

Výpočtové modely a nelineární analýzy zatěžování mikro-prutových struktur vyrobených technologií selective laser melting

Ing. **Ondřej Červinek**

Školitel: doc. Ing. Daniel Koutný, Ph. D.

Školitel specialista: doc. Ing. David Paloušek, Ph. D.

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

Obsah prezentace

- Motivace pro řešení problému
- Shrnutí současného stavu poznání
- Vymezení cílů disertační práce
- Materiál a metody
- Vědecké otázky a pracovní hypotézy
- Současný stav řešení

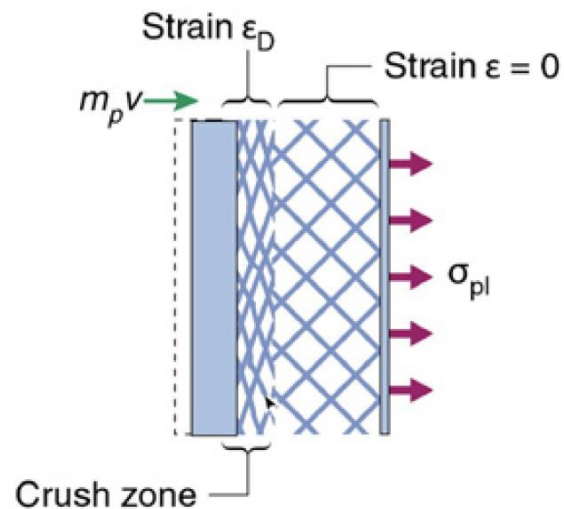


Vzorky pro pádový test po výrobě SLM
(NETME Centre)

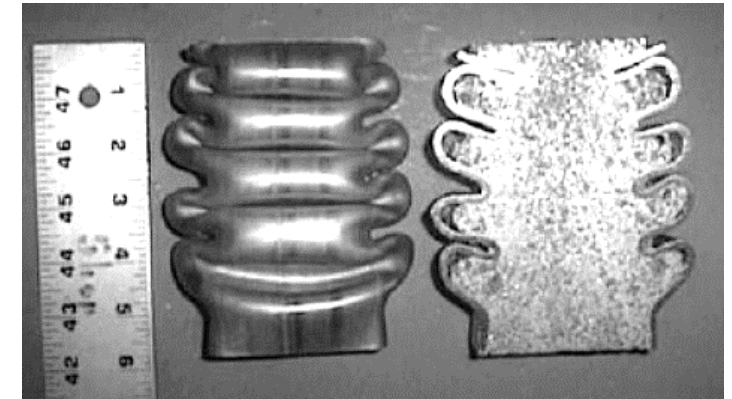
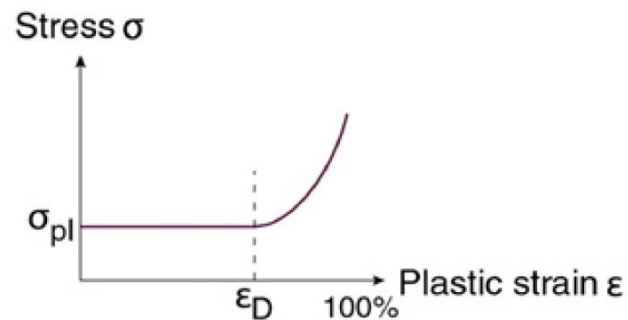
Motivace pro řešení problému

Potenciál mikro-prutových struktur vyráběných metodou SLM

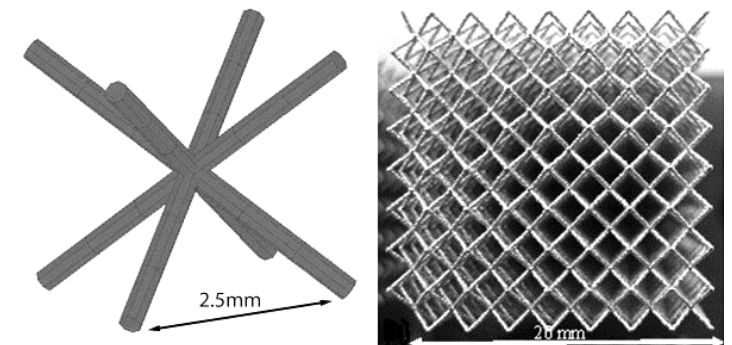
- Zvýšení bezpečnosti v dopravním průmyslu
- Kombinování mikro-prutových struktur s konvenčními absorbéry
- Větší množství použitelných materiálů (SS316L, Ti_6Al_4V , $AlSi_{10}Mg$...)
- Návrh komponent pro specifické množství absorbované energie
- Řízení způsobu absorpce energie a deformace při zatěžování



Deformace porézní struktury při rázovém zatížení (Rashed, M. G., a kol., 2016)



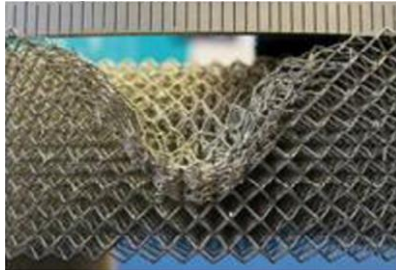
Konvenční absorbér energie vyplněný hliníkovou pěnou (Kremer, K. a kol., 2004)



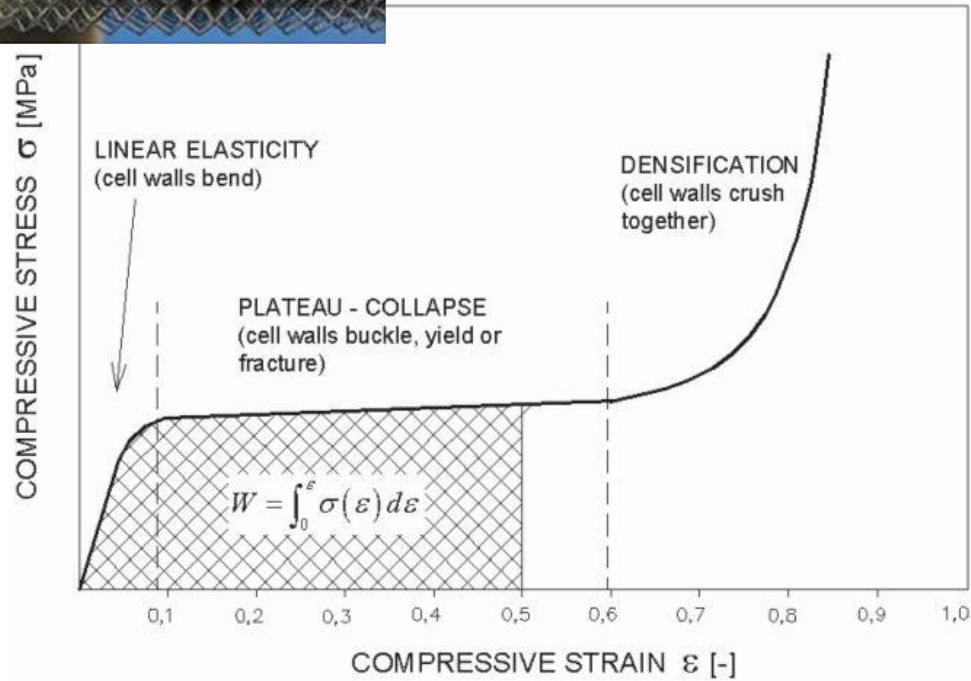
Mikro-prutová struktura BCC (Mines, R. A. W., a kol., 2013)

