

# 3D Printet byggeri I Danmark

**THE BOD - Europas første 3D printede bygning**

Jakob M. Jørgensen, Teknisk Chef - 3D Printhuset



**3D Printhuset**

# 3D print anvendt i byggeriet – Praktiske erfaringer

- ▶ Forundersøgelser til 3D print i beton
- ▶ “THE BOD” projektet – Indledende arbejde
- ▶ Byggeriets faser
- ▶ Problemer undervejs
- ▶ Resultater
- ▶ Læring til næste projekt

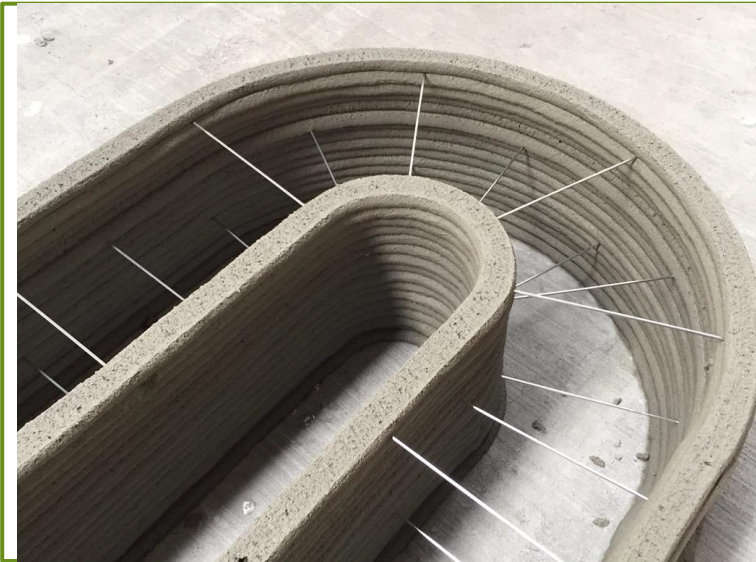


# Forundersøgelse til 3D print i beton



3D Printhuset

# 3D print i beton



## Printparametre

- Rundinger
- Minimum radius
- Murbindere
- Dysegeometri
- Tangential Styring
- Printhastighed

## Materialeegenskaber

- Sættetid
- Svind
- Relativt højt cementindhold resulterede i svindrevner
- Tilsat fibre (PP)

## Materialeegenskaber

- Lagbinding
- Støbeskel
- Afhængig af:
  - Lagtid
  - Materialekonsistens
  - Dysegeometri

# Udformning af printhoved



## Rund dyse

- Størstedelen af andre projekter gør dette.
- Svært at styre overflade og bredde

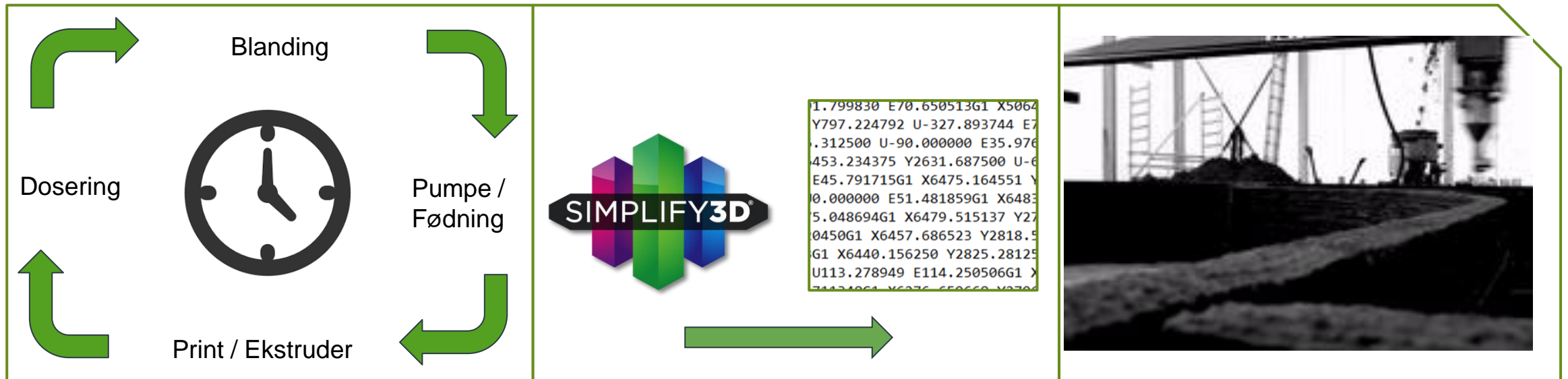
## Vinger

- Væggene styres af vinger
- Potentielt meget finere overflade
- Bedre kontrol over geometri
- Kræver tangential styring

## Flow & Form

- Indre geometri og vinger påvirker:
  - Flow
  - Sætning
  - Laghæftning
  - Lagtykkelse

# Styring og timing ift 3D printet beton



## Timing

- Materiale designet til lagtid på 15 min
- Materialevariationer ændrer processtiden
- Variationer indenfor 20-50 ml kan ses tydeligt

## Slicing

- Start: Tilpasset standard slicer
- Slut: Ny simpel slicer, Optimeret til byggeri
- Niveau af kontrol stærkt optimeret
- Alle dele af printet kan kontrolleres nøjagtigt.

