



KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE

ROBOTICKÁ ADITIVNÍ FABRIKACE CEMENTOVÝCH MATERIÁLŮ BUDOUCNOST STAVEBNICTVÍ????

JIŘÍ KOLÍSKO
jiri.kolisko@cvut.cz



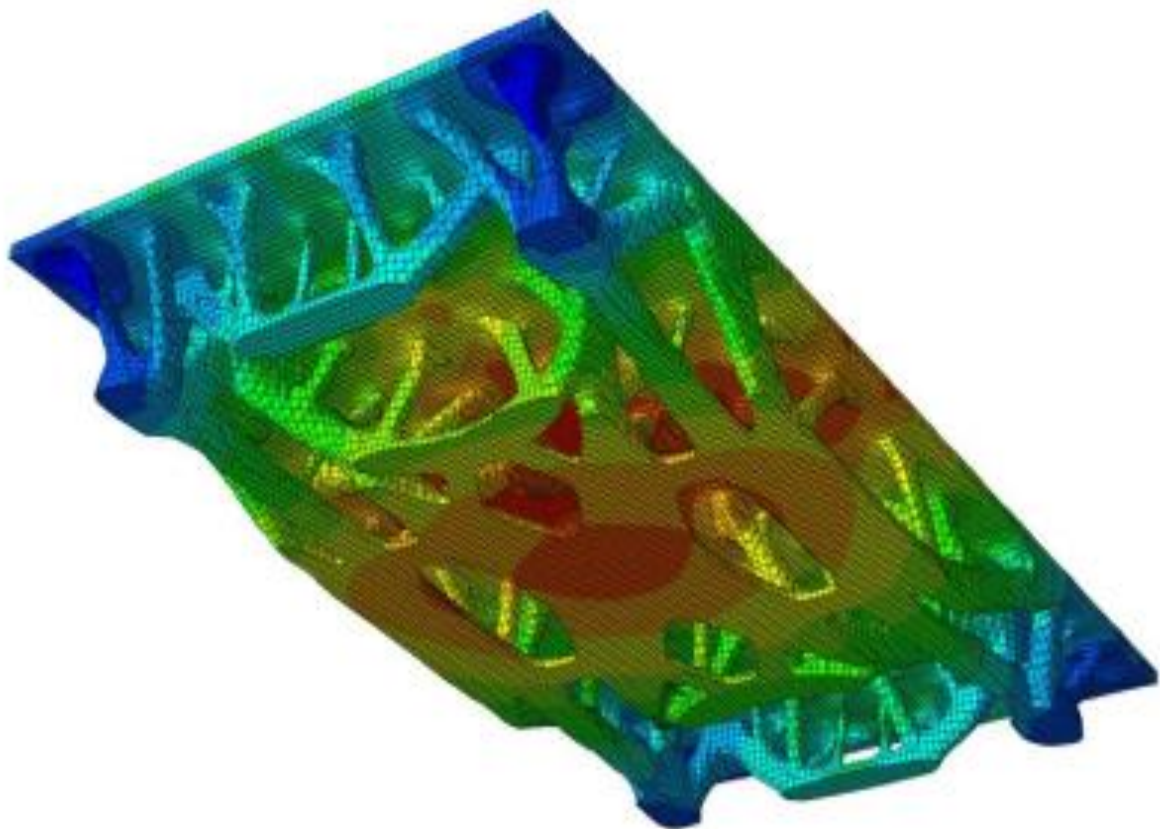
PROČ??????

- **POKROK NEZASTAVÍŠ A DOBA SI TO ŽÁDÁ.**
- **POTENCIÁL INDIVIDUALIZACE A OPTIMALIZACE KONSTRUKCÍ.**
- **POTENCIÁL ZJEDNODUŠENÍ REALIZACÍ A ZRYCHLENÍ VÝSTAVBY.**
- **POTENCIÁL REDUKCE POTŘEBY JEDNODUCHÉ I ŘEMESLNÉ MANUÁLNÍ LIDSKÉ PRÁCE A/NEBO JEJÍ ÚPLNÉ NÁHRAZENÍ.**
- **SNÍŽENÍ ČI ODSTRANĚNÍ POTŘEBY BEDNĚNÍ.**
- **POTENCIÁL SNÍŽENÍ SPOTŘEBY PRIMÁRNÍCH SUROVIN A TEDY POZITIVNÍ PŘÍNOST STAVAŘŮ K PROBLEMATICE CO₂.**
- **JE TO ZÁBAVA.**
-



PROČ ??????

Tvarová optimalizace z hlediska působení namáhání – úspora materiálu





**KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE**

Tvarová individualizace





JAK?????

**Nutno vytvořit strojní,
softwarové, materiálové,
návrhové zázemí.**



ROBOTICKÁ ADITIVNÍ FABRIKACE

Nezbytné aktivity v rámci vývoje robotické fabrikace:

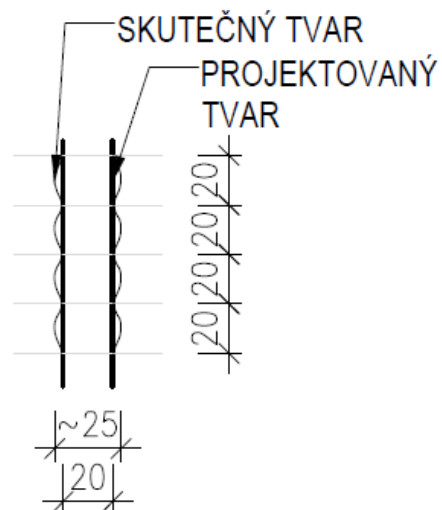
- **Vývoj a optimalizace cementem pojených hmot pro zpracování robotickou fabrikací (3D tiskem).**
- **Zpracování doporučení a standardů pro návrh a realizace.**
- **Vývoj technologie míchání, dopravy směsi a tiskových postupů.**
- **Mechanicko-fyzikální zkoušky vyvíjených cementových hmot.**
- **Optimalizace konstrukcí z hlediska staticky celku i detailů.**
- **Zkoušky tisknutých konstrukcí – tvar, mechanika, stavební fyzika.**
- **Reálný tisk prvků a praktický rozvoj řemeslných dovedností, strojního vybavení, řídicího software.**



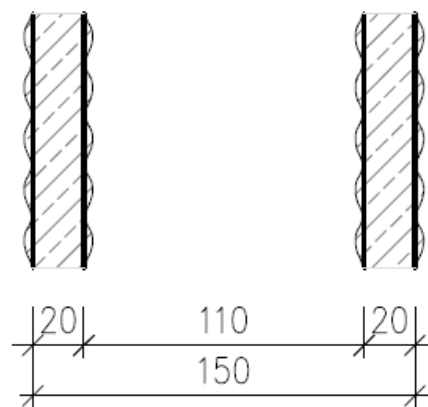
KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE

