

HODNOTENIE HABILITAČNEJ PRÁCE

POSUDOK OPONENTA PRÁCE

Názov práce: **Numerické simulácie prúdenia v metalurgických procesoch**

Autor: **Ing. Peter Demeter, PhD.**

Odbor habilitačného konania **hutníctvo**

a inauguračného konania:

Akad. rok: 2020/2021

Oponent: **Ing. Karol Ondrejkovič, PhD.**

Pracovisko oponenta: **ŽP VVC, s.r.o.**

KOMENTÁR OPONENTA HABILITAČNEJ PRÁCE

AKTUÁLNOSŤ ZVOLENEJ TÉMY HABILITAČNEJ PRÁCE:

Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie je modernou fakultou s dlhodobými tradíciami, zameraná na vzdelávanie a výskum v oblasti metalurgických procesov. Dôkazom je funkčná spolupráca s výskumnými organizáciami dvoch najväčších hutníckych podnikov na Slovensku, U. S. Steel Košice, s. r. o. a Železiarne Podbrezová, a. s., prostredníctvom zmluvne ustanovených spoločných pracovísk.

V roku 2018 bol v priestoroch Laboratória simulácie procesov prúdenia Ústavu metalurgie, v spolupráci so ŽP Výskumno vývojovým centrom, s. r. o., ako výskumnnej organizácii Železiarní Podbrezová, a. s. uvedený do prevádzky fyzikálny model medzipanvy v mierke 1:2 s názvom SimCont. Autor predkladanej práce sa aktívne spolupodieľal na stavbe modelu a jeho vylepšeniaci, vďaka čomu získal praktické skúsenosti, aplikovateľné aj v procese výučby. Štandardné merania C a F-kriviek boli doplnené o vizualizáciu rýchlosťných polí vody, ako modelového média tekutej ocele, pomocou špecializovaných softvérových kalkulačiek Navier-Stokesových rovníc, všeobecne známe pod súhrnným názvom „CFD softvér“. Aktivity tohto charakteru spadajú pod činnosť Laboratória numerických simulácií metalurgických procesov SiMeT, ktorého vznik datujeme do rovnakého obdobia. O rok neskôr pribudla počítačová učebňa s výkonnými PC zostavami, vrátane akademických licencii komerčných softvérov Ansys a ProCAST. Pedagogické, ako aj praktické skúsenosti Ing. Petra Demetera, PhD., získané pri riešení prípadových štúdií pre oba menované hutnícke podniky sa tak stali námetom habilitačnej práce s názvom Numerické simulácie prúdenia v metalurgických procesoch. Uvedené skutočnosti vedú k záveru, že aktuálnosť zvolenej témy habilitačnej práce nemožno namietať. Sám autor zdôvodňuje aktuálnosť a potrebu riešenia problematiky hlbším pochopením dejov v útrobách rozložených systémov, profilaktike a optimalizácii modelovanej technológie.

METÓDY SPRACOVANIA HABILITAČNEJ PRÁCE:

Práca je rozčlenená do dvanásťich číslovaných kapitol, vrátane Záveru (11) a Prílohy (12). Prvá kapitola má názov „Popis výroby ocele“. Za názvom nasleduje pomerne vägny opis technológie, vrátane štatistiky výroby ocele za rok 2018 (prečo zrovna tento a nie obdobie rokov?). Kapitola končí podkapitolou 1.1, naplnená stručným, ale výstižným opisom zariadenia plynulého odlievania (ZPO). Autor pokračuje kapitolami dva a tri, ktoré sa rozkladajú na štyroch stranach, až sa napokon dostáva k aplikáciám numerických modelov na ZPO. Z pohľadu čitateľa je toto delenie zbytočné a text by mohol byť obsahom jedinej kapitoly, nanajvýs dvoch. Podobne je to s kapitolami Mechanika tekutín (6) a Matematické modely prúdenia (7.5), ktoré sú obsahovo pribuzné. Štvrtá kapitola je z pohľadu pedagogiky zaujímavá, pretože ponúka prehľad možností využitia modelov na komponentoch ZPO vrátane liacej (hlavnej) panvy. Nejde však o pôvodné modely autora práce, ale o literárnu rešerš. V závere kapitoly je možné nahládnuť do priestorov laboratória SiMeT a počítačovej učebne. Čitatel by na tomto mieste rád videl aj konkrétné zadania príkladov na riešenie CFD úloh pre študentov. Piata kapitola „Možnosti aplikácie numerických simulácií pre ZPO“ je venovaná metodike tvorby C a F-kriviek na vodnom modeli medzipanvy a popisu kategórií objemov tekuťin v medzipanve podľa spôsobu prúdenia. Názov kapitoly nie je celkom v súlade s jej obsahom, čo autor ozrejmuje hned v úvode „Aby bola možnosť využiť numerické simulácie v procese odlievania, je potrebné poznať metodiku merania na pozorovanom zariadení a aplikovať ju pri riešení simulácií.“ Šiesta kapitola zavádzza vybrane veľičiny z mechaniky tekutín a končí uvedením nestacionárnej rovnice kontinuity v zložkovom tvare, vrátane zápisu rovnováhy síl, pôsobiace na elementárny objem prúdiacej tekutiny. Ako už bolo spomenuté, závery tejto kapitoly by bolo pekné prepojiť s matematickými zápismi numerických riešení Navier-Stokesových rovníc v časti 7.5, resp. vybrať z množstva uvedených modelov jeden konkrétny, aplikovaný na prúdenie vodného modelu medzipanvy. Prevažnú časť siedmej kapitoly „Stručný postup riešenia numerických simulácií“ tvorí akýsi zovšeobecnený sprievodca nastavením výpočtového úlohy v Ansys 17.2. Aplikačným ľažiskom práce je ôsma kapitola „Realizované prípadové štúdie v Laboratóriu numerických simulácií metalurgických procesov - SiMet“. V prvých dvoch prípadoch bola vytvorená numerická replika vodných modelov medzipaniev závodov U. S. Steel Košice a Železiarne Podbrezová. Validácia výsledkov výpočtov prebiehala na úrovni C-kriviek, nakoľko fyzikálne modely nedispozujú technológiu PIV (angl. particle image velocimetry). V tretej prípadovej štúdií bolo možné pomocou simulácií prúdenia vody v modelovom kryštalizátore navrhnuť konečné rozmery jeho fyzickej repliky v mierke 1:1. Predposlednú, deviatu kapitolu „Využitie nástroja Discovery Live na simuláciu procesov prúdenia tekutej ocele“ možno chápať ako voľné pokračovanie siedmej kapitoly, nakoľko nástroj Discovery Live patrí do portfólia spoločnosti Ansys. V tejto kapitole je prezentovaný ako rýchly nástroj na parametrické štúdie pri riešení prúdenia vody v modelových medzipanvách závodov U. S. Steel Košice a Železiarne Podbrezová. Posledná, desiatá kapitola s názvom „Diskusia“ je z časti venovaná stručným opisom možností softvérov Abaqus a ProCAST, ktoré patria do širokej rodiny FEM softvérov, pričom druhý menovaný je špecializovaný na úlohy v zlievarenstve. Pri vhodnej úprave názvu 9. kapitoly, alebo zmene konceptu 7. kapitoly by predmetné opisy všetkých softvérových prostredí mohli byť súčasťou samostatnej kapitoly.

DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY HABILITAČNEJ PRÁCE A NOVÉ POZNATKY:

Autor tohto posudku, ako vedúci Oddelenia modelovania a simulácií procesov spoločnosti ŽP Výskumno-vývojové centrum si je plne vedomý náročnosti zostavovania a riešenia numerických modelov. Z prezentovaných výsledkov je zrejme, že autor práce, vrátane pracovného kolektívu jeho najbližších kolegov si prešli kus cesty. Dosiahnutým výsledkom je, že pokiaľ ide o priblíženie sa k výsledkom nameraných C-kriviek fyzikálnych

modelov medzi paniev, alebo o zjednodušenie návrhu konštrukcie vodného modelu kryštalizátora, predstavujú numerické modely perspektívny a užitočný nástroj. V konfigurácii, kedy imitujú správanie sa vody vo vodnom modeli, častočne suplujú činnosť meracích zariadení PIV, zobrazujúce spôsob prúdenia čiastočiek v transparentnej tekutine.

PRÍNOS PRE ĎALŠÍ ROZVOJ VEDY A TECHNIKY (UMENIA):

Prínosom práce je potenciál na rozvoj perspektívneho predmetu v procese výučby na Ústave metalurgie. Numerické modely sú na rozdiel od ich fyzikálnych náprotívkov ohraničené len možnosťami vývojových prostredí a schopnosťami ich tvorcov. Zároveň sú uplatnitelné v rôznych odvetviach priemyslu, vedy a výskumu. Výhodou použitia komerčných softvérov sú pravidelné vydania, podpora produktu s množstvami aplikačných príkladov a pravidelné školenia. Toto je v procese výučby žiadana vlastnosť. Nevhodou je však cena profesionálnych licencí, ktorá spolu s časovou náročnosťou pripravy modelov znížuje mieru návratnosti investovaných prostriedkov technologických firiem. Alternatívou ku komerčným softvérom sú kódy s OpenFOAM. Veľkým problémom je tiež všeobecná úroveň prípravenosti, resp. schopnosti ľudí tieto modely tvoriť a dosiahnuté modelové výsledky správne interpretovať. Ľudia, ktorí tieto modely pripravujú, musia viedieť o modelovanom probléme takpovediac „správne rozmýšľať“, inak vznikajú časovo a dátovo ťažkopádne diela s obrovskými nárokmi na výpočtový výkon, generujúce desiatky farebných obrázkov veľičinových polí s nízkou informačnou hodnotou.

