
3D printers – State of the art

Besøg hos Loughborough University

Firma: Loughborough University - School of Civil and Building Engineering
Dato for besøg: 2016-03-02 (Lync)
Varighed af besøg: 10:00-11:30
Kontaktpersoner ved besøget: Professor Simon Austin
Interviewet er udført af: Hans Blinkilde og Anders Kudsk

Content

1 FIRMAET	2
1.1 Vision	2
1.2 Udviklingsprojekter	3
2 PRINTTEKNOLOGIEN	3
2.1 Teknologien/printeren	3
2.2 Materialer	3
2.3 Udførte projekter (med betonprint)	4
3 LITTERATURLISTE	5
3.1.1.1 Tidskrifter	5
3.1.2 Konferencer og workshops	5
3.1.3 Websider	6

Baggrund

Denne besøgsrapport er baseret på litteraturstudie af peer-reviewed videnskabelige artikler, samt interview med Professor Simon Austion, i forbindelse med dette arbejde via telefon og tidligere via studie ophold på Loughborough University - School of Civil and Building Engineering.

1 FIRMAET

Loughborough University - School of Civil and Building Engineering har arbejdet med 3D betonprint siden 2007, dette i The Freeform Project. Siden 2014 har de haft et tæt samarbejde med bl.a. Skanska, ABB, Buchan Concrete, Buro Happold, Foster + Partners og Tarmac. Skanska har flere gange været i medierne og fortælle om målet for projektet, senest i januar 2016 hvor de proklamerede at de inden for 2-3 år ville anvende 3D betonprint på byggepladsen og at det vil være udbredt om 3-5 år.

Udover meldingerne i pressen er arbejdet underlagt betydelig fortrolighed, hvorfor det ikke har været muligt at se deres printer mm., et faktum denne rapport vil være præget af (besøget blev derfor foretaget som et telefonmøde via Lync). Der er dog tale om universitetsarbejde og Loughborough University har løbende publiceret videnskabelige artikler om dele af deres arbejde, se litteraturliste.

1.1 Vision

Visionen for arbejdet er at kunne skabe nye muligheder for unik formgivning. Projektet har således taget en ingeniørvidenskabelig tilgang til at skabe arkitektoniske muligheder. Muligheder

der kan udbredes og udover arkitektur også betyde lettere transport, mindre materialeforbrug og reduceret spild.

Vurderet ud fra de tilgængelige oplysninger er målet at printe betonelementer, som efterfølgende kan monteres i bygningen. Denne metode passer godt til printermetoden og hænger godt sammen med det store fokus og udviklingsarbejde der generelt gøres i forhold til Prefabrikation i UK, et arbejde som Loughborough University også deltager i. Elementerne kan være forberedt for eller allerede ved montagen indeholde installationer og forskellige former for statiske forstærkninger.



Kilde: www.buildfreeform.com

1.2 Udviklingsprojekter

Generelt har projektet ikke fokuseret på at lave de store showcases, som kan give den store omtale. I stedet har man valgt en mere videnskabelig tilgang hvor man fokuserer på at skabe de tekniske forudsætninger for at kunne anvende 3D beton print i byggeriet baseret på vestlige normer og standarder. Loughborough University vurderer selv, at de er dem der er kommet længst i forhold til at kunne håndtere de tekniske udfordringer, som kommerciel anvendelse vil kræve.

2 PRINTTEKNOLOGIEN

2.1 Teknologien/printeren

De viste printere er baseret på princippet med en travers der styrer printerhovedet rundt i et afgrænset område udspændt af printeren. Printeren opererer inden for et område med en længde på 5,4m, en bredde på 4,4m og en højde på 5,4m. Det mixede beton bliver placeret i en beholder over printerhovedet og pumpes derfra til printerdyssen. En af de dysser der arbejdes med er 9mm, hvilket er forholdsvis små sammenlignet med hvad der er set i andre projekter.

2.2 Materialer

Der anvendes en selvkomprimerende beton, med forskellige superplasticiser, retarder og acceleratore, recepten er inspireret af de metoder der bruges til spraybeton. Betonen forstær-

kes med polypropylen fibre 12/0,18mm (længde/diameter), der skal reducere svind. Målet er en beton med en 28 dages trykstyrke på 100MPa og en bøjningstrækstyrke på 12MPa. I deres forsøg har de opnået en trykstyrke på 107MPa og en bøjningstrækstyrke på 11MPa. Af hensyn til den forholdsvis lille printerdyse anvendes der en max kornstørrelse på 2mm.