ADITIVNÍ FABRIKACE (3D tisk) x MONOLIT

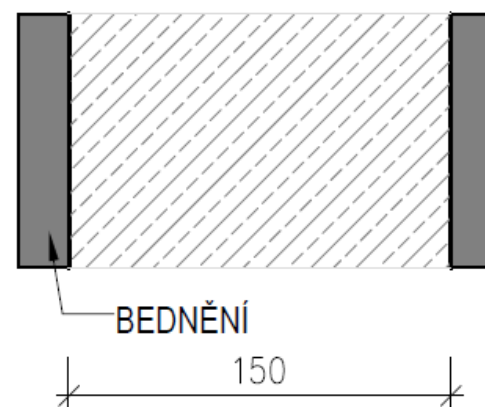
- Často *subtilní* prvky,
- Výsledný tvar „*nepřesný*“ (bochánky)
- Návrh:
 - v raných fázích *okamžité zatížení vlastní tíhou*
 - konzistence - extruze, tixotropie, čerpatelnost
 - vyšší *objemové změny, nízká duktilita*
 - odlišné způsoby *porušení*



"DIGI" BETON

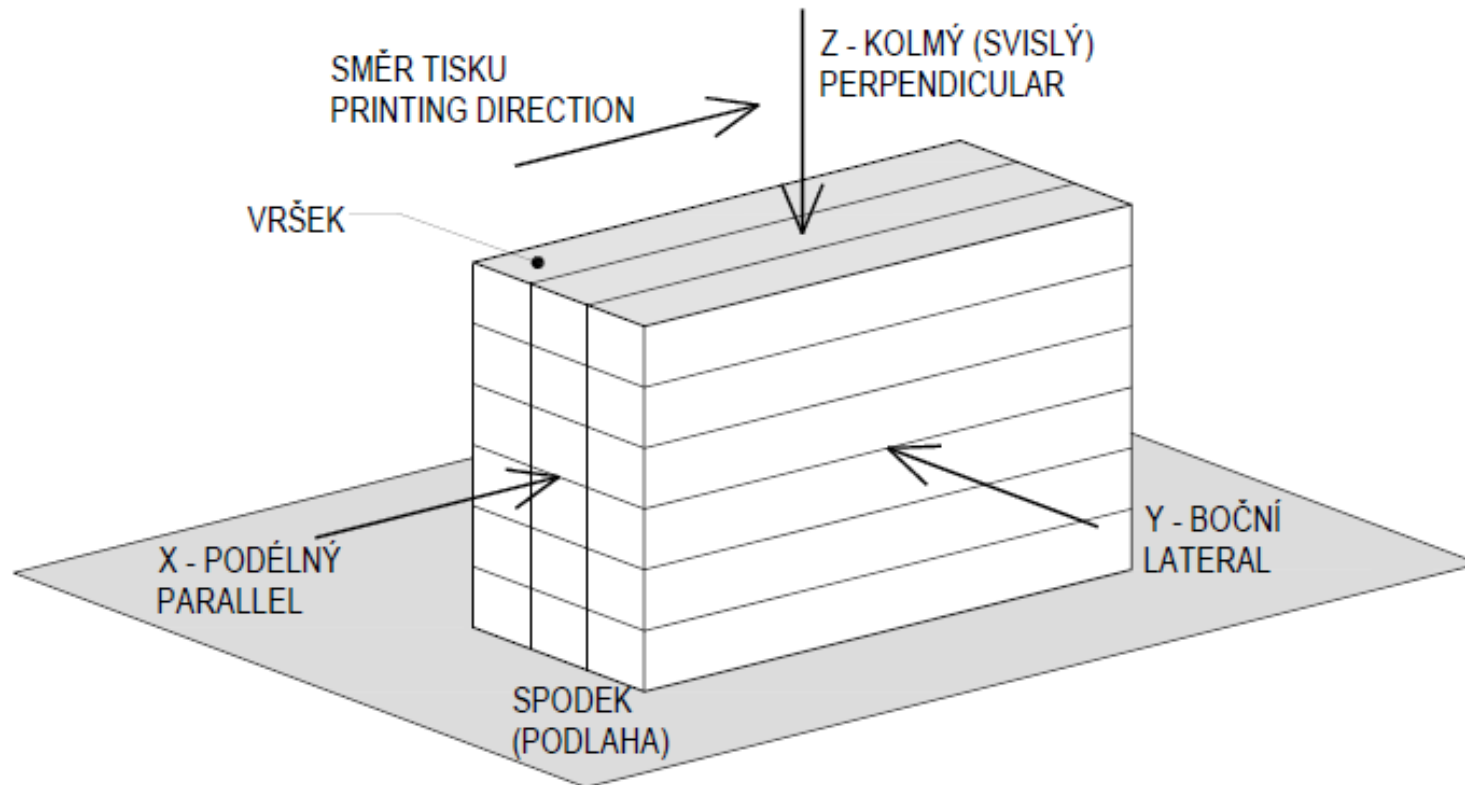


BĚŽNÁ BET. KONSTRUKCE





ANIZOTROPIE MATERIÁLU



Vlastnosti vytištěné
hmoty jsou
(mohou být)
v různých směrech
různé



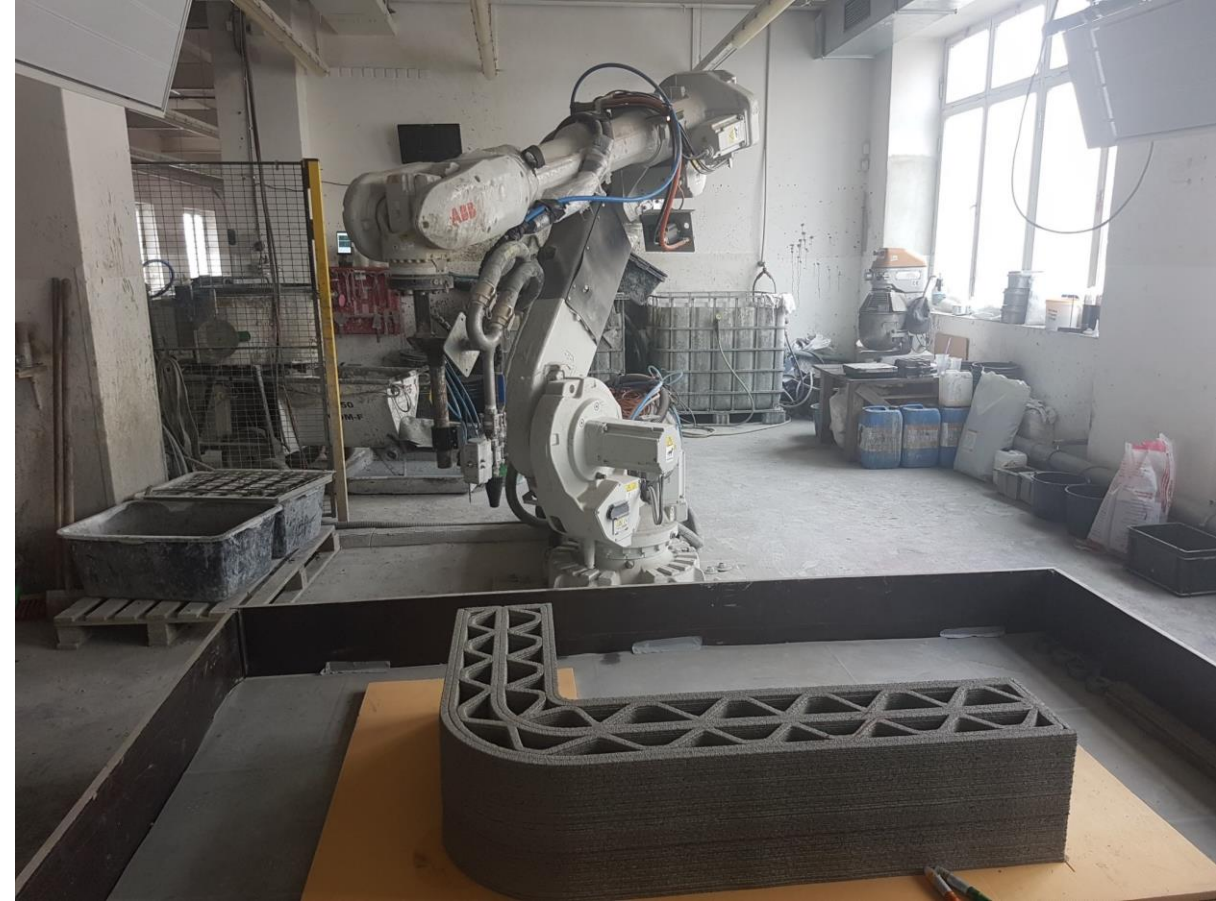
**KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE**

