



ZVONÍČKOVA NADACE

Fakulta strojní ČVUT v Praze

29. ročník soutěže o nejlepší diplomové práce
magisterských studijních programů Fakulty strojní ČVUT v Praze
obhájené v období únor a září 2023

Přehled oceněných prací

tématická skupina: Konstrukce a technologie



Ing. Jan Mohelník

Robotický manipulátor

Vedoucí práce: Ing. Pavel Trnka, Ph.D.

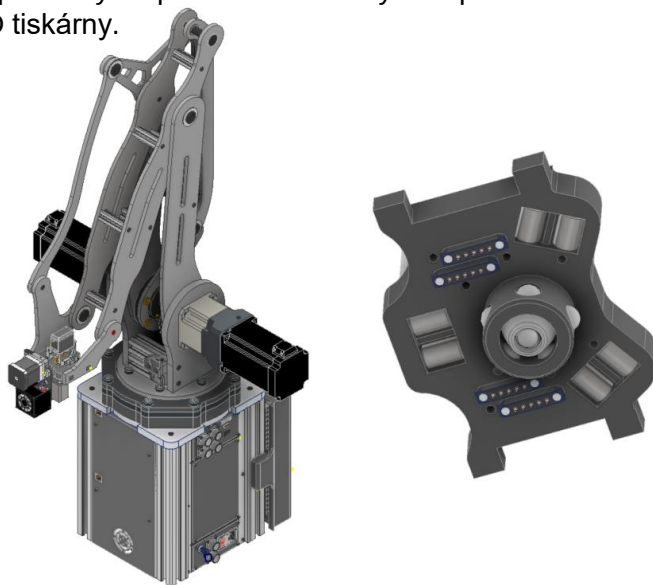
Pracoviště: Ústav přístrojové a řídicí techniky

Výsledky práce

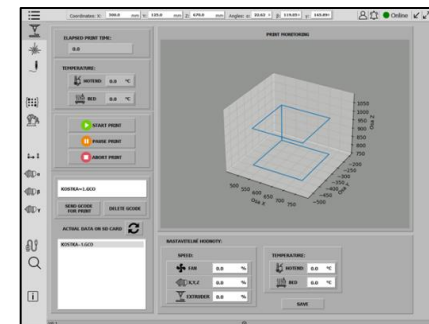
- Z provedené rešerše byla navržena a zrealizována vlastní konstrukce robotického manipulátoru z duralu a oceli, který funguje ve třech stupních volnosti.
- Byl navržen výměnný nástroj pro aplikace jako jsou 3D tisk a plotter (kreslení)
- Vlastní kinematika manipulátoru byla aplikována do open-source firmwaru pro 3D tiskárny
- Bylo vytvořeno vlastní grafické ovládání pro manipulátor

Závěr

- Povedlo se úspěšně navrhout a sestavit robotické rameno, které je schopno fungovat jako 3D tiskárna a plotter. Výhodou tohoto návrhu oproti normálním kartézským tiskárnám se stala velká pracovní plocha (při maximálním natažení ramene až jeden metr) v okolí celého robota a možnost automatické výměny nástroje.
- Dalším úspěchem této práce byla aplikace kinematiky do open-source firmwaru „Marlin“ pro běžné kartézské 3D tiskárny.



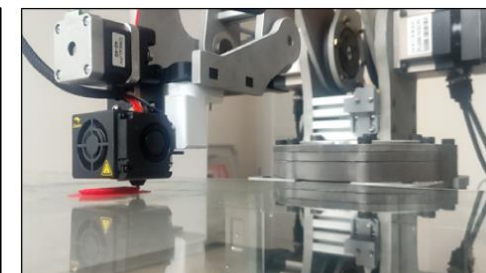
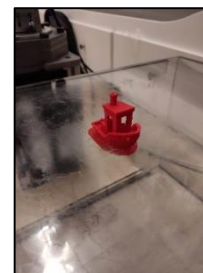
3D model manipulátoru a hlavice pro výměnný nástroj



Grafické ovládání robota



Aplikace plotter



Aplikace 3D tisk



Ing. Jakub Ullrich

Multiparametrický model řezných sil pro virtuální simulace obrábění

Vedoucí práce: Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.

