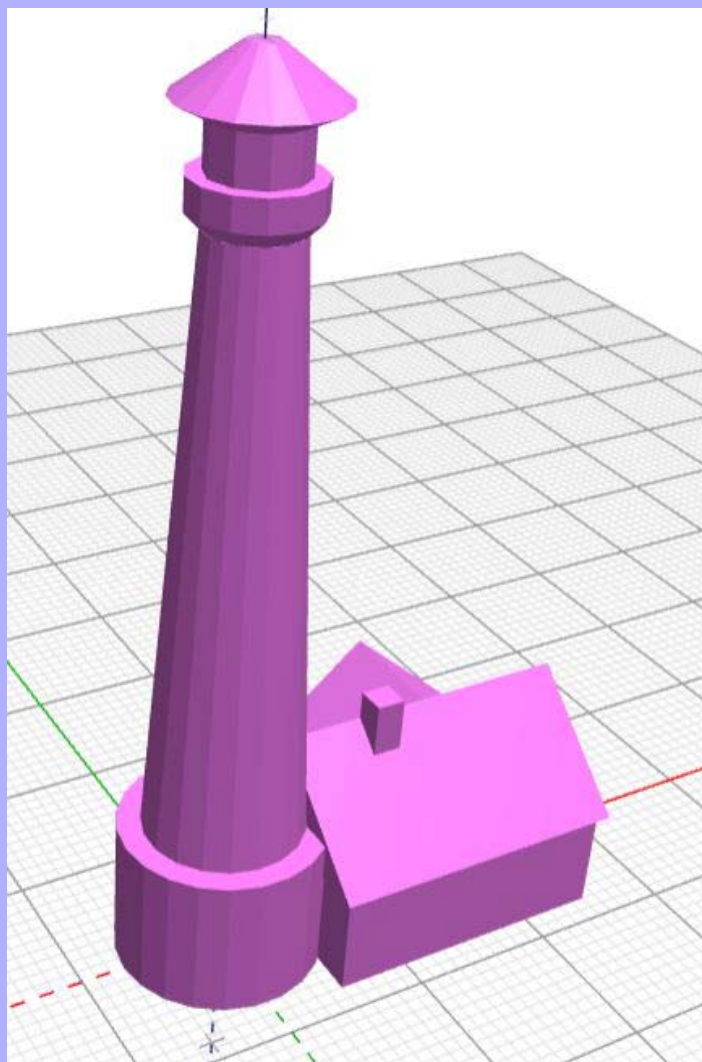


Nils Kr. Rossing

BlocksCAD og CURA

En kort innføring i 3D-printing



NTNU



Trondheim

Institutt for
fysikk

Skolelaboratoriet
for matematikk, naturfag
og teknologi

November 2021



BlocksCAD og CURA

En kort innføring i 3D-printing

Nils Kr. Rossing

BlocksCAD og CURA – En kort innføring i 3D-printing

Trondheim 2021

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

Trykk: NTNU Grafisk senter

Tekst og bilder: Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet ved NTNU

Faglige spørsmål rettes til:

Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi

Institutt for fysikk

v/ Nils Kr. Rossing nils.rossing@ntnu.no

Skolelaboratoriet ved NTNU

Realfagbygget,

Høgskoleringen 5,

7491 Trondheim

Telefon: 73 55 11 43

<http://www.ntnu.no/skolelab/>

Rev 2.1 – 22.11.21



Forord

Hefet ble laget i forbindelse med en nettverkssamling for ToF-lærere mars 2019 i Trondheim og er i første rekke beregnet som et hjelpemiddel under samling og som en ressurs som ev. kan brukes av lærerne når de kommer tilbake til egen skole. Erik Løkketangen Skolelaboratoriet/Brundalen skole og Roy Even Aune, Vitensenteret i Trondheim er med som støtte under verkstedet. Senere ble det revidert og utvidet noe i forbindelse med Novemberkonferansen i november 2021.

Hefet gir en kort introduksjon til 3D-printing, modellering med BlocksCAD og CURA som er et program for å oversette den grafiske modellen til styrekommandoer som 3D-printeren forstår.

Skolelaboratoriet ved NTNU
November 2021
Nils Kr. Rossing





Innhold

1	Kort introduksjon til 3D-printing	9
2	Gangen i designprosessen	10
2.1	Ide	10
2.2	Modellering av modeller for utskrift	11
2.2.1	Modelleringsverktøy	11
2.2.2	.STL filer	12
2.3	“Slicing”	12
2.3.1	De viktigste funksjonene	12
2.3.2	g-code filer	13
2.4	Utskrift av modellen	13
3	BlocksCAD	14
3.1	Bakgrunn	14
3.2	Brukergrensesnittet – Mitt første design	14
3.3	Lag en knapp	16
3.3.1	Lag avansert knaggrekke	18
3.3.2	Lag tannbørste holder	19
3.3.3	Lag en knapp	19
3.4	Flere kommandoer	19
3.4.1	Det er to 2D-former:	19
3.4.2	Det er fire 3D-former:	20
3.4.3	Transformering	20
3.4.4	Sett opsjoner	22
3.4.5	Matematikk	23
3.4.6	Variabler	25
3.4.7	Logiske uttrykk	25
3.4.8	Sløyfer	26
3.4.9	Tekst	27
3.4.10	Moduler	28
3.5	Oppbygging av komplekse geometrier med BlocksCAD	31
3.5.1	Grunnformene	31
3.5.2	Takkonstruksjoner	32
3.5.3	Oppdeling av kompleksformer	33
3.5.4	Bruk av omhylningsfunksjon	36



4	Bruk av CURA	38
4.1	Installer og sett opp Ultimaker CURA	38
4.2	Valg av de viktigste parameterne i CURA	41
4.3	Overføring av g-file til printeren	44
Vedlegg A	Eksempel på knaggrekke	46



1 Kort introduksjon til 3D-printing¹



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 fra kr. 3 til 5 000,-, 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 seg å være rimelig drifts-sikre og gi god kvalitet dersom man velger et godt *filament* (plastmateriale). Men vi har også hatt gode erfaringer med ProFab 3D og Prima Creator P120 med en pris på under kr. 3 000,-. Det er også rap-

portert om gode erfaringer med printeren Creality CR6 SE som har større byggeflate enn P120 og automatisk kalibrering av den oppvarmede byggeplattformen som er av glass til en pris i underkant av kr. 5 000,-. Disse er såkalte FDM-printere (Fused Deposition Modeling (FDM)) som fungerer omtrent som en avansert limpistol.

P120



Creality CR6 SE



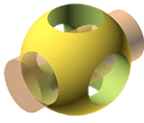
Et “plast”-lignende materiale som tilføres printeren i form av en tråd (byggemateriale), føres til en oppvarmet (typisk 180° til 240°C) dyse (typisk Ø 0,2 – 0,6 mm) som utgjør printerens *skrivehode*. To motorer styrer hodet fram og tilbake med stor presisjon over en oppvarmet plattform, eller bord, og legger igjen en tynn tråd av flytende byggemateriale. Når et lag er ferdig, senkes bordet eller dysa heves, slik at skrivehodet kan



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



legge på det neste laget. Slik fortsetter det til hele figuren er skrevet ut. I tillegg til den oppvarmede dysen, består skrivnehodet av små vifter som kjøler det flytende byggematerialet så snart det 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 eller kan kjøres nettbasert. Noen tegneprogrammer, f.eks. TinkerCAD og Fusion 360, anvender geometriske byggeklosser som kobles

sammen i rommet slik at de tilslutt danner den ønskede gjenstanden. Vi kan kalle disse *grafiske* modelleringsprogrammer. På den annen side finnes det programmer hvor man skriver inn kommandoer som spesifiserer de ulike geometriske figurene, vi kan kalle slik for *symbolsk* eller *tekstbasert* modelleringsprogrammer. På dette kurset skal vi bruke **BlocksCAD** som er et blokkbasert program utviklet fra det symbolske modelleringsprogrammet **OpenSCAD**. Begge disse programmene er gratis og gir en unik presisjon i utformingen av modellene. Det fleste modelleringsprogrammene genererer *STL-filer*, så også de som er nevnt ovenfor.

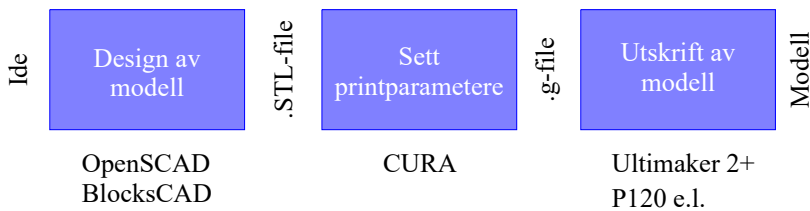
Når tegningen er klar, må vi bruke et programverktøy som bestemmer hvordan skrivnehodet skal bevege seg gjennom de ulike lagene, fra bunn til topp. Her vil vi bruke programmet *CURA* fra Ultimaker til å generere en g-kode-fil som er den fila vi mater inn i printerens.



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

2 Gangen i designprosessen

Under er vist et flytdiagram for gangen i designprosessen.



2.1 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**

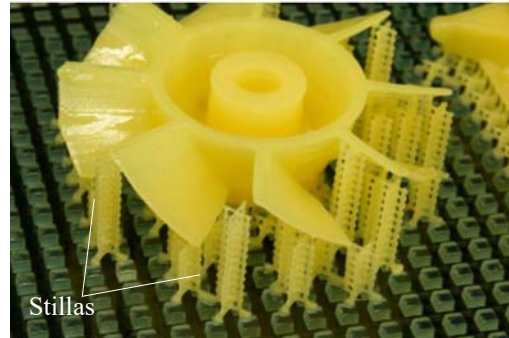
Normalt vil printerens være avhengig av å skrive ut på et fundament. Overheng eller utstikkere vil derfor være vanskelig å få til uten spesielle tiltak. Dette kan løses på ulike måter:



- *Del opp modellen*
For å unngå overhang kan man dele modellen i to eller flere deler der overhenget 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 f.eks. et frittstående “tak” bli til et godt fundamentert “gulv” som lett kan skrives ut.

- *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 skrivehoder 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 og kan trenge mye materiale².



- **Tynne vegger**

- Det er en god regel at veggene minst må være tilsvarende 3 x tykkelsen på dysen til skrivehodet, 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.

2.2 Modellering av modeller for utskrift³

Modelleringen av modellen betyr som nevnt, at det må lages en matematisk modell av hvordan modellen skal se ut, både inni og utenpå.

2.2.1 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). Bruker både blokkbasert og symbolbasert programmering.
- **123Design** (Autodesk) – Kraftige enn TinkerCAD, grafisk tegneprogram (gratis for kompakte modeller)

2. Bildet er hentet fra: https://timpickup.wordpress.com/2008/05/29/14_3d-printers/

3. For mer informasjon se: https://www.ntnu.no/documents/2004699/1265694650/3D-printing+i+sko-len_veien_videre.pdf/d62291c0-4b96-4926-b8ec-2c3b3bf00096



- **SketchUp Make** (Trimble) – Populært 3D-tegneprogram spesielt for arkitektur, kun overflate modellering
- **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.
- **BlocksCAD** – Et blokkodebasert program som ble utviklet av matematikklærere i 2017 og som bygger på OpenSCAD

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. TinkerCAD og BlocksCAD er programmer som er greie å starte med.

2.2.2 .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 modelleringsprogrammet og programmet som skal dele opp modellen i lag og bestemme hvordan lagene skal bygges opp (slicing).

2.3 “Slicing”

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

2.3.1 De viktigste funksjonene

Følgende er programmets viktigste funksjoner. Se eget avsnitt for flere detaljer om bruken av CURA 4.8.0

- 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 bygging av overheng (kan velges eller velges bort)
- Kvalitet (hvor fine detaljer som kan gjengis på modellen)



For nærmere beskrivelse av funksjonaliteten se kapittel 4. Etter at parameterne er valgt, generer CURA en strategi for utskrift og deler opp modellen i lag og legger en vei for å skrive ut filamentet som er hensiktsmessig mht. å få et heldig resultatet.

2.3.2 g-code filer

Dette er et språk som er utviklet for å styre numeriske verktøymaskiner og inneholder informasjon om hvor skriveholdet 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 sendes så til printeren eller legges over til SD-kortet som plugges inn i 3D-printeren.

2.4 Utskrift av modellen

g-kodefila hentes så inn fra SD-kortet og selve utskriften kan starte.



3 BlocksCAD

Programmet lager en matematisk modell av den gjenstanden man ønsker å printe ut. I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan gjøre dette med programmet BlocksCAD.

