



Vitensenteret

## Revisjon 1.2

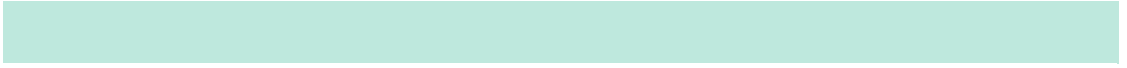
*Roy Even Aune*  
*Nils Kr. Rossing*

### **Laserkutting, 3D-printing og Tinnstøping -**

**Vi lager spill med brikker**



Oktober 2017



# **Laserkutting, 3D-printing og Tinnstøping - Vi lager spill med brikker**

ISBN-13 978-82-92088-60-9

**Laserkutting, 3D-printing og Tinnstøping –  
Vi lager spill med brikker**

Trondheim 2017

Bidragstydere:

*Nils Kr. Rossing, (nkr@vitensenteret.no)* Vitensenteret i Trondheim og Skolelaboratoriet ved NTNU  
*Roy Even Aune, (royeven@vitensenteret.com)* Vitensenteret i Trondheim

Layout og redigering: Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet ved NTNU

Tekst og bilder Nils Kr. Rossing og Roy Even Aune, Vitensenteret i Trondheim

Faglige spørsmål rettes til:

**Vitensenteret i Trondheim**

**Kongensgate 1**

**7011 Trondheim**

v/Nils Kr. Rossing, [nkr@vitensenteret.no](mailto:nkr@vitensenteret.no) eller

[Roy Even Aune, royeven@vitensenteret.com](mailto:royeven@vitensenteret.com)

Kongensgate 1

7011 Trondheim

Vitensenteret i Trondheim

Telefon: 72 90 90 07

Post: [post@vitensenteret.com](mailto:post@vitensenteret.com)

<http://www.vitensenteret.com>

Prøvetrykk 1.0, Rev 1.2 – 19.10.17

# Laserkutting, 3D-printing og Tinnstøping –

Vi lager spill med brikker

Roy Even Aune

Nils Kr. Rossing



Vitensenteret i Trondheim

---

## Forord

Heftet er laget som et lite kompendium for kurset: *Laserkutting, 3D-printing og Tinnstøping – Vi lager spill med brikker*, og inneholder korte introduksjoner til 3D-printing, inkludert bruk av 3D-modelleringsprogrammet OpenSCAD, dessuten gir det en introduksjon til laserkutting og gravering, framstilling av støpeformer og tinnstøping. Alt det som trengs for å lage et brettspill med brikker.

Kursinnholdet bygger på et aktivitetstilbud Roy Even Aune utviklet sommeren 2016, hvor han laget vikingespillet Hnefatafl med brikker sammen med ungdommer fra Hegratunet asylmottak<sup>1</sup>. I dette opplegget kombinerte han laserkutting og gravering med tinnstøping av brikkene og tilhørende overflatebehandling. Tanken med *kurset* er også å kombinere ulike teknologier for å skape et produkt, noe som er det normale i en vanlig produksjonsprosess.

I kurset ønsker vi også å gå et skritt videre ved i tillegg å bringe inn 3D-printing. Siden 3D-printing er en langsom prosess ønsker vi å bruke denne teknologien først og fremst for å lage støpeforma til brikkene. På den måten utnytter vi friheten som 3D-printing gir med produksjonshastigheten som støping i form gir.

Siden spillet også består av et gravert spillbrett, er det naturlig å anvende gravering og skjæring med laser siden slikt utstyr finnes på huset. Det ligger også muligheter til legge inn sitt personlige preg på spillplate.

Først og fremst skal kurset være et verktøykurs hvor lærere i grunnskolen skal lære å bruke 3D-printer, laser-kutter og utstyr for tinnstøping slik at de kan komme tilbake med elevene sine og realiserer mer kreative og egeninspirerte prosjekter.

Vitensenteret  
Trondheim  
Oktober 2017  
Roy Even Aune  
Nils Kr. Rossing

---

1. Hegratunet statlige mottak for enslige mindreårige asylsøkere

---

# Innhold

<b>1 Innledning .....</b>	<b>9</b>
<b>DEL I - 3D-printing .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Kort introduksjon til 3D-printing .....</b>	<b>13</b>
<b>3 Menyer og betjening .....</b>	<b>14</b>
3.1 Bli kjent med menyene .....	14
<b>4 Oppstart – Tutorial .....</b>	<b>15</b>
4.1 Kalibrer byggeplata .....	15
4.2 Lading av filament: .....	16
4.3 3D-printing av modell .....	16
4.4 Behandle byggeplaten med heftestoff .....	17
4.5 Utskrift av modell .....	17
4.6 Valg av filament .....	18
<b>5 Gangen i designprosessen .....</b>	<b>19</b>
5.1 Ide .....	19
5.2 Modellering av modellen .....	20
5.2.1 Modelleringsverktøy .....	20
5.2.2 .STL filer .....	20
5.3 “Slicing” .....	20
5.3.1 De viktigste funksjonene .....	21
5.3.2 g-code filer .....	21
5.4 Utskrift av modellen .....	21
<b>6 Programvare .....</b>	<b>21</b>
6.1 CURA – 2.5.0 .....	21
6.2 OpenSCAD .....	23
6.2.1 Oversikt over grafisk grensesnitt for OpenSCAD .....	24
6.2.2 Gangen i designprosessen .....	25
6.3 Sentrale kommandoer i OpenSCAD .....	28
6.3.1 2D-objekter .....	28
6.3.2 3D-objekter .....	29
6.3.3 Transformasjoner .....	30
6.3.4 Bolske operasjoner .....	30
6.3.5 Import av STL-filer i et design .....	31
6.4 Forslag til øvingsoppgaver .....	32
6.4.1 Lag Soma kuber .....	32
6.4.2 Lag en blomsterpotte for kaktus .....	33
6.4.3 La et navnskilt for koffert .....	33
<b>DEL II - Metallstøping.....</b>	<b>35</b>
<b>7 Introduksjon til tinnfigurstøping .....</b>	<b>37</b>

---

7.1	Innleiing .....	37
7.2	Tryggleik .....	37
7.3	Gjennomføring .....	38
7.4	Tips .....	39
7.5	Eksterne kjelder, lenker og referansar .....	40
<b>8</b>	<b>3D-printing av spillbrikker for støping i metall .....</b>	<b>41</b>
8.1	Gipsformer .....	41
8.2	Form av ABS .....	44
8.3	Lag støypeform med silikon .....	46
	<b>DEL III - Laserkutting.....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>Kort introduksjon til gravering og kutting med laser .....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>Programhjelpemidler for laserkutting .....</b>	<b>54</b>
10.1	Utarbeiding av tegninger - fram til ferdig pdf-file .....	54
10.1.1	Håndtegnat design .....	54
10.1.2	Bruk av PowerPoint .....	54
10.1.3	Inkscape .....	56
10.2	Filhåndtering for laserkutting og bruk av FleksiDesigner .....	57
10.2.1	Innledning .....	57
10.2.2	Pdf-filen .....	57
10.2.3	Klargjøring av laserkutteren .....	58
10.2.4	Klargjøring av tegningen for skjæring/gravering .....	60
10.2.5	Utskriftsmenyen og setting av skrive/skjære parametere .....	64
10.2.6	Skjæring og gravering .....	67
10.2.7	Huskeliste for bruk av Laser-kutter: .....	68
10.3	Verktøy for framstilling av lukkede esker .....	69
10.3.1	MakerCase .....	70
10.3.2	Box Designer .....	71
10.3.3	make-a-box .....	72
10.4	Verktøy for framstilling av tannhjul .....	73
10.5	DXF Viewer .....	74
	<b>DEL IV – Hnefatafl.....</b>	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>Vikingspillet Hnefatafl .....</b>	<b>79</b>



---

# 1 Innledning

Heftet er delt inn i fire deler:

- ... om 3D-printing og tegning med OpenSCAD og uskrift ved hjelp av Ultimaker 2+
- ... om ulike teknikker for framstilling av støpeformer og tinnstøping
- ... om laserkutting og framstilling av tegninger for bruk ved laserkutting og gravering
- ... om vikingspillet Hnefatafl

Til sammen skal disse metodene ende opp med vikingspillet Hnefatafl (som forøvrig er umulig å uttale).



---

# **Del I**

# **3D-printing**



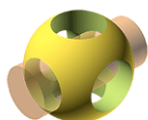
## 2 Kort introduksjon til 3D-printing<sup>2</sup>



Ulike teknologier for 3D-printing har vært tilgjengelig gjennom mange år, men det er først i de seneste årene at slike printere er blitt så billige og pålitelige at de er egnet for bruk til hobbyformål. I dag kan man få en rimelig god printer til under kr. 10 000,-. Skal man imidlertid få noe som gir god kvalitet og fungerer over tid, bør man velge en printer i en noe høyere prisklasse.

Ved Vitensenteret i Trondheim og Skolelaboratoriet ved NTNU har de valgt å satse på Ultimaker 2+ og 3 som har vist å være svært driftssikre og gi god kvalitet dersom man velger et godt *filament* (plastmateriale). Disse er såkalte FDM-printere (Fused Deposition Modeling (FDM)) som fungerer omtrent som en avansert limpistol.

Et plastmateriale som tilføres printerens i form av en tråd, føres til en oppvarmet (typisk 180° til 240°C) dyse (typisk Ø 0,2 - 0,6 mm) som utgjør printerens *skrivehode*. To motorer styrer hodet fram og tilbake med stor presisjon over en oppvarmet plate, eller bord, og legger igjen en tynn tråd av flytende plast. Når et lag er ferdig, senkes bordet slik at skrivehodet kan legge på det neste laget. Slik fortsetter det til hele figuren er skrevet ut. I tillegg til den oppvarmede dysen, består skrivehodet av små vifter som kjøler plasten så snart den er lagt ned på modellen, slik at neste lag kan skrives ut oppå det forrige.



OpenSCAD

For at dette skal være mulig må man lage en tredimensjonal tegning av det som skal skrives ut. Dette gjøres ved hjelp av spesielle tegneprogrammer. Her finnes det mange å velge i hvor flere er gratis og kan lastes ned fra nettet. Noen tegneprogrammer anvender geometriske byggeklosser som kobles sammen i rommet slik at de tilslutt danner den ønskede gjen-

standen. Vi kan kalle disse *grafiske* tegneprogrammer. På den annen side finnes det tegneprogrammer hvor man skriver inn kommandoer som spesifiserer de ulike geometriske figurene, vi kan kalle dette et *symbolsk* tegneprogram. På dette kurset skal vi bruke det symbolske tegneprogrammet **OpenSCAD** som er gratis og gir oss en unik presisjon i utformingen av modellen. Programmet genererer en *STL-fil*.

Når tegningen er klar, må vi bruke et programverktøy som bestemmer hvordan skrivehodet skal bevege seg gjennom de ulike lagene, fra bunn til topp. Her vil vi bruke programmet *CURA* fra Ultimaker til å generere en *g-kode-fil* som er den fila vi mater inn i printerens.



G-code fila lastes så opp til 3D-printeren og utskriften kan starte.

La oss se nærmere på hvordan vi bruker 3D-printeren.

---

2. Aranda, Sean. The A-Z 3D Printing Handbook: The Complete Guide to Rapid Prototyping. Kindle Edition.

## 3 Menyer og betjening

### 3.1 Bli kjent med menyene

- **Av/på-bryteren** finnes på baksiden nederst til venstre

Foran finner vi:

- **SD-kortet**  
SD-kortet brukes for å overføre filer for utskrift
- **Betjeningsmenyen**  
Menyen inneholder flere undermenyer og brukes til å sette opp, kalibrere 3D-printeren og skrive ut filer.
- **Betjeningshjulet**  
Hjulet brukes for å bevege seg i menyene og endre verdier. ENTER gjøres ved å trykke på hjulet.

Under er gitt en oversikt over menyene. Ved oppstart viser displayet tre felter som vist på figuren til høyre.

- **PRINT-menyen**  
Her velges bl.a. hvilken fil som skal printes ut fra SD-kortet.
- **MATERIAL-menyen**  
Her kan man skifte filament (CHANGE) og spesifisere hvilket materiale man bruker (SETTINGS). Vi bruker stort sett PLA eller ABS. Ved å velge RETURN kommer man tilbake til Hovedmenyen.
- **MAINTENANCE**  
Her kan man kalibrere byggeplaten (BUILDPLATE), det kommer vi snart tilbake til. I menyen ADVANCED kan man sette en rekke ulike parametere, mens ved å velge RETURN kommer vi tilbake til Hovedmenyen.



Hovedmeny

PRINT	MATERIAL
MAINTENANCE	

MATERIAL

CHANGE	SETTINGS
RETURN	

MAINTENANCE

BUILD-PLATE	ADVANCED
RETURN	

La oss gi en kort oversikt over de viktigste parameterene vi kan vaiere i ADVANCED-menyen:

- **LED-settings**  
Her kan LED-belysningen inne i printeren settes opp. Normalt lar vi dette lyset alltid være på.
- **Heatup nozzle**  
Her velger vi temperaturen til “skrivehodet”, normalt skrur vi den opp til 220°C for PLA.
- **Heatup buildplate**  
Her velger vi temperaturen til “byggeplata” som er plata i bunnen av skriveren, normalt skrur vi temperaturen opp til 60° – 65°C for PLA.
- **Home head**  
Denne plasserer skrivehodet lengst bak og til venstre.

- **Lower buildplate**  
Byggeplaten senkes til nedre posisjon.
- **Raise buildplate**  
Byggeplaten heves til øvre posisjon (ca. 5 cm under skrivehodet).
- **Inserte material**  
Her skyver man nytt materiale inn i materen på baksiden av skriveren  
*Det er normalt bedre å bruke CHANGE-menyen for å utføre bytte av materiale.*
- **Move material**  
Med denne kan man skyve materialet opp kanalen manuelt  
*Det er normalt bedre å bruke CHANGE-menyen for å utføre bytte av materiale.*
- **Set Fan Speed**  
Med denne kan man sette hastigheten til viftene som er plassert rundt skrivehodet. Normalt vil dette skje automatisk.
- **Retraction og Motion settings**  
Denne parameteren regulerer hvordan filamentet skal oppføre seg under skriveprosessen.
- **Version**  
Oppgir programvarens versjonsnummer.
- **Runtime state**
- **Factory reset**  
Gå tilbake til parametere satt ved levering fra fabrikken.

## 4 Oppstart – Tutorial

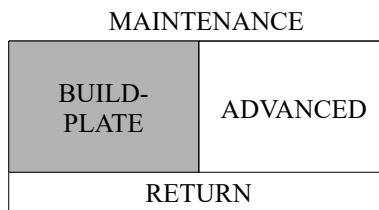
Vi skal nå gå gjennom oppstarten av en utskrift trinn for trinn. Se også <https://ultimaker.com/en/resources/18770-loading-materials> for hjelp til å komme igang.

1. Sett i power-pluggen og slå på utstyret med av/på-knappen bak til venstre.

### 4.1 Kalibrer byggeplata

2. KALIBRER BYGGEPLATA  
Det er særdeles viktig av byggeplata er like langt fra skrivehodet i alle posisjoner.

3. VELG MAINTENANCE-MENYEN  
Kalibreringen gjøres ved å velge menyen MAINTENANCE.



4. VELG BUILDINGPLATE  
Derne velges BUILDINGPLATE-menyen. Man blir så guidet gjennom prosedyren med justering av plata både foran og bak. På siden av printerens henger Ultimaker Calibration Card,

dette brukes til å justere hodet i riktig posisjon ved å smyge dette mellom printerhodet og plata. Plata justeres dels med betjeningshjulet og dels med skruene til venstre og høyre under foran på byggeplata, slik at skrivehodet øver litt motstand mot kortet når dette dras fram og tilbake.

## 4.2 Lading av filament:

### 5. MONTER SPOLE MED FILAMENT

Monter spolen med filament bak på spoleholderen slik at filamentet kommer ut på undersiden til venstre.

### 6. VELG CHANGE-MENYEN

Velg CHANGE i hovedmenyen og følg anvisningene etter som de kommer på displayet. Trykk CONTINUE når du er klar.

### 7. OPPVARMING AV SKRIVEHODE

Før filamentet mates inn må skrivehodet varmes opp slik at filamentet smelter når det kommer fram. Når det er varmt nok ber den deg om mate inn filamentet.

### 8. MAT INN FILAMENTET

På anmodning stikk filamentet opp i materen (på baksiden) fra undersiden. Etter hvert vil du merke at den drar filamentet inn. Trykk CONTINUE når du merker at materen har grepet filamentet, og materen fører filamentet raskt fram til skrivehodet.

### 9. KLAR FOR SKRIVING

Trykk CONTINUE når smeltet filament begynner å strømme ut av skrivehodet.

Printeren vil nå automatisk senke temperaturen i hodet og byggeplata og vente på oppstart av printing.



MATERIAL	
CHANGE	SETTINGS
RETURN	

## 4.3 3D-printing av modell

Det neste som nå skal skje er at filen lastes opp slik at 3D-printingen kan starte.

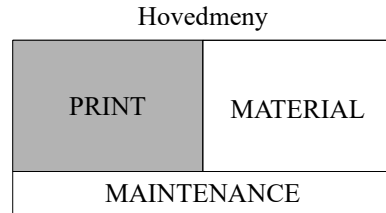


#### 10. SETT INN SD-KORTET

Etter å ha lagt fila som skal printes over på SD-kortet – Dette gjøres på PC'en – så stikkes denne i SD-kortleseren nede til venstre foran.

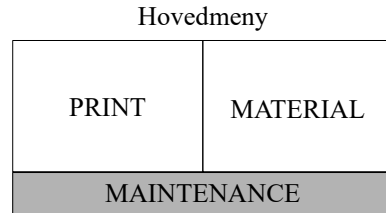
#### 11. VELG PRINT-MENYEN

Velg PRINT-menyen i hovedmenyen og finn igjen fila du skal printe på SD-kortet ved å dreie på betjeningshjulet. Trykk inn hjulet når fila er funnet. Dette vil starte oppvarming av skrivhode og byggeplata så fremt temperaturen er satt i printfila. Dette er ikke alltid gjort og det kan være nødvendig å sette denne manuelt.



#### 12. SETT TEMPEARUREN PÅ SKRIVEHODET

Gå til Menyene MAINTENACE og velg Heatup nozzle. Bruk betjeningshjulet til å heve temperaturen 220°C. Trykk inn betjeningshjulet for å forlate valget.



#### 13. SETT TEMPEARUREN PÅ BYGGEPLATA

Velg "Heatup buildplate" og skru temperaturen opp til 60°C. Trykk inn betjeningshjulet for å forlate valget.

### 4.4 Behandle byggeplaten med heftestoff

Siden byggeplaten er oppvarmet vil filamentet normalt kunne feste seg godt til plata. For å være på den sikre siden, gjør følgende mens plata varmes opp.

#### 14. BRUK LITT STYLING SPRAY

Mens plata varmes opp, spray litt Styling (hårspray) på plata der hvor modellen plasseres (normalt midt på plata). Det er nok med en tre – fire sprut. Alternativt kan man bruke limstift eller maskeringstape. Unngå å spraye skrivhodet.

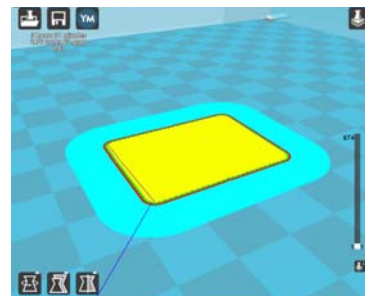
#### 15. RENGJØRING AV BYGGEPLATA

Etter at utskriften er ferdig kan det være lurt å rengjøre byggeplata med en fuktig myk klut, eller rett og slett løsne den og ta den med bort til en vask for grundig rengjøring. Dette gjøres ved å vippe klipsene til høyre og venstre foran på plata framover. Dermed kan plata trekkes ut av de bakre klipene slik at den kan rengjøres.

### 4.5 Utskrift av modell

#### 16. FESTE AV MODELL

Normalt vil printerens skrive ut *et fundament* før den begynner på selve modellen. Dette fundamentet er en tynn skive som ligger utenfor selve modellen og vil hjelpe til å holde den på plass (se figuren til høyre). Denne fjernes lett fra modellen etter at den er ferdig skrevet ut. Det må spesifiseres i programmet CURA at man ønsker denne.



---

#### 17. LØSNING AV MODELLEN UNDER UTSKRIFT

Det hender at modellen løsner under veis, dette er spesielt kritisk ved oppstart. Noen ganger kan det være lurt å holde et øye med utskriften i starten. Om fundamentet bøyes opp kan man presse det ned med fingeren eller sjekke temperaturen.

#### 18. JUSTERING AV TEMPERATUR UNDER VEIS

En kan godt gå inn i MAINTENACE-menyen for å sjekke parameterne, mens man skriver ut. Jeg har opplevd at temperaturen dropper rett etter start. Da er det mulig å justere opp denne mens printeren går.