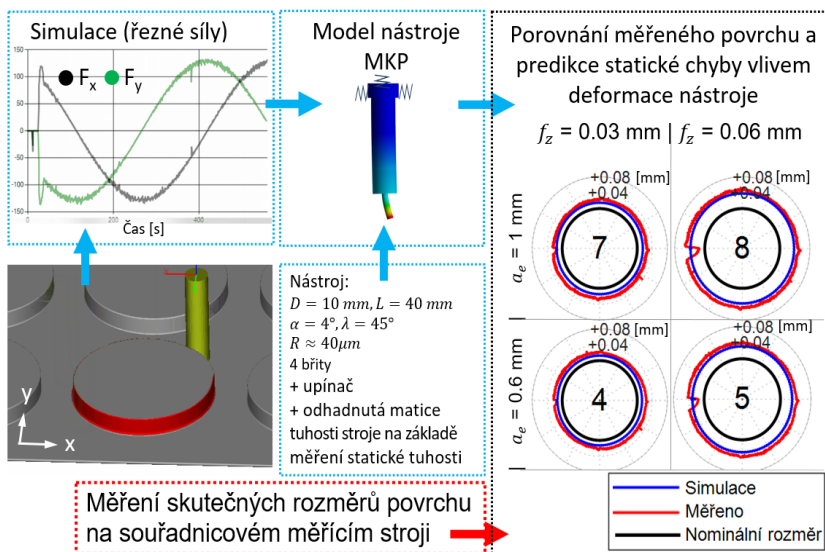
Pracoviště: Ústav výrobních strojů a zařízení

Motivace řešeného tématu:

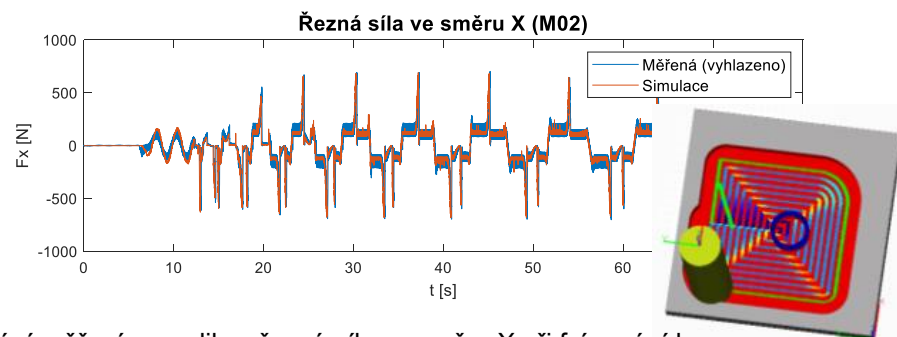
Při obrábění je cesta od CAD modelu k fyzickému dílci složitá, protože **mnoho faktorů ovlivňuje výslednou přesnost a jakost povrchu obrobku**. Jedním z významných zdrojů chyb obrábění jsou **řezné síly**. Účinným prostředkem pro predikci výsledků obrábění je virtuální simulace obrábění pomocí **procesního digitálního dvojče**. Standardní modely řezných sil ale nejsou dostatečně vhodné pro složité simulace obrábění s predikcí přesnosti, jakosti a výkonnosti obrábění. Motivací řešeného tématu je **návrh univerzálního modelu řezných sil**, který predikuje velikosti řezných sil s dostatečnou přesností **pro široký rozsah geometrie nástroje a řezných podmínek**.

Cíl práce:

- Návrh a ověření **multiparametrického modelu řezných sil**, který:
 - zahrne **vliv geometrie nástroje a řezných podmínek**
 - zohlední **vliv poloměru ostří nástroje**
 - umožní výpočet řezných sil pro **libovolné geometrie řezných nástrojů**
- Implementace modelu do **simulace virtuálního obrábění** (digitální dvojče stroje a procesu) a jeho **validace na reálném obrábění**
- Aplikace modelu na **predikci procesní přesnosti**



Schematicky znázorněna aplikace modelu na **predikci procesní přesnosti**



Porovnání měření a predikce řezné síly ve směru X při frézování kapsy (jedná se o **spojité tvarové obrábění s proměnnými záběrovými podmínkami**)

Výsledky práce:

