

Energetický model tiskového robotu

Daniel Kajzr <daniel.kajzr@tul.cz>, Tomáš Myslivec, Josef Černohorský

Projekt se zabývá vytvořením energetického modelu tiskového robotu pro 3D tisk budov z betonu. Technologie 3D tisku budov z betonu je v současné době velmi aktuálním a rozvíjejícím se tématem a jeví se jako výhodná zejména z hlediska udržitelnosti výroby. Důležitým aspektem v posuzování udržitelnosti je energetická účinnost tiskového robotu. Tiskový robot při tisku spotřebovává značné množství energie, a proto je nezbytné znát model spotřeby elektrické energie, tzv. energetický model robotu. Energetický model robotu je klíčový zejména pro analýzu a zlepšení energetické účinnosti robotu. Další možné využití spočívá v predikci spotřeby elektrické energie při tisku konkrétních trajektorií a možnou optimalizaci těchto trajektorií za účelem snížení spotřeby el. energie. Pro tvorbu co nejrealističtějšího energetického modelu robotu je nezbytné provést identifikaci setrvačných parametrů a parametrů tření tiskového robotu. Následně je třeba navrhnout vhodný měřicí aparát pro možné vyhodnocení, respektive analýzu aktuální spotřeby robotu a provést porovnání modelované spotřeby s naměřenou spotřebou tiskového robotu.

Úvod do problematiky

Nízká energetická náročnost zařízení a minimální uhlíková stopa patří dnes mezi hlavní kritéria ke splnění klimatické neutrality. Ve stále rozvíjející se oblasti 3D tisku z betonových směsí se velmi často setkáváme s průmyslovými šestiosými robotickými rameny nebo portálovými roboty, jejichž použití nemusí být pro tuto technologii zcela vhodné, zejména z hlediska energetické náročnosti těchto zařízení. Hlavním cílem tohoto projektu je vytvořit energetický model unikátního tiskového robotu a provést porovnání spotřeby elektrické energie při tisku tímto robotem a při tisku klasickým průmyslovým robotem. Porovnání bude provedeno jak simulačně, tak měřením reálné spotřeby u zmiňovaných vzniklých tiskových zařízení.

Získání energetického modelu robotu

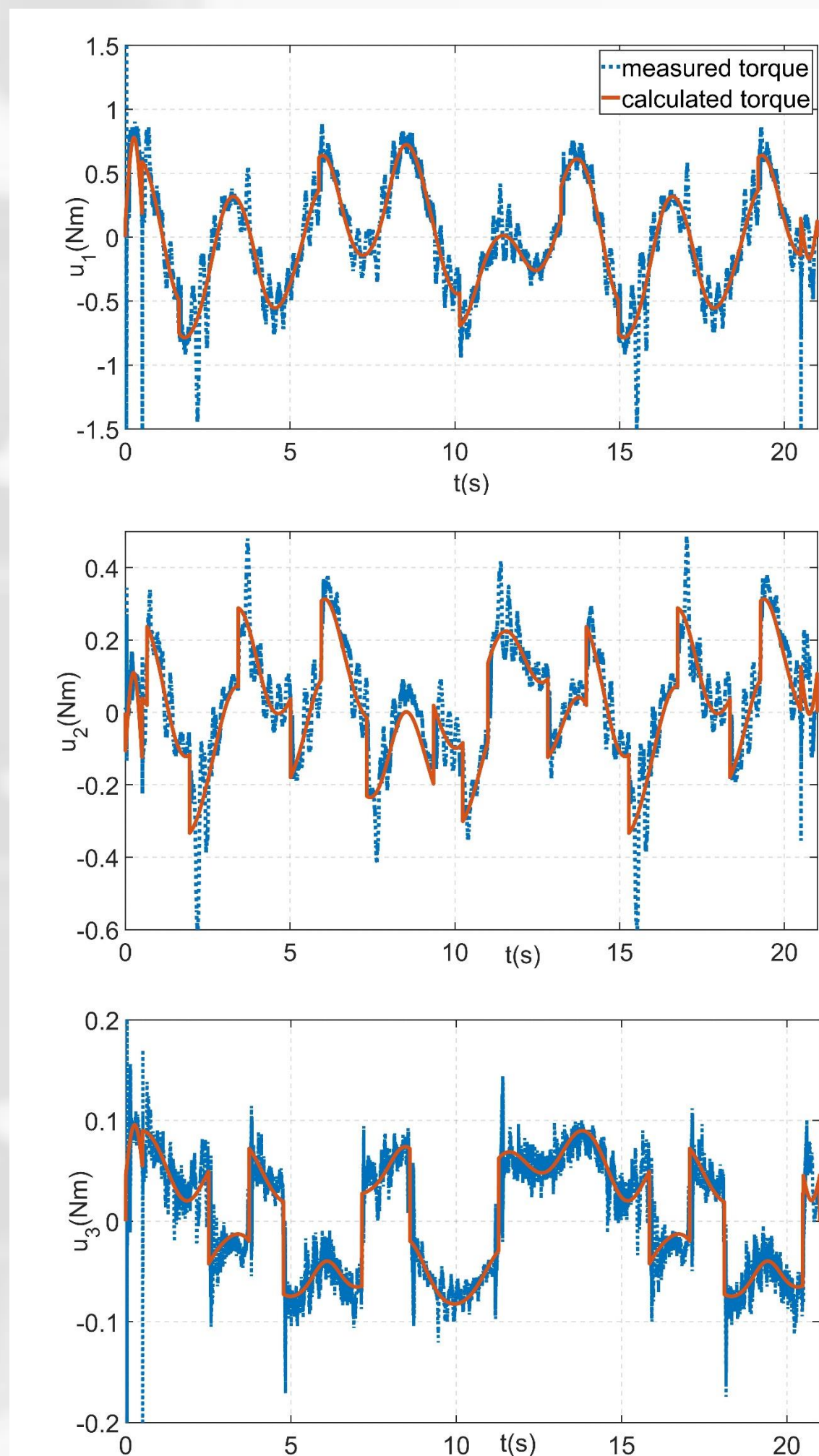
Metodika získání energetického modelu tiskového robotu zahrnuje několik fází:

- provedení identifikačního experimentu pro získání setrvačných parametrů robotu a následnou tvorbu dynamického modelu v Matlab/Simulink a pro průmyslová robotická ramena ABB vytvoření robotické stanice s obdobným tiskovým prostorem, nosností v porovnání s robotem Printing Mantis (obrázek 1)
- porovnání simulovaných příkonů jednotlivých robotů při pohybu po totožné tiskové trajektorii
- reálném měření spotřeby elektrické energie jednotlivých tiskových zařízení během pohybu po tiskové trajektorii

Identifikační experiment

Přesná identifikace dynam. parametrů robotického ramene vyžaduje speciálně navržený experiment. Během návrhu tohoto experimentu je potřeba zajistit dostatečné vybuzení dynamiky rob. manipulátoru tak, aby se projevil všechny dynamické parametry a byl tak dosažen rychlý a přesný odhad těchto parametrů i za přítomnosti poruch. Dále je potřeba zajistit, aby bylo zpracování výsledných dat jednoduché a vedlo na konzistentní a přesné výsledky.

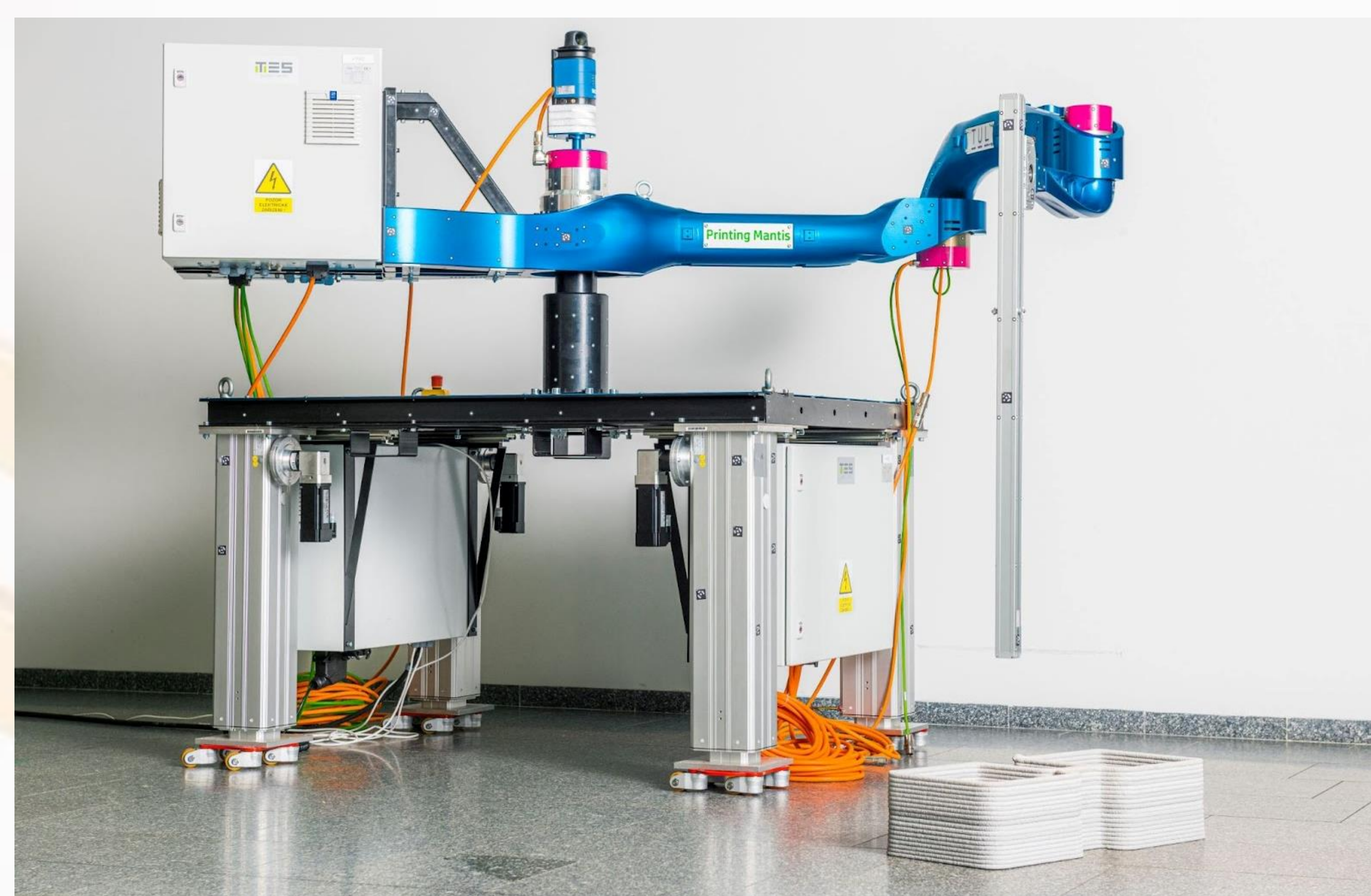
Na základě těchto požadavků byla v prostředí Matlab/Simulink navržena periodická excitační trajektorie, která má podobu konečné Fourierovy řady.



Graf 1 – Estimované vs. naměřené hodnoty momentu

Tato trajektorie byla následně optimalizována za účelem snížení čísla podmíněnosti matice regresoru a jednotlivé dynamické parametry/koefficienty byly vyhodnoceny metodou nejmenších čtverců. V prvotní fázi byly dynamické parametry určeny z 3D modelu vytvořeném v Autodesk Inventor, avšak kvalita získaného dynamického modelu nedosahovala velké přesnosti z důvodu absence tření mezi jednotlivými články robotu a

