

# Mladá veda

Young Science

Špeciálne vydanie

# Mladá veda

## Young Science

### MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 10, ročník 5., vydané v decembri 2017

ISSN 1339-3189

Kontakt: [info@mladaveda.sk](mailto:info@mladaveda.sk), tel.: +421 908 546 716, [www.mladaveda.sk](http://www.mladaveda.sk)

Fotografia na obálke: Študenti Fakulty manažmentu v Prešove. © Branislav A. Švorc, [foto.branisko.at](http://foto.branisko.at)

#### REDAKČNÁ RADA

*doc. Ing. Peter Adamišin, PhD.* (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)

*doc. Dr. Pavel Chromý, PhD.* (Katedra sociálnej geografie a regionálneho rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)

*prof. Dr. Paul Robert Magocsi* (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)

*Ing. Lucia Mikušová, PhD.* (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)

*doc. Ing. Peter Skok, CSc.* (Ekomos s. r. o., Prešov)

*prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D.* (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)

*prof. PhDr. Peter Švorc, CSc.*, predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)

*doc. Ing. Petr Tománek, CSc.* (Katedra verejnej ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)

#### REDAKCIA

*PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD.* (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)

*Mgr. Martin Hajduk* (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)

*RNDr. Richard Nikischer, Ph.D.* (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)

*Mgr. Branislav A. Švorc, PhD.*, šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)

*PhDr. Veronika Trstianska, PhD.* (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)

*Mgr. Veronika Zuskáčová* (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

#### VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.

[www.universum-eu.sk](http://www.universum-eu.sk)

Javorinská 26, 080 01 Prešov

Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.



# 3D TISK BUDOV

## 3D HOUSE PRINTING

**Lukáš Kopřiva, Petr Hrubý<sup>1</sup>**

Lukáš Kopřiva působí jako student na konstrukcích staveb Vysoké školy technické a ekonomické v Českých Budějovicích. Ve své rešerši se věnuje tématu 3D tisku budov a jeho ekonomickému hledisku. Petr Hrubý působí jako docent na Katedře strojírenství Ústavu technicko-technologického Vysoké školy technické a ekonomické v Českých Budějovicích v České republice. Ve svém výzkumu se věnuje problematice matematického modelování strojních součástí se zaměřením na dimenzování rotujících částí mechanismů strojů.

Lukáš Kopřiva is a student of construction engineering at at Institute of Technology and Business in České Budějovice. In his research, he is analyzing the topic of 3D house printing and its economical view. Petr Hrubý works as an asociated profesor at the Department of Mechanical Engineering of the Faculty of Technology at the Institute of Technology and Bussines in České Budějovice in Czech Republic. Him research is devoted to problems of mathematical modeling of machine parts with focus on dimensioning of rotating parts of machine mechanisms.

### Abstract

Construction building is being constantly perfected and improved as much as any other important branch of human work. Since the begining of the 21. century, a whole new method has been improved, and this method should advance boundary of construction more. It is 3D house printing. And however bold / crazy can this thought sound to anybody, there have been realized succesful attempts via this contruction method. But is the Contour crafting indeed useful in house building? What impacts of it are there, concerning social welfare and economy?

Key words: 3D house printing, Contour crafting, economical and social evaluation of CC

### Abstrakt

Stavitelství je stejně jako ostatní nezbytná odvětví zdokonalováno a vylepšováno. Od začátku 21. století se ovšem řeší zcela nová metoda, která by měla posunout hranice budování obydlí opět o něco dál. Jde o 3D tisk budov. A jakkoliv odvážně/bláznivě může tato myšlenka pro každého znít, již byly realizovány i úspěšné pokusy o tuto stavební metodu. Je ovšem tzv. Contour crafting opravdu výhodný, co se týče oboru stavitelství? Jaké to s sebou nese dopady na sociální vnímání a ekonomiku?

