårdvara och egna program från döda open source-företag kan i bästa fall få buggfixar efter konkursen. Större open source projekt som Arduino, Linux, RaspberryPI, Marlin, Repetier och Slic3r utvecklas vidare oberoende av enkeltföretags öden.

[1]Hittar ett GitHubrepo från 2013 med software, ingen hardware. Hemsidan reklamerar med patent.

[2]README i Githubrepot för firmwaren nämner att patent finns. Dock inkluderas GPL-lisens på flera ställen i repot, vilket skulle garantera att hela firmwaren är free software.

4.2 Hartsskrivarmarknad

En lista över 12 färdigbyggda harts-skrivare som är tillgängliga på marknaden idag (9–10–2015) finns i tabell 2. Notera att cirkapriserna i denna listan inte inkluderar moms och frakt, de baserar sig på gamla växlingskurser och är avrundade. Cirkapriserna bör alltså bara användas för jämföra 3D-skrivarnas priser sinsemellan.

Härunder presenteras de 12 skrivare vi fann mest intressanta att undersöka. De undersöktes främst genom att läsa på producenternas hemsidor, men också via oberoende nyhetskällor och forum. En kort sammanställning av marknadsundersökningen presenteras i tabell 3. Notera att poängen i denna tabell baserar sig på första intryck och andrahandskällor.

4.2.1 Peachy Printer

Dessa har ett aktivt forum med poster ca varannan dag. Många poster har skrivits av anställda och potentiella köpare eftersom få har hunnit köpa skrivaren. Communityn är ändå väldigt aktiv eftersom väldigt många har bidragit med beställningar via Kickstarter. Många är också entusiastiska till Peachy Printers tydliga ställningstaganden rörande open source och etik.

Steg-för-steg guider utlovas i framtiden, men är inte att hitta på hemsidan än. Detta är överraskande eftersom deras första skrivare skickas ut till kunder denna månaden (oktober 2015).

Eftersom Peachy Printer är så överlägset billigast på marknaden, och för att de verkar rikta sig mot mer avancerade användare är nog inte deras enklaste gör-det-själv-lösning aktuell för 3D-labbet. Däremot kan deras Peachy Printer Pro visa sig att vara det. För närvarande finns för lite information om den på hemsidan för att säga något säkert.

Dokumentation: 1 Community: 8

4.2.2 Fabtotum Personal Fabricator med PRISM

Denna skrivare skiljer sig ut för att den kan göra alla jobb som en kartesisk precisionsrobot kan göra:

- 3D-printing med FFF
- Lätt CNC-fräsning (till exempel för att göra kretskort)
- 3D-scanning
- Harts-printing (DLP)

Den sista punkten är en uppgradering som har lanserats i en separat Indiegogo-kampanj denna hösten. Deras DLP-projektor är en specialiserad UV-projektor med LED-lampor. Skrivaren skiljer sig också ut för att den är open source och använder välkända open source-komponenter.

Den är den första skrivaren i denna undersökningen som har lanserats genom två Indiegogo-kampanjer, en för ram och motorer och en för hartsuppgradering. De har den dokumentation man förväntar sig av någon som sålt 3D-skrivare i tre år: en tydlig pdf om hur man kommer igång, en fyllig wiki och online supportsystem med tickets.

De har också konfigurationsfiler tillgängliga, ett aktivt forum med poster varje dag och användare kan dra nytta av aktiva miljöer kring open source hårdvaran som de nyttjar. Till exempel kommer RepRap-miljön, Arduino-miljön och miljön kring RaspberryPI att kunna hjälpa till med specialiserade frågor.

Faktorer som gör denna mindre aktuell för 3D-labbet är att den tydligt riktar sig mot gör-det-själv-miljöer. Även om vi har erfarna 3D-skrivaranvändare på 3D-labbet så är institutionens/programmets syften bredare inkludering av studenter och hög säkerhet. Efter demonstrationsfilmerna på hemsidan att döma är denna skrivaren svårare att använda än konkurrerande maskiner. En bild på Fabtotum-maskinen visas i Figur 4.

Dokumentation: 7 Community: 8 Nybörjarvänlighet: 3 Underhållsfrihet: 3 Flexibilitet: 8

4.2.3 Nobel 1.0

Denna skrivaren har så lite community att producentens företags kan vara svår att hitta. Deras dokumentation består av fyra korta film-snuttar, en fyllig FAQ och erbjudande om att maila support.

På grund av svårighet att hitta information och brist på community är inte denna aktuell för 3D-labbet.

Dokumentation: 4 Community: 1

4.2.4 Sedgewick v2

Denna open source DLP-skrivaren lanserades också på Kickstarter, men lyckades inte sporra entusiasm eller samla in mer än hälften av de 287000 SEK (omräknade) som de önskade. Det verkar vara en grundare som driver det hela utan anställda.

CAD-filerna är nedladdade ca 800 gånger från Thingiverse. Dokumentationen är halvfärdig, så det verkar osannolikt at väldigt många har kommit igenom dem.

Figur 4: Fabtotum i vitt. Tillägget PRISM syns inte på bilden. Hämtad från Fabtotums hemsida.

Tabell 3: Första intryck av färdigbyggda skrivare, skala 1-10 (10 bäst) inom dokumentation, community, nybörjarvänlighet, underhållsfrihet och flexibilitet.

Namn	**D**	**C**	**N**	**U**	**F**
Peachy Printer Pro	1	8			
Fabtotum + PRISM	7	8	3	3	8
Nobel 1.0	4	1			
Sedgewick v2	3	3			
mUVe 1.5	7	6			
Form 1+	8	5	8	6	1
Moonray	1	2			
Form 2	8	5	8	6	1
MiiCraft+	7	1			
B9Creator	8	7	3		
Ember	8	3	7	3	6

Dåligt helhetsintryck gör den inaktuell för 3D-labbet.
Dokumentation: 3 Community: 3

4.2.5 mUVe 1.5

Denna open source skrivare har inte startats via Kickstarter, men har ett forum på Google+ med nya poster ca varannan dag. De finns också på Facebook (1640 likes, frekventa uppdateringar) och sporadisk andra ställen. Steg-för-steg guider finns i form av fina pdf-filer med mycket bilder. Hemsidan är snygg och frekvent uppdaterad jämfört med andra open source skrivare. Källkod och CAD-filer är lätt tillgängliga och hur man använder dem är väl beskrivet.

Den använder en 280 W hemmabioprojektor och har en relativt liten användarbas. Att informationen om den är för otillgänglig för 3D-labbets behov visades när deras hemsida var nere under denna undersökning.

Dokumentation: 7 Community: 6

4.2.6 Form 1+

Företaget Formlabs samlade ihop otroliga 24 miljoner SEK (omräknat) via Kickstarter i 2012 för att sätta Form 1 i produktion. Deras kundbas är överlägset störst i segmentet och deras dokumentation rörande hur man kommer

igång och underhåll är maskinen är finast av alla undersökta. Hemsidan är lättnavigerad.

Deras community är stort och med många konversationer, men det skiljer sig väldigt från open source skrivares communities eftersom det inte finns intresse för källkod, firmware, slicing eller skrivarens egna CAD-filer. Formlabs riktar tydligt sig mot de som vill ha snygga utskrifter och byter bort frihet att förändra mot en förenklad användarupplevelse. Deras proprietära gränssnitt är lättanvänt.

Tyvärr är skrivaren byggd så att man inte kan anpassa särskilt mycket till egna behov. Detta för att användare inte ska anpassa skrivaren till andra fabrikanters billigare harts, se tabell 4. Formlabs har en stängd fullständig leverantörskedja, och mycket av kommunikationen i communityn handlar om hur man får tag på, hanterar och hur ofta man behöver köpa deras produkter.

Formlabs hartsbackar har en silikonyta som slits ut efter 2-3 liter av printing[9], vilket leder till att hela tanken måste bytas. Den skadas också lätt av vassa föremål vilket leder till utskriftsfel som är svåra att reda ut. En annan sak som talar tydlig emot Formlabs-skrivarna är att de använder en laser för botning och därför skriver ut väldigt sakta. En bild på en Form 1 visas i Figur 6.

Dokumentation: 8 Community: 5 Nybörjarvänlighet: 8 Underhållsfrihet: 6 Flexibilitet: 1

4.2.7 Form 2

Form 2 är väldigt lik Form 1+ förutom några ändringar. En av dessa är att man kan slippa hälla harts från flaska till back om man köper deras (icke påfyllningsbara) hartskasetter.

4.2.8 Moonray

Denna skrivarens Kickstarterkampanj är precis färdig med ett resultat på ca 3.5 miljoner insamlade kronor. De har publicerat en direkt specifikationsjämförelse med Formlabs' skrivare, och det är tydligt att de vill nå samma kundgrupp som Formlabs.

Efter att ha tittat igenom hela deras hemsida, Kickstarterkampanj, Facebook och Twitter har inget annat än reklam hittats i dokumentationsväg. Inget om hur man använder skrivaren har publicerats.

På community finns det ett tiotals köpare som regelbundet frågar "när får jag min skrivare?" och liknande. Ingen källkod, ingående beskrivningar av maskinen, experter att tillgå eller några andra community-fördelar finns för skrivarens köpare.

Brist på information om garanti, säkerhet och annan dokumentation gör denna skrivaren inaktuell för 3D-labbet.

