

OPONENTNÍ POSUDEK HABILITAČNÍ PRÁCE

Habilitant: **Ing. Vladimír Bulej, PhD.**
Pracoviště: **Žilinská univerzita v Žilině**
Strojnícka fakulta
Katedra automatizácie a výrobných systémov
Název práce: **Trendy vo výskume, vývoji a aplikáciách mechanizmov s paralelnou kinematickou štruktúrou**
Vědní obor: **Strojárstvo**
Oblast výzkumu: **Strojárstvo**
Evid. číslo práce: **28230420195001**
Rozsah práce: **150 číslovaných stran, vyvázaných v pevné vazbě**

o Úvod do problematiky oponentního posudku:

Oponent habilitační práce byl jmenován po projednání vědeckou radou Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity v Žilině dne 26. 2. 2019, v souladu se zněním příslušného zákona SR. Základem tohoto posudku habilitační práce je kritický rozbor jejího obsahu, její vědecká a pedagogická úroveň, dále původnost obsahu a též i způsob a forma jejího zpracování z didaktického hlediska. Níže je uvedeno hodnocení obecně platných kritérií, které se ve vědecké komunitě používají pro oponování a hodnocení kvality vysokoškolské kvalifikační práce, kam patří i habilitační práce. Na konci oponentního posudku je uveden souhrn odpovědí na obecně platné otázky, posuzující kvality nejen práce, ale i dosavadní pedagogicko-vědeckou práci habilitanta, jakož i shrnující závěr. K oponování habilitační práce byly oponentovi předloženy tyto písemné dokumenty:

- a) Habilitační práce vypracovaná v Žilině v roce 2018 – details viz záhlaví výše.
- b) Podrobný seznam výstupů (plnění kritérií) pro žádost o habilitační řízení ve studijní oboru Strojírenství Ing. Vladimír Bulej, PhD., KAVS, SjF, ŽU, Január 2019, Žilina.
- c) Hodnocení pedagogické činnosti a dosažených výsledků ve výchovně-vzdělávací oblasti Ing. Vladimíra Buleje, PhD., vypracoval prof. Dr. Ing. Ivan Kuric, vedoucí KAVS, v Žilině dne 15. 1. 2019.
- d) Hodnocení vědecko-výzkumné činnosti a dosažených výsledků Ing. Vladimíra Buleje, PhD., vypracoval prof. Dr. Ing. Ivan Kuric, vedoucí KAVS, v Žilině dne 15. 1. 2019.
- e) Životopis Ing. Vladimír Bulej, PhD., vypracováno v Žilině dne 15. 2. 2019

o Aktuálnost tématu řešené habilitační práce:

Oponentovi předložená a jím posuzovaná habilitační práce se zabývá současnou (aktuální) problematikou z oblasti výzkumu, vývoje a aplikací mechanismů, které mají paralelní kinematickou strukturu (v textu dále i jako zkratka **PKS**) a to nejen ve Slovenské republice, ale i v zahraničí (v Evropě, ve světě).

Jak známo z historie techniky, došlo za posledních 25 až 30 roků, tedy v 90. letech 20 století ke „znovuobjevení“ mechanismů s paralelní kinematickou strukturou. Což je zpětným

pohledem logické, poněvadž již byly téměř dokonale analyticky popsány všechny výhody a nevýhody strojů a zařízení, jakož i průmyslových robotů se sériovou kinematickou strukturou.

Ačkoliv byly mechanismy s PKS známy již bezprostředně v poválečném období 2. světové války (viz postupně na sebe navazující patenty Gwinmeta, Pollarda a Stewarta), jejich vážně zamýšlenému výzkumu, aplikaci a rozšíření ve strojírenské i nestrojirenské praxi bránily potíže, spojené s jejich řízením, tedy s ovládním jednotlivých pohonů tak, aby byla vykonána potřebná dráha – poloha se zrychlením a rychlostí koncového členu mechanismu, což je v počátcích jevilo téměř jako nemožné. Avšak s rozvojem osobních počítačů (PC) a z nich odvozených průmyslových PC se otázka řízení PKS stala velmi aktuální. Sice později nadšení ze strojů a robotů s PKS postupně opadalo, ale PKS se ujaly v podobě úspěšně nasazených robotů, které se nazývají Delta roboty, které našly svoje uplatnění tam, kde jsou využívány jejich přednosti a výhody. Z hlediska vývoje PKS však skutečností zůstává, že v oblasti konstrukce výrobních strojů s PKS po překotném vývoji a nadšení pro novou koncepci poněkud ustal. Nicméně vývoj šel dále a na PKS logicky navazovaly nové koncepce strojů a průmyslových robotů, mající koncepci hybridních kinematických struktur.