## Printhastighed

- Begrænset af Motorer og gearing
- Materialekonsistens og flow
- Materialets sætte-tid
- Blandetid (manuel process)
- 150 → 50 timers print

# THE BOD – Indledende arbejde

# Design til 3D Print i beton



## Muligheder

- Fuld X/Y frihed (plantegning)
- Formgivning i flere niveauer
  - Makroformgivning - hele vægge
  - Mikroformgivning - væg-relief
  - (Potentielt direkte overflade-texturering)

## Begrænsninger

- Begrænset frihed i Z
  - Hvert lag skal understøttes af forrige lag
- Print Radius
- Afslutning, Finish og Præcision
- Printerens Størrelse (x/y/z)



# Byggeteknik ift 3D print i Beton



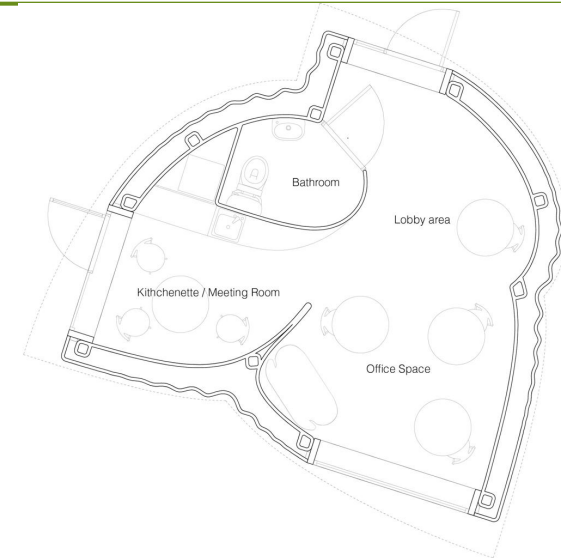
## Muligheder

- Print af hulmur
- Åbent rum til udstøbning
- "Last Minute Changes"
- Minimal opmåling efter montage af printer

## Begrænsninger

- Beregningsteknik (tungt, besværligt el. FEM)
- Ingen standarder
- Kommunikation af organisk form
- Afmærkning og opstilling

# Form & udtryk

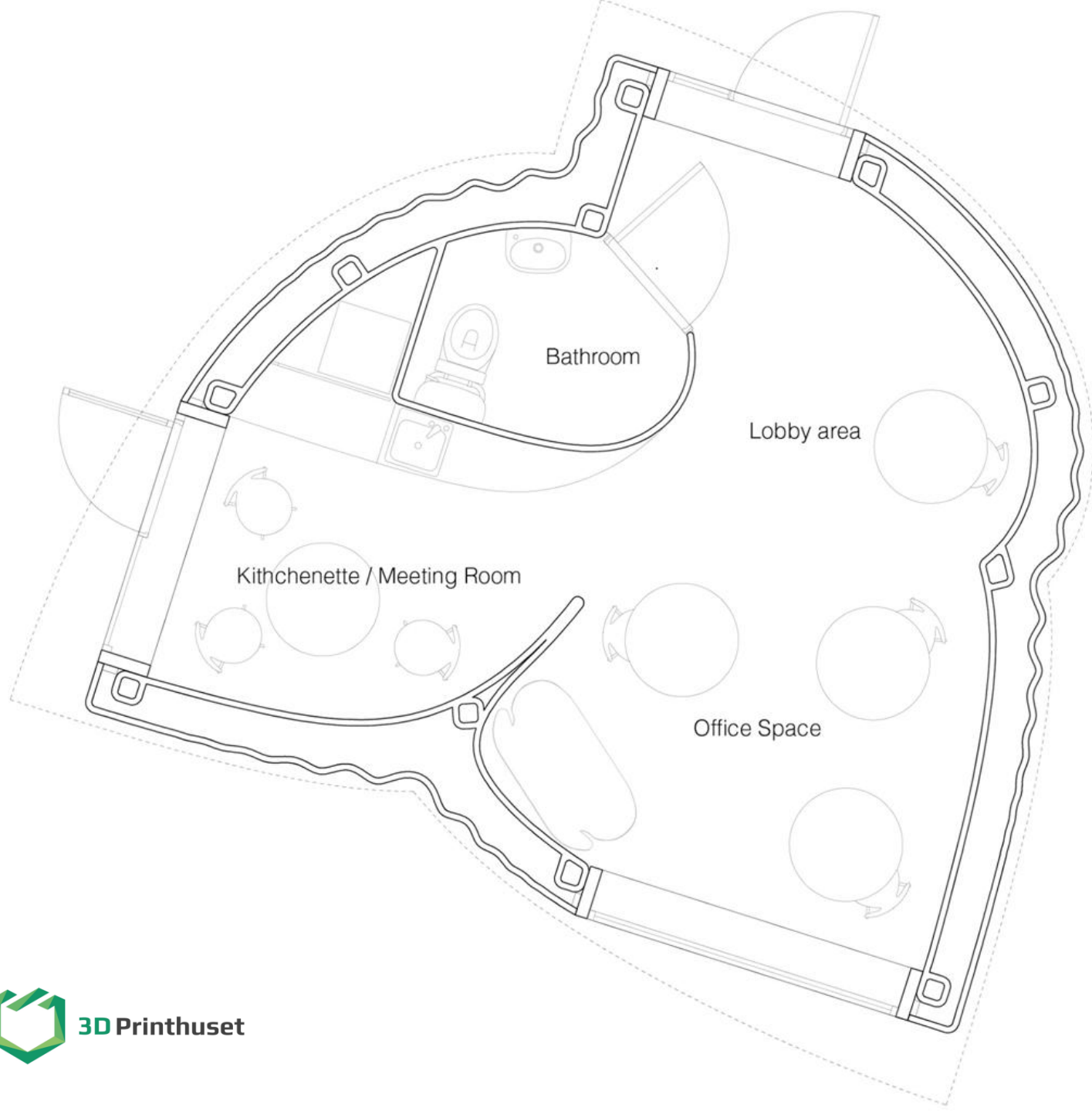


## Muligheder

- Organiske former
- Ingen "Standard" størrelser
- Kan det tegnes, kan det printes
- Varierende højde

