



Digital Concrete 2024, München 3-6 sept. 2024 – En sammanfattning

CBE/ KTH, 3 okt. 2024

Johan Silfwerbrand



Innehåll

1. Digital Concrete 2024 i siffror
2. 3DPC – Problem & lösningar
3. 3DPC – Fördelar
4. Industrins röst
5. Egna bidrag
6. Slutsatser & reflexioner



Digital Concrete 2024 i siffror

- 400 deltagare
- 80 % från akademien – 20 % från industrin
- 326 inlämnade abstracts
- 217 accepterade artiklar från 38 länder
- C:a 1/3 kvinnliga föredragshållare
- 144 doktorander
- 3 konferensdagar
- 46 sessioner



Sessioner 1 (3)

- Process Control (4)
- Rheology & Printability (4)
- Applications & Standardisation (4)
- Material Circularity & Sustainability (4)
- Process Technology & Print Strategies (3)
- Reinforcement (2)



Sessioner 2 (3)

- Durability & Microstructure (1)
- Mixture Proportion (2)
- Rheology & Printability (2)
- Process Control (1)
- Hardened Properties & Load-bearing Capacity (3)
- Beyond Concrete 3D Printing (1)



Sessioner 3 (3)

- Beyond Horizontal Layers (1)
- Structural Optimization (2)
- Particle-bed 3D Printing (1)
- Early Age Properties (2)
- Numerical Simulation (2)
- Process Technology & Print Strategies (1)



3D-utskrivnen betong

Fördelar

- Automatik & produktivitet
- Arbetsmiljö
- Estetik & gestaltning
- Optimering: "*Form follows force*"
- Färre byggfel & mindre spill

Nackdelar

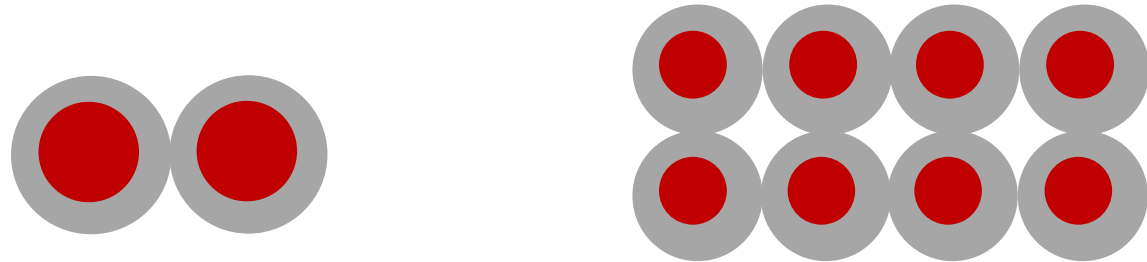
- Cementinnehållet
- Armeringen
- Fogarna mellan lagren
- Ränderna



Problem & lösningar

Högt cementinnehåll

- 3D-skrivarnas munstycken begränsar ofta max stenstorlek d_{\max} .
- Under utvecklingsskedet: $d_{\max} = 2$ mm.
- Många forskare strävar efter höghållfast betong → lågt v_{ct} → förskjutning mot mer cement.
- Bakom många artiklar på konferensen ligger cementinnehåll på 600 – 800 kg/m³.





Två typer av 3D-utskrifter

”Skalutskrift”

Contour printing

- Traditionella metoden
- Lager på lager med tydligt ”randig” struktur
- Utskriftens (”bläckets”) tvärsnittsarea $b \times h = 40 \times 30 \text{ mm}^2$ (ett ex.)
- $d_{\max} = 2 - 4 \text{ mm}$
- Specialbetong

”Massivutskrift”

Monolithic printing

- Effektiv metod för väggar
- Ränderna är färre och tunnare
- $b \times h = 200 \times 55 \text{ mm}^2$ (ett ex.)
- $d_{\max} = 16 \text{ mm}$
- Fabriksbetong

Utskrift av hel vägg



Fig. 2. Karlos printed structures a) 24-cm wide layers being printed, b) a printed wall.

