

31-01-2024

# Robotic non- planar 3D print

Komponentanbefalingsrapport

Jesper Heltzen  
CENTER FOR INDUSTRI

Denne rapport bygger på og opsummerer den viden som befinder sig i CFI, længere desk research samt tre dage i Frankfurt til Forment messen, hvor det var muligt at snakke med virksomheder og leverandører.

I denne rapport vil vi kigge på de forskellige muligheder for opbygningen af en co-bot, således den kan 3D printe og indgå i erhvervsskolernes undervisning. Formålet med rapporten er at analysere og evaluere disse muligheder detaljeret for at kunne komme frem til en endelig anbefaling af det bedste valg af opbygning.

Der vil hele vejen igennem være stort fokus på at systemet skal være sikkert samt nemt at anvende, i og med undervisere og elever ikke vil bruge systemet til dagligt. Der er også taget højde for at anvende anerkendte leverandører som sikre et højt niveau af service og hvor man kan hente hjem samt fremskaffe reservedele hvis det skulle blive nødvendigt.

Det er vitalt at identificere og vurdere de relevante komponenter og teknologier, der vil muliggøre en succesfuld ombygning af robotten til en effektiv 3D-printer. Ved at undersøge og sammenligne de tilgængelige løsninger kan vi opnå en dybdegående forståelse af fordele og ulemper ved hver mulighed.

Formålet med denne kortlægning er at sikre, at skolerne føler sig klædt på til at tage det endelige valg af komponenter og ombygning samt sikre at det opfylder specifikke krav og mål.

Ved at gennemføre denne grundige kortlægning håber vi at kunne komme med en velunderbygget anbefaling til det mest passende valg af opbygning, som vil maksimere robotens potentiale som en dedikeret 3D-printer.

Rapporten vil være delt op i følgende afsnit

1. Robot
2. Software
3. Ekstruder
4. Kabinet/celle
5. Byggeplan
6. Elektronik

## Indholdsfortegnelse

Indledning.....	3
Robot .....	4
KUGA.....	4
Universal Robots.....	4
Anbefaling.....	5
Kabinet/celle.....	5
Sikkerhed og ventilation .....	6
Anbefaling.....	6
Software.....	6
Anbefaling.....	7
Ekstruder .....	7
Materiale .....	8
Anbefaling.....	8
Byggeplan .....	8
Anbefaling.....	9
Elektronik.....	9

## Indledning

Non-planar 3D-print refererer til en teknik, hvor lagene i en 3D-printet genstand ikke er begrænset til at være plane, som det normalt ses i traditionel 3D-print. I stedet tillader non-planar 3D-print print af lag i forskellige vinkler og retninger, hvilket muliggør mere komplekse geometrier og kurver i genstanden.

I konventionel 3D-print bygges objekter typisk op i vandrette lag, hvilket kan begrænse designmulighederne, især når det kommer til at skabe mere komplekse former og overhæng. Non-planar 3D-print overvinder denne begrænsning ved at give mulighed for, at hvert lag kan tilpasses i forhold til den ønskede form. Dette åbner op for mere komplekse og organiske geometrier, der ellers ville være vanskelige at opnå med traditionelle metoder, samtidig med man opretholder eller forbedre styrken på printet.

Printsystemet til non-planar 3D print er mere avanceret og kombinerer et 3D-printerhoved, der udskiller materialer, med en multiakse robotarm, hvilket resulterer i en 3D-printer, der er mere alsidig end traditionelle printere.

Robotarmens betydelige bevægelsesområde gør den velegnet til store projekter som formfremstilling, store prototyper, værktøjer og endda raketter. Denne teknologi åbner op for en ny dimension af designfrihed inden for 3D-print, da robotarmen kan operere fra praktisk talt enhver vinkel og skabe ekstremt komplekse, buede geometrier med betydeligt større printstørrelser.

En vigtig fordel ved Non-planar 3D-print er, at de generelt ikke kræver støttestrukturer, hvilket også øger designfriheden. Dog kræver denne tilgang, at strukturerne er selvstøttende, hvilket kan begrænse anvendelsen af overhængende design. Nogle har dog overvundet dette ved at muliggøre om-orientering af byggeplanet fx via et dobbelt-akset rundbord, hvilket gør det muligt at printe i vinkler mindre end 90 grader. Med en fikseret byggeplan, vil det være muligt at printe op til 90 grader uden støttestruktur.