Den beton de har haft de bedste resultater med består overordnet set af:

Sand

- Cement CEM type I 52.5
- Flyveaske
- Microsilica
- Polycarboxylate baseret på superplasticiser
- Retarder - Amino tris og formaldehyd
- Accelerator – svovlsyre, aluminium, salt og Diethanolamine (DEOA)

Der er eksperimenteret med forskellige recepter. De bedste resultater (2012) var opnået med et sand-binder forhold på 3-2. Og en binder bestående af 70% cement, 20% flyveaske, 10% microsilikat og et vand-binderforhold (vand-cementforhold) på 0,26. Dette giver en densitet på ca. 2.300 kg/m³.

For yderligere information om styrkeforhold og recepter henvises til to artikler begge skrevet af Le, T.T., et.al. 2012, se litteraturliste.

2.3 Udførte projekter (med betonprint)

Projektet har indtil nu fokuseret på at printe facadebeklædninger (forplader), men på sigt er målet at kunne printe elementer der indgår i den statiske konstruktion. Der er også formet et siddemøbel 2m langt og 0,8m højt.



Kilde: www.buildfreeform.com

3 LITTERATURLISTE

3.1.1 Tidsskrifter

Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Law, R., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A., "Hardened properties of high-performance printing concrete", *Cement and Concrete Research Journal*, Vol. 42, Issue 3, pp 558-566, 2012.

Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A., "Mixed design and fresh properties for high-performance printing concrete", *RILEM Materials & Structures Journal*, Vol. 45, Issue 8, pp 1221-1232, 2012.

Lim, S., Buswell, R.A., Le, T.T., Austin, S.A., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A., "Development in construction-scale additive manufacturing processes", *Automation in Construction*, Vol. 21, Issue 1, pp.262-268, 2012.

Godbold, O., Kang, J., Buswell, R.A. and Soar, R.C., "Fabrication of acoustic absorbing topologies using rapid manufacturing", *Canadian Acoustics*, Vol. 36, Issue 3, pp. 144-145, 2008.

Buswell, R.A., Thorpe, A., Soar, R.C. and Gibb, A.G.F., "Design, data and process issues for mega-scale rapid manufacturing machines used for construction", *Automation in Construction*, Vol. 17, Issue 8, pp. 923-929, 2008.

Buswell, R.A., Soar, R.C., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A., "Freeform Construction: Mega-scale rapid manufacturing for construction", *Automation in Construction*, Vol. 16, Issue 2, pp. 224-231, 2007.

3.1.2 Konferencer og workshops

Yang, T., Buswell, R.A. and Cook, M.J., "Exploring rapid prototyping techniques for validating numerical models of naturally ventilated buildings", *The 12th International Conference of the International Building Performance Simulation Association (Building Simulation 2011)*, Sydney, Australia, 14 - 16 November 2011.

Lim, S., Buswell, R.A., Le, T.T., Wackrow, R., Austin, S.A., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A., "Development of a viable Concrete Printing process", *The 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2011)*, 29 June - 2 July 2011.

Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A., "High-performance printing concrete for freeform building components", *fib Symposium Prague 2011, Concrete engineering for excellence and efficiency*, 8-10 June 2011.

Lim, S., Le, T., Webster, J., Buswell, R., Austin, A., Gibb, A., Thorpe, T., "Fabricating construction components using layered manufacturing technology", *Global Innovation in Construction Conference 2009 (GICC'09)*, Loughborough University, Leicestershire, UK, 13-16 September, 2009.

De Kestelier, X and Buswell, R.A., "A digital design environment for large scale additive fabrication", *Proceedings of Arcadia2009, reForm() conference*, Chicago USA, 22nd October 2009.

Godbold, O., Kang, J., Soar, R.C. and Buswell, R.A., "From MPA to strategically designed absorbers using solid freeform fabrication techniques", *In Proceedings of the 19th International Conference on Acoustics (ICA)*, Madrid, Spain, 2007.

Buswell, R.A., Gibb, A.G.F., Soar, R.C., Austin, S.A. and Thorpe, A., "Applying future industrialized processes to construction", *Proceedings of CIB W096 Conference*, South Africa, May 2007.

Buswell, R.A., Soar, R.C., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A., "Freeform construction application research", M. Pandey, W.-C. Xie and L. Xu, *Proceedings of an International Conference on Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction*, 14-17, May 2006, Waterloo, Ontario, Canada, Springer, 2006, pp. 781-792.

Buswell, R.A., Soar, R.C., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A., "The potential for freeform construction processes", *Proceedings of the 16th International Symposium on Solid Freeform Fabrication*, Austin, Texas, USA, 2005.

Buswell, R.A., Soar, R.C., Pendlebury, M.C., Gibb, A.G.F., Edum-Fotwe, F.T. and Thorpe, A., "Investigation of the potential for applying freeform processes to construction", *Proceedings of the 3rd International*

Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC), Rotterdam, The Netherlands, 2005, pp. 141-150.

3.1.3 Websider

<http://buildfreeform.com>

<https://ing.dk/artikel/skanska-om-2-3-ar-ruller-vi-3d-print-ud-pa-byggepladsen-181515>