V Naidu Nerella (DE) m.fl. (2024)

... men är tekniken ny?

- Jämför betongvägsproduktion med glidformsläggare





Armeringen

- Installation för hand
- Installation av robot
- Fibrer i betongen
- Kontinuerlig tråd

Armering 1 (4)



a) Print head



b) Printed wall, side view



c) Printed wall, top view

Fig. 3. Overprinting a prefabricated reinforcement cage (Variant 2)

V Mechtcherine m.fl. (DE) (2024)

Armering 2 (4)



a) Forked print head



b) Printed 2-layers wall



c) reinforcement enclosure

Fig. 4. Printing with a forked print head embedding (automatically and synchronously) an installed reinforcement structure made of welded short steel rebars (Variant 3)

V Mechtcherine m.fl. (DE) (2024)

Armering 3 (4)

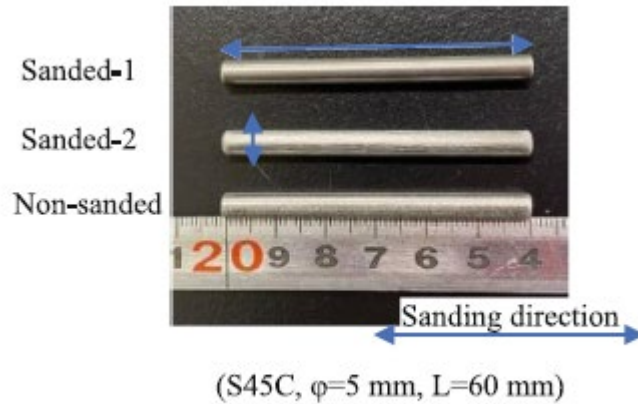


Fig. 1. Pins

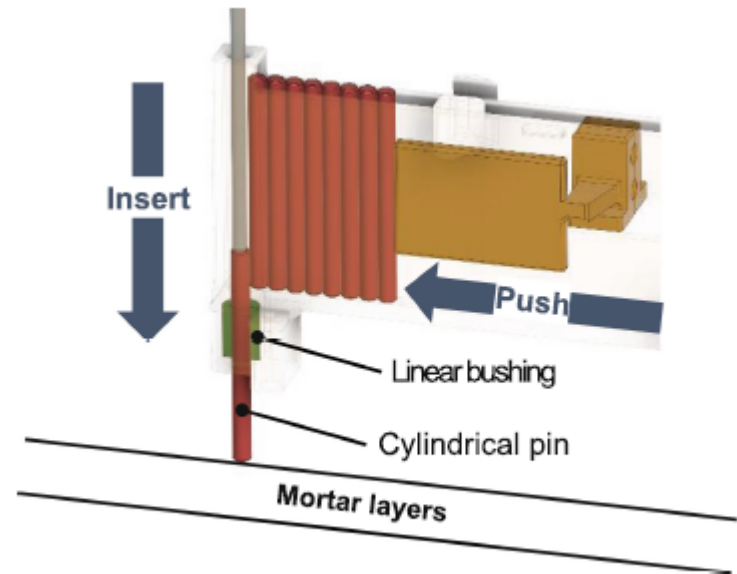


Fig. 2. Automated Insertion Mechanism

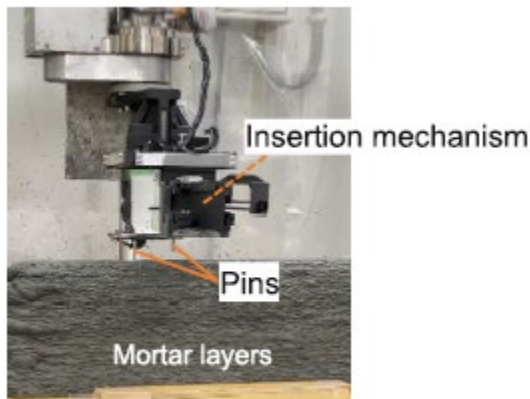


Fig. 3. Insertion of pins

H Tasaki m.fl. (JPN) (2024)