Vzhledem k tomu, že se problematikou vývoje machineware (MW), HW, SW a brainware (BW) prostředků pro stroje či roboty s paralelní nebo hybridní kinematickou strukturou (**HKS**) i nadále zabývají vědecko-výzkumná pracoviště po celém světě (zejména ta bohatě finančně podporovaná) je nepochybné, že obsah habilitační práce Ing. Vladimíra Buleje, PhD., který shrnuje, systematicky třídí a sumarizuje aktuální trendy ve vývoji, výzkumu a aplikacích mechanismů s PKS, je i nadále aktuální. Z pohledu oponenta habilitační práce je aktuálnost tématu splněna.

- **Definice problematiky paralelních kinematických struktur, jejich trendy ve vývoji a aplikacích:**

Habilitační práce má celkem 150 číslovaných stran a je členěna do čtyř kapitol, přičemž kapitolu číslo 4 je možno považovat za autorsky zcela původní a prezentuje dosažené výsledky výzkumu a vývoje mechanismů s PKS na pracovišti autora, tedy na KAVS Sjf ŽU.

V úvodních kapitolách dizertace jsou uvedeny historické zajímavosti ze stavby a postupně získávaných znalostech o PKS od počátků (cca rok 1900) až do období po roce 2000, kdy byl zřejmý nevýraznější zájem a rozvoj PKS. Nejsou opomenuty trendy ve vývoji a aplikacích PKS, kdy celkem logicky se začaly uplatňovat v manipulační a robotické technice a posléze i v konstrukci výrobních strojů a zařízení, a to jak ve světě, tak i na domácí půdě ŽU v Žilině a Slovenska. S potěšením kvituji, že byl poměrně podrobně rozebrán aktuální stav ve výzkumu PKS, s uvedením center v Evropě a ve světě, včetně vedoucích osobností světového významu, doposud takto v žádném dostupném zdroji nikde nebyly uvedeny.

Čtvrtá stěžejní kapitola je věnována výzkumu a vývoji PKS na pracovišti habilitanta, přičemž se autor práce hlouběji věnuje vlastním a původním výsledkům, metodám a prostředkům, které byly použity v jeho práci, související s tvůrčí činností projektanta, konstruktéra nebo vědecko-výzkumného pracovníka, hledajícího doposud neznámé a neprobádané vlastnosti a charakteristiky nového technického objektu, kterými jsou mechanicky s PKS nebo HKS.

Aplikace PKS či HKS, které jsou spíše známy jako Delta roboty, totiž obnáší analytickou práci v oblasti jejich koncepce a její přenesení do podoby nehmotných modelů (matematických, virtuálních), ale také práci směřující k aplikaci nově nabytých poznatků a výsledků do podoby řízení PKS nebo HKS, jako reálně vyrobeného stroje v podobě prototypu, podrobeného experimentům z hlediska získání jejich vlastností a charakteristik. Tyto nové, teoreticky nabyté poznatky jsou právě výstupem pro aplikaci v praxi.

Lze tedy tvrdit, že z tohoto pohledu oponenta habilitační práce jsou v práci předložené výsledky v oblasti vlastního výzkumu a vývoje koncepcí mechanismů s PKS a HKS, dále vytvoření matematických modelů kinematických struktur, jejich simulace v prostředí Matlab/Simulink, návaznými konstrukčními návrhy prototypů takovýchto mechanismů s kýženým vyústěním do praktické aplikace, byly beze zbytku splněny.

- **Formální úprava habilitační práce a její jazyková úroveň:**

Zde je nutno podotknout, že z hlediska jazykové správnosti (dle pravidel spisovného jazyka slovenského) se oponent touto záležitostí z pochopitelných důvodů nezaobíral. Nicméně jasný a zřetelný způsob vyjadřování, včetně užívání odborných termínů svědčí o jazykové vyspělosti a odborné vyspělosti a bohaté vlastní zkušenosti habilitanta.

Obsahově je práce srozumitelně a přehledně členěna. Velikost písma a obrázky jsou dostatečně velké a v dobré rozlišovací úrovni. Použitý vědecký jazyk je a bez vážných závad co do terminologie a obsahu.