Motivace pro řešení problému

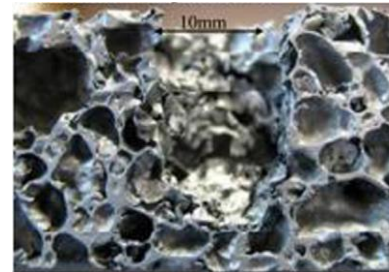
Rázová zkouška porézních struktur



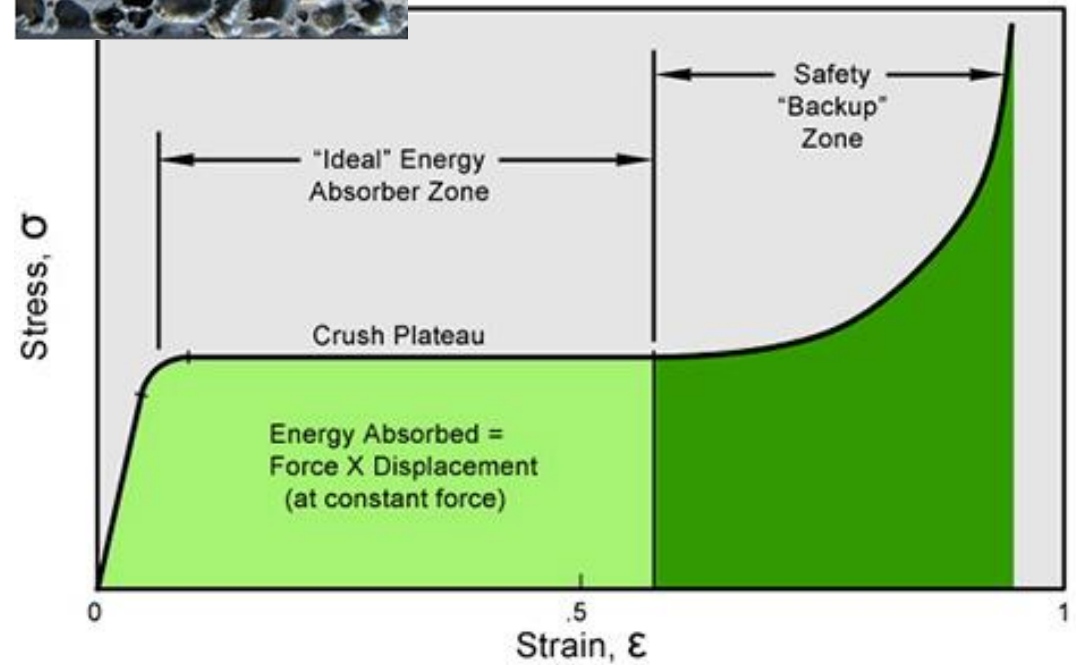
Struktura BCC (Rashed, M. G., a kol., 2013)



Posterus (Goga, V., a kol., 2010)



Hliníková pěna (Rashed, M. G., a kol., 2013)



2020 ERG Aerospace CORP

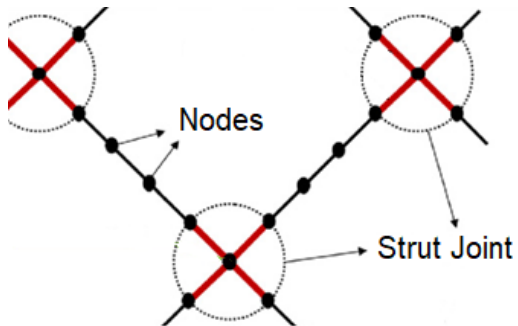
Shrnutí současného stavu poznání – model geometrie

2004

Luxner, M., a kol., 2004

Gümrük, R., a kol., 2013

Nosníkové elementy

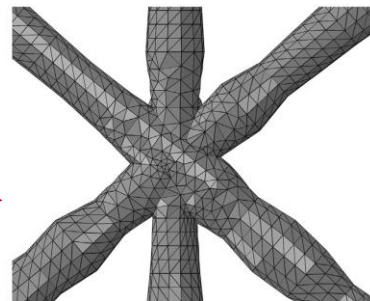
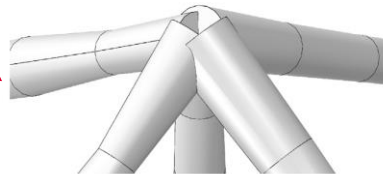