TISKOVÉ SYSTÉMY ROBOTICKÉ FABRIKACE CEMENTOVÝCH HMOT

PORTÁLOVÁ TISKÁRNA „X-Y-Z“



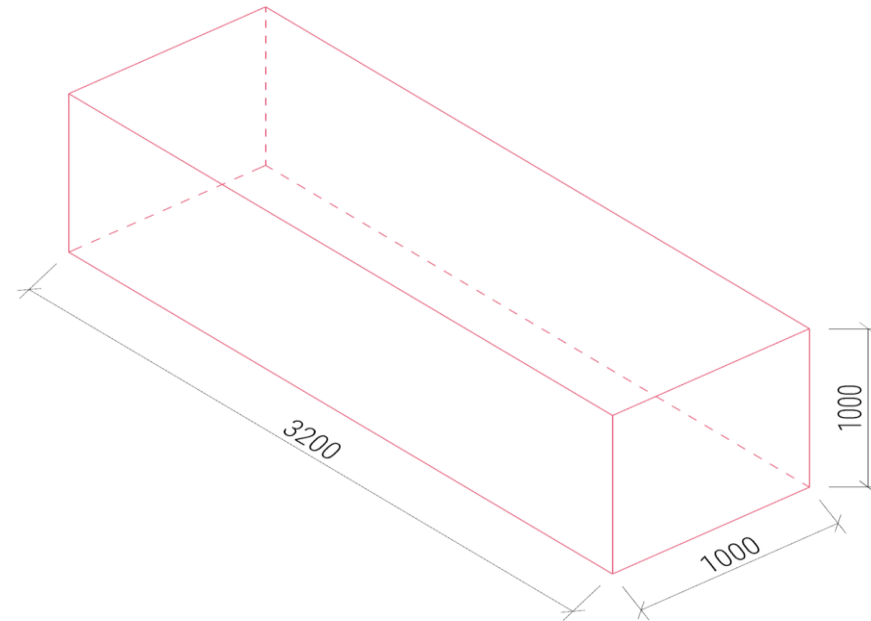
BOTICKÉ RAMENO - 6 OS





TESTBED KÚ = TISKOVÁ PLATFORMA VYVINUTÁ V RÁMCI PROJEKTU S TUL

- **TISKOVÁ PLOCHA: 3200 x 1000 x 1000 mm**
- **RYCHLOST TISKU STANDART: 120–180 mm/s**
- **ŠÍŘKA TISKOVÉ STOPY: 20 – 50 mm**
- **NOSNOST: 150 kg**





KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE

STROJE

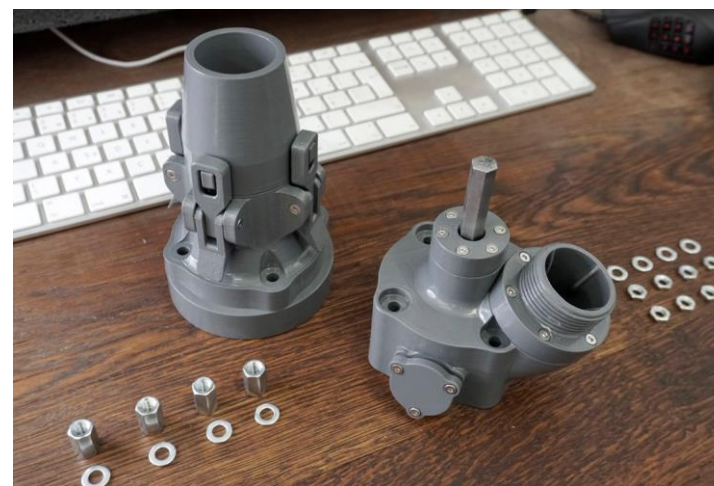
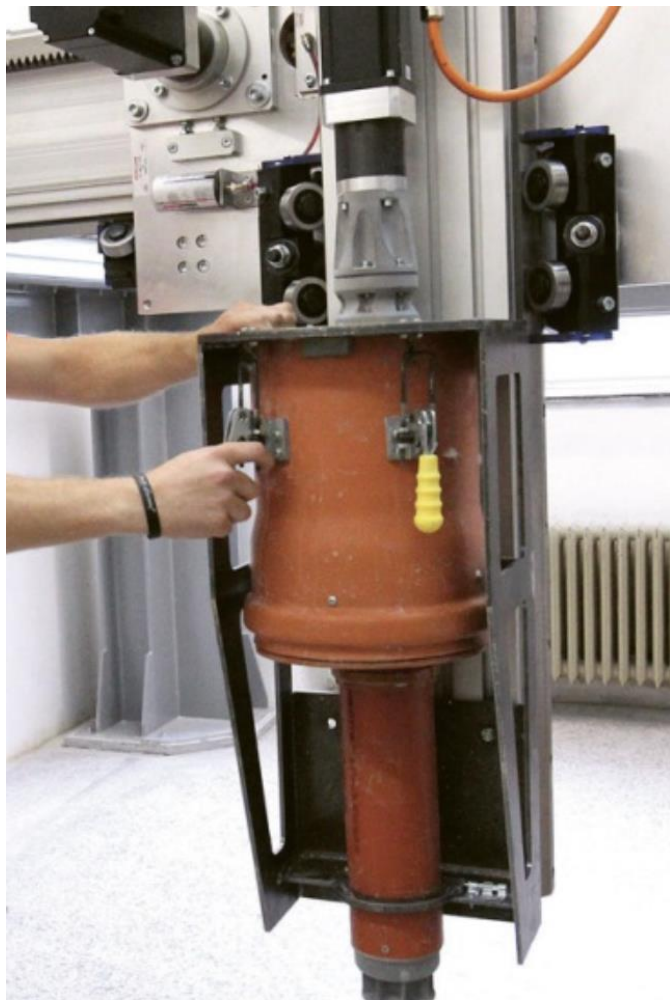
Základní součásti:

