



**Laboratoř přenosu tepla a proudění**  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

# **Témata doktorského studia pro akademický rok 2020/2021**

**Datum: únor 2019**

## 1. Citlivostní analýza faktorů ovlivňujících sekundární chlazení kontinuálního liti

**Školitel:** Petr Kotrbáček

Ochlazování horkých povrchů vodními nebo vodovzdušnými tryskami je proces, který je v technické praxi velice často používán (například při plynulém odlévání oceli). Do matematických modelů sledovaných procesů je třeba používat realistické okrajové podmínky, jejichž získání je velmi často obtížné a závislé na mnoha parametrech. Objasnění a zobecnění vlivu nejdůležitějších parametrů ostříku na intenzitu přenosu tepla by byla základní náplň doktorského studia.



### **Poznámka:**

Téma studia bude podpořeno výzkumnými projekty pro průmyslové podniky. Finanční náklady související s experimentálními a výpočtovými pracemi budou částečně hrazeny z prostředků těchto projektů. Je zde možnost vypsání mimořádného stipendia a možnost úzké spolupráce s průmyslem. Je předpoklad získání studijních pobytů v zahraničí.

## 2. Kontaktní tepelný odpor mezi válcem a kontinuálně litou ocelí

**Školitel:** Petr Kotrbáček

Tématem disertační práce je odvození tepelného odporu při kontaktu dvou kovových těles. Experimenty budou zaměřeny na kontakt dvou těles při vysokých teplotách a za přítomnosti okují. Motivací této práce je získání reálných tepelných odporů mezi válečkem a kontinuálně litou ocelí, včetně popisu vlivu jednotlivých parametrů ovlivňujících tepelný odpor.

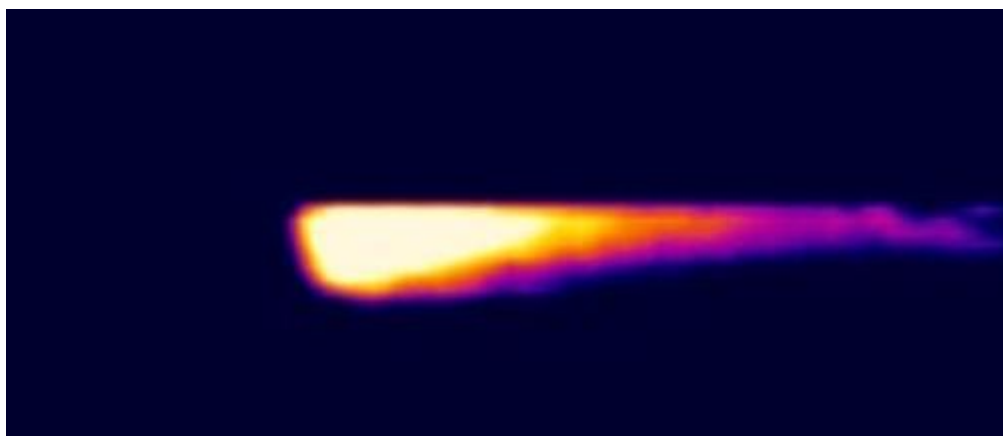
**Poznámka:**

Práce předpokládá kombinaci teoretické a laboratorní práce. Při práci bude využito laboratorního vybavení pracoviště. Téma vychází z požadavků jak českých, tak i světových výrobců oceli a je podpořeno možností získání mimořádného stipendia a zahraničních stáží.

### 3. Popis a optimalizace dynamických teplotních polí vznikajících při svařování laserem

**Školitel:** Petr Kotrbáček

Procesní parametry pokročilých variant technologie laserového svařování umožňují měnit rozložení (časové i prostorové) tepelného pole v oblasti svaru a tím následně ovlivňovat strukturu a mechanické vlastnosti svarů. V rámci vypisovaného tématu bude řešena problematika měření dynamických teplotních polí, simulace těchto polí a konečné optimalizace procesních parametrů v návaznosti na mechanické vlastnosti svarů.