3D objemové elementy

2014

Ravari, K., a kol. 2014

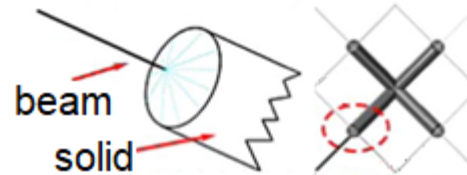
- Náhodné rozdělení kruhových průřezů



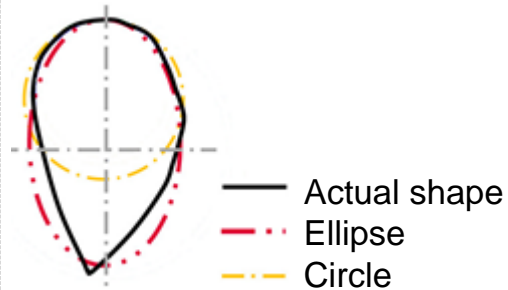
2018

Geng, X., a kol. 2018

- Kombinace objemových a nosníkových elementů



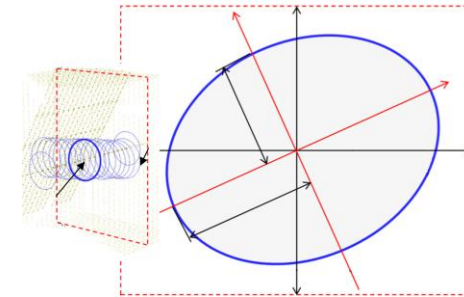
Vrana, R., a kol. 2018



2019

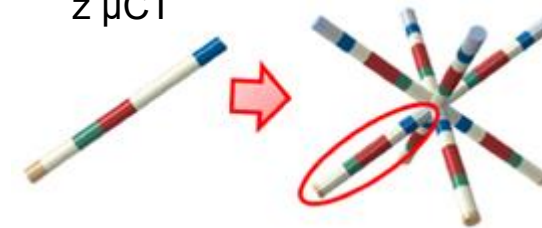
Lozanovski, B., a kol. 2019

- Rekonstruovaný μ -CT sken



Lei, H., a kol. 2019

- Gaussovské rozdělení průřezů z μ CT



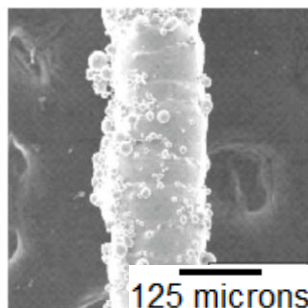
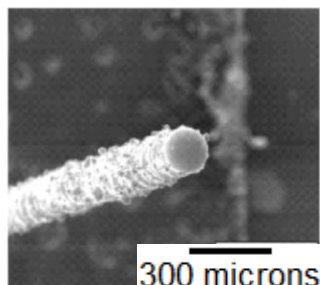
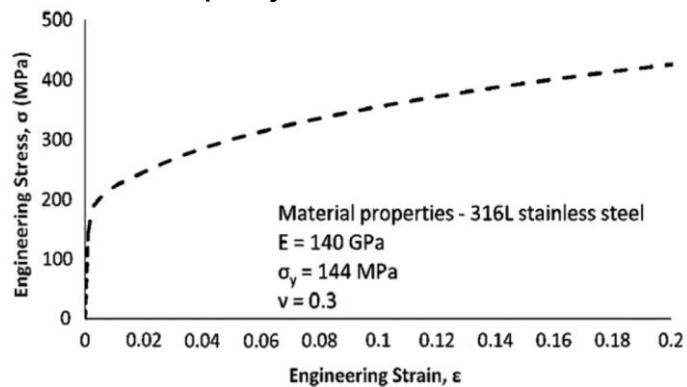
Shrnutí současného stavu poznání – model materiálu

2010

Tsopanos, S., a kol., 2010

Smith, M., a kol., 2013

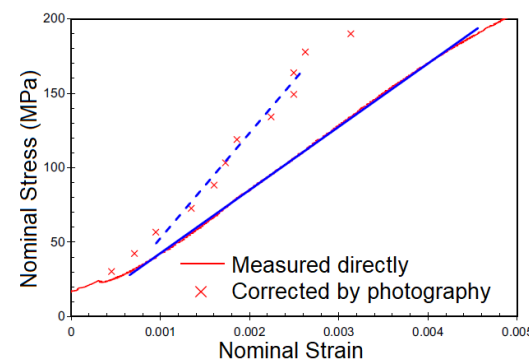
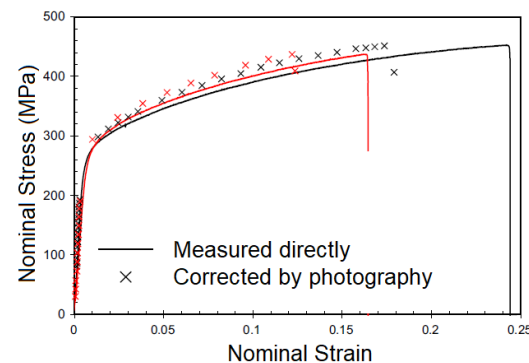
- Tenké pruty korekce MKP i struktur



2014

Li, P., a kol., 2014

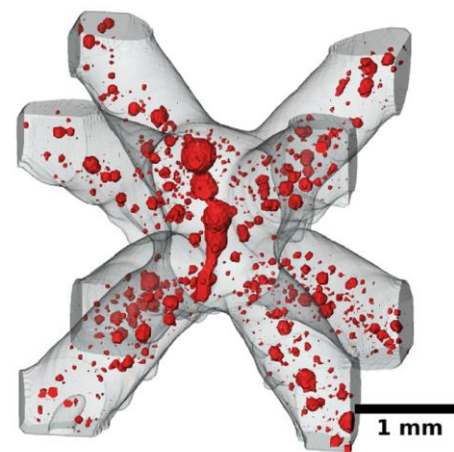
- Korekce posuvu



2018

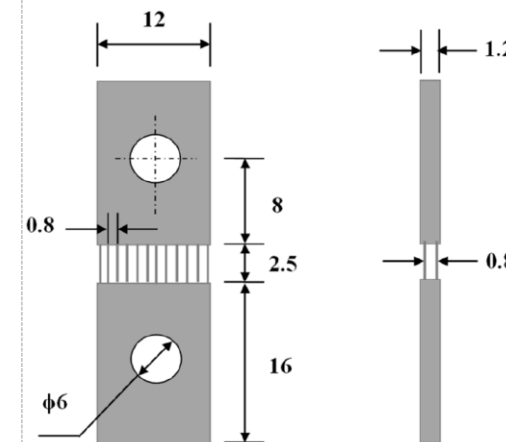
Amani, Y., a kol., 2018

- Tomografie ex- in- situ
- Zahnutí porozity v modelu (Gurson-Tvegaard-Needleman)