3.1 Bakgrunn

BlocksCAD er et designverktøy for konstruksjon av 3D modeller. Firmaet ble etablert i 2017 av lærere for bruk i klasserommet. Målsetningen er å lage et designverktøy som kan passe for barn helt ned til 3. trinn eller yngre og som har en profil som fremmer kunnskaper om programmering og matematikk generelt og romgeometri spesielt. Det gir også god trening i algoritmisk tenkning.

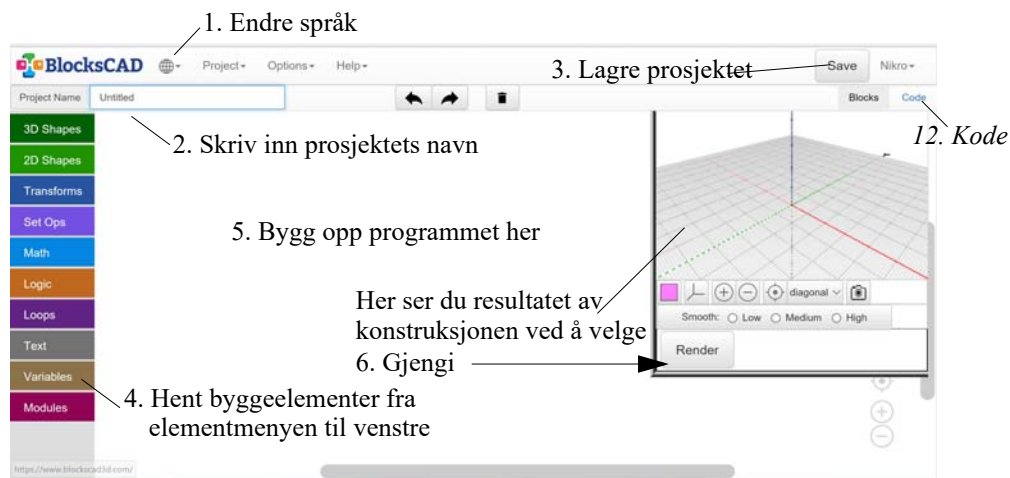
Programmet bygges opp av kommandoblokker som hektes sammen i kjeder. De sammenkjedete blokkene kan betraktes som funksjoner. Det som kan være litt uvant er at en ikke har noen kontroll på rekkefølgen skriveprosessen utføres i. Dette er det imidlertid “slice”-programmet (f.eks. CURA) som bestemmer.

Her finner du BlocksCAD: <https://www.blocks3d.com/> For å ta i bruk BlocksCAD må man registrere seg enten som en enslig bruker eller som læreren til en klasse. Ev. kan man logge på via sin Google-konto.

Her registrerer man seg med et navn (gjærne et akronym), et passord og oppgir sin alder og om man er lærer eller noe annet.

3.2 Brukergrensesnittet – Mitt første design

Figuren under viser brukergrensesnittet når man kommer inn i BlocksCAD.



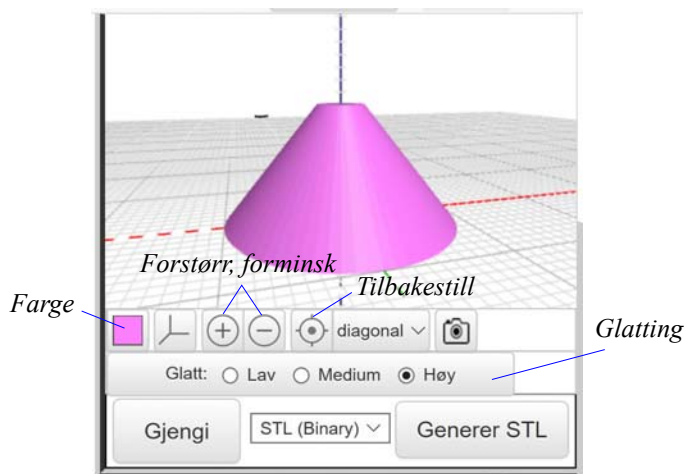
1. Klikk på den vesle jordkloden på menylinja til venstre og velg ev. norsk som språk
2. Skriv inn et prosjektnavn (under menylinjen til venstre) og lagre prosjektet.
3. Lagre prosjektet ved å trykke på LAGRE-knappen øverst til høyre



- Nå er du klar til å begynne å hente byggelementer fra menyen til venstre på skjermen
- Velg f.eks. en sylinder fra elementmenyen og legg inn verdiene radius 1 = 10 og radius 2 = 2 og høyde 10 = 10 usentrert og ...



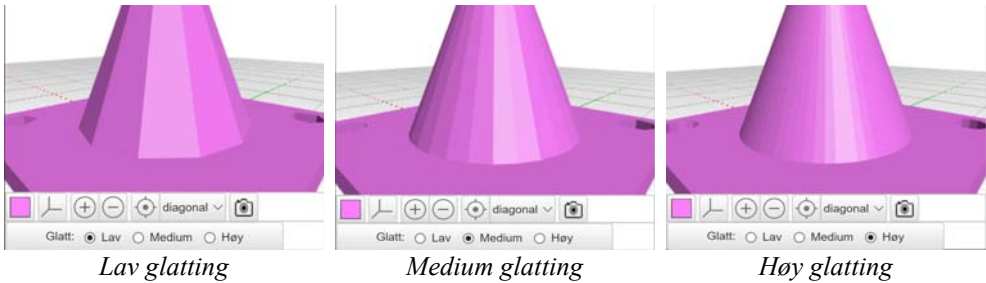
- ... trykk Gjengi på displayet til høyre, og modellen gjengis i det grafiske vinduet til høyre.



- Bruk muspekeren til å dreie i planet og endre perspektivet eller gjør det samme med + og - knappen.
- Med fargeknappen til venstre under displayet kan man endre fargen på objektet.



9. Det er også mulig å velge mellom lav, medium og høy glatting. Det betyr at antallet fasetter rundt sylindere endres.



10. For å generere en fil for printing bruk knappen Generer STL (Binary). Denne kan leses av CURA som forbereder fila for printing (generer g-filen).

11. Åpne CURA og last inn designet og generere g-filen som leses av 3D-printeren.

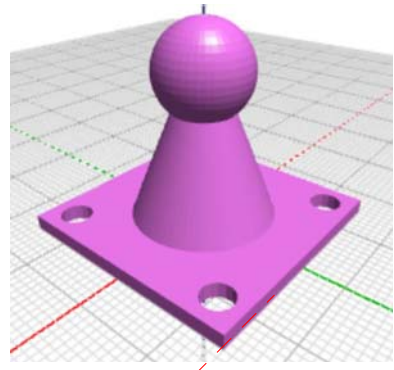
12. En artig mulighet er at man kan skifte mellom blokk-kode og en C-lignende kode som brukes i OpenSCAD. Dette oppnår man med å velge Kode på menylinja lengst til høyre. Koden kan ev. kopieres og legges inn i OpenSCAD. Det er ikke mulig å endre koden for så å få en endret utgave av blokk-koden i BlocksCAD.

3.3 Lag en knagg

Som et første ordentlige design skal det konstrueres en enkel knagg. Knaggen skal kunne skrus fast i veggen. Den ferdige knaggen er vist i figuren til høyre.

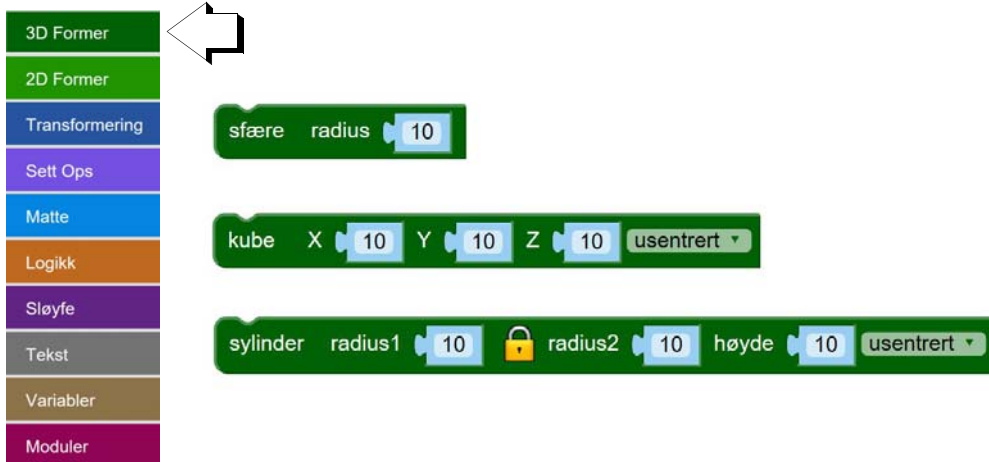
Vi skal nå stake ut en kurs for hvordan vi kan lage denne knaggen.

1. Identifiser hvilke former knaggen består av?





2. Under er vist noen blokker som kan være aktuelle å bruke i denne sammenheng.

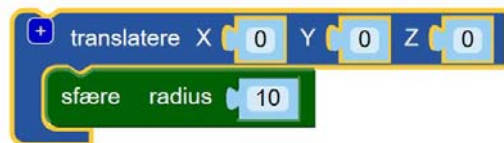


De tre kommandoene (blokkene) “sfære” (kule), “kube” og “sylinder” er alle hentet fra menyen “3D Former”. Hver av kommandoene tegner henholdsvis en kule hvor radien kan endres, en kube hvor alle sidene kan ha forskjellig lengde, og en sylinder hvor øvre og nedre radius samt høyden kan endres. Den vesle låsen låser “radius1” og “radius2” til hverandre. Legg merke til at vi finner igjen fargene i menyen på blokkene.

3. Dernest må vi finne ut hvordan vi flytter “kula”, “kuben” og “sylindere” i koordinatsystemet. For å få til det må vi bruke en “translatere”-kommando.

Med denne kan vi flytte det som legges inne i gapet til et vilkårlig sted i rommet.

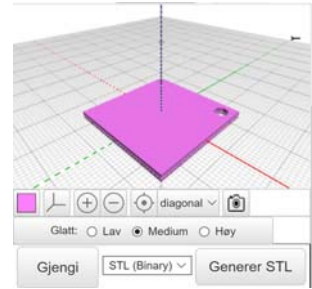
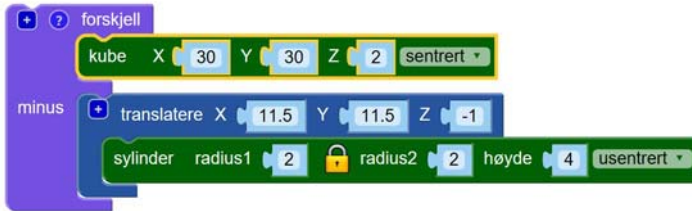
Ved å sette inn størrelsen til forflytningen i x-, y- og z-retning, vil den flytte seg det antall millimeter i de tre retningene tilsvarende verdiene satt inn i innboksene. Ved å legge kula inn i gapet på “translatere”-kommandoen vil den utføre den angitte forflytningen i rommet. Det vesle +-tegnet vil åpne opp flere gap slik at flere figurer kan flyttes på samme måte.



4. En annen kommando vi trenger for å lage knaggen, er kommandoen for å lage hull. Dette gjøres ved å ta en struktur og trekke fra en annen. Dersom vi skal lage et sylindrisk hull i en plate så lager vi først plata og deretter sylindere som plasseres i plata der hullet skal være. Vi bru-



ker da “Forskjell-kommandoen”, og setter inn kommandoen for plata **minus** kommandoen for sylinderen (hullet) som vist i figuren under. I tillegg forskyver vi sylinderen 1 mm ned (-1) slik at den stikker ut på undersiden, dermed vil hullet bli gjennomgående.

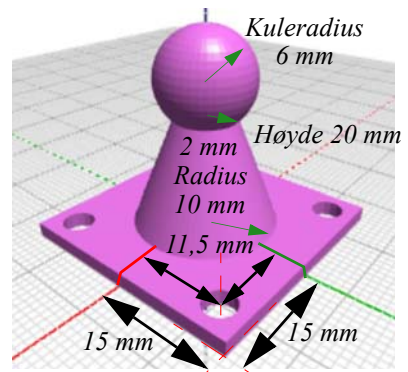


Siden vi har fire hull, må denne kommandoen gjentas fire ganger, en gang i hvert hjørne. Bruk “Translatere”-kommandoen for å plassere hullene på rett plass.

5. Lag knaggen etter målene i figuren til høyre.

3.3.1 Lag avansert knaggrekke

Forsøk å lag en knaggrekke med navn under hver knagg. Utformingen av knaggen kan være etter eget ønske. På bildet under er vist eksempler på knagger hentet fra forhandlere av slike.