Brugen af multiaksiale værktøjsbaner, kræver at operatørerne korrekt programmerer instruktioner for både 3D-printerhovedet (flow) og robotarmen (bevægelse), hvilket kan være en kompliceret øvelse. Der kan derfor være en fordel i at benytte specialiseret 3D-printsoftware, til at hjælpe med denne programmering særligt ved Non-planar 3D-print.

En særegen karakteristik ved Robotic 3D-printere er, at de primært er "build-your-own". Virksomheder køber normalt individuelle komponenter som robotarme, ekstruderingsenheder og software separat, hvilket hidtil har hindret disse printere i at blive adopteret. Dog er teknologien ved at blive mere udbredt, især inden for industriel fremstilling. Fx kan færdige celler købes fra Massive Dimension til 510.000 kr.

Adskillige producenter arbejder med Robotic 3D-print herunder ABB Robotics, CEAD, KUKA, Bloom Robotics, Caracol, Pipelife, Weber Additive og Massive Dimension. Hver producent tilbyder unikke egenskaber og anvendelser, såsom større printstørrelser, fleksibilitet i materialer og bæredygtighed.

Endelig findes flere forskellige pellet- og filament ekstruderingsystemer samt software, der kan bruges sammen med robotarm-3D-printere.

Producenter som Massive Dimension, Dyze Design, CEAD, Rev3rd og Weber Additive tilbyder forskellige ekstruderingsløsninger til brug med industrielle robotarme.

Og virksomheder så som Robotmaster, ABB RobotStudio, Ai Build's AiSync, Adaxis, Octopuz og RoboDK, gør offline programmering af robotter til additiv fremstilling mere tilgængelig og effektiv. Disse værktøjer bidrager til en mere automatiseret styring af 3D-printprocessen, hvilket ellers kan være en tung proces særligt ved Non-planar 3D-print.

## Robot

Valget af den rette robotarm er afgørende for på grund af flere vigtige faktorer:

**Bevægelsesområde:** En robotarm med et stort og fleksibelt bevægelsesområde muliggør bevægelse i forskellige retninger og vinkler. Dette er afgørende for at skabe non-planare lag og komplekse geometrier uden begrænsninger. Samtidig må robotarmen ikke være så stor at den kolliderer med den Celle som robotten bliver placeret i.

**Præcision:** Præcisionen i robotarmens bevægelse og positionering er afgørende for at opretholde nøjagtighed i lagpåføringen. En præcis robotarm sikrer, at hvert lag placeres korrekt, hvilket er afgørende for at opnå ønskede form- og geometriegenskaber.

**Hastighed:** Non-planar 3D-print kan kræve komplekse bevægelser, og en robotarm med tilstrækkelig hastighed kan effektivt udføre disse bevægelser uden at gå på kompromis med kvaliteten af det printede objekt. Hastighed og præcision hænger oftest sammen og høre man hastigheden reducere man præcisionen.

**Fleksibilitet:** Evnen til at tilpasse sig forskellige printscenarier og materialer er vigtig. Fleksible robotarme kan integreres med forskellige ekstruderingsenheder og materialer, hvilket giver designere større frihed i valg af printmaterialer og -metoder.

**Kontrol og programmering:** En simpel kontrolenhed og letforståelig programmering er nødvendig for at styre robotarmen præcist og effektivt. Non-planar 3D-print kræver ofte komplekse bevægelsesmønstre, og en intuitiv programmeringssnitflade evt. via ekstern software gør det lettere for operatører at definere komplekse printbaner. Derfor er det vigtigt at robotarmen kan offline programmeres via sådan software for at simplificere processen.

**Stabilitet og styrke:** Non-planar 3D-print kan involvere bevægelser og belastninger, der kræver en robust og stabil robotarm. Særligt når man medregner det payload robotten skal have med rundt i form af ledninger, ekstruder og dyse. Dette er vigtigt for at undgå fejl og for at sikre pålidelig drift over tid.

Samlet set er valget af den rette robotarm afgørende for at opnå optimal ydeevne og kvalitet inden for non-planar 3D-print.

