

## Oponentský posudok habilitačnej práce

**Meno uchádzača:** Ing. Martin Klaučo, PhD.  
**Pracovisko :** Slovenská technická univerzita v Bratislave,  
Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky,  
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie v Bratislave  
**Téma habilitačnej práce: Pokročilé aspekty prediktívneho riadenia**  
**Študijný odbor:** 5.2.14 Automatizácia  
**Oponent :** prof. Ing. Štefan Kozák, PhD., Fakulta informatiky, Pan-European  
University, Tematínska 10, 851 05 Bratislava

Oponentský posudok je vypracovaný na základe nasledovných podkladov:

- a. Poverenie za oponenta predsedom VR FCHPT STU v Bratislave, prof., Ing. Antonom Gatialom, DrSc.
- b. Habilitačná práca Ing. Martina Klauča, PhD. , (v písomnej forme)
- c. Prílohy (zaslané elektronicky) k žiadosti uchádzača o začatie habilitačného konania: *Zoznam citácií vedeckých prác, Prehľad pedagogickej činnosti, Prehľad publikačnej činnosti a ine vedeckej aktivity, Protokol o kontrole originality habilitačnej práce.*
- d. Prehľad plnenia kritérií uchádzača pre habilitáciu docentov na FCHPT STU Bratislava.

Predložené dokumenty obsahujú: *habilitačnú prácu* napísanú v slovenskom jazyku (95 strán), vybrané významné publikácie habilitanta, *prehľad pedagogických a výskumných aktivít a plnenie kritérií* stanovených vedeckou radou Fakulty chemickej a potravinárskej technológie v Bratislave.

Súbor publikovaných prác žiadateľa je širokospektrálny, podnetný, zaujímavý a využiteľný tak vo výučbe ako aj vo výskume praxi a predstavuje významný príspevok v oblasti rozvoja odborov Automatizácia, Kybernetika a Umelá inteligencia.

Z predložených dokumentov je evidentné, že habilitant sa vo svojej vedeckej a pedagogickej činnosti zaoberá výskumom, výčbou, vývojom a implementáciou pokročilých metód pre optimálne riadenie zložitých procesov.

Vysoko odborný a vedecký charakter publikovaných prác svedčí o tom, že uchádzač má vysoké odborné vedomosti tak prírodovedného charakteru ako aj z oblasti automatizácie, kybernetiky, metód výpočtovej inteligencie, informačných technológií a priemyselnej praxe. Svedčí o tom aj počet publikácií, citácií a ohlasov, akceptovanie uchádzača vedeckou komunitou v predmetnej oblasti doma a vo svete, organizačné schopnosti viesť študentov a odborné kolektívy vo výskumnej a vývojovej oblasti využívajúcej pokročilé metódy a algoritmy riadenia pre široké spektrum aplikácií..

Charakter predložených publikovaných prác Ing. Martina Klauča, PhD. je teoreticko-praktický. Je vytvorený ako súbor samostatných prác a ako kolektívny súbor prác dvoch a viacerých autorov príspevkov publikovaných v časopisoch a na významných vedeckých konferenciách. V predložených publikačných prácach uchádzač predstavuje významnú úlohu ako spolutvorca pokročilých smerov v oblasti výskumu metód automatického riadenia pre aplikácie v široko- spektrálnej oblasti.

Habilitačná práca je prierezová, zameraná na opis, charakteristiku moderných trendov automatického riadenia ako multidisciplinárnej metodiky, ktorá sa opera o pokročilé formy a metódy automatického riadenia s využitím vybraných metód optimalizácie, výpočtovej inteligencie, ktoré zvyšujú kvalitu konvenčných metód riadenia a sú využiteľné pre modelovanie, optimálne riadenie riadenie zložitých procesov v priemyselnej oblasti.

Habilitant vo svojej práci prepojil, rozšíril a modifikoval konvenčnú metodiku automatického riadenia využívajúcu pôvodný viacúrovňový supervízový „organizačný“ princíp riadenia s efektívnym prepojením na metódy prediktívneho riadenia a umelej inteligencie

Dominantnou oblasťou potvrdzujúcou vysoký vedecký potenciál habilitanta je najmä oblasť výskumu, vývoja a aplikácie pokročilých metód prediktívneho riadenia, kde v posledných rokoch došlo vo svete k ich efektívnemu a najviac využívaniu pre optimálne riadenie najmä zložitých priemyselných h procesov Habilitant vo svojej práci prezentoval a verifikoval pokročilé prístupy prediktívneho riadenia obohatené o nové metódy umelej inteligencie z pohľadu ich efektívnej realizácie a najmä nových numerických postupov, časovej realizácie riadenia a ich nožnej algoritmizácie pre efektívne využitia v priemyselných aplikáciách.