#### 19. LØSNING AV MODELL NÅR DEN ER FERDIG

Noen gangen kan det være vanskelig å løsne modellen fra byggeplata. I så fall kan man bruke et buet knivblad som stikkes under kanten av modellen og bende forsiktig. Det kan være lurt å vente til modellen og byggeplata er helt kald, da løsner den gjerne lettere.

### 4.6 Valg av filament

Før man i det hele tatt kan begynne å skrive ut noe som helst må man velge et materiale som egner seg til formålet. Ultimaker anvender filamenter av dimensjon 2,85 mm som leveres i ruller på 750 eller 1000 gram.

De fleste bruker PLA siden dette er et materiale som er billig, gir lite avgasser og smelter på relativt lav temperatur (190 – 220° C). Trenger man derimot et kraftigere materiale kan man velge ABS, dette materialet har høyere smeltepunkt (og det anbefales å benytte lokalt avtrekk på printeren.

#### *Valg av PLA*

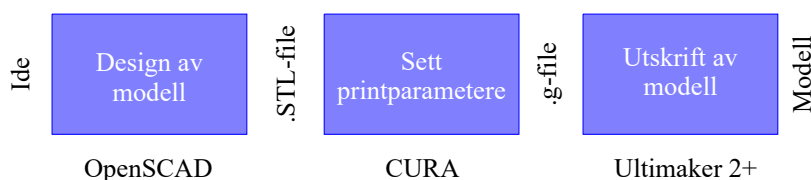
Det finnes en mengde ulike typer PLA fra omtrent like mange leverandører. Foreløpig har forfatteren lite erfaring med ulike typer PLA, men har erfart at den sløvgrå varianten som følger printeren ved levering hittil synes å være den som har gitt best resultat.

3DNet leverer filamenter av ulike typer. Men anbefaler <https://3dnet.no/collections/2-85/products/pla-2-85>. Her finnes det en mengde ulike farger å velge i. Etter en tids bruk av filamenter fra dette firmaet har vi erfart at det blir sprøtt og brekker lett. Dette kan skyldes at filamentet ikke har vært oppbevart forskriftsmessig i lukket beholder. Det sies at PLA blir sprø når den oppbevares i fuktige omgivelser.

Dette kan være svært plagsomt da en bit av filamentet blir stående igjen i materøret som må demonteres for å fjernes.

## 5 Gangen i designprosessen

Under er vist et flytdiagram for gangen i designprosessen.



### 5.1 Ide

Normalt vil man starte med en ide om hva man ønsker å modellere. Det er ikke alle ideer som lar seg realisere like lett:

- **Overheng**

Normalt vil printeren være avhengig av å skrive ut på et fundament. Overheng vil derfor være vanskelig å få til uten spesielle tiltak. Dette kan normalt løses på ulike måter:

- *Del opp modellen*

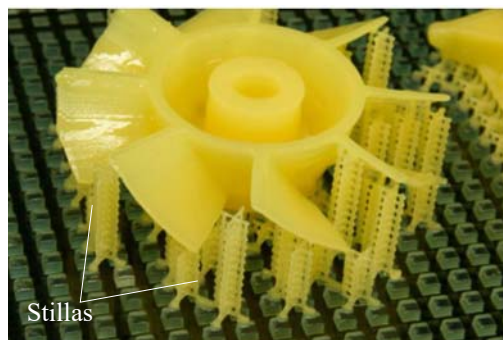
For å unngå overheng kan man dele modellen i to eller flere deler der overhengen starter, for så å lime eller skru delene sammen i ettertid.

- *Snu modellen opp-ned*

Noen ganger vil det være lurt å snu modellen opp-ned, på denne måten kan man f.eks. bygge innover i stedet for utover etter hver som modellen bygges.

- *Bruk av stillas*

I CURA kan man spesifisere at det lages stillaser under veis mens man bygger. Dette vil være støttestrukturer som lett kan fjernes etter at modellen er ferdig. Hos printere med to skriveskriver kan det ene hodet skrive ut stillaset i et materiale som lett kan løses opp av f.eks. aceton eller vann. En må imidlertid være klar over at stillasbygging tar tid<sup>3</sup>.



- **Tynne vegger**

- Det er en god regel at veggene minst må være tilsvarende 3 x tykkelsen på dysen til skriveskriverhodet, i vårt tilfelle betyr dette en minimum veggtykkelse på 1,2 mm. Normalt vil det være lurt å holde seg et stykke unna denne minstetykkelsen. Det viser seg også at det kan være lurt å velge en veggtykkelse som går opp med dysestørrelsen f.eks. 12 mm, 16 mm, 20 mm osv.

---

3. Bildet er hentet fra: [https://timpickup.wordpress.com/2008/05/29/14\\_3d-printers/](https://timpickup.wordpress.com/2008/05/29/14_3d-printers/)

---

## 5.2 Modellering av modellen<sup>4</sup>

Modelleringen av modellen betyr at det må lages en tegning av hvordan modellen skal se ut, både inni og utenpå.

### 5.2.1 Modelleringsverktøy

Det finnes i dag en mengde ulike programmer for tegning av modeller, både grafiske tegneprogrammer og kodebaserte tegneprogrammer. Her er noen forslag:

- **TinkerCAD** (Autodesk) – Enkelt grafisk nettbasert tegneprogram (gratis)
- **123Design** (Autodesk) – Kraftige enn TinkerCAD, grafisk tegneprogram (gratis for kompakte modeller)
- **SketchUp Make** (Trimble) – Populært 3D-tegneprogram spesielt for arkitektur, kun overflatemodellering
- **Fusion 360** (Autodesk) – Avansert program for modellering med mange muligheter, gratis for utdanningsformål, men kan være krevende å lære seg.
- **Inventor** (Autodesk) – Autodesk sitt kraftigste grafiske verktøy for profesjonell bruk – Billigste versjon koster ca. \$4725
- **OpenSCAD** – Et tekstbasert gratis program med rike muligheter. Etter at koden er skrevet inn, framkommer resultatet i et 3D-vindu.

Her er det mye å velge i. Det kan være lurt å finne noe som man er komfortabel med og som er tilstrekkelig avansert så man oppnår det resultatet man ønsker. Det kan være lurt å begynne med noe som er relativt enkelt å komme i gang med.

### 5.2.2 .STL filer

Et vanlig grensesnitt ut av slike programmer er .STL filer. STandard Lithography er et filformat utviklet for å overføre 3-dimensjonale figurer og ble i sin tid utviklet av *3D-systems*. I dette tilfellet bruker vi det kun som et mellomstadium mellom tegneprogrammet og programmet som skal dele opp modellen i lag og bestemme hvordan lagene skal bygges opp.

## 5.3 “Slicing”

Programverktøyet CURA 2.5.0 henter inn .STL-fila og viser denne i et 3D format plassert på byggeplata på 3D-printeren. Programmet leveres av ULTIMAKER, men kan tilpasses ulike 3D-printere. Programmets funksjoner er å forberede modellen for 3D-printing.

---

4. For mer informasjon se: [https://www.ntnu.no/documents/2004699/1265694650/3D-printing+i+skolen\\_veien\\_videre.pdf/d62291c0-4b96-4926-b8ec-2c3b3bf00096](https://www.ntnu.no/documents/2004699/1265694650/3D-printing+i+skolen_veien_videre.pdf/d62291c0-4b96-4926-b8ec-2c3b3bf00096)

---

### 5.3.1 De viktigste funksjonene

Følgende er programmets viktigste funksjoner. Se eget avsnitt for flere detaljer om bruken av CURA 2.5.0

- Plassering av modellen på byggeplata
- Skalering av modellen og beregning av tid for utskrift og ressursbruk
- Valg av fundament for modell (kan velges eller velges bort)
- Velg av fyllprosent av innvendig volum (hul, delvis fylt eller fylt)
- Valg av stillas for overheng (kan velges eller velges bort)
- Kvalitet (hvor detaljert modellen skal være)

For nærmere beskrivelse av funksjonaliteten se avsnitt 6.1. Etter at parameterne er valgt, generer CURA en strategi for utskrift og deler opp modellen i lag som er hensiktsmessig mht. å få et heldig resultatet.

### 5.3.2 g-code filer

Dette er et språk som er utviklet for å styre numeriske verktøymaskiner og inneholder informasjon om hvor skrivehodet skal bevege seg, hvor fort det skal gå og hvilken vei det skal følge. Dessuten spesifiseres når filament skal skyves ut av dysa, når det skal stoppes eller trekkes tilbake for å avbryte eller gjøre et hopp i skriveprosessen.

Denne fila legges så over til SD-kortet som overføres til 3d-printeren.

## 5.4 Utskrift av modellen

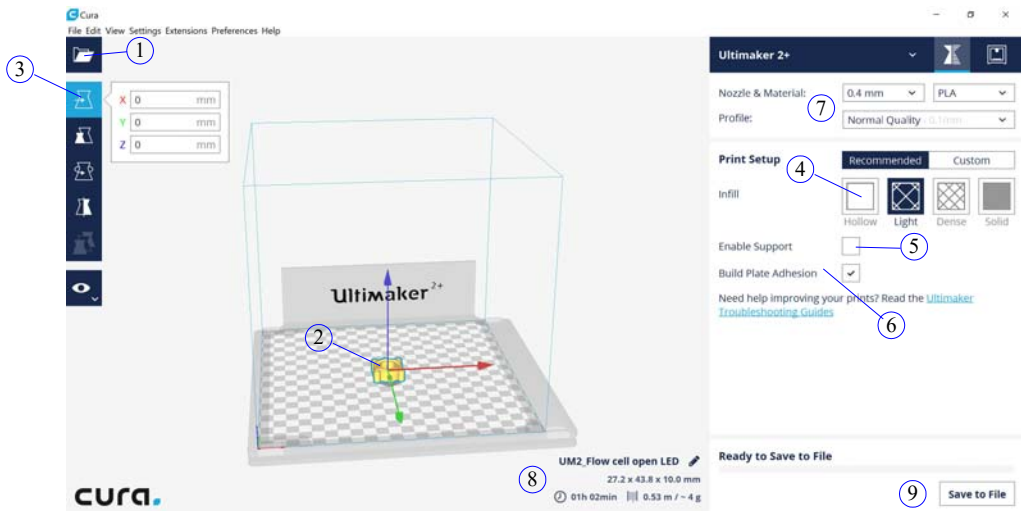
g-kodefila hentes så inn fra SD-kortet og selve utskriften kan starte, se avsnitt 4.3 på side 16.

## 6 Programvare

### 6.1 CURA – 2.5.0

CURA er en programvare utviklet av ULTIMAKER som tilrettelegger et design for å skrives ut på en 3D-printer. Programmet legger opp en strategi for hvordan 3D-printeren skal bevege skrivehodet for at modellen skal få den ønskede form og styrke ved bruk av minst mulig materiale på kortest mulig tid. Den vil også ta hensyn til om det skal skrives ut et fundament, om det skal bygges stillaser og i hvilken grad det innvendige volumet skal fylles.

Videre estimerer programmet hvor lang tid det tar å skrive ut modellen, hvor stor den blir og hvor mye filament som går med til utskriften.



Figuren over viser programmets brukergrensesnitt. Vi skal nå gå gjennom en prosedyre for behandling av en modell som er lagret som STL-file.

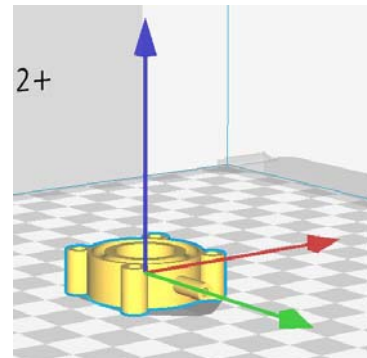
Nummereringen av punktene under henviser til numrene på figuren over.

### 1. Open

Hent fila som skal behandles ved å bruke Open-ikonet. Modellen vil plasseres midt på byggeflata. Merk modellen ved å klikke på den. Et aksekors festes til modellen (se figuren til høyre)

### 2. Inspiser modellen

Bruk hjule på musa til å zoome inn på modellen. Hele koordinatsystemet kan dreies ved å flytte musa med høyreknappen trykket inn. *Sjekk at modellen er plassert på midten av byggeplata og at den står nede på plata.*

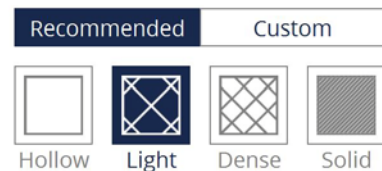


### 3. Move

Bruk *Move-ikonet* til å forskyve modellen slik at den står plassert på byggeplata og ellers er plassert på plata slik du ønsker.

### 4. Infill (Hollow – Light – Dense – Solide)

Velg om volumet inne i modellen skal fylles helt eller delvis av et nettverk. Dersom modellen har store kompakte volumer, så bør det vurderes om det kan tillates redusert innfylling. Om modellen ikke



skal tåle belastning, så vil det spare både tid og materialer dersom man tillater redusert innfylling. En kan i prinsippet også velge helt åpne hulrom, men dette kan medføre at det blir vanskelig å bygge toppen av hulrommet som da vil henge i luften.

#### 5. **Enable support**

Dersom modellen har overheng bør man velge å hake av “Enable support” som betyr at det bygges stillaser der modellen har overheng. Printereren klarer imidlertid inntil 30°



#### 6. **Build plate adhesion**

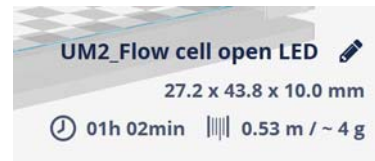
Ved å hake av dette valget vil det lages et fundament rundt modellen slik at den skal feste bedre til byggeplata. Det kan være lurt å velge denne, spesielt dersom modellen er høy og relativt smal.

#### 7. **Nozzel & Material**

Sjekk at det er riktig dimensjoner på dysa (normalt 0,4 mm) og materiale (vanligvis PLA). Dessuten kan man gjerne benytte “Normal Quality”.

#### 8. **Tid, materialforbruk og størrelse**

En informasjonsrute nederst omtrent midt på skjerm-bilde vises et estimat av forventet tid for utskriften, materialforbruk i lengde og gram. Dessuten vises størrelsen på modellen.



#### 9. **Save to file**

Nå er fila klar for lagring. Velg “Save to file” og lagre “g-code” file på ønsket sted. Dersom SD-kortet står i kortleseren, vil den automatisk bli lagt på kortet.

#### 10. **SD-kortet**

Flytt SD-kortet over til 3D-printeren.

## 6.2 **OpenSCAD**

I denne sammenhengen har vi valgt å benyttet programmet OpenSCAD som er et kodebasert tegneprogram for framstilling av 3D-modeller.

Den viktigste fordelen med programmet er:

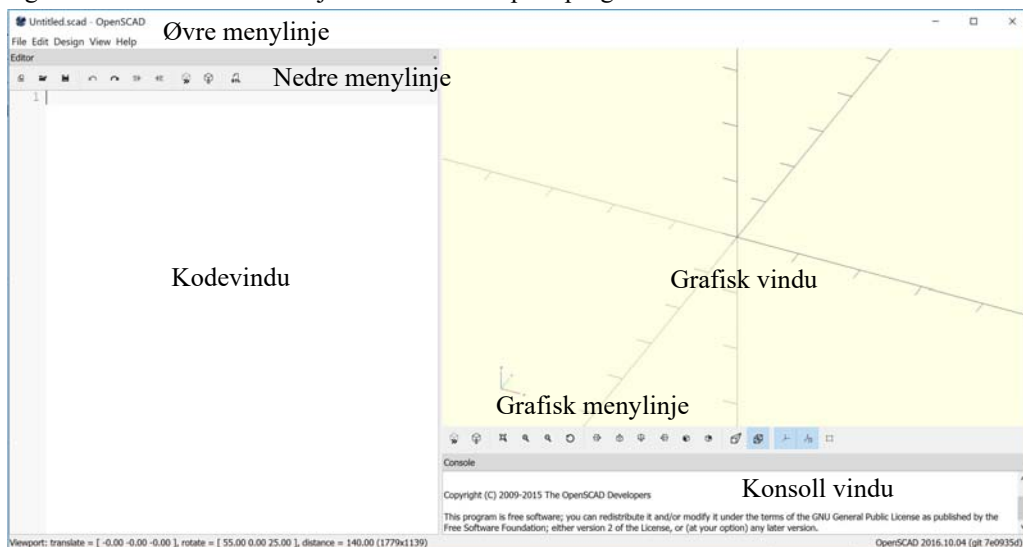
- ... at det er lett å komme igang å bruke
- ... at man har full kontroll over størrelser og plassering siden alle dimensjoner er basert på tall i kommandoene
- ... at det lett å redigere en modell uten å måtte starte helt på nytt
- ... at det er lett å se for seg resultatet av det en gjør, siden en nesten umiddelbart kan se den animerte 3D-modellen

Ulemper med programmet kan være:

- ... at det kan være vanskelig å ha oversikt over koden
- ... at det er lett å rote seg bort i problemer med syntaksen

## 6.2.1 Oversikt over grafisk grensesnitt for OpenSCAD

Figuren under viser introduksjonsbildet når vi åpner programmet.

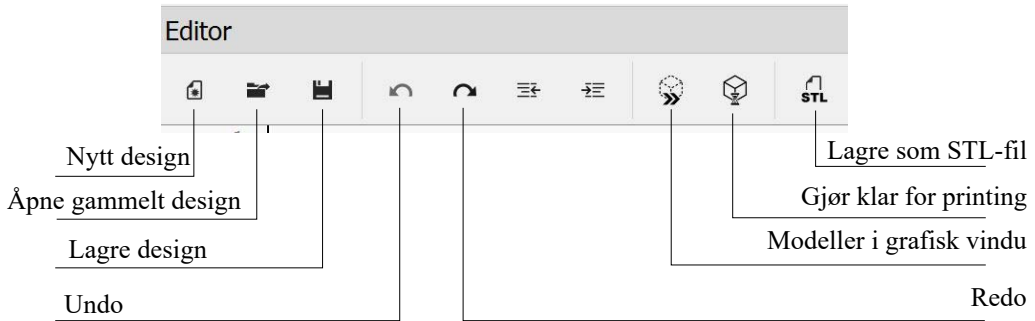


Grensesnittet domineres av følgende:

- **Kodevinduet** – Her skrives koden, som spesifiserer de geometriske figurene som modellen skal bestå av.
- **Grafisk vindu** – Her tegnes den modellerte tredimensjonale modellen ut og her kan vi zoome inn og dreie modellen rundt om vi ønsker det.
- **Konsollvindu** – Her skrives statusmeldinger, disse kan f.eks. beskrive hvor i prosessen programmet befinner seg når den settes til større jobber, eller gi feilmeldinger om noe skulle være feil.
- **Øvre menylinje** – Inneholder kjente nedtrekkbare menyer som **File**, **Edit**, **View** og **Help**. I tillegg inneholder den en **Design** meny.



- **Nedre menylinje** – Denne inneholder noen viktige kommandoer som er hentet ut av nedtrekksmenyene. De viktigste kommandoene er vist på figuren under:



- **Grafisk menylinje** – Denne inneholder kommandoer for å endre synsvinkelen av modellen.

### 6.2.2 Gangen i designprosessen

Det er viktig at man planlegger designet som også nevnt i avsnitt 5.1. La oss se på et eksempel. Vi skal lag et rør som har en indre diameter på 7 mm og en ytre diameter på 10 mm, dvs. at røret har en veggtykkelse på 1,5 mm. Videre vil vi at røret skal ha en lengde på 30 mm. Da går vi fram som følger:

1. Vi orienterer røret slik at det står med aksen i vertikal retning, dermed slipper vi overheng under utskriften
2. Dernest må vi lage en sylinder med rørets ytre diameter
3. Så må vi lage en sylinder med rørets indre diameter
4. Det innerste sylindere er jo lik hulrommet i den første sylindere. For å danne et rør må derfor trekke den indre sylindere fra den ytre.

Dermed er røret konstruert. Det som nå gjenstår er å finne de aktuelle kommandoene som trengs for å gjøre jobben. Her har vi et unikt hjelpemiddel i *OpenSCAD Cheat Sheet* som vi finner ved å velge **Help/Cheat Sheet** fra den øverste menylinja. Da kommer følgende bilde opp med klikkbare referanser.