Klíčová slova: 3D tisk budov, Contour crafting, ekonomické a sociální hledisko CC

---

<sup>1</sup> Affiliation: doc. Ing. Petr Hrubý, CSc., The Institute of Technology and Bussines, Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice, Czech Republic  
E-mail: dochruby@mail.vstecb.cz

## Úvod - Stavebnictví z pohledu historie

Bláto a tráva – tyto dva přírodní komponenty byly to jediné, z čeho první lidé dokázali vybudovat svá první umělá obydlí. Starověcí Římané byli první civilizací, která dokázala zpracovávat beton, míšením vápence a vyvřelé horniny (Hwang, 2005). Tak vznikly majestátné konstrukce, jakým je např. Pantheon v Římě – dodnes největší nevyztužená budova na světě.

Přes staletí se stavitelé a architekti snaží přicházet na způsoby, jak vybudovat stále odolnější, vyšší a hezčí stavby pomocí inovativních metod, ať už přidání ocelových travers, zemětřesení odolných základů nebo skleněných stěn. Na procesy, kdy bylo nezbytné využít lidskou sílu dnes existují technologie, které člověku několika(set)násobně ulehčí práci. Dřívější stavby robustních a monumentálních konstrukcí, jakými byly zámky nebo pyramidy byly stavěny v rozmezí let, případně dekád. Za pomoci výbavy, jako jeřáby, bagry, sklápěčky atp. není problém budovat srovnatelné objemy v řádech měsíců. Kupříkladu pomocí tzv. systému SMART lze efektivně přepravovat objemné stavební materiály v horizontálních i vertikálních směrech. Tyto metody jsou vyvíjeny již od 90. let 20. století. Důraz se u novostaveb vrací i k estetickému hledisku (při zachování funkčního hlediska), oproti 19. a 20. století, kdy byl kladen důraz zejména na funkci a ustupovalo se od líbivé zdobnosti předchozích architektonických slohů. (Jeon, 2013)

Co se materiálů týče, místo konopí nebo ovčí vlny jako tepelného izolantu se dnes používají syntetické materiály, které se aplikují pomocí rychleschnoucích lepidel a jejich použití je provedeno odbornými kvalifikovanými firmami v řádu hodin či dní. V zájmu ušetření jak přírodních, tak finančních zdrojů se v posledních čtyřiceti letech sáhne raději i po rekonstrukci budovy, než jejímu stržení a opětovnému vystavění. S technologiemi jako tažená ocel nebo karbonové pásy lze vyztužovat staticky narušené zdivo, do starších objektů trpících vlhkostí se aplikují sanační metody v podobě podřezání zdí a vložení hydroizolačních pásů, chemických injektáží, odvětrávacích kanálků apod. Pokud zajdeme do oblasti technického zařízení budov, splachovací záchody a sifon nebyly známy až do konce 16. století. I tyto patenty posloužily k vytvoření civilizovaného bydlení. Do té doby si lidé museli vystačit se suchými záchody, latrinami, majetnější obyvatelé s prevéty.

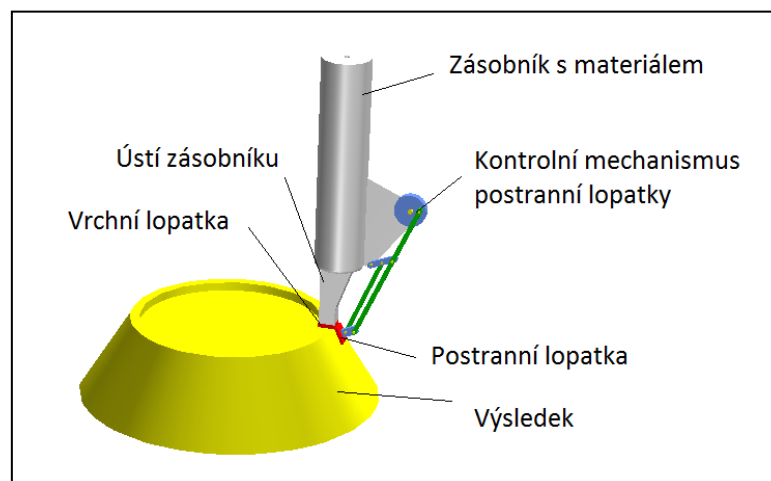
K jakékoliv oblasti stavebnictví byla ovšem doposud vždy potřeba manuální práce. A to vždy lidská, protože i jeřáby a nákladní vozidla obsluhovali lidé, minimálně v počtu desítek, co se týče samotné výstavby. Na rozdíl od oboru strojírenství, jenž byl téměř plně automatizován. To by se ale mělo v blízké budoucnosti změnit.

