

ARCHITEKTONICKÉ A DESIGNOVÉ PRVKY ZHOTOVENÉ POMOCÍ 3D TISKU NA FAKULTĚ STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE

Pavel Svoboda, Michal Kovářík, Cong Tan Ngo

V rámci současné diskuse o technologii 3D tisku z betonu v ČR je v článku představena skupina, která se touto progresivní technologií zabývá na Katedře technologie staveb ČVUT v Praze, a jsou prezentovány výsledky její práce v oblasti architektury a designu.

ARCHITECTURAL AND DESIGN ELEMENTS MADE BY 3D PRINTING AT THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING IN PRAGUE

This article introduces a group working on this progressive technology at the Department of Construction Technology at the Czech Technical University in Prague and presents the results of their work in the field of architecture and design as part of the current discussion about 3D concrete printing technology in the Czech Republic.

Cíle

Primárním výzkumným záměrem skupiny zabývající se technologií 3D tisku na Katedře technologie staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze (FSv ČVUT) není tisk stavebních konstrukcí in situ, jak je tomu u řady projektů v ČR i ve světě, ale ověření možností 3D tisku při výrobě high-tech prefabrikátů v pohledové kvalitě. Výchozí požadavek na pohledovost tištěných prvků nás přivedl k nutnosti zaměřit se na vývoj technologie, která umožní tisk s vrstvami bez zjevných poruch, jako jsou trhliny nebo nechtěné změny textury vrstev vlivem kolísání tlaku při vytlačování. Technologie 3D tisku jako jedna z metod digitální výroby

umožňuje pro návrh využívat pokročilé počítačové navrhování, jako je parametrický nebo generativní design, což vede k organicky tvarovaným prvkům s vysokou komplexností, a zároveň umožňuje tvarovou optimalizaci konstrukcí vedoucí k nižší spotřebě materiálu a tím i ke snížení uhlíkové stopy výstavby. Tento přístup zároveň přináší nové možnosti v estetice betonu a jeho využití v architektuře a designu interiérů i exteriérů budov. Snaha dostat organicky tvarovanou estetiku 3D tištěných prvků i do interiérů budov vyžaduje nezbytné omezení jejich hmotnosti z důvodu redukce zatížení stropních konstrukcí, což zároveň umožňuje ruční montáž

s minimální mechanizací. Tento požadavek nastolil nutnost tisku lehkých prvků se stěnami ze subtilních vrstev. Důraz na udržitelnost betonových prvků pak vyvolal nutnost zaměřit se také na vývoj materiálů se sníženou uhlíkovou stopou ve srovnání s klasickým betonem.

Zmiňované cíle definují oblasti našeho výzkumu, který pokrývá celé spektrum nutných dovedností od návrhu a zkoušení tiskových materiálů přes vývoj a stavbu strojních zařízení až po vývoj tiskových skriptů.

Vzhledem k tomu, že v době vzniku skupiny v roce 2015 nebyly v ČR k dispozici žádné technologie, materiály ani know-how v oblasti 3D tisku betonu, bylo nutno vše zvládnout vlastními silami. Výzkum se v první části zaměřil na vývoj vhodného materiálu, kterým byla jemnozrnná malta na cementové bázi. První úspěšné pokusy s vytlačováním této speciálně navržené malty proběhly v roce 2016. Následně byla z programu OPVV 2017 pořízena rámová 3D tiskárna o tiskovém prostoru $1 \times 1 \times 1$ m se speciálním čerpadlem (obr. 1). Během roku 2020 se nám podařilo i přes omezení daná propuknutím epidemie covid-19 vybudovat na FSv ČVUT laboratoř 3D tisku ve stavebnictví. Toto unikátní pracoviště umožňuje vývoj materiálů, testování prototypů dalších zařízení, jako jsou trysky nebo čerpadla, a také 3D tisk vzorků, na nichž je v malém měřítku ověřováno fungování konstrukcí a technologie 3D tisku z malt (obr. 2).

Jako výchozí technologie, vhodná pro vývoj materiálů a osvojení základ-

1 Rámová 3D tiskárna s čerpadlem malty v laboratoři 3D tisku Fakulty stavební ČVUT v Praze, 2020 2 Vzorek voštinové stěny vytištěný z originální cementové malty vyvinuté na Katedře technologie staveb FSv ČVUT, 2020 3 Reliéfní obkladové panely vyrobené technologií plošného 3D tisku umístěné na podestě historické budovy v Berouně, 2021 4 Zahradní pult složený ze dvou prefabrikátů o hmotnosti 120 kg, 2021

1 Cartesian 3D printer with a mortar pump in the 3D printing laboratory at the FCE, CTU in Prague, 2020 2 A sample of a honeycombed wall element printed using the original cement mortar developed at the Department of Construction Technology of the FCE, CTU in Prague, 2020 3 Relief cladding panels produced by 3D printing technology placed on the landing at the historical building in Beroun, 2021 4 Garden table made of two prefabricated elements weighing 120 kg, 2021

1



2





3a



3b

ních principů technologie 3D tisku, bylo zvoleno míchání v dávkách a pro dopravu směsi do trysky speciální peristaltické čerpadlo. Tato volba se posléze ukázala správnou nejen pro testování v malém měřítku, ale i pro výrobu designových vylehčených prefabrikátů do hmotnosti 200 kg, protože oproti kontinuálním míchačkám, šnekovým čerpadlům a „omítkovačkám“, navrženým pro čerpání velikých objemů hmot, zajišťuje přiměřeně nízký čerpací výkon při současném stabilním tlaku, a umožňuje tedy tisk vrstev v pohledové kvalitě bez zjevných estetických vad. Postupným vývojem se nám tak podařilo vyvinout technologii umožňující nepřerušovanou dodávku materiálu, která je podmínkou pro konstantní vzhled a texturu vrstev o šířce 18 až 32 mm.