Dokumentation: 1 Community: 2

4.2.9 MiiCraft+

Denna skrivare verkar inte ha lanserats genom någon kampanj, och prisuppgifter är svåra att komma åt ("if you're interested please contact us"). Däremot är deras dokumentation omfattande och välgjord i form av långa pdf-dokument.

De verkar inte ha något intresse av att bygga community eftersom frågor på deras forum (ca ett varannan månad) hänvisas till lokala återförsäljare. Den är därför ointressant för 3D-labbet.

Dokumentation: 7 Community: 1

4.2.10 B9Creator

Precis som Formlabs var B9Creator tidigt ute med Kickstarter och har numera en fyllig hemsida. De fylligaste pdf-dokumenten av alla i denna undersökning (finns också som webbsida) beskriver hela bygget och alla delar. Det finns också ca 10 filmer som förklarar viktiga delar av skrivaren. Även säkerhetsinformation och information om garanti finns lätt tillgängligt.

Communityn har delar från Kickstarter-kampanjen men verkar nu leva mest på företagets eget forum. Det verkar bara finnas ca 1500 maskiner, men de har entusiastiska användare eftersom det finns över 20000 forum-postar (flera nya per dag).

Detta är en typisk gör-det-själv-skrivare med en hemmabioprojektor. Den kräver mycket plats och är därför inaktuell för 3D-labbet.

Dokumentation: 8 Community: 7 Nybörjarvänlighet: 3

4.2.11 Ember

Denna 3D-skrivaren visas i Figur 5 och har en historia som är väldigt olik de andra i denna undersökningen. Den är designad av Autodesk, som ju lever av att sälja licenser till sina proprietära program, men Ember själv är open source. Det inkluderar dess harts, firmware, elektronik och CAD-ritningar. Ember gjordes open source och presenterades för allmänheten i tre steg, varav det sista den 21. september 2015.

Skrivaren är ett led i Autodesks försök att samla 3D-skrivarvärlden kring sig själv genom ett projekt ("Spark") som annonserades för ett år sedan. Affärsplanen går ut på att bland annat sälja CAD-ritningsprogram, ha användares CAD-filer på sina servrar och förmedla utskriftsuppdrag.

Figur 5: Ember. Bild från Autodesks hemsida.

Manualen är komplett och fyllig som man förväntar sig av ett större företag. Information om säkerhet och garanti finns lätt tillgänglig. Deras forum är än så länge nästan dött. Embers elektronik och firmware presenterades nyligen (ca en månad sedan när detta skrivs) och därför har inget open source community fått möjlighet att bygga upp sig kring den än. Däremot har Autodesk uppmanat till, marknadsfört och själv skapat modifikationsguider (engelska: *Instructables*). Därför finns detaljerade guider för hur man byter projektor, byter bottenplatta i back och mycket annat som en community vanligtvis står för. Ember är helt beroende av Autodesks fortsatta satsning för att bygga community.

Tyvärr använder Ember en silikon-yta i backen som slits ut och gör att hela backen måste bytas ibland.

Dokumentation: 8 Community: 3 Nybörjarvänlighet: 7 Underhållsfrihet: 3 Flexibilitet: 6

4.3 Något om vilken nivå som krävs av studenterna

Som nämnt tidigare så är marknaden för hartsbaserade 3D-skrivare till under 50000 SEK väldigt ny. Det finns ett tvåsiffrigt antal modeller tillgängliga på marknaden, men nästan alla är nylanserade och inga har producerats i några

större volymer än. På grund av att marknaden är liten och på grund av att vi inte själv har kunnat testa någon skrivare är det mycket svårt för oss att bedöma hur lätt- eller svåranvända skrivarna kommer upplevas av andra studenter.

Vi har ändå försökt göra en lista över vilka skrivare vi gissar att en färsk första års student utrustad med internet, webbläsare, färdigbyggd skrivare och ca 12 timmars ledig tid skulle kunna få en lyckad utskrift från. Bedömningskriteriet här har varit en blandning av dokumentation, community och nybörjarvänlighet.

Dokumentation och community har bedömts genom att surfa på tillverkarnas hemsidor och räkna poster i deras användarforum, som beskrivet i avsnitt 4.2. Nybörjarvänlighet har bedömts efter hur vi har fått inntryck att tillverkaren tänker att användaren ska använda produkten. En skrivare med få inställningar och automatisk hartspump som marknadsförs mot vanliga användare har till exempel bedömts som mer nybörjarvänlig än en skrivare med många inställningar och manuell hartsmatning som marknadsförs mot ingenjörer:

- mUVe 1.5
- Form 1+ och Form 2
- MiiCraft+
- B9Creator
- Ember

4.4 Hartsmarknad

Det som skiljer olika typer av harts åt är pris, vilken våglängd som får dem att bota, hur snabbt tvärband bildas, hållbarhet, resulterande materialegenskaper, hur miljöskadliga de är och hur hälsoskadliga de är.

Fotopolymerer som botar sakta och vid ultravioletta våglängder är generellt billigare, medan de som klarar sig med längre, synliga våglängder och botar snabbt är generellt dyrare.

Harts är en dyr förbrukningsvara och många tillverkare av 3D-skrivare försöker låsa sina kunder till att vara beroende av deras harts-produkter. Detta liknar situationen på 2D-skrivar-marknaden där bläcket ofta är dyrare än själva skrivaren. En kort lista över några harts-produkter finns i tabell 4.

Ingen av harts-typerna beskrivna i rapporten kan användas i produkter som ska ligga mot kroppen, och de kan ej heller återvinnas. Vi har inte

Tabell 4: Några harts-produkter för 3D-printing

Namn	Tillverkare	Pris (exkl. moms och frakt)
Clear Resin	Formlabs	1300 SEK/liter
Peachyjuice stiff	Peachy Printer	500 SEK/liter
SF for Form 1	Makerjuice	550 SEK/liter

lyckats hitta några relevanta harts-produkter som är vare sig hudsäkra eller återvinningsbara, även om sådana harts-typer i teorin är möjliga att tillverka.

4.5 Relaterade open source projekt

Många av de presenterade 3D-skrivarna bygger på open source komponenter både i firmware, elektronik och olika program som är del av arbetsflödet. Vi presenterar därför några open source projekt här som det kan bli aktuellt at lära mer om, beroende av vilken hartsskrivare som köps.

4.5.1 Arduino

Den vanligaste mikrokontrollern på open source hardware. Ett enormt community som har blandats med communityt kring AVR-processorerna, som existerade länge innan Arduino.

4.5.2 Build your own SLA

Ett helt eget community egnat åt att bygga hartsbaserade skrivare hemma finns på
http://www.buildyourownsla.com/forum/

4.5.3 Marlin

Marlin är den vanligaste eller näst vanligaste firmwaren för FFF-skrivare. Alla nya funktioner som skrivs till enkel FFF-hårdvara tillpassas i Marlin, och kunskapen om Marlin i RepRap-miljön är stor och tillgänglig.

4.5.4 Raspberry Pi

En serie av open source ett-kretskorts-datorer inriktade mot undervisning och extremt populära i open source hardware miljöer. Inte lämplig för motor-

kontroll och liknande uppgifter, men gör bildbehandling, internetkommunikation och liknande i många open source designs.

4.5.5 Repetier

Repetier är också en vanlig open source firmware och kommer i ett paket med värdprogram (det man kör på datorn för att kommunicera med skrivaren).

4.5.6 Skylight

Skylight, ett kontrollprogram för DLP-skrivare utvecklat av anställda hos SeemeCNC:
https://github.com/evride/Skylight

4.5.7 Slic3r

En mycket vanlig slicer inom FFF-3D-printing som används på 3D-labbet idag. Denna kan producera SVG-filer som krävs för av vissa hartsskrivares firmware. För att stegra sig igenom lagren kan till exempel
https://garyhodgson.github.io/slic3rsvgviewer/
användas.

4.5.8 Spark

Spark är Autodesks försök att samla 3D-skrivar-världen som består av en rad mindre projekt. Ett av dessa är DLP-skrivaren Ember som har open source CAD-filer, elektronik och firmware.
https://spark.autodesk.com/
http://learn.ember.autodesk.com/blog/ember-open-source-cad

4.5.9 3DRip

3DRip är ett open source projekt startat av Richard Hornes med målet att skapa en god LCoS-baserad 3D-skrivare till under 2000 SEK.
http://richrap.blogspot.se/2015/07/3drip-nano-uv-3d-resin-printer-lcos.html

4.6 Nyhetskällor

Richard Horne som är en känd utvecklare av RepRap FFF-skrivare har en Googlegrupp rörande all utveckling inom hartsbaserade 3D-skrivare.
https://plus.google.com/communities/109609533907401814291

Nyheter om open source elektronik med många egna artiklar:
http://open-electronics.org/

Många artiklar publiceras på
http://3dprint.com/

5 Inkluderande

För stunden begränsar vi oss till att med inkluderande mena att många studenter och lärare använder 3D-labbet och får hands-on erfarenhet som beskrivs i beställningen. Det är två typer av anledningar till att folk använder 3D-labbet: entusiasm och praktiska/ekonomiska anledningar. Om institutionen/programmet vill göra labbet inkluderande behöver den jobba på båda dessa fronter.

5.1 Entusiasm

Många som använder 3D-labbet gör det på sin fritid för att det känns kul och/eller för att det är socialt. Detta är användande av 3D-labbet som användaren varken får pengar eller studiepoäng för, och 3D-labbet är beroende av det för underhåll av maskinerna. Entusiastiska användare är också de som skaffar och sprider information om möjlig utveckling av 3D-labbet och kommunicerar för andra studenter och anställda vad 3D-printing och 3D-labbet är för något.