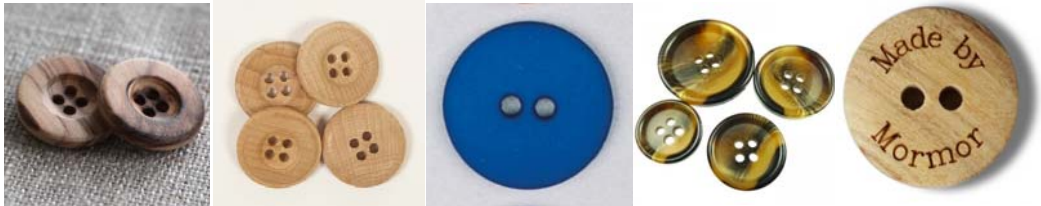
3.3.2 Lag tannbørste holder

Eller lag en holder for tannbørster, her er det enda viktigere med å sette navn på holderen.



3.3.3 Lag en knapp

Knapper kommer jo i alle fasonger og utforminger.



3.4 Flere kommandoer

I dette avsnittet skal vi se på flere nyttige kommandoer. Hentet fra menyene.

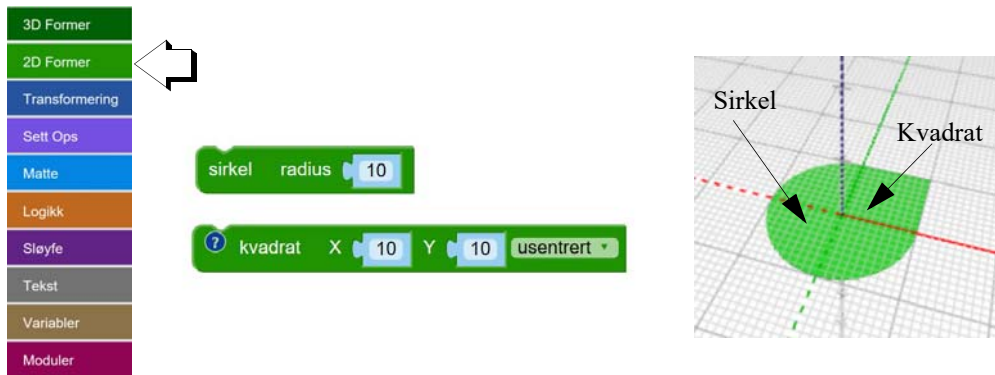
Av former så finner vi 2D og 3D former.

3.4.1 Det er to 2D-former:

- Sirkelflate (radius)
- Rektangulær flate (x og y)



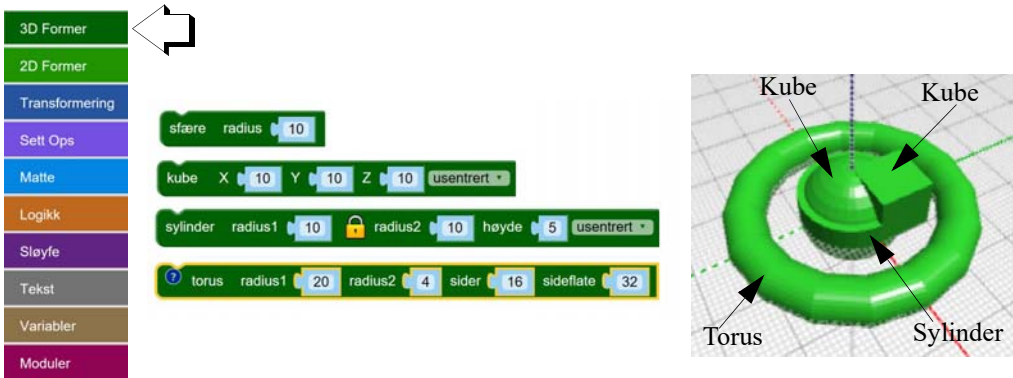
Figuren under viser hvordan disse to kan ta seg ut når de kombineres.



3.4.2 Det er fire 3D-former:

- Kule (*radius*)
- Kube (prisme) (*x, y, z*)
- Sylinder (*radius1, radius2, høyde*)
- Torus (smultring) - *radius1* er radiusen til torusen, mens *radius2* angir radiusen til tykkelsen av torusen

Figuren under viser hvordan disse fire kan ta seg ut når de kombineres



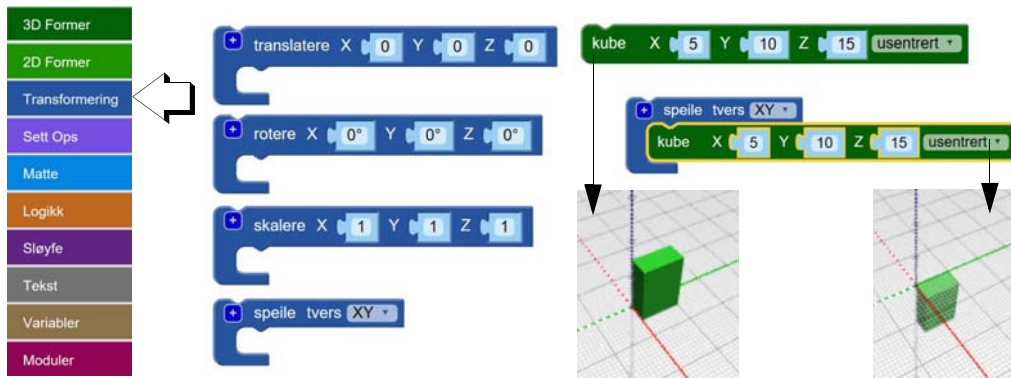
3.4.3 Transformering

Disse fire er kanskje de vanligste:

- *Translatere* - forflyttet (*x, y* og *z*)
- *Rotere* omkring tre ulike akser *x, y* og *z*. Rotasjonsvinkelen angis i grader.
- *Skalere* i de tre retningene *x, y* og *z*

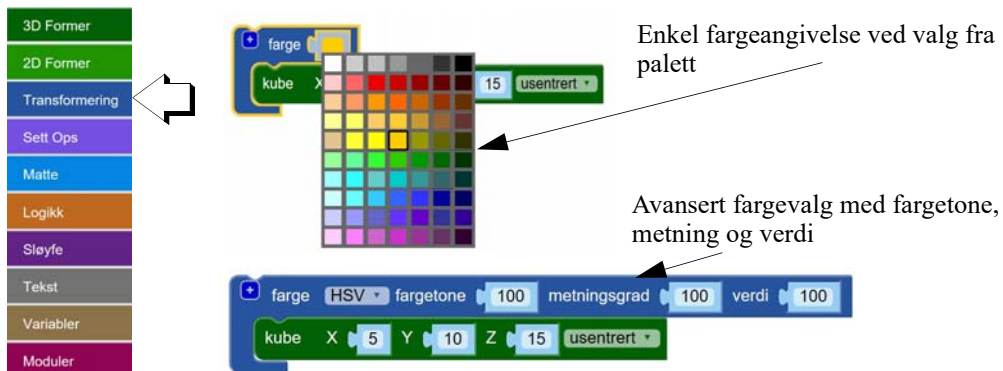


- *Speile* om planene XY, YZ og XZ

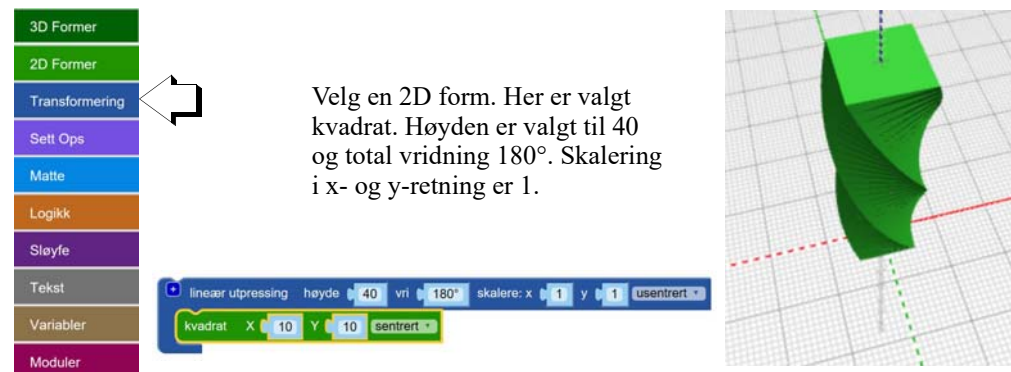


Til høyre på figuren ser vi hvordan speilingskommandoen fungerer. I dette tilfellet speiler den klossen om XY-planet.

Ved hjelp av kommandoen *Farge* kan man sette ulike farger på enkeltdele av modellen.

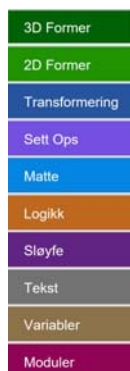


Ved hjelp av kommandoen *Lineær utpressing* (“extrude”) kan man vri og duplisere ett flatt objekt. Ved å skalere i x- og y-retning kan man krympe eller forstørre kvadratet etter som det utpresses i z-retningen.

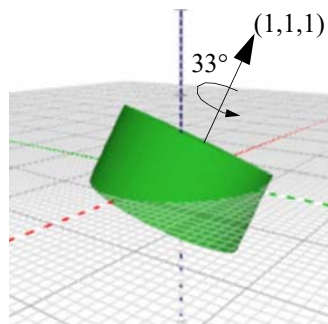




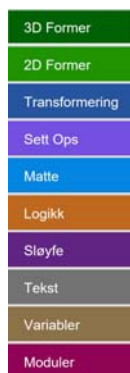
Kommandoen *Fin rotasjon* betyr at et objektet roteres en vinkel omkring en vektor x, y og z definert av kommandoen.



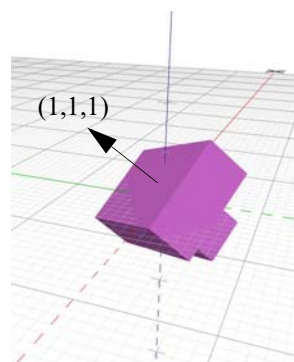
Her har vi valgt å dreie en sylinder 33° omkring en vektor som strekker seg fra origo til (1,1,1).



Kommandoen *fin speiling* vil speile en figur om et plan som står vinkelrett på den spesifiserte vektoren.



Her har vi valgt å modellere om et plan som står vinkelrett på vektoren seg fra origo til (1,1,1).



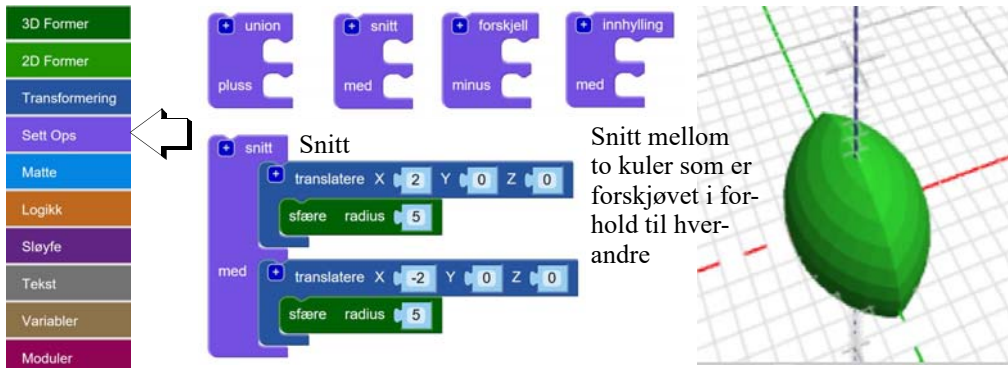
3.4.4 Sett opsjoner

Disse fire kommandoene kan utføre følgende operasjoner:

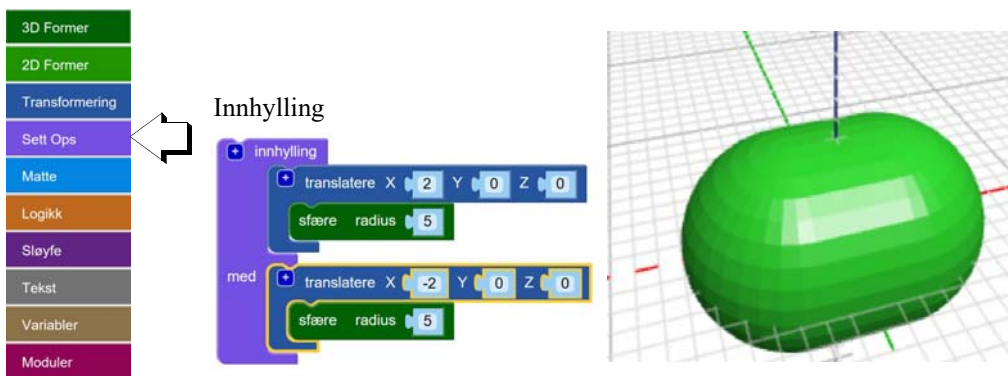
- **Union** – betyr at to eller flere objekter slås sammen til ett objekt
- **Forskjell** – betyr at et objekt trekkes fra et annet. Det første objektet vil derfor gjerne få et hull der det andreobjektet befinner seg.
- **Snitt** – er området der to eller flere objekter overlapper hverandre
- **Innhylling** – betyr at rommet mellom de to objektene fylles slik at de to objektene blir hengende sammen på en mest mulig sømløs måte.