omezenou přesností 3D modelu. V další fázi byla provedena experimentální identifikace dyn. parametrů. Z Grafu 1 je patrné, že naměřené a vypočítané momenty prostřednictvím identifikovaných dynamických parametrů jsou ve velké míře shodné.



Obrázek 1 – Experimentální robotické rameno Printing Mantis

Závěr

Doposud byl připraven funkční model robotu, na kterém proběhla identifikace parametrů energetického modelu pro následné zpracování a byla vytvořena soustava pro nepřímé měření elektrické spotřeby zařízení.

Dalším krokem bude odměřování energetické náročnosti robotů určených pro 3D tisk z betonových směsí při předem definované obdobné trajektorii, velikosti tiskového prostoru a zatížení. Naměřené hodnoty spotřeby elektrické energie budou porovnány z hlediska energetické náročnosti. Při porovnávání bude jednak použito odměřování spotřeby energie přímo z řídicího systému robotu, ale i nepřímé měření pomocí měřáku ARTIQ 233.

Reference

- [1] Kajzr, D., Myslivec, T., & Černohorský, J. (2023). An Open PLC-Based Robot Control System for 3D Concrete Printing. In *Robotics* (Roč. 12, Issue 4, s. 96). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/robotics12040096>
- [2] Paes, K., Dewulf, W., Elst, K. V., Kellens, K., & Slaets, P. (2014). Energy Efficient Trajectories for an Industrial ABB Robot. In *Procedia CIRP* (Roč. 15, s. 105–110). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.043>
- [3] Othman, A., Belda, K., & Burget, P. (2015). Physical modelling of energy consumption of industrial articulated robots. In *2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*. 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iccas.2015.7364727>

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2023.