<b>Syntax</b> <code>var = value;</code> <code>module name(-) { ... }</code> <code>name();</code> <code>function name(-) = ...</code> <code>name();</code> <code>include &lt;- .scad&gt;</code> <code>use &lt;- .scad&gt;</code>	<b>Transformations</b> <code>translate([x,y,z])</code> <code>rotate([x,y,z])</code> <code>scale([x,y,z])</code> <code>resize([x,y,z],auto)</code> <code>mirror([x,y,z])</code> <code>multmatrix(m)</code> <code>color('colorname',alpha)</code> <code>color([r,g,b,a])</code> <code>offset(r,delta,chanfer)</code> <code>hull()</code> <code>minkowski()</code>	<b>Mathematical</b> <code>abs</code> <code>asin</code> <code>atan</code> <code>atan2</code> <code>ceil</code> <code>cos</code> <code>cosh</code> <code>exp</code> <code>floor</code> <code>ln</code> <code>log</code> <code>log10</code> <code>max</code> <code>min</code> <code>pow</code> <code>round</code> <code>sin</code> <code>sinh</code> <code>sqrt</code> <code>tan</code> <code>tanh</code>	<b>Functions</b> <code>concat</code> <code>lookup</code> <code>str</code> <code>chr</code> <code>search</code> <code>version</code> <code>version_num</code> <code>norm</code> <code>cross</code> <code>parent_module(idx)</code>	<b>Other</b> <code>echo(-)</code> <code>for (i = [start:stop]) { ... }</code> <code>for (i = [start:stop]) { ... }</code> <code>for (i = [...]) { ... }</code> <code>intersection_for(i = [start:stop]) { ... }</code> <code>intersection_for(i = [...]) { ... }</code> <code>if (-) { ... }</code> <code>assign(-) { ... }</code> <code>import('...stl')</code> <code>linear_extrude(height,center,convexity,twist,slices,scale)</code> <code>rotate(angle,convexity)</code> <code>surface(file = "...dat",center,convexity)</code> <code>projection(cut)</code> <code>render(convexity)</code> <code>children(idx)</code>
<b>2D</b> <code>circle(radius   d=diameter)</code> <code>square(size,center)</code> <code>square([width,height],center)</code> <code>polyagon([points])</code> <code>polyagon([points],[paths])</code> <code>text(text, size, font, halign, valign, spacing, direction, language, script)</code>	<b>Boolean operations</b> <code>union()</code> <code>difference()</code> <code>intersection()</code>	<b>Modifier Characters</b> <code>*</code> disable <code>!</code> show only <code>#</code> highlight / debug <code>%</code> transparent / background	<b>List Comprehensions</b> <code>Generate [ for (i = range(list) i )</code> <code>Conditions [ for (i = ...) if (condition(i)) i ]</code> <code>Assignments [ for (i = ...) let (assignments) a ]</code>	<b>Special variables</b> <code>\$fa</code> minimum angle <code>\$fs</code> minimum size <code>\$fn</code> number of fragments <code>\$t</code> animation step <code>\$vpr</code> viewport rotation angles in degrees <code>\$vpt</code> viewport translation <code>\$vpd</code> viewport camera distance <code>\$children</code> number of module children
<b>3D</b> <code>sphere(radius   d=diameter)</code> <code>cube(size, center)</code> <code>cube([width,depth,height], center)</code> <code>cylinder(h,r1 d,center)</code> <code>cylinder(h,r1 d1,r2 d2,center)</code> <code>polyhedron(points, triangles, convexity)</code>				

5. Vi velger kommandoen:

`cylinder (h, r|d, center)`

Klikker vi på denne kommandoen vil få utdypet hva de enkelte parameterne betyr. `r|d`, betyr radius eller diameter. Vi velger en hvor vi kan spesifisere radius i toppen, `r2`, av sylinderen og radiusen i bunnen, `r1`, av sylinderen.

`cylinder(h = height, r1 = BottomRadius, r2 = TopRadius, center = true/false);`

Hvor:

`h` = høyden

`r1` = nedre radius

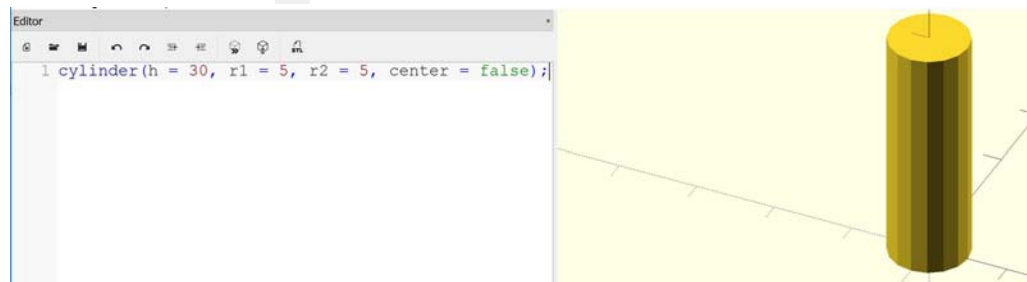
`r2` = øvre radius,

`Center` = angir om den skal stå på planet "false" eller sentreres om origo i aksekorset "true"

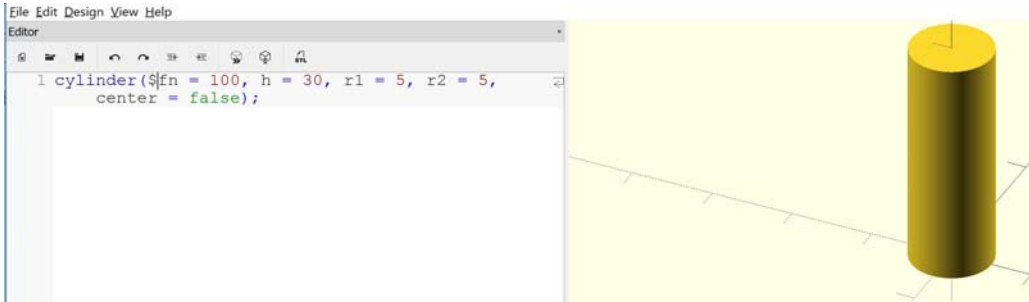
6. Vi legger kommandolinjen inn i kodevinduet med ønskede verdier:

`cylinder(h = 30, r1 = 5, r2 = 5, center = false);`

7. Vi velger så knappen  (Preview) og får opp følgende vindu:



8. Vi legger merke til sylindere består av en rekke flater, vi ønsker at den skal være jevn og fin på overflata. Dette kan vi få til ved å benytte kommandoen `$fn = 100`, som gir oss en jevnere overflate. Dvs. antallet flater blir så stort at overflata ser jevn ut.



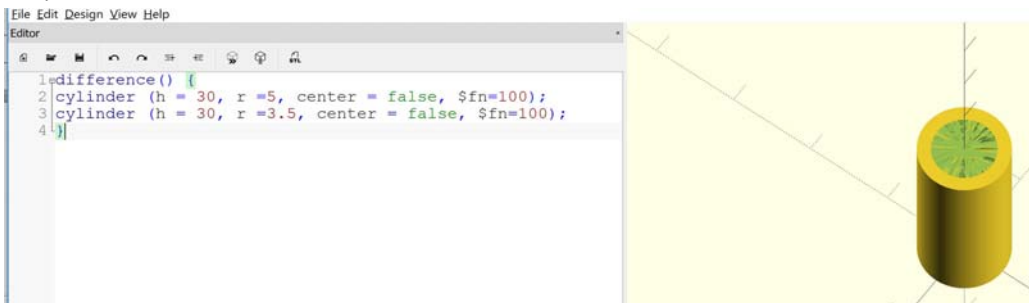
```
cylinder($fn = 100, h = 30, r1 = 5, r2 = 5, center = false);
```

9. Dernest må vi lage oss et nytt rør som er like langt, men har en diameter på 7 mm. Dette skal plasseres på samme sted som det forrige.

```
cylinder(h = 30, r1 = 3.5, r2 = 3.5, center = false);
```

10. Vi ønsker nå å trekke det indre røret fra det ytre. For å få til det må vi sette de to sylindrene inn i en `Difference()` kommando som vist under.

```
difference() {  
  cylinder (h = 30, r =5, center = false, $fn=100);  
  cylinder (h = 30, r =3.5, center = false, $fn=100);  
}
```



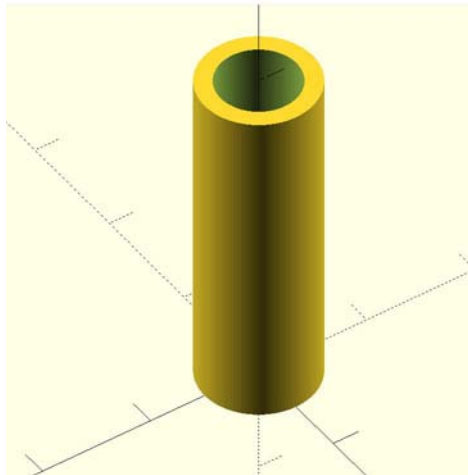
Legg spesielt merke til at sylindere ikke ser helt hul ut. Dette skyldes at den innerste sylindere som skal trekkes fra, bare tangerer endeflatene til den ytre. Dersom røret skal framstå som helt åpent i begge ender, må det indre røret være litt lengre enn ytre. Dessuten må det forskyves litt så det stikker ut i begge ender.

11. Vi forlenger derfor det indre røret og forskyver det litt langs z-aksen (i høyderetningen). For å få til dette bruker vi kommandoen: `translate ([x, y, z])`. Uttrykket blir da:

```
difference() {  
  cylinder (h = 30, r =5, center = false, $fn=100);  
  translate ([0, 0, -1])  
    cylinder (h = 32, r =3.5, center = false, $fn=100);  
}
```

}

Vi legger spesielt merke til translate står foran cylinder-kommandoen som skal forskyves, og den står på samme linje. En semikolon avslutter hver linje.



Dermed er vårt lille eksempel ferdig.

I neste avsnitt skal vi se på noen sentrale kommandoer.

## 6.3 Sentrale kommandoer i OpenSCAD

### 6.3.1 2D-objekter

Vi skal ikke si så mye om 2D-objekter i denne korte gjennomgangen, men kommandoen Text kan være nyttig å kunne dersom man vil lage navneskilt eller lignende.

#### Text

Denne kommandoen kan inneholde mange parametere, her skal vi se på noen ganske få. La oss begynne med et eksempel:

#### Eksempel

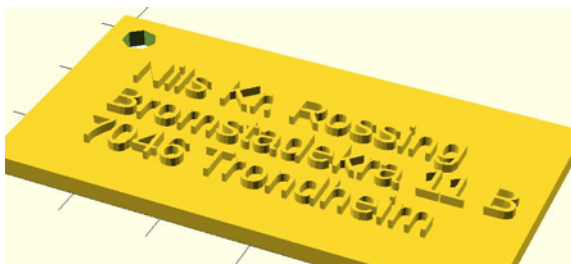
```
translate([7, 18, 2])
{
  linear_extrude(height = 1.0)
  {
    text("Nils Kr. Rossing", font = "Liberation Sans", size = 4);
  }
}
```

```
translate([7, 18, 2]) {}
```

Posisjonerer det som står i klammeparentesen i x-, y- og z-retning

<code>linear_extrude (hight = 1.0) { }</code>	Bestemmer høyden på det som omfattes av de etterfølgende klammeparentesene (teksten).
<code>text("Nils Kr. Rossing",</code>	Skriver ut teksten som står i hermetegn ...
<code>font = "Liberation Sans",</code>	med fonten Liberation Sans ...
<code>size = 4);</code>	i størrelse 4

Flere tekstlinjer kan skrives ut etter hverandre og posisjoneres etter ønske slik at resultatet f.eks. kan bli som vist på figuren til høyre. Teksten er lagt på en flate som er spesifisert med ev. *cube* - kommando. Se avsnitt for hele koden.



### 6.3.2 3D-objekter

#### Kube

```
cube(size = [x,y,z], center = true/false);
```

x, y, z = lengden i de tre retningene (skrives rett inn med komma mellom)

Center = true → origo sentrert i terningen, false → terningen sentrert på xy-planet

#### Kule

Denne kommandoen lager en kule:

```
sphere($fn = 0, r = 1);
```

\$fn = angir hvor finoppdelt segmentene er

r = kulens radius

#### Sylinder eller avkortet kjegle

Med denne kommandoen kan man lage en sylinder, kjegler eller avkortede kjegler:

```
cylinder(h = height, r1 = BottomRadius, r2 = TopRadius, center = true/false);
```

h = høyden til sylinderen eller kjeglen

r = radiusen til sylinderen.  $r1 = r2 = r$ .

r1 = radius i bunnen av sylinderen/kjeglen.

r2 = radius i toppen av sylinderen/kjeglen.

d = diameteren til sylinderen  $r1 = r2 = d / 2$ .

d1 = diameteren, i bunnen av sylinderen/kjeglen  $r1 = d1 / 2$

d2 = diameteren, i toppen av sylinderen/kjeglen  $r2 = d2 / 2$

---

### 6.3.3 Transformasjoner

#### Forskyvning (translate)

Denne kommandoen forskyver et objekt langs x, y og z akse.

```
translate([x, y, z])
```

x, y, z = forskyvning i de tre retningene (skrives rett inn med komma mellom)

#### Roter

Med denne kommandoen kan en rotere et objekt:

```
rotate([deg_x, deg_y, deg_z])
```

deg\_x = dreining omkring x-aksen

deg\_y = dreining omkring y-aksen

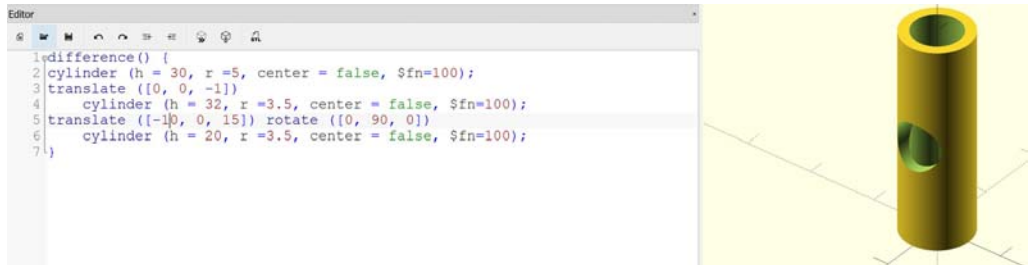
deg\_z = dreining omkring z-aksen

#### Eksempel

Følgende viser hvordan et rør dreies 90° heves langs z-aksen og forskyves langs x-aksen. Når dette røret trekkes fra et større rør vil det dannes et hull som går på tvers som vist på figuren.

```
translate([-10, 0, 15]) rotate([0, 90, 0]) cylinder(h = 20, r = 3.5, center = false, $fn=100);
```

Først forskyves sylindere, så roteres sylindere til slutt defineres sylindere. Alle kommandoene plasseres på samme linje kun med mellomrom. Linjen avsluttes med “;”.



### 6.3.4 Bolske operasjoner

Dette er operasjoner som samler, “union()”, to eller flere objekter til ett objekt, som trekker ett eller flere objekter fra et annet objekt, “difference()”, eller hvor et objekt brukes til å beskjære et annet objekt, “intersect()”.

#### Samling av objekter, “union()”

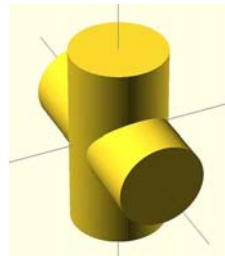
Dersom vi definerer to objekter, f.eks. to sylindere, og lar disse krysse hverandre slik at de danner et kors, så kan denne kommandoen brukes til å samle disse to objektene til ett objekt.

```
unio() { objekt 1; objekt 2; Objekt 3; ... }
```

#### Eksempel

```
union() {  
  cylinder (h = 4, r=1, center = true, $fn=100);  
  rotate ([90,0,0])  
  cylinder (h = 4, r=0.9, center = true, $fn=100);  
}
```

Her ser vi hvordan den ene sylindere roteres slik at den skjærer den andre.



#### Differansen av to objekter, “difference()”

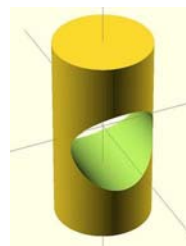
Denne kommandoen gir oss mulighet til å trekke et eller flere objekter fra et annet slik at det dannes hull.

```
difference () { objekt 1; objekt 2; objekt 3; ... }
```

Her vil objekt 2 og 3 ... trekkes fra og danne hull i objekt 1.

#### Eksempel:

```
difference() {  
  cylinder (h = 4, r=1, center = true, $fn=100);  
  rotate ([90,0,0])  
  cylinder (h = 4, r=0.9, center = true, $fn=100);  
}
```

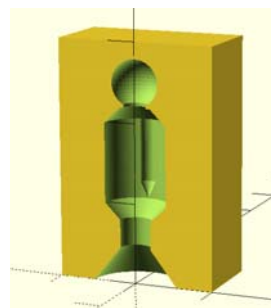


Forøvrig anbefales Cheat Sheet som inneholder mange flere kommandoer og muligheter.

### 6.3.5 Import av STL-filer i et design

Dersom man har en form som en STL-fil, kan man importere denne i OpenSCAD slik at den blir en del av et nytt design. I dette eksempelet har vi lat figuren i STL-fila subtraheres fra et prisme. Dette kan være aktuelt dersom man skal lage former for støping (avsnitt 8.2 på side 44)

```
difference ()  
{  
  translate ([-10,0,0]) cube([20,10,30]);  
  translate ([0,0,-0.1]) import("Brikke 2.0.stl", convexity=3);  
}
```

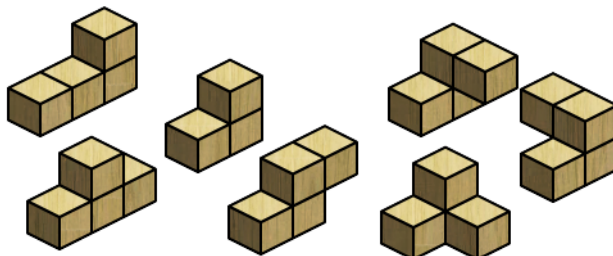


Dersom STL-fila ikke ligger i samme katalog som OpenSCAD-fila kan en inkludere stien i kallet.

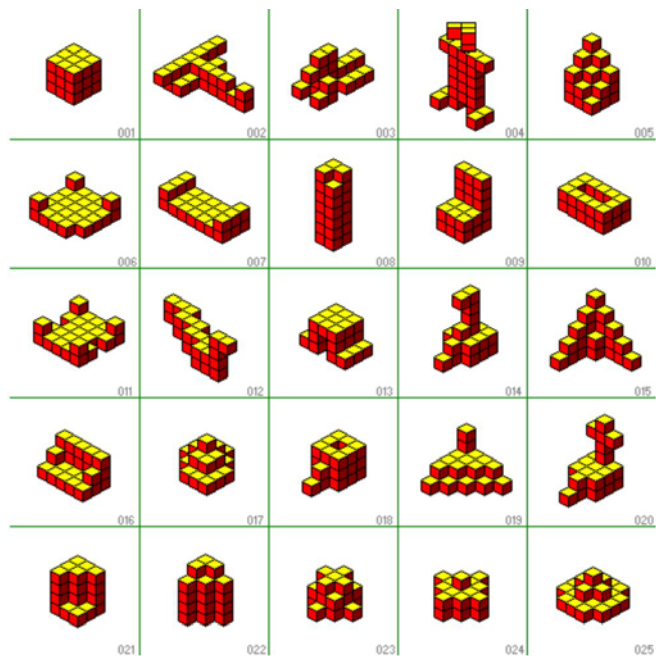
## 6.4 Forslag til øvingsoppgaver

### 6.4.1 Lag Soma kuber

Dette er et puslespil utviklet av den danske poeten Piet Hein. Disse består av sju brikker som er sammenstillinger av 3 og 4 kuber som vist på figuren under.



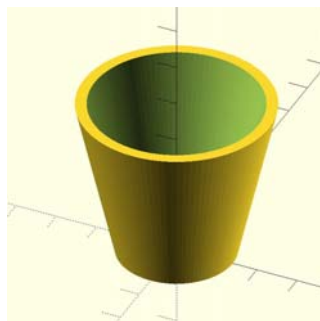
Brikkene kan settes sammen til en mengde ulike figurer i tillegg til en kube med 3 x 3 x 3 kuber. Se figuren under.





### 6.4.2 Lag en blomsterpotte for kaktus

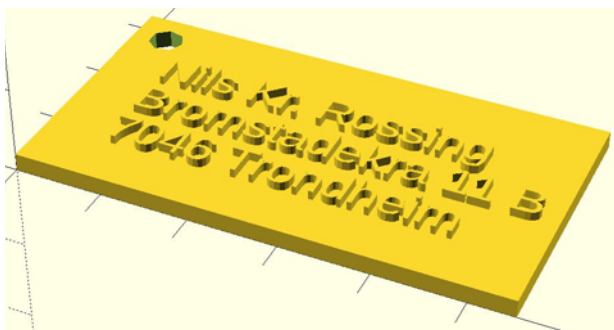
Det skal lages en liten blomsterpotte som vist på figuren til høyre. Ytre diameter øverst skal være 46 mm og ytre diameter nederst skal være 28 mm. Høyden skal være 50 mm og veggtykkelsen 2 mm. Det skal lages et hull i bunnen for drenering av vann.



