



1

V prostorách Kloknerova ústavu se pracuje na budoucnosti stavebnictví. Tou je robotická fabrikace, která svými možnostmi bezpochyby ovlivňuje směr stavebnictví a architektury. Využití průmyslových robotů se do nedávné doby omezovalo především na aplikace ve strojírenském a zpracovatelském průmyslu. S postupující vlnou automatizace a rozšířením principů Průmyslu 4.0 se však robotizace dostává i do oblastí, kde její uplatnění nebylo doposud běžné nebo účelné. Jedním z takových oborů je i stavebnictví.

2a



2b



3



4



## 3D TISK Z BETONU VYVÍJENÝ VE SPOLUPRÁCI KLOKNEROVA ÚSTAVU A LIBERECKÉ TECHNICKÉ UNIVERZITY

### 3D PRINTING FROM CONCRETE DEVELOPED IN COOPERATION BETWEEN THE KLOKNER INSTITUTE AND THE TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC

David Čítek, Jiří Kolísko

Vědci z Českého vysokého učení v Praze a Technické univerzity v Liberci představili v létě v pražském Kloknerově ústavu ČVUT funkční zařízení pro 3D tisk z cementových směsí. Liberecká univerzita dodala do projektu tiskovou hlavu a testovací tiskové zařízení. Vyvíjí také robotické rameno, které ponese další generace tiskových hlav. Specialisté z laboratoře betonu Kloknerova ústavu pracují na vývoji cementových kompozitů ideálních pro tisk a poskytují cennou zpětnou vazbu pro úpravy 3D tiskárny – testbedu a tiskové hlavy.

Scientists from the Czech Technical University in Prague and the Technical University of Liberec presented a functional device for 3D printing from cement mixtures in the summer at the Klokner Institute of the Czech Technical University in Prague. The University of Liberec supplied the print head and test printing equipment for the project. It has also been developing a robotic arm that will carry the next generation of print heads. Specialists from the Klokner Institute's Concrete Laboratory are working on developing cement composites ideal for printing and providing valuable feedback for modifications to the 3D printer – testbed and print head.

Spolu s Technickou univerzitou v Liberci spolupracuje Kloknerův ústav ČVUT v Praze na projektu 3D STAR, který má za cíl zkoumat možnosti aditivní fabrikace a ukázat cestu, kterou by se mohla budoucí výstavba vydat. Hlavní úlohu zde mají experimentální oddělení a oddělení mechaniky. Tím, čím se odlišuje tisk provozovaný v laboratořích Kloknerova

ústavu od běžného, je tiskový materiál a způsob jeho využití. Pro vývoj tisku z betonu jsou využívány zkušenosti z tisku na běžných 3D tiskárnách využívajících konvenční materiály (jako např. plast). Pracovníci experimentálního oddělení mají za úkol vyvinout směs cementového kompozitu (betonu) s ideálními vlastnostmi přímo pro aditivní formu tisku. Obor mechaniky

#### Řešitelský tým

Jiří Kolísko, David Čítek, Oto Melter, Aleš Hvizdal, Karel Hurtig,  
Michal Gabriel (Kloknerův ústav ČVUT v Praze)  
Jiří Suchomel, Aleš Beran, Petr Zelený (Technická univerzita v Liberci)



5

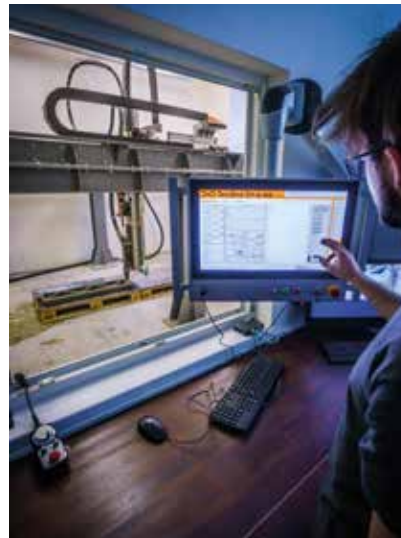
přispívá svými zkušenostmi při navrhování tvaru výrobků, systému extruze a řízení tisku. Velmi důležitým vyvíjeným prvkem je v neposlední řadě i samotný optimalizační software, ve kterém je požadovaný objekt „rozřezán“ po jednotlivých tiskových vrstvách a trajektorie tiskové hlavy generována tak, aby byl tisk pokud možno kontinuální a co neefektivnější.