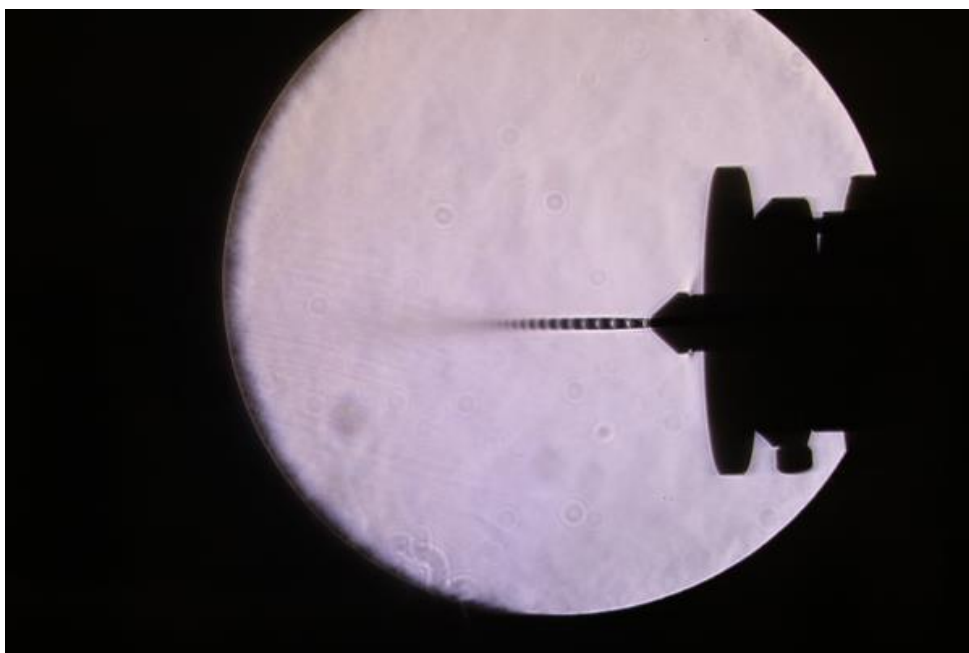
**Poznámka:**

V průběhu studia se počítá se studijním pobytem v zahraničí a s vypsáním mimořádného stipendia.

### 4. Studium proudění a optimalizace geometrie trysky pro laserové dělení materiálu

**Školitel:** Petr Kotrbáček

Vnitřní geometrie trysek používaných pro laserové dělení významně ovlivňuje proudění plynu přes trysku a následně přes řeznou spáru. Tím je ovlivněna jednak kvalita řezné hrany, řezná rychlost i spotřeba plynů. V rámci řešené problematiky této práce bude provedena optimalizace proudění řezného plynu na základě vizualizace proudění a matematických simulací.



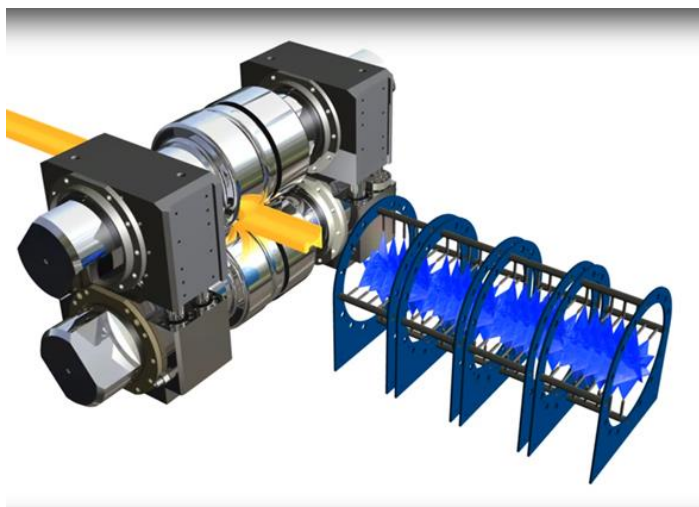
**Poznámka:**

V průběhu studia se počítá se studijním pobytem v zahraničí a s vypsáním mimořádného stipendia.

## 5. Vývoj metod in-line tepelného zpracování ocelových polotovarů a profilů

**Školitel:** Petr Kotrbáček

Cílem je rozvoj metod kontinuálního tepelného zpracování válcovaných materiálů pro dosažení předepsané struktury a mechanických vlastností. Jedná se o interdisciplinární téma se zaměřením řízení technologického procesu a materiálového výzkumu.



**Poznámka:**

Řešení problematiky je materiálně zajištěno vybavením Laboratoře přenosu tepla a proudění a studium je navázáno na řešení výzkumných projektů pro průmyslové partnery. V oblasti je navázána úzká spolupráce s podniky jak v ČR, tak i v zahraničí. Předpokládá se možnost vypsání mimořádného stipendia a zahraničních stáží.