- V práci byl úspěšně navrhnout a vytvořen **multiparametrický model řezných sil**, který dokáže zahrnout vliv **poloměru ostří nástroje**
- Toho bylo docíleno **inovativním modelem** s alternativním rozkladem řezné síly na **tlakovou a třecí složku**
- Model je vhodný pro **simulace virtuálního obrábění** pomocí **digitálních dvojčat**
- Model byl **úspěšně ověřen** na experimentálních datech z reálného obrábění
- Úspěšně byla **ověřena strategie** pro **predikci procesní přesnosti**
 - Pro **predikci procesní přesnosti** a **chyb obrábění** vyvolaný účinkem statické složky řezných sil na nástroj byl využit **model poddajného nástroje**

Možnost rozšíření platnosti navrženého modelu:

V práci představený postup pro tvorbu multiparametrického modelu řezných sil lze využít opakovaně. S daty z dalších měření lze **rozšířit platnost modelu pro širší rozsah parametrů** a rozšířit i na **další druhy materiálů**. Představený postup může být dále modifikován, případně rozšířen o pokročilejší statistické metody.



Ing. Tomáš Karas

Experimentální analýza tuhosti ozubení

Vedoucí práce: Ing. Jan Flek

Pracoviště: Ústav konstruování a částí strojů

Cíl práce:

Diplomová práce se zaměřuje na souhrn teoretických východisek týkajících se **analytického a simulačního modelování a experimentálního měření tuhosti přímého ozubení**. Za účelem vytvoření metodiky měření tuhosti ozubení na přiděleném měřicím standu. Jedním z hlavních cílů bylo také porovnání jednotlivých analytických modelů a simulačního MKP modelu s měřeními průběhy tuhosti.

Analytické modelování tuhosti ozubení:

- 1) Model **Deformační energie**
- 2) Model **KISSsoft**

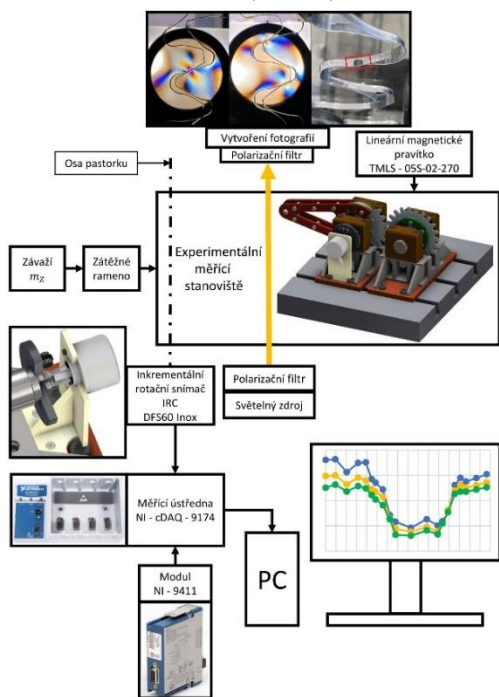
Simulační modelování tuhosti ozubení:

MKP simulace v softwaru **Abaqus**

CAE

Experimentální měření tuhosti ozubení:

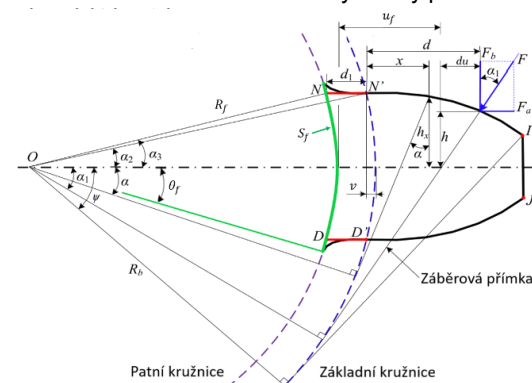
Využití měřicího standu v laboratořích ústavu konstruování (Obr. 1.)



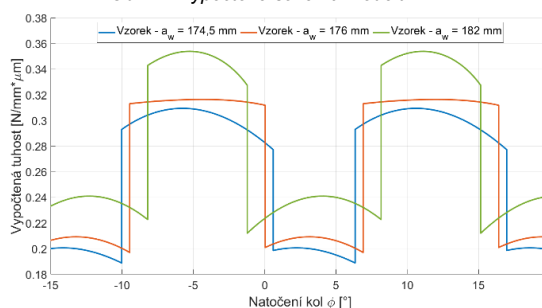
Obr. 1.: Blokové schéma měřicího standu

Model deformační energie:

V současné době nejvyužívanější analytický popis tuhosti ozubení. Model je založen na **teorii nosníků** a v rámci teorie pružnosti uvažuje, že zub na ozubeném věnci je možné modelovat jako vetknutý nosník, který je **vetknutý v místě patní kružnice**. Zátěžování zubu uvažováno dle Obr. 2. a výsledný průběh