PRIPOMIENKY A POZNÁMKY K HABILITAČNEJ PRÁCI:

Ambíciou autora habilitačnej práce bolo okrem prezentácie prípadových štúdií poukázať aj na možnosti využitia numerických modelov v širšom spektre, od procesu výroby ocele až po odlievanie. Vďaka tomu bol nútensý čerpať informácie z rôznych manuálov a článkov na úkor prehľadnosti textu. Práca obsahuje až 134 obrázkov (mimo obrázkovej prílohy), čo je pri rozsahu 122 strán pomerne dosť. Formátovanie textu je málo kompaktné, zvolený typ písma sa hodí do skôr do elektronických prezentačných materiálov, nie do tlače. Niektoré kapitoly by bolo vhodné prekoncipovať alebo zlúčiť. Spôsob vyjadrovania autora práce je miestami príliš hovorový, netechnický a je tak v kontraste so spoločenským významom práce tohto druhu.

OTÁZKY K RIEŠENEJ PROBLEMATIKE:

Výsledky riešenia numerického modelu Ansys pre obe medzipanvy (obr. 60, 62, 96, 97 ...) sa vyznačujú ľavo-pravou symetriou. Bolo by možné pri výpočte uvažovať so symetriou a ušetriť tak polovicu výpočtových elementov?

Na obrázkoch 66, 67 a 68, 69 sú znázornené C-kriky pre rýchlosť odlievania 0,8 a 1,2 m/min. Pri meraní na vodnom modeli pre nižšiu rýchlosť odlievania je bezrozsenná koncentrácia v čase 500 sekúnd blízka nule, zatiaľ čo numerický model predpovedá hodnotu blízku 0,4. Aký parameter numerického modelu má na toto vplyv?

Ako by sa zmenil charakter prúdenia v medzipanve a kryštalizátore, ak by ste v numerických modeloch uvažovali tekutú ocel' namiesto vody?

Kryštalizátory moderných ZPO disponujú elektromagnetickým miešaním (mould electromagnetic stirring, M-EMS). Bolo by možné implementovať točivý účinok magnetického poľa na taveninu v kryštalizátore? Na aké veličiny by aplikácia M-EMS mala najväčší vplyv?

SPLNENIE SLEDOVANÝCH CIELOV HABILITAČNEJ PRÁCE:

Cieľom predkladanej práce bolo prezentovať možnosti využitia numerických simulácií v metalurgických procesoch, vrátane prezentácie vlastných výsledkov z Laboratória simulácie procesov prúdenia LSPP a Laboratória numerických simulácií metalurgických procesov SiMet, čo je možné považovať za splnené.

CELKOVÉ ZHODNOTENIE HABILITAČNEJ PRÁCE A ZÁVER:

Obhajobou habilitačnej práce sa symbolicky uzatvára doterajšie pôsobenie pedagogického pracovníka fakulty a otvára sa pred ním nové, náročnejšie obdobie, plné zodpovednosti za náplň predmetu a vedomosti študentov. Z toho titulu musí ašpirant na titul docent preukázať značnú dávku samostatnej tvorivej činnosti pedagogického, ako aj výskumného charakteru, ktoré sú v súlade s aktuálnymi trendami v daných oblastiach. Oponent nedokáže objektívne zhodnotiť mieru samostatnej tvorivej činnosti ašpiranta v procese výučby na fakulte. Na základe uvedených skutočností, že laboratórium SiMet a príslušná počítačová učebňa vznikali pod jeho vedením, predpokladá oponent jeho potrebnú kvalifikáciu. Do istej miery zavážia aj prípadové štúdie vypracované pre spoločnosť ŽP Výskumno-vývojové centrum, s. r. o. [59, 60], ktorých bol spoluautorom a oponent je oboznámený s ich obsahom. Autorovi vyšli v roku 2019 návody na cvičenia Online simulácie výroby, spracovania a odlievania ocele na platforme steeluniversity.org [9]. Oponent preto odporúča prácu k obhajobe, avšak s výhradami, spomenutými v časti posudku Pripomienky a poznámky k habilitačnej práci.

Predloženú habilitačnú prácu na základe predchádzajúceho hodnotenia

ODPORÚČAM prijať k obhajobe

a po jej obhájení navrhujem udeliť vedecko-pedagogický titul "docent (doc.)"

Podpisom na tomto posudku zároveň súhlasím s licenčnými podmienkami obsiahnutými v licenčnej zmluve na použitie posudku záverečnej práce, ktorá je súčasťou tohto posudku.

Dátum 14.05.2021

podpis autora posudku