I dette projekt er vi begrænset af benytte det udstyr som allerede står på de to skoler Mercantec og NEXT

Derfor er det kun muligt at kigge på 2 robotproducenter fra KUGA og Universal Robots.

## KUKA

Har den fordel, at når vi arbejder med planar 3D-print, kan enhver slicer bruges, og g-kode kan let oversættes til robotbevægelser via KUGA.CNC. KUGA-robotter er også den foretrukne platform inden for 3D-print, hvilket betyder, at de i øjeblikket er den mest understøttede platform. Dette sikrer et højt niveau af support og tilgængelighed, hvilket gør KUGA til et optimalt valg for non-planar 3D-printapplikationer.

## Universal Robots

Når det kommer til systemer placeret på forskellige erhvervsskoler, er UR robotten overlegen. Det værd at overveje, da robotten udgør den primære investering i et sådant system, kan valget af en UR-robot være at foretrække. Det skal dog bemærkes, at det for nuværende ikke er bekræftet, om UR-robotten har præcis de samme funktioner som en KUGA-robot. UR-robotten kan dog være et omkostningseffektivt og alsidigt alternativ, der opfylder behovene i uddannelsesmiljøer.

## Anbefaling

I denne rapport tages der ikke endeligt stilling til valg af robot, da det i høj grad afhænger af skolernes tilgængelige ressourcer.

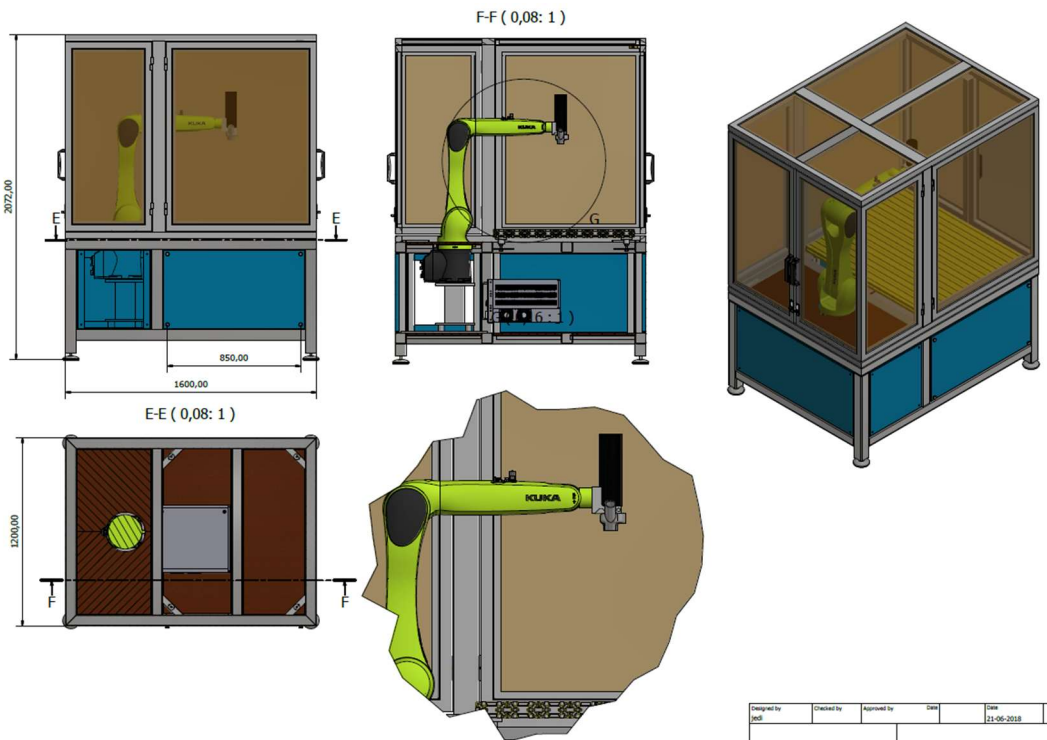
Dog anbefales det at overveje en samarbejdende robot (co-bot) for at forbedre sikkerheden, selvom dette indebærer en lille begrænsning i rækkevidden. Med en nyttelast på omkring 2 kg. (printhead ink. Beslag og ledninger mv.) vil jeg foreslå at overveje en af følgende robotter eller lignende modeller.