Det entusiastiska användandet kan delas in i två faser: introduktionen och fortsättningen. Att introducera någon ny potentiell entusiast är enkelt att organisera. Det kan ske spontant, via kompisar, genom workshops eller ibland genom kurser som använder 3D-labbet. Betydligt mer komplicerat är det att få folk att vilja fortsätta komma tillbaka och använda 3D-labbet på fritiden.

5.1.1 Göra 3D-labbet välkomnande

Varför blir inte alla introducerade studenter engagerade? Svaret man får när man frågar att folk inte har tid. Tyvärr kan vi inte göra något åt detta genom att ändra något på 3D-labbet, så vi får gräva lite djupare.

Forskning på varför få tjejer studerar/jobbar med programmering har visat att nerd-stereotypa symboler (Star Wars-affischer, TV-spel-t-shirts) i en datorsal förstör tjejers känsla av att passa in och vilja delta.[8] Vi behöver alltså se till att 3D-labbet handlar om 3D-printing och i övrigt är så kulturellt neutralt som möjligt. Som en enkel tolkning kan vi säga att hartsskrivaren helst ska se så lite "nördig" ut som möjligt.

En annan sak som kan göra at fler känner att de passar in är om vi diversifierar 3D-labbet mer. En hartsskrivare kan göra 3D-labbet till en mer välkomnande miljö om den är snygg och inte kräver erfarenhet av eller lust till att skruva. Hittills har det för entusiasterna mest handlat om att bygga ihop byggsatser, kalibrera, skriva ut demonstrationsfigurer och bygga små robotar, något som appellerar till en ganska smal grupp av studenter. 3D-printing är tillverkningsteknik som intresserar många olika grupper och en hartsskrivare kan hjälpa flera typer av aktiviteter att komma i fokus på 3D-labbet. Exempel listas härunder

5.1.1.1 Konstnärliga utskrifter

Eftersom hartsbaserade skrivare oftast har högre precision, lägre lagerhöjd och högre råmaterialkostnad än FFF-skrivare är de bättre verktyg om man vill göra små detaljrika utskrifter.

5.1.1.2 Enkel användarupplevelse

Hartsbaserade 3D-skrivare har färre rörliga delar än FFF-skrivare och kan därför göras enklare att använda. Många producenter har utnyttjat denna möjligheten att göra skrivare där gränssnittet kan bestå av en enkelt knapp som heter "print". Många har också sträckt sig långt för att dölja slicing-processens komplexitet.

5.1.1.3 Fotopolymerer, kemin bakom

Nästan alla tillverkare har utvecklat egna proprietära harts-blandningar, även de mycket små enmansföretagen. Detta tillsammans med många open source recept på harts tyder på att harts-utveckling är både tillgängligt och givande för många. Kemin bakom fotopolymerer är inte svår att förstå och man kan få ut väldigt speciella materialegenskaper.

5.1.1.4 Industridesign och marknadsutveckling

Väldigt många (nästan alla) billigare harts-skrivare har kommit ut på marknaden väldigt nyligen. Detta gör att många idéer om design och tekniska lösningar kämpar om uppmärksamhet i en helt ny marknad. Många intresserade följer 3D-skrivarmarknaden som en historia och en episk marknadskamp, men intresserar sig inte mycket för att själv bygga eller skriva ut. En hartsskrivare kommer erbjuda 3D-labbet som en plats för dem att utforska maskinerna som denna "kampen om konsumenterna" handlar om.

5.2 Praktisk/ekonomisk motivation

Många som använder 3D-labbet gör det genom kursers labbar eller projektarbeten, eller de betalas av institutionen/programmet för instruktörsjobb eller underhållsarbete.

5.2.1 Projektgrupper

Projektgrupper väljer ibland själv att nyttja 3D-labbet. De kan dyka upp sporadiskt och introducerar ibland nya potentiella entusiaster. Eftersom det generella intresset för hartsskrivare är högt i media och bland ingenjörsstudenter kan vi förvänta oss att trycket från projektgrupper ökar när en hartsskrivare köps in. Om trycket blir så högt att de frivilliga på 3D-labbet börjar känna sig undanträngda borde man överväga att reglera och formalisera projektgruppernas bokning, hyllplats, tekniska assistans, städning och säkerhetsgenomgångar.

5.2.2 Kurser och obligatoriska moment

Mycket viktigare än sporadiska projekt är de kurser där kursansvarige har bestämt att studenterna ska nyttja 3D-labbet. De ger alla studenter tillfälle att se 3D-labbet och känna efter om de vill komma tillbaka eller inte. De ger också entusiasterna årliga händelser att ladda upp till och tjäna pengar på (som instruktörer) och rekrytera efter. Kortfattat så är kurser det bästa sättet att marknadsföra hartsskrivaren och 3D-labbet i övrigt till studenter.

Kurser är också viktiga för att de gör beroendeförhållandet mellan 3D-labbet och institutionen/programmet mer ömsesidigt.

5.3 Lärares önskemål och synpunkter

Programmets kurser har redan planerade upplägg och laborationer, och begränsat med utrymme att planera nytt. De är också väldigt olika varandra

vad gäller upplägg och innehåll. Att ta i bruk en hartsskrivare måste därför vara del av enskilda kursers gradvisa förbättringsprocess och förändringar behöver vara väl grundade hos kursansvarige, lärare och labbhandledare.

För att förbereda ett eventuellt inköp blev ansvarige för alla kurser som listas nedan kontaktade för att höra om det finns intresse av att använda hartsskrivare i undervisningen.

Metoder och verktyg för ingenjörer

Denna kursen använder redan 3D-labbets FFF-skrivare i ett projektarbete. Eftersom många första års studenter måste använda 3D-labbet samtidigt är det stor risk att något går fel och det måste ställas höga krav till säkerheten om hartsskrivaren ska kunna användas.

Lärare Krister Wiklund har uttryckt intresse om säkerheten är tillräcklig.

Avancerade Material

Kursen behandlar bland annat polymerer och har både projekt-del och laborationsdel som skulle kunna nyttja hartsskrivaren.

Kursansvarige Roushdey Sahl har uttryckt intresse om utskriftsprecisionen är jämförbar med den hos de mycket dyrare maskiner som kursen idag använder.

Optisk konstruktion

Kursen behandlar avbildning och bland annat alla typer av monokromatiska aberrationer. Eftersom DLP-skrivare använder sekvenser av bilder är de mer intressanta för denna kurs. Det görs tre praktiska labbar i kursen, varav en kanske skulle kunna vara en undersökning av en hartsskrivares optiska system.

Kursansvarige Ove Axner har inte besvarat vår intresseförfrågan.

Vågfysik och optik

Denna kursen om optik ges tidigt i utbildningen och kan använda hartsskrivaren som exempel på praktisk tillämpning.

Kursansvarige Magnus Andersson svarat att han inte tror han har någon idé på hur han kan använda skrivaren i undervisningen.

Hållbar utveckling och strålningsmiljö

I denna kursen delas studenterna in i grupper som väljer vart sitt teknikområde som de följer och analyserar ur olika synvinklar genom kursen. 3D-printing i harts skulle kunna vara ett sådant teknikområde.

Kontaktperson Jonna Wilen har skickat vår förfrågning vidare till Åsa Holmner som är ansvarig för hållbarhetsdelen i kursen. Åsa har inte återkommit.

Kvantfysik

Kursen ges tidigt och innehåller bland annat växelverkan mellan elektromagnetisk strålning och atomer. Botningen i hartsskrivarna vi har tittat på i denna rapporten fungerar genom att fotoner exciterar hjälpsubstansens molekyler. Därför kan hartsskrivare vara relevanta att visa som applicerad kvantfysik eller att använda i labb.

Lärare Patrik Nordqvist och Thomas Wågberg har inte besvarat vår intresseförfrågan.

Kvantmekanik 1

Kursansvarige Michael Bradley tror inte hartsskrivaren blir aktuell inom kursen.

Beröringsfria mätmetoder

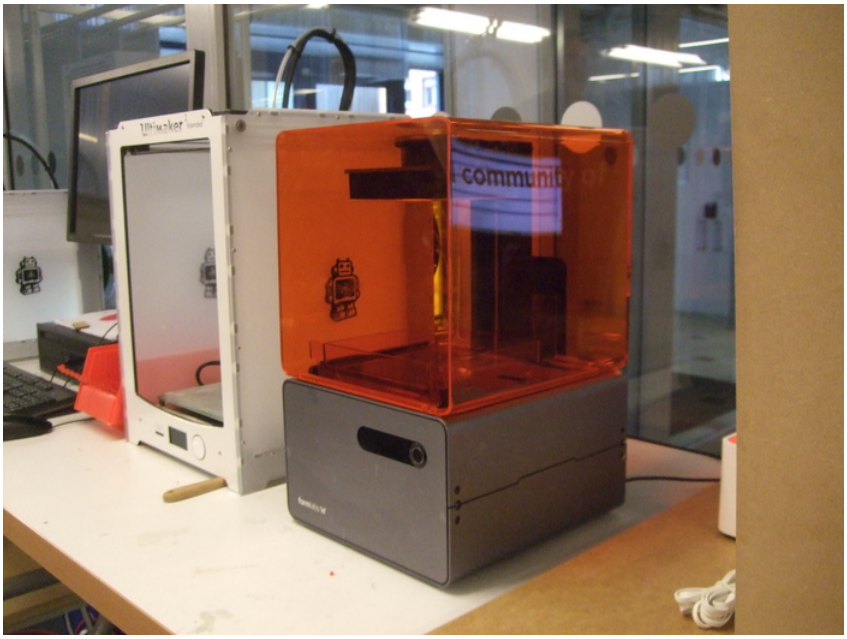
Denna kursen består till stor del av vitt skilda experimentella laborationer. Om intresse från kursansvarige finns skulle man antagligen kunna konstruera en ny labb som nyttjar/undersöker någon aspekt av hartsskrivaren.