- míchačka s nuceným mícháním
- čerpadlo betonové směsi
- robot
- extrudéry





TISKOVÉ HLAVY - EXTRUDÉRY





MATERIÁL - CEMENTOVÝ

- obvykle jemnozrnná směs do 4 mm, testován je také beton,
- směs modifikována přísadami pro zajištění viskozity, zpracovatelnosti,
- směs modifikovaná urychlovači pro zajištění možnosti kontinuálního tisku do max. výšky vrstvy – **nepřítel gravitace = deformace,**
- zkoušky kombinací složení a přísad v závislosti na konzistenci,
- různé typy rozptýlené vláknové výztuže PP, PVA, ocel,
- pevnosti v tlaku 40-70 MPa (projekt 3D Star KÚ + TUL),
- UHPC 100 -120 MPa (socha),
- soudržnost mezi vrstvami dostatečná - 2-3 MPa,
- zkušební mechanických vlastností - vyřezané vzorky x forma



DĚTSKÉ KRŮČKY

PRVNÍ TISK V KÚ - 2018:

- směs s maximálním zrnem 1 mm
- pevnost na úrovni 30-40 MPa
- aplikace vláken PP, PVA, ocel
- předmícháno do suché složky
- ruční tisk – volný pár/tlak





**KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE**

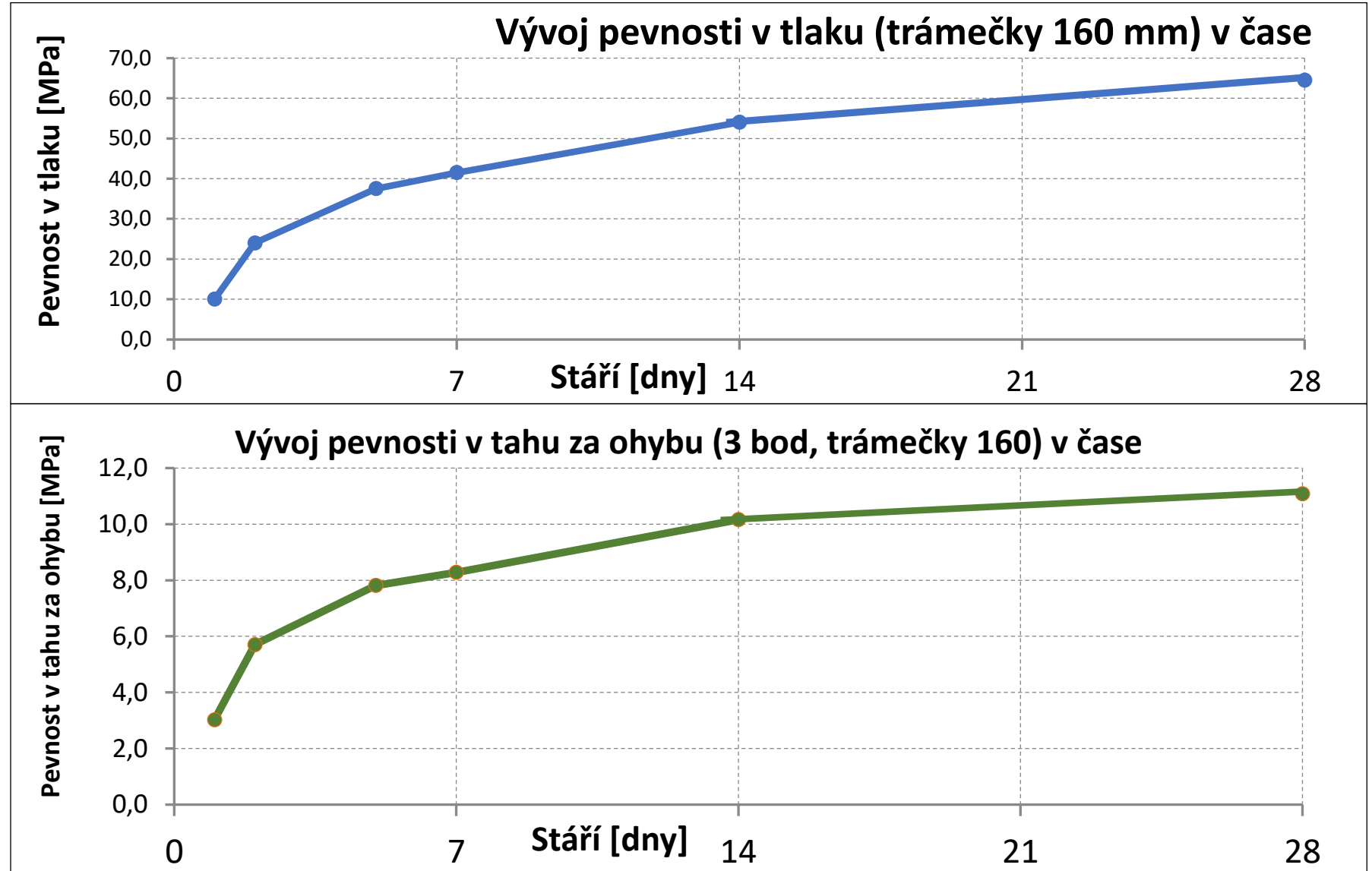
VÝVOJ MECHANICKÝCH PEVNOSTÍ CEMENTOVÉ SMĚSI KÚ

MRAZUVZDORNOST

MIN. T100

= 100

**ZMRAZOVACÍCH
CYKLŮ**

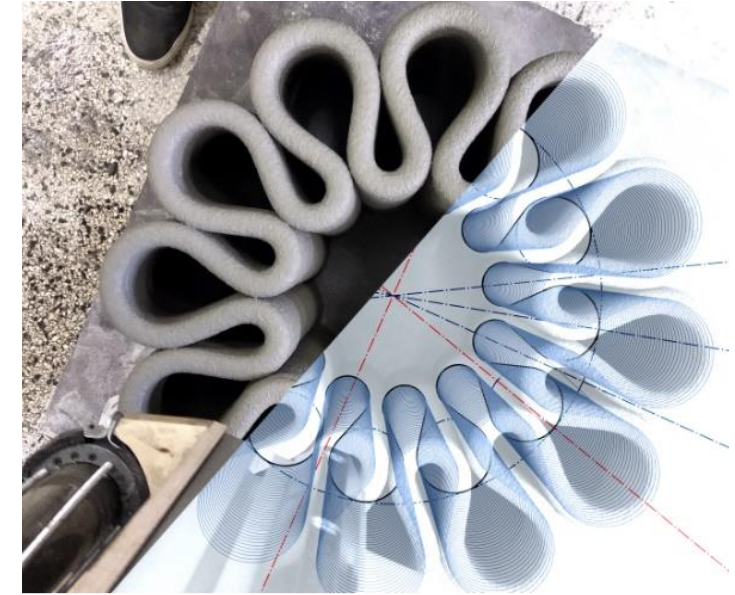




SOFTWARE

SOFTWARE:

- odladění pracovního rozhraní
- návrh tiskových procedur
- zkoušky dílčích programů a scriptů



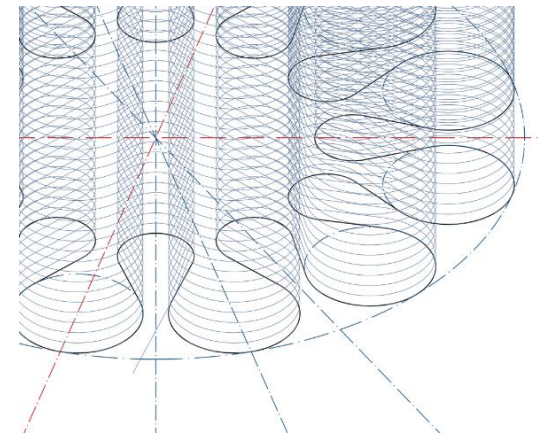
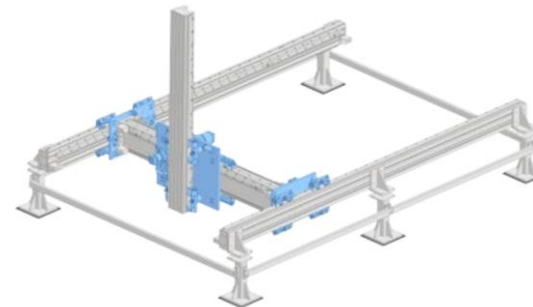
RHINOCEROS



GRASSHOPPER



TESTBED





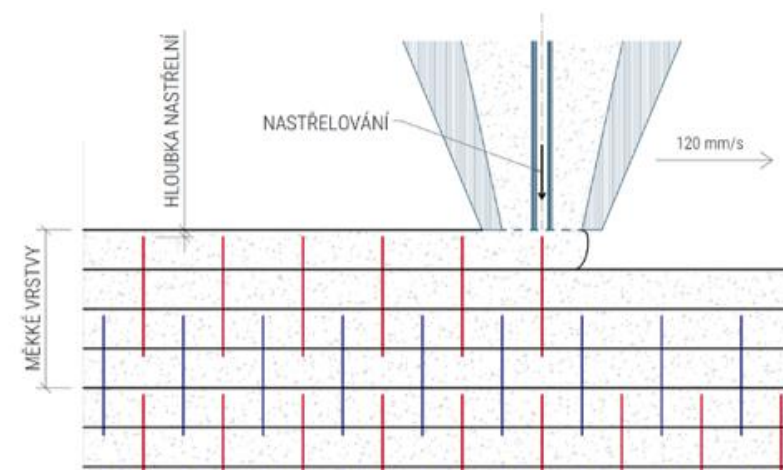
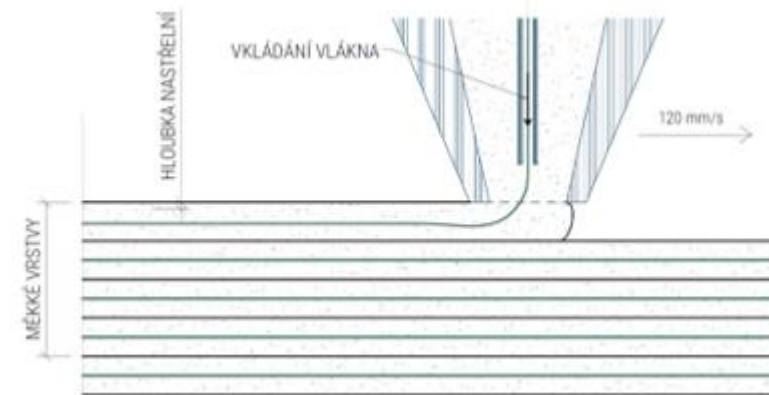
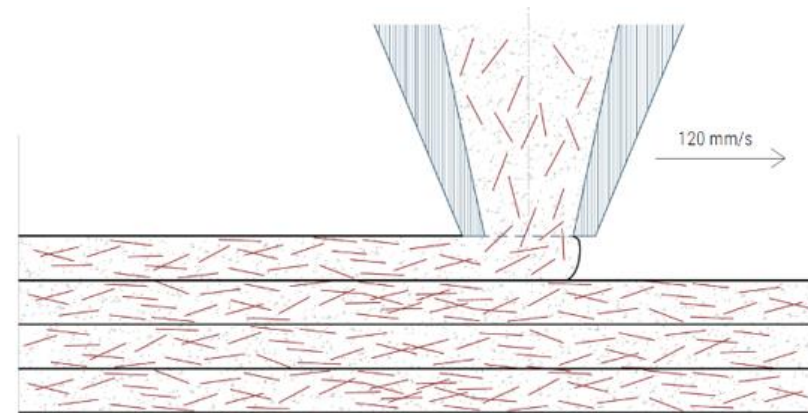
SOFTWARE – převod i složitých tvarů