### 6.4.3 La et navnskilt for koffert

Det skal lages et navneskilt som kan henges til koffert håndtaket med en snor. Navneskiltet skal inneholde navn og adresse, ev. også telefonnummer. Et eksempel er vist på figuren til høyre.

Vi tillater oss å legge ved koden til denne merkelappen slik at elevene kan eksperimentere med teksten og størrelsen på lappen.



#### Kode:

```
difference ()
{
cube(center = false, size = [55,30,2] ); // definerer størrelsen på lappen
translate([4, 26, -1]) cylinder(h = 4, r1 = 2, r2 = 2, center = true/
false); // Legger inn et hull i øvre venstre hjørne
}
translate([7, 18, 2]) // Legger på plass første linje i teksten
{
linear_extrude(height = 1.0) // Øker høyden på teksten
{
text("Nils Kr. Rossing", font = "Liberation Sans", size = 4);
// Bestemmer tekst, font og bokstav størrelse i første linje
}
}
translate([7, 12, 2]) // Legger på plass andre linje i teksten
{
```

---

```
linear_extrude(height = 1.0) // Øker høyden på teksten
{
    text("Bromstadekra 11 B", font = "Liberation Sans", size = 4);
    // Bestemmer tekst, font og bokstav størrelse i andre linje
}
}
translate([7, 6, 2]) // Legger på plass tredje linje i teksten
{
    linear_extrude(height = 1.0) // Øker høyden på teksten
    {
        text("7046 Trondheim", font = "Liberation Sans", size = 4);
        // Bestemmer tekst, font og bokstav størrelse i tredje linje
    }
}
```

Erfaringene viser imidlertid at bokstavene bør være relativt store og fyldige (bold) for at resultatet skal bli tilfredsstillende.

---

# **Del II**

# **Metallstøping**

## **og framstilling av støpeformer**



---

## 7 Introduksjon til tinnfigurstøyping

### 7.1 Innleiing

Støyping av tinnsoldatar er ein morosam, spanande og tradisjonsrik aktivitet for både store og små. Men då det også er mange faremoment knytta til aktiviteten er det særskild viktig at ein har eit sterkt fokus på tryggleik gjennom heile gjennomføringa. Tinnsoldatstøyping er som ei gåve; ein veit aldri kva som er inni forma før ein opnar og ser på resultatet. Kanskje er resultatet akkurat det du ynskja deg, kanskje ikkje. Men sjølv om figuren vert mislukka er det ingen grunn til å bli skuffa; figuren kan støypast om til ein ny ein som *vert* bra. Dette er sjarmen med tinnstøyping, og det er heilt naturleg at enkelte figurar ikkje alltid blir bra. Enkelte figurar er vanskelegare enn andre, men det gjeld å prøve om att og om att til ein er nøgd med resultatet!

Tinn er eit metall som i si reine form smelter ved 232°C – eit smeltepunkt som kan handterast på ein relativt trygg måte. Men reint tinn er dyrt, og har i tillegg ganske dårlege støypeeigenskapar, så støypetinn er oftast ei legering av tinn, bly/sink og antimon/vismut. Bly betrar støype-eigenskapane til tinnet veldig mykje; sink vert brukt i staden for bly i blyfrie legeringar, men då vert legeringa oftast vanskelegare å støype med—og dessutan dyrare.

Vi nyttar to typar metall hjå oss, og det er viktig at desse ikkje vert blanda. Det er dedikerte smeltdiglar til kvar metalltype, og det er også viktig at vi sorterer avkapp og figurar som skal smeltast om slik at metallet ikkje vert blanda. Dersom du er i tvil om kva type ein metallklump er, så legg han saman med casting-metallet. Smelteausar og skjeia til fjerning av slagglag kan nyttast til begge typane metall, berre pass på kakk av mest mogleg av metallrestar frå verktøyet.

- *Casting-metall*  
(65% bly, 2% antimon, 33% tinn), smelter ved 210°C, men må varmast opp til mellom 300 og 350°C før ein heller det i formene. Antimon gjer støypemetallet hardare og figurane vert meir robuste. Dette er det rimelegaste metallet og skal i utgangspunktet nyttast til alle figurane våre. Dette er også det blankaste og finaste metallet.
- *Modell-metall*  
(54% bly, 11% tinn, 35% vismut), smelter ved 138°C. Forsøk syner at det held å varme det opp til mellom 180 – 200°C før det vert helt i forma, skjont om forma tåler det vil ein høgare temperatur være gunstig. Dette metallet er meir viskøst enn det andre, og då er det enklare å få fylt alle krinkelkrokar i forma. Dessuten vil metallet krympe mindre medan det stivnar, noko som gjer at tinnfigurane betre syner detaljane frå mønsteret i støypeforma. Dette metallet er det dyraste, og skal berre brukast til spesial-figurar, t.d. flate figurar som vi lagar til jul, påske og allehelgenskveld.

### 7.2 Tryggleik

Når tinn vert helt i smelteforma bør det normalt vere minst 100°C over smeltepunkt, ellers størknar det for fort. Under prosessen kan det fort sprute varmt støypetinn, så både guide og deltakarar skal ha vernebrillar. Det kan også vere ein fordel om guide brukar hanskar, men dette får kvar og ein avgjere. Underlaget der ein støyper bør vere eldsikkert. Det er ein fordel å ha langerma genser

---

for å verne huden. Dersom føtene er utsett for tinnsprut bør ein også vurdere å ha lange beinklede, og unngå skjørt og shorts. Ein bør også vurdere heile sko (altså ikkje sandalar eller andre sko kor tinnnet kan flyte heilt inntil sokken eller huden i fall ein søler på foten. Bruk sunn fornuft.

Bly er særst helseskadeleg, og støype-tinn kan bestå av opptil 65% bly. Det er difor viktig med tilstrekkeleg avtrekk. Pass på at avtrekket trekker evt. forureina lufta *ut* av rommet i staden for å blåse ho inn mot publikum. Ein bør også ha avtrekk dersom ein skal pusse/polere figuren etterpå slik at ein ikkje andar inn blystøv. Små born bør ikkje handtere tinnfigurar som ikkje er overflatebehandla (t.d. lakkert), ettersom ein kan bli blyforgifta av å ha tinnfiguren t.d. i munnen eller slikke på fingrane etter å ha handtert bly.

Samstundes må det leggest til at bly berre tas opp i kroppen gjennom fordøyinga og gjennom andedrett. Det tas ikkje opp gjennom huden, og så lenge ein vaskar hendene godt etter aktiviteten og etter å ha handtert tinnfiguren er ikkje dette eit problem. Ved så låge temperaturar som vi opererer med (under 400 grader) vil det heller ikkje vere varmt nok til at bly fordampar frå smeltingane, så blygass er heller ikkje eit reelt problem.

### 7.3 Gjennomføring

1. Slå på smeltingane 30 minutt før aktiviteten startar. Set termostaten til ca. 4. Fyll smeltingane med metall.
2. Legg ut støypeformer, hanskar, små og store filer, tenger, talkum og stålbørstar på bordet.
3. Når publikum kjem justerer du termostaten til opp mot 5. Temperaturen kjem til å svinge opp og ned undervegs i aktiviteten, så bruk termometeret flittig og pass på temperaturen.
4. Vis publikum korleis formene ser ut, instruer dei om kva dei skal gjere og presiser at forma består av to delar som høyrer saman. Oppfordre dei til å lukke forma før dei legg ho frå seg, slik at det ikkje vert rot.
5. Vel ei støypeform som ser spanande ut.
6. Sett inn støypeforma med talkum. Dette kan gjerast ved å drysse talkum ned i forma, gni det utover og blåse bort laust talkum etterpå. Eller ein kan ta ein bomullsdott med talkum på, og gni talkum utover i forma.
7. Sett saman forma, legg ei treplate på kvar side, og sett over kliper for å halde forma saman under støying.
8. Sett forma på eldsikkert underlag med hølet for fylling oppover.
9. Bruk skjeia og fjern laget med tinnoksid som ligg på overflata av det smelta tinnnet. Dette vil vi ikkje ha i støypeforma. Berre skrap det til side, eller flytt slagget opp i krukka som står ved smeltingane.
10. Rør også rundt slik at metallet i ausa blander seg.
11. Syt for at publikum og du sjølv har på vernebriller.

- 
12. Bruk ein metallbarre og bank med lette, raske slag på forma medan du heller i tinnnet. Bankinga vil riste på tinnnet slik at det flyt utover og inn i alle krokar i forma. Slutt å bank før tinnnet størknar. Dersom det er kort kø kan borna sjølv få banke medan du heller i tinn; dei må i så fall ha hanskar på. Dersom det er lang kø er det best om du sjølv bankar og heller i tinn, slik at ventetida vert kortare.
  13. Hell tinnnet sakte, jamt og roleg opp i forma. Dersom det kjem røyk opp ur forma er metallet for varmt.
  14. Når tinnnet har størkna kan du gje forma og treplatane til borna (eller til foreldra om det er små born) med beskjed om at dei skal vente ti minutt før dei opnar forma.
  15. Dersom figuren ikkje blei bra kan ein støype om tinnnet til ein ny figur att. Dersom figuren blei bra må ein klippe bort overflødig tinn som har stivna i luftkanalar og påfyllingsholet i forma.
  16. Så må ein pusse på figuren for å få skjult dei områda kor ein har klipt bort noko, og slipe bort «skjøten» som vil gå midt over figuren der dei to formhalvdeler møtes. Slip fyrst med fil, etterpå med sandpapir, og evt stålkost. Til slutt kan ein evt. polere figuren med stållull.
  17. Figuren kan malast dersom ein vil det. I så fall må ein vaske med varmt såpevatn fyrst.

#### 7.4 Tips

- Sørg for å røre i metallet før det tømmes i forma slik at metallblandinga er mest mogleg homogen.
- Pass på temperaturen, og bruk termometer! Tinnnet bør korkje vere for varmt eller for kaldt. Hugs at formane kan verte øydelagde av for høg temperatur.
- Sørg for at det er nok tinn i ausa før du startar å helle; metallet held betre på varmen dersom du har ein god del i ausa.
- Hald smelteausa og utstyr mest mogleg reint.
- Bank varsamt på forma med ein metallbit medan du heller i metallet. Dersom det er litt rørsle i metallet medan det er flytande vil det enklare fylle alle kanalane i forma.
- Ikkje bank for hardt på forma. Då unngår ein tinnnsprut og skadar på figuren. Dersom det er mykje rørsle i tinnnet medan det størknar kan ein få synlege sår i støypen. Det er betre med svake men mange raske slag enn nokre få sterke slag. Dessutan vert fleire av detaljane frå forma synlege når det er mindre rørsle i tinnnet.
- Bruk talkum. Talkum i forma reduserer overflatespenninga til tinnnet og gjer at det flyt enklare ut i forma. I tillegg får ein betre transport av luft og hindrar danning av luftboblar i støypen.
- Ikkje bruk for mykje talkum. Dersom forma er full av laust talkum kan dette blokkere for tinnflyten og viske ut detaljar. Når du er ferdig med å ha i talkum skal ein banke på forma slik at alt laust talkum fell ut. Det er kun det talkumet som fester seg til veggane i forma som skal vere der.

- 
- Dei vanskelegaste formene er dei som har tronge kanalar som tinnnet skal flyte i; der er det lett at tinnnet størknar for fort til at ein får fylt opp alt. Dette kan ein med fordel førebu publikum på. Former som er særst vanskelege kan varmast opp fyrst. Då vil forma vere varm slik at tinnnet ikkje størknar så fort. Ein kan også støype forma fleire gonger etter kvarandre, slik at varmen frå fyrste støyping gjev eit godt resultat andre gong.
  - Fyll heile støypeforma. Det skal vere så fullt at det nesten flyt over. Sjølv om det tinnnet som er øvst i forma skal klippast bort og ikkje er ein del av tinnfiguren vil trykket frå dette tinnnet bidra til at forma lettare vert fylt.
  - For å ta ut figuren bør ein bøye lett på forma og presse figuren ut. Etterpå er det viktig at ein bøyer forma attende igjen, slik at den ikkje avkjølast med bøy i seg. Då blir det vanskeleg å bruke ho neste gong. Ikkje bryt og bøy formane meir enn høgst naudsynt. All bruk av kraft på formane vil over tid slite dei ut.
  - Bruk ei lita fil til å slipe bort kantane frå samanføyinga mellom dei to formhalvdelane.
  - Ein enkel og billig måte å få ei fin overflate på figuren er å polere han med stålkost, sandpapir eller stålull. Pass på å ikkje bruke for stor kraft; tinn er eit mjukt materiale, og kosten kan ødelegge nokre av detaljane frå forma og lage sår i figuren. Målet er å pusse, ikkje ripe opp. Dersom ein ikkje har hobbylakk eller spraylakk tilgjengeleg kan også blank neglelakk brukast.
  - Oppfordre folk til å male figurane eller overflatebehandle dei. Støypinga er berre halve moroa.

## 7.5 Eksterne kjelder, lenkjer og referansar

Demonstrasjon av støypeprosessen:

<http://www.youtube.com/watch?v=RBxiXOcQFeI>

<http://www.youtube.com/watch?v=oOppW67xtLg>

Om smelting av tinnnet og temperaturen:

<http://www.youtube.com/watch?v=3F7UofIm1Cw>

Fordelar med å bruke metall i figurar:

<http://www.youtube.com/watch?v=bvyuaLzP6uo>

«Antiquing» - Den enklaste måten å lage ein tiltalende utsjåande figur:

<http://www.youtube.com/watch?v=fEB6k49cKQg>

Dersom enkelte former er notorisk umoglege å lage kan ein lage ekstra luftkanalar i forma for å enkle luftflyten. Dette bør kun gjerast dersom du veit kva du held på med.

<http://www.youtube.com/watch?v=a5EhDvcbYyY>

Tinnstøyping frå A til Å:

<http://langsveien.no/index.php?side=1&sak=4958>



## 8 3D-printing av spillbrikker for støping i metall

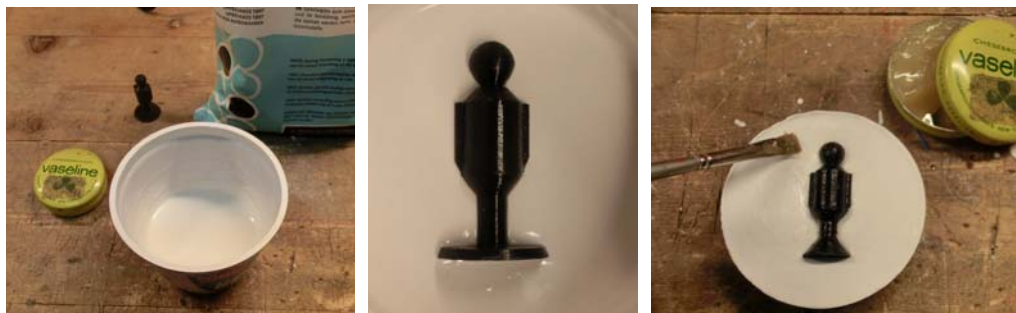
Skal man lage brikker til et spill, vil det ofte være aktuelt å skrive ut mange like brikker. Dette kan være en langvarig jobb. I et slikt tilfelle er det interessant å skrive ut en original som brukes til å lage en negativ støpeform for støping i f.eks. metall.

Vi skal se på framstilling av 3D-printede brikker for framstilling av ulike typer former. Vi har valgt å se på originalbrikker for framstilling av støpeformer med følgende teknologi:

- Gips-former
- ABS-former
- Silikon-former

### 8.1 Gipsformer

En gipsform framstilles ved at man først blander nok gips til å framstille halve forma. Den positive originalen legges ned i gipsmassen slik at akkurat halvparten av figuren kommer under overflata og resten stikker opp av gipsen.



Bildene over viser hvordan to ulike varianter av figuren er lagt ned i gipsen. Gipsen blandes ut i et beger til den blir passe tykk, men fortsatt godt flytende slik at den kan helles over i støpebegeret som godt kan være et yoghurtbeger. Smør figuren godt inn med vaselin for at den lettere skal løsne fra forma. Så legges den ned i gipsen slik at gipsoverflata går kant i kant med en symmetriflate i figuren. Dette er meget viktig. Når gipsen er tørket etter et par timer, kan den tas ut av yoghurt-begeret og den positive figuren pirkes ut med en spiss gjenstand uten at deler av gipsforma blir med

ut. Dette er et kritisk punkt. Her gjelder det å være forsiktig.

Når figuren er ute, kan en pusse litt på overflata av forma før figuren smøres inn med vaselin og legges ned i forma på nytt. Dernest smører en vaselin ut over resten av overflata av gipsforma (bildet over til høyre) før den settes tilbake i yoghurt-begeret.

Så blandes ny porsjon gips som helles over den nederste delen av forma slik at figuren blir helt dekket. Gipsen bør minst stå 5 mm over det høyeste punktet på figuren (se bilde over). Når gipsen er tørket tar man støypen ut av yoghurt-begeret og forsøker å skille de to formene. Dette kan gjøres ved forsiktig å stikke et flattjern inn mellom de to delene av forma. Gjerne på et sted der man vet at det er mye gipsmateriale inn til selve figuren.

Når de to formene er skilt, løsner man originalen fra den delen av forma hvor den sitter fast. Det er viktig at minst mulig av forma sitter igjen på figuren.

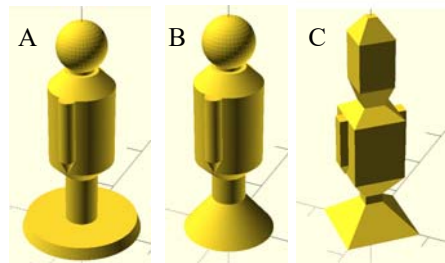


Ved hjelp av en spiss gjenstand eller kniv skjæres det ut kanaler fra utsiden og inn til hulrommet der figuren lå, dette er stedet hvor det flytende metallet skal fylles på. I tillegg kan man lage tynne kanaler som skal slippe ut lufta inne i forma slik at det ikke dannes luftbobler.

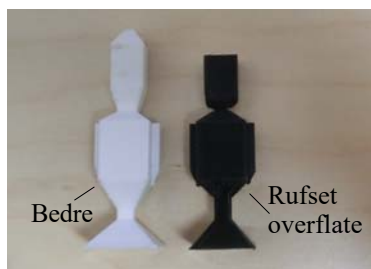
Bildet til høyre viser tre figurer utviklet for framstilling av gipsformer for støping av metall.

Følgende er viktig å passe på:

1. En sylindrisk figur er penere å se på, men stiller store krav til at symmetriplanet til figuren ligger i overflata av gipsen ved første gipsavstøping.
2. For en kubistisk figur (C) er det mindre kritisk mht. å ligge akkurat riktig i gipsen, siden sidene er loddrette der de går ned i gipsen. På den annen side kan en mer kantete figur sitte bedre fast i forma.



- Unngå store flater som stikker langt nede i gipsen (A). Det viser seg at det er lettere å få figuren ut av gipsen dersom f.eks. sokkelen er skråstilt (B og C).
- Unngå for bratte overbygg (se figur til høyre). Selv om 3D-printeren klarer det, blir overflata gjerne temmelig rufsete og fester seg lettere i gipsen, eller krever mye overflatebehandling.



Før støping dekkes innsiden av forma med et tynt lag med talkum. De to halvdelene av forma slås lett mot hverandre slik at overskytende talkum faller av. Dernest brukes små finerplater og klemmer for å presse de to halvdelene sammen (bilde under til høyre).



Gips tåler høy temperatur og kan godt støype på temperaturer på over 300°C. Temperaturen kan måles med digitalt termometer (bildet under til venstre). Det flytende tinnnet tømmes ned i kanalen for påfylling til det renner over og forma er full. Det er viktig at man slår i forma under påfylling slik at ev. luftbobler kommer ut.



Etter påfylling står forma til avkjøling i et par minutter før den åpnes og man kan studere resultatet.



Resultatet ble vellykket selv om litt av forma ble igjen på den originale PLA forma. Det var heller ikke mye luftbobler å se.

## 8.2 Form av ABS

Denne løsningen er mer elegant enn framstilling ved hjelp av gipsformer. I dette tilfellet 3D-printes den positive figuren som tidligere. Når denne er ferdig, så legges den inn i et kompakt prisme i design programmet og påføres støpekanal og luftkanaler som vist på bildet til høyre. Selve figuren skrånstilles og trekkes fra selve forma (prisme) slik at vi får et hulrom (negativ) der figuren sto.

