

Využití robotů pro tisk budov

Aleksandar Belkoski

Strojní fakulta, Vysoké učení technické v Brně
Ústav automatizace a informatiky
Technická 2896/2, Brno 616 69, Česká republika
229955@vutbr.cz

Abstrakt: *Práce pojednává o aktuálně využívaných průmyslových robotech pro tisk budov a jejich alternativách*

Klíčová slova: *tisk budov, architektura, průmyslové roboty, rámové tiskárny, manipulátory.*

1 Úvod

V současném digitálním věku, kde technologické inovace a automatizace pronikají do všech odvětví lidské činnosti, je i stavebnictví jedním z průmyslů, které procházejí významnými změnami a transformacemi. Spolu s tradičními postupy a technikami výstavby budov se na trhu postupně objevují nové, inovativní přístupy, které využívají pokročilé technologie jako je 3D tisk budov za využití robotiky. Tato kombinace technologií představuje revoluční přístup k výstavbě budov a otevírá cestu k novým možnostem a přístupům ve stavebním průmyslu. Tématem této práce je zkoumání využití robotů pro 3D tisk budov a přehled řešení, které současný trh nabízí. Zaměřuji se především na problémy, kterým musí čelit jednotlivé typy robotů a jejich konstrukční řešení od současných firem.

2 Základní typy

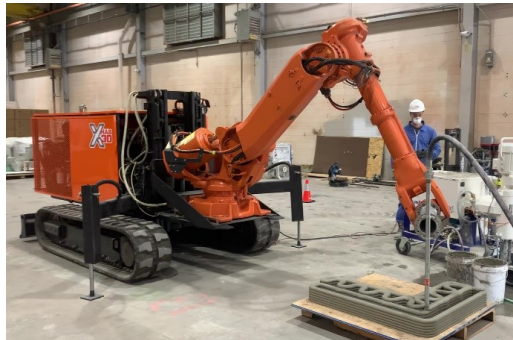
Roboty využívané pro 3D tisk budov se dají rozdělit přibližně do dvou skupin, a to na roboty rámového typu a průmyslové roboty. Rámové tiskárny domů se skládají především ze statické konstrukce, na které je se po příčném nosníku pohybuje tisková hlava extrudující tiskový materiál. Princip těchto tiskáren je obdobný malým FDM tiskárnám. Oproti průmyslovým robotům dokáží tyto tiskárny tisknout rychleji a zároveň vytisknou veškeré stěny budovy naráz. Hlavním úskalím tohoto typu tisku je ovšem nezbytnost zkonstruování nosné konstrukce tiskárny, která z principu musí být větší než tištěná budova.[8]



Obrázek 1: Rámová tiskárna od firmy COBOD[5]

Druhým typem strojů využívaných pro 3d tisk budov jsou upravené průmyslové manipulátory. Zpravidla se jedná o běžné průmyslové roboty připevněné na speciální mobilní platformě, která umožňuje přesun robota po stavební ploše. Tato mobilní platforma je realizována různými způsoby,

které se liší podle výrobce stroje, ale zpravidla je platforma umístěna na kolech, či pásech, které se používají pro pohyb stroje a stabilizačním systémem, který stroj ukotví na místě po jeho transportu. Samotný robot musí také být osazený speciálním koncovým efektem umožňujícím jeho použití pro tisk budov. [10]

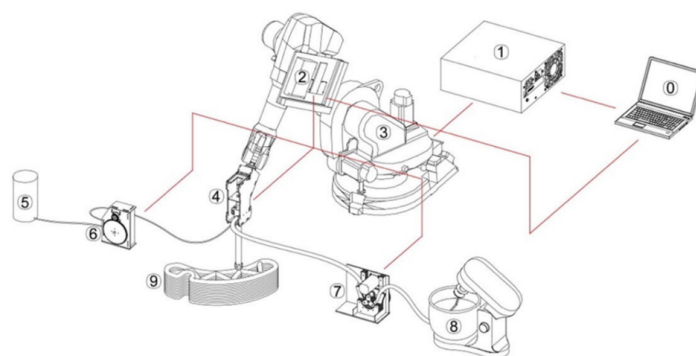


Obrázek 2: Additive Construction Laboratory, Penn State University[3]

Koncové efekty jsou pro zmíněné dva typy 3D tisku budov různé, ale všechny zpravidla sestávají z trysky a čerpadla materiálu, která je buď umístěna hned před tryskou a pohybuje se spolu s ní, nebo mimo pohyblivou část stroje a do extruderu dodává materiál pomocí hadic. Tryska musí být vyrobena z velice otěru-vzdorného materiálu, aby se její průměr nezvětšoval vlivem tiskové hmoty, která často obsahuje ostřívo ve formě drceného kamene, nebo obdobných, tvrdých materiálů.[8]