Utskrift med kontinuerlig kolfibertråd – Armering 4 (4)



V De Bono m.fl. (FR) (2024)

Ränder & fogar

- Två sätt att förbättra vidhäftningen mellan lagren:
 1. Primer eller någon form av bruk
 2. Förtagningar

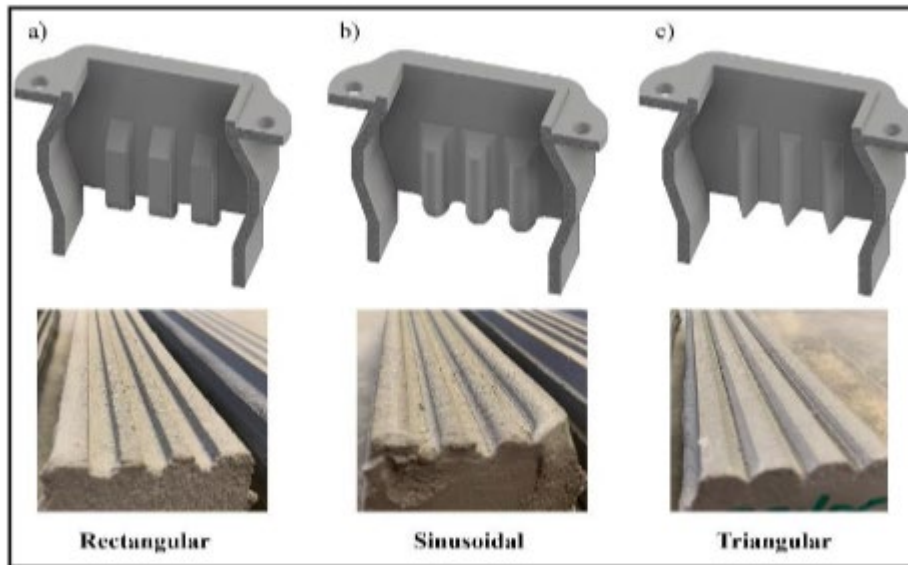


Fig 3: Sectioned renders of the a) rectangular, b) sinusoidal and c) triangular 3D plastic printed nozzles supplemented by visual demonstrations of each interlayer profile from 3DPC samples.

Tydliga
förbättringar
gällande fukt- &
syretransport
samt klorider

J-P Mostert &
J Kruger (SA) (2024)



Fördelar

Optimerade gångbroar



Fig.1. (a) Striatus bridge (Credit: Naaro); (b) Phoenix bridge (Credit: Dell'Endice)

(a) Venedig (IT) 2021 – (b) Lyon (FR) 2023

- Enda armering: Efterspänning
- Besparingar: 35 % betong & 50 % stål

H Lombois Burger (FR) m.fl. (2024)

Estetiska möjligheter



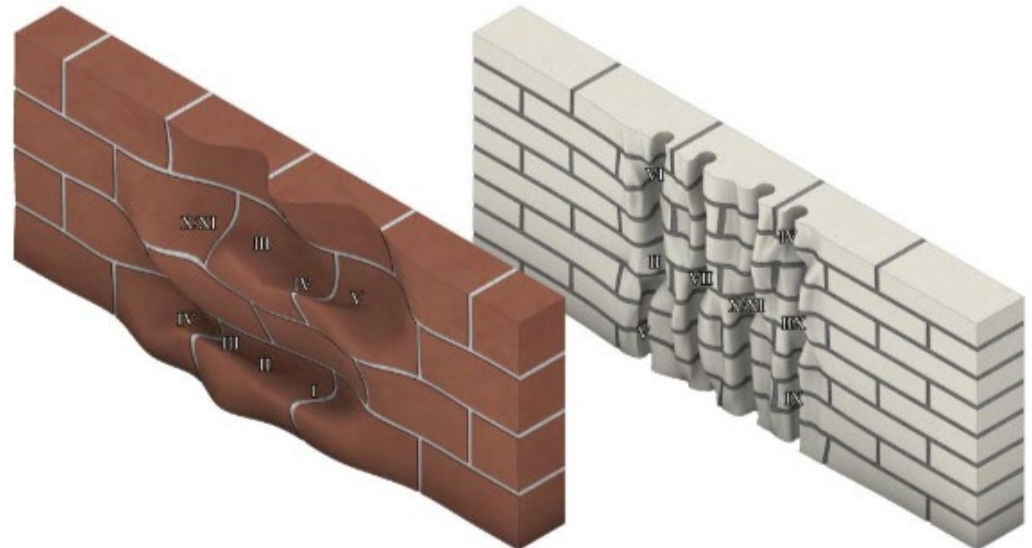
A Jipa m.fl. (CH) (2024)