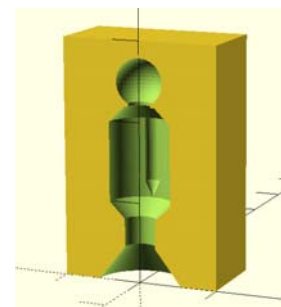
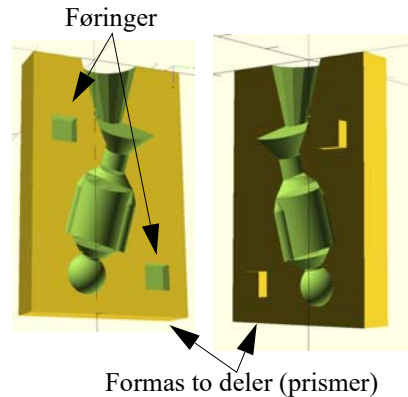
Siden originalfiguren er symmetrisk om en flate, legges denne flata i planet mellom de to delene av forma. Dette er lettere enn hos gipsforma siden vi har større kontroll med plasseringen av figuren. Legg også merke til de to *føringene* som er lagt nær hjørnene på forma, disse skal sørge for at de to delene er riktig plassert under støpingen.

Dersom man har figuren som en STL-fil, kan man importere denne i fila som definerer prismet som skal bli til forma:

```
difference ()
```

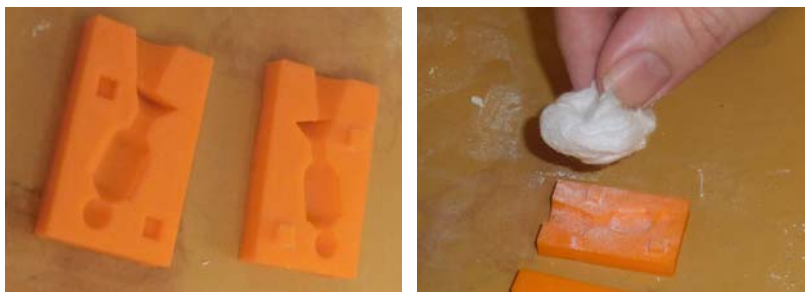
```
{  
  translate ([-10,0,0]) cube([20,10,30]);  
  translate ([0,0,-0.1]) import("Brikke 2.0.stl", convexity=3);  
}
```

Pass på at figuren ikke har horisontale flater eller flater som danner hulrom når figuren står i påfyllingsposisjon. Dersom slike likevel finnes, bør man sørge for å lufte ut disse med en kanal til utsiden av forma.



---

Bildet under viser hvordan forma ble etter 3D-printing.



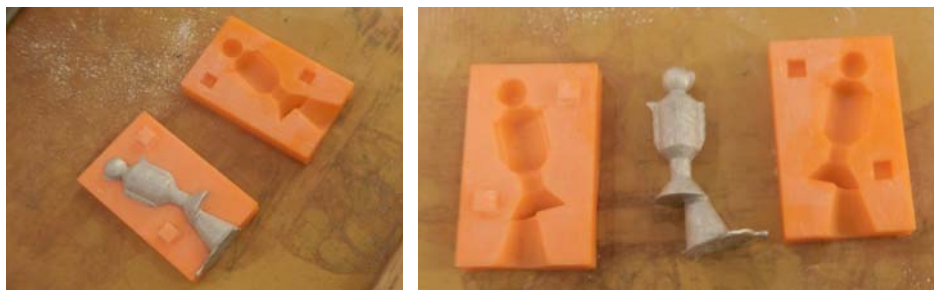
Vi er nå klar til støyping. Siden ABS printes med en temperatur på ca. 230°C, bør vi holdes godt under denne. Dvs. at vi må velge et metall med lavt smeltepunkt. Vi bruker derfor modellmetall som har et smeltepunkt på 138°C<sup>5</sup>, og velger å støype to ganger med en temperatur på henholdsvis 180°C og 200°C for å se hvordan det går.

Før formene legges sammen må vi sørge for å “dynke” innsiden av forma med talkum.

Dernest presses forma sammen med klyper før det flytende metallet helles i.



La forma kjøle før de to delene løftes fra hverandre. Forma er stiv og det viste seg å være lett å få delene fra hverandre. Om nødvendig tåler den at man bruker litt kraft. Det var også lett å få ut den støpte figuren.



---

5. Sløyd-detajler: <https://www.sloyd-detajler.no/sortiment/tre-metallsloyd/plat-folie-stopemetall/tinn/modellmetall-0974>



Det var liten forskjell å se på resultatet og forma etter at vi støpte med 200°C. Det synes som om begge deler fungerer tilfredsstillende. Det er imidlertid rimelig å tro at forma slites raskere ved støyping med 200°C enn med 180°C. Så vi vil anbefale 180°C dersom forma skal brukes mange ganger.

### 8.3 Lag støypeform med silikon

Fordelen med å bruke silikon er at forma blir myk, noe som gjør det enklere å få ut originalfiguren av forma. Vi bruker to-komponent silikon<sup>6</sup> til dette formålet.

#### Former laget i ett stykke

Som tidligere, designer og 3D-printer vi originalfiguren som vi bruker for å lage forma. Denne gangen vil vi forsøke å lage forma i ett stykke. Dvs. vi må stole på at forma er så fleksibel at vi kan dra ut figuren uten å skade den. Dette er noe vi også bør tenke på når vi konstruerer originalfiguren.



Vi har valgt å bruke en liten plastboks med lokk, ca. 700 mm høy med en diameter på ca. 35 mm, som er passe stor for vår modellbrikke.

Vi går fram på følgende måte:

1. Vi skjærer bunnen av boksen med en båndsag eller en skjærfil. Pass på å skjær så tett inntil bunnen som mulig.
2. Dernest lager vi et hull (Ø2 mm) under foten til figuren for å kunne skru inn en liten skrue (2,5 x 12 mm). Vi lager et lignende hull i sentrum av lokket til boksen.
3. Så skrur vi modellfiguren fast slik at den står ut fra innsiden av lokket (se bildet til høyre). Fordelen med en slik løsning er at figuren er festet til lokket og ikke svever fritt i den bløte silikonmassen. Dessuten kan vi bruke skruen til å få tak i modellfiguren når vi skal dra den ut.
4. Dynk modellfiguren med talkum før lokket med figuren skrues inn i boksen. Nå er modellfiguren klar til å dekkles med silikon.



6. Sloyd-detaljer: <https://www.sloyd-detaljer.no/sortiment/skape-dekorere/silikon-gummi-stopeplast/silikon-gummi-2911>

5. Vi bruker to-komponent silikon som må blandes med like vektdele blå *base* og hvit *katalyst (herder)*. Mengdeforholdet viser seg å være ganske kritisk. Fordelingen bør være innenfor  $\pm 5\%$  av like mye av hver del. Ved avvik fra dette vil silikonene enten bli for seig og klissete eller for hard. Det betyr at man må bruke vekt når man måler opp de to komponentene. For vår lille boks kan vi helle opp ca. 27 g av hvert stoff. Bland deretter komponentene godt med en rørepinne slik at blandingen blir jevnt farget.



6. Så helles silikonene over figuren slik at boksen fylles opp. Fjern luftbobler ved å riste og dunke på boksen. Etter ca. et kvarter begynner massen å stivne og skal være herdet etter en drøy time. La den gjerne stå natta over før den brukes til støping.

7. Etter at silikonmassen er størknet, løsnes skruen og lokket kan skrues av. Dernest skrues skruen inn i foten til figuren og brukes til å løsne og trekke den ut av forma. For å lykkes med dette må følgende være oppfylt:

- Figuren må være noenlunde jevntykk uten “mothaker” som fester seg i silikonforma
- Figuren må være tilstrekkelig robust til å tåle draget uten å knekke

Vi erfarte det var vanskelig å dra ut figuren vår. Vi måtte for det første klippe opp og fjerne plastboksen rundt slik at silikonforma fikk anledning til å tøye seg ut i bredden. Dernest gikk figuren av i det tynne partiet over foten slik at skruen måtte skrues inn på nytt lenger inn. I tillegg måtte vi tøy forma med fingrene slik at kroppen kunne komme ut. Hele operasjonen kan sammenlignes med en trang fødsel. En må heller ikke glemme at den støpte figuren også må gjennom den samme harde fødselen når den skal ut av forma.

Vi erfarte også at PLA dynket i talkum ikke fester til silikonene, men slipper lett. Videre at silikon er svært fleksibel og tåler mye før den ev. ryker.



8. Ta litt talkum og dryss inn i forma blås og rist forma slik at talkumet fordeler seg på innsiden av forma. Nå er den klar for støping.
9. Siden forma kun tåler temperaturer under  $250^{\circ}\text{C}$  velger vi å bruke modellmetall med en støpetemperatur på  $180^{\circ}\text{C}$  (modellmetall har et smeltepunkt på  $138^{\circ}\text{C}$ ).

## Former laget i to stykker

Dersom vi lager forma i to stykker som kan løftes fra hverandre er det lettere å ta både modelloriginalen og den støpte figuren ut av forma. Dette forutsetter imidlertid at vi overvinner noen utfordringer på veien.

### 1. *Passende beholder*

Først må vi skaffe en passende eske eller beholder som vi kan bruke for å støpe forma i. Denne bør være slik at det er mulig å få ut begge delene av forma uten å ødelegge den. Her er tre krav til beholderen som bør være oppfylt:

- Kantene bør skrå utover så det er mulig å få ut forma uten å ødelegge beholderen, med mindre vi ofrer den.
- Beholderen må være laget i et materiale som ikke hefter til silikon, plast synes å fungere godt.
- Størrelsen må passe til den aktuelle figuren slik at figuren får tilstrekkelig pass på alle kanter, samtidig som vi ikke bruker unødig mye dyr silikon.



### 2. *Holder for modellfigur*

Dersom man slipper modellfiguren ned i den våte silikon vil den synke til bunns. Vi varmer derfor opp en knappenål med en fyrstikk og stikker denne forsiktig inn i originalfiguren (bilde til høyre). Etter kort tid vil den feste seg og vi har et feste som gjør det mulig å holde figuren i posisjon i overflata av silikon.

I tillegg har vi laget noen små kjegler som vi kan slippe ned i silikon som styring for de to delene av forma. På grunn av utformingen flyter disse i silikon.



### 3. *Bland så ut silikon* ...

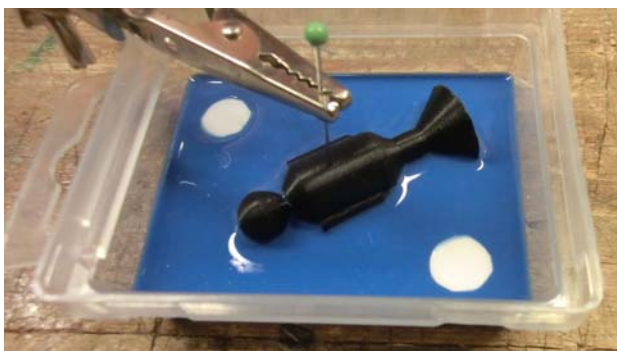
og hell den over i beholderen slik at det blir plass til å dyppe modellfiguren halvveis ned i silikonmassen uten at den kommer for nær bunnen. Rist forma med den flytende silikon slik bobler kommer til overflaten. Slipp de to kjeglene ned i forma med spissen ned.

### 4. *Nedsenkning*

Senk så modellfiguren ned i silikonmassen slik at den blir liggende omtrent akkurat halvt nedsenket som vist på figuren under.

### 5. *Herdning*

Etter noen minutter vil silikon herde og man kan fjerne holderen. La den stå noen timer før neste lag med silikon helles over.





### 6. Innsmøring

Nå kommer vi til et kritisk punkt. Hva skal vi smøre inn overflata av den nederste delen av silikonforma med for at de to delene ikke skal “smelte” sammen? Et lag med *talkum* viste seg å være mislykket, da de to delene var umulig å skille. Å dekke overflata med et tynt lag med vaselin viste seg imidlertid å fungere godt. Det er spesielt viktig å smøre godt langs kantene av forma slik at en kommer til for å skille den.



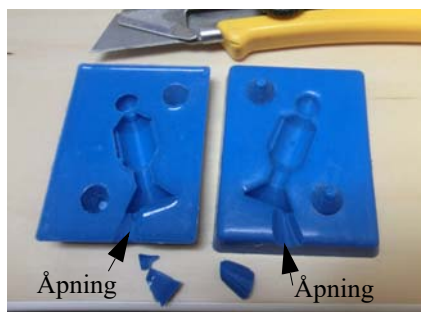
### 7. Neste lag

Deretter blandes og fylles beholderen med silikon slik modellfiguren er godt og vel dekket. Det er viktig silikonlaget er tilstrekkelig tykt slik at den klarer å holde det flytende metallet på plass.



### 8. Adskillelse og fyllehull

Etter at det andre laget er herdet, løsnes de to delene fra hverandre og modellfiguren tas ut. Det viste seg at vaselin fungerer perfekt slik at de to delene falt fra hverandre uten problemer. Derneft skjæres det en åpning i begge delene av forma som det flytende metallet skal helles ned i. Det er viktig at åpningen plasseres slik at tinnet lett kan nå ut til alle deler av forma. Til områder som ligger “bak en hindring” bør man lage luftkanaler.



### 9. Støping

Forma klemmes sammen med støtteplater og klemmer og tinnet varmes opp til drøyt 200°C, kontroller med termometer. Kakk på forma mens tinnet fylles i. Dette er viktig for at tinnet skal flyte ut i alle kriker og kroker slik at en unngår luftlommer.



### 10. Åpning og pussing

Etter kort tid kan forma åpnes og den støpte figuren kan tas ut. Deretter klipper man bort det som ligger i fyllåpningen og files foten flat. Resten pusses med en fin stålbørste.





---

# **Del III**

# **Laserkutting**



## 9 Kort introduksjon til gravering og kutting med laser

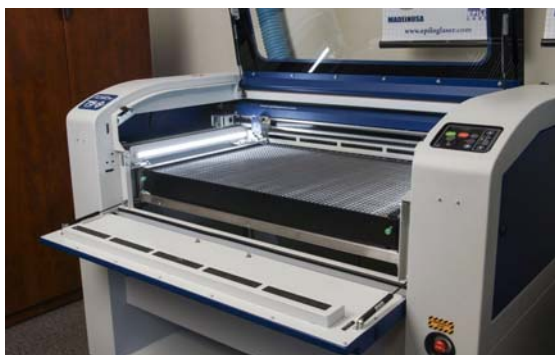
Laserkuttere har vært i bruk i en årrekke og er fortsatt dyre maskiner. Det er imidlertid lansert billigere versjoner som er i en prisklasse som gjør det mulig for mindre firma og privatpersoner å anskaffe slikt utstyr. Glow Forge (<https://glowforge.com/>) lanserte for et par år siden en 40 W laserkutter til en pris på under \$ 3000.

Riktignok bør man i tillegg investere i et anlegg for håndtering av avgassene fra skjæreprosessen.

Inkludert frakt og toll vil den derfor komme seg på ca. kr. 45 000,-. Imidlertid kan man spørre seg om firmaet er istand til å levere det de lover. Skolelaboratoriet ved NTNU bestilte en slik maskin i november 2016 og ble lovt at den skulle leveres på forsommeren 2017, senere ble leveringstidspunktet utsatt til november 2017, for så i oktober å bli utsatt til mars 2018.



Glow Forge - 3D laser cutter



En laserkutter består av en kraftig laser som genererer pulser med lys<sup>7</sup> med høy effekt. Laseren ledes til et skrått speil og en linse som fokuserer lyset ned på arbeidsstykket som vanligvis er plater av forskjellige materialer. Laserstrålen er så energirik at når den treffer en finer- eller akrylplate, så vil den kunne skjære et spor tvers gjennom. Ved hjelp av to motorer kan speilet og dermed også laserstrålen, forflyttes til en hvilken som helst posisjon på bordet og på den måten

skjære ut ønskede profiler med stor nøyaktighet og høy hastighet. Ved å justere effekten og hastigheten, kan den alternativt grave eller skjære i platene. Selv grånyansene i bilder kan komme tydelig fram i graveringen.

Ved Vitensenteret i Trondheim har vi en *Epilog Fusion laser* med maksimal effekt på 120 W. Bordet kan ta arbeidsstykker (plater) på drøyt 70 x 100 cm og kan skjære plater av tre eller plast på opptil 10 mm tykkelse. Et programverktøy tillater at man kan skjære eller grave på grunnlag av PDF-filer framstilt av et hvilket som helst tegneprogram. Også andre filformater kan anvendes.

Intensjonen med laserkutteren og verkstedet ved Vitensenteret i Trondheim er at det på sikt skal bli en ressurs for skolen i nærområdet til Vitensenteret. Siden nesten alle de regionale sentrene pr. i dag er en slik laserkutter, vil teknologien være tilgjengelig for et stort antall skoler og elever.

Vi skal i fortsetningen av denne delen beskrive hvordan vi kan bruke laserkutteren til skjæring og gravering av plater av ulike slag.

---

7. Kan også være elektromagnetisk stråling utenfor den synlige delen av spekteret.

---

## 10 Programhjelpemidler for laserkutting

### 10.1 Utarbeiding av tegninger - fram til ferdig pdf-file

Den kanskje enkleste måten å overføre tekst og tegninger på er som pdf-filer. Portable Document Format (PDF) ble utviklet av Dr. John Warnock ved Adobe i 1991 og er etter hvert blitt dominerende med hensyn til å overføre dokumenter mellom ulike brukere, som i utgangspunktet, bruker ulike tekstbehandlingsprogrammer. Pdf-filer kan framstilles av de fleste tekstbehandlere. Her er noen enkle alternativer for å frambringe pdf-filer til vårt formål, det finnes selvfølgelig mange flere:

- Det lages et håndtegnet design med papir og blyant (tynn tusj) som skannes inn som et dokument og lagres i pdf-format
- Designfilen hentes som en ferdig pdf-file fra nettet. Her finnes det en mengde ulike ting som er klar for å laserkuttes
- Man lager tegningen i et tegneprogram og lagrer den som en pdf-file.
- Man tegner designet i programmet FlexiDesign som leveres sammen Epilog maskinene.

Vi skal her se nærmere på hvordan vi kan bruke håndtegnede tegninger og PowerPoint for å lage enkle design.

#### 10.1.1 Håndtegnet design

Det er fullt mulig å tegne konturene for skjæring for hånd. En kan da gjøre følgende:

- Merk opp konturene med tynne tydelige streker. Bruk gjerne sort tusj eller en kulepenn.
- Scan inn tegningen ved hjelp av en scanner og velg sort/hvitt, dvs. ikke farger eller gråtoner siden dette handler om skjæring
- Lagre resultatet som pdf-fil
- Hent opp tegningen i FlexiDesigner
- Høyreklikk på tegningen og velg “unmask” om mulig. Marker det øverste laget i tegninga ved å klikke på den svarte flaten som framkommer og trykk “Delete” (se side 61).
- Velg å skrive ut som raster, men sett hastighet og effekt som ved skjæring

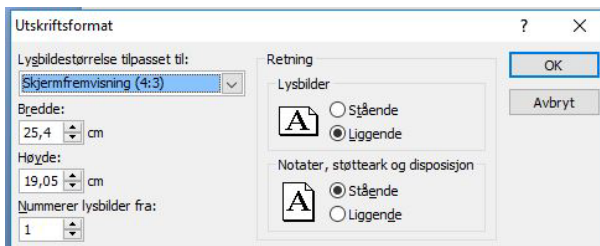
Det er viktig å velge sort/hvitt og ikke farge eller gråtone. Det siste vil gi usynlige punkter over arket som også vil bli gravert eller skåret.

#### 10.1.2 Bruk av PowerPoint

Som eksempel har vi benyttet en relativt gammel versjon av PowerPoint, versjon 2007, for å demonstrere mulighetene. Også Word kan brukes som tegneverktøy, men kan være litt mer krunglete å bruke siden man må sørge for at tegnelementene ikke fester seg til linjene i tekstedtoren. Dette avsnittet er ment å vise hvor lav terskelen kan være for å komme i gang, ikke som eksempel på det optimale tegneverktøyet.

## Start med et hvitt ark med ønsket størrelse

Når du åpner PowerPoint så får du gjerne opp et hvitt ark ev. med tekst-rammer. Dette er fint å arbeide med, men fjern tekststrammene. Dersom man ønsker et ark som er større en standard lysbilde, så kan gå inn under fanen “Utforming” og velge utskriftsformat. Da får man opp en menyboks hvor man kan velge ulike arkstørrelser (se figur til høyre).



## Tegnenemenyen

Tegnenemenyen finner man på menylinjen når man f.eks. befinner seg i fanen “Hjem”.