KUGA KR 10	KUGA LBR iiwa	Universal Robot
R900-2	14 R820	UR10e
R1100-2		UR 16e



## Kabinet/celle

Kabinettet er fastlåst, da man ønsker at anvende det kabinet som allerede er blevet produceret hos Mercantec, det har en fornuftig størrelse og samtlige sikkerhedsforanstaltninger der skal til, samtidig med det er et lukket kabinet som sikrer der ikke opstår træk og kuldebroer hen over 3D printet



## Sikkerhed og ventilation

Det kan overvejes at sætte udsugning på kabinettet, dette vil sikre at printeren kan stå i et "kontor" og man holder VOC (volatile organic compounds) værdierne til et minimum. Selvom PLA udleder ganske få VOCer så vil det stadig kunne måles i lokalet hvis det ikke er vel ventileret, og særligt nu hvor systemet skal bruges af unge mennesker og i undervisningsøjemed.

## Anbefaling

Det anbefales at man genbruger den eksisterende celle og får produceret en til NEXT. Det skal være muligt at tilslutte udsugning til Cellen.

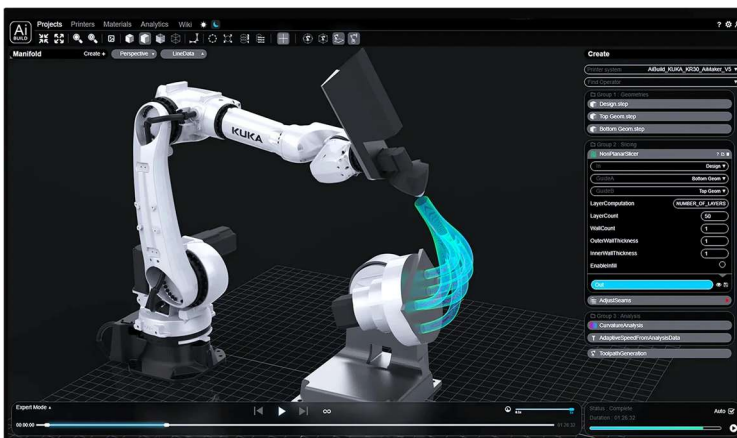
## Software

Software og valget af den rigtige software er afgørende i et brugervenligt non-planar 3D-printsystem, særligt i undervisningsøjemed da systemet kun vil blive brugt i perioder og derfor skal det være nemt for underviseren at anvende selvom man ikke har brugt det i nogle måneder.

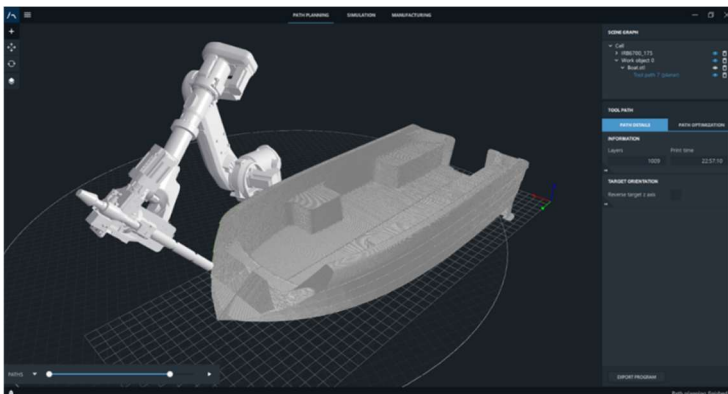
Selvom der findes flere systemer så som Robotmaster, ABB RobotStudio, Ai Build, Adaxis, Octopuz og RoboDK så er ABB systemet blevet valgt fra allerede i screeningsfasen, da der ikke vil blive anvendt en ABB robot.

Da brugervenlighed er et af de vigtigste parametre står der 2 stykker software tilbage, når man snakker om non-planar 3Dprint.