## Contour crafting

Co tedy budoucnost chystá pro stavebnictví? Podle univerzitních vědců z Jižní Kalifornie je to 3D tisk budov. Pro potřeby lékařské, vojenské, výzkumné, nebo třeba i zábavní již dnes existuje 3D tisk. Tento proces spočívá v tom, že 3D tiskárna modeluje z umělé hmoty (plast) trojrozměrný předmět. Přesnost a kvalita výsledku se odvíjí zejména od typu tiskárny – v kostce se dá říct, že „domácí“ 3D tiskárny do 20 000,-Kč tisknou jednoduché tvary, zatímco firemní 3D tiskárna desetkrát tak drahá bude vykazovat preciznější práci. Tyto 3D tiskárny jsou ovšem přístroje tvaru kvádra o velikostech stran okolo 60 cm. Dozajista si každý pomyslí, že 3D tisk budov je tudíž nesmysl – nikoliv nezbytně.

Behrokh Khoshnevis je profesor, který obdržel titul z Průmyslového a systémového inženýrství, Vesmírného a mechanického inženýrství, Biomedicínského inženýrství, Konstruktérského a environmentálního inženýrství. Mimo všech těchto titulů je to i muž, který stojí za myšlenkou a vývojem 3D tisku budov (Leach, 2012). Taková metoda 3D tisku budov je nazývána „Contour crafting“ (v doslovném překladu „Výstavba podle obrysů“, termín prozatím není oficiálně překládán. Pro zřetelnost se v článku odkazuje na originální název).

Jde o metodu, která využívá přidávání stavebního materiálu do prostorového tvaru pomocí počítače. Počítače jsou velmi přesné, a tak jsou výsledky stavby přesnější a pravidelnější (Khosnevis, 1999). Některé z výhod tohoto procesu jsou: dosažení lepších povrchů, vyšší stavební rychlost a širší výběr materiálů. Klíčové je v tomto procesu využití dvou „lopatek“, které se natáčejí tak, aby vyšel požadovaný obrazec. Historicky využívali stavitelé různé nástroje pro dosažení různých tvarů, jako zednické lžíce, hladítka, sochařská dláta nebo špachtle – tyto by měly být nahrazeny zmíněnými lopatkami. Materiál má být jako u 3D tisku malých objektů také nanášen po vrstvách. Je to v podstatě hybridní metoda, která kombinuje vytlačovací proces, který tvoří povrch objektu, a vyplňovací proces (nalévání nebo injektáž) pro vytvoření vnitřku.



Obr. 1 – Princip funkce Contour craftingu

Zdroj: [https://4.bp.blogspot.com/-](https://4.bp.blogspot.com/-GvcAQP0PPxg/V2J1jhcA8OI/AAAAAAAAABLE/RTST9tE6cHMHIwtQxg_Vw4lBHFicRxZiACLcB/s1600/5.jpg)

GvcAQP0PPxg/V2J1jhcA8OI/AAAAAAAAABLE/RTST9tE6cHMHIwtQxg\_Vw4lBHFicRxZiACLcB/s1600/5.jpg

Na obrázku vidíme vrchní a postranní lopatky udávající tvar výsledku. Materiál je vytlačován a naklápění lopatek způsobuje formování pláště. Poté, co je plášť hotov, lze vyplnit vnitřek libovolným materiálem, například betonem. (Khosnevis, 2003)