3 Příprava tiskového materiálu

Náčrt provozu tiskárny s robotickou rukou je znázorněn na obrázku 3. Robotické tiskárny nejčastěji využívají tiskové hlavy namontované na robotu a dvou peristaltických čerpadel. Jedno čerpadlo tlačí předmíchanou směs do tiskové hlavy a druhá do tiskové hlavy vhání urychlovač tvrdnutí. Sestava dále využívá míchadlo pro předmíchání směsi, mikrokontrolér se používá k ovládání čerpadel a tiskové hlavy. Ovládání probíhá prostřednictvím programu v závislosti na tiskové trase, aby bylo možné dávkovat přísady a nouzově zastavit tiskový proces



Obrázek 3: Tiskový proces[10]

0 - řídicí systém; 1 - ovládání robota; 2 - řízení tisku; 3 - robotické rameno; 4 - tisková hlava; 5 - urychlovač tvrdnutí; 6 - peristaltické čerpadlo na urychlovač; 7 - peristaltické čerpadlo na předmíchanou směs; 8 - míchadlo směsi; 9 - tisknutý objekt

4 Roboty využívané k tisku

4.1 "Frank"

Robot „Frank“ od ruské společnosti Apis Cor vyniká unikátním designem, který mírně připomíná věžový jeřáb. Výsuvné rameno s proti závažím je umístěno na rotující platformě. Celý robot se posouvá na pásech, které jsou doplněny o výsuvné podpěry. Pro tisk robot využívá pouze rotaci okolo své osy a lineární pohyb ramene s tiskovou hlavou, což mu umožňuje relativně jednoduchou konstrukci. Robot tiskne budovy po jednotlivých částech. Po usazení robota na základ budovy proběhne kalibrace, kdy si robot zaměří skutečný základ budovy a následně vytiskne část budovy. Po dokončení jednoho úseku, sám přejede do další sekce základu, opět zaměří další část základu a vytiskne další část budovy. Tímto způsobem je schopen vytisknout i budovy s velkým půdorysem o čemž svědčí i jeho zapsání do Guinnessovy knihy světových rekordů za největší vytištěnou budovu na světě vysokou 9,5m. „Frank“ je také vybaven patentovanou extrudovací tryskou, která díky unikátnímu designu umožňuje tisknout téměř hladké stěny, oproti klasické „válečkové“ struktuře jiných tištěných budov.



Obrázek 4: Robot "Frank" od spol. Apis Cor[7]

4.2 "Phoenix"

Phoenix od společnosti ICON zvolil inovativní přístup k tisknutí velkých budov. Robot Phoenix je znatelně větší než konkurenční roboty. Pro umožnění tisku velkých budov zvolila společnost cestu zvětšení samotného ramene robota, který je jako ostatní roboty umístěn na mobilní pásové platformě s výsuvnými vzpěrami. Konstrukce ramene je štíhlá a vysoká, což robotu umožňuje pokrýt velkou tiskovou plochu, nese ovšem sebou znatelné problémy ve formě nestability a to zejména na otevřených prostranstvích za větrného počasí. Společnost ICON tento problém vyřešila vyvinutím unikátní tiskové hlavy, která je gyroskopicky stabilní a aktivně potlačuje veškeré výkyvy samotného ramene. Robot tak dosahuje velice přesných dimenzí a to i při tisku větších budov a bez nutnosti přesunu robota jeho opětovné kalibrování



Obrázek 5: Robot "Phoenix" od spol. ICON[4]

4.3 "Crawler"

Robot crawler od společnosti CyBe disponuje 6ti osým robotickým ramenem od společnosti ABB. Jeho umístění na speciálně vyvinuté pásové platformě mu umožňuje pohyb přes všechny typy terénu. Vysouvací hydraulické podpěry jsou oproti robotu od firmy Apis Cor znatelně mohutnější, jelikož konstrukce tohoto robotu vyžaduje podstatně stabilnější základ. Díky této robustní a stabilní platformě má robotické rameno velmi vysokou přesnost tisku. Nevýhodou tohoto řešení je ovšem poměrně malá pracovní plocha, kterou se robot snaží do jisté míry kompenzovat mobilní platformou. Další metodou urychlení stavby, kterou společnost CyBe využívá je, že robot sám se nepohybuje z místa na místo, ale tiskne stále na stejné místo a přesouvají se jednotlivé stěny po jejich dokončení robotem. Vzhledem k tomu, že robot je v podstatě klasické průmyslové rameno, má velmi mobilní tiskovou hlavu a je tedy tisknout velice komplexní tvary. Mimo tisk samotných stěn budov je vhodný pro tisk nejrůznějších architektonických prvků a designových struktur. Rychlost tisku dosahuje 0,5m/s a tím je jedním z nejrychlejších na trhu.