## 6. Vývoj nových matematických modelů pro předehřívací pece

**Školitel:** Petr Kotrbáček

Ohřev hutních polotovarů v předehřívací pecích je energeticky velmi náročný proces. Tento proces lze pomocí matematických modelů vytvořených na základě provozních měření optimalizovat. Doktorand se bude podílet na provozních měření a tvorbě matematického modelu sloužícího k optimalizaci ohřevu polotovarů.

**Poznámka:**

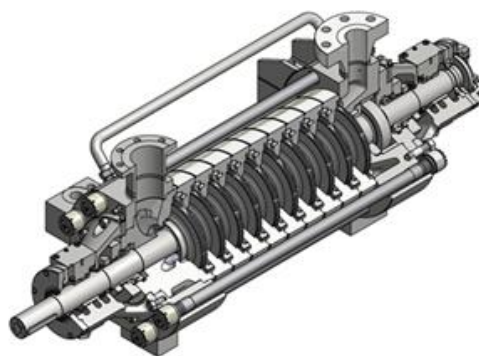
Řešení problematiky je finančně a materiálně zajištěno. Studium je navázáno na řešení výzkumných úkolů pro průmyslové partnery využívající tuto technologii. Předpokládá se možnost vypsání mimořádného stipendia a absolvování zahraničních studijních stáží.

## 7. Vývoj nových ostříkových sekcí pro hydraulické odstraňování okují

**Školitel:** Petr Kotrbáček

Ostřík horkého povrchu vysokotlakým vodním paprskem je technologicky velmi často využívaný proces, jehož cílem je odstranění nežádoucích vrstev okují na povrchu ocelí. Tento proces je energeticky velmi náročný a optimalizací lze dosáhnout maximálního účinku při minimální možné spotřebě energie. Vlastnosti hydraulických ostříků okují jsou ovlivněny celou řadou parametrů. Úkolem doktoranda bude na základě numerického modelu a experimentálního výzkumu objasnit

mechanismus odstraňování vrstvy okují z povrchu a optimalizovat parametry ostříku s ohledem na kvalitu povrchu a energetickou náročnost procesu.



#### **Poznámka:**

Vypsané téma kombinuje teoretické a laboratorní práce. Při práci bude využito laboratorního vybavení pracoviště. Téma vychází z požadavků jak českých, tak i evropských a světových výrobců oceli a je podpořeno možností získání mimořádného stipendia ke stipendiu vyplacenému fakultou. Řešení problematiky je finančně a materiálně zajištěno. Studium je navázáno na řešení výzkumných úkolů pro průmyslové partnery využívající tuto technologii a pro výrobce čerpadel a hydraulických systémů ostříku okují SIGMA GROUP a.s. Předpokládá se možnost vypsání mimořádného stipendia a absolvování zahraničních studijních stáží.

## **8. Výměník tepla z polymerních dutých vláken pro aplikace v chemickém průmyslu**

**Školitel:** Tereza Kúdelová

Výměník tepla z polymerních dutých vláken, který je velmi atraktivní alternativou stávajících kovových výměníků tepla, se skládá ze stovek či tisíců polymerních dutých vláken. Vzhledem k tomu, že vlákna mají malé vnější průměry (cca 1mm vnější průměr) s tloušťkou stěny kolem 0,1mm, je výsledný tepelný odpor působený materiálem výměníku nízký. To vede k efektivnímu polymernímu výměníku tepla. Tento výměník tepla přináší takové výhody jako je nízká hmotnost, snadná tvarovatelnost a obrobitelnost. Další obrovskou výhodou těchto výměníků je jejich korozivzdornost a chemická odolnost. Použití polymeru pro konstrukci aktivních teplosměnných ploch umožňuje aplikaci v oblastech, kde není možné použít standardní kovové tepelné výměníky.



Při výrobě různých chemikálií dochází k termickým reakcím, proto je nezbytně nutné při řízení těchto reakcí teplo dodávat či odebírat. Z povahy některých chemických produktů není možné použít kovové výměníky a je nezbytně nutné použít polymerní výměníky, aby se zabránilo chemické reakci mezi kovem a produktem. Tyto výměníky jsou však konstruovány z trubek větších průměrů, a tedy i silnějších stěn teplosměnných ploch. Cílem disertační práce je zmapovat oblasti aktuálního použití polymerních výměníků v chemickém průmyslu, ověřit vlastnosti stávajících komerčně dostupných produktů a navrhnout konkurenceschopnou alternativu v podobě výměníku tepla z polymerních dutých vláken pro tyto aplikace. K dosažení tohoto cíle je třeba vyvinout a ověřit jeho optimální konstrukci.