Gümrük, R., a kol., 2018

- Multi-prutové tahové vzorky
- Model Cowper-Symonds



Vymezení cílů disertační práce

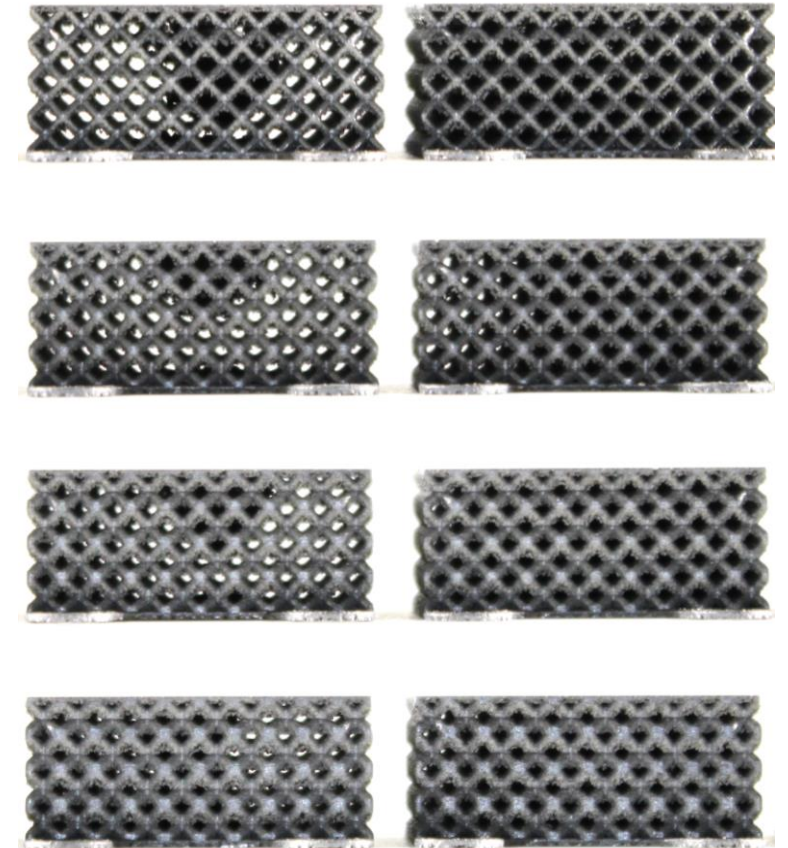
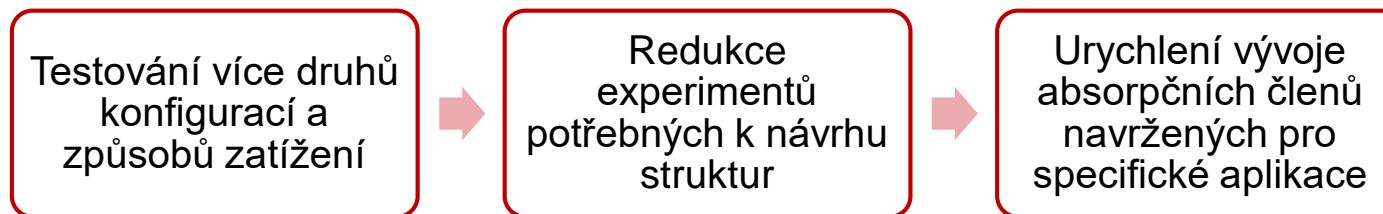
Hlavní cíl disertační práce

- Vytvoření nelineárního numerického modelu pro predikci deformačního chování zatěžovaných mikro-prutových struktur vyrobených technologií selective laser melting z nerezové oceli 316L

Přínos disertační práce

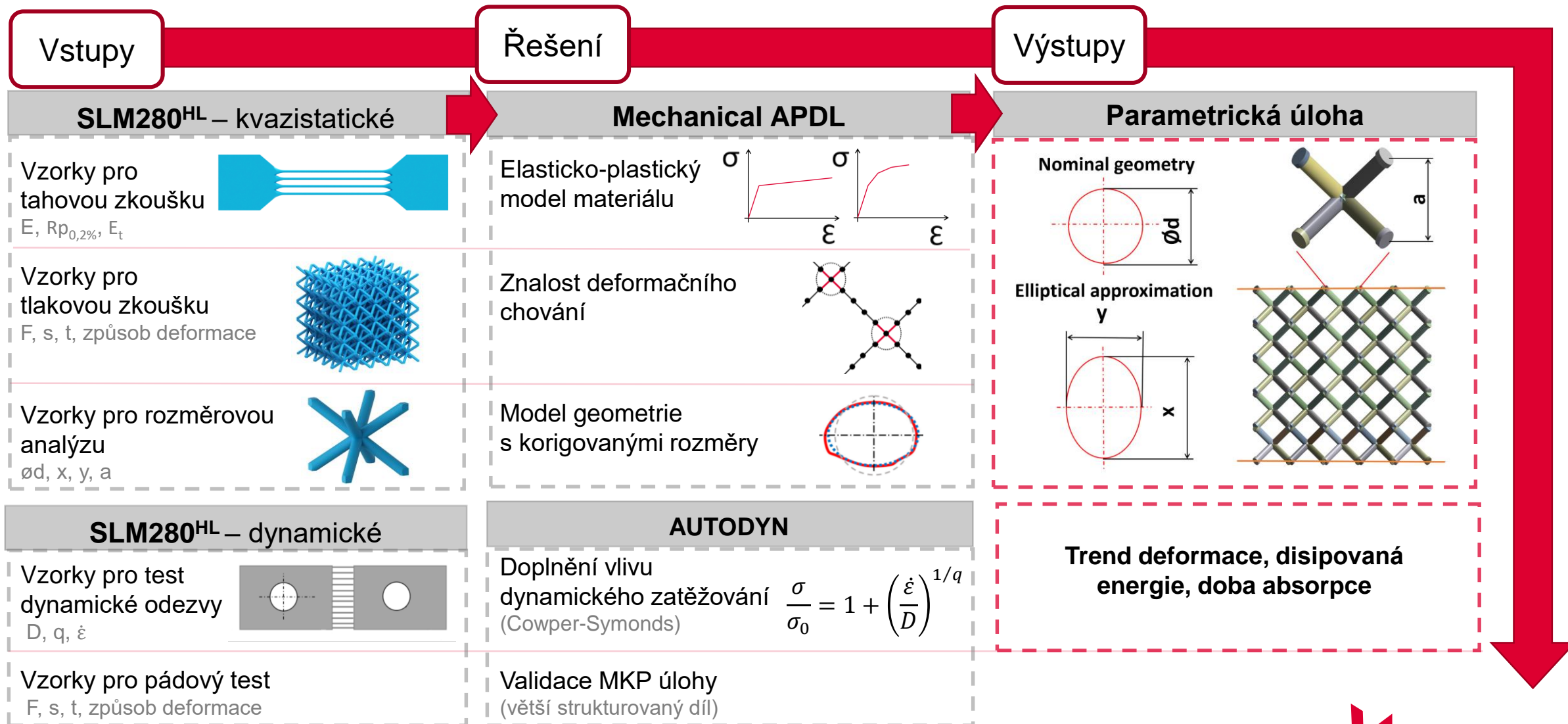
- Rozšíření poznatků o charakteru absorpce energie mikro-prutových struktur bez nutnosti provádění rozsáhlých experimentálních úloh

Aplikační potenciál



Průřez BCC strukturovaných vzorků (pro průměry prutů 0,6;0,8;1 a 1,2 mm od shora)

Materiál a metody



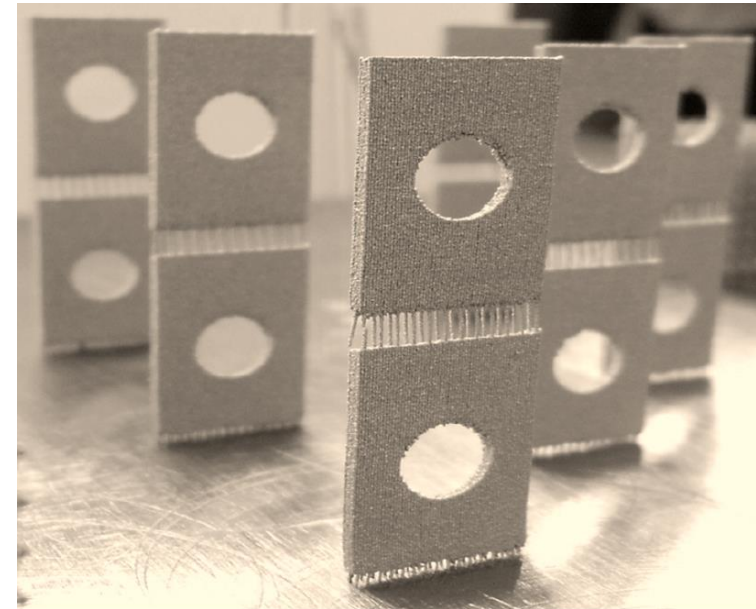
Vědecké otázky a pracovní hypotézy

Vědecká otázka č. 1

- *Jaké experimenty je třeba provést pro získání vstupních dat nelineárního modelu materiálu chování mikro-prutové struktury vyrobené z oceli 316L?*