## AI-Build



## Adaxis

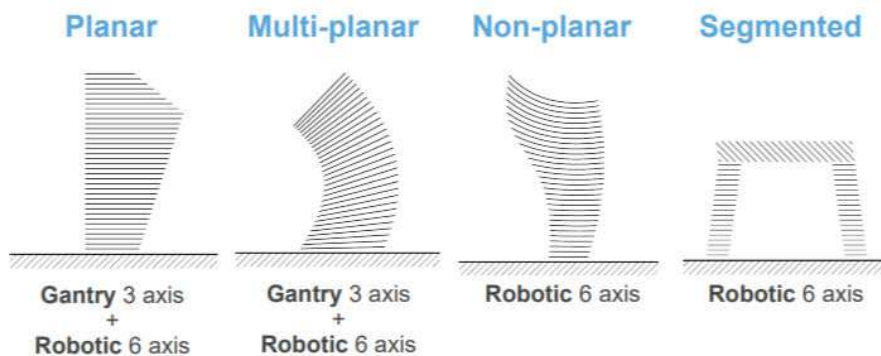


Man har senere testet undersøgt mulighederne for Ai Build og Adaxis hvor det sidstnævnte er blevet testet i en 30 dages periode.

RoboDK og Fusion360 vil også kunne løse opgaven, men det vil kræve noget mere forarbejde og vil være mere kompliceret samt det er usikkert om man kan udnytte de forskellige muligheder med non-planar print.

Jeg har nedenfor forsøgt at sammenligne de forskellige systemer.

	Non-planar	Multi-planar	Segmented	Ink. Postprocesser	Support	Pris/måned
AI Build	Ja	Ja	Ja	Ja	Good	
Adaxis	Ja	Ja	Ja	Ja	Good	3.730 kr.
RoboDK	Ja	Nej	Nej	Nej	Midelmådig	100 kr.
Fusion360	"Nej"	Nej	Nej	Nej	None	Grtatis



### Anbefaling

Min anbefaling vil klart være at udnytte mulighederne og den utrolige brugervenlige tilgang i Adaxis. Dette system understøtter brugeren hele vejen og gør processen fra 3D fil til print meget mere smidig, særligt ved de mere avancerede printmetoder.

Prisen er dog meget høj til undervisningsbrug, men Adaxis har lavet en ny og mere undervisnings venlig prismodel. Det anbefales at man sætter gang i en dybere dialog med Adaxis for at undersøge om der kan findes en løsning med en billig/gratis licens.

### Ekstruder

Der findes et hav af forskellige ekstrudere ude på markedet, men når vi tænker på at ekstruderen skal kunne understøtte non-planar print og samtidig have en høj flowrate så får står vi til bage med nogle få mærker.

Endnu en parameter er at ekstruderen skal benytte filament og ikke granulat, dette for at gøre brug og materialehåndtering mere simpel. Da den plastic man ønsker at benytte skal opbevares tør, særlig når systemet er til undervisningsbrug kan man forvente at der vil være perioder hvor det ikke bliver brugt, her vil granulat blive dårligt hvorimod en spole kan pakkes ind så den forbliver tør og er klar til brug næstegang.

En ekstruder skal min kunne levere 100mm<sup>3</sup>/s og yderligere have en dyse størrelse på min 1,2 mm. Dette for at sikre man kan opretholde en høj printhastighed, uden man forlanger store accelerationer af robotten.



Nedenfor er en liste af de ekstrudere/dyser der er blevet undersøgt.

	Non-planar	Max flow	vægt	Ink. Ekstruder motor	Stepper-driver	Pris
Dyze Design Typhoon	Ja	200 mm <sup>3</sup> /s	1750g	Ja	Ja	18.400 kr.
Slice Mosquito Prime	Nej	116 mm <sup>3</sup> /s	>500g	Nej	Nej	6.800 kr.



## Materiale

Det anbefales kraftigt at man holder sig til PLA og måske kan forsøge sig med TPU eller PETG.

Der eksister en dansk producent af materiale som kan spole det ønsket materiale op på større spoler.

[Nordic Extrusion](#) og elles har andre danske firmaer filament på 5 kg. Spoler i en større diameter på 2.85mm som er nødvendig for at kunne benytte en større dyse.

## Anbefaling

Jeg anbefaler klart at man anbender Typhoon dysen, da den har så mange fordele. Rygterne siger at Dyze Design er i gang med at udvikle en lidt mindre og lidt lettere dyse som også kunne være brugbar, særligt hvis man bliver lidt presset på løfte kapaciteten på sen anvendte robot.