## Begrænsninger

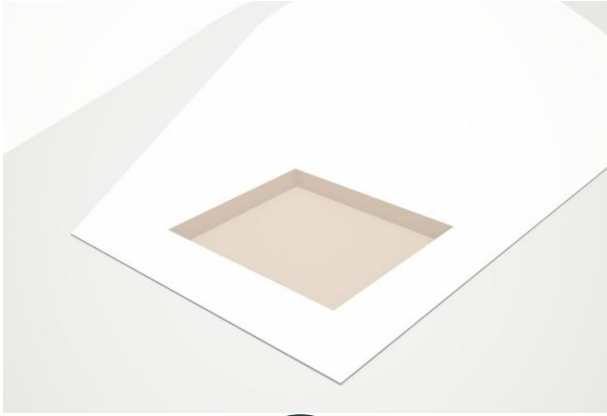
- Brug:
  - Kontorpladser, Toilet, Køkken
  - Fornuftig rumdeling
  - Lysindfald
  - Møblering
- Formål: Havneindustri



# Byggeriets Faser



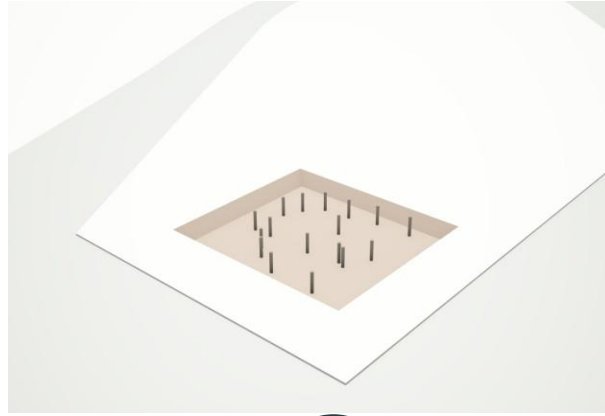
3D Printhuset



1



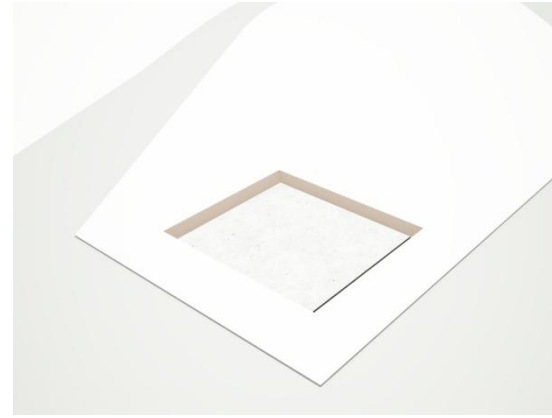
Udgravning til fundament



2



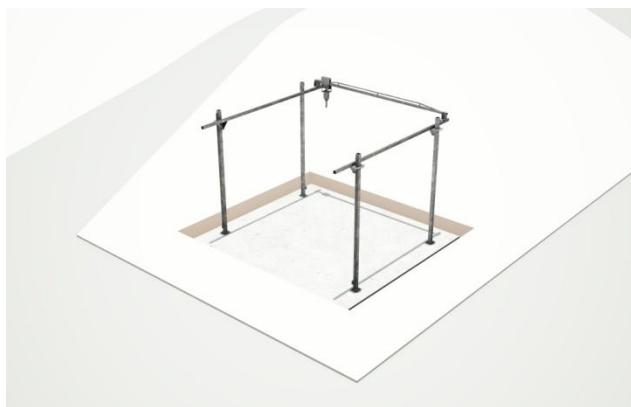
Armering til fundament +  
pælefundering