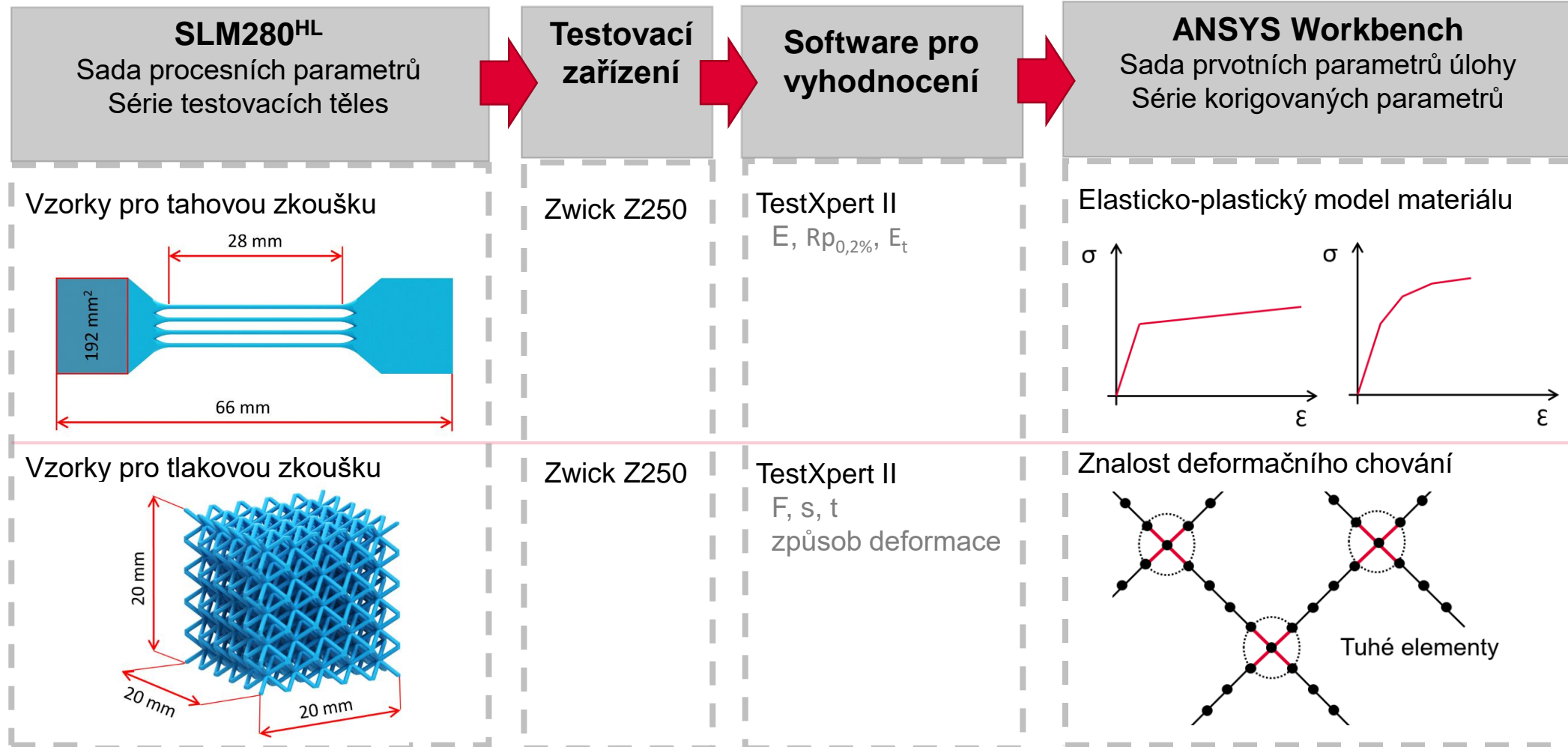
Pracovní hypotéza č. 1

- Topologie a deformačního chování struktur naznačilo, že provedením tahové zkoušky vzorků se sérii tenkých prutů lze získat data elasticko-plastického modelu materiálu.



Gümrük, R., a kol., 2018 – multi-prutové vzorky pro dynamickou zkoušku

Odpoř' na otázku ř. 1



Odpověď na otázku č. 1

Elasticko-plastický model materiálu – Zwick Z250

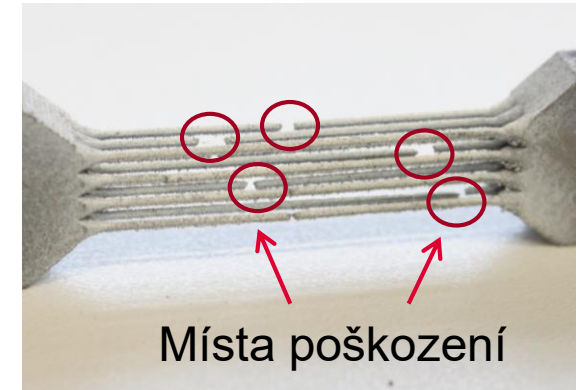
Multi-prutový vzorek Objemový vzorek Studie (Gümrük, R., 2013) SLM datasheet