#### **Poznámka:**

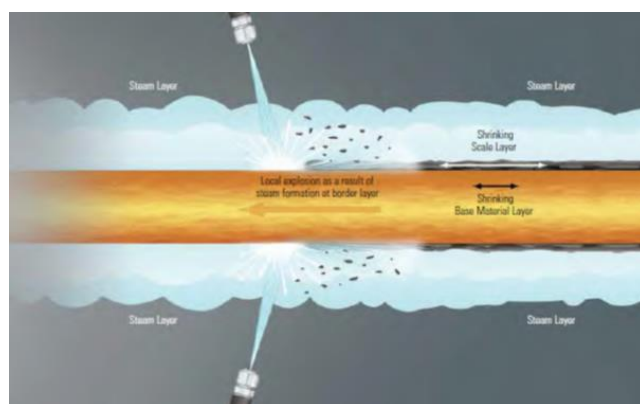
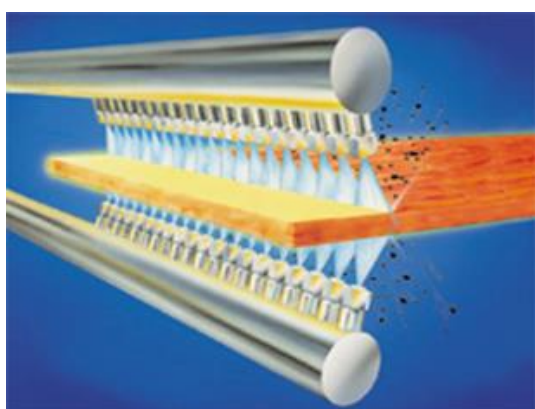
Řešení problematiky je finančně a materiálně zajištěno. Studium je navázáno na řešení výzkumných projektů. Předpokládá se možnost vysáání mimořádného stipendia a absolvování zahraničních studijních stáží.

## **9. Vývoj a experimentální ověření teorie hydraulického odstraňování okují**

**Školitel:** Michal Pohanka

Při výrobě a zpracování oceli za tepla, kdy je povrch vystaven oxidační atmosféře, se na povrchu tvoří zoxidované vrstvy oceli nazývané okuje. Tyto okuje se nejčastěji odstraňují pomocí vysokotlakých trysek s plochým vodním paprskem. Při tomto procesu se sleduje jak výsledná jakost povrchu (množství neodstraněných okují), tak množství tepla odvedeného z oceli. Kvalita povrchu vyrobeného ocelového polotovaru závisí nejen na konfiguraci hydraulického ostříku, ale také na jakosti oceli (chemickém složení), tepelném zpracování a povlakování. Během ostříku dochází k prudkému poklesu teploty a tím i výrazné změně materiálových vlastností okují. Ty navíc obvykle netvoří homogenní vrstvu. Většinou se jedná o vrstvu složenou z několika typů okují: wüstit, magnetit a hematit; přičemž jejich podíl je závislý mimo jiné na oxidační teplotě. Vrstva okují je

obvykle porézni, což umožňuje vodě vnikat do trhlin, kde může vlivem velmi vysoké teploty (nad 1000°C) vést k parní explozi. Při hydraulickém odkujování tak dochází k velmi komplikovanému namáhání, který se skládá zejména z mechanického účinku od vodního paprsku, teplotní kontrakce povrchových vrstev, smykovému napětí na rozhraní okuje/ocel, ohýbání okujů vlivem teplotního gradientu v okujích a parní explozi v trhlínách. Cílem práce je vytvoření teorie a verifikačního modelu hydraulického odstraňování okujů a popsání principů při tomto kombinovaném teplotně-mechanickém namáhání. Výpočtový model, který bude vytvořen na základě teorie, bude sloužit k ověření vytvořené teorie na základě srovnání se skutečným procesem odkujování, který bude prováděn v laboratoři. Vytvořený model by měl mimo jiné posloužit k optimalizaci hydraulického odstraňování okujů pro těžko odkujitelné materiály (např. oceli se zvýšeným obsahem křemíku pro automobilový průmysl).