VYZTUŽOVÁNÍ

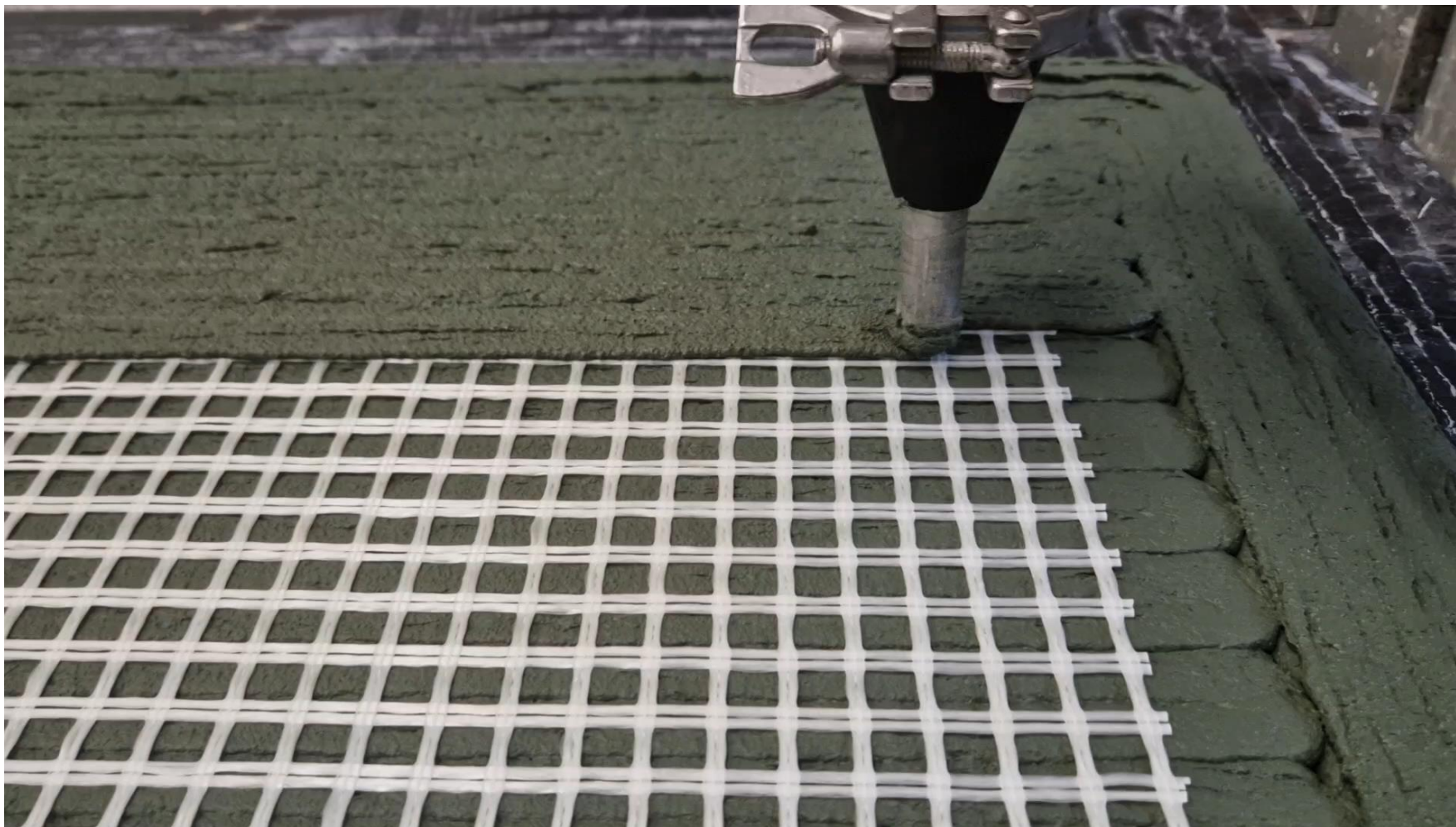
- Vlákna – čedič, sklo, uhlík, PVA, ocelová vlákna
- Rozptýlená výztuž – nejlépe odpovídá technologii
- Odvíjení výztužného lana (kontinuální výztuž)
- Nastřelování výztuže
- Zabudovaná tahová výztuž (při tisku x předem)
- Dodatečné zesílení lepenou výztuží či sepnutím
- Hybridní vyztužení (kombinace metod)





KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE

VYZTUŽOVÁNÍ





VYZTUŽOVÁNÍ ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ

OCELOVÉ DRÁTKY



PVA VLÁKNA





PROBARVOVÁNÍ



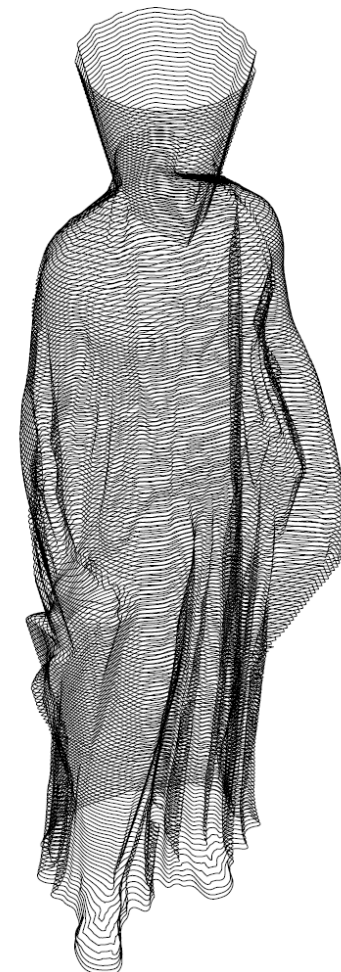
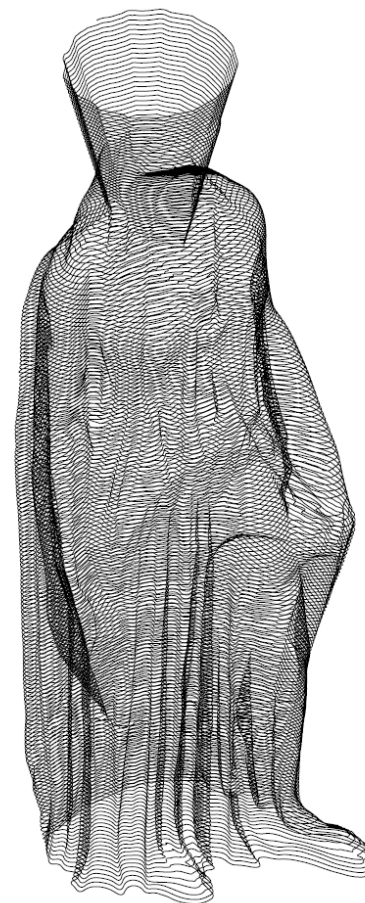


KARYATIDY

- DŮRAZ NA MINIMÁLNÍ NEBO ŽÁDNÝ LIDSKÝ ZÁSAH DO PROCESU PLÁNOVÁNÍ TISKOVÉ DRÁHY
- POUŽITÍ VÝPOČETNÍCH METOD PRO PODEPŘENÍ TVARU A PLÁNOVÁNÍ DRAH V HRANIČNÍCH POLOHÁCH



Rhinoceros +
Grasshopper





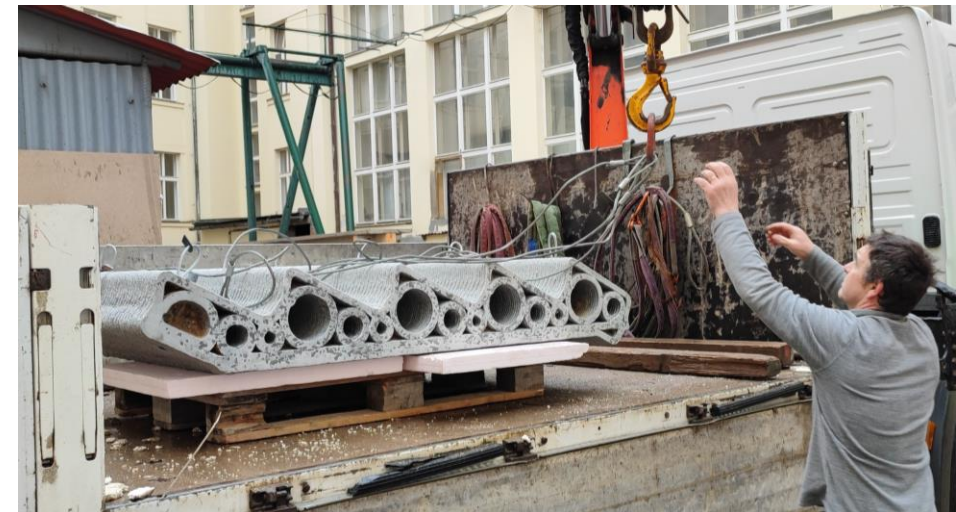
**KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE**





**KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE**

SCHODIŠŤOVÉ RAMENO – KÚ + Skanska





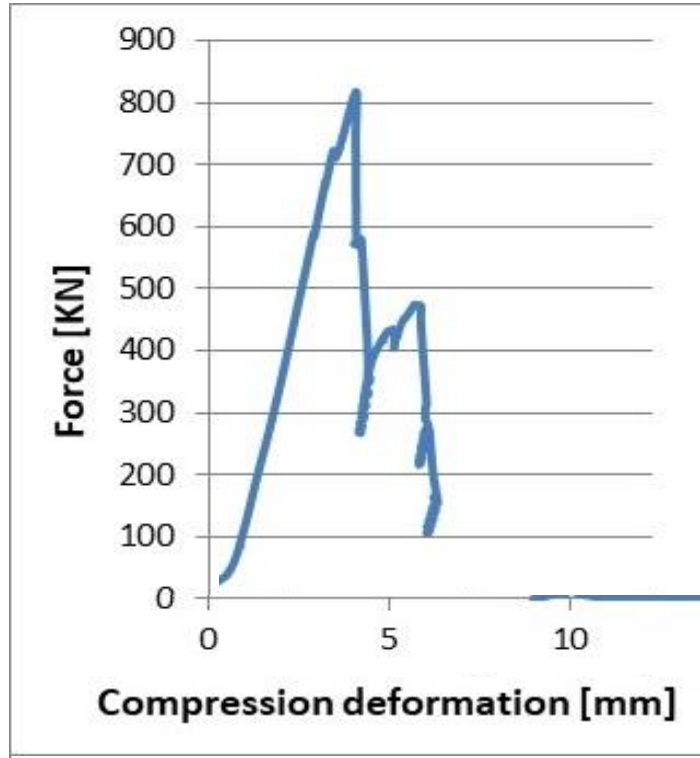
KLOK
ÚSTAV
ČVUT



15.10.2024



ZKOUŠKY PRVKŮ

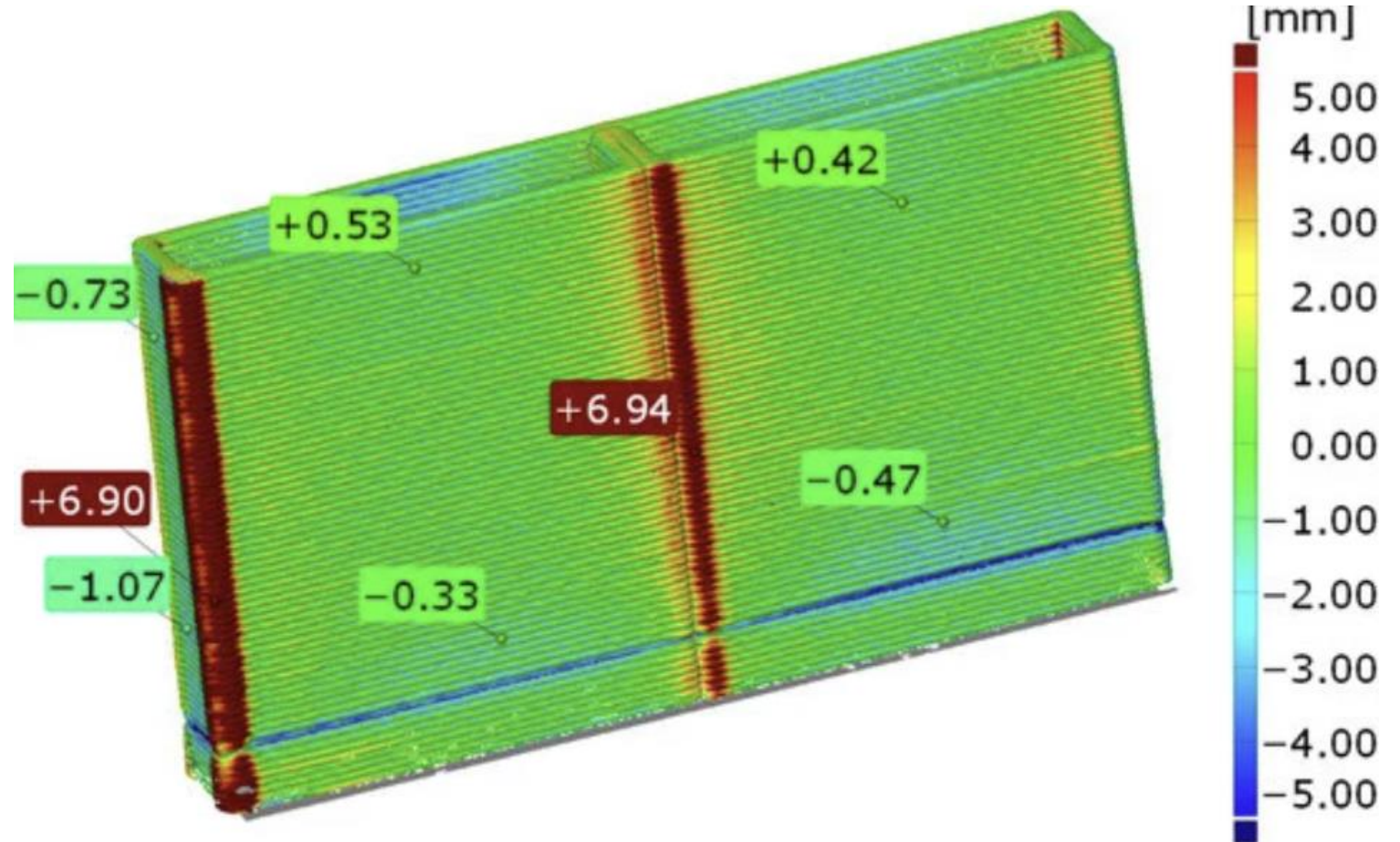


- Stěnový prvek délka 770 mm x šířka 300 mm x výška 800 mm, tisková stopa 20 mm,
- $F_{\max} = 815 \text{ kN}$
- **Napětí při porušení při uvažování celé plochy = 3,5 MPa**



SLEDOVÁNÍ ZMĚN TVARU

- SLEDOVÁNÍ TVAROVÝCH ZMĚN A PŘESNOSTI TISKU VŮČI ZADÁNÍ
- 3D SKENOVÁNÍ OPTICKOU METODOU POMOCÍ METRASCAN 350
- SKEN A VYHODNOCENÍ TUL