Kursansvarige Aleksandra Foltynowicz har svarat att hon ska prata med sina labbhandledare och tänka på saken.

Design Build Test projektkurs

I denna kursen levererar projektgrupper prototyper åt beställare från näringslivet. Många DBT-grupper har tidigare nyttjat 3D-labbets FFF-skrivare, så vi kan räkna med intresse för en eventuell hartsskrivare.

Lärare Martin Rosvall och Krister Wiklund har inte besvarat vår intresseförfrågan.



Figur 6: Formlabs Form 1 på Sliperiet. Egen bild.

Strålningsväxelverkan

Kursen innehåller mycket om fotoners växelverkan med materia, samt en laborations-del på 2.5 hp.

Kursansvarige Jonna Wilen har uttryckt intresse för att använda sig av en eventuell hartsskrivare på 3D-labbet.

Andra institutioners användning av 3D-printing

Se [17] för ett exempel på hur en hemmagjord DLP-skrivare har använts för att förklara grundläggande koncept inom avancerade material.

Medicinska biblioteket i Umeå har startat en kort kurs och workshops i 3D-printing. Se [25].

På Designhögskolan har man köpt in dyrare maskiner (> 1M SEK), och det är mestadels anställda som kan och får hantera dem. Man var också mycket tidigt ute med att köpa Formlabs' första skrivare. Denna står på Sliperiet men har tyvärr aldrig kunnat användas av studenter på grund av tidsbrist och tekniska problem.

5.4 Studenters önskemål och synpunkter

En undersökning av studenternas önskemål och synpunkter hanns inte med i detta projektet, men rekommenderas att genomföra innan ett eventuellt inköp.

6 Säkerhetsaspekter

6.1 UV-strålning

UV-strålning med de våglängder som är aktuella för 3D-printing är de samma som gör oss solbrända på sommaren. Det är väl känt att detta stora mängder sådan strålning kan leda till hudcancer och olika skador på ögonen vid mycket stark och/eller långvarig bestrålning. Risken för detta varierar väldigt beroende på vilken typ av ljuskälla som väljs. Lasrar och projektorer behandlas därför separat nedan.

6.2 Lasrar

6.2.1 Riskkällor

Aktuella SLA-skrivare använder våglängder kring 400 nm som är på gränsen till osynlig. Detta medför risk för att de lyser direkt eller via reflektion in i ett öga och skadar det. Omfattningen av skadan avgörs av laserns effekt, som vanligen ligger runt 100 - 200 mW.

6.2.2 Regler

3D-skrivar-lasrarna hamnar i Strålsäkringsmyndighetens klass 3B:

> **Klass 3B**
>
> Tillstånd krävs för viss användning och visst innehav.
>
> Klassen innehåller lasrar vars styrka ligger mellan 5 mW och 500 mW. Sådana lasrar kan vara farliga för ögat både vid direkt exponering och vid exponering från en reflex. Reflexer från en matt yta är dock ofarlig att betrakta.
>
> - Strålsäkerhetsmyndigheten[23]

Att ha en laser i denna klass medför lite extra arbete för Umeå Universitet eftersom Arbetsmiljöverkets föreskrifter säger:

Arbete med lasrar klass 3B och 4

15§ På arbetsplatser där laser klass 3B och 4 används ska arbetsgivaren utse en särskild person att övervaka lasersäkerheten på arbetsplatsen. Denna person ska vara väl förtrogen med det sätt på vilket laserutrustningen används, med risker förknippade med dess användning och med tillämpliga föreskrifter.

- Arbetsmiljöverket i [4]

6.3 Projektorer

6.3.1 Riskkällor

En hemmabio-projektor lyser mycket starkare än en vanlig lampa och kan skada synen snabbt om man tittar in i den på nära håll, speciellt vid de korta våglängder som oftast används vid 3D-printing. Hemmabio-projektorer blir varma nog att bränna fingrarna på. När man arbetar med en naket projektorljus ska man använda mörka glasögon som skyddar mot UVA-strålning. Detta gäller speciellt när man jobbar med specialiserade UV-projektorer.

Då flera olika mekanismer i DLP-skrivare syftar på att begränsa bestrålning (till exempel mikrospeglar, slutare och färghjul) finns risk för överexponering vid många typer av tekniska fel. Överhettad harts och polymer avger då giftiga gaser och kan börja brinna.[10, 16]

Den dos av UV-bestrålning som behövs för att efter-bota en figur är normalt mycket lägre än de doser som normalt är skadliga för människor. Om UVA-lampor som finns tillgängliga i handeln används kommer det medföra en ganska liten risk för solbränna och snöblindhet beroende på hur lampans effekt och hur den monteras.

6.3.2 Regler

Om det finns risk att arbetstagarna kan komma att utsättas för exponering av artificiell optisk strålning som överskrider de gränsvärden som anges i 4§, ska arbetsgivaren mäta eller beräkna dessa nivåer.

- Arbetsmiljöverket i [4]

Detaljerade gränsvärden för tillåten bestrålning beroende på våglängd och koherent/icke-koherenta vågor finns i bilaga I och II i [4] men citeras inte här.

6.3.3 Farliga situationer

Överexponering av harts

Detta kan uppstå till exempel om datorn som skulle skicka utskriftens bildsekvens börjar skicka en blå, vit eller violett skärmsläckare istället.

Kraftig exponering av ögonen

En projektors ljus är kollimerat och kommer från en ganska liten punkt. Om ett oskyddat öga försöker titta in genom linsen och projektorn drar igång kan ögat skadas kraftigt. Även reflekterande ytor, glas och liknande kan koncentrera ljuset i en punkt med hög nog effekt att skada ett öga.

Långvarig exponering av huden

Detta kan tänkas inträffa till exempel om ljus från skrivare eller UV-ugn konstant belyser ett arbetsbord som används flitigt.

6.3.4 Åtgärder

Fast dator och fast kommunikationsprogram

Om både kommunikationsprogram och operativsystem är konfigurerade för att hindra oönskade bildsekvenser från att skickas till 3D-skrivaren är man trygg. Konkret regel om detta måste anpassas den aktuella hartsskrivarens firmware och arbetsflöde.

Lätt tillgänglig avstängning

Om 3D-labbet fylls med rök är det viktigt att det finns en av-knapp eller markerad kontakt nära golvet som man kan använda för att bryta strömförsörjningen till skrivaren.

Tät UV-ugn

Det är svårt att kontrollera strålningsdos om lampan är oskärmad i 3D-labbet där folk ibland befinner sig över längre tid. Arbetsmiljöverket kräver att man mäter denna dos, vilket är väldigt svårt om den inte är nära noll. En tät UV-ugn rekommenderas därför för att vara säker på att följa reglerna och bevara folks hud och ögon.

Tabell 5: Kemikalier som används vid fotopolymer-baserad 3D-printing

Namn	Roll	Källor
Akrylsyraester/(estrar)	Fotopolymer	[10, 11, 17, 24]
Metakrylat-ester/(estrar)	Fotopolymer	[10, 11]
Vinyletrar- och estrar	Fotopolymer	[11, 24]
Allyletrar	Fotopolymer	[11]
1-hydroxy-cyklohexylfenyl-keton	Hjälpsubstans	[11, 24]
Phenylbis 2,4,6-trimetylbensoyl fosfinoxid	Hjälpsubstans	[17, 24]
Bensofenon	Hjälpsubstans	[11]
Antimon	Hjälpsubstans	[21]
Isopropylalkohol	Rengöring	[9]
Akrylspray	Ytbehandling	[9]

UV-tät box runt 3D-skrivare och ugn

Om inget UV-ljus kan nå en vanlig användare minskas behov av säkerhetsutbildning och risk för överexponering.

Regel om skyddsglasögon nära öppen hartsskrivare

Mer än två meter från projektorn är risk för ögonskador relativt liten eftersom en del av ljuset är synligt hos alla undersökta 3D-skrivarmodeller. Närmre än två meter måste alla använda skyddsglasögon för att vara säkra.

6.4 Kemikalier

6.4.1 Riskkällor

För att anpassa en fotopolymer till 3D-printing blandas den med oftast hjälpsubstans som underlättar botningen innan den säljs som harts-produkt för 3d-printing. Den engelska termen som används för hjälpsubstanserna är *photoinitiators*. Att ta reda på exakt vilka kemikalier de olika hartsprodukterna innehåller är svårt eftersom det ses på som företagshemligheter. (Se till exempel [10] och [22].) Några exempel på vanliga kemikalier är listade i tabell 5.

Den vanligaste typen av kemikalie som används som fotopolymer är akrylsyraestrar[11], men även metakrylat-estrar, både i monom och oligonom form är vanliga beståndsdelar. Konkreta exempel på akrylsyraestrar som används är 1,6-hexandiol diakrylat[17] och trimetylolpropantriakrylat[24].