Beton jako takový je velmi příhodný materiál. Jde o směs cementu, vápna, vody a písku nebo šterku. Pro svou kašovitou konzistenci se dobře vyrábí přímo na stavbách, dováží se v domíchávacích ve vodorovných směrech a bez problémů se dopravuje pomocí pump do svislých směrů. Proto je vhodný i v metodě Contour craftingu. První experimenty již prokázaly, že lze vytisknout betonovou stěnu. Pro konkrétní experiment byla 150 cm dlouhá, 60 cm vysoká a 13 cm tlustá. V podstatě bylo pouze vytisknuté ztracené bednění a vzniklá dutina vyplněná betonem po vrstvách v hodinových intervalech. Tento experiment proběhl již

v roce 2004 a nyní již fáze okrajového pláště a výplně probíhá automaticky naráz. (Hwang, 2004)

Byly provedeny také experimentální pokusy s jinými materiály. Pokud se jedná o Contour crafting v obecném pojetí, i materiály jako nepálená cihla jsou možností. V takovém případě je cihelná hlína naháněna pod větším tlakem a opět urovnávána lopatkami. Pro své odlišné vlastnosti od pevnějších materiálů (zejména betonu) by se doporučovalo použít tento materiál spíše pro sochařství či jiné účely. (Kwon, 2002)

### 3D tisk budov

Contour crafting (CC) tedy představuje velmi slibnou metodu 3D tisku budov. Pro představu je zde následující obrázek (obr. 2). V praxi se bude jednat o velký jezdec, který bude popojíždět po dvou rovnoběžných kolejnicích. Dům, případně řadové domy, každý jinak navržený, by mohly být automaticky vystavěny v jediném tahu. Pro stavbu konvenčních budov může být CC stroj osazen mimo výtlačného zásobníku ještě o doplňující rameno, které bude prefabrikáty (stropní trámy/panely) uchopovat a umisťovat. Pro nezvyklé tvary není pak třeba bednicích opor (při výstavbě kopulí nebo kleneb) a toho lze využít pro imitace historických budov (Khosnevis, 2006).



Obr. 2 – 3D tisk budovy

Zdroj: [https://cdn.yourstory.com/wp-content/uploads/2014/01/CC\\_Curve\\_House-1024x576.jpg](https://cdn.yourstory.com/wp-content/uploads/2014/01/CC_Curve_House-1024x576.jpg)

Další zajímavé aspekty CC jsou: Návrhová různorodost – dnes jsou ve stavitelství preferovány jednoduché tvary pro své předvídatelné chování a jednoduchou výstavbu. Nepravidelné tvary jsou shledávány spíše jako odvážné pokusy. A to by se mohlo s příchodem CC změnit. Je zde možnost užití mnoha materiálů, a to jak pro plášť tisknutého výsledku, tak jako jeho výplň (Khosnevis, 2004). A jako v manuálních aplikačních pistolích se mísí dvě chemikálie pro vytvoření kompaktního pevného prvku, stejně může posloužit i tryska CC zásobníku. Vodovodní a odpadní potrubí by nemuselo nutně být dodáno zvlášť, nýbrž může být zadáno přímo během tisku a vyrobeno na místě podle CAD modelu. Další výhoda by byla předpřipravená stěna k omítnutí/nátěru – kvalita povrchu záleží na kvalitě hladících lopatek CC stroje a po přidání aditiv (písek, štěrky, ztužená vlákna,...) lze vytvořit povrch, který není třeba dále připravovat před dokončovacím procesem omítnutí. Chytré materiály, jakým je např. uhlíkem upravený beton (takový beton je odolný vůči elektřině)

mohou být přesně dodány na navržená místa, protože proces je řízen počítačem. A co se ztužení betonu ocelí týče, muselo by se odstoupit od klasického vyvazování, protože prozatím ani počítače a velké CC stroje by nebyly schopny tak precizní práce. Místo toho by se výztuž skládala z jakési stavebnice svislých ocelových prutů, do kterých by zapadaly ocelové „skoby“ a vytvořily by jakousi ocelovou síť. Obdobného výsledku by bylo dosaženo s jinými výztužnými materiály, jako je např. ztužené plastové vlákno.

### **Ekonomické zhodnocení a globální uplatnění 3D tisku budov**

Pro upřesnění, v poli CC můžeme rozdělit dva typy stavění. Prostý tisk z jednoho materiálu (beton) či kombinaci tisku a skládání (prefabrikace). Třemi společnostmi, které stojí za zmínku jsou DUS Architects (Nizozemsko), Yingchuang New Materials (Čína) a Pinwheel house design. DUS nazývají 3D tisk budov „novým řemeslem“ a chtějí, aby tištěné domy vynikaly. 3D Canal House je jejich nejmladším počinem, využívá ekologické materiály, jako bioplasty a lepidla vyrobená z 80% z rostlinných olejů. Yingchuang naopak využívá recyklovaných konstrukčních materiálů, jako např. písku, betonu a skelných vláken. Kvůli tomu takový jednopokojový „dům“ stojí okolo \$4800 a výroba „domu“ se uskuteční do 24 hodin. Pinwheel house se zavázal vyrábět tištěné domy do \$1000, ovšem v současnosti se cena pohybuje stále přes \$5000. Koncept Pinwheel domu je kombinace dutých cihelných stěn, ocelových ztužujících prutů a dřevěných stropních trámů a má přestát zemětřesení o síle 8.0.

Kvantitativní analýzy ukázaly, že z východních zemí a zemí Afriky (čili převážně rozvojové země/lokace) jsou to Čína a Saudská Arábie, kteří se jeví jako nejvhodnější kandidáti pro vstup na trh s tímto stavebním přístupem, těsně následované Jižní Koreou, Indií, Tureckem, Malaysií a Egyptem. Čína je na tomto žebříčku kandidátem zejména z důvodu přelidněnosti a zároveň požadavku tamní populace na nízkonákladové bydlení. Saudská Arábie je naopak bohatou zemí, která ovšem také touží po nízkých nákladech na stavbu domů a má v plánu očistit vládu v očích veřejného mínění a ujistit, že SA není zemí, která porušuje lidská práva. Motivy Indie pro využití tištěných budov jsou pak přelidněnost, chudoba a chybějící infrastruktura. V Turecku zabírá bydlení nejnákladnější součást života, kdy pouze 67% dotazovaných odpovědělo, že jsou spokojeni se svým bydlením.

Názory mnohých odborníků jsou ovšem k tématu spíše skeptické, tvrdící, že 3D tisk budov se neuchytí v rozvojových zemích. Někdo staví relevantní argumenty na tom, že proces CC obere lokální zaměstnance o práci a místní materiály zůstanou nevyužity ku prospěchu dovážených chemií. Jiní namítají, že 3D tisk je specifická činnost, která nalezne uplatnění v jiných odvětvích (lékařství - protézy, orgány; strojírenství - součástky, polotovary; případně sochařství a umělecká díla) a nikoliv ve stavitelství, kde jsou požadavky na každý objekt, dokonce části objektu, jiné a figuruje zde velké množství proměnných faktorů, tudíž by se ve finále nevyplatilo přenastavovat na jiné zadání a neustále hlídat „tisk“. Ovšem rovněž nevylučují použití technologie při velmi snadných zadáních (prostá stavba zdi/zděného plotu, objekty skladovací – síla, nádrže).

Při kombinaci předchozích dvou odstavců můžeme shrnout, jak je to vlastně ve skutečnosti. Cílení uživatelé v Číně se většinou uchylují k jedné z variant: Levný nájem, ekonomické komfortní bydlení, veřejný nájem. Ti, kteří si nemohou dovolit komfort a nespádají do kategorie levného nájmu, by uvítali CC metodu, ale to by znamenalo pro Čínu velké změny v poskytování a úpravách levného ubytování. I přesto, že několik milionů lidí bylo přesídleno z důvodu zvednutí hladiny řeky Yangtze. Čína se snaží změnit svůj ekonomický systém, což