Figuren under viser *Snittet* av to kuler som overlapper. I dette tilfellet ser snittet ut som en konveks linse. Det vesle plusstegnet i øvre venstre hjørne av kommandoen gjør det mulig å legge til flere objekter.



I figuren under er vist hvordan kommandoen *Innhylling* fungerer. Her er to kuler forskjøvet i forhold til hverandre. Ved innhylling fylles rommet mellom dem slik at de henger sammen som vist til høyre på figuren under.



3.4.5 Matematikk

I denne undermenyen finner vi en rekke matematiske funksjoner fra enkel addisjon til røtter og logaritmer. Menyen inneholder følgende kommandoer:

- **Konstanter** – Ett tall eller et antall grader. En kan også velge mellom konstantene π , e , φ , rota av 2 og rota av 1/2.



- **Grunnleggende regnearter** – Addisjon, subtraksjon, multiplikasjon og divisjon





- **Kvadratrøtter, absoluttverdi, eksponent og logaritmer** – Kvadratrott, absoluttverdi, minus (-), naturlig logaritme (ln), tier-logaritme (log10), *e* opphøyd i (e^x), 10 opphøyd (10^x).



- **Trigonometriske funksjoner** – Sin, cos, tan, arc sin, arc cos og ark tan. Argumentet settes inn i grader.



- **Avrunding** – Rest av en divisjon og avrunding opp eller ned av flyttall (desimaltall)



- **Karakteristika med tall** – Tallet er et oddetall, et partall, et heltall, et positivt tall, et negativt tall, eller tallet er delelig med et annet tall.



- **Tilfeldige tall** – Tilfeldige flyttall (desimaltall), tilfeldige tall mellom to yttergrenser som settes i kommandoen

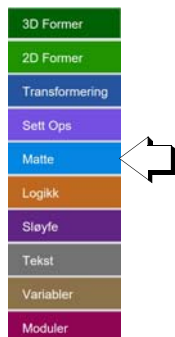


- **Begrense et tall** – Tallet skal være innenfor to yttergrenser som er gitt i kommandoen.



Som en ser så har en ganske store muligheter til å bruke matematiske formler for å beregne formen til det objektet man ønsker å lage.

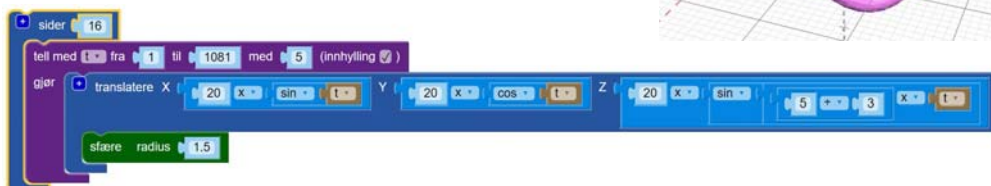
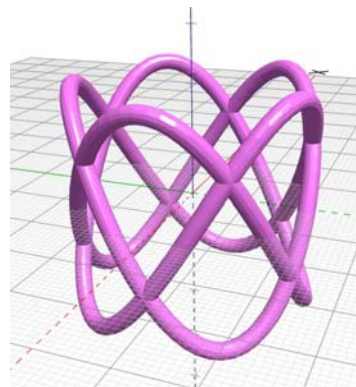
Figuren under viser hvordan man kan bruke trigonometriske figurer til å lage flotte knutelignende kurver i rommet.



Trigonometriske funksjoner

Legg merke til at variabelen *t* endrer vinkelen i argumentet hos de trigonometriske funksjonene i små stapp på 5° .

For å komme helt rundt i figuren må *t* gå fra 0 – 1080. 1081 for å få litt overlapp.



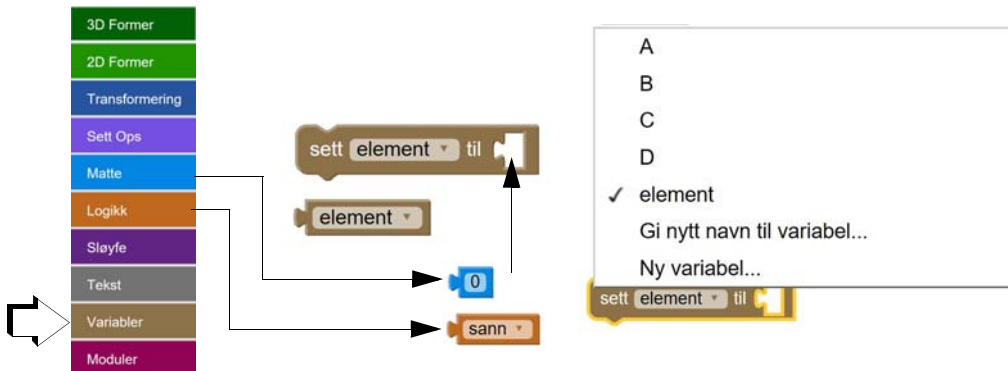


Vi legger også merke til at *innhylning* er haket av i den neste øverste blokken. I utgangspunktet tegnes en rekke små kuler langs den matematiske kurven. Ved å hake av på innhylning vil disse kulene henge sammen slik at det blir til en sammenhengende snor.

3.4.6 Variabler

La oss se på variabler før vi går videre. I blocksCAD defineres typen variabel idet den tilordnes.

I utgangspunktet består menyen av en kommando og ett generelt element. Dersom man trykker på den vesle pila ved elementet, så vil det komme opp en liste med alle definerte variabler. I vårt tilfelle er det A, B, C, D og element. Ved å velge *Ny variabel* så kan man skrive inn navnet på en ny variabel, som så kommer inn i lista over variabler som kan velges. En kan også endre navn på en variabel.



Type variabel defineres ut fra hva den settes til. Setter man den til et heltall eller flyttall (blå kloss) så blir den henholdsvis et heltall eller flyttall. Settes den til en *Sann* eller *Usann* verdi, blir den en boolsk variabel o.l.

3.4.7 Logiske uttrykk

Denne undermenyen omhandler betingelsessetninger og logiske uttrykk. En hver betingelses-setning eller if-setning inneholder en betingelse som må være oppfylt for at kommandoene som er omsluttet av if-setningen skal utføres.



Menyen inneholder betingelsessetningen, ulike betingelser som kan testes og en boolsk verdi (sann eller usann) og en negasjon som gjør en sann verdi usann og en usann verdi sann.

The image displays the BlocksCAD interface with a sidebar on the left containing categories: 3D Former, 2D Former, Transformering, Sett Ops, Matte, Logikk, Søyfe, Tekst, Variabler, and Moduler. The main workspace shows a sequence of logic blocks: 'sett B til 2', 'sett A til 2', 'sett C til sann', 'sett D til sann', followed by a 'hvis' block with three 'test' sub-blocks: 'hvis sant' (A=B), 'hvis usant' (A≠B), and 'gjør' (sylinder radius1=10, radius2=10, høyde=10, usentrert). To the right, a 3D view shows a green cylinder on a grid.

I eksempelet over har vi først definert heltallsvariablene A og B og tilordnet disse verdien 2. Der-
neste har vi definerte to boolske variabler C og D som begge er tilordnet verdien *sann*.

Så følger betingelsessetningen (hvis) hvor vi har tre betingelser (tester) som krever at C og D skal være *sanne*, hvilket er *sant*. Derne-
ste betingelsen (hvis sant) som krever at A skal være lik B , hvilket også er sant siden begge har verdien 2. Til slutt kreves det en usann betingelse (hvis usant) som krever at A er forskjellig fra B , hvilket er usant siden $A = B = 2$. Dermed er alle betingelsene oppfylt og oppgaven kan utføres (*gjør*), hvilket er å modellere en sylinder med radius 10 mm og høyde 10 mm. Til høyre vises sylinderen, resultatet av kommandoen.

3.4.8 Sløyfer

Sløyfe-kommandoen gjentar et sett tegnekommandoer et bestemt antall ganger, samtidig som en kan endre en eller flere parametere under veis. Et stakitt vil være en modell som vil dra nytte av en slik kommando siden det er en lik struktur som gjentar seg langs en akse.

The image displays the BlocksCAD interface with a sidebar on the left containing categories: 3D Former, 2D Former, Transformering, Sett Ops, Matte, Logikk, Søyfe, Tekst, Variabler, and Moduler. The main workspace shows a 'gjør' block with a 'tall med' block (fra 1 til 10 med 1) and three 'kube' blocks with different translation values (X=5, Y=2, Z=40; X=100, Y=2, Z=5; X=100, Y=2, Z=5). To the right, a 3D view shows a stack of 10 purple cubes forming a staircase structure. Labels point to 'Variabelen i', 'Fra verdien 1', 'I trinn på 1', and 'Til verdien 10'.

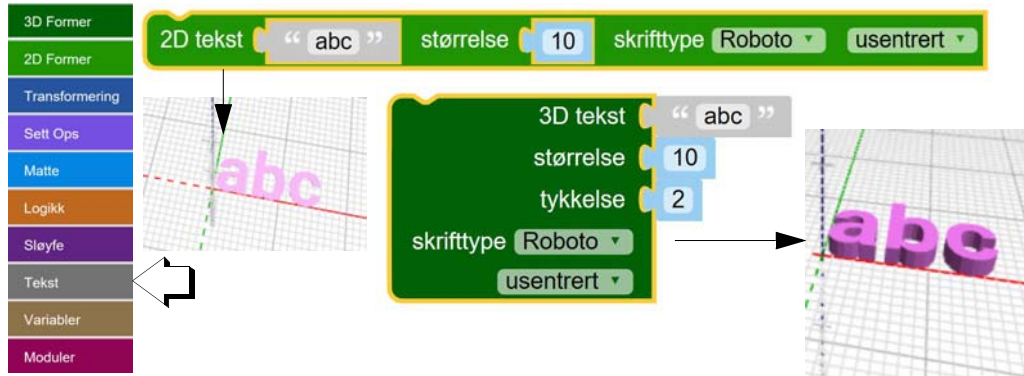


Kommandoen gjentar innholdet i gapet så mange ganger som tellevariabelen bruker på å endre sin verdi fra 1 til 10 i trinn på 1 (eksempelet over). Huker man av for innhylning vil alle sprossene forsvinne og man får en struktur som er innhylningen av alle ytterpunktene.

Til høyre på figuren over er koden for å tegne et enkelt stakitt gjengitt. Midt på ser man det ferdige stakittet.

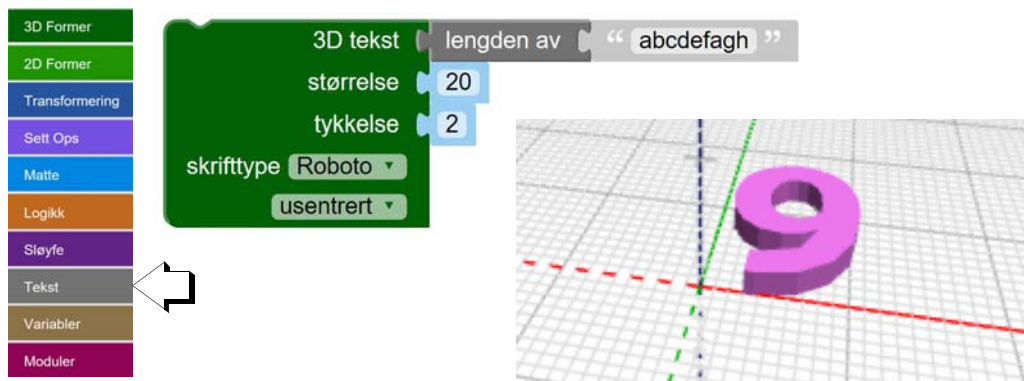
3.4.9 Tekst

Disse kommandoene brukes for å lage en tekst som f.eks. rager opp av overflata.



I figuren over er vist to eksempler. Den øverste kommandoen gir en flat 2D-tekst, den midt på gir en tekst som rager 2 mm opp over overflata. Både tykkelse, bokstavstørrelse og font kan velges.

Det finnes også en kommando som returnerer antall bokstaver i en tekst. Vår tekst inneholder bokstavene "abcdefgh". Kommandoen *lengden av* returnerer antall bokstaver i den etterfølgende teksten. Kommandoen skriver ut antallet bokstaver istedet for bokstavene som vist i figuren under. Så kan en selvfølgelig lure på når det er behov for en slik kommando..