## Byggeplan

Selv med små print på 200x200 mm kan det være en udfordring at få materialet til at hæfte til bygge pladen og 80-90% af de fejl der opstår under et print, er i første lag. Det er der flere årsager til.

1. ujævn eller buet bygge plade
2. ujævn ekstrudering af materiale

3. kold bygge plade
4. forkert belægning på bygge pladen.

To af disse ting kan modvirkes hvis man tilføjer en opvarmet bygge plade fra Massive Dimension, bygge pladen fås bl.a. i størrelsen 660x660mm og kan nivelleres så den står i det rette plan iht. robotten samtidig med den kan varmes op til 130 grader via dens 2530W varmelegeme.

Man kan også via byggeplanen tilføje to ekstra akser som giver endnu flere designfriheder, men det gør samtidig systemet væsentlig dyrere og mere kompleks.

Byggepladsen har en pris på ca. 20.000 kr.



### Anbefaling

Det anbefales som udgangspunkt ikke at man anvender en opvarmet bageplade, men får man problemer med at printet ikke kan sidde fast kan det blive nødvendigt at tilføje. Der skal dog drages yderligere erfaringer fra vores netværk på hvad de har af erfaringer. Til gengæld skal der laves et byggeplan som man kan printe på, da den nuværende struktur i cellen er egnet til at fastspænde emner men ikke er egnet til 3D-print

### Elektronik

Der skal laves en elektronikkasse som primær styre alle de relæer der skal bruges for at kunne opretholde en ensartet temperatur på bageplade & dysen. Men kassen skal også tage alle de resterende analog eller digitale signaler fra robotens styring og oversætte dem til et signal der kan bruges af ekstrudermotor, kølblæser osv.

Der er flere veje man kan gå, i kompleksitet her.

Man kan lade styringen på robotten styre alle temperaturer så disse bliver sat af den programkode der genereres, eller man kan styre alle temperaturerne manuelt. Hvis man vælger at styre temperaturerne manuelt, så er det vigtigt at man kan tænde og slukke for varmen via styringen, så dysen ikke står med varme på uden der er noget flow da det over tid vil brænde plasticen fast inde i dysen.

### Anbefaling

Jeg vil anbefale at man tager en dialog med elektronikfolkene hos Mercantec for at undersøge hvor kompliceret der er at kunne styre det hele med robotens styring. Da det vil være den bedste og mest simple løsning.

### Opsummering af anbefalinger

- **Robot:** Der gives ikke en endelig anbefaling for valget af robotarm, da det afhænger af skolernes tilgængelige ressourcer. Dog foreslås det at overveje en samarbejdende robot (co-bot) for at forbedre sikkerheden, selvom dette kan begrænse rækkevidden lidt. Anbefalede modeller inkluderer KUGA KR 10, KUGA LBR iiwa, og Universal Robot UR10e eller UR16e.

- **Kabinet/celle og sikkerhed:** Anbefalingen er at genbruge det eksisterende kabinet med tilføjelse af mulighed for udsugning for at sikre et sundt arbejdsmiljø og minimere VOC-udledning.
- **Software:** Adaxis anbefales på grund af dens brugervenlige tilgang og understøttelse af non-planar 3D-print. Selvom prisen kan være høj til undervisningsbrug, anbefales det at undersøge mulighederne for en mere prisvenlig løsning i samarbejde med Adaxis.
- **Ekstruder:** Dyze Design Typhoon anbefales på grund af dens høje flowrate og egenskaber, der er velegnede til non-planar print.
- **Materiale:** Anbefalingen er at holde sig til PLA med muligvis forsøg med TPU eller PETG, da dette vil være mere håndterbart og egnet til undervisningsbrug.
- **Byggeplan:** Opvarmet byggeplade fra Massive Dimension anbefales som en mulig løsning, især hvis der opstår problemer med print, der ikke hæfter ordentligt.
- **Elektronik:** Der anbefales en dialog med elektronikfolkene hos Mercantec for at undersøge den mest optimale løsning til styring af temperaturer og andre elektroniske komponenter i systemet, med mulighed for at lade robotstens styring kontrollere temperaturer for at simplificere processen