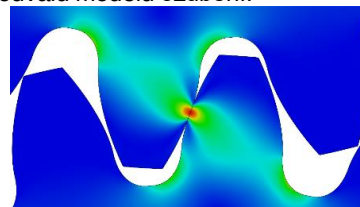
Obr. 2.: Výpočtové schéma modelu DE



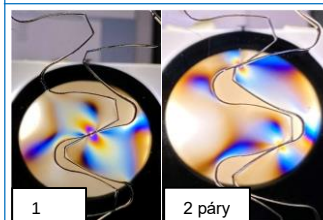
Obr. 3.: Průběh tuhosti vypočtený modelem DE

MKP model:

Na základě řešení kontaktní úlohy v softwaru **Abaqus CAE** byl získán **průběh deformačního natočení a dále tuhosti**, během simulovaného odvalu modelu ozubení.



Obr. 4.: Koncentrace napětí v zabírajícím páru zubů



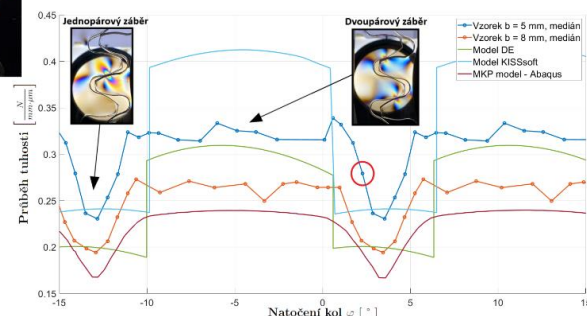
Obr. 5.: Rozlišení typu záběru pomocí polariskopu

Vytvoření metodiky měření:

Během přípravy metodiky měření bylo nezbytné vypořádat se s problémy, které zatěžovaly měření. Největšími z nich byla **náročnost rozpoznání počtu zabírajících párů zubů a pomalá reakce materiálu a standu na zatěžování**.

Řešením bylo **využití polariskopu** k rozpoznání typu záběru (viz Obr. 5.) a **přidání předzátěžovacího cyklu** k vymezení vůlí standu ve směru měřené deformace.

Následně byla navržena **finální metodika měření** a byla shrnuta do několika pracovních bodů.



Obr. 6.: Porovnání experimentálních dat s analyticko-simulačními modely

Závěr je pak zaměřen na vzájemné porovnání měřených vzorků s jednotlivými modely (Obr. 6.) ale také na porovnání vzorků mezi sebou. Jsou zde také uvedeny poznatky a doporučení pro pokračování s touto problematikou.



Ing. Daniel Eger

Nanostrukturování povrchu laserem pro medicínské aplikace

Vedoucí práce: Ing. Libor Beránek, Ph.D.

Pracoviště: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie; Centrum HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR

MOTIVACE PRÁCE

Zamezení vzniku biofilmu na povrchu:

- Tělních náhrad
- Chirurgických nástrojů
- Dalšíh strojních součástí

POSTUP NÁVRHU A VÝROBY STRUKTUR INSPIRACE V PŘÍRODĚ

- Kombinace mikro a nano struktury
- Periodicky se opakující útvary struktury

REALIZACE LASEROVOU ABLACÍ

- Kombinace laserového mikroobrábění a skenování polarizovaným svazkem

Alternativa k lokálnímu podávání léčiv

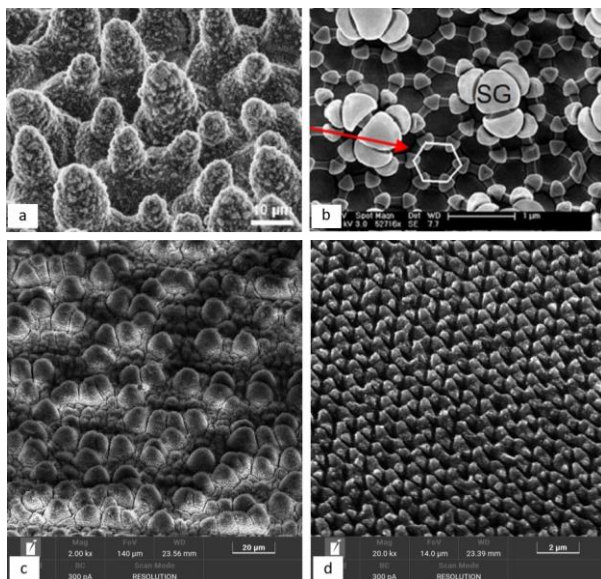
- Časově omezené působení
- Problematické z hlediska stále se zvyšující rezistivity bakterií vůči antibiotikům