ovšem není jednoduchý úkol. Oproti tomu je zde Saudská Arábie a zmíněná snaha napravit a vymýtit porušování lidských práv od doby, kdy SA vstoupila do NATO a UN. Od roku 2013 SA podniká kroky, kdy se má zlepšit sociální situace v zemi, se řeší problém s ubytováním migrantských pracovníků. Ti doposud mají podmínky k „bydlení“, ovšem tyto podmínky bývají často kritizovány a přirovnávány k pracovním táborem a Gulagům. A využití těchto lidí jako levné pracovní síly pro stavbu obydlí by bylo kontraproduktivní se záměrem odbourání porušování lidských práv. Proto by zde byla metoda CC vhodná k použití. Navzdory této výhodě, program CC se dostává do jednání velmi pomalu z byrokratických důvodů a potíží při výběru vhodných pozemků. CC tedy patrně v nejbližší době neovládne trh stavebnictví v Saudské arábii, neboť náklady na dopravu potřebných materiálů po království by byly větší, než náklady na obytné „buňky“. (Weinstein, 2015)

To byly náhledy do zemí, které by mohly tištěné domy využít nejvíce. Ovšem z pouhého hlediska pohodlí je daleko doba, kdy bude mít tištěný dům vše potřebné. Podle Stevena Keatinga (spoluautor návrhu stavebního 3D zařízení) je dobré mít technologii pro stavbu obydlí na neobydlených místech (polární oblasti, jiné planety), ovšem ani v Evropě zatím v těchto domech nebude bydlet nikdo, pokud nemusí a současná technologie selhává ve shodě se stávající typologií budov.

### **Závěr**

V této rešerši byla rozebrána inovativní technologie stavebnictví – 3D tisk budov. Historicky se stavebnictví jako takové velmi rozmohlo a zdokonalilo, funkční hledisko šlo ruku v ruce s funkcí objektů. Vlastnit takovou levnou a přesto oproti klasickým budovám neméněcennou tištěnou budovu je bezesporu atraktivní vize budoucnosti. Obytná budova „se postaví“ (téměř doslova sama) efektivněji, rychleji a kvalitněji bez dodatečných nákladů na pracovníky nebo rizik pracovních podmínek. Cílem je vytvořit levné bydlení pro koncového uživatele. Toto je ovšem velmi odvážná myšlenka s aktuální technologií a bude třeba dalšího vývoje, než něco podobného vejde do chodu dějin stavitelství jako samozřejmost.

*Tento článok odporúča na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:*

*Doc. Ing. Ján Kmec, PhD.*

### **Použitá literatura**

- 1) Hwang, D. O. O. I. L., & Khoshnevis, B. (2005). An innovative construction process-contour crafting (CC). In *Proc. of 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC* (pp. 1-6).
- 2) Khoshnevis, B., & Bekey, G. (2003). Automated Construction Using Contour Crafting--Applications on Earth and Beyond. *Nist Special Publication Sp*, 489-494.
- 3) Khoshnevis, B., Kwon, H., & Bukkapatnam, S. (2004). Automated Construction using Contour Crafting. In *IIE Annual Conference. Proceedings, Houston, TX, USA*.
- 4) Hwang, D., & Khoshnevis, B. (2004). Concrete wall fabrication by contour crafting. In *21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2004), Jeju, South Korea*.
- 5) Khoshnevis, B. (1999). Contour Crafting-State of Development. In *Solid Freeform Fabrication Proceedings* (pp. 743-750).
- 6) Jeon, K. H., Park, M. B., Kang, M. K., & Kim, J. H. (2013). Development of an automated freeform construction system and its construction materials. In *Proceedings of the 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining* (pp. 1359-1365). Montreal, Canada: International Association for Automation and Robotics in Construction.



- 7) Kwon, H. (2002). *Experimentation and analysis of contour crafting (CC) process using uncured ceramic materials* (Doctoral dissertation, University of Southern California).
- 8) Khoshnevis, B., Hwang, D., Yao, K. T., & Yeh, Z. (2006). Mega-scale fabrication by contour crafting. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1(3), 301-320.
- 9) Leach, N., Carlson, A., Khoshnevis, B., & Thangavelu, M. (2012). Robotic construction by contour crafting: The case of lunar construction. *International Journal of Architectural Computing*, 10(3), 423-438.
- 10) Weinstein, D., & Nawara, P. (2015). Determining the applicability of 3D concrete construction (Contour Crafting) of low income houses in select countries. *Cornell Real Estate Review*, 13(1), 11.