E

$R_{p0,2\%}$

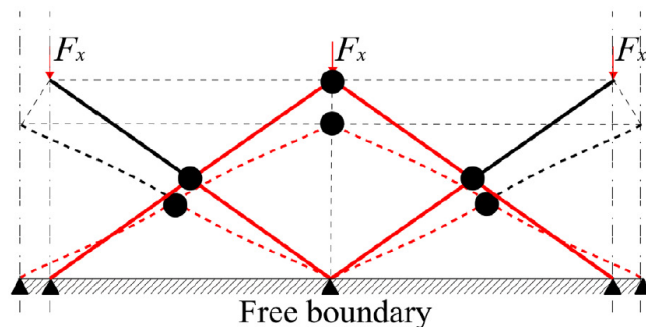
E_t

Neveřejná data



Analytický model

- Timoshenko based theory
- Euler-Bernoulli based theory



Yunhui, Y., a kol., 2019

Neveřejná data

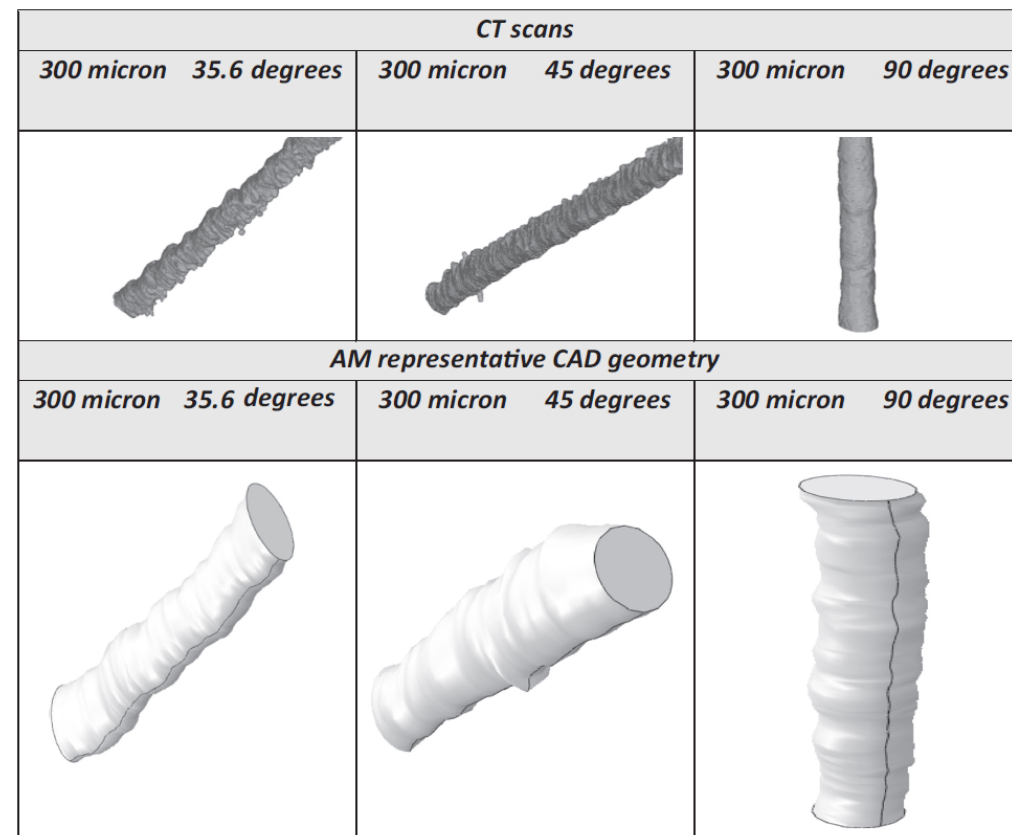
Vědecké otázky a pracovní hypotézy

Vědecká otázka č. 2

- *Jak ovlivňují geometrické imperfekce tvaru a velikosti průřezu prutů mechanickou odezvu tlakově zatěžovaných mikro-prutových struktur z nerezové oceli 316L?*

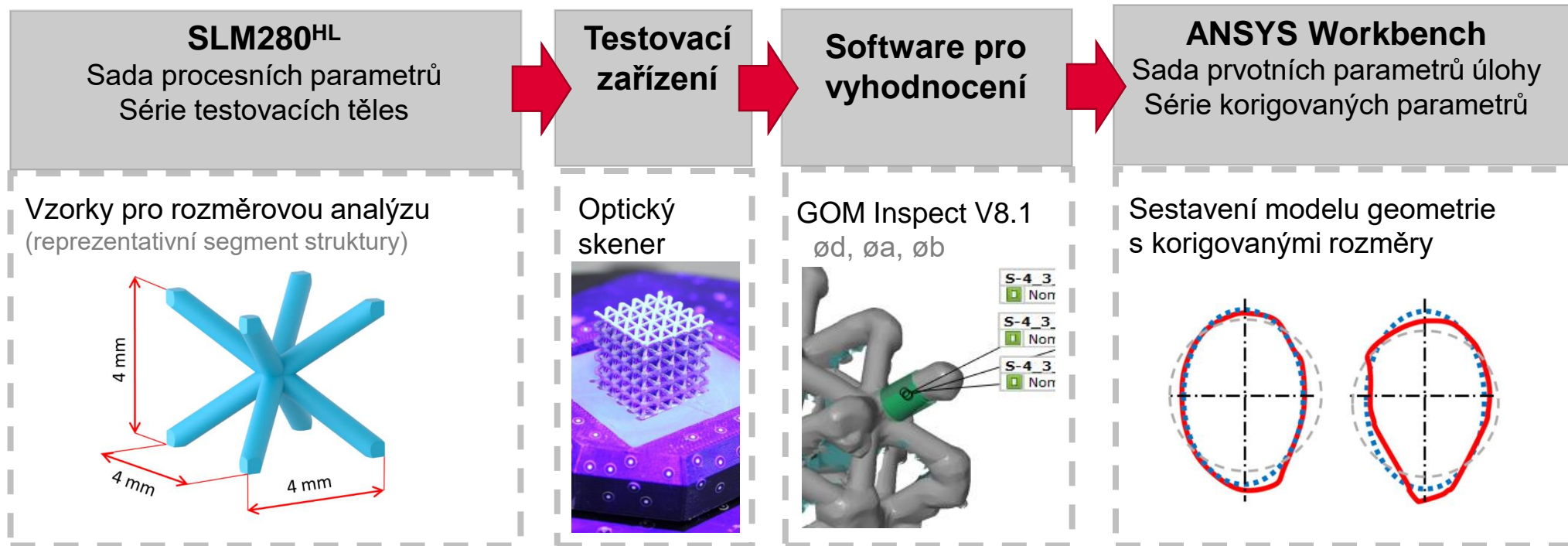
Pracovní hypotéza č. 2

- Podle očekávání způsobují fenomény spojené především se změnou nosného průřezu prutu výraznou změnu výsledných mechanických vlastností.