HODNOCENÍ STRUKTUR

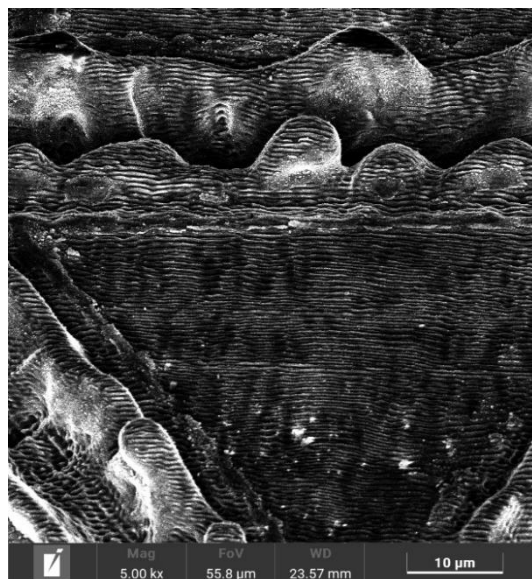
- Z hlediska procesního času
- Obrazová analýza SEM
- Pomocí normalizovaných parametrů
 - Parametry profilu dle ISO 21920:2023
 - Parametry plochy dle ISO 25178:2023

Procesní čas strukturování 1 cm ² plochy		KRYCÍ STRUKTURY			
		LIPSS 700 mm/s	LIPSS 70 mm/s	LIPSS 7 mm/s	SPIKES 700 mm/s
PODKLADOVÉ STRUKTURY	čtverc. mřížka	$t_p = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 2\text{min } 6\text{s}$	$t_p = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 2\text{min } 6\text{s}$	$t_p = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{min } 6\text{s}$	$t_p = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 2\text{min } 6\text{s}$
		$t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 3\text{min } 17\text{s}$	$t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 0\text{s}$	$t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 1\text{min } 8\text{s}$	$t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 3\text{min } 17\text{s}$
		$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 3\text{min } 43\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 36\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 1\text{min } 34\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 3\text{min } 43\text{s}$
		$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 51\text{min } 17\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 1\text{h } 2\text{min } 0\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 49\text{min } 8\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 51\text{min } 17\text{s}$
	trúhúel. mřížka	$t_p = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 0\text{s}$	$t_p = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 1\text{min } 8\text{s}$	$t_p = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 0\text{s}$	$t_p = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 0\text{s}$
		$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 3\text{min } 43\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 36\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 1\text{min } 34\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 3\text{min } 43\text{s}$
		$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 51\text{min } 17\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 1\text{h } 2\text{min } 0\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 49\text{min } 8\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 51\text{min } 17\text{s}$
	díry v hex. poli	$t_p = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 0\text{s}$	$t_p = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 1\text{min } 8\text{s}$	$t_p = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 0\text{s}$	$t_p = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 0\text{s}$
		$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 3\text{min } 43\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 14\text{min } 36\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 1\text{min } 34\text{s}$	$t_p = 2\text{min } 32\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 3\text{min } 43\text{s}$
		$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 51\text{min } 17\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 11\text{min } 54\text{s}$ $t_c = 1\text{h } 2\text{min } 0\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{h } 59\text{min } 2\text{s}$ $t_c = 2\text{h } 49\text{min } 8\text{s}$	$t_p = 50\text{min } 6\text{s}$ $t_k = 1\text{min } 11\text{s}$ $t_c = 51\text{min } 17\text{s}$

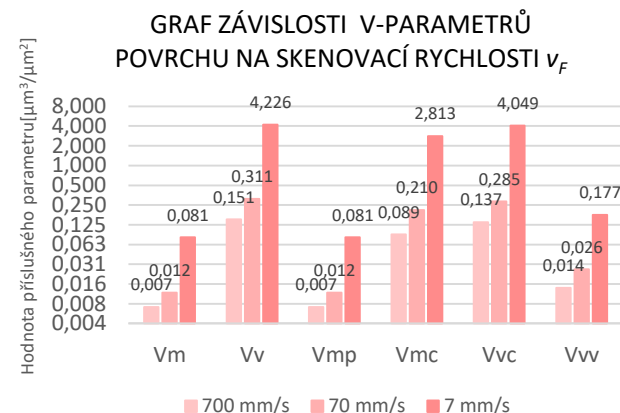
Obr. 2: Procesní časy strukturování 1 cm² plochy (t_p – proc. čas podkladové struktury, t_k – proc. čas krycí struktury, t_c – součet procesních časů podkladové a krycí struktury, tedy čas celkový)