Dosiahnuté výsledky habilitanta v predmetnej výskumanej oblasti sú tak teoretického ako aj experimentálneho charakteru čiastočne verifikované na demonštračných príkladoch ozrejmujuúcich výhody a a nevyhody jednotlivých najviac využívaných metód prediktívneho riadenia. Nová metodika explicitného riadenia s podporou umelých neurónových sietí predstavuje významný prínos k ďalšiemu rozvoju a zefektívneniu praktického využitia prediktívnych algoritmov riadenia s podporou umelých neurónových sietí. Bolo by však vhodné tieto experimentu bližšie špecifikovať a opísať realizáciu a podrobnejší opis a analýzu architektúry siete, kvalitu modelovania, opis výhod a nevýhod aplikácie metódy strojového učenia ako aj zovšeobecnenie rozšírenej metodiky explicitných algoritmov prediktívneho riadenia metodiky, ktoré by sa mohli lepšie poukázať na špecifiká tejto aplikácie, (modelovanie a riadenie zložitých nelineárnych procesov).

Dôležitý vedecký prínos habilitanta predstavuje využitie návrh novej metodiky explicitného prediktívneho riadenia pomocou metód umelej inteligencie pre klasifikáciu aktívnych ohraničení. Navrhovaný nový prístup habilitantom predstavuje dvoj etapový proces. Kým prvá fáza, realizovaná offline spôsobom umožní vygenerovanie aktívnych ohraničení, druhá fáza realizuje výpočet riadiaceho zásahu na základe odhadu stavových premenných .

Na základe najnovších svetových trendov v problematike optimálneho riadenia habilitant efektívne prepojil a predstavil nové možnosti výskumu a aplikácií moderných metód prediktívneho riadenia v kombinácii s metódami umelej inteligencie ako prostriedku na zefektívnenie inicializácie metódy aktívnych množín čo významne ovplyvní zrýchlenie výpočtových algoritmov MPC aj pre procesy s rýchlou dynamikou.

Odborné znalosti a schopnosti habilitanta vo vedecko-výskumnej oblasti boli a sú transformované do procesov výučby na FCHT STU v Bratislave. Uchádzač sa významnou mierou pričínil o vysokú úroveň výučby a zavádzanie nových progresívnych predmetov na FCHTF STU v Bratislave. Širokospektrálny odborný potenciál uchádzača je zrejmý aj z predmetov (17)., ktoré zabezpečuje a podieľa sa na výčbe pre bakalárske a inžinierske štúdium Moderné formy výučby uplatňuje najmä v predmetoch z oblasti automatizácie, kybernetiky, umelej inteligencie a IKT kde využíva nové moderné formy výučby a moderné podporné programové systémy pre tvorbu a verifikáciu algoritmov automatického riadenia.

V súlade s novými trendmi výučby a výskumu nových technológií založených na pokročilých metódach automatického riadenia a výpočtovej inteligencie uchádzač neustále modifikuje a rozširuje konvenčné spôsoby vzdelávania o evolučné formy prostredníctvom elektronických interaktívnych metód výučby.

Otázky k habilitačnej práci:

1. Charakterizujte pokročilé formy MPC regulátorov, z čoho vychádzajú a čo je dôvodom ich neustálemu rozširovania a modifikácie. Je dvojúrovňová štruktúra MPC riadenia významným prínosom konvenčných MPC prístupov ?
2. Aký je algoritmus modifikácie žiadaných hodnôt pre (nižšiu) procesnú úroveň riadenia za účelom zvýšenia „kvalitatívnych“ parametrov ? Generovanie žiadaných

hodnôt pre nižšiu úroveň riadenia tvorí základný princíp „koordinácie“ regulátorov na nižšej procesnej úrovni ?

3. Porovnanie kvality jednotlivých MPC prístupov je vyjadrené kritérium kvality (napr. tab.2.1), je centralistický prístup najlepší, v čom spočíva stratégia decentralizovaného prístupu riadenia, čím sa líši od MPC s koordináciou ?
4. Na akom princípe je založená metodika pre priebežnú priebežnú cieľavedomú zmenu váhových matíc v účelovej funkcii (signifikantný vplyv na kvalitu prediktívneho riadenia) ?
5. Optimálna štruktúra neurónovej viacvrstvovej siete je najdôležitejšou časťou kvality riadenia, Aký postup bol zvolený pri návrhu štruktúry NN siete. Jej tréning - prvá fáza by mala vytvoriť optimálnu štruktúru s použitím tzv. „pruning“ techník. Bola NN sieť vytvorená heuristicky ? Je 3 vrstvová neurónová sieť optimálnou štruktúrou ? Inicializácia siete je však (odhad parametrov váhových koeficientov) je zväčša realizovaný náhodne, čo môže znevýhodniť pôvodný zámer zlepšenia MPC algoritmov so zámeorm efektívne využívať metódy výpočtovej inteligencie ?
6. Demonštratívny príklad prezentovaný v habilitačnej práci - dvojité integrátor neumožňuje plne zovšeobecniť túto kvalitnú modernú kombinovanú metodiku pre aplikáciu stratégií NN riadenia pre zložité nelineárne procesy riadenia. Testovaný príklad, ktorý predstavuje dynamický systém druhého rádu je naozaj iba demonštračný na testovanie funkčnosti navrhovanej dvojfázovej metodiky aproximácie konvenčnej MPC metodiky s neurónovými modelmi. Je možné z toho vyvodit' všeobecné trendy v modernizácii explicitných foriem prediktívneho riadenia ?.