Man kan f.eks. bruke kommandoen dersom man ønsker å lage et navneskilt med fri tekst og man vil at skiltets dimensjoner skal endre seg avhengig av lengden på teksten. I så fall kan man bruke kommandoen til å bestemme lengden av skiltet som vist i figuren under.



I dette vesle programmet har vi definert en variabel *tekst*. Derneft bruker kube-kommandoen til å lag selve skiltet som er 2 mm tykt (z) og 8 mm bredt (y). Vi bestemmer lengden av skiltet med kommandoen *lengden av* variabelen *tekst* (z). Hver bokstav multipliseres med faktoren 2.35 som er en slags gjennomsnittlig bredde av bokstavene. I tillegg legger vi til 4 mm for å lage litt luft i begge ender. I tillegg bruker vi en *translate* kommando for å posisjonere teksten på skiltet. Selve teksten skriver vi inn i *sett tekst til* kommandoen

Teksten skrives inn her

Her beregnes lengden av teksten

3.4.10 Moduler

Moduler brukes når vi ønsker å duplisere mange like strukturer. La oss anta at vi ønsker å lage en skog av trær. Da kan det være greit å konstruere ett tre og så duplisere dette treet.

Moduler

La oss først konstruere treet med en stamme og en konisk sylinder som løvverk, se figuren over til høyre. Her har vi konstruert stamme og løvverk med ulike farger, brunt og grønt. For å gjøre dette til en modul samler vi først de to blokkene som utgjør treet ved hjelp av en *union*-



kommando.

Her skrives navnet på modulen inn

Her "kaller" vi modulen *tre* dermed blir det tegnet ut ett tre

Vi kan nå bruke modulnavnet *tre* og kalle dette så mange ganger vi måtte ønske. I programmet vist på figuren under har vi benyttet sløyfe-kommandoen og laget 10 trær etter hverandre, en allé med en stadig økende avstand fra origo.

Sløyfe-kommandoen gjør at vi gjentar *tre*-modulen 10 ganger samtidig som vi flytter treet langs x-aksen

Vi kan også ønske å endre på noen parametere tilhørende treet, for eksempel høyden. Da må vi



omdefinere modulen til en modul med en parameteren som vi f.eks. kan kalle *høyde*.

1. Trykk verktøy-hjulet

4. Sett variabelen *høyde* inn sylinderblokken

3. Skriv inn navnet på parameteren

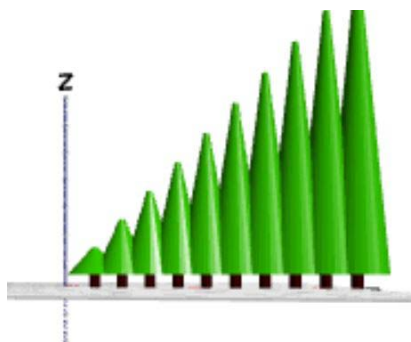
2. Sett denne blokken inn i gapet til *parameter*-blokken

5. Setter inn en varierende verdi for trærnes høyde

Dette gjør vi på følgende måte:

1. Velg verktøy-hjulet øverst til venstre på modulblokken
2. Flytt blokken *Navn på parameteren* inn i gapet på *parameter* til høyre
3. Skriv inn navnet på parameteren der det står *x*
4. Pass på å sette parameteren (*høyde*) inn blokken som definerer høyden på trærne.

Vi ser at hver gang vi "kaller" modulen *tre* så endres inngangsparameteren *høyde* til modulen etter som sløyfe-telleren *i* endres. Resultatet kan vi se på figuren over til høyre.

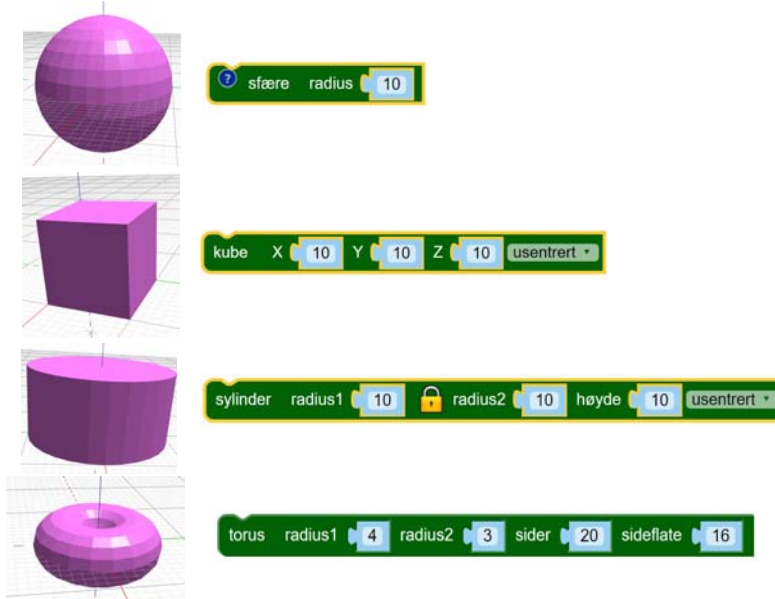




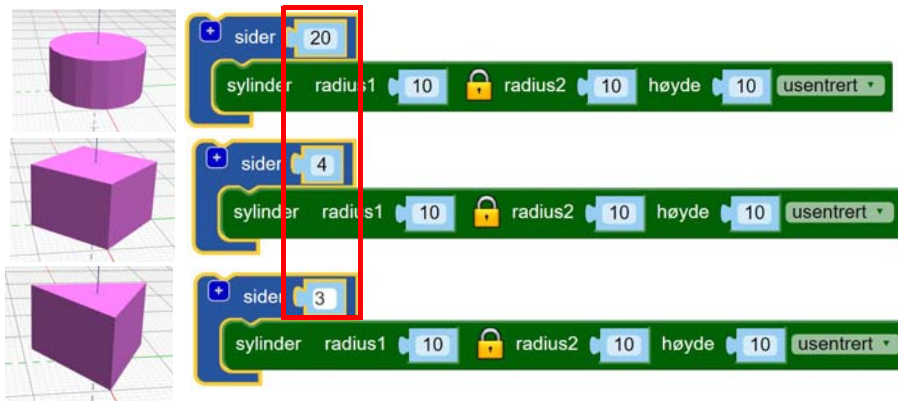
3.5 Oppbygging av komplekse geometrier med BlocksCAD

3.5.1 Grunnformene

Vi har et begrenset repertoar av geometriske figurer å velge fra i BlocksCAD og i OpensCAD. I BlocksCAD består utvalget av kube eller prisme, sylinder, kule og torus (smultring) som vist på figuren under.



Disse grunnformene kan endres ved å endre antall sider i formen. La oss se på sylindere.

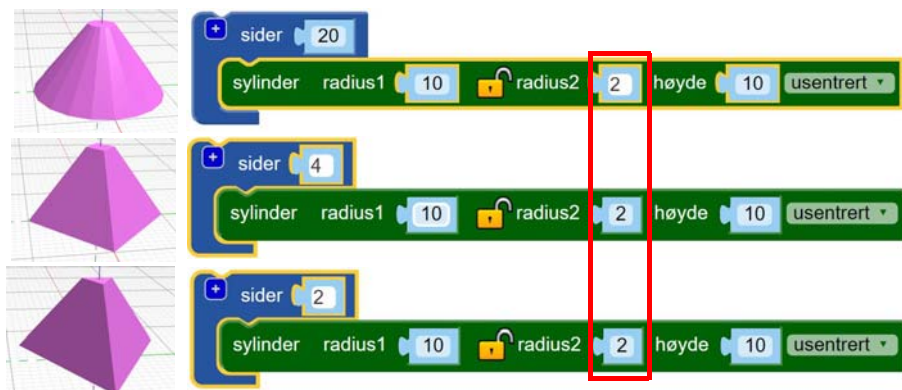


Her ser vi at vi kan lage likesidede prismer. Trekanten er kanskje den mest anvendelige. Vi skal hvordan vi kan bruke den som saltak på modellhus.



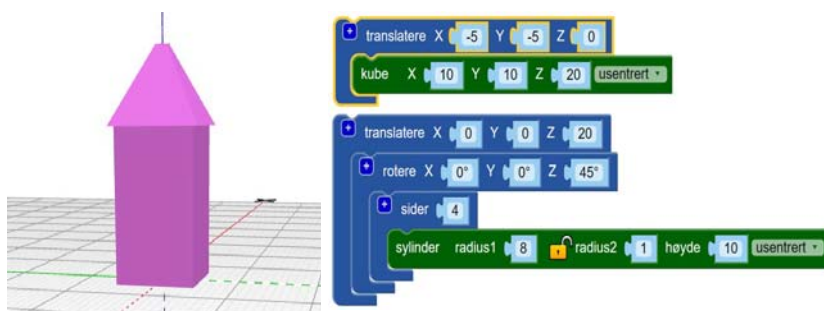
3.5.2 Takkonstruksjoner

Her ser vi hvordan vi kan skape prismer med ulike antall sidekanter ved å ta utgangspunkt i en sylinder og så redusere antall sider. Nå kan en si at man kan bruke kube istedet for sylinder for å lage en kubisk form som vist over. Å ta utgangspunkt i sylinder gir oss imidlertid en annen fordel nemlig å anvende ulik radius oppe og nede. Dette gir oss mulighet til å lage kjebler og pyramider både spisse og rett avkortede.

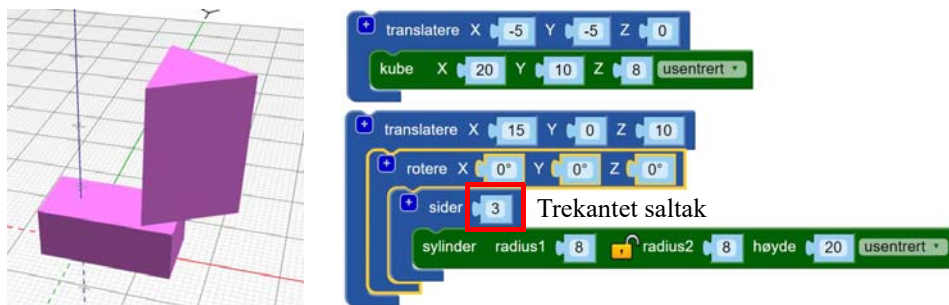


Dette får vi til ved å redusere toppradiusen hos sylinderen.

Dette trikset kan vi også benytte dersom vi skal lage et pyramideformet tak på et tårn (se figuren til høyre), eller et saltak på et hus (se figuren under).

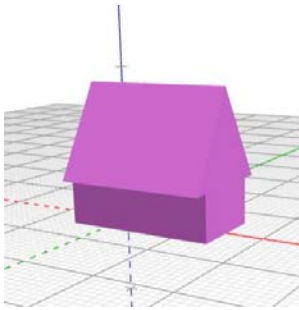


På lignende vis kan vi lage et saltak ved å ta utgangspunkt i en sylinder med tre sider og dreie den slik at den blir liggende på siden på toppen av et avlangt firkantet prisme som danner selve huset. På figuren under ser vi saltaket før det er dreid ned mot huset.

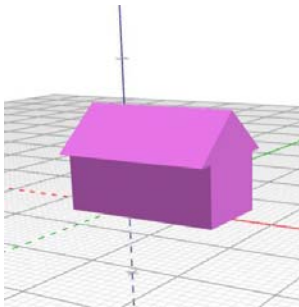




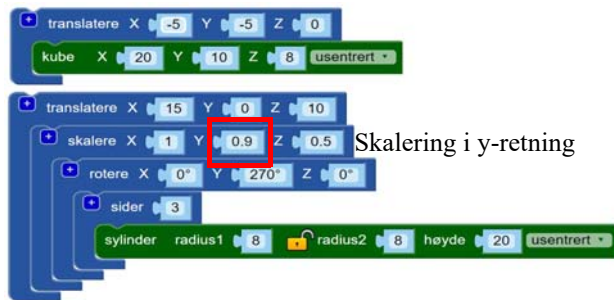
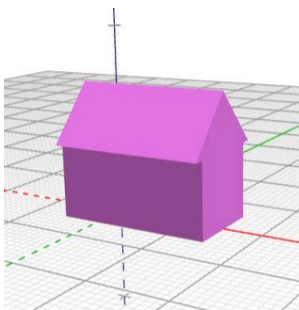
I figuren har vi dreid taket 270°



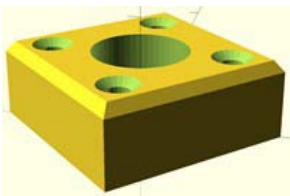
Dersom vi synes taket blir vel høyløftet kan vi skalere det ned.