För sköljning används vanligen isopropylalkohol men även etanol förekommer.

(Met)akrylatestrar, diverse hjälpsubstanser och isopropylalkohol verkar vara oundvikliga vid billigare hartsprinting. Flera kemikalier kan komma att bli aktuella för rengöring och ytbehandling. Dessa behandlas kort här.

Specialiserade akrylpolish- och akrylrengöringsprodukter används ibland för rengöring av harts-behållare gjorda av akryl, och/eller för att skapa en glasaktig yta på figurer. Vissa sådana produkter innehåller ammoniak, medan andra inte innehåller andra farliga ämnen än isopropylalkohol[18]. Produkter med ammoniak rekommenderas inte av Formlabs[9].

För att göra en figurs yta ytterligare glasaktig och hindra gulnande över tid används ibland akrylspray. Dessa sprayer är farliga att andas in, irriterar huden, innehåller ämnen av okänd toxicitet, innehåller komprimerade gaser och är extremt brandfarliga[13]. Alltså kräver de samma säkerhetsåtgärder som de flesta andra sprayburkar i en verkstad.

Harts för 3D-skrivare gör alltid skada om man får vätskan i öga, mun, mage, på huden, eller om man andas in ångor. I hälsodeklarationen för Formlabs' metakrylat-fotopolymer-harts får vi veta:

> **Hudkontakt** - Kan orsaka irritation. Symtomen kan vara rodnad eller utslag och svullnad. Upprepad exponering kan leda till allergi och hos vissa individer ge upphov till kontakteksem, svår irritation, torrhet och sprickbildning.
>
> **Inandning** - Den här produkten misstänks orsaka svag irritation i andningsorganen, särskilt om de används vid höga temperaturer eller processer som kan generera aerosoler eller dimma. Symtom på irritation kan inkludera hosta, huvudvärk och illamående, slemproduktion och andfåddhet.
>
> - Författarens översättning av [10]

6.4.2 Regler

Arbetsmiljöverkets förordning AFS 2014:43 kommer påverka 3D-labbets rutiner rörande harts, som ju vanligen innehåller akrylater eller metakrylater, ibland märkta med H317 och/eller H334:

> 37e§ Utbildning krävs för att leda eller aktivt sysselsättas i ett arbete som kan innebära exponering för farliga kemiska produkter som innehåller:
> ⋮
> 5.metakrylater som ska vara märkta med H317 eller H334 eller

6.akrylater som ska vara märkta med H317 eller H334

...

Utbildningen ska minst innehålla information om de risker som arbetet innebär och vilka skyddsåtgärder som kan behöva vidtas för att arbetet ska kunna utföras på ett säkert sätt.

Utbildningen för de som leder eller aktivt sysselsätts i arbete enligt första och andra stycket ska kunna styrkas genom ett högst fem år gammalt utbildningsintyg. Utbildningsintyget ska beskriva de moment som ingått i utbildningen. Den arbetsgivare som låter någon utan utbildningsintyg leda eller utföra arbete i strid med fjärde stycket ska betala sanktionsavgift om 10 000 kr för varje sådan person, se 52§. - Arbetsmiljöverket i AFS 2014:43

37f§ Arbetsgivaren ska erbjuda läkarundersökning, enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter om medicinska kontroller i arbetslivet, för arbetstagare som sysselsätts eller kommer att sysselsättas i arbete med farliga kemiska produkter som innehåller:

⋮

3. metakrylater som ska vara märkta med H317 eller H334 eller
4. akrylater som ska vara märkta med H317 eller H334. (AFS 2014:43)

6.4.3 Farliga situationer

Gaser från kemikalier koncentreras

Detta kan hända till exempel om en öppen behållare med isopropylalkohol eller varm harts blir stående och dunsta i en icke-ventilerad handskbox. När man startar elektrisk utrustning där inne kan gaserna explodera.

Kemikalier fattar eld

Detta kan hända om någon till exempel efterbehandlar sin utskrift nära hartsbacken eller isopropylalkoholbehållaren med tändare eller annan öppen eld.

Användare gnider sig i ögonen

En droppe harts i ögat kommer göra ögat rött och irriterat.[10] Skadlighet är olika för olika hartser. En droppe isopropylalkohol skadar ögonvävnaden om den inte avlägsnas omedelbart.[15]

6.4.4 Åtgärder

Stäng aldrig av ventilationen kring 3D-skrivare och kemikalier

Även om avstängning av ventilationen kan verka tryggt och förnuftigt ibland så är det aldrig (kanske förutom vid brand) nödvändigt. Eftersom explosionsfara är en såpass allvarlig risk är det onödigt att ställa si i situationer där man måste aktivt tänka på den för att undvika den.

Stäng alltid igen behållare med kemikalier

Harts är lite som olja i att det plötsligt är kletigt över allt. Isopropylalkohol är väldigt flyktigt.

Förbjud öppen eld nära isopropylalkohol och hartsskrivare

Denna åtgärd återfinns i de flesta datablad och hör med till god labbvana.

Använd alltid handskar som är fastmonterade i box eller lösa handskar, förkläde och heltäckande ögonskydd

Om boxen inte skyddar mot UV-strålning behövs ögonskydd (behöver ej vara heltäckande) även när man står nära inboxad skrivare.

Ha ögondusch tillgänglig och synlig nära 3D-labbet

Alla rinnande kemikalier vi kommer ha i labbet skadar ögonen vid kontakt, och alla bör sköljas ut ur ögonen så snabbt som möjligt.

6.5 Mer om åtgärder

6.5.1 Handskbox

En handskbox (på engelska *glove box*) kan sänka de flesta säkerhetsrisker associerat med hartsprinting. Om hartsen kommer in i handskboxen i leverantörens flaska, och all hantering av ofärdig utskrift sker i handskboxen sänker man följande säkerhets- och hälsorisker:

- Risk för UV-ljus från 3D-skrivare på hud och i ögon.
- Risk för gaser från varm harts.
- Risk för irritation och allergier vid harts på huden.
- Risk för inandning av gaser från isopropylalkohol.

Figur 7: En handskbox med ett par handskar och sluss. Hämtad från coleparmer.com

- Risk för irriterad hud vid isopropylalkohol på huden.
- Risk för starkt UV-ljus från UV-ugn i ögonen och på huden.
- Risk för kemikalier i ögat.

En handskbox skulle också minska möjligheten att kringgå säkerhetsutrustning och skulle därmed sänka nödvändigheten av säkerhetsutbildning.

6.5.2 Auto-off

Om både 3D-skrivare och UV-ugn släcker sina UV-ljuskällor automatiskt när locket öppnas sänks risken att skadas av UV-strålning kraftigt. En så enkel och effektiv mekanism bör varje labb som prioriterar säkerhet använda sig av.

Tyvärr hittade vi ingen 3D-skrivare som reklamerade med detta under undersökningen. Autodesk kontaktades och svarade “Ember does not automatically turn the projector off when it senses that the door has been opened”.

6.5.3 Producenten ansvarar

En av frågeställningarna till denna förundersökningen var “vad är typisk kostnad för att bygga eget?”. Det korta svaret är “ungefär hälften” om vi bara ser till kronor och öre. En större och mer svårhanterlig kostnad för att bygga eget är det ansvar som läggs på institutionen/programmet för att utrustningen ska vara trygg. Både UV-ljus och kemikalier är hårt reglerade, och risk för olyckor är mycket högre vid hartsprinting än vid den typ av FFF-printing som 3D-labbet har bedrivit.

Ett billigt och effektivt sätt att hantera risk för skador på grund av defekter, är att köpa in kritiska delar från ansvarande producenter. Vi sänker alltså risk för personskador och böter om vi köper in 3D-skrivaren och en så stor del av den tillhörande utrustningen som möjligt.

7 Förslag till inköp

Framför allt föreslår vi att institutionen/programmet väntar minst 3 månader, gärna mer än 6 månader, med att göra ett inköp. Barnsjukdomar är regeln snarare än undantaget för ny 3D-skrivarteknik och få produkter på marknaden har en stabil användarbas.

7.1 Själva 3D-skrivaren

Av de skrivare vi tittat på verkar Autodesks Ember fylla institutionens/programmets behov bäst. Med det menar vi:

- Den använder en specialiserad projektor
- Den är snygg (såklart subjektivt)
- Den är open source
- Risken för att Autodesk går konkurs är förhållandevis liten
- Den har ett års garanti (längst av de undersökta)
- Autodesk erbjuder god tillgänglig säkerhetsinformation
- Den erbjuder både väldigt enkla och väldigt avancerade användargränssnitt
- Den är inte försökt låst till någon hartsproducent

Ember har också några nackdelar:

1. Elektroniken är konstruerad av Autodesk och används bara på Ember. Dock har den mycket gemensamt med open source-kretskortet BeagleBone.

2. Den är dyr.

3. Den är väldigt ny på marknaden.

Dessa nackdelar bör institutionen/programmet väga upp genom att:

1. Undersöka käll-filerna till elektroniken och skapa en firmware modifieringsguide (Instructable) som finns på nätet och på 3D-labbet.

2. Köpa billigare harts och minimera slitage genom goda rutiner.

3. Vänta minst 3 månader med köp, gärna mer än 6 månader.

7.2 Handskbox

En handskbox med tre par handskar i nitril, neopren eller kemiskt mer motståndskraftiga material (inte engångshandskar). Den ska ventileras konstant och får inte vara luft-tät. Handskarna ska vara fästbara och man måste kunna byta storlekar. Boxens väggar ska helst vara UV-filtrerande, men det är inget måste. Vi skulle kunna beskriva handskboxen som ett spillsäkert (och kanske UV-säkert) dragskåp.