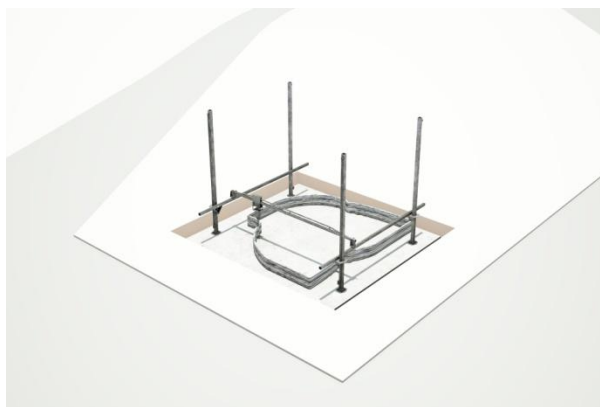
3



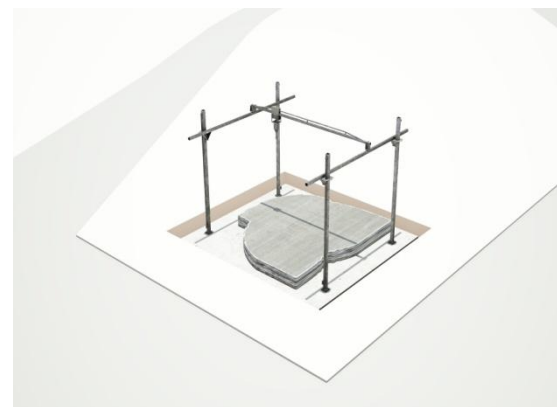
Støbning af pladefundament



4



5



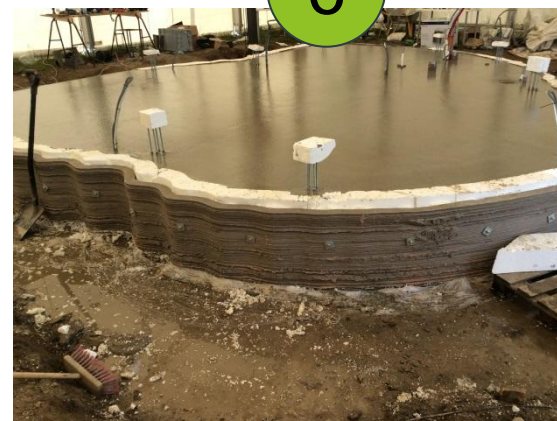
6



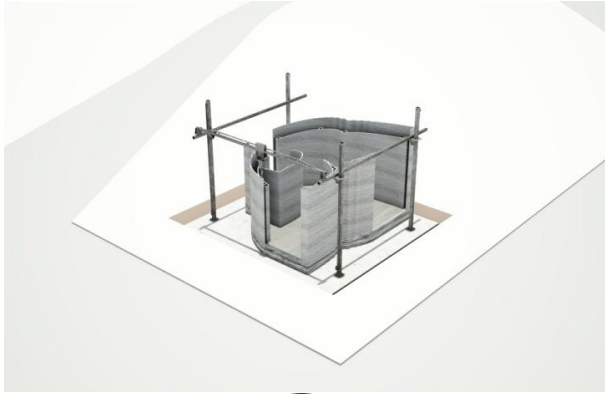
3D Printer monteres on site



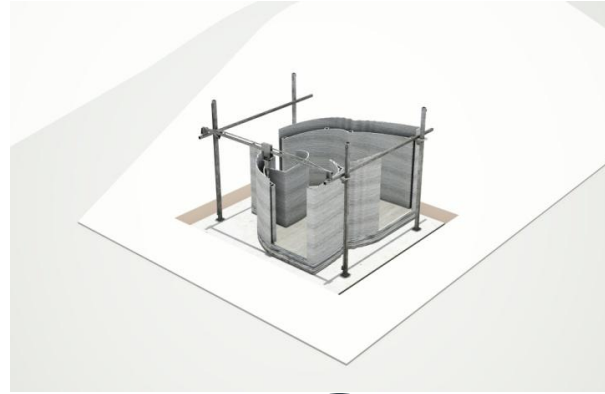
3D Print af Sokkel



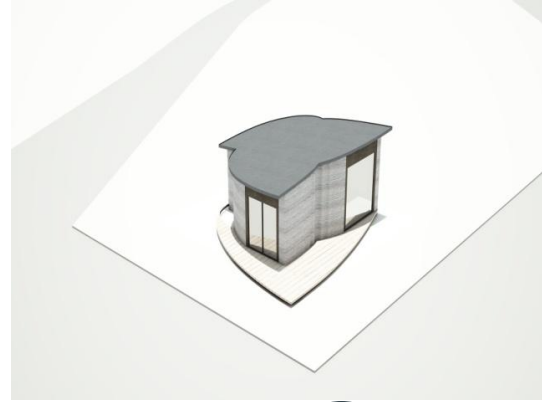
Traditionel udstøbning af terrændæk og installationer / vand