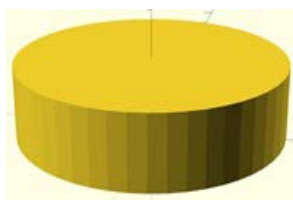
Et for bredt takskjegg kan være en utfordring siden det henger ut over husveggene slik at 3D-printeren må bygge i løse lufta. Imidlertid tåles noe overheng. Ønsker man å redusere overhenget kan man også skalere i y-retningen.



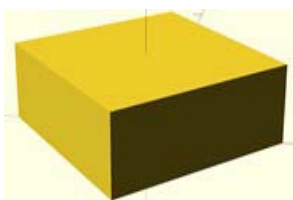
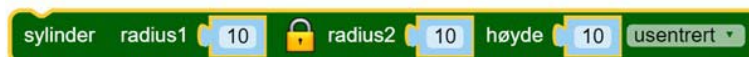
3.5.3 Oppdeling av kompleksformer



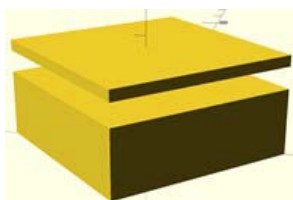
Modellen på figuren til venstre er en holder til en garderobestang som både skal holde stanga og kunne skrues inn i veggen til garderoben.



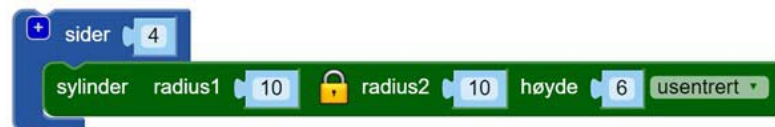
Vi velger å begynne med en sylinder. Årsaken er at vi ønsker å legge på en knekt kant øverst. For å få til det så må vi ta utgangspunkt i en sylinder med ulike bunn og toppradius. For at hjørnene skal bli liggende på samme plass kan det være greit at selve holderen tar utgangspunkt i en lignende sylinder.

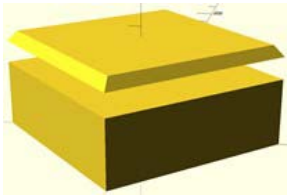


Ved å sette antall sider til sylindringen til 4 vil vi få et prisme med seks sider som er grunnstrukturen i holderen.



Vi legger så til en tynnere plate øverst, også denne med utgangspunkt i en sylinder gitt fire sider. For å illustrere at den er et separat prisme, har vi løftet det over grunnstrukturen.





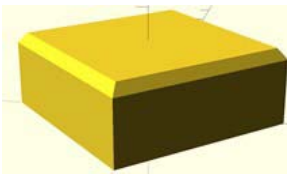
Vi skrårstiller det øverste prisme slik at det blir en avkortet firkantet pyramide.



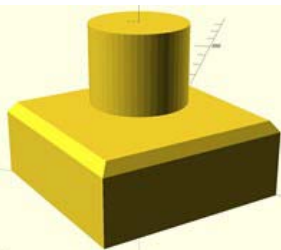
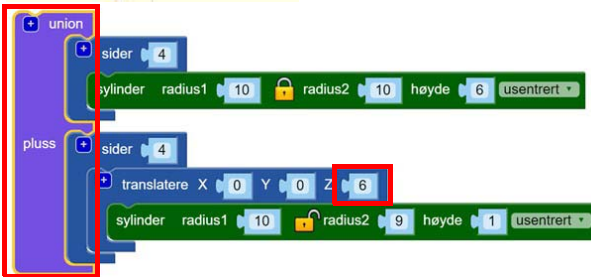
Grunnstruktur



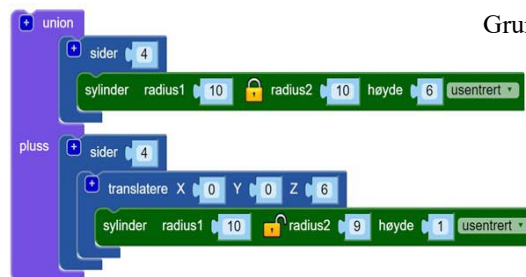
Avkortet pyramide



Så senker vi pyramiden ned på grunnstrukturen slik at de to smelter sammen. Vi velger å bruke kommandoen *Union* slik at de to delene vil fungerer som en enhet. Dette er en fordel når vi senere skal sette hull gjennom både grunnstrukturen og den avkortede pyramiden.



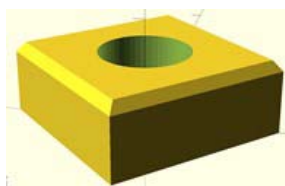
Her har vi vist sylinderen som utgjør hullet før den "trekkes fra" resten av modellen.



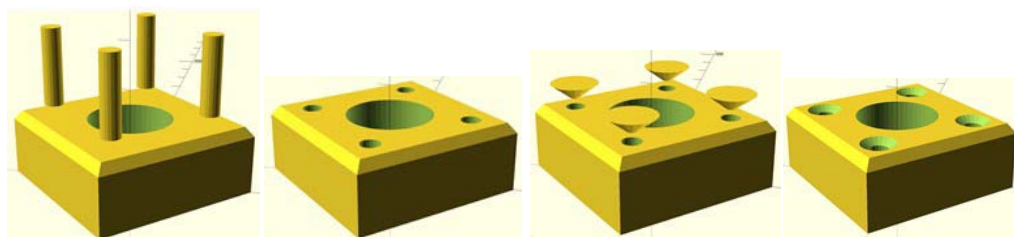
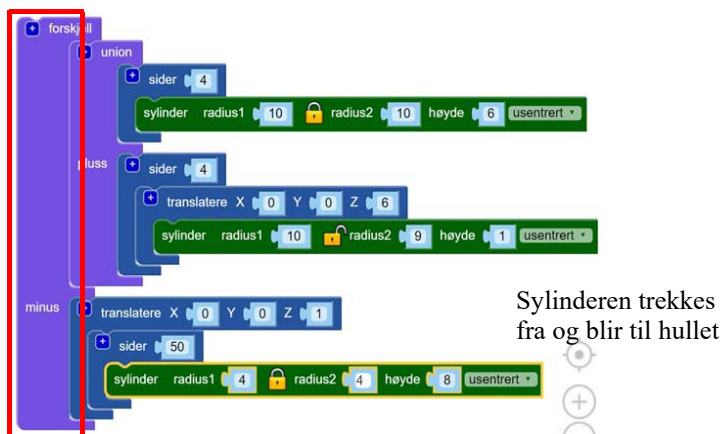
Grunnstruktur



Sylinder som skal bli til hullet



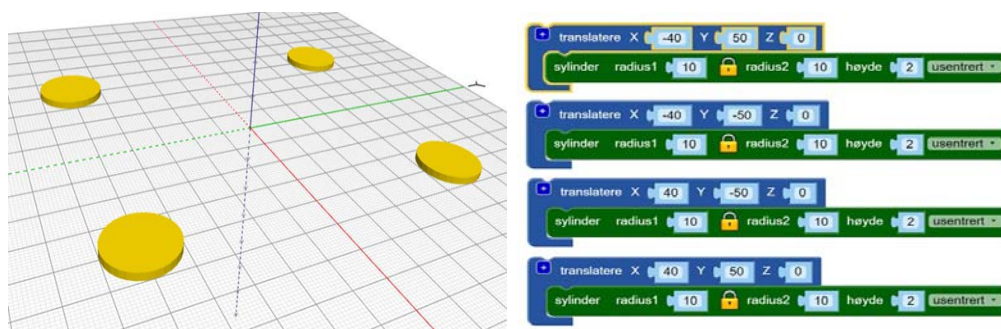
Her bruker vi “forskjells”-blokken og trekker sylindere fra grunnstrukturen.



Figurene over viser hvordan sylindrene til skruerhullene trekkes fra grunnstrukturen. På samme måte lages forsenkningen av skruhodene ved hjelp av omvendte kjegler.

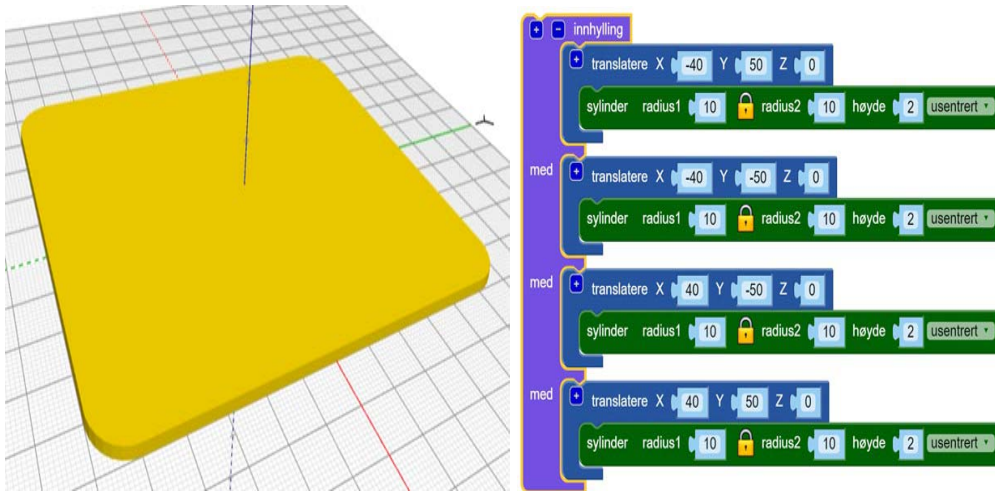
3.5.4 Bruk av omhylningsfunksjon

Her skal vi lage et lite turbord med avrundete hjørner. Avrundete hjørner kan vi lett lage ved hjelp av funksjonen *Innhylling* som vi finner under katalogen *Sett Ops*. Først legger vi ut fire runde skiver i hjørnene av bordplata. Disse bestemmer graden av avrunding i hjørnene.

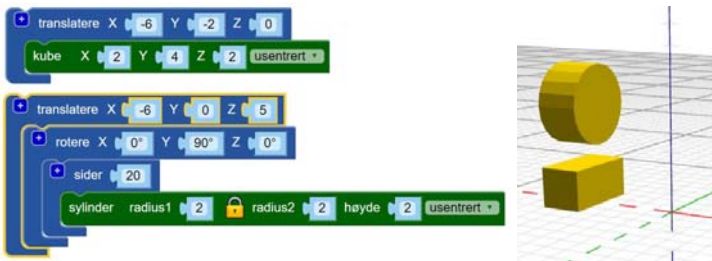




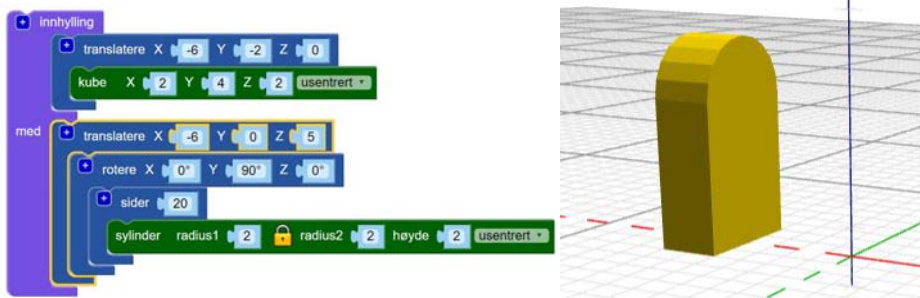
Deretter bruker vi Innhyllings-funksjonen som vil fylle ut det mellomliggende.



Buedøra i kirken er laget på samme vis. Den er sammensatt av et lite prisme og en sirkulær skive satt på høykant som vist på figuren under.



Bruker vi Innhylling-kommandoen kommer buedøra fram.



Denne trekkes så fra sleve bygningen slik at vi får en buedørformet innhuk i enden av huset.



4 Bruk av CURA

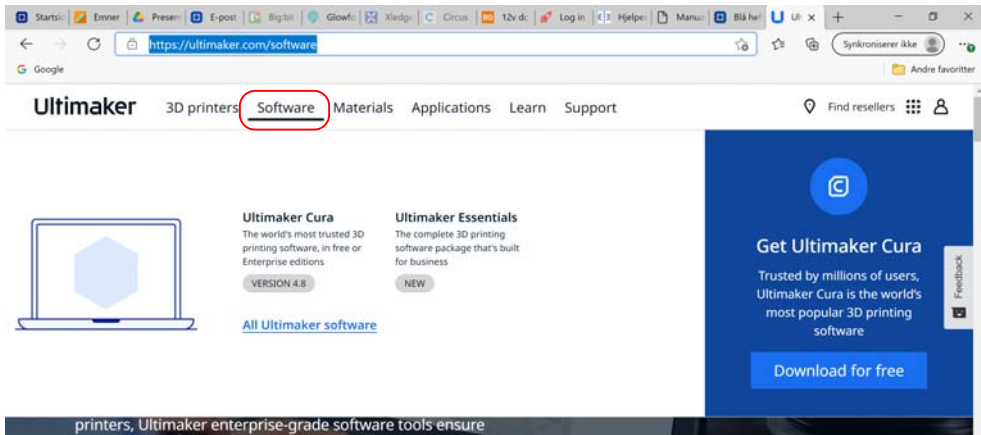
CURA er et gratisprogram som er utviklet av Ultimaker og er svært mye brukt. Ulempen er at det må lastes ned og installeres på en PC eller en MAC. I skrivende stund er gjeldende versjon CURA 4.8.