Ze seznamu použité literatury je zřejmé, že habilitant v průběhu dlouhých roků odborné a vědecko-výzkumné práce postupně prostudoval a následně aplikoval velké množství podkladů, ze kterých získal velmi dobrý přehled o soudobé úrovni řešené problematiky a vytvořil tak předpoklady pro zdárné řešení vlastní odborné a vědecko-výzkumné práce na KAVS, což vyústilo do podoby habilitační práce. Z dostupných podkladů pak vyplývá i přenos poznatků směrem ke studujícím na domovské katedře, ale i mimo ni. Za klad považuji množství odkazů na vlastní vědecko-výzkumnou činnost a odkazy na též vlastní publikační činnost v oblasti PKS.

- **Závěr oponentního posudku je členěn do několika podkapitol, které jsou odpověďmi na obecně platné otázky kladené vědeckou komunitou během habilitačního řízení, i z hlediska obsahu a kvalitativní úrovně habilitační práce takto:**

1. Odpovídá námět oboru habilitace, je aktuální z hlediska současného stavu oboru?

Ano, námět zcela odpovídá oboru habilitace. Její aktuálnost je i přes jistý útlum zájmu v ryze strojírenských aplikacích i nadále aktuální. Paralelní kinematické struktury našly výrazné uplatnění v podobě Delta robotů a mikropolohovacích zařízení a také tam, kde jsou využívány jejich přednosti, tedy v měřicí technice. Příkladem budiž komerčně velmi úspěšné komparační zařízení Renishaw Equator 300, které v minulých letech získalo o Zlatou medaili Mezinárodního strojírenského veletrhu v Brně.

2. Byly podstatné části habilitační práce publikované na potřebné vědecké úrovni?

Ano, lze tvrdit, že habilitační práce je ucelená, promyšlená a všechny její kapitoly lze považovat za podstatné. Také lze tvrdit, že předložená habilitační práce má znaky vědeckosti. To v reálu znamená, že habilitantem byly při prezentaci výzkumu a vývoje jeho práce na KAVS (viz také kapitola 4) popsány jím používané vědecké metody práce, což je logický, obsahový a časový sled posloupností nebo procesů, jím používaných při vědeckém výzkumu PKS. Cílem studia PKS habilitantem bylo získat nové znalosti a vědomosti o doposud neprobádaných vlastnostech a charakteristikách PKS. Také je zřejmé, že vědecký postup a dosažené výsledky musí být potvrzeny vědeckou a širší odbornou komunitou v podobě kladných ohlasů. Z předložených podkladů je zřejmé, že u osoby Ing. Vladimíra Buleje, PhD., toto bylo splněno.

3. Jsou uvedené práce publikované v renomovaném, recenzovaném vědecko-odborném tisku?

Ano, za sledované období bylo habilitantem publikováno několik cenných publikací (ve spolupráci s ostatními členy týmu) v časopisech na národní i mezinárodní úrovni. Koneckonců o tom svědčí i záznamy o hlasech jeho prací dle databáze Web of Science.

4. Vyplývá z uváděných prací uchazeče, že se jedná o pracovníka s významnou vědecko-pedagogickou erudicí?

Ano, z předložených podkladů k habilitačnímu řízení jednoznačně vyplývá, že se jedná o perspektivního pracovníka ŽU, SjF, KAVS, majícího požadované osobnostní vlastnosti pro vědeckou i pedagogickou práci. Důkazem je bohatý soupis činností a aktivit v Podrobném seznamu výstupů (plnění kritérií).

5. Prokazuje habilitační práce svojí formou, obsahem a zpracováním velmi dobré didaktické schopnosti pracovníka?

Ano, habilitační práce výše uvedené splňuje. Písemná práce je čtivá, a je srozumitelná i pro laika, což je pocta autorovi habilitační práce, kterou oponent vysoce hodnotí. Jedna stránka habilitace je její písemný záznam, druhá stránka osobnosti habilitanta je i ústní projev a vyjadřování k tématům PKS nebo HKS. Oponent na tomto místě potvrzuje vysokou odbornou vyspělost habilitanta (jakož i lidskou), osobně zjištěnou z mnoha setkání při různých příležitostech.

6. Prokazuje odezva na práce a stávající činnost uchazeče nepochybné uznání vědecko-odbornou veřejností?

Ano, zcela bez pochyby, což je dokázáno podrobným výpisem z databází Web of Science a Scopus.