Projekty

Při aplikacích do praxe jsme navázali spolupráci s projektem Fabrilium, jehož tým zajišťuje vývoj mechatrických a čerpacích zařízení a poskytl nám k dispozici větší tiskárnu s pokročilejší tiskovou hlavou. Jedním z výsledků této spolupráce byla v roce 2021 realizace originálního reliéfního obkladu složeného z tenkostěnných panelů vyrobených unikátní technologií plošného 3D tisku. Tato technologie umožňuje tisk plošných panelů s možností tkaného vzoru o poměru stran a tloušťky, který neumožňuje běžná technologie 3D tisku z důvodu nutnosti podpor, zajišťujících tvarovou stabilitu panelu během tisku a zrání cementové malty. Tloušť-

ka panelu činí pouhých 27 až 32 mm, výška vrstvy je 8 mm, rozměry panelu jsou 600 × 1 400 mm a jeho hmotnost činí 75 kg. Jednotlivé panely byly vyrobeny z originální cementové malty navržené speciálně pro technologii plošného 3D tisku. Panely byly po stranách zarovnány ořezáním a pro zvýšení pevnosti v tahu za ohybu z rubové stěny vyztuženy tkaninou ze skelných vláken (obr. 3). Byly provedeny orientační zátěžové zkoušky v tahu za ohybu prokazující odolnost vyrobených vzorků proti nahodilému zatížení. Pro osazení panelů na stěnu byl vyvinut kotevní systém, jehož spolehlivost byla orientačně ověřena odtrhovými zkouškami v různých

směrech. Povrch panelů, umístěných v exponovaném prostoru na podestě při vstupu do solária, byl ošetřen nátěrem na nanobázi zajišťujícím odolnost proti otěru i znečištění.

Aplikací 3D tisku v oblasti mobiliáře je pak návrh a výroba zahradního pultu, složeného ze dvou prefabrikátů o hmotnosti 120 kg (obr. 4), série zahradních nádob na rostliny, stůl či drobnější realizace jako např. váza (obr. 5).

V rámci hledání nových možností pro architektonické aplikace jsme úspěšně zvládli také probarvování betonu, který umíme tónovat do širokého spektra odstínů (obr. 6). Nadto je pro nás standardem zajistit ochranu 3D tištěných prvků speciálními nástřiky a při-

4





5



7



6



8

5 Váza, 2021 6 Probarvované květináče, 2021 7 Šasi pro nabíjecí stanici společnosti Olife Energy, 2021 8 Ukázka tisku z malty vyvinuté na Katedře technologie staveb FSv ČVUT na bázi bezcementového pojiva Sorfix, 2022

5 Vase, 2021 6 Coloured flowerpots, 2021 7 Chassis for an Olife Energy charging station, 2021 8 A sample print made from a mortar based on Sorfix non-cementitious binder, developed at the Department of Construction Technology of FCE, CTU, 2022

sadami proti znečištění i pronikání nežádoucích látek včetně CHRL.

Projektem z oblasti užitého designu byl vývoj a výroba betonového šasi pro nabíjecí stanice pro elektromobily ve spolupráci se společností Olife Energy. Toto šasi má v základní verzi rozměr 1 300 × 360 × 250 mm a slouží jako odolná schránka pro elektronickou část nabíjecí stanice. Díky tloušťce vrstvy 32 mm činí hmotnost šasi pouhých 72 kg a umožňuje pohodlnou montáž na základový blok ve dvou lidech. Výhodou oproti sériově dodávaným šasi je díky kombinaci parametrického modelování a technologie 3D tisku možnost přizpůsobit rozměry a tvarové řešení šasi na míru konkrétním požadavkům (obr. 7).

Laboratoř 3D tisku ve stavebnictví je využívána také ve výuce studentů programů Stavitelství a Stavební inženýr-

ství se specializací Příprava, realizace a provoz staveb. V letošním roce jsme díky zapojení studentů vyvinuli ekologickou tiskovou maltu se sníženou uhlíkovou stopou, v níž je cement plně nahrazen pojivem Sorfix vyvinutým ve spolupráci Katedry technologie staveb FSv ČVUT, VŠCHT a ČEZ. Toto pojivo se vyrábí úpravou elektrárenských popílků (obr. 8).

Vedle vývoje vlastního materiálu jsme v rámci laboratoře testovali také průmyslově vyráběné materiály společností Master Builders a Sika. Jejich přednosti vidíme v rychlém náběhu tuhnutí především ve spojení s kontinuálním mícháním.

Závěr

Během sedmi let činnosti výzkumné skupiny se povedlo vytvořit technologické, materiálové i znalostní zázemí

pro plnohodnotný výzkum technologie 3D tisku vytlačováním malt. Byly vyvinuty originální malty na cementové a bezcementové bázi a byla nabyta technologická a znalostní základna umožňující dosáhnout tisku jemných vrstev ve vysoké kvalitě a s minimem zjevných vad. Tyto dovednosti byly úspěšně aplikovány na několika ověřovacích projektech a představují ucelený základ pro další výzkum a vývoj v oblasti 3D tisku ve stavebnictví na Fakultě stavební ČVUT v Praze.



doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.
pavel.svoboda@fsv.cvut.cz



Ing. Michal Kovářik
michal.kovarik@fsv.cvut.cz



Ing. Cong Tan Ngo
nguyehu4@fsv.cvut.cz

všichni:
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Katedra technologie staveb