7



8



9

Tag og vinduer isættes

3D Print af for- og bagmur



PrimeWool genbrugspapir-  
isolering fyldes i hulmur.  
Søjler støbes ud

7



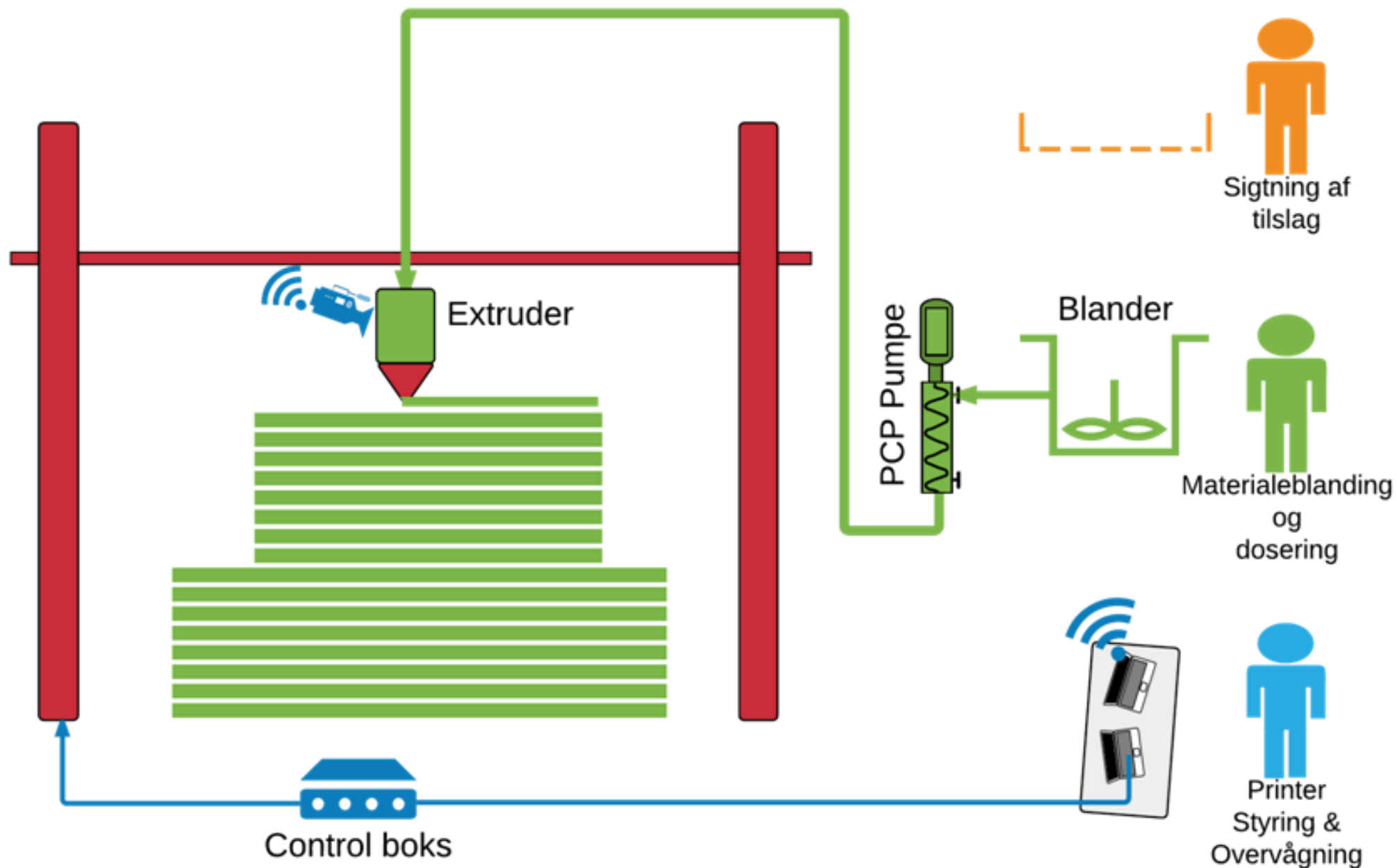


5

+

7

# 3D print af sokkel og mure



# Problemer undervejs



3D Printhuset

# Materialeblanding og kvalitet



## Kvalitet

- Pumpe, slange og ekstruder er meget følsom overfor store sten
- Dyse knækker
- Pumpe slides hurtigt
- Slange stopper til og eksploderer

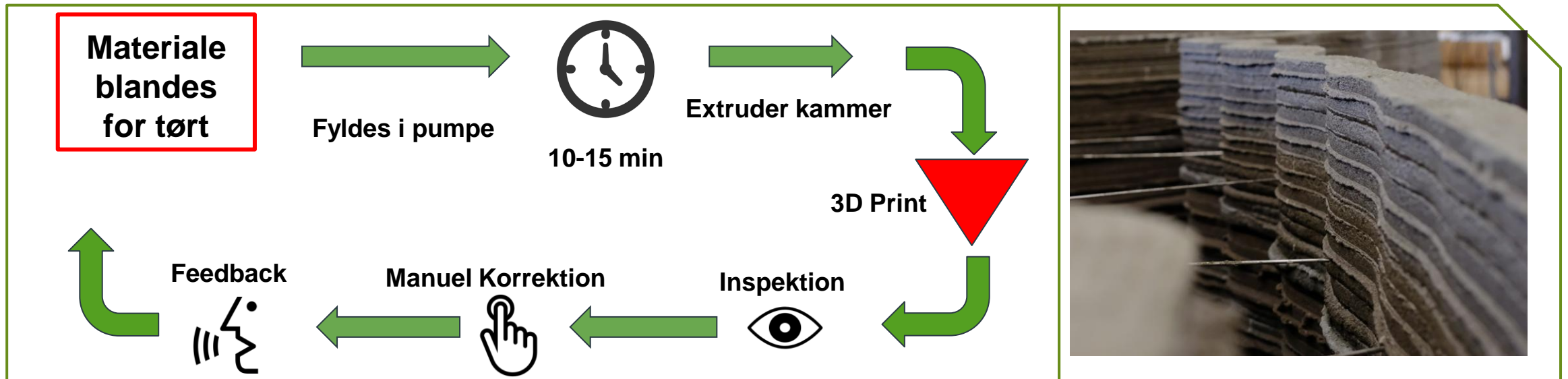
## Mulighed for genbrugsmaterialer

- Genbrugsmateriale ikke tørt
- Ingen pre-mix (cement) med vådt tilslag
- Kræver en person til at dosere og blande "live" under print

## Alternativer

- En tør "ready-mix", leveret i en silo
- Begrænsede materialer
  - Især genbrugsmaterialer
- Mere optimalt til print
- Mindre styring med tilsætning etc
- Kan lettere blandes kontinuert

# Materialekonsistens og styring



- Materialets konsistens påvirker printets overflade og kvalitet af print
- Nødvendigt konstant at overvåge ekstrudering

- Langsom feedback
- Langt loop
- Krav til erfaring og tekniske / praktiske egenskaber
- Kræver oplæring af mandskab

- Forskelligartet overflade
- Ufrivillig grov overflade
- Materialespild / dryp

# Resultater



3D Printhuset

# Sammenligning

- ▶ **Meget tidligt, at lave estimater på endelig pris ved 3D print**
- ▶ **Bygningen er en særdeles svær (tidskrævende) konstruktion at efterligne med traditionelle metoder**
- ▶ **3D printer har brug for telt: Dyr omkostning, men fordel ift. vejrlig**
- ▶ **Fordel i, at kunne anvende genbrugsisolering i 3d printet hulmur**
- ▶ **Let reducere i betonmængde.**
  - ▶ **Optimalt: Mere reducere**
- ▶ **3D print timer beregnet ud fra 150 arbejdstimer / printtimer**
  - ▶ **Optimalt: sparer 1-2 personer = 50 - 100 timers reduktion i arbejdstimer**