Závěrečné shrnutí kvalitativní a obsahové úrovně habilitační práce Ing. Vladimíra Buleje, Ph.D. oponentem habilitační práce:

Předložená habilitační práce Ing. Vladimíra Buleje, Ph.D. je zaměřena na soudobou, stále se rozvíjející (více či méně intenzívně) a na rovněž i velmi zajímavou problematiku výzkumu, vývoje, realizace a aplikace mechanismů s PKS. Jak známo, na mnoha světových pracovištích i na ŽU v Žilině, byly již v minulosti byly úspěšně vyvinuty a aplikovány výrobní stroje a zejména roboty s PKS. Tato rozsáhlá činnost obnáší aktivity v oblasti aplikovaného výzkumu, který se později odráží v projekci a konstrukce výrobních strojů a průmyslových robotů s PKS. To se týká zejména vývoje machineareových (MW) částí strojů nebo robotů s PKS, ale ze širšího pohledu i vývoje zcela nezbytných softwarových (SW) a hardwarových produktů (HW), počítačové simulace a řízení elektro-mechanických částí strojů obvyklých (konvenčních), ale v případě předložené habilitační práce i moderních, tedy nekonvenčních koncepcí mechanismů s PKS a jejich odvozeninami v podobě HKS.

Podle mého názoru předložená habilitační práce splňuje soudobé požadavky, kladené na tento druh nejvyšší úrovně vysokoškolské kvalifikační (pedagogicko-vědecké) práce z příslušného vědního oboru. Nové koncepce řešení, moderní přístupy a invence tvůrců strojů, zařízení a průmyslových robotů, vedoucí k novým poznatkům v oblasti konstrukce s PKS, to je jeden ze způsobů odborné, vědecko-výzkumné práce na technických univerzitách (naneštěstí za často nepříznivých podmínek, což je realita).

Po stránce formální má habilitační práce velmi dobrou úroveň (grafické provedení, použitý odborný jazyk atd.). Habilitační práce je co do obsahu sdělení podstatných informací vyvážená, bez zbytečných formálních nedostatků. Je patrné, že habilitant má výborný přehled v řešené problematice a současně i schopnost analyzovat problematiku a hledat, nalézat a řešit dílčí, doposud známé i neprobádané problémy ze sledované oblasti PKS nebo HKS a také dokáže účinně spolupracovat v týmu řešitelů projektů, jakož i předávat svoje poznatky a nabyté zkušenosti dalším generacím studentů technické univerzity v podobě přednášek.

Závěrem tedy s uspokojením konstatuji, že k oponování předložené habilitační práce má požadovanou úroveň, je uceleně napsána bez námitek oponenta k jejímu obsahu nebo formě. Doposud dosažené výsledky vlastní pedagogicko-vědecké práce uchazeče a jejich ohlas ve vědecké komunitě, odpovídají požadavkům habilitačního řízení k udělení vědecko-pedagogického titulu docenta na Žilinskej univerzitě v Žilině.

Během obhajoby habilitační práce doporučuji položit habilitantovi tyto doplňující otázky:

- *Upřesněte, co se rozumí vývojem PKS, jaké jsou prostředky vývoje, uveďte alespoň jeden příklad výsledku vývoje?*
- *Upřesněte, co se rozumí výzkumem PKS? Definujte okruhy problematiky výzkumu, jaké má prostředky, metody, matematický aparát?*
- *Z odborné literatury je známo, a z Vaší habilitační práce to též vyplývá, že stroje a roboty s PKS nebo HKS mají během provádění pohybu koncového členu kinematického řetězce proměnlivé vlastnosti a charakteristiky. Příkladem budiž geometrické limity, přítomnost singulárních poloh pohybujícího se koncového členu v pracovním prostoru, tření v kloubech a heterogenní rozložení vlastností v pracovním prostoru. Lze odhadnout, jak se bude postupovat dále na potlačení těchto méně příznivých vlastností a zda vůbec má smysl se zmiňovaným problémům věnovat nejen z hlediska teorie, ale i aplikace v praxi?*
- *Dají se odhadnout směry Vašeho dalšího působení a výzkumu a vývoje ve sledované oblasti PKS a HKS na Vašem mateřském pracovišti?*

Doc. Dr. Ing. Radek Knoflíček
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně
Technická 2
CZ-616 69 Brno

V Brně, dne 31. 3. 2019