1. Til venstre kan man velge mellom en rekke skalerbare former eller kommandoer for strektegninger.
2. I midten har man mulighet til å flytte objekter foran eller bak hverandre slik at de helt eller delvis kan overskygge hverandre. *Dette kunne ha vært en nyttig kommando dersom man vil maskere ut deler av konturen. Erfaringen viser imidlertid at laserkutteren også vil kutte/gravere linjer eller tekst som er skult i PowerPoint.* Dette trenger imidlertid ikke være noe problem dersom de ekstra konturene faller i områder som likevel vil bli skåret bort.
3. De øvrige menygruppene vil vi foreløpig se bort fra

Når man først har tegnet et objekt og markerer dette så får man opp en ny meny på menylinjen. Ved å velge “Format” får man opp følgende meny:



4. I område 4 finner vi to viktige undermenyer
  - *Rediger figur* – Gir mulighet til å redigere på punktene i en figur.
  - *Tekstboks* – Gir mulighet til å skrive inn frittstående tekst.
5. **I område 5** kan man blant annet sette tykkelse og farge på linjer og flater. Dette kan være av interesse dersom man ønsker å tilordne ulik farge forskjellig betydning mht. graveringsdybde.

- 
6. **I område 6** kan teksten gis ulik utforming.
  7. **Område 7** er et nyttig område som gir mange muligheter:
    - *Juster* – gir mulighet til å justere ulike objekter i forhold til hverandre, for eksempel legge dem på linje. Her kan en også la objektene feste seg til rutenettet slik at de kan posisjoneres nøyaktig i forhold til hverandre.
    - *Grupper* – Gir mulighet til å gruppere objekter og oppløse grupper av objekter.
    - *Roter* – Gir mulighet til å rotere og speile objekter
  8. **Område 8** har en meget nyttig kommando som gir mulighet til å sette nøyaktige mål på objekter i x- og y-retning samt rotere et vilkårlig antall grader.

### **Import av pdf-filer**

Import av pdf-filer kan i enkelte tilfeller være svært nyttig da dette kan gi mulighet til enkel editering av filene. Nyere versjoner (fra utgave 2010) av PowerPoint har denne muligheten, men ikke utgave 2007.

### **Import av tannhjul**

For å kunne skrive ut et objekt må det lagres i et vektorformat og ikke bit-map. Tannhjulprogrammet lager såkalte DXF-filer som ikke lar seg importere i PowerPoint utgave 2007. Det er ikke brakt på det rene om disse filene kan importeres i nyere versjon av PowerPoint.

DXF-filer er vektoriserte filer for utveksling av tegninger (Drawing Exchange Format) som gjerne brukes i forbindelse med CAD-systemer. Det finnes gratis programvare for å vise slike filer<sup>8</sup>.

Umiddelbart ser det ikke ut til at DXF-filer kan importeres til PowerPoint, men må importeres rett inn i FlexiDesigner eller til et annet tegneprogram f.eks. FrameMaker (Adobes tekstbehandler).

#### **10.1.3 Inkscape**

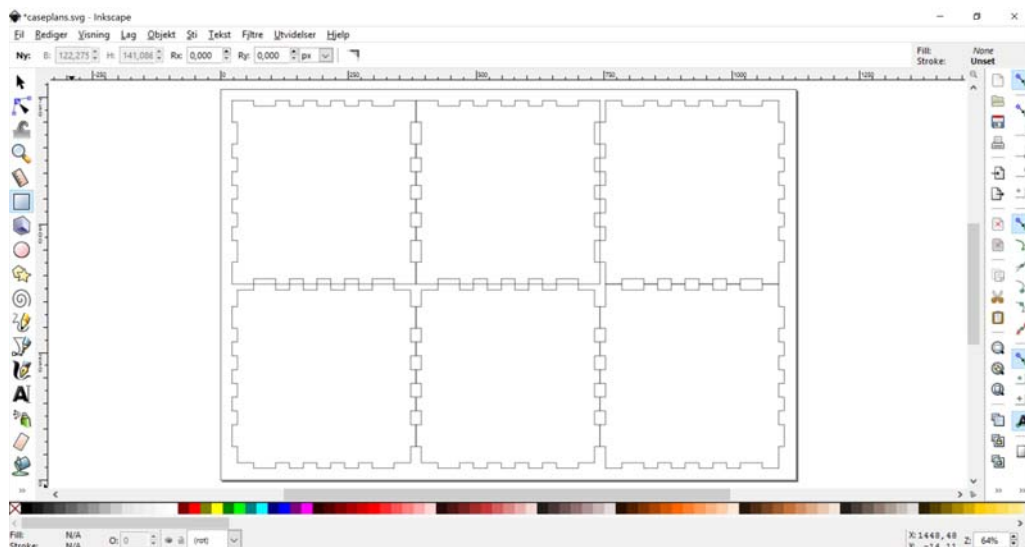
Dette er et gratis allsidig tegneprogram. Programmet kan lastes ned fra: <https://inkscape.org/en/>  
I denne sammenheng skal vi kun vise hvordan det kan brukes til å konvertere svg-filer (scalable vector graphic – file) til pdf-filer.

---

8. For eksempel. <http://www.dxfviewer.com/>



Figuren under viser arbeidsflaten med menyer:



Konverteringen gjøres enkelt ved at man åpner svg-fila (Fil/Åpne) og lagrer den som (Lagre som ...) en pdf-fil. Dermed kan den åpnes i FleksiDesigner.

Programmet kan selvfølgelig brukes til å legge på tekst og geometriske figurer. En kan også bruke den til å skjære av toppen av en eske slik at den blir åpen.

## 10.2 Filhåndtering for laserkutting og bruk av FleksiDesigner

### 10.2.1 Innledning

Notatet beskriver detaljert hvordan man går fram for å skjære eller gravere en plate med utgangspunkt i en pdf-fil ved hjelp av programmet Fleksi Designer.

### 10.2.2 Pdf-filen

Lag tegningen og lagre den som en pdf-fil. Filen skal lagres på den lokale katalogen på serveren på Trigger. Pdf-dokumentet kan godt inneholde flere sider. Det kan være lurt å dele opp med en side for hver av operasjonene for gravering og skjæring da har man full kontroll.

### Opprett katalog på Trigger

Installer katalogen på egen pc. Dette gjøres ved å gå til "Datamaskin" (under Windowslogoen nederst i venstre hjørne) på Windows 7 og velge "Datamaskin". Dernest velges "Koble til nettverksstasjon" på menylinja.

Velg Stasjon (f.eks. x) og skriv inn under "Mappe":

```
\\trigger.vitensenteret.com\Felles
```

---

"Koble til ved hjelp av annen legitimasjon" og skriv inn:

Bruker: Viten

Passord: \*\*\*\*\*

Opprett en katalog f.eks.: med eget navn. Denne mappen kan nå nås fra PC'en ved laserkutteren og hentes direkte opp i programmet for styring av laserkutteren.

### Logg på i Trigger

Velg bruker "Viten" på maskinen ved laserkutteren

Bruker: Viten

Passord: \*\*\*\*\*

Gå til: Denne PC

Velg: Felles

Velg katalogen: <Personlig katalog>

### 10.2.3 Klargjøring av laserkutteren

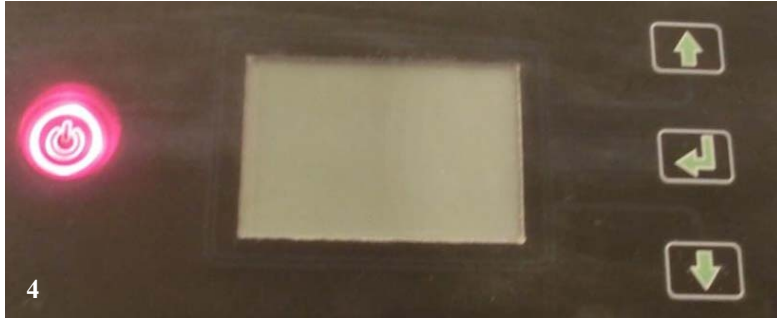
Prosedyre for klargjøring av laserkutter.

#### Oppstart av laserkutteren og avtrekksvifte

Det er tre brytere som må slås på:

1. Hovedsikringen nederst bak til høyre under power-ledningen slås opp (på). Som oftest er denne påslått.
2. Bryteren ned til høyre foran på laserkutteren (svart) settes til 1.
3. Bryteren oppe til venstre bak på avtrekkskabinettet slås på (lyser grønt)
4. Bryteren foran på avtrekkskabinettet (lyser rødt), denne kan trykkes idet skjæringen starter
5. Bruk hørselvern, det er viktigere enn du skulle tro.





### Plassering av plata

Normalt legges plata slik at øverste venstre hjørne ligger i tilsvarende hjørne på bordet til laserkutteren.

Et godt alternativ er å:

1. Legg øverste venstre hjørnet på plata i øverste venstre hjørne på bordet
2. Slå på markeringslaseren, rødt punkt. Knappen er vist på figuren til høyre
3. Bruk pilene på kontrollpanelet for å flytt den grønne markøren til: "JOG" for å forskyve startpunktet til ønsket posisjon på plata.
4. Trykk ned joy-stikken når ønsket posisjon er oppnådd, og posisjonen blir låst som nytt referansepunkt, dvs. som øverste venstre hjørne i skrivefila.



En kan nå ev. ta ut og inn plata og være sikker på at skjæring eller gravering skjer på samme sted hver gang. Dette kan være praktisk dersom man oppdager at laseren ikke har trengt helt gjennom plata på alle steder slik at en ny kjøring i samme sporet er nødvendig.

Ev. kan plata legges der utskriften er plassert på originaltegningen. I så fall bruk linjal langs venstre side og toppen av bordet for å legge plata der utskriften er lagt på tegningen.

### Kalibrering

1. Ta metalltriangelet som ligger i fordypningen til venstre på laserkutteren, og heng det på de to knaggene på skrivehodet som vist på figuren til høyre.
2. Bruk pilene på kontrollpanelet for å flytte den grønne markøren til: "JOG" Flytt skrivehodet til ønsket sted på plata for kalibrering.
3. Det kan være lurt å utføre kalibreringen der skjæring/graveringen skal skje da ikke alle plater er helt plane. Om plata er plan kan kalibreringen gjøres hvor som helst.



4. Flytt den grønne markøren til "FOCUS" og bruk joy-stikken til å justere opp eller ned slik at triangelet akkurat tangerer plata.
5. Bekreft at fokusering er utført ved å trykk: SET (trykk joy-stikken rett inn).
6. Fokuspunktet kan ev. senkes noe ved andre eller tredje gangs kjøring dersom man ønsker å skjære et tykkere materiale ved gjentatte skjæringer.



#### 10.2.4 Klargjøring av tegningen for skjæring/gravering

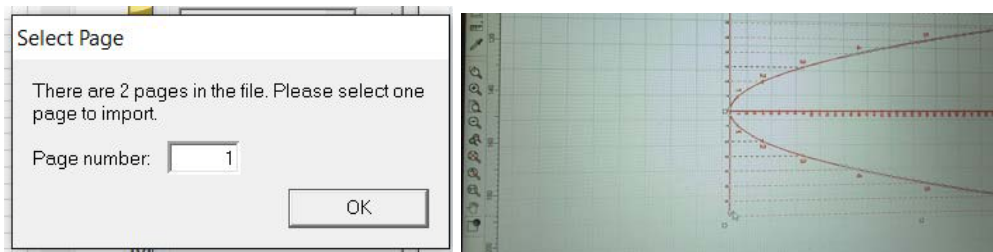
Start programmet FlexiDesigner



##### Hent inn fila

Hent ønsket fil fra katalogen: \\trigger.vitensenteret.com\Felles\<<personlig underkatalog> (Dvs. Denne PC - Felles - <personlig katalog>).

Dersom det er et dokument med flere sider velg aktuell side i dialogboksen. Se figuren under:



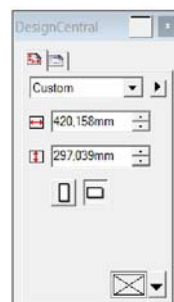
Den aktuelle tegningen framkommer på arbeidsflaten i programmet (figur over til høyre):

##### Opplasting av filen og dimensjonering av arbeidsflata

Ved å bruke "import"-kommandoen vil man kunne plassere arbeidstegningen direkte på riktig plass på arbeidsflata (bordet) samtidig som denne beholder sin opprinnelige størrelse. Flere filer kan hentes til samme arbeidsflata og legges der man måtte ønske. Denne kommandoen er derfor som oftest mer praktisk å bruke i stedet for "Open"-kommandoen.

Når man henter inn en tegning med “Open”-kommandoen, vil arbeidsflata være dimensjonert etter størrelsen på tegningen. Det vil derfor være lurt å redefinere størrelsen av arbeidsflata til størrelsen på bordet til laserkutteren. Dette gjøres slik:

1. Klikk med venstre mustast på arbeidsflata
2. Menyen til høyre kommer opp. Vanligvis står det “Custom”. Klikk på pila til høyre og velg nederste alternativ på nedtrekksmenyen som er “Laser”. Da vil størrelsen på bordet (ca. 1016 x 711 mm) komme opp. Sørg for å velge “Landscape” orientering på arbeidsflata.
3. Arbeidstegningene vil nå gjerne ha flyttet seg på arbeidsflata.



Normalt vil det være aktuelt å plassere tegningen nær det øverste venstre hjørnet på tegneflata. Dersom det er deler av tegningen man ønsker å vente med å skrive ut, så kan man la disse være umarkert (ikke røde) og flyttet til side på arbeidsflata.

### Marker det som skal skrives/skjæres ut

Velg den delen av fila du ønsker å skrive ut ved å ramme den inn med markøren, figuren blir da rød. Det holder at rammen berører den aktuelle delen av tegningen for å bli med i det markerte feltet.

Bruk SKIFT-tasten til å legge til nye markerte deler til tegningen eller ta bort tegninger som ikke ønskes inkludert i det som skal skrives ut.

Legg merke til at det er nok å berøre deler av en tegning for at den skal markeres. Det kan også skje at en tegning, f.eks. en sirkel, kan være satt sammen av mange deler.

### Utskrift av flere lag med posisjonerte tegninger

Dersom man har flere lag av tegninger som ønskes skrevet ut i flere omganger, men som krever at de er posisjonert i forhold til hverandre, vil det være lurt å ha en referansemarkør (kryss) i kanten av tegningen, som går igjen på alle lagene. Dette gjør det lett å posisjonere lagene i forhold til hverandre:

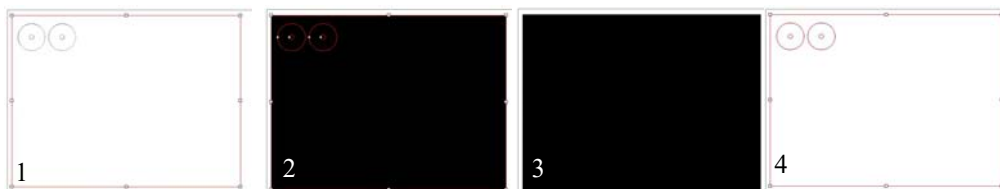
- Posisjoner markøren til det laget som skal printes slik at markøren er akkurat i øverste venstre hjørne av rammen på arbeidsflata.
- Ram inn det som skal skjæres ut.
- Velg print (printer ikon) fra menylinja.

### Merking - separering av tegningens enkelte deler (“Unmask”)

Normalt vil en kunne merke ulike deler av en pdf-fil. På denne måten kan en dele opp jobben i flere omganger. Dette kan være aktuelt ved et en først merker alt som skal graveres, for så å merke alt som skal skjæres. Denne rekkefølgen er å foretrekke, spesielt dersom man skal skjære ut små biter som senere skal graveres. Stabiliteten blir bedre ved gravering dersom man graverer først og skjærer til slutt.

Om det er problemer med å dele opp figuren som skal printes ut, så kan man prøve følgende framgangsmåte:

1. Merk hele figuren
2. Høyreklikk på den merkede figuren og velg "Unmask" i nedtrekksmenyen
3. Fjern markeringen og klikk på tegningen på nytt, dermed vil masken komme opp som en svart firkant
4. Trykk "DELETE" for fjerne masken

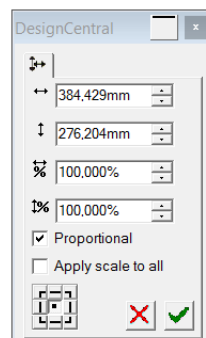


Om denne operasjonen er vellykket vil de enkelte delene av tegningen kunne separeres, ved at man får tilgang til underliggende lag. Det kan være fordelaktig å fjerne unødvendige rammer ved å klikke på kanten av tegningen.

### Skalering

Noen ganger kan det være aktuelt å lage tegningen i et annet format enn det man ønsker ved utskrift. I så fall er det aktuelt å endre skaleringen av tegningen.

1. Marker de delene av tegningen som ønskes skalert.
2. Gå inn på "ARRANGE" på menylinja og velg "RESIZE". Da vil man få opp en menyboks på venstre side hvor man kan justere skaleringen.
3. Normalt vil høyde-bredde-forholdet beholdes, i så fall hak av for "PROPORSONAL".
4. Skriv inn endringen som ny prosentverdi.
5. Velg grønn hake for å utføre skaleringen.



Etter skalering kan det være behov for å justere plasseringen av tegningen på nytt.

6. Juster plasseringen.

### Raster eller vektor – Skjæring eller gravering

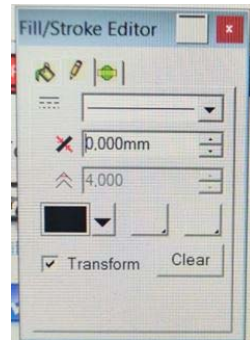
Det er i hovedsak to typer "printing" i tillegg til at de to kan kombineres:

- *Raster-printing*: Laseren graverer tekst ved å bevege seg linje for linje over hele plata. Dette tar lang tid, men er den eneste måte å gravere flater på.
- *Vektor-printing*: Laseren beveger seg langs konturene i tegningen. Denne metoden egner seg godt for skjæring langs konturer, ev. gravere konturer. Om det blir en skjæring eller gravering avhenger av effekten og hastigheten til laseren som settes opp i egen meny.

- *Combined-printing*: Her vil linjebredder under en viss bredde bli skåret og de over den samme terskelverdien bli gravert (se tabellen under). Har man kontroll på linjebreddene kan man kombinere gravering og skjæring. Vær oppmerksom på at figurer tegnet i FøxiDesigner kan inneholde linjer. Dvs. det en hadde tenkt skulle graves blir først gravert og deretter skåret ut.

Vi kan sette linjebredden til konturer i tegningen ved hjelp av en egen meny (figuren under til høyre). Velg den midterste fanen.

Her kan vi bestemme om konturer (linjer) i tegningen skal være heltrukket eller stiplet (øverste innboks). Dernest kan vi bestemme linjebredden (nest øverste innboks). Dersom linjebredden settes mindre enn en definerede minsteverdi vil, den automatisk bli utført ved hjelp av vektor-printing.



Normalt vil man bruke vektor-printing for skjæring eller gravering av tynne konturer, da gjør man slik:

1. Merk av det som skal vektor-printes (skjæres).
2. Velg midterste fane i menyen til høyre (blyant)
3. Velg heltrukken linje (øverste innboks)
4. Sett linjebredden til 0 mm i den andre innboksen

Raster er mest egnet til gravering, som f.eks. for teksting av gjenstanden.

Om det skal gjøres en skjæring eller gravering bestemmes av hastigheten og effekten til laseren, se eget punkt under.

Det enkleste er å skille det som skal skjæres i tegningen og det som skal graves. Utfør gjerne gravering først og skjæring etterpå siden små utskårne deler lett bli liggende på skrå etter skjæring og gjøre graveringen vanskelig.

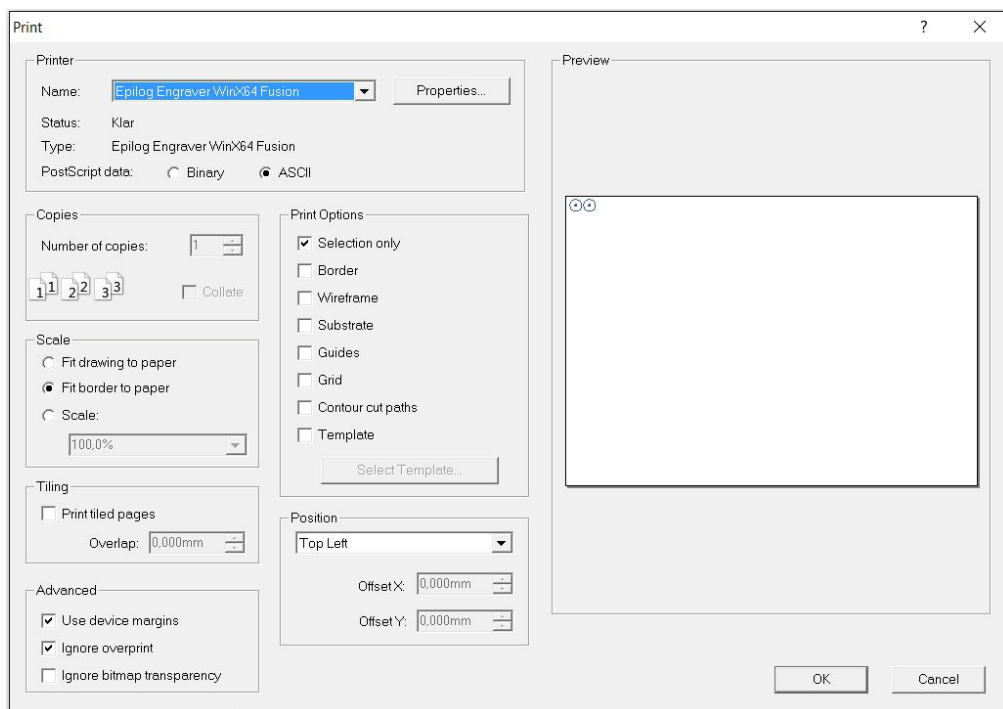
En kan imidlertid gjennomføre gravering og skjæring i samme operasjon. I så fall vil alle linjer under en viss bredde bli skåret.