Lozanovski, B., a kol., 2019 – μ CT snímky prutů struktury a jejich zjednodušená CAD reprezentace

Odpoř' na otázku č. 2



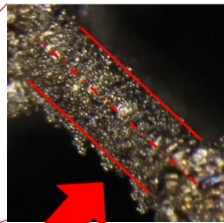
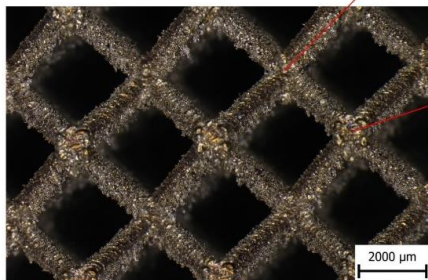
Odpověď na otázku č. 2

Příprava geometrie se zahrnutím imperfekcí

- Elementy s kvadratickou interpolační funkcí
- Mesh sensitivity study – podle studie Werner, B., a kol., 2019
- APDL skript pro automatizaci geometrie

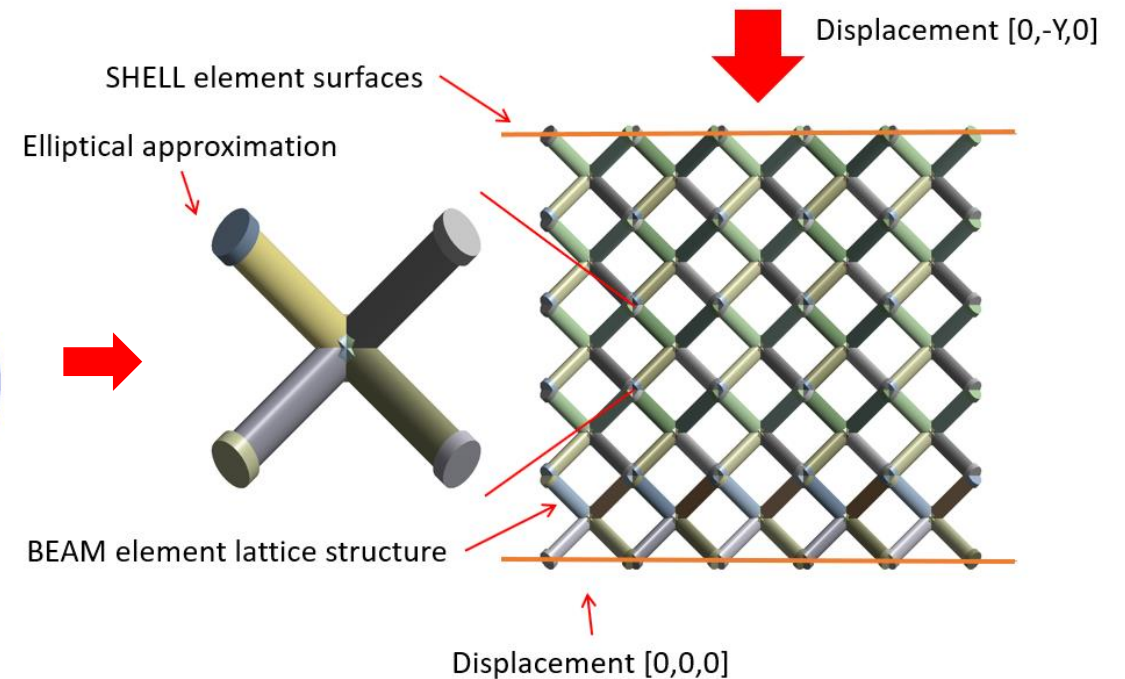
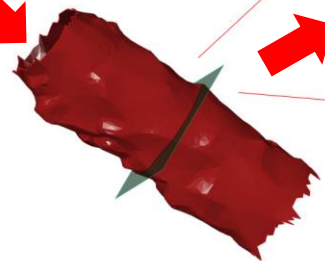
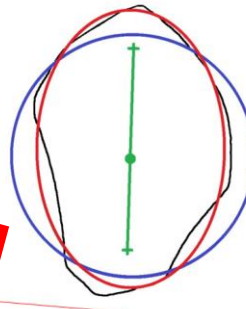
Inspekce vzorku po výrobě

– ATOS Triple Scan



Aproximace imperfekcí

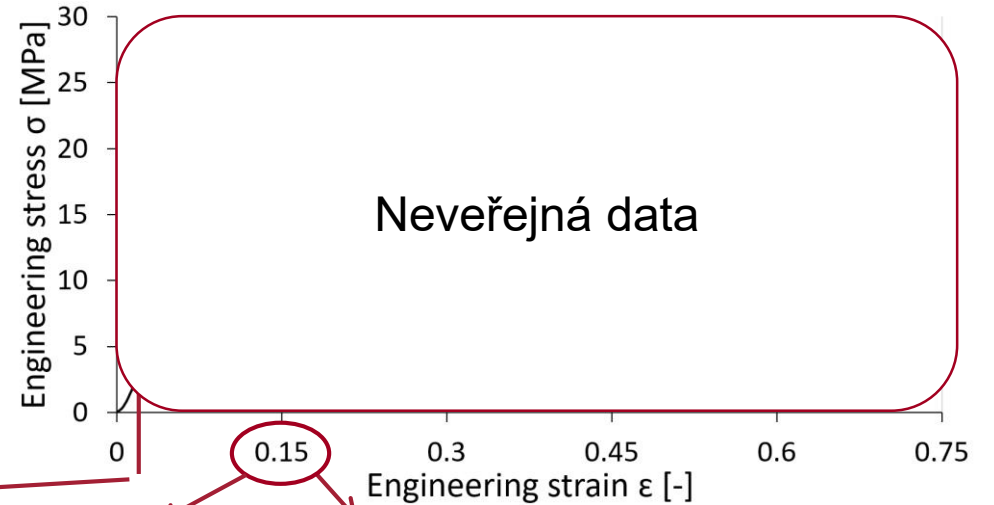
– GOM Inspect



Odpověď na otázku č. 2

Simulace kvazistatické tlakové zkoušky – solver APDL

- Porovnání tlakového modulu pro experiment a simulaci
- Porovnání doplňujících kritérií napětí a absorbované energie
- Nutno uvážit stanovení modelu materiálu pro různé průměry



Porovnání přístupů



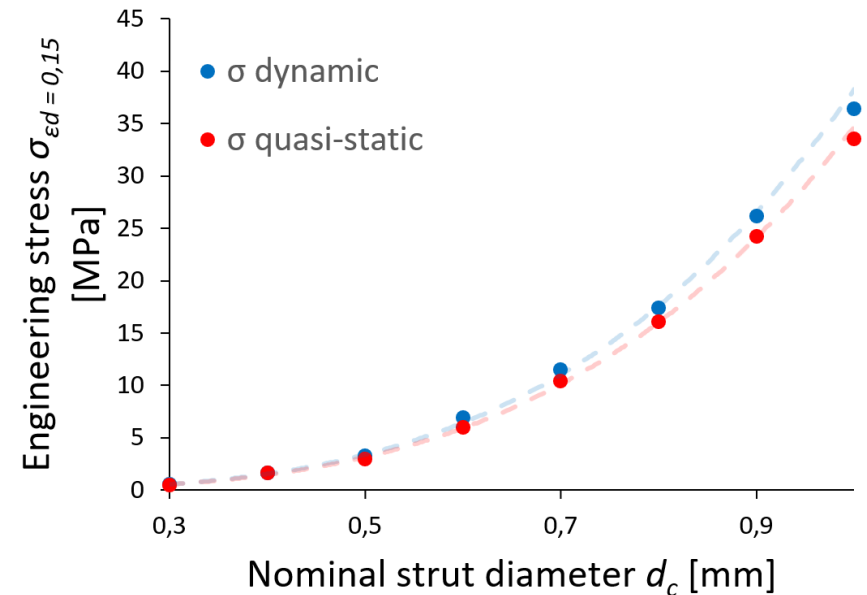
Vědecké otázky a pracovní hypotézy

Vědecká otázka č. 3

- *Jaké konstitutivní vztahy je třeba použít pro dosažení popisu deformačního chování mikro-prutové struktury při nízko-rychlostním dynamickém zatěžování?*