E Lloret Fitschi m.fl. (CH) (2024)

- Efterspänd spiraltrappa (3D-utskriven form)
- Pelarkonstruktioner (dito)

Specialstenar för växter



A Wolf m.fl. (DE) (2024)

Skriva & sudda



Fräsning av 3D-skriven betong

- Fräsning av ung, 3D-utskriven betong kan ge ytor med större precision & jämnhet

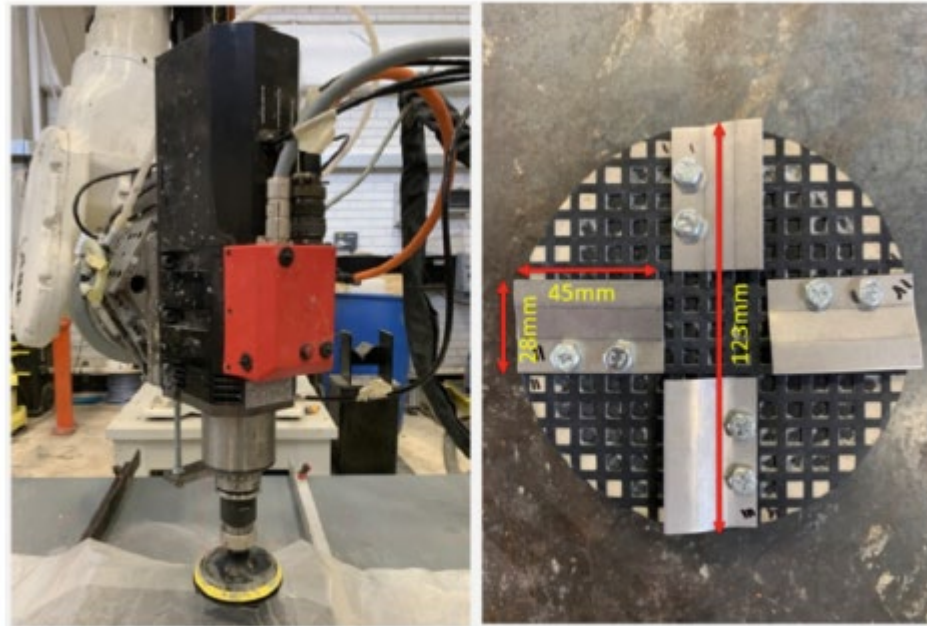


Fig. 1. Power float system (a, left), and steel blades on the tool (b, right)

R Buswell (UK) (2024)

3DP: Mindre spill?

- En fördel som brukar lyftas fram är mindre spill.
- Frågan har studerats av A A A Farhan (UK) i bidraget "*Quantifying 3DPC Production Waste*".
- Han fann att spillet bara var 13 %.
- Men är 13 % litet? (Och slutsatsen drogs på laboratorieförsök.)
- Hur stort är spillet i verklig 3DP?
- Hur stort är spillet inom konventionell prefab resp. platsgjutning?