4.1 Installer og sett opp Ultimaker CURA

CURA er et program som bestemmer hvordan skrivnehodet skal bevege seg for å lage vår 3D-modell.

1. Installasjon

Programmet lastes ned fra: <https://ultimaker.com/software>



Det viste skjermbildet framkommer ved å holde muspekeren over *Software*.

Velg så **Download for free** og følg default anvisninger for installasjon.

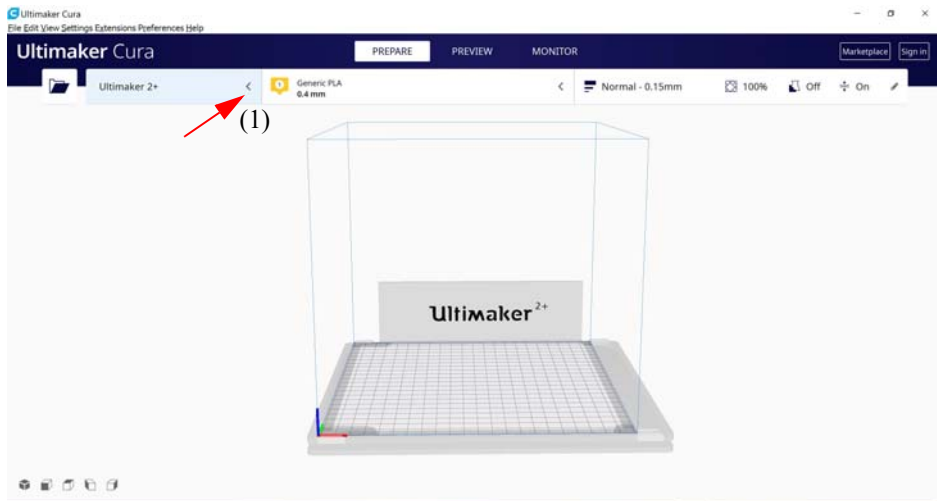
2. Start programmet CURA (Rev.4.8)

Dette gjøres ved å trykke på ikonet vist til høyre





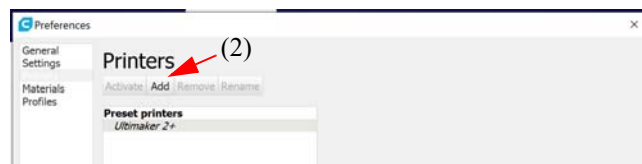
- Etter en stund vil du få opp programvinduet til CURA



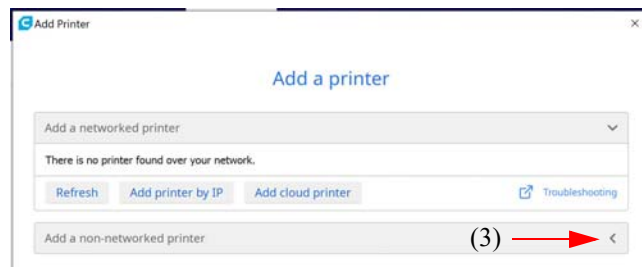
3. Velg profil for aktuell 3D-printer

Vi skal nå sette opp profilen for den eller de 3D-printerne vi ønsker å jobbe med. Foreløpig nøyer vi oss med å sette opp for Prima Creator P120.

- Velg pila hos fanen øverst og lengst til venstre, se figuren over (1). Da får du opp følgende, sannsynligvis unntatt Ultimaker 2+ som i dette tilfellet alt er installert. Velg så **Add** (2).

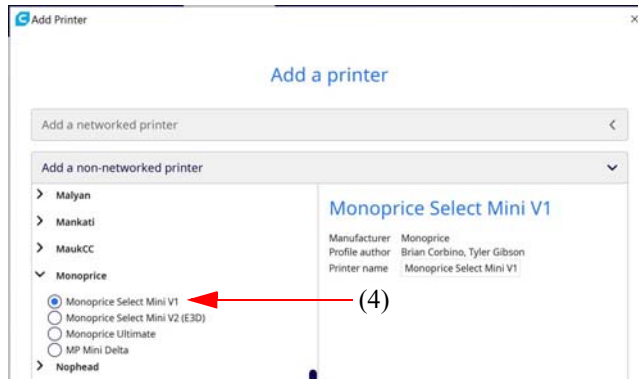


- Åpne lista over alternative printere (3) ...

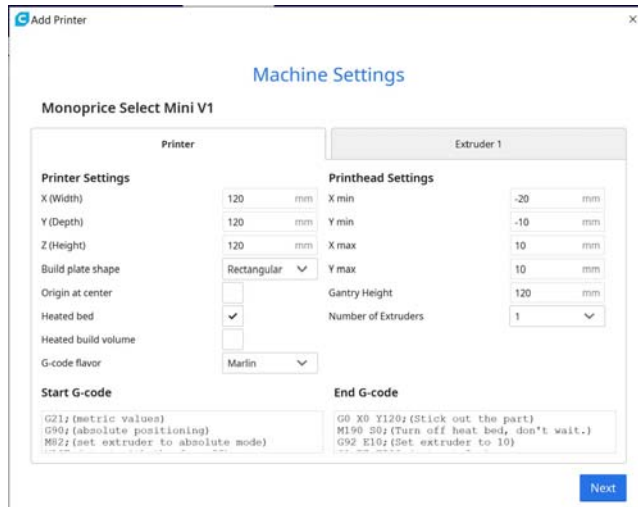




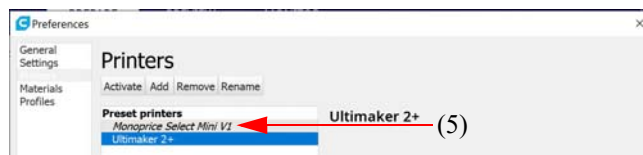
- ... og velg riktig printer fra lista som kommer opp: **Monoprice – Monoprice Select Mini V1** (4) er den som passer for Prima Creator P120.



- Velger man denne printeren vil man få opp en oversikt over standard parametere knyttet til P120.



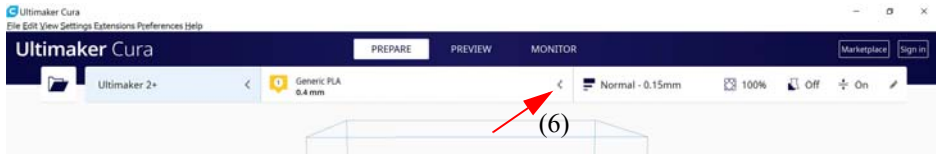
- Velg **NEXT** og du vil se at den nye printeren er installert, i vårt tilfelle i tillegg til Ultimaker 2+. Velg så **CLOSE** nederst til høyre.



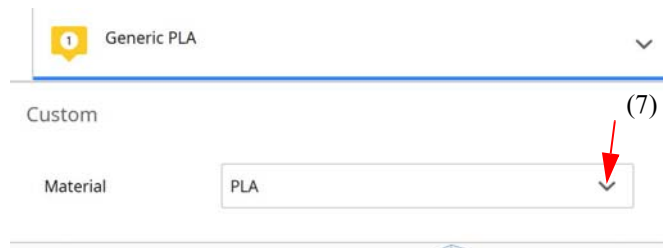


4. Velg materiale

- Fra fanen i midten (6) velger vi det materialet vi ønsker å bruke.



- For oss er det naturlig å velge PLA. Andre materialer kan ev. velges med pila til høyre (7)



4.2 Valg av de viktigste parameterne i CURA

I dette delkapittelet skal vi se hvordan vi velger noen sentrale egenskaper ved utskriften.

5. Oppsett av Lagdeling og ruting (Slicing)

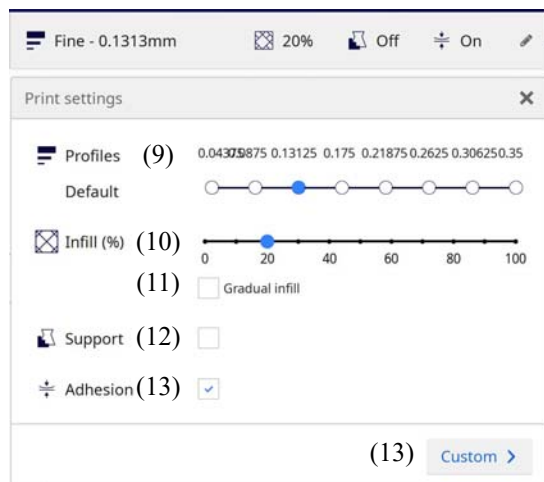
- Fra fanen til høyre (8) setter vi opp parametere for lagdeling og ruting.



- Figuren under viser de viktigste valgene vi må ta før vi starter lagdeling og ruting (Slicing). Vi legger merke at fanen viser en oppsummering av de viktigste valgene.

• Profiles (9)

Her kan vi velge hvor tett vi skal legge lagene. 0,13125 er foreslått. Ved å øke avstanden vil det ta kortere tid å skrive ut modellen, men kvaliteten reduseres. Vi benytter den foreslåtte verdien (Default).





Infill (%) (10)

Her angis hvor stor andel av det innvendige hulrommet som skal fylles. Dersom gjenstanden vi skal skrive ut skal tåle belastning kan det være lurt å velge en høy prosentandel, gjerne også 100%. Dersom den utsettes for lav belastning kan en gjerne velge 20%. Høy verdi for infill gir en kraftigere konstruksjon men tar lang tid å skrive ut og bruker mye materiale. Lav verdi for infill gir en svakere konstruksjon, men er raskere å skrive ut og bruker mindre materiale.

Gradual infill (11)

Haker man av for gradual infill vil fylningsgraden øke mot toppen av modellen. Dette kan jo være attraktivt dersom modellen har større slitasje i toppen.

Support (12)

Skal man skrive ut en modell som skråner sterkt utover etter hvert som den vokser opp over skriveplattformen, har man behov for å bygge stillaser som man kan legge materialet på. Disse må bygges opp fra bunnen av etter som konstruksjonen vokser. Programmet vil automatisk beregne behovet for slike stillaser og legge det inn i “byggeplanen” etter behov. De delene av konstruksjonen som krever stillaser vil også fargelegges røde i CURA slik at man ser hvor behovet oppstår.

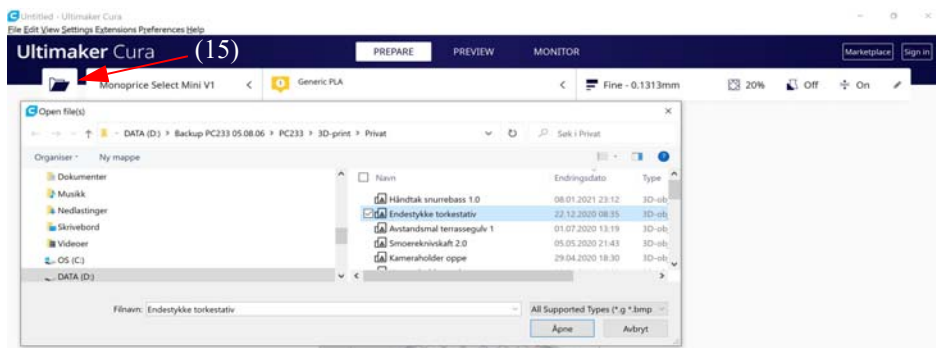
Adhesion (13)

Dersom flata som står på skriveplattformen er liten så kan det være behov for å bygge en plattform som modellen kan stå på slik at den står stødigere og fester bedre til underlaget. Skulle den løsne under veis vil hele utskriften bli spolert. Dersom man føler seg trygg på at den vil sitte fast så anbefales å sløyfe Adhesion da den gjør at undersiden av modellen blir temmelig ruglete og stygg. Dette gjelder primært når man velger å bygge konstruksjonen på en *flåte*. Alternativt kan man bruke *skjørt* som legger opp til et lag rundt modellen.

Custom (14) Det finnes en mengde andre parametere som man kan endre på for å få en optimal utskrift. Normalt trenger man ikke justere på disse.