Obrázek 6: Robot "CRAWLER" od spol. CyBe[1]

5 Shrnutí

Využití robotů pro tisk budov je stále relativně nový koncept, ale v současnosti je tento obor neustále rozvíjen a existuje mnoho společností, které tento proces neustále zdokonalují a vymýšlejí nové inovace. Jak jsme mohli vidět, existuje více přístupů k této problematice, ale jako nejvíce perspektivní se, dle mého názoru, jeví využití mobilních robotů, především z pohledu škálovatelnosti[9]. Zatímco pomocí mobilních robotů, které lze neomezeně přesouvat po zastavované ploše, jako například robot „Frank“ od společnosti Apis Cor, rámové tiskárny je vždy potřeba stavět větší než je samotná tisknutá stavba a následně je také značně komplikovaná jejich následná dekonstrukce. Mnoho společností v současnosti také využívá již existující robotická ramena jako společnost CyBe, která využívá upraveného robota od ABB. Je ale pravděpodobné, že se stoupající poptávkou a rozvojem této technologie se začnou objevovat roboty navržené přímo pro tuto konkrétní aplikaci, příkladem je robot Phoenix od společnosti ICON. Problematika tisku budov není zdaleka problémem pouze robotiky. Úzce spojeným tématem je tiskový materiál, který podstatně ovlivňuje tiskový proces. Většina strojů totiž nedokáže tisknout s využitím běžné malty a je potřeba speciálně navržené malty, která vykazuje správnou viskozitu a rychlost tvrdnutí po extruzi[11]. Na tiskový proces má také podstatný vliv způsob jakým se materiál vrství [2, 6]

6 Závěr

V současné době je po této technologii stále vyšší poptávka, která je v mnoha zemích poháněna nedostatkem pracovní síly, vysokou cenou výstavby domů a nedostatkem míst na bydlení. Je tedy zřejmé, že můžeme v blízké době očekávat stále častější využití této technologie a tím pádem i její rozvoj. Jak je vidět z uvedených příkladů - možnosti tisku budov a architektonických prvků jsou rozsáhlé i se současnými upravenými technologiemi a s vývojem více specializovaných strojů, můžeme očekávat stále častější využití těchto postupů v praxi.

References

- [1] CYBE. Introducing Phoenix, 2024.
- [2] GOSSELIN, C., DUBALLET, R., ROUX, P., GAUDILLIÈRE, N., DIRRENBERGER, J., AND MOREL, P. Large-scale 3d printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders. *Materials Design* 100 (2016), 102–109.
- [3] HSIEH, J. Can this robot print a whole house?, 2023.
- [4] ICONBUILD. Introducing Phoenix, 2024.
- [5] INTERNATIONAL, C. COBOD International, 2024.
- [6] JIANG, X., LI, Y., YANG, Z., LI, Y., AND XIONG, B. Harnessing path optimization to enhance the strength of three-dimensional (3d) printed concrete. *Buildings* 14, 2 (2024).
- [7] KOZŁOWSKI, J. Montana Approves 3D Concrete Walls, 2022.
- [8] MECHTCHERINE, V., NERELLA, V. N., WILL, F., NÄTHER, M., OTTO, J., AND KRAUSE, M. Large-scale digital concrete construction – conprint3d concept for on-site, monolithic 3d-printing. *Automation in Construction* 107 (2019), 102933.
- [9] PHAM, H., HUI, L., AND PHAM, Q. C. Robotic 3d-printing for building and construction.
- [10] PUZATOVA, A., SHAKOR, P., LAGHI, V., AND DMITRIEVA, M. Large-scale 3d printing for construction application by means of robotic arm and gantry 3d printer: A review. *Buildings* 12, 11 (2022).
- [11] XIAO, J., JI, G., ZHANG, Y., MA, G., MECHTCHERINE, V., PAN, J., WANG, L., DING, T., DUAN, Z., AND DU, S. Large-scale 3d printing concrete technology: Current status and future opportunities. *Cement and Concrete Composites* 122 (2021), 104115.