3D Printet Bygning	Råhus	
Materiale	Mængde [ton]	Pris
Cement	6.12 ton	10,374.07 kr.
0/2 sand	3.50 ton	595.02 kr.
0/4 sand	3.50 ton	637.02 kr.
genbrugstegl	4.38 ton	525.75 kr.
Vand	1.66 ton	62.40 kr.
Glenium sky 631	0.04 ton	191.45 kr.
Crackstop	0.02 ton	1,038.35 kr.
<b>Materialeomkostninger i alt (3d Print)</b>		<b>12,385.72 kr.</b>
Primewool papirisolering	1.40 ton	8,400.00 kr.
Færdig beton til søjler	2.70 ton	1,485.00 kr.
<b>Materialeomkostninger i alt</b>		<b>22,270.72 kr.</b>
Arbejdsopgave	Tid [timer] á 225 / t	Pris
Mont. + Demont af printer	64	14,400.00 kr.
3D print	150	33,750.00 kr.
Udstøbning af søjler	4	900.00 kr.
Opfyld af isolering	4	900.00 kr.
<b>Arbejdsløse i alt</b>	<b>158</b>	<b>49,950.00 kr.</b>
<b>Samlede omkostninger</b>		<b>72,220.72 kr.</b>

Klassisk bygning	Råhus	
Materiale	Mængde [ton]	Pris [ton]
Beton, leveret	24.00 ton	13,200.00 kr.
facadeisolering (Rockwool)	0.90 ton	22,500.00 kr.
<b>Materialer i alt</b>		<b>35,700.00 kr.</b>
Arbejdsopgave	Tid [Timer] á 225 kr	Pris
Forskalling og støbning	675	151,875.00 kr.
Isolering + Pudsning	80	18,000.00 kr.
<b>Arbejdstid i alt</b>	<b>755</b>	<b>169,875.00 kr.</b>
<b>Samlede omkostninger, råhus</b>		<b>205,575.00 kr.</b>

# Læring til næste projekt

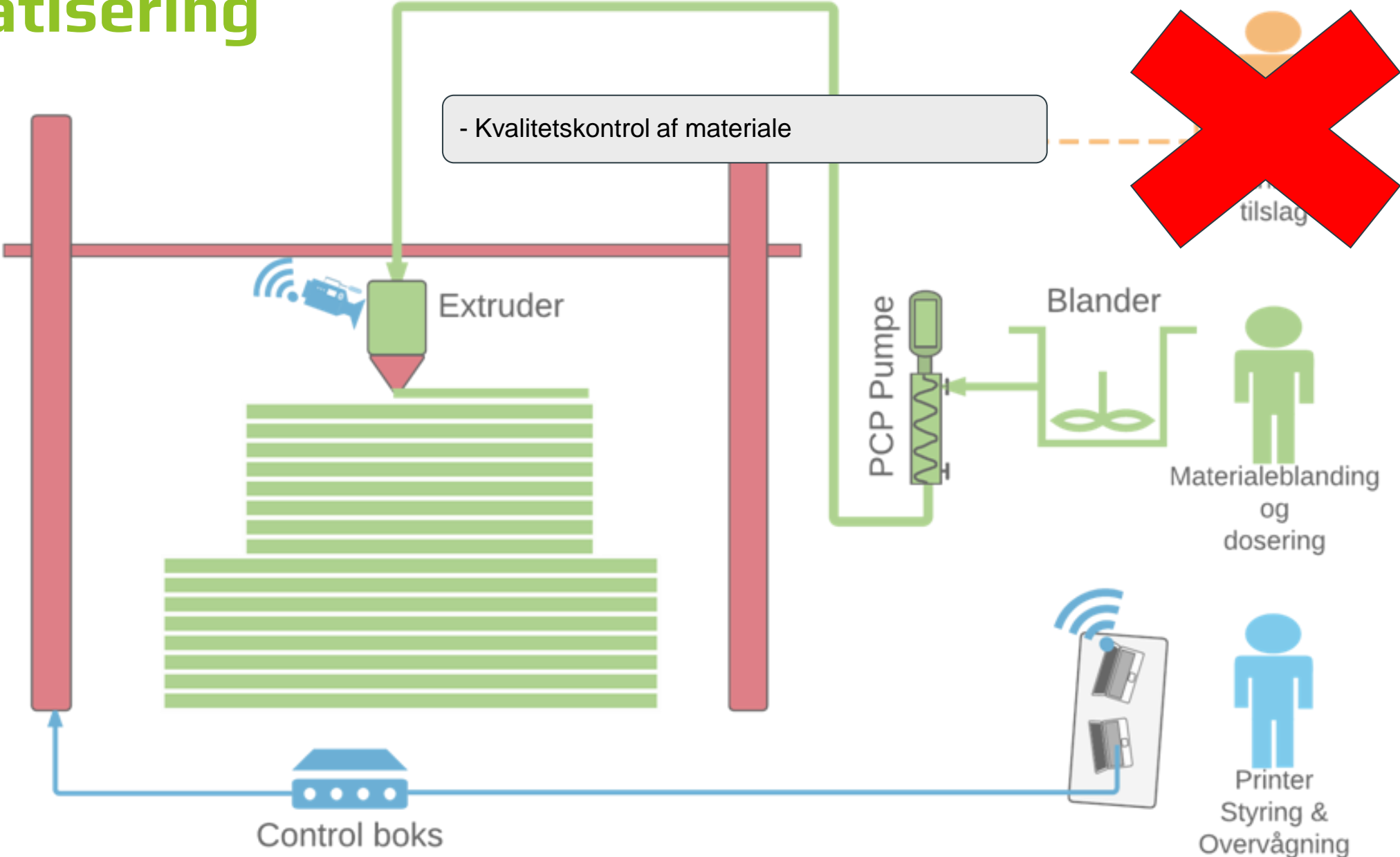
# Udvikling af eksisterende teknologi

- ▶ **Materialeudvikling**
- ▶ **Flere printhoveder, flere funktionaliteter**
  - ▶ **Direkte print af isolering, maling etc**
  - ▶ **Udboring af eks. huller til installation & tagkonstruktion**
  - ▶ **Opmåling, afsætning og kvalitetssikring**
- ▶ **Større print volumen**
- ▶ **Finish af 3d print (overflade, tekstur)**
- ▶ **Armering**
- ▶ **Standarder for beregning**
- ▶ **Fler-etages bygninger, dæk og samlinger.**

