

## POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

<i>Autor práce</i>	<b>Ing. Miroslav Malaga</b>
<i>Téma DisP</i>	<b>Architektura HW Learning factory s digitálním dvojčetem v konceptu Industry 4.0</b>
<i>Školitel</i>	<b>doc. Ing. Zdeněk Ulrych, Ph.D.</b>
<i>Studijní program</i>	<b>P0715D270029 Průmyslové inženýrství a management</b>

*Oponent disertační práce:* **Doc. Ing. Jan Horejc, Ph.D.**, FS/ČVUT Praha

### Úvod

Práce zpracovává vysoce aktuální téma, jehož řešení je nesporně velice přínosné a které musí nutně interesovat jak akademické či vědecké pracovníky v dané oblasti, tak i představitele všech podniků a institucí, neboť – zejména dnes při nedostatku pracovních sil – hledají cestu k dalšímu rozvoji těchto institucí. Práce přináší velké množství jak stávajících, tak i nových informací a poznatků, prokazuje vysoké znalosti doktoranda zejména v oblasti simulace a modelování, obsahuje několik zcela nových originálních návrhů na řešení definovaných problémů a zahrnuje i nové impulsy, využitelné pro další rozvoj oboru průmyslového inženýrství.

#### a) Zhodnocení významu pro obor

Disertační práce přináší návrh řešení aktuálního tématu, důležitého hned v několika ohledech. Jednak je přínosné z hlediska oboru průmyslového inženýrství, a to zejména z hlediska výuky budoucích pracovníků v tomto oboru. Dále má svůj význam ve vztahu k našim aktivitám v oblasti důslednějšího uplatnění digitalizace i iniciativy Průmysl 4.0 v našich průmyslových podnicích. A konečně má i svůj nesporný přínos z hlediska účelného propojování těchto dvou (a návazně i dalších) oblastí. Práce přináší obrovské množství poznatků a informací, které podrobuje nekompromisní analýze, vyvozuje z nich adekvátní závěry a přináší jednak návrh reálného řešení v současných podmínkách, ale zejména ukazuje správně hlavní směry dalšího rozvoje v této oblasti. Práce využívá jak nesporné pedagogické zkušenosti disertanta, tak i jeho schopnost vědecky pracovat na rozvoji svého oboru. Její skutečný přínos bude možné ocenit až při jejím dalším využívání a při propracování v práci naznačených rozvojových záměrů.

#### b) Vyjádření k postupu řešeního problému, k použitým metodám, ke splnění stanoveného cíle

Struktura práce odpovídá běžným standardům. Po stručném úvodu jsou vymezeny a přehledně vysvětleny základní pojmy potřebné pro další části práce (kap. 2 až 5 – Průmyslové inženýrství, Koncept Industry 4.0, Koncept STEM a prototypovací hardware). Tyto kapitoly jsou přehledné i dostatečně obsažné a vytvářejí dobrý základ pro další části. Totéž platí i o navazující rešeršní kapitole, která navíc dokládá autorův obdivuhodný přehled v dané problematice. Teoretická část práce je zakončena stručným shrnutím získaných poznatků, které je využito v následující kapitole, definující hlavní cíl i dílčí cíle práce i tři dále testované hypotézy. Formulace těchto základních atributů práce je vcelku logická, dílčí cíle zároveň určují i další obsah a postup zpracování práce.

Prvním významným krokem je návrh nové architektury pro training factory s digitálním dvojčtem, její detailní popis, vymezení možností jejího využití (včetně propojování s dalšími soustavami) a nakonec i srovnání s obdobnou již existující architekturou. Podle znalostí oponenta jde o návrh, který zatím nebyl nikde jinde publikován, ba ani naznačen.

Další částí práce je využití vytvořené architektury v podmínkách komplexní výrobní linky a detailní popis jejích jednotlivých modulů. Kapitola je pak zakončena studií uplatnění Training factory, realizované podle navržené struktury. I tato část práce je kvalitní, originální i přínosná.

Na ni pak logicky navazuje třetí výzkumná část, a to testování navržených hypotéz, popis sběru dat pro ověření těchto hypotéz i následné vyhodnocení uvedeného testování. I tyto kapitoly jsou opět psány fundovaně a přínosně.

Závěr práce má pak opět standardní podobu, a tvoří jej kapitoly o použitých vědeckých metodách, teoretických i praktických přínosech práce, cenná subkapitola s doporučeními pro další výzkum v dané problematice i závěrečná diskuse o cílech práce a hypotézách a o jejich splnění. Po stránce věcné nelze těmto kapitolám nic vytknout, po stránce formální lze mít drobné námítky: splnění jednotlivých hypotéz je probráno velice podrobně, ale v případě cílů práce oponent sice nepochybuje o splnění všech cílů práce, ale splnění dílčích cílů mělo být konstatováno (např. odkazem na předcházející části práce) písemně a mohla jim být věnována i větší pozornost. Navíc měly zde být připomenuty a vhodně oceněny i přílohy práce, které jsou vysoce cenné a které tvoří další výtečný vklad autora k dané problematice. Rovněž kapitole Použité vědecké metody mohla být věnována větší pozornost, neboť důkladná četba práce přináší užití i dalších metod, které zde nejsou uvedeny (testování hypotéz, využití vizuálního programování apod.). K uvedeným teoretickým i praktickým přínosům nelze mít jakékoliv výhrady, snad jen mohly být mezi přínosy zahrnuty i uvedené přílohy práce.