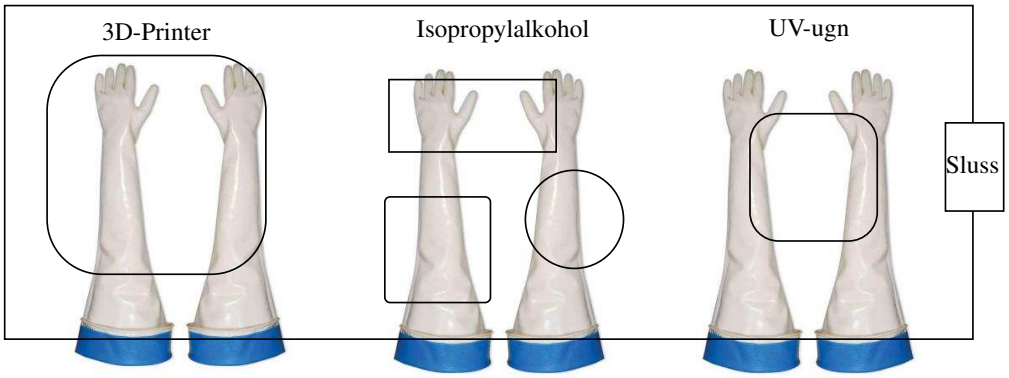
Tanken är att 3D-skrivaren ställs i ena ändan av handskboxen, och att alla utskrifter måste föras förbi en alkohol-skölj-station och en UV-ugn-station inuti boxen innan den kan plockas ut av en användare utan handskar. Detta visas i Figur 8.

Handskboxen ska först och främst skydda resten av 3D-labbet mot kemikaliespill och gaser. Man måste göra en avvägning kring hur öppen boxen ska vara. En helt tät box ger ingen ventilation och leder till explosionsfara på grund av gaser och elektronik. En helt öppen kommer läcka spill och gaser. Förslagsvis görs ventilationshål som är mindre än finger-tjocka längs boxens sidor, medan toppen kopplas till ett utsug.

Kunskap om hur man köper handskboxar finns på institutionen eftersom de används i forskningen. Vi ger därför bara ett exempel på leverantör här:

www.glovebox-systems.com/

Kontakta leverantör och förklara hur handskboxen ska användas för ett prisöverslag. Eftersom handskboxen inte ska uppfylla krav om luft-täthet eller liknande kan institutionen/programmet spara pengar genom att bygge den själv.



Figur 8: Förslag till layout inuti handskboxen sett ovanifrån. Alla flaskor, verktyg och liknande förs in i handskboxen genom slussen. Inga utskrifter förs ut ur handskboxen genom andra öppningar än slussen. Inte utritat i figuren är utrustning för stödstrukturborttagning, eventuella stativ, trattar, trasor och andra verktyg som kan vara praktiska att ha inuti handskboxen.

Om man ska bygga själv är följande länk användbar:
http://www.instructables.com/id/DIY-Glove-Box/step7/Other-Glove-Box-Designs/

7.3 UV-ugn

En färdigbyggd UV-ugn med auto-off i dörren/locket som är liten nog att få plats i handskboxen. Fördelen med att köpa en färdig framför att göra egen är att producenten ansvarar för att den är ofarlig.

Ett exempel på en sådana ugn tillverkas av Edmund Optics:
http://www.edmundoptics.com/lab-production/adhesives/uv-curing-chamber/86885/
. En billigare version säljs av 3dfacture, men hemsidan ger ingen information om auto-off funktionalitet:
http://3dfacture.com/product/deluxe-post-curing-uv-led-lamp/

Vi rekommenderar att vänta med inköp eftersom priserna fortfarande är höga. Jämför man med priser på nagelepoxyhärdare, som använder samma ljus och görs för hemmamiljöer, så borde man kunna förvänta sig UV-ugnar för 3D-printing till priser ner mot 1000 SEK inom ett par år.

7.4 Skyddsglasögon mot UV-ljus och kemikalier

Även om skyddsglasögon inte behövs i normala fall när skrivaren kör är de absolut nödvändiga om man ska modifiera eller reparera 3D-skrivaren. Möjligtvis medföljer skyddsglasögon vid köp av 3D-skrivare. Heltäckande skyddsglasögon rekommenderas eftersom de även skyddar ögonen mot kemikalier.

Om skyddsglasögon visar sig inte medfölja med 3D-skrivaren verkar de kosta ca 60 SEK per styck. Se

https://www.esska.se/esska_se_s/Skyddsglasoegon-nylon-optisk-straalning-UV/IR/svetsning-754118920200-14030.html

7.5 Långa handskar

Riktiga specialhandskar för handskboxar kostar gärna 1000 SEK per par. Eftersom både nitril och neoprenhandskar skyddar mot harts och isopropylalkohol, och eftersom handskboxen inte ska vara helt tät kommer institutionen/programmet kanske billigare undan. Exempel på möjliga handskar till 350 SEK per par finns på följande länkar:

https://www.esska.se/esska_se_s/Arbetshandskar-Guide-142-standard-EN-388/klass-4121-753713256870-14680.html

https://www.esska.se/esska_se_s/Kemisk-Skyddshandskar-groen-28-60-cm-laanga-75393816xx00-14690.html

7.6 Kostnader

Tidsbrist har gjort att kostnader har behandlats mycket ytligt. Resultaten hittas i tabell 6. Kortfattat kan man säga att utrustning för ca 3-4 års bruk kan komma att kosta ca 100000 SEK.

8 Förslag till att-göra-lista inför inköpet

Här sammanfattas informationen i denna rapporten i form av en skissad att-göra-lista. Tiderna i denna listan är att förstå som tidigaste rekommenderade tidpunkter. Väntar man lite längre än de datum som föreslås här hinner marknaden mogna lite, så att man kan känna större trygghet. Väntar man mer än ett år kommer marknaden sannolikt ha ändrats så mycket att en ny förundersökning behövs.

Tabell 6: Överslag för kostnader inklusive allt

Vad?	**Hur mycket?/SEK**	**Hur ofta?**
3D-skrivare	65000	En gång
Box/UV-plexiglas	10000	En gång
UV-ugn	5000	En gång
Långa handskar	3000	En gång
Skyddsglasögon	250	En gång
Råmaterial	5000	Varje år
Backar	2000	Varje år
Isopropylalkohol	100	Varje år
Utskriftsyta	1000	Varje 2-3 år
UV-glödlampa	1000	Varje 2-3 år

Följer man tiderna skissade i följande lista kan institutionen/programmet ha en fungerande hartsskrivare på 3D-labbet klar till höstterminen 2016.

8.1 Innan jul 2015

1. Ta reda på hur handskbox-beställning går till på institutionen.
2. Beställ handskbox med minst nio par handskar, tre par small, tre par medium, tre par large.
3. Förankra inköp bland aktiva studenter genom att.
    - Ge dem denna rapporten.
    - Fråga om synpunkter kring val av modell och rutiner.

8.2 Tidigast februari 2016

4. Beställ Ember från Autodesk.
5. Beställ olika typer av harts, till exempel Autodesks egen, Formlabs tough, Makerjuice etc. Köp inte hartser märkta med H317 och/eller H334 (se avsnitt 6.4.2).
6. Beställ isopropylalkohol (90 % eller lägre) om den inte ingår i Ember-paketet.

7. Beställ UV-ugn. Om man vill nyttja solen som UV-ugn en stund och låta marknaden mogna kan denna punkt utsättas. Notera att temporära rutiner då måste införas för att reglera hantering av icke-efterbotade utskrifter utanför handskboxen.

8.3 När hartsskrivaren är på plats

8. Placera skrivaren, alkosköljutrustning och UV-ugn i handskbox innan den förseglas.

9. Koppla utsug till handskboxen och testa att ventilation fungerar bra.

10. Se till att ventilation inte kommer att stängas av.

11. Gå igenom *Checklista för laser* bifogad i Appendix A. Se till att ärligt kunna svara ja på alla applicerbara punkter. Med detta menas minst:

    - För upp UV-projektorn på institutionens/programmets inventarielista.
    - Placcera bruksanvisningar på svenska och engelska tillgängligt i 3D-labbet.
    - Se till att texten "Varning: starkt UV-ljus" eller liknande finns på själva 3D-skrivaren så att alla framtida användare ser den.
    - Häng upp riskbedömning från leverantör på svenska och engelska på väggen nära skrivaren eller handskboxen.
    - Läs leverantörens krav och rekommendationer rörande skyddsutrustning och skaffa eventuell utrustning som inte finns på 3D-labbet.
    - Utnämn en säkerhetsperson som läser upp sig på faror med UV-projektorer, (met)akrylater, isopropylalkohol och andra kemikalier.
    - Personen läser minst [3, 10, 15, 4, 2, 5, 6, 1].
    - Informera institutionens säkerhetsansvariga om att utnämda säkerhetsperson ska inkluderas i relevanta säkerhetskurser bland institutionens anställda.
    - Häng upp rutin för användande (avsnitt 9 i denna rapporten eller reviderad version) nära skrivaren.
    - Skapa en skylt med texten "Försiktig, utskrift pågår!" eller liknande som senare används varje gång skrivaren kör.

