

Summary

Architecture faces an urgent need to adjust design and construction practices to reduce environmental impacts, and this has brought a critical focus on architecture's relationship and use of concrete. Once considered a wonder material, a growing awareness of concrete's environmental impacts and architecture's role in its overconsumption has led to polemic discourses on the use and role of concrete in architectural design. In this context, 3D concrete printing (3DCP) has emerged as an alternative, novel fabrication technology with the potential to help reduce concrete consumption. However, whilst 3DCP has seen rapid development, its role in architectural design to support sustainability strategies remains unexplored beyond geometric and material optimisations.

This thesis investigates how 3DCP can support more sustainable construction practices by situating this technology within broader architectural sustainability discourses. It pursues two interconnected aims: an analytical aim reviewing current literature and office workflows, and an experimental aim that tests alternative approaches by which 3DCP can support architectural sustainability strategies. The research is contextualised against larger discourses on sustainability in architecture, in particular those of carbon impacts and circularity. It is positioned within the field of relative sustainability thinking, and makes a conceptual priority of environmental sustainability over social or economic. Mapping existing 3DCP research into the three key sustainability domains minimisation, circularity, and performance, the thesis proposes the notion of expanded sustainabilities as a way to move beyond siloed solutions and interlink these domains within novel solutions for architectural sustainability strategies grounded in 3DCP.

The research is conducted as an industrial PhD in collaboration with the architectural office of Henning Larsen (HLA), employing a practice-based research approach using both participant observation and research through design as the main methodological frameworks. The research experiments are undertaken in three contexts, where 3DCP is investigated in its application in current practice, its use in new-build construction, and within transformation projects. These experiments develop and test a schematic digital workflow which embeds 3DCP into broader architectural design workflows, a prototypical circularity indicator tool enabling the evaluation of material flows, design for disassembly ratings and comparison against carbon calculations, and an alternative evaluation model which combines carbon calculations with circularity metrics to give a more holistic overview of environmental impacts. The experiments also contribute two novel modular architectural elements, the hybrid slab and the hempcrete façade, where 3DCP is embedded as part of a modular hybrid material system.

This thesis contributes to the ongoing research field of 3DCP for architectural application by examining the information and workflow requirements required to increase the accessibility of 3DCP within architectural design, and by demonstrating how 3DCP can enable architectural sustainability strategies. It contributes to ongoing discourse on sustainability in 3DCP by positioning 3DCP not just as a fabrication or optimisation technology but as an enabling tool which, when designed for expanded sustainabilities, can support architectural strategies to reduce environmental impacts. By bridging technological capabilities with design considerations and sustainability metrics, the research offers architects practical pathways to leverage 3DCP for more sustainable construction while contributing to the broader discourse on environmental responsibility in architectural production.

Resumé

Arkitekturen står over for et presserende behov for at justere design- og byggepraksisser for at reducere miljøpåvirkninger, og dette har medført et kritisk fokus på arkitekturens forhold til og brug af beton. Engang betragtet som et vidundermateriale, har en voksende bevidsthed om betons miljøpåvirkninger og arkitekturens rolle i dets overforbrug ført til polemiske diskurser om brugen og rollen af beton i arkitektonisk design. I denne kontekst er 3D-betonprint (3DCP) opstået som en alternativ, ny fabrikationsteknologi med potentiale til at hjælpe med at reducere betonforbruget. Men selvom 3DCP har oplevet hurtig udvikling, er dets rolle i arkitektonisk design til at understøtte bæredygtighedsstrategier forblevet udforsket ud over geometriske og materielelemæssige optimeringer.

Denne afhandling undersøger, hvordan 3DCP kan understøtte mere bæredygtige byggepraksisser ved at placere teknologien inden for bredere arkitektoniske bæredygtighedsdiskurser. For at guide denne undersøgelse identificerer forskningen to sammenkoblede mål: et analytisk mål, der gennemgår nuværende litteratur og workflows, og et eksperimentelt mål, der gennem en række design-, evaluerings- og fabrikationseksperimenter udforsker, hvordan 3DCP kan understøtte arkitektoniske bæredygtighedsstrategier ud over geometrisk og materielelemæssig optimering. Forskningen er kontekstualiseret i forhold til større diskurser om bæredygtighed i arkitektur, især dem om CO₂-påvirkninger og cirkularitet. Den er positioneret inden for feltet af relativ sustainability tænkning og prioriterer konceptuelt miljømæssig bæredygtighed over social eller økonomisk. Den undersøger 3DCP-forskning i forhold til disse bæredygtighedsrammer og identificerer 3 nøgledomæner: minimering, cirkularitet og ydeevne. For at bevæge sig ud over isolerede optimeringer foreslår forskningen derefter begrebet expanded sustainabilities. Denne ramme bygger bro mellem disse domæner og forbinder dem for at afsløre nye løsninger for arkitektoniske bæredygtighedsstrategier baseret på 3DCP.

Forskningen udføres som en erhvervs-ph.d. i samarbejde med arkitektkontoret Henning Larsen (HLA), og anvender en practice-based research tilgang med både participant observation og research through design som de primære metodologiske rammer. Forskningseksperimenterne udføres i tre kontekster, hvor 3DCP undersøges i sin anvendelse i nuværende praksis, dets brug i nybyggeri og i transformationsprojekter. Disse eksperimenter udvikler og tester et schematic digital workflow, der integrerer 3DCP i bredere arkitektoniske designworkflows, et prototypical circularity indicator tool, der muliggør evaluering af materialestrømme, design for adskillelsesvurderinger og sammenligning med CO₂-beregninger, samt en alternativ evalueringsmodel, der kombinerer CO₂-beregninger med cirkularitetsmålinger for at give et mere holistisk overblik over miljøpåvirkninger. Eksperimenterne bidrager også med to nye modulære arkitektoniske elementer, the hybrid slab og the hempcrete facade, hvor 3DCP er integreret som en del af et modulært hybridmaterialesystem.

Denne afhandling bidrager til det igangværende forskningsfelt inden for 3DCP til arkitektonisk anvendelse, ved at undersøge de informations- og workflow-krav, der er nødvendige for at øge tilgængeligheden af 3DCP inden for arkitektonisk design, og ved at demonstrere, hvordan 3DCP kan muliggøre arkitektoniske bæredygtighedsstrategier. Den bidrager til den igangværende diskurs om bæredygtighed i 3DCP ved at positionere 3DCP ikke kun som en fabrikations- eller optimeringsteknologi, men som et muliggørende værktøj, der, når det designes med henblik på expanded sustainabilities, kan understøtte arkitektoniske strategier til at reducere miljøpåvirkninger. Ved at bygge bro mellem teknologiske kapabiliteter, designhensyn og bæredygtighedsmålinger tilbyder forskningen arkitekter praktiske veje til at udnytte 3DCP til mere bæredygtigt byggeri, samtidig med at den bidrager til den bredere diskurs om miljøansvar i arkitektonisk produktion.