Tabellen under viser grenseverdiene for når laserkutteren velger vektor-printing (“Cut”) eller raster-printing (“Engrave”). Dette gjelder kun når man har valgt "Combined".

Line Width	150 DPI	200 DPI	300 DPI	400 DPI	600 DPI	1200 DPI
.001" (.025 mm)	Cut	Cut	Cut	Cut	Cut	Cut
.002 (.058 mm)	Cut	Cut	Cut	Cut	Cut	Cut
.003 (.076 mm)	Cut	Cut	Cut	Cut	Cut	Cut
.004 (.101 mm)	Cut	Cut	Cut	Cut	Cut	Cut
.005 (.127 mm)	Cut	Cut	Cut	Engrave	Engrave	Engrave
.006 (.152 mm)	Cut	Cut	Cut	Engrave	Engrave	Engrave
.007 (.177 mm)	Cut	Cut	Engrave	Engrave	Engrave	Engrave

## 10.2.5 Utskriftsmenyen og setting av skrive/skjære parametere

Print-menyen har flere valg. Her vil vi kun omtale en variant som gjør det lett å posisjonere utskriften.



1. I “Printer option” velg “Selection only”. Dette medfører at bare det som er markert på arbeidsflaten blir skrevet ut.
2. I “Scale” velg “Fit border to paper”. Dette gjør at utskriften blir posisjonert i forhold til skriveflaten til laserkutteren. Dvs. at øverste venstre hjørnet er der referansepunktet er satt.
3. I “Position” velg “Top left”. Dette sørger for at øverste venstre hjørne av utskriften plasseres der referansepunktet er satt på bordet.

Senere kan man ev. eksperimentere med de øvrige menyene.



## Parametere for printing ( "Raster", "Vector" eller "Combined")

For å sette parametrene for printing. Gå inn i "File" og velg "Print" og velg "Properties" i print menyen. Da kommer denne dialogboksen opp:



Her setter man opp parametrene for raster- og vektor-printing. De viktigste parametrene er:

- *Job type*:
  - **Raster** – Primært for gravering av bokstaver, bilder flater o.l., ev. for utfresing av spor.
  - **Vektor** – Primært for skjæring og ev. rask tegning av linjer
  - **Combined** – Linjebredder som er satt lik null blir automatisk skrevet ut som vektorer, resten som raster.
- Sett parametere for raster-printing/vektor-printing:
  - **Speed** – Angir skrivehodets hastighet. Kan gjerne settes til 100%. Høy hastighet krever større effekt for samme resultat.
  - **Power** – Effekten ved skrivingen, høy effekt gir dypere spor, ev. skjærer i tykkere plater).
  - **Freq.** – Frekvensen angir pulshastighet for laseren (pulser pr. inch). Kan være aktuelt å endre ved skjæring i akryl. Høy pulshastighet gir kraftigere gravering eller større skjæredybde.

Forslag til setting av parametere:

Materiale	Type	Speed	Power	Frequency	
3 mm MDF	Raster	100%	25%	50%	
	Vektor	20%	100%	50%	Skjæring
6 mm MDF	Kjøres to runder som for 3 mm MDF				
3 mm MDF hvit plastbelakt	Raster/bilder	100%	20%	50%	Gravering av bilder
	Vektor	20%	100%	50%	Skjæring

Materiale	Type	Speed	Power	Frequency	
6 mm Bjørkefiner	Raster	100%	25%	50%	
	Vektor	5%	100%	50%	Skjæring
4 mm Akryl Biltema	Vektor	5%	100%	50%	Skjæring - 1 runde
2 mm Akryl	Vektor	15%	100%	50%	Skjæring
	Raster	100%	10-15%	500%	Gravering
0,5 mm Polypropy- len (klar)	Vektor	100%	60%	50%	Skjæring

Velg "OK" for å lagre dataene. Dialogboksen lukkes og man kommer tilbake i print-menyen:

Fra menyen "Print Options" kan en velge å printe ut ulike deler av tegningen. Normalt vil en velge å printe ut det som er merket. Ved å trykke OK sendes jobben til Laserkutteren.

### Gravering på akryl

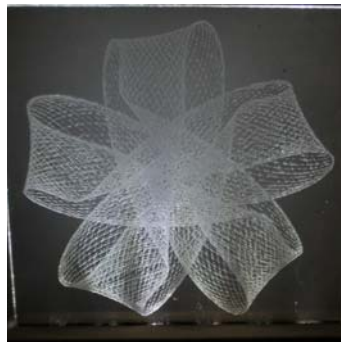
Forsøk viser at når man skal gravere akryl så bør effekten ligge mellom 10 – 15 %, dessuten bør dekkplasten fjernes. Den har en tendens til å smelte inn i tette mønstre og ødelegge detaljene. Til høyre er vist fire varianter. Det kan se ut som om 15% uten dekkplast gir det beste resultatet. Går vi ned på effekten vil svake linjer i mønstret forsvinne. Samtidig vil ikke dekkplasten sette seg fast i mønstret.



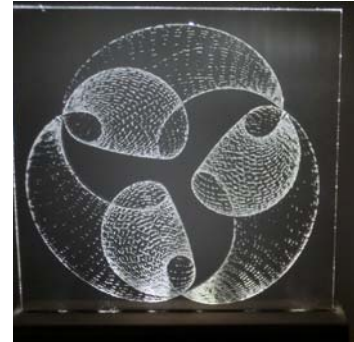
S100% P25% m/dekkplast



S100% P15% m/dekkplast



S100% P15% uten dekkplast



S100% P10% med dekkplast

### Skjæring og rastrening styrt av farger

Dersom en tegner i farger vil man kunne knyttet de forskjellige fargene til ulike operasjoner. Om man f.eks. tegner alle linjer som skal skjæres i rødt, kan man definere hvordan laseren skal behandle røde linjer. Dersom linjer farget røde skal skjære i 6 mm bjørkefiner, velger man den aktuelle fargen i menyen til venstre, man velger "Vector" nederst til

venstre og “Speed”, “Power” og ev. “Freq” etter behov. Så velger man den linjen til høyre i menyen som tilsvarer den valgte fargen og overfører parametrene som er knytte til denne farge ved hjelp av den tredoble pila omtrent midt i menyen (se figuren under).



En forutsetning for at dette skal virke er fargevalget i fila er eksakt det samme som i menyen over (for rød: R = 255, G = 0, B = 0). Dessuten må man bruke RGB fargegjengivelse.

## 10.2.6 Skjæring og gravering

### Start skjæring/gravering

Når man har trykket “OK” i printmenyen overføres jobben til laserkutteren og den vil få et jobb-nummer som vises i displayet til høyre på kutteren. Displayet viser også estimert tid for jobben. Denne vil imidlertid forsvinne så snart jobben starter, og viser i stedet akkumulert tid siden start.



- “GO” – Trykk “GO” for å starte jobben.
- “STOPP” – Trykk “STOPP” for å stoppe jobben. Dersom den er i gang med å trekke en lang linje så vil den ikke stoppe før den kommer til slutten av linjen. Dersom man trykker på “GO” på nytt fortsetter den der den slapp.
- “RESET” – Trykker man “RESET” etter at jobben er stoppet, så vil den gå tilbake til startpunktet

Første gang man skal kjøre en jobb kan det hende at laseren bruker noen sekunder før den tenner. Det betyr at vi mister første del av jobben. Dette kan normalt løses på to måter:

1. Kjører et lite prøvetrykk før selve jobben starter.
2. Kjører starten på nytt etter at resten av jobben er ferdig.

---

## Prøveskjæring

Ved å la laseren arbeide med åpent lokk, utføres alle bevegelser som normalt, men med avslått laser. Ved å følge med den røde markøren kan man kontrollere om utskriften blir omtrent som forventet mht. posisjon og størrelse.

## Etterskjæring

Det hender at man ikke kommer gjennom ved første forsøk. I så fall er det bare å kjøre den samme jobben på nytt. Det er imidlertid viktig at plata blir liggende på eksakt samme sted.

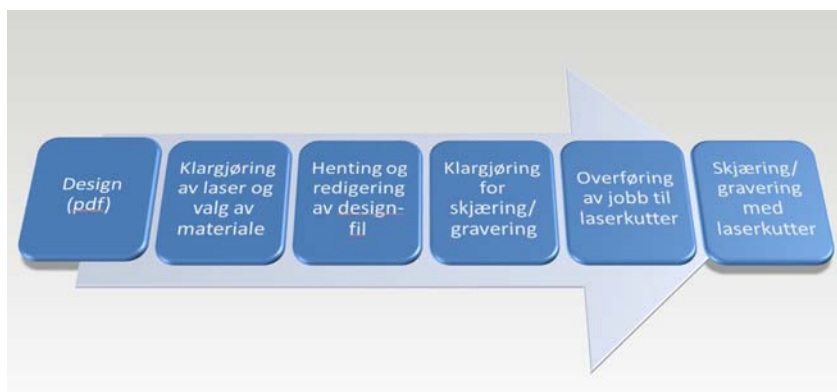
Dersom plata er særdeles tykk, så kan man senke fokuspunktet noen millimeter slik at den får sitt nye fokus nederst i sporet etter første kjøring.

## Gjenta tidligere jobber

Jobber som overføres fra FlexiDesigner vil bli liggende i laserkutteren så lenge den ikke slås av. Tidligere jobber kan derfor gjenkalles i displayet ved å bruke joy-stikken mens den grønne markøren står i posisjon "JOB". Om ønskelig kan disse kjøres på nytt.

### 10.2.7 Huskeliste for bruk av Laser-kutter:

Her presenteres en meget kortfattet huskeliste for bruk av FlexiDesigner og laser-kutteren:



1. Design (pdf)
  - Tegn det som skal skjæres eller kuttes
  - Lagre i pdf-format
2. Klargjøring av Laserkutter og valg av materiale:
  - Slå på laser-kutteren og avtrekksenheten
  - Legg i materialet
  - Slå på rød markør for å markere laserens referanseposisjon
  - Bruk "joy"-funksjonen til å posisjonere markøren, lagre posisjon (trykk joystikk)

- 
- Plasser “fokustrekant” på skrivehode, velg fokus og løft bordet til fokus og lagre verdi ved å trykke ned joystikk
  - Fjern “fokustrekant”
3. Henting og redigering av design-fil
    - Log inn i system-maskina som kommuniserer med laserkutteren
    - Åpne fila i Fleksidesigner (ev. velg rett side)
    - Velg riktig format på bordet (Laser 1016 x 711 mm)
    - Ev. “unmask” tegningen
    - Utfør ev. skalering av tegningen
    - Plasser tegningen(e) i ønsket posisjon på “bordet”
    - Sørg for at alle streker som skal skjæres har en tykkelse lik 0 mm
    - Marker det som skal skjæres/graveres
  4. Klargjøring for skjæring/graving
    - Velg “Printer”-symbolet på manylinja
    - Hak av ønsket setting i printmenyen
    - Velg “Properties” og velg “Raster” (graving) eller “Vector” (skjæring), ev. “Combined”
    - Velg “OK”
  5. Overfør jobben (fila) til laserkutteren
  6. Skjæring/graving med laserkutter:
    - Åpne lokket på laserkutteren
    - Trykk “Go” og se om laserkutteren oppfører seg som forventet
    - Trykk “Stopp” og “Reset”
    - Start avsug
    - Lukk dekselet og ...
    - ... trykk “Go”
    - Operasjonen gjentas dersom graving/skjæring gjøres i to operasjoner, eller skjæringen bli ikke dyp nok.
  7. Ta arbeidsstykket ut av laserkutteren

### **10.3 Verktøy for framstilling av lukkede esker**

På Internett finnes det mange ulike varianter å velge mellom:

### 10.3.1 MakerCase

Nettadresse: <http://www.makercase.com/>

Programmet MakerCase lager lukkede bokser etter ønskede mål i inch eller millimeter, og om de oppgitte målene er innvendige eller utvendige mål.

Det er også viktig å sette materialtykkelsen da denne bestemmer lengden av tapene.

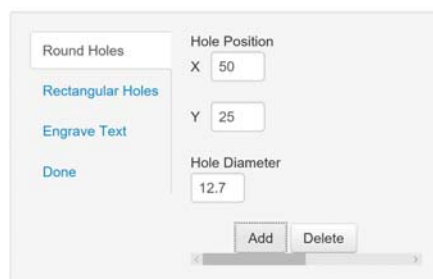
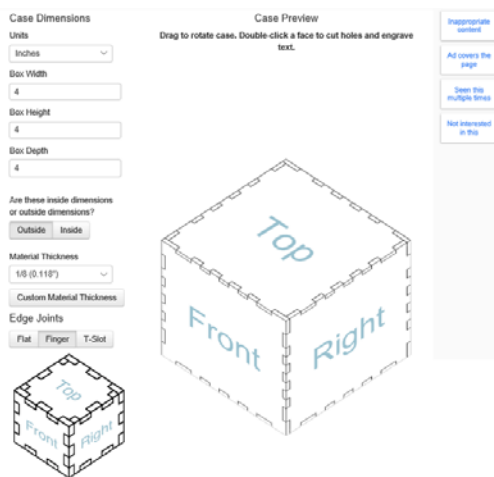
Det spesielle med dette programmet er man kan velge mellom tre typer sammenføyninger:

- Flat (ingen innfelling)
- Finger (tapper)
- T-Slot (T-format)

Sistnevnte vil lage kors-lignende sammenføyninger inn i sidene, som gir rom for å plassere skruer med muttere. En kan selv velge dimensjonene på skruer og muttere.

Ved hjelp av musa kan boksen dreies slik at de ulike sidene blir synlige ved å dobbelklikke på ønsket side kommer det opp en ny meny som gir mulighet for å lage et hull (rundt eller firkantet) og en tekst. Når man er ferdig trykker man "Done".

Figuren viser meny for å legge til et rundt hull i posisjon  $x$ ,  $y$ .

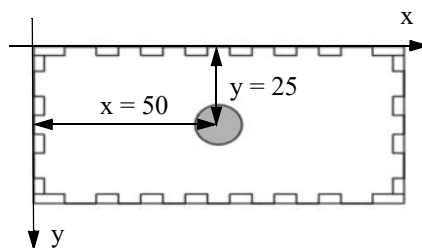


Dersom man endrer på et bestemt hull så dobbelklikker man på hullet, setter inn nye verdier og trykker "Return" og "Done".

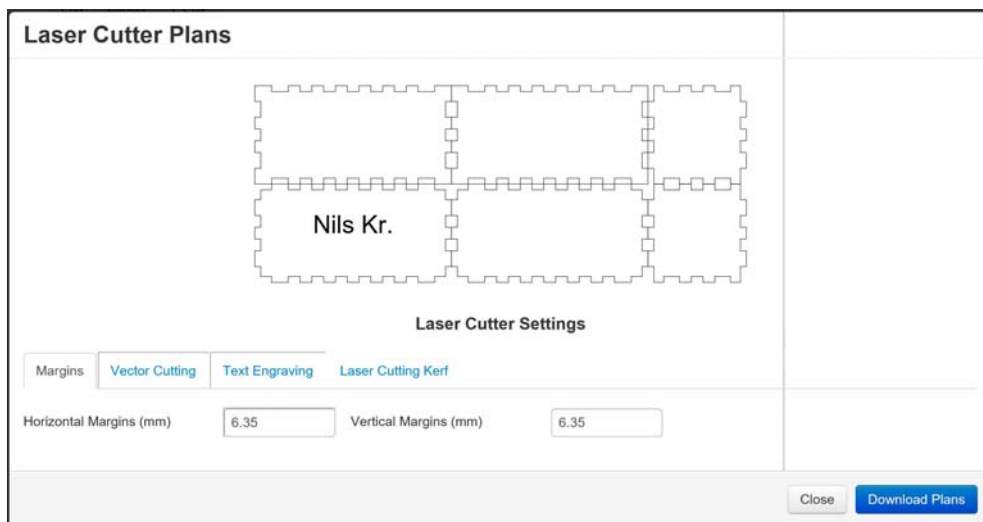
Dersom man vil fjerne en tekst eller et hull, dobbelklikker man på teksten eller hullet og trykker "Delete".

Det er også mulig å sette bredden på tappene fra 3 – 20 mm.

Dette ser ut til å være et program med mange muligheter, men viser seg å være ganske tregt slik at man må være tålmodig.



Når man er fornøyd, trykker man på “Generate laser cutter case plan”. Denne vil så genere et utbrettet bilde av esken med tekst og hull.



Her kan man sette ulike parametere:

- Margins:* Setter marginer til en omsluttende ramme - kan settes til null
- Vector cutting:* Gir mulighet til å sette linjebredden. Denne kan stå som den gjør, ved skjæring justeres denne til 0 mm i FlexiDesigner
- Text engraving:* Her kan sette fylningsgraden til graveringen. Denne settes også i FlexiDesigner
- Laser Cutting Kerf:* Denne setter skjærebredden til laseren. Riktig satt skjærebredde gjør at fingerene blir tilpasset hverandre eksakt slik at de kan presses sammen

Ved å velge “Download plans” kan man lagre filen på egen maskin. Filen blir lagret som en .svg-fil. FlexiDesigner kan ikke importere .svg filer.

Konvertering av svg-filer til pdf-filer kan gjøres ved f.eks. med tegneprogrammet Inkscape.

### 10.3.2 Box Designer

Nettadresse: <http://boxdesigner.connectionlab.org/>

Programmet lager også innelukkede bokser. Det er kun mulig å lage sammenføyninger med fingre. En kan enten velge fast bredde på fingrene eller la programmet selv bestemme fingerbredden. Dimensjonene kan enten spesifiseres i inch, cm eller mm og må angis med punktum som desimaltegn. Dersom man setter fingerbredde (“Notch length”) til “Auto”, så vil fingerbredde bestemmes slik at den går opp med breddene på sidekantene. Dette kan imidlertid bli litt underlig med små bokser. Bredden på kuttet kan spesifiseres, hvilket kan være nyttig for å få bokser som passer godt til hverandre. Boksen designes når man trykker “Design it” og pdf-filen oversendes umiddelbart.

Dimensjonene er spesifisert i filen. En omsluttende ramme med spesifiserte mål kan legges rundt delene. Hak av “Draw bounding box”. Dette kan være særdeles praktisk dersom man ønsker å justere de endelige dimensjonene før kutting.



### 10.3.3 make-a-box

Nettadresse: <http://makeabox.io/>

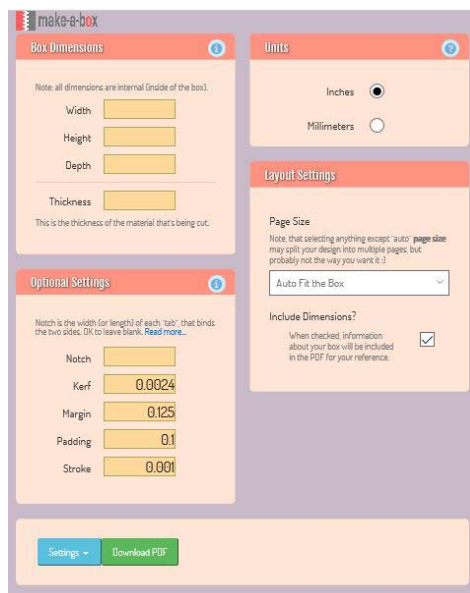
Programmet lager også innelukkede bokser. Bredde, høyde og dybde kan spesifiseres i inch eller millimeter.

Sammenføyningen skjer kun ved hjelp av fingre. Fingerbredden (“Notch”) kan spesifiseres eller være uspesifisert. Er sistnevnte tilfelle velges fingerbredden lik 3 x materialtykkelsen.

“**Kerf**” angir bredden på kuttet som laseren gir. Ved å spesifisere denne bredden, kan fingrene tilpasses slik at sammenføyningene passer perfekt til hverandre. Man skal imidlertid være temmelig erfaren for å angi en optimal verdi. Dersom ingenting spesifiseres, settes bredden til 0,007 inch eller 0,18 mm. Anbefalt ved ViT er 0,09 mm.