- Gör en linje på golvet som markerar 2 m avstånd från skrivaren. Innanför denna gäller regler om skyddsutrustning. Detta är bara nödvändigt om handskboxen inte filtrerar bort UV-strålning.

12. Installera power-knapp eller markerad kontakt nära golvet för avstängning av 3D-skrivare i nödfall/rökfyllt rum.

13. Bestäm om regel för fast dator/fast kommunikationsprogram är hänsiktsmessig (se stycke 6.3.4).

14. Kontakta Roushdey Sahl på institutionen och låt honom inspektera skrivarens installation, skyltning etc. Han är förberedd på en sådan förfrågan.

9 Förslag till rutin för användande

Det mesta av användandet beskrivs i tillverkarnas egna manualer. Här läggs därför vikt på det som är specifikt för 3D-labbet.

9.1 Att göra en utskrift

- Om hartstanken ska bytas:
  - Stäng gammal back
  - Plock loss gammal back
  - Montera ny back
  - Fyll ny back med ny harts, men aldrig över maximumsmarkeringen
- Slå på skrivaren
- Koppla upp datorn till skrivaren
- Slica figur och skicka till skrivaren
- Sätt upp varningsskylt om att skrivaren är igång
- När utskriften är klar: ta loss utskrift försiktigt
- Stäng igen 3D-skrivaren
- Öppna behållare med isopropylalkohol

- Om behållaren är tom: fyll den med isopropylalkohol. Stäng isopropylalkoholflaskan direkt efteråt.
- Skölj utskrift i isopropylalkohol
- Om alkoholen har blivit för harts-blandad för att användas igen: häll den i större dunk (använd tratt) och stäng dunken.
- Stäng behållare för isopropylalkohol
- Låt utskrift torka
- Plock bort eventuella stödstrukturer
- Gör eventuell finputs, fyll ut uönskade hål etc
- Baka utskrift i UV-ugn
- Lägg färdigbakad figur i sluss
- Spraya eventuellt med akrylspray eller annat. Låt torka efteråt.
- Plocka utskrift ut ur sluss
- Om det finns hartsspill på 3D-skrivare, flaskor, UV-ugn eller innsidan av handskboxen: torka rent med alko-trasa.
- Plocka inte ut trasan, utan låt alkoholen dunsta bort inuti handskbox.
- Trasor som är kladdiga av harts bakas i UV-ugn innan de förs ut ur handskboxen och slängs.

9.2 Harts

9.2.1 Förvaring

Harts får bättre hållbarhet och gasar mindre om det uppbevaras kallt och mörkt. Flaskor med harts som inte ska användas på ett tag bör därför stå i 3D-labbets kylskåp. Tyvärr blir harts tjocktflytande när den är kall, vilket inte är positivt för utskriftskvalité och utskriftshastighet. Harts som snart ska användas bör därfär stå i handskboxen.

9.2.2 Underhåll

Eftersom harts går ut på datum måste kylen och handskboxen genomgåes en gång per år för att rensa ut gammal harts. För att hindra att olika beståndsdelar i harts skiljer sig behöver harts-behållare skakas om någon gång per månad[9].

9.2.3 Inköp

Vid inköp undvik hartser märkta med H317 och/eller H334. Dessa hartser är allergiframkallande och regleras hårt av Arbetsmiljöverket, se avsnitt 6.4.2. Skaffa och undersök hälsodeklarationen (engelska *material safety data sheet*), märkningen ska finnas med där.

9.3 Om man ska använda hartsskrivaren utanför handskboxen

- Alla som ska vara i närheten av ($< 2\,\mathrm{m}$) harts-skrivaren när den är igång eller hanteras utanför handskboxen måste ha på sig
  - Handskar
  - Skyddsglasögon
  - Förkläde
- All hartsspill måste direkt torkas rent med isopropylalkohol
- Kemikalier (inklusive trasor med alkohol och harts) ska endast lämnas i stängda behållare eller i handskbox.
- Sköljning av utskrifter med isopropylalkohol får bara ske utomhus, i handskbox eller i annan typ av dragskåp.

9.4 Om man får harts på huden

Tvätta med såpa och vatten. Torka *inte* med isopropylalkohol eller liknande på huden. Alkoholen tunnar ut hartsen så att den lättare tränger igenom huden (vilket vi absolut inte vill).

9.5 Om man får harts eller isopropylalkohol i ögat

- Skölj med ögonsköljningsutrustning eller stora mängder vatten.
- Håll isär ögonlocken under sköljning.

- Kontakta läkare.

9.6 Om man svalt harts

- Försök *inte* att kräkas
- Drick vatten eller mjölk
- Kontakta förgiftningscentral (tlf 112 eller 08-331231)

9.7 Om man svalt isopropylalkohol

- Försök *inte* att kräkas
- Kontakta förgiftningscentral (tlf 112 eller 08-331231)

9.8 Avfall och sophantering

Utskrifter av vanlig UV-botande harts är giftig (även vid hudkontakt i fast tillstånd) och inte återvinningsbar. Detta är god anledning att begränsa hartsutskrifter både i volym och antal tills mindre giftiga och mindre miljöskadliga hartser kommer på marknaden. När sådana produkter kommer på marknaden bör 3D-labbet omedelbart gå över till att endast köpa dessa hartser.

9.8.1 Botad harts

Helt botad harts anses ofarligt och kan slängas som brännbart avfall i vanlig sop.

9.8.2 Gammal harts och hartsrester

- Lägg hartsen i en genomskinlig lufttät påse.
- Försök bota hartsen genom att lägga den i solen eller UV-ugnen. Större hartsmängder kan behöva en omskakning/omrörning ibland.
- Samla upp eventuell obotbar harts i dunken med specialavfall som står inuti handskboxen. Använd tratt.
- Släng klumpar av helt botad harts i vanlig sop.

9.8.3 Trasor med alkohol/harts-blanding

- Låt trasan torka i handskboxen.
- Lägg trasan i UV-ugnen en stund för att bota eventuell harts.
- Släng trasan i vanlig sop.

9.8.4 Behållare med alkohol/harts-blanding

- Samla upp i dunken med specialavfall som står inuti handskboxen.
- Använd tratt.

9.8.5 3D-skrivaren

Ember består av väldokumenterade komponenter som till exempel projektor och kretskort som kan återanvändas andra maskiner. Andra delar bör skruvas isär och källsorteras enligt leverantörens instruktioner.

10 Förslag till regler för användande

- Alla som ska använda hartsskrivaren måste läsa *Säkerhetshänsyn* (avsnitt 6 i denna rapporten eller reviderad version) och godkännas av säkerhetsperson först.
- Ät och drick inte nära hartsskrivaren
- Stör inte någon som står vid handskboxen och jobbar
- Lämna alltid 3D-skrivare, slussluckor, hartsflaskor, alkoholflaskor och andra kemikaliebehållare stängda
- Använd alltid hanskbox eller handskar tillsammans med heltäckande skyddsglasögon när harts eller isopropylalkohol ska hanteras.
- Följande ska finnas i handskboxen:
  - 3D-skrivaren
  - Eventuella extratankar med harts
  - En kam för att filtrera ut hartsklumpar ur hartsen i backen
  - En flaska med isopropylalkohol
  - En förslutbar behållare för alkoholsköljning

  - Trasor för att torka harts
  - UV-ugnen

- Torka alltid av flaskor, verktyg etc med isopropylalkogol innan de plockas ut ut handskboxen.
- Använd alltid specialharts som är godkänd för hudkontakt om utskriften ska fungera i kontakt med folks hud.
- Närmre än två meter från en öppen hartsskrivare måste alla använda skyddsglasögon.

Referenser

[1] Arbetsmiljöverket. Ytterligare krav för vissa allergener. https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/luftfororeningar-och-kemiska-risker/vagledningen-till-foreskrifterna-om-kemiska-arbetsmiljorisker/allergiframkallande-amnen/ytterligare-krav-for-vissa-allergener/ . Hämtad: 2015-10-23.

[2] Arbetsmiljöverket. Laboratoriearbete med kemikalier (afs 1997:10). 1997.

[3] Arbetsmiljöverket. Akrylplasters komponenter är farliga, 2006. Broschyr.

[4] Arbetsmiljöverket. Artificiell optisk strålning (afs 2009:7). 2009.

[5] Arbetsmiljöverket. Kemiska arbetsmiljörisker. 2014.

[6] Arbetsmiljöverket. Kemiska risker i arbetsmiljön, 2015. Broschyr.

[7] Christopher Barr. A diy uv post-cure lightbox you too can make. http://forum.formlabs.com/t/a-diy-uv-post-cure-lightbox-you-too-can-make/2732 . Hämtad: 2015-10-8.

[8] Sapna Cheryan, Victoria C Plaut, Paul G Davies, and Claude M Steele. Ambient belonging: how stereotypical cues impact gender participation in computer science. *Journal of personality and social psychology*, 97(6):1045, 2009.

[9] Formlabs. Finish. http://formlabs.com/support/guide/finish . Hämtad: 2015-10-8.

[10] Formlabs, inc. *CLEAR Photoreactive Resin for Form 1 Material Safety Data Sheet*, 8 2013.

[11] RadTech Printer's Guide. Uv&eb chemistry and technology.

[12] Lawrence Johnson et al. Laser diode burn-in and reliability testing. *Communications Magazine, IEEE*, 44(2):4–7, 2006.

[13] Krylon Products Group. *KRYLON® Crystal Clear Acrylic Coating Material Safety Data Sheet*, 9 2015.