Obr. 1: Porovnání přírodních povrchů s povrchy vytvořenými v rámci práce. a) povrch lotosového listu; b) povrch těla chvostokoka; c) povrch vzniklý skenováním lineárně polarizovaným svazkem rychlostí



Obr. 3: SEM snímek podkladové mikrostruktury (trúhúelníková síť) pokryté krycí nanostrukturou LIPSS 700 mm/s



Obr. 4: Porovnání hodnot V-parametrů struktur v závislosti na skenovací rychlosti pohybu svazku; skupina V-parametrů charakterizuje členitost povrchu, která roste s klesající rychlostí skenování

VÝSLEDKY PRÁCE

- Vytvoření antibakteriálních struktur laserem
- Charakterizace povrchů pomocí parametrů
→ další krok k opakovatelné průmyslové výrobě nezávisle na výrobní technologii



Ing. Petr Králíček

Nástřiky chromu a wolfram-chromu technologií RF-ICP pro jadernou fúzi

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Čížek, Ph.D.

Pracoviště: Ústav materiálového inženýrství

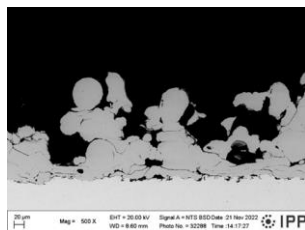
Motivace práce: pro zajištění kladné **energetické bilance** v nových komerčních termonukleárních **elektrárnách** je nutné vyřešit **ochranu** vnitroreaktorových komponent v extrémních podmínkách. Používané **nástřiky W** jsou **křehké** a ohrožují bezpečný provoz fúzního reaktoru (tokamak ITER → DEMO).

Řešení: nástřiky W-Cr.

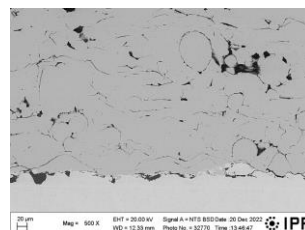
Cíle práce: optimalizovat depoziční parametry zvolených prášku **Cr** a směsi **W-Cr**, nanesení odpovídajících vrstev pomocí radiofrekvenčně řízeného indukčně vázaného plazmatu (**RF-ICP**) a provedení **mikrostrukturní analýzy** deponovaných nástřiků.

Metodika: na rozdíl od W se touto metodou doposud nepodařilo Cr kvalitně deponovat, a proto se v prvních dvou etapách optimalizoval **nástřik čistého Cr** a v poslední třetí etapě **směs W-Cr**. Průběh:

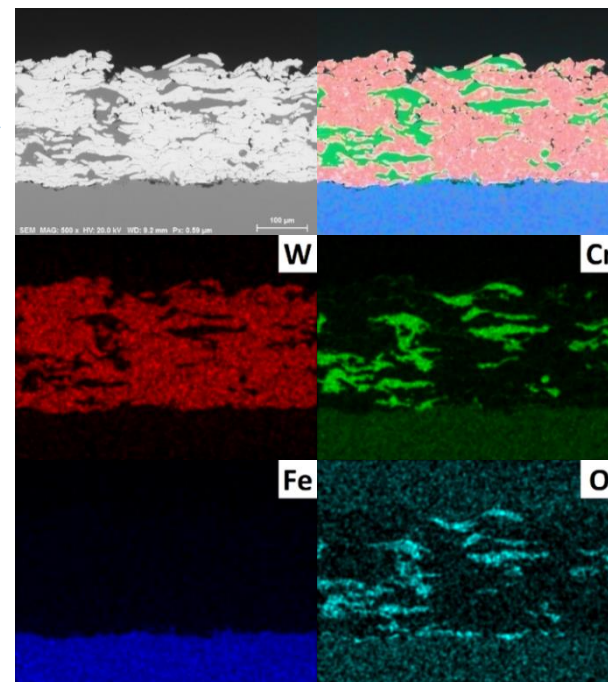
- Depozice jedenácti nástřiků
- Vyhodnocení mikrostruktury (SEM)
- Kvalitativní i kvantitativní analýzy
- Optimalizace
- Zhodnocení vlivu parametrů depozice



Nástřik Cr před optimalizací.