“**Margin**” angir marginene rundt tegningen av boksene, mens “**Padding**” angir marginene mellom sidene til boksen når de skrives ut på tegningen. “**Strok**” angir tykkelsen til linjene på utskriften.

“**Settings**” gir mulighet for å lagre eller hente tidligere parametere.



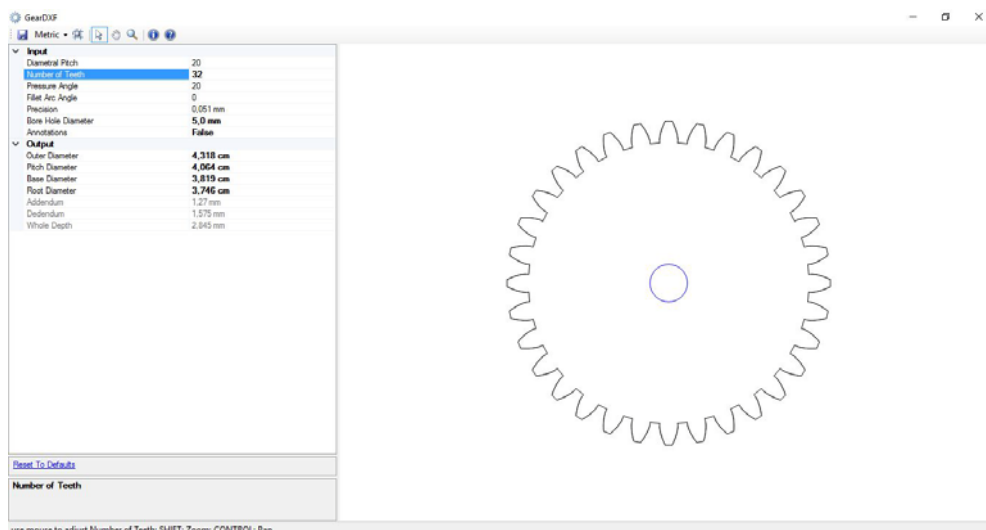
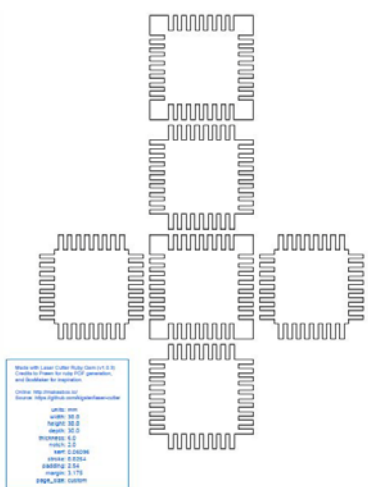


En praktisk egenskap ved dette programmet er at layouten på tegningen kan tilpasses ulike arkstørrelser. Om ønskelig kan også boksens parametere skrives ut i en egen ramme nederst i tegningen. Figuren under viser utskrift av terninger som er 30 x 30 x 30 mm med en materialtykkelse på 6 mm. I tillegg har vi spesifisert fingerbredden til 2 mm.

### 10.4 Verktøy for framstilling av tannhjul

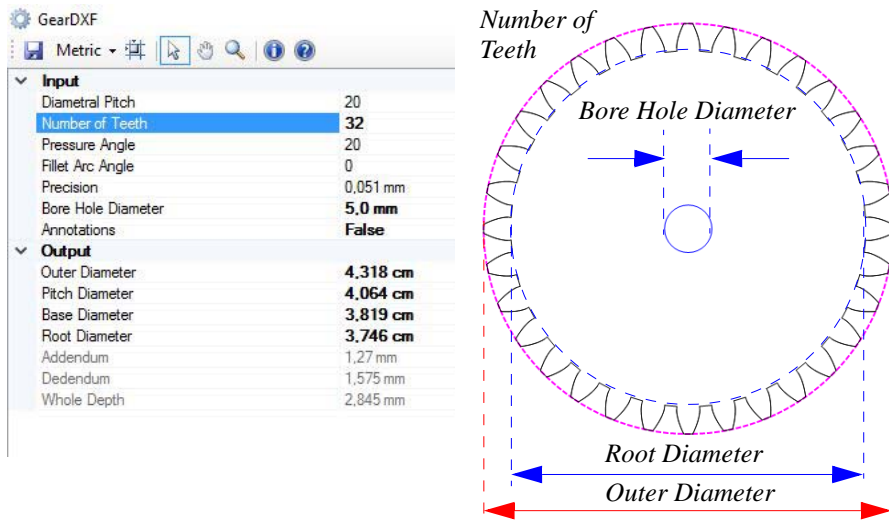
Det finnes en rekke ulike programmer for generering av tannhjul. Vi har valgt å bruke GearDXF fordi programmet er gratis og brukerterskelen er svært lav<sup>9</sup>. Programmet leverer kun DXF-filer som ikke kan importeres i PowerPoint for å generere pdf-filer. Filene kan imidlertid inkluderes i FrameMaker og direkte i FlexiDesigner.

Figuren under viser brukergrensesnittet:



9. Programmet kan lastes ned fra: <http://software.informer.com/search/GearDXF>

Ved hjelp av menyen til venstre kan man definere de fleste parametere knyttet til enkle tannhjul. Figuren viser et nærbilde av designmenyen.



Figuren til høyre over viser noen av de viktigste parametere:

- **Number of Teeth** – Er antall tenner plass rundt tannhjulet
- **Bore Hole Diameter** – Diameteren til akselhullet
- **Outer Diameter** – Tannhjulets ytre diameter mellom tuppen av tennene
- **Root Diameter** – Tannhjulets diameter regnet fra innerst i gropen mellom tennene

I tillegg er *Diametral pitch* og *Pressure Angle* viktig.

- **Diametral pitch** – Bestemmer størrelsen på tennene og dermed også ytre diameter på tannhjulet. Dersom verdien økes, reduseres ytre diameter og omvendt. 20 kan være et rimelig utgangspunkt.
- **Pressure Angle** – Angir vinkelen mellom forbindelseslinjen mellom de to tannhjulene og retningen til kraften som overføres mellom to tenner.

Forøvrig er nomenklaturet forklart i <https://en.wikipedia.org/wiki/Gear#Nomenclature>.

## 10.5 DXF Viewer

Programmet DXF Viewer kan hentes fra adressen: <http://www.dxfviewer.com/>

Designing Exchange Format er et filformat for utveksling av tegnefiler som brukes av AutoCad og andre, f.eks. GearDXF. Noen ganger kan det være praktisk å kunne se på slike filer.

---

Programmet DXF Viewer er et særdeles enkelt program som kun henter opp DXF-filer og viser dem på PC-skjermen. Brukergrensesnittet er vist under:





---

# **Del IV**

# **Hnefatafl**



## 11 Vikingspillet Hnefatafl<sup>10</sup>

Denne versjonen Hnefatafl er blitt spilt i Lappland opp til det attende århundre, og er den versjonen av Hnefatafl som vi har de mest komplette reglene for. En konge forsøker å nå kanten av brettet, som har ni rader hver med ni firkanter. Åtte forsvarer hjelper ham i sin søken, mens seksten angripere forsøker å fange ham.

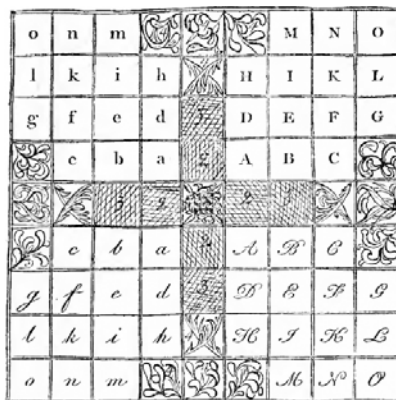


### Litt historikk

En utgave av Hnefatafl er blitt beskrevet av den svenske botanikeren *Carl von Linné (1707 – 78)* i 1732. Ukjent for Linné, var dette en versjon av et spill som hadde blitt spilt i hans hjemland i flere hundre år. Spillet må i middelalderen ha vandret videre til norske og svenske samer i Lappland, og ble spilt helt til sjakk tok over på begynnelsen av det trettende århundre.

Samene betraktet spillet som et slag mellom svenskekongen og hans åtte forsvarere, som ble angrepet av seksten angripere fra Muscovite. Bortsett fra temaet, antas reglene for spillet å ligge svært nær opp til de reglene vikingene brukte.

Linné nedtegnet spillet på latin. Han utelot bare noen få detaljer, for eksempel hvem som skulle flytte først. Noen regler ble beskrevet ved hjelp av eksempler, heller enn ved beskrivelser. Noen regler var tilsynelatende unntak fra andre regler, men ble ikke uttrykkelig angitt som sådanne, noe som gjorde at de framsto som motsetninger. Alt dette gjorde oversettelsen og tolkningen vanskelig og førte 1811 til en feilaktig engelsk oversettelse, utført av den britiske biologen *James Edward Smith (1759 – 1828)*. Han forsøkte å løse motsigelsene i regelverket ved å ignorere eller korrigere motstridende regler. En grundig utprøving av selve spillet ville ha avslørt disse uoverensstemmelsene.



10. Reglene som er beskrevet her er hentet fra: <http://tafl.cynningstan.com/page/170/tablut>

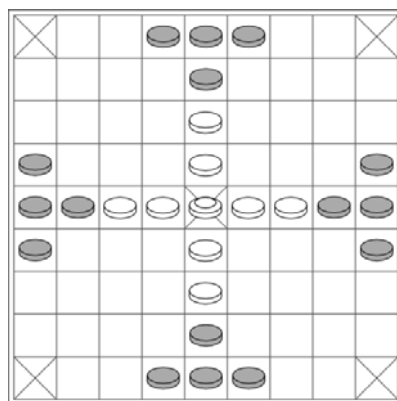
Ut fra denne oversettelsen oppsto det en rekke varianter av hnefatafl, som forsøkte å balansere spillet ved fortolkninger av de feilaktige engelske reglene. Dette medførte at man lånte regler fra andre spill eller brukte fantasien og fant på nye regler. Denne prosessen startet i 1855 med utgivelsen av "Imperial Contest", det første kommersielle hnefatafl-spillet, og har siden fortsatt helt til inn i det 21. århundre.

En gang etter 2010 ble en versjon av Linné tidlige arbeid på originalspråket latin digitalisert og gjort tilgjengelig på nettet, slik at alle selv kunne se de originale latinske reglene. Dette løste mange problemer, og viste at med unntak av noen detaljer hadde Linné nedtegnet en perfekt og spillbar versjon av spillet. Disse reglene er på nytt oversatt til engelsk og andre moderne språk. Spillet er dessuten grundig testet slik at man vet at det fungerer, i tillegg til at det er utviklet for større brett.

## Regler for spillet

Reglene Carl von Linné nedtegnet gir et nesten komplett spill, det mangler bare noen få opplysninger, som for eksempel hvem som skal flytte først. Reglene gitt under er komplette og gir et spillbart spill.

1. Hnefatafl spilles på et Brett med  $9 \times 9$  ruter av to spillere, en angripende part og en part som forsvarer kongen.
2. Spillet består av 25 brikker: En konge (hvit brikke med opphøyning) og hans åtte forsvarere (hvite brikker), i tillegg til seksten angripere (sorte brikker). Disse er plassert i form av et kors med seriffer, som vist i figuren til høyre.
3. Den angripende siden fortar det første trekket<sup>11</sup>.
4. Brikkene flyttes enten rett fram eller rett til siden så mange ruter som ønskelig så fremt det ikke står noen brikker i veien. Det er ikke lov til å hoppe over eller stå i samme rute som en annen brikke.
5. Ingen brikker kan lande på ruta i midten, som kalles "slottet" eller "borgen". Ikke engang kongen dersom han først har forlatt denne ruta<sup>12</sup>.
6. Med unntak av kongen er en brikke *fanget* (slått ut) når den omgis av fiendebrikker på to motstående sider. Kongen kan også, sammen med en forsvarer, fange en angriper.
7. En brikke kan også bli fanget mellom en fiende og det tomme slottet<sup>13</sup>.



11. Regel 3 er en moderne oppfinnelse. Linné angir ikke hvem som skal flytte først, men det er praktisk at det er bestemt.

12. I regel 5 er kongen utestengt fra sitt eget slott. Linné sier at ingen kan komme inn på det sentrale torget. Her er denne regelen tolket bokstavelig.

13. Ordet "tom" i regel 7 er ikke funnet i Linnés latintekst. Dette er lagt til fordi ellers ville regel 11 vært helt overflødig. Som det nå er, beskriver regel 11 den ene forekomsten der en forsvarsbrikke kan bli tatt opp mot det ikke-tomme sentrale torget.



- 
8. Når kongen er i slottet blir han fanget dersom ham omgis av angriperne på fire ortogonale sider.
  9. Når kongen står ved siden av slottet, er han fanget dersom han har angriperne på de tre andre sidene.
  10. Andre steder på brettet blir kongen fanget på samme måte som andre brikker.
  11. Hvis kongen, når han befinner seg i slottet, er omringet på tre sider av angriperne, og på den fjerde av en forsvarer, kan kongen og forsvareren bytte plass slik at det er forsvareren som blir fanget istedet for kongen.
  12. Kongen vinner spillet dersom han klarer å nå fram til en av de fire sidekantene på brettet. Angriperne vinner hvis de fanger kongen<sup>14</sup>.
  13. En spiller har også tapt dersom han ikke er istand til å flytte noen av sine brikker, eller hvis spillerne enes om at det ikke er noen vits i fortsatt<sup>15</sup>.

### Noen tanker om strategier i hnefatafl

Et brett med 9 x 9 ruter er det minste brettet hvor bruk av *blokkade* blir strategisk viktig. Antallet angripende brikker er tilstrekkelig for å blokkere forsvarernes tilgang til kantene på brettet, dersom forsvarerne ikke aktivt gjør noe for å hindre det.

Kongen er relativt trygg i slottet sitt. Men med en gang han befinner seg ute i feltet, blir han særdeles sårbar, siden spillet er tapt dersom kongen fanges. Selv om han fanges på samme måte som en forsvarer, er sårbarheten til kongen større siden spillet er tapt dersom kongen fanges av angriperne. En forsvarer kan foreta dristige angrep med "livet" som innsats for å oppnå en bedre posisjon for laget som helhet. Kongen kan ikke ta slike sjanser uten at det er stor risiko for å tape spillet.

Siden kongen vinner når han når fram til kanten av brettet, må forsvarerne forsøke å stille opp åpne *geledd*, det vil si felter uten brikker omgitt av forsvarere som fører fram til en eller flere av kantene. Dersom kongen kan nå fram til et slikt beskyttet geledd som åpner en vei mellom to motsatte kanter, så er seieren sikret, med mindre han umiddelbart blir fanget. Det er ikke mulig å blokkere et geledd i begge retninger samtidig. Angriperne må derfor prøve å ta kontroll over åpne geledd så tidlig som mulig, samtidig som de hindre kongen i å nå fram til dem.

Spillet er asymmetrisk, hvor hvit og svart side har ulike mål og strategier. Dersom man spiller med hvite brikker må man altså tenke annerledes enn om man spiller med svarte brikker. Reglene må derfor være lagt opp slik at spillet blir balansert og at det er like vanskelig eller enkelt for hvit og svart side å nå sine mål og at ingen av sidene blir favorisert. Det finnes varianter av spillet hvor hvit side vinner dersom kongen greier å komme fram til ett av de fire hjørnene. Da blir det vanskeligere for kongen å rømme. Til gjengjeld er det også vanskeligere å fange kongen, for i denne varianten må han omringes med angriperne på alle fire sider for å bli tatt. Spillets balanse (hvis det

---

14.Regel 12 er formulert ved innledning. Linné gir bare noen få eksempler på hvor kongen må nå for å vinne spillet, alt på forskjellige punkter på kanten av brettet.

15.Regel 13 er en moderne oppfinnelse som er utformet for å hindre at spillet blir for langvarig eller stopper opp fordi ingen av spillerne er i stand til å vinne.

---

er ubalansert eller man får behov for å kompensere for ujevnt handicap mellom spillerne) kan også justeres ved på forhånd å avtale om kongen skal være våpenløs<sup>16</sup> eller om han skal kunne slå ut motstandere. Hvis kongen er våpenløs får hvit side et noe vanskeligere oppdrag. Les mer om balanse i spillet her: <http://tafl.cynningstan.com/post/897/balance-in-hnefatafl>.

Arkeologer har funnet rester av spillebrett og -brikker i vikinggraver av varierende størrelse og utforming. Det er funnet brett på 9x9, 11x11, 13x13 ruter, og man kan ikke se bort fra muligheten av at det har vært ulike regler for varierende størrelse av brettene. På et stort brett har man større bevegelsesfrihet og flere muligheter. Kanskje har man, for å få balanserte spill for varierende brettstørrelser, måttet tilpasse reglene slik at spillet blir balansert? Mange variasjoner av hnefatafl er kjent, og alle synes å ha enkelte fellestrekk:

- Spillet har en konge som ved spillets start skal stå midt på brettet.
- Kongen har sine forsvarere (sin hær) og handlingen i spillet er sterkt inspirert av en krig mellom to stridende parter
- Kongens og hans menn er under angrep av en styrke som er tallmessig overlegen
- Alle brikkene flyttes kun vannrett eller loddrett, aldri diagonalt
- Brikkene kan ikke hoppe over hverandre eller stå på samme rute
- Angriperne skal fange kongen, mens kongen skal forsøke å unnsnippe

Detaljene synes å variere fra variant til variant:

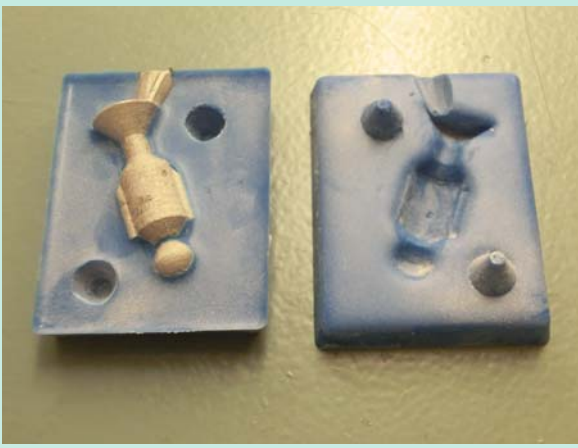
- Hvordan skal kongen tas til fange?
- Kan kongen være med å slå ut angripere?
- Hvem flytter først?
- Hvor skal kongen for at hvit side skal vinne?

Vi vet altså ikke med sikkerhet hvordan vikingene spilte dette spillet, men vi vet fra Linnés nedtegnelser litt om hvordan det ble spilt i Lappland på 1700-tallet på et 9x9 spillebrett. Ved å benytte lånte eller antatte regler fra andre lignende spill kan man etter beste evne forsøke å "fylle hullene" i regelboken, men dette er basert på antagelser og skjønn. Noen kilder, bl.a. sagaene, kan indikere at kongen er våpenløs. Andre kilder motsier dette. Noen kilder antyder også at vikingene kanskje brukte terninger i spillet, men vi har ingen opplysninger om hvordan terningen eventuelt ble brukt. For noen kan denne mangelen på kunnskap være frustrerende, og for andre kan dette bidra til å gjøre spillet mer interessant. Kanskje kan man utfordre skolene og elevene til å føre litt statistikk og foreta analyser av skjevheter i spillet? Les mer om de ulike variantene av hnefatafl og dets mange finesser her: <http://tafl.cynningstan.com/page/20/a-rule-book-for-hnefatafl>

---

16. <http://tafl.cynningstan.com/post/1239/modern-innovations-the-weaponless-king>





Heftet er ment som et oppslagsverk for lærere som deltar på kurset: *3D-printing, Laserkutting og Tinnstøping – Vi lager spill med brikker*. Heftet gir en kort innføring i programverktøyet OpenSCAD og CURA som gjør deltagerne istand til å designe og printe enkle modellfigurer (spillbrikker) ved hjelp av Ultimaker 2+. Videre beskrives hvordan man kan lage støpeformer av modellfigurene i gips, silikon eller ABS for så å gjennomgå teknikken med tinnstøping. Til sist beskrives hvordan man kan lage tegninger egnet for gravering og skjæring med laserkutteren *Epilog Fusion laser*.

***Nils Kr. Rossing***

Dosent i naturfagdidaktikk ved Skolelab., NTNU  
E-post: [nils.rossing@ntnu.no](mailto:nils.rossing@ntnu.no)  
og prosjektleder ved Vitensenteret  
E-post: [nkr@vitensenteret.com](mailto:nkr@vitensenteret.com)

***Roy Even Aune***

Pedagog  
E-post: [royeven@vitensenteret.com](mailto:royeven@vitensenteret.com)



Vitensenteret