[14] Kudo3D. Post-process your sla prints in 4 easy steps. http://www.kudo3d.com/post-process-your-sla-prints-in-4-easy-steps/ . Hämtad: 2015-11-8.

[15] Lawson Products, Inc. *Product Isopropyl Rubbing Alcohol 91% USP Material Safety Data Sheet*, 3 2003.

[16] MadeSolid, inc. *CastSolid Resin Material Safety Data Sheet*, 3 2015.

[17] Joseph Muskin, Matthew Ragusa, and Thomas Gelsthorpe. Three-dimensional printing using a photoinitiated polymer. *Journal of Chemical Education*, 87(5):512–514, 2010.

[18] NOVUS inc. *NOVUS Plastic Polish #1 - Plastic Clean & shine Material Safety Data Sheet*, 8 2010.

[19] Melanie Ott. Capabilities and reliability of leds and laser diodes. *Internal NASA Parts and Packaging Publication*, 1996.

[20] Marshall Peck. Uv led oven for curing dlp resin 3d prints. http://www.instructables.com/id/Make-a-VU-LED-Oven-for-curing-DLP-Resin-3D-prints/ . Hämtad: 2015-10-8.

[21] Daniel B Short, Daniel Volk, Paul D Badger, Jason Melzer, Phil Salerno, and Arif Sirinterlikci. 3d printing (rapid prototyping) photopolymers: An emerging source of antimony to the environment. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 1(1):24–33, 2014.

[22] Stratasys GmbH. *POLYMERIZED Objet VeroWhite Plus RGD835 Safety data sheet*, 9 2011. Version 2.

[23] Strålsäkerhetsmyndigheten. Laserklasser. http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Yrkesverksam/Laser/Laserklasser/ . Hämtad: 2015-10-8.

[24] John R Tumbleston, David Shirvanyants, Nikita Ermoshkin, Rima Janusziewicz, Ashley R Johnson, David Kelly, Kai Chen, Robert Pinschmidt, Jason P Rolland, Alexander Ermoshkin, et al. Continuous liquid interface production of 3d objects. *Science*, 347(6228):1349–1352, 2015.

[25] Umeå Universitetsbibliotek. 3d-skrivare på medicinska biblioteket. http://www.ub.umu.se/service/utskrift-skanning-kopiering/3d-skrivare . Hämtad: 2015-10-8.

A Checklista för laser

CHECKLISTA FÖR LASER

del av universitetets systematiska arbetsmiljöarbete kontroll och riskbedömning, bör utföras en gång per år.

Syftet med denna checklista är att uppmärksamma om det finns risk för skador på arbetstagares ögon och hud av artificiell optisk strålning (i detta fall laser) och om skyddsåtgärder behövs. De fullständiga reglerna finns i **AFS 2009:7 Artificiell optisk strålning.** Chefen/arbetsledaren genomför riskbedömningen i samråd med arbetstagare och skyddsombud. Stöd kan även tas från expertresurs/leverantör.
Dokumentera upptäckta brister. Upprätta en handlingsplan för det som inte åtgärdas omedelbart. Ange tidpunkt och ansvarig för att genomföra åtgärden.

Låg risk: Risker som bedöms vara så låga att de inte kräver någon åtgärd, till exempel för att de kan medföra endast mycket liten skada.
Medel risk: Risker som bedöms vara ganska allvarliga och som kräver någon typ av åtgärd, inom rimlighetens gräns. Det kan till exempel handla om risker vid användning av kemiska produkter eller risk att snubbla och falla över saker som ligger och skräpar på golvet.
Hög risk: Risker som kan medföra allvarlig skada eller dödsfall och som måste åtgärdas snarast.

Obs: Om risken är medel eller hög ska en handlingsplan tas fram och kontroll punkten åtgärdas snarast.
Överträdelse av bestämmelser i AFS 2009:7 Artificiell optisk strålning kan medföra böter enligt 19 § i AFS 2009:7.

KONTROLL: PLATS UPPGIFTER

Institution _____
Våningsplan _____
Lab nr. _____
_____
Utrustning _____
_____

KONTROLL: PERSONAL UPPGIFTER

Kontroll utfört datum _____
Förra kontroll datum _____
Kontroll utfört av _____
Underskrift _____
Prefekt _____
Underskrift _____

Har bristerna från förra kontroll åtgärdats ? **Ja** ☐ **Nej** ☐

DOKUMENTATION	**Ja**	**Nej**	Låg risk	Medel risk	Hög risk	**Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda**
1.1 Är laserutrustningen upptagen på inventarielista eller motsvarande?	☐	☐	☐	☐	☐	
1.2 Finns riskbedömning från leverantör tillgänglig?	☐	☐	☐	☐	☐	
1.3 Är lasern märkt och har varningstext?	☐	☐	☐	☐	☐	
1.4 Är bruksanvisningar på svenska med säkerhetsinformation tillgängliga på arbetsplatsen?	☐	☐	☐	☐	☐	
1.5 Är bruksanvisningar på engelska med säkerhetsinformation tillgängliga på arbetsplatsen?	☐	☐	☐	☐	☐	
1.6 Finns skyddsutrustning enligt leverantörens krav att tillgå?	☐	☐	☐	☐	☐	

RISKMEDVETENHET	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
2.1 Är arbetstagarna informerade om risker som är förenade med laserklassen?	☐	☐	☐	☐	☐	
2.2 Har laseroperatörer och övrig personal som riskerar att exponeras erforderlig kunskap?	☐	☐	☐	☐	☐	
2.3 Finns lasrar av högre klass inne i inkapslade lasrar? *Ska beaktas vid underhåll och reparationsarbete.*	☐	☐	☐	☐	☐	
2.4 Har laseroperatörer smycken eller klockor på sig medan lasern är igång?	☐	☐	☐	☐	☐	
2.5 Har det tillkommit nya risker som kräver hänsyn eller utbildning?	☐	☐	☐	☐	☐	

SKYDD MOT EXPONERING	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
3.1 Är det säkerställt att arbetstagarna inte utsätts för laserstrålning som överstiger gränsvärdena som anges i AFS 2009:7?	☐	☐	☐	☐	☐	
3.2 Om laserskyddsglasögon används, är glasögonen anpassade till aktuell laser? *skyddsglasögon måste vara ren och fri av skador.*	☐	☐	☐	☐	☐	

INFORMATION & UTBILDNING	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
4.1 Är arbetstagarna informerade om resultat från riskbedömningen och åtgärder?	☐	☐	☐	☐	☐	
4.2 Är arbetstagarna utbildade i korrekt användning av personlig skyddsutrustning?	☐	☐	☐	☐	☐	
4.3 Finns skriftliga instruktioner för arbetet som är förmedlade till arbetstagarna?	☐	☐	☐	☐	☐	

MEDICINSK KONTROLL	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
5.1 Erbjuds läkarundersökning om exponering överskridit gränsvärdena?	☐	☐	☐	☐	☐	
5.2 Erbjuds läkarundersökning om en arbetstagare drabbats av en sjukdom eller skadlig inverkan beroende på exponering?	☐	☐	☐	☐	☐	

FÖRÄNDRINGAR	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
6.1 Erbjuds läkarundersökning om exponering överskridit gränsvärdena?	☐	☐	☐	☐	☐	
6.2 informerar arbetstagare lasersäkerhetsansvarig om förändringar i deras verksamhet?	☐	☐	☐	☐	☐	

Följande gäller vid arbete med laser klass 3B och 4

LASERSÄKERHETSANSVARIG	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
7.1 Finns en lasersäkerhetsansvarig utsedd som övervakar lasersäkerheten på arbetsplatsen?	☐	☐	☐	☐	☐	
7.2 Är denne väl förtrogen med på vilket sätt utrustningen används, risker och tillämpliga föreskrifter?	☐	☐	☐	☐	☐	

RISKOMRÅDE	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
8.1 Är riskområdet bestämt med hänsyn till reflexer (t ex blanka ytor) och användning av strålnings-samlande optik (t ex linser)?	☐	☐	☐	☐	☐	
8.2 Är riskområdet tillräckligt avgränsat med skyltar?	☐	☐	☐	☐	☐	
8.3 Får riskområdet endast beträdas av dem som behöver vara där för att arbeta med, underhålla lasern, eller assistera vid arbetet?	☐	☐	☐	☐	☐	

	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
8.4 Är riskområdet avspärrat eller, om avspärrningar av praktiska skäl inte är lämpliga, övervakat?	☐	☐	☐	☐	☐	

AVSKÄRMNINGAR	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
9.1 Är strålbanan inkapslad eller avskärmad i den mån det är praktiskt möjligt?	☐	☐	☐	☐	☐	
9.2 Är strålbanan avslutad med ett strålstopp anpassad för ändamålet?	☐	☐	☐	☐	☐	

INDIREKTA RISKER	Ja	Nej	Låg risk	Medel risk	Hög risk	Kommentar / Handlingsplan / Åtgärda
10.1 Är det säkerställt att indirekta arbetsmiljörisker inte kan uppkomma vid laseranvändning avseende:						
a. gasbildning?	☐	☐	☐	☐	☐	
b. rökbildning?	☐	☐	☐	☐	☐	
c. explosion?	☐	☐	☐	☐	☐	
d. brand?	☐	☐	☐	☐	☐	
e. kylmedieläckage?	☐	☐	☐	☐	☐	

ÖVRIGT KOMMENTAR