Nástřik Cr po optimalizaci.



EDX mapy mikrostruktury nejlepšího nástřiku W-Cr.

Diskuse výsledků:

- Pro natavení Cr částic nutný **výkon** hořáku 15 kW
- Snížení tlaku v komoře a poloviční dávkování nevede k výrazně lepšímu **natavení** prášku
- Nahrazení používaného plynu heliem s **vysokou entalpií** vede k většímu **slinutí** splatů
- Nástřik směsi W-Cr zajišťuje **menší porozitu**
- **Nadějné výsledky** v porovnání s odbornou literaturou a jinými metodami depozice

Přínos práce:

- Vytvořeny kompaktní a hutné vrstvy Cr a W-Cr s kvalitním spojením splatů (lamelární diskovitá struktura) pro nástřiky ve **fúzních reaktorech**
- Zjištěny **klíčové parametry** pro optimální **nástřik W-Cr** (výkon hořáku 15 kW, dávkování prášku 4,4 g/min, tlak v komoře 103,4 kPa a helium jako nosný plyn)
- Aplikace **chromové matrice** zajišťuje **spolehlivost a ochranu reaktoru při provozu i havárii**

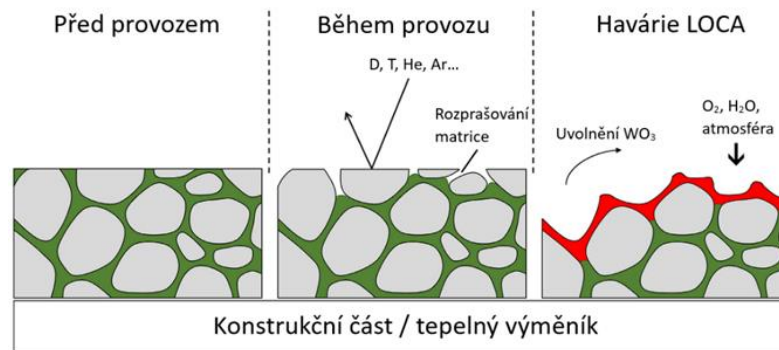


Schéma ochranné vrstvy W-Cr před provozem, během provozu a při havárii Loss of Coolant Accidents.