Samotná aplikácia viacvrstvovej neurónovej siete pre „vymedzenie aktívnych ohraničení môže byť významným prínosom pre zefektívnenie optimalizačných algoritmov a časovej realizácie výpočtov algoritmov prediktívneho riadenia tak aby bol možné výpočet optimálneho riadenia realizovať aj na nízkonákladových výpočtových platformách. Aké sú požiadavky na HW a SW prostriedky a systémy pre implementáciu metód NN prediktívneho riadenia v kombinácii s explicitnou stratégiou MPC ? Opíšte postup pri návrhu explicitných MPC regulátorov pri metodike založenej na priebežnom výpočte zmien hodnôt váhových matíc.

Uchádzač spĺňa stanovené kritériá pre vymenúvanie za docenta. Na základe predložených dokumentov a údajov je možné konštatovať že:

- I. Pedagogická spôsobilosť habilitanta spĺňa požiadavky na vymenovanie za docenta podľa pravidiel stanovených Vedeckou radou Fakulty chemickej a potravinárskej technológie v Bratislave: prednášal vybrané kapitoly (7) , vedie semináre a laboratórne cvičenia v( 10) predmetoch, je autorom (1) skrípt (elektronická forma) a spoluautor (4) kapitol vo vedeckých monografiách. Bol vedúcim (6) záverečných prác v BŠ a vedúcim (8) diplomových prác v IŠ (z toho 7 diplomových prác je v anglickom jazyku). V súčasnosti sa podieľa na školení dvoch doktorandov.
- II. Publikačná aktivita Ing. Martina Klauča, PhD. je zaujímavá, širokospektrálna a spĺňa požadované počty pôvodných recenzovaných vedeckých prác registrovaných v citačných databázach Web of Science a Scopus. O vysokej odbornej vedecko-výskumnej činnosti uchádzača svedčia aj publikované a citované príspevky v časopisoch a na významných medzinárodných podujatiach. Celkový počet citácií (SCIE) uchádzača je (111, H-9), čo svedčí o jeho uznaní a akceptovaní vedeckou komunitou doma i v zahraničí. Celkový počet pôvodných vedeckých prác v časopisoch registrovaných v SCOPUS-e, alebo Web je (8). Je spoluautorom vedeckej

- (1) monografie v zahraničnom vydavateľstve Springer-Verlag. Habilitant je spoluautor dvoch užitočných vzorov (podaných v rokoch 2019 a 2020).
- III. Uchádzač je uznávaným odborníkom tak doma ako aj v zahraničí. Je to predovšetkým v problematike pokročilých metód automatického riadenia, výpočtovej inteligencie a IKT. Svedčí o tom aj jeho zapojenie do riešenia domácich a zahraničných projektov a pobyt na vedeckých stážach v zahraničí (USA, Dansko, Belgicko).
- IV. Uchádzač je schopný tvorivý pedagogický a výskumný pracovník. Aktívne sa podieľal a v súčasnosti aj podieľa na riešení projektu APVV (1) Absolvoval vedecké pobyty na významných univerzitách vo svete (USA – Berkeley and Belgicko - KU Leuven). Je členom redakčných rád odborných a vedeckých časopisov, predsedom národného organizačného výboru IEEE - 23rd International Conference Process Control, podpredsedom 7th IFAC Conference on Nonlinear model Predictive Control (2021), podpredsedom Československej odbornej sekcie IEEE - Control Systems a Laureátom Ceny za vedeckú odbornú literatúru (2019) v kategórii technické vedy a vedy o zemi (Literarný fond).

**Záver:**

Predložené podklady na posúdenie aktivít za účelom habilitačného konania Ing. Martina Klauča, PhD. a jeho vymenúvania za docenta v študijnom odbore 5.2.14 Automatizácia potvrdzujú jeho vysokú odbornú vedecko-výskumnú a pedagogickú spôsobilosť. Na základe posúdenia súboru publikovaných prác, habilitačnej práce ako aj sumárnych tabuliek a prehľadov pedagogických, výskumných a iných odborných aktivít je možné konštatovať, že menovaný spĺňa požadované kvantitatívne a kvalitatívne ukazovatele pre menovanie za docenta stanovené Vedeckou radou radou Fakulty chemickej a potravinárskej technológie v Bratislave STU v Bratislave.

Odporúčam preto Vedeckej rade FCHTF STU v Bratislave akceptovať predložené písomné podklady a na základe predloženej habilitačnej práce a dokladového materiálu k Žiadosti o vymenovanie za docenta a ohodnotených aktivít schváliť návrh na vymenovanie uchádzača za docenta v študijnom odbore 5.2.14 Automatizácia.

V Bratislave, 14.04.2022

  
prof. Ing. Štefan Kozák, PhD.