Vzhledem k posunu těžiště práce s automatizovanými systémy od tradičního navrhování a fyzických úkonů k programování pohybových drah se profese stavebního inženýra v těchto oblastech stavebnictví začíná překrývat s profesí programátora robotických systémů. Počítačem programované stroje tak nemají problém s jakýmkoliv tvarem, směšovací poměrem směsi či přesností v rámci milimetrů, mililitrů a gramů. Exaktní měření nejen vstupních parametrů, ale i výstupu, tedy kontrola vytištěného objektu a zpětná vazba, výrazně rozšiřuje možnosti optimalizace řízení procesu v rámci celého tisku.

Tisk probíhá na plotrovém zařízení testbed kompletně vyvinutém



6



7

**1** Z tiskové konference 24. června v hale mechanické zkušebny Kloknerova ústavu ČVUT v Praze  
**2** a) Rozptýlená výztuž, b) vlákna přidávaná do cementové směsi **3** Míchací zařízení na beton  
**4** Vylévání směsi z míchačky do transportní nádoby **5** Tisk probíhá na plotrovém zařízení testbed vyvinutém pracovníky TU v Liberci **6** Detail tisku **7** Profese stavebního inženýra se začíná překrývat s profesí programátora robotických systémů

**1** From the press conference on June 24 in the mechanical testing hall of the Klokner Institute of CTU in Prague **2** a) Scattered reinforcement, b) fibres added to cementitious composite **3** Concrete mixing equipment **4** Pouring concrete from mixer into a transport container **5** Printing is carried out on a testbed plotter developed by TU Liberec **6** Detail of the print **7** The profession of civil engineer is beginning to overlap with that of robotic systems programmer

pracovníky TU v Liberci. V současné době probíhají testy různých typů tiskových hlav v závislosti na typu tisknuté směsi, tvaru tisknutého objektu a rychlosti a způsobu tisku. U cementového kompozitu jsou v závislosti na technologické náročnosti a požadavcích na výsledné mechanicko-fyzikální parametry vytištěného objektu upravovány zejména konzistence, množství jednotlivých složek a vyztužení pomocí rozptýlené výztuže. Možnosti materiálu se ukazují velmi rozsáhlé. Od tisku betonu běžných pevností se dostáváme až k tisku s využitím ultra vysokohodnotných betonů.

Vývojový proces si dává za úkol dosáhnout stavu, při kterém bude možné tisknout objekty s co nejmenším zásahem lidské činnosti, resp. zautomatizovat celý proces od míchání směsi až po vytištění požadovaného objektu, a to nejen v prostorách laboratoře.

Tištěné objekty či jejich části jsou zkoušeny v zatěžovacích strojích laboratoře a výsledky jsou podkladem pro výpočetní modely. Tyto modely jsou zpětně upravovány tak, aby vytištěný objekt splňoval nároky nejen estetické,

ale i nároky na statiku. V současné době se např. pracuje na vytvoření lávky pro pěší, která bude zhotovena pomocí 3D tisku.

## Závěr

Celý komplexní systém 3D tisku využívá všech zkušeností vědecko-výzkumných pracovníků z různých odvětví stavebnictví, kombinuje materiálové inženýrství, programování, strojírenství a architekturu.

3D tisk nezůstává v případě Kloknerova ústavu jen v laboratoři. V současnosti ústav spolupracuje v oblasti 3D aditivní fabrikace např. i se studiem Federico Díaz při tvorbě sochy v objektu Bořislavka.

Fotografie: 1 – Lucie Šimečková, redakce, 2 až 7 – Jiří Ryszawy (archiv ČVUT)



Ing. David Čítek  
 Kloknerův ústav ČVUT v Praze  
 david.citek@cvut.cz



doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.  
 Kloknerův ústav ČVUT v Praze  
 jiri.kolisko@cvut.cz