A A A Farhan m.fl. (UK) (2024)



Ny databas för materialparametrar

- *Database of the RILEM TC 304-ADC interlaboratory study on mechanical properties of 3D printed concrete (ILS-mech)*
- 30 laboratorier deltog
- Provning av f_{cc} , f_{cfl} , E_c i tre olika riktningar

Freek Bos (DE) (2024)

3D-utkriften kan nå långt



A Radinska (US) (2024)



Industrins röst



Utvecklingen ur ett industriperspektiv

| Generation | 1 | 2 | 3 |
|-----------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| År | 2015 - 2017 | 2019 - 2022 | 2023 - |
| Typ av betong | Bruk | Betong | Fabriksbetong |
| Max stenstorlek | 2 mm | 8 mm | 16 mm |
| Höjd | < 5 m | < 10 m | > 10 m |
| Yta | < 100 m ² | 1000 m ² | > 1000 m ² |
| Utgångspunkt | Försök | Estetik | Funktion |

Henrik Lund
Nielsen,
COBOD



Snabb utveckling

- Digital Concrete 2018, Zürich, CH
- Digital Concrete 2020, Eindhoven, NL
- Digital Concrete 2022, Loughborough, England
- > 2000 forskningsartiklar
- > 120 projekt globalt (labförsök oräknade)



Största projektet hittills

- Wolf Ranch, Georgetown (nära Austin), TX, USA.
- 100 småhus med en boarea = 150-210 m².
- Dubbelvägg med mellanliggande armering på konventionell betongplatta.
- September 2022 – mars 2024.
- Samtidigt arbetade upp till 11 skrivare (som gick på räls).
- Skrivarna arbetade 15 h/dygn (för att inte störa omgivningen med buller & ljus).
- Genom upprepning sjönk byggkostnaden från 1668 till 550 \$/m².



KTH-bidrag



Composite Concrete Columns of 3DPC & SCC Subjected to Normal Force

Johan Silfwerbrand

KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, SE

Digital Concrete, Munich, DE, Sept. 6th, 2024

The Columns Ready for 3DP



3DPC forms

SCC in
cardboard
form

Column Tests



Conclusions

- Promising technology.
- It is possible to print at least 3 m high, cylindrical column forms.
- No cracking or any leakage when filling the 3DPC forms with SCC.
- Composite 3DPC & SCC columns develop as high ultimate loads as homogeneous SCC ones.
- The bond strength between 3DPC form and SCC is of equal magnitude that is generally obtained between concrete and concrete in the field (somewhat less than 1 MPa).



Sensorer i betongelement

Embedding NFC Tags Into 3DCP Elements

José Hernández Vargas¹  and Arlind Dervishaj¹ 

¹ Department of Civil and Architectural Engineering,
KTH Royal Institute of Technology, Sweden
`joseh@kth.se`

Keywords: 3D concrete printing, Additive manufacturing, Reuse of concrete elements, Circular economy, Tracking technologies.

NFC = Near Field Communication



Slutsatser & reflexioner



Slutsatser & reflexioner 1 (3)

- Överraskande stort intresse för 2DPC: 400 deltagare, 38 länder, 144 doktorander.
- Kanske ändå en nisch, men ingen oväsentlig sådan.
- Flera länder (CH, NL, USA, Japan, Kina...) ligger före oss.
- Projektet med 100 småhus i Texas visar att tekniken kan stå på egna ben.

Slutsatser & reflexioner 2 (3)

- Digital betong är inte bara spritsning utan också
- ... utskrift av hela vägg tjocklekar ("massivutskrift")
- ... samverkande robotar för betong & armering
- ... 3D-utskrift av formar som kan ge betongen avancerade geometrier
- ... kombination av utskrift & fräsning



Slutsatser & reflexioner 3 (3)

- Utvecklingen av skrivare & munstycken måste fortsätta för att öka d_{\max} & minska cementinnehållet.
- Robotar för både betongutskrift & armering kan ge verklig produktvitesförbättring.
- Kombination av 3D-utskrivna betong & andra material (gjuten betong, SKB, skumbetong, isolering) har en lovande framtid.



Referenser

- Fourth RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication, Digital Concrete 2024, Conference proceeding <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-70031-6>
- Digital Concrete 2024 - Supplementary Proceedings https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00077630