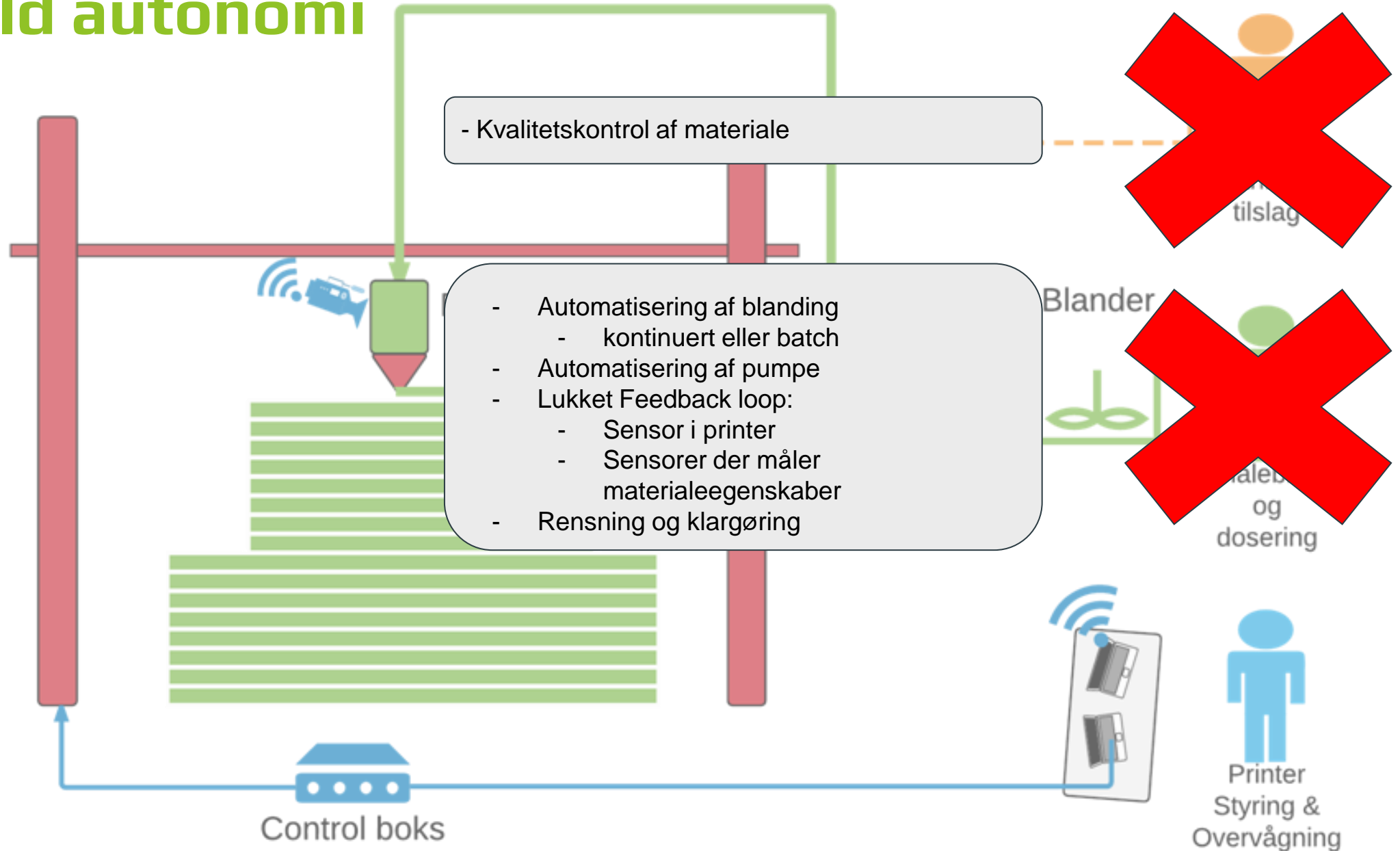
c



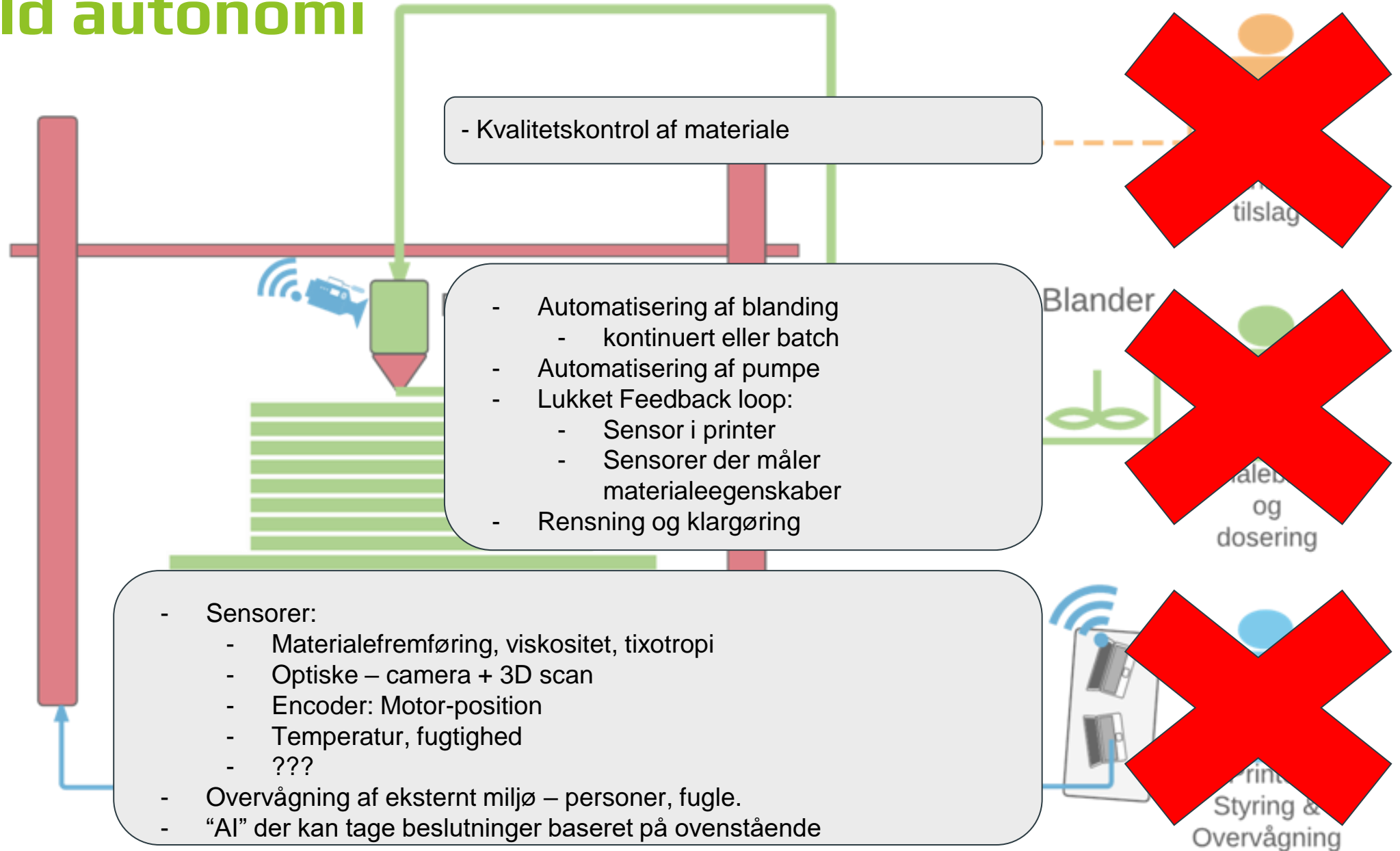
# Automatisering



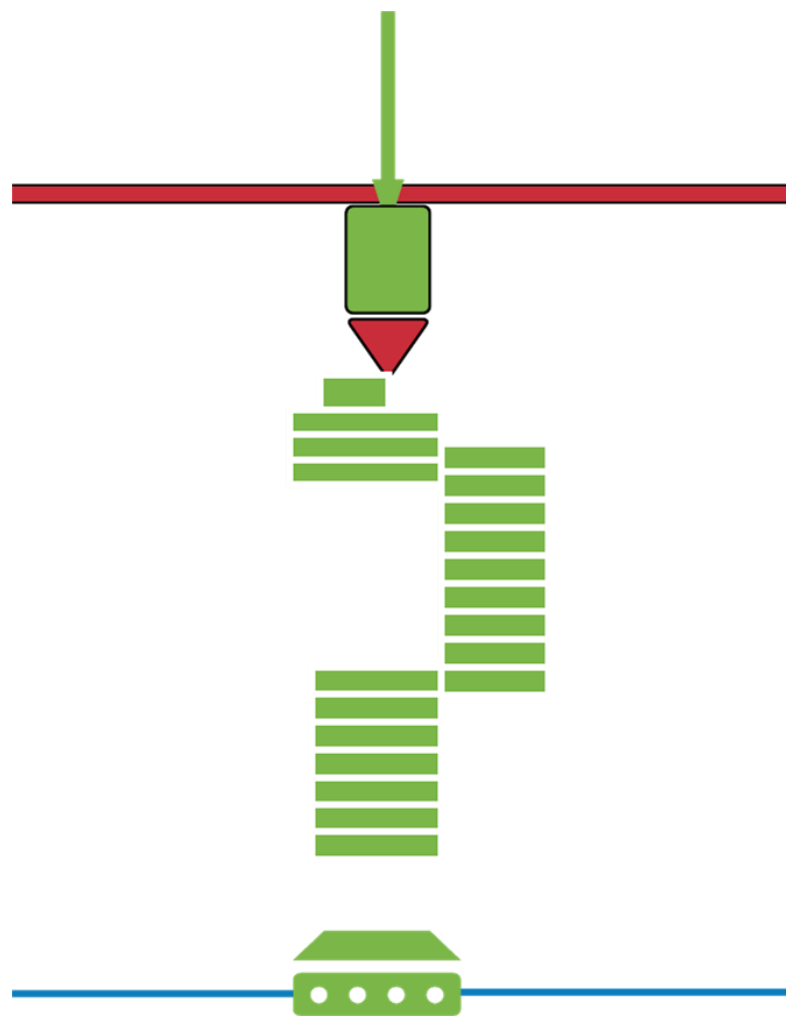
# Mod fuld autonomi



# Mod fuld autonomi



# STORT TAK til vores sponsorer og samarbejdspartnere



**Konstellation  
& Republica**

**aalborgportland**  
CEMENTIR HOLDING

**NCC**

**A|F|M**  
RÅDGIVENDE INGENIØRER A/S

**BUNCH**  
BYGNINGSFYSIK

**O.B.Wiik**

**FORCE**  
TECHNOLOGY

**blendex**

**CCB**

**rational**  
VINDUER OG DØRE, DER HOLDER

**unicon**  
CEMENTIR HOLDING

**GIPS  
RECYCLING**  
DANMARK