Ing. Dalibor Jeřábek

Výroba a skladování vodíku

Vedoucí práce: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

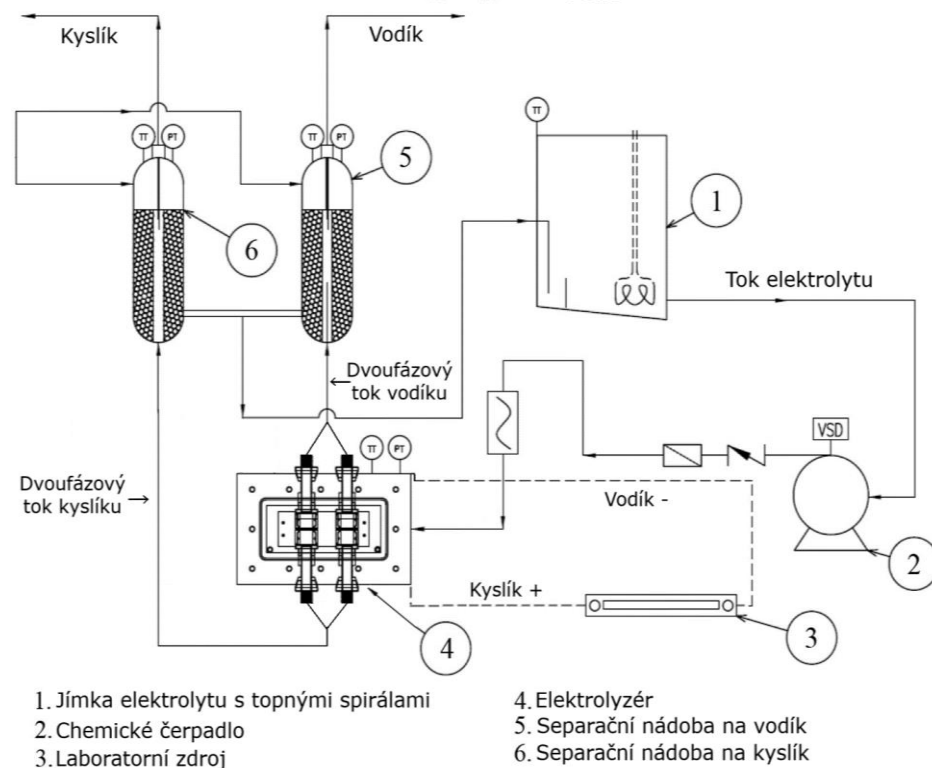
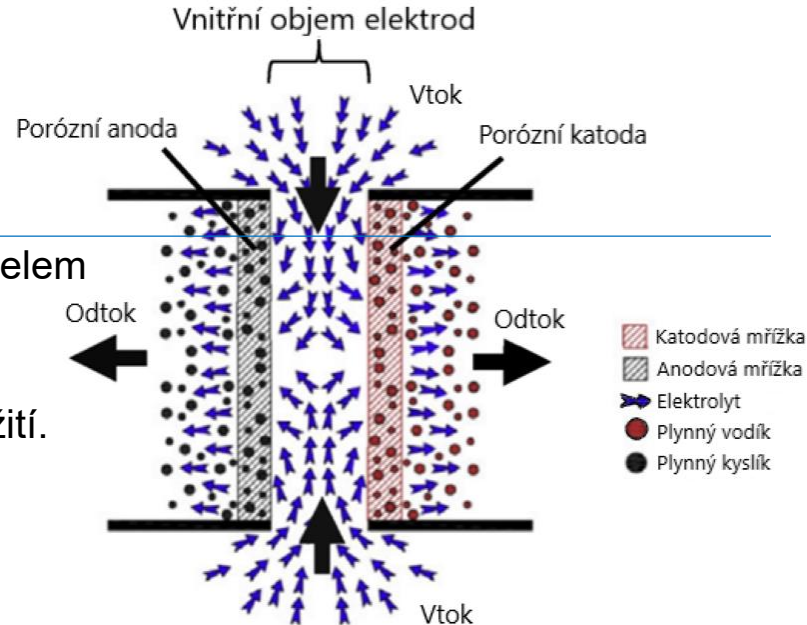
Pracoviště: Ústav strojírenské technologie

Cíl práce: Rešerše problematiky výroby a skladování vodíku za účelem návrhu a konstrukce bezmembránového alkalického elektrolyzéro

Problematika: Skladování přebytečné elektrické energie z obnovitelných zdrojů do chemické energie vodíku pro sezónní využití.

Hlavní výsledky a přínosy diplomové práce:

- Kritická rešerše metod výroby vodíku (14 technologií)
- Kritická rešerše metod akumulace vodíku (9 technologií)
- Volba nejvhodnější strategie výroby a skladování vodíku
- Se získaným know-how návrh a realizace bezmembránového alkalického elektrolyzéro
- **Funkční prototyp alkalického bezmembránového elektrolyzéro**



Tematická skupina:

Konstrukce a technologie

cena prof. Jana Zvoníčka

Prof. Zvoníček byl všestranně technicky nadaný. Od roku 1912 až do své smrti se věnoval vědecké činnosti a současně působil jako pedagog na Českém vysokém učení technickém v Praze. V letech 1919 - 1920 byl děkanem fakulty a v letech 1922 - 1923 rektorem univerzity. Věnoval se zejména teorii a stavbě parních motorů a kompresorů a byl autorem několika patentů z tohoto oboru. V roce 1896 sestrojil ventilový rozvod na přehřátou páru a v roce 1908 obdržel patent na konstrukci mnohostupňové radiální parní turbíny (tzv. Zvoníčková parní turbína). Parní stroje s tímto rozvodem, stejně jako později turbíny, vyráběla firma Českomoravská strojírenská. O univerzálním technickém talentu prof. Zvoníčka svědčí rovněž to, že byl konstruktérem prvních elektrických jeřábů a že se zabýval i konstrukcemi rychloběžných čerpadel. Byl též autorem řady odborných prací. Z jeho podnětu byla v roce 1919 zřízena slovníková komise České matice technické a prof. Zvoníček se jako její vedoucí člen zasadil o zavedení moderního českého technického názvosloví.