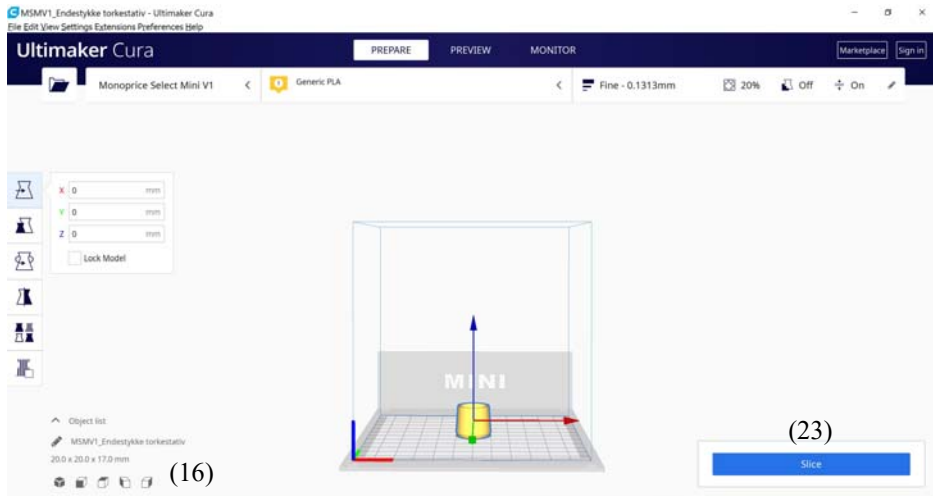
6. Hent opp modellen og gjennomfør lagdeling og ruting (slicing)

- Velg File *Open* eller mappe-ikonet (15) oppe til venstre og hent opp .stl-file til den aktuelle modellen. Når dette er gjort vil modellen vise seg på arbeidsflata hos CURA.





- Etter at modellen er lastet opp så plasseres den på byggeplata og vi har mulighet til å inspisere modellen fra alle kanter med kommandoene knyttet til ikonene nederst til venstre (16).

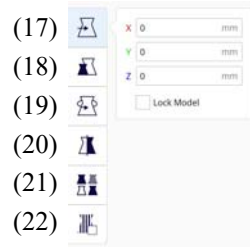


Ved å trykke inn høyre musknapp og bevege musa kan man studere modellen fra ulike sider. Ved hjelp av mushjulet kan man zoome ut og inn.

7. Enkle operasjoner på modellen

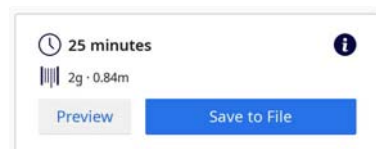
Med menyen vist til venstre for skriveplattformen kan man gjøre enkle manøvrer. Det er en forutsetning at modellen er merket for at kommandoene skal fungerer:

- (17) Med dette ikonet kan man flytte modellen rundt om på skriveplattformen.
- (18) Med dette ikonet kan man forstørre og forminske modellen i %.
- (19) Med dette ikonet kan man dreie modellen i alle retninger.
- (20) Med dette ikonet kan man speile og snu modellen opp ned.
- (21 og 22) Med disse ikonene kan man sette mer avanserte parametere hos modellen.




8. Lagdeling og ruting (Slice)

- Ved å velge **Slice** nederst i høyre hjørne så utføres lagdeling og ruting av modellen og g-fila genereres.
- Man får også informasjon om hvor lang tid utskriften tar og hvor mye filament som medgår og beskjed om hvor tung modellen blir, der med er det også lette å beregne materialkost for en modell dersom man kjenner prisen på snella.





- *Save to File*
I nederste høyre hjørnes finnes knappen *Save to file*. Dersom et SD- eller minnekort er satt inn, så vil filen legges der. Etter lagring blir man bedt om å trykke *Eject*. 
- *Flytte filen*
Man tar med seg SD- eller minnebrikken bort til den aktuelle 3D-printeren og stikker den inn i SD-kortleseren eller USB-porten.

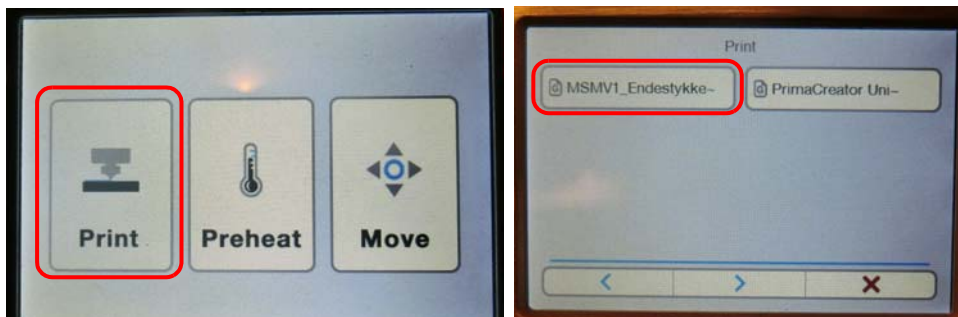
4.3 Overføring av g-file til printeren

I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan overføre fila til 3D-printeren. Vi velger Prima Creator P120 som eksempel. Denne delen vil jo være ulik fra printer til printer.

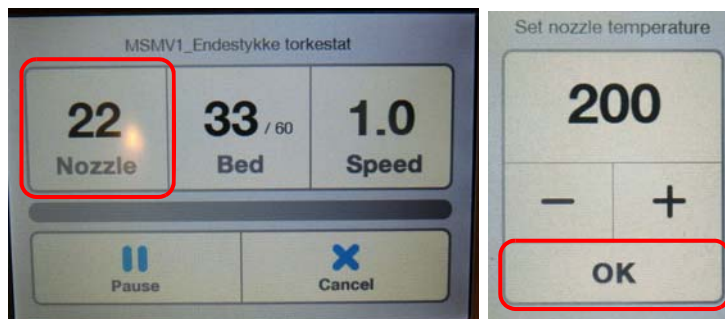
9. Oppstart 3D-printer, P120

Vi skal nå vise hvordan vi starter utskrift av 3D-modell på P120

- Slå på 3D-printeren om ikke det er gjort.
Av/på-bryteren finnes på baksiden nederst til *venstre* sett forfra.
- Stikk SD-kortet eller SD-kortadapteren med micro SD-kortet inn i SD-leseren til høyre for printeren.
- Velg *Print*-menyen og velg ønsket utskriftsfil som vist under:

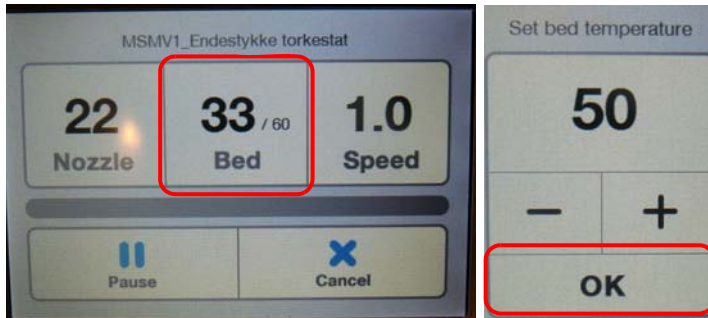


- Berør feltet merket *Nozzel* (skrivehodet) og sett temperaturen til 200°C dersom filamnetet er av typen PLA. Trykk *OK*.

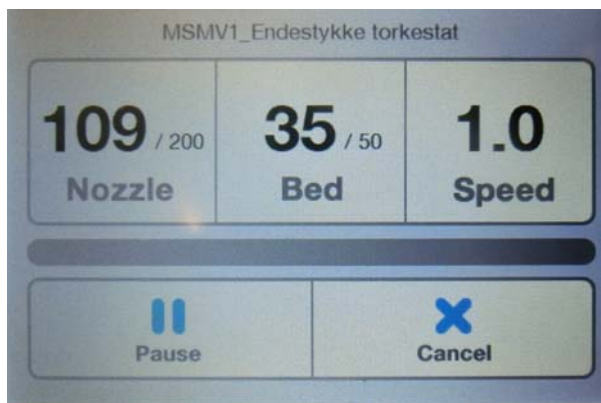




- Berør feltet merket **Bed** (skriveplattform) og sett temperaturen til 50°C. Trykk **OK**.



- Så snart temperaturen er nådd på skrivehodet og på skriveplattformen, vil utskriften starte.



- Stripen midt på skjermen viser framdriften. Vent til utskriften er ferdig.
- Fjern utskriften forsiktig med en spatel. Det er normalt lettere å fjerne den når den er avkjølt.
- Det er mulig å ta av den sorte plata og bøye den forsiktig for å få av modellen som er skrevet ut, men vær forsiktig. Dersom plata blir varig bøyd vil den være ubrukelig for utskrift.



Vedlegg A Eksempel på knaggrekke

forskjell

kube X 100 Y 30 Z 3 usentrert

minus

translatere X 5 Y 5 Z -1

syylinder radius1 2 radius2 2 høyde 5 usentrert

minus

translatere X 5 Y 25 Z -1

syylinder radius1 2 radius2 2 høyde 5 usentrert

minus

translatere X 95 Y 5 Z -1

syylinder radius1 2 radius2 2 høyde 5 usentrert

minus

translatere X 95 Y 25 Z -1

syylinder radius1 2 radius2 2 høyde 5 usentrert

Basisplate med hull til skruer

forskjell

translatere X 25 Y 20 Z -1

rotere X 330° Y 0° Z 0°

syylinder radius1 6 radius2 4 høyde 25 usentrert

minus

translatere X 18 Y 18 Z -4

kube X 15 Y 15 Z 5 usentrert

Knagg til venstre kube som fjerner del av knagg som stikker ut under

forskjell

translatere X 75 Y 20 Z -1

rotere X 330° Y 0° Z 0°

syylinder radius1 6 radius2 4 høyde 25 usentrert

minus

translatere X 68 Y 18 Z -4

kube X 15 Y 15 Z 5 usentrert

Knagg til høyre kube som fjerner del av knagg som stikker ut under



translatere X 14.5 Y 6 Z 0

3D tekst " NILS "

størrelse 8

tykkelse 5

skrifttype Open Sans

usentrert

translatere X 60 Y 6 Z 0

3D tekst " HELGA "

størrelse 8

tykkelse 5

skrifttype Open Sans

usentrert

Navn

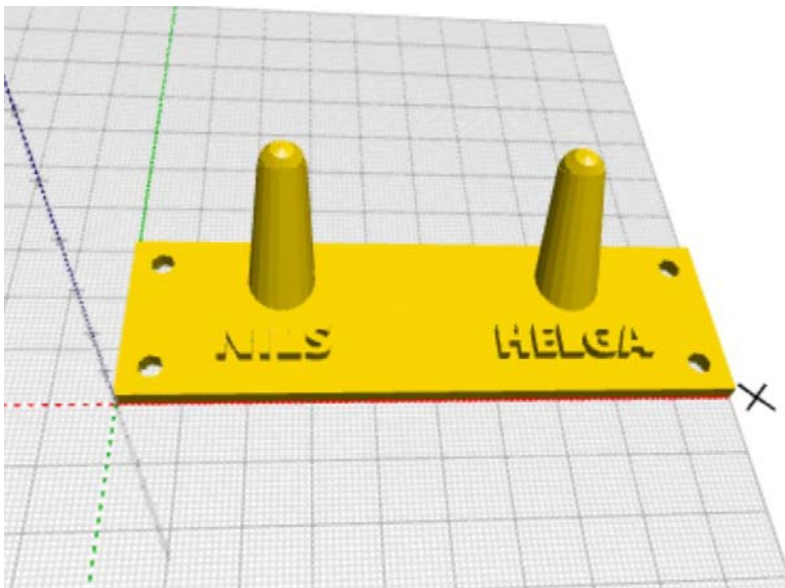
translatere X 25 Y 32.2 Z 20.2

sfære radius 4

Kule på toppen av hver knagg

translatere X 75 Y 32.2 Z 20.2

sfære radius 4







Heftet ble opprinnelig laget i forbindelse med en nettverkssamling for ToF-lærere mars 2019 i Trondheim og er i første rekke beregnet som et hjelpemiddel under samling og som en ressurs som ev. kan brukes av lærerne når de kommer tilbake til egen skole.

Senere ble heftet revidert og utvidet noe i forbindelse med Novemberkonferansen i 2021.

Heftet gir en kort introduksjon til 3D-printing, modellering med BlocksCAD og CURA som er et program for å oversette den grafiske modellen til styrekommandoer som 3D-printeren forstår.

Nils Kr. Rossing

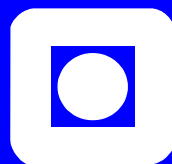
Dosent ved Skolelaboratoriet

E-post: nils.rossing@ntnu.no

Prosjektleder ved Vitensenteret

E-post: nkr@vitensenteret.com

NTNU



Trondheim

Institutt for
fysikk

Skolelaboratoriet
for matematikk, naturfag
og teknologi

Tlf. 73 55 11 43

<https://www.ntnu.no/skolelab>