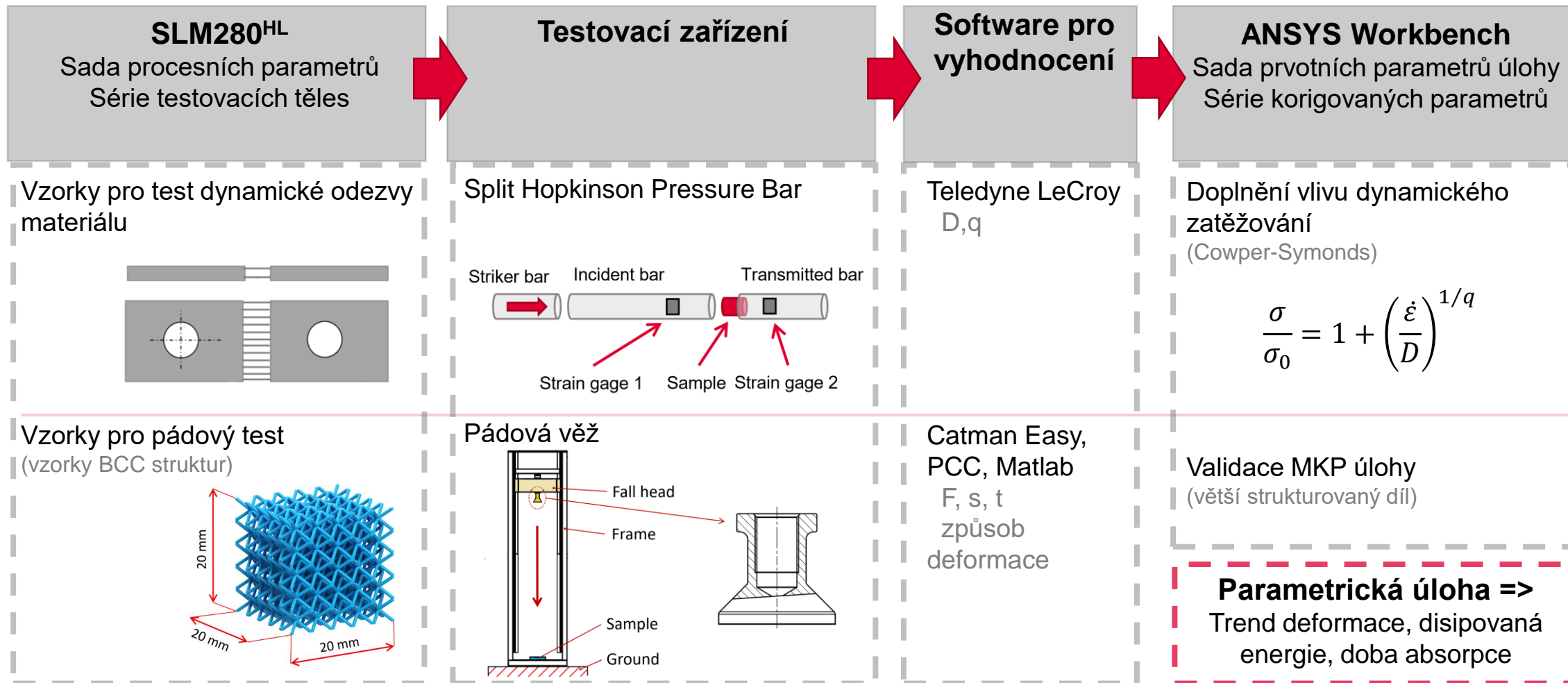
Pracovní hypotéza č. 3

- Nerezové oceli 316L při dynamickém zatěžování ukazují nárůst napětí v porovnání s kvazistatickým. Podobný efekt je očekáván i v případě struktur za předpokladu použití stejného materiálu.



Cervinek, O., a kol., 2019 – napětí při kvazistatickém a dynamickém zatížení

Odpořed' na otázku ř. 3



Závěr

Vydané studie

- VRÁNA, R.; ČERVINEK, O.; MAŇAS, P.; KOUTNÝ, D.; PALOUŠEK, D. Dynamic Loading of Lattice Structure Made by Selective Laser Melting-Numerical Model with Substitution of Geometrical Imperfections; **Materials – IF 3,057**
- VRÁNA, R.; VAVERKA, O.; ČERVINEK, O.; PANTĚLEJEV, L.; HURNÍK, J.; KOUTNÝ, D.; PALOUŠEK, D. Heat Treatment of the SLM Processed Lattice Structure Made of AlSi10Mg and Its Effect on the Impact Energy Absorption; **Scopus – Euro PM2019 Proceedings**
- ČERVINEK, O.; VRÁNA, R. KOUTNÝ, D.; PALOUŠEK, D. Static and Dynamic Compression Performance of Lattice Structures Made by Selective Laser Melting; **Scopus – Euro PM2019 Proceedings**

Připravované studie

- ČERVINEK, O.; WERNER, B., KOUTNÝ, D.; PALOUŠEK, D. Computational approaches of quasi-static compression loading of SS316L lattice structures made by selective laser melting technology (**Finální revize na straně partnerské univerzity**)
- VRÁNA, R.; ČERVINEK, O.; KOUTECKÝ T., KOUTNÝ, D.; ZIKMUND, T., PANTĚLEJEV, L., PALOUŠEK, D. Influence of the Shape and Dimensional Deviations on Mechanical properties of the SLM produced Lattice Structures
- WERNER, B., ČERVINEK, O.; KOUTNÝ, D.; PETTERMANN, H. Numerical and Experimental Study of the Collapse of Triangular Cells under Compression

Participace na projektech

- Hospodářská smlouva – ESA – Výzkum mechanických vlastností a vývoj komponent pro vesmírné aplikace s využitím aditivní výroby
- TAČR – ARMADIT – Materiály s vnitřní architekturou strukturované pro aditivní technologie
- Specifický výzkum – Výzkum mechanických a fyzikálních vlastností strukturovaného materiálu připravovaného pomocí aditivní výroby

DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST

Ondřej Červinek

Ondrej.Cervinek@vut.cz



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

www.ustavkonstruovani.cz