TISK SYMBOLU CYKLU - HELMY

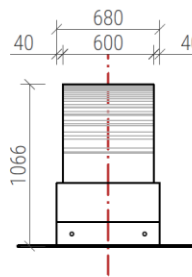
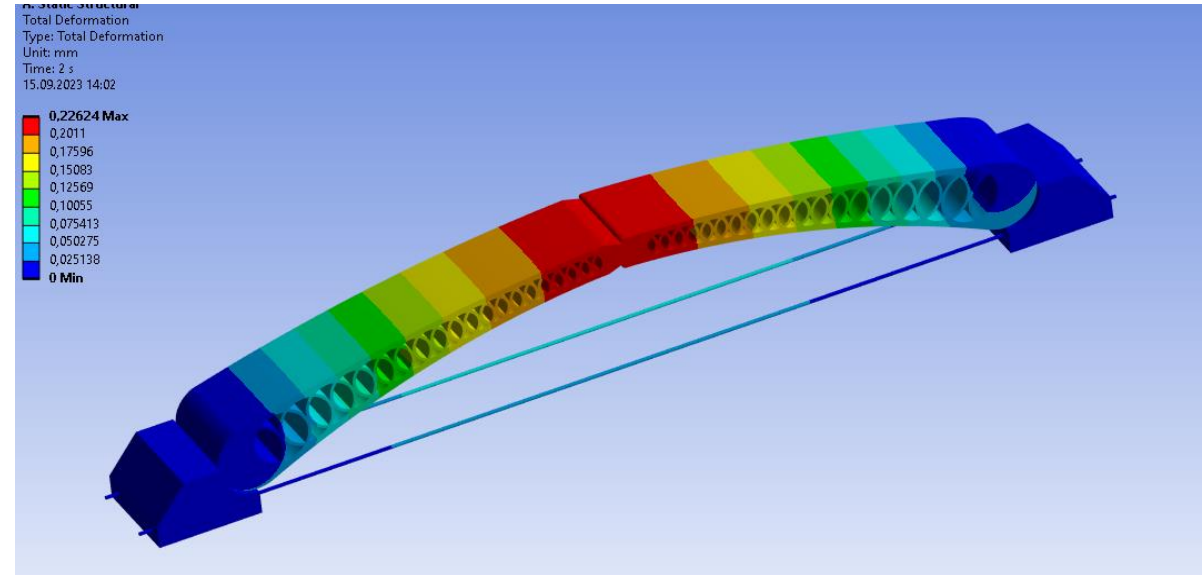
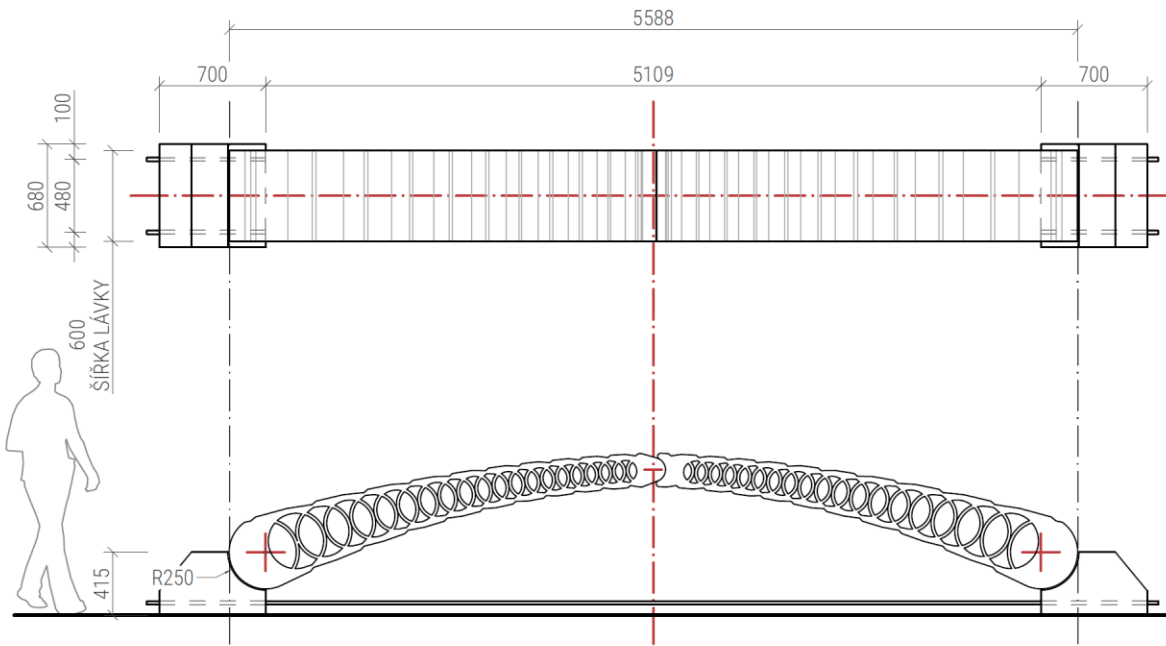




KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE

EXPERIMENTÁLNÍ LÁVKA

TROJKLOBOVÝ OBLOUK NA ROZPON 6
M ŠÍŘE 0,6 M
Instalace SOLOPISKY



VÝPOČETNÍ MODEL V
PROGRAMU ANSYS

KLOKNERUV

ÚSTAV HMOT A KONSTRUKCÍ
A ZKUŠEBNÍ



EXPERIMENTÁLNÍ LÁVKA

Statická zatěžovací zkouška – průhyb cca 3,2 mm při zatížení 500 kg/m²





An aerial photograph showing a construction site for a wooden bridge over a stream. A long, light-colored wooden plank is laid across the stream, supported by a bed of grey gravel. A person in dark clothing is standing on the plank, positioned in the center. The stream is dark and reflects the surrounding greenery. The banks are covered in grass and fallen yellow leaves, suggesting an autumn setting. The overall scene is a natural, wooded environment.

INSTALACE LÁVKY RYBNÍK SOLOPISKY



CO NÁS ČEKÁ????

- **HLEDÁNÍ MOŽNOSTÍ A PŘÍLEŽITOSTÍ PRO REÁLNÉ POUŽITÍ VE STAVEBNICTVÍ.**
- **TEORETICKÝ I EXPERIMENTÁLNÍ VÝVOJ VŠECH OBLASTÍ ADITIVNÍ ROBOTICKÉ FABRIKACE.**
- **OPTIMALIZACE NÁVRHOVÝCH POSTUPŮ V ARCHITEKTONICKO – KONSTRUKČNÍ ČÁSTI A STATICKÉ ČÁSTI.**
- **VYZTUŽOVÁNÍ 3D TIŠTĚNÝCH PRVKŮ A NEPLANÁRNÍ TISK.**
- **VÝVOJ TISKOVÉHO MATERIÁLU – POUŽITÍ VĚTŠÍCH FRAKČÍ KAMENIVA.**
- **VÝVOJ 3D TISKOVÉHO SYSTÉMU – SNÍŽENÍ UŽIVATELSKÉ NÁROČNOSTI.**
- **V KÚ JE INSTALOVÁN VE SPOLUPRÁCI S TUL TESTBED A PROTO SE MŮŽEME AKTIVNĚ ZAPOJIT DO ŘEŠENÍ VÝZEV TECHNOLOGIE ROBOTICKÉ FABRIKACE**
- **VŠICHNI JSTE ZVÁNI**

DĚKUJI ZA POZORNOST