### Poznámka:

Během práce se předpokládají teoretické, výpočtové a laboratorní práce. Jedná se o interdisciplinární práci v oblasti proudění, mechanického zatížení a přenosu tepla a látky. Práce bude částečně podporována ze 3,5 letého evropského projektu s názvem "Reduction of Heat Losses during Hot Rolling of Long Products", kterého se účastní významné evropské organizace (např. Arcelormittal, Mannstaedt, Omron Electronics, atd).

Při práci bude využito laboratorního vybavení pracoviště, asistence techniků při přípravě experimentů a spolupráce s dalšími pracovišti v rámci evropského projektu.

Předpokládá se účast na pobytech v zahraničí na pracovištích, které jsou účastníci evropského projektu.





## 10. Vývoj a experimentální ověření modelu deformace plechů při kontinuálním tepelném zpracování oceli

**Školitel:** Michal Pohanka

Dnešním trendem je vyrábět vysokojakostní oceli, aniž by bylo potřeba použít velké procento drahých příměsí jako jsou nikl, chrom, titan, měď, hliník atd. Toho se dosahuje vhodným tepelným zpracováním při kontinuální výrobě oceli. Při tepelném zpracování dochází k výrazné ale nežádoucí deformaci oceli, ve které během tohoto procesu probíhají fázové změny – změny metalografické mřížky. Ocel se tak během tepelného zpracování deformuje a výsledný produkt často nedosahuje požadované geometrie – nejčastěji rovinnosti. Špatná rovinnost způsobuje mimo jiné i velké problémy při následném zpracování jako je např. následná povrchová úprava, či způsobuje problémy při průchodu dopravníkovým systémem. Cílem práce je vytvoření komplexního modelu, který bude detailně popisovat děje, které nastávají při kontinuálním tepelném zpracování ocelových plechů. Tento model tak umožní lépe porozumět dějům, které zde nastávají a pomůže optimalizovat chlazení tak, aby bylo dosaženo co nejlepší rovinnosti výsledných plechů. Během práce se očekává měření a simulace součinitele přestupu tepla při chlazení horkých plechů, měření impaktních sil od chladicích trysek, studium proudění chladicího média na zakřiveném povrchu a jeho vliv na změnu chlazení.



**Poznámka:**

Během práce se předpokládají teoretické, výpočtové a laboratorní práce. Jedná se o interdisciplinární práci v oblasti proudění, mechanického zatížení, tepelné deformace, fázové přeměny a přenosu tepla a látky. Práce bude částečně podporována z výzkumných projektů s největšími producenty oceli a předními dodavateli technologií pro ocelárny.

Při práci bude využito laboratorního vybavení pracoviště, asistence techniků při přípravě experimentů a spolupráce s dalšími pracovišti v rámci evropského projektu.

Předpokládá se účast na pobytech v zahraničí na pracovištích, které jsou účastníci výzkumných projektů.

## 11. Přenos tepla při interakci proudů tekutiny na pohybujícím se povrchu

**Školitel:** Milan Hnízdil

Tepelné zpracování kovových (převážně ocel a hliník) výrobků je moderním trendem, při kterém dochází k vylepšování mechanických vlastností, aniž by bylo zapotřebí použití drahých legujících prvků (nikl, chrom, měď, titan, hliník atd). Při tepelném zpracování je velmi důležité kontrolovat proudění chladicí tekutiny po pohybujícím se povrchu produktů, aby nedocházelo, vlivem špatného proudění, k přechlazení či nedochlazení tepelně zpracovávaného výrobku. K tomuto účelu jsou právě používány další tekutiny, které usměrňují proudění chladicí tekutiny v požadovaném směru a v mnoha případech proudí právě proti chladicí tekutině a tím ji odřezávají od povrchu. Interakce těchto proudů ovlivňuje přenos tepla mezi horkým povrchem a tekutinou. Cílem práce je tedy experimentální a výpočtové studium interakce těchto proudů a jejich vliv na intenzitu a homogenitu chlazení.



**Poznámka:**

Řešení problematiky je zajištěno přímo v Laboratoři přenosu tepla a proudění. Stávající laboratorní vybavení bude použito pro řešení této práce. Problematika je navázána na spolupráci se zahraničními průmyslovými partnery z Jižní Koreji, Francie, Itálie a Rakouska. Studentovi budou, v rámci tématu práce, umožněny studijní stáže v zahraničí. Práce v Laboratoři přenosu tepla a proudění je podpořena pravidelným mimořádným stipendiem.