### **c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu předkladatele disertační práce (dále jen disertanta)**

Vysoká aktuálnost tématu práce byla již zmíněna v úvodu tohoto posudku. Struktura práce – jak již byla uvedeno – rovněž zcela odpovídá daným standardům. O vysoké kvalitě rešeršní činnosti studenta svědčí jednak dlouhý seznam zdrojů práce, který obsahuje celkem 150 položek, z nichž více než polovinu představují odborné články v angličtině (českých článků je uvedeno jen několik) a druhou nejvýznamnější skupinu zdrojů tvoří zahraniční elektronické zdroje (více než pětinu), takže celkový počet zahraničních zdrojů je 123, a to vesměs z posledního desetiletí. Nejde však je o jejich počet, ale o obrovské množství aktuálních poznatků, které disertant dokázal získat a využít.

Nejcennějšími a poznatkově nejbohatšími částmi práce jsou ovšem návrh a prokázání užitečnosti nové architektury hardwarového modelu s digitálním dvojčtem ve formě pro learning/training factory, který využívá dostupných technologií, je konstruován pro cílovou skupinu studentů – „průmyslových inženýrů strojírenského typu“ (s tímto označením lze úspěšně polemizovat!) a zejména na řešených úlohách prokazuje nesporné přínosy jejího užití. Navíc jsou prokázány možnosti jejího propojení i na jiné systémy či subsystemy podniků provázání s obdobnými architekturami. Rovněž vytvoření a využití aplikace Questionare, využitá pro testování studentů, je nesporně přínosné a inspirující.

Samotné testování hypotéz na uvedených skupinách studentů přináší také mnoho zajímavých poznatků, které – možná – mohly být využity i k doporučením ve vztahu k obsahu výuky průmyslových inženýrů na strojních fakultách.

A konečně velmi cennou složkou předložené práce je i subkapitola 14.3 – Doporučení pro další výzkum v dané problematice, která uvádí řadu cenných impulsů pro tuto oblast a námětů pro další zkoumání v této oblasti.

**d) Vyjádření k systematickosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce**

Práce je zpracována systematicky a přehledně, tyto schopnosti autor zřejmě získal jak při zpracování uvedených publikačních výstupů, tak při zpracování dalších učebních či vzdělávacích materiálů, používaných jeho pracovištěm při různých pedagogických aktivitách. Formální úprava práce odpovídá používaným akademickým standardům, zmínit je třeba vzorné a bezchybné využití celkem 77, většinou barevných obrázků a 48 (obvykle vlastních) tabulek. Snad jen některé obrázky mohly být z důvodu čitelnosti o něco větší. Ocenit lze i použití glosáře v úvodu práce. Jazyková úroveň práce je rovněž velice dobrá, což při vysoce odborné úrovni textu není vždy jednoduché. Celkově lze konstatovat, že výtečná úroveň formální a jazykové stránky práce jen podtrhla a umocnila obsahovou složku práce.

**e) Vyjádření k publikacím disertanta**

Uvedený výčet vlastní publikační činnosti zahrnuje celkem 35 titulů publikačních titulů (z toho 17 v angličtině), s tím že většinou jde o texty autorského kolektivu, kdy však disertant uvádí svůj mentální podíl (v rozsahu od 14,3% do 50%, 50% uveden 14x, více než 33% podíl celkem 26x.). Uvedené čísla prokazují dvě závažné skutečnosti: jednak, že doktorand je u většiny publikací členem dvou- i vícečlenných autorských týmů, což potvrzuje i jeho schopnost působit ve vědeckých týmech, vykázané mentální podíly pak prokazují, že je vesměs klíčovým členem těchto kolektivů. Publikačními výstupy jsou vesměs buď odborné časopisecké články, vystoupení na odborných konferencích či odborné posudky pro zahraniční zadavatele. Výrazná část těchto prací se týká problematiky, řešené v předložené práci. Autor tedy splňuje bohatě kritéria, používaná v této oblasti.

**f) Vyjádření oponenta, zda doporučuje či nedoporučuje disertační práci k obhajobě (dle zákona č. 111/1998 Sb. § 47)**

Předložená práce splňuje všechny stanovené obsahové i formální náležitosti, je vhodně strukturována i formulována a přináší požadované výstupy. Cenná je jak teoretická část, tak i postupy a závěry praktické části, vynikající jsou výsledky rešeršní činnosti. Práce vychází z nadstandardního množství poznatkových zdrojů a prokazuje jak široké teoretické znalosti studenta, tak i jeho bezpečnou schopnost zvládat většinu aktivit vědecké práce s nimi. Přináší i několik originální námětů a řešení a prokazuje schopnosti doktoranda, a to jak vědecky pracovat, tak i sdělným a přehledným způsobem interpretovat výstupy.

Na základě uvedeného hodnocení **doporučuji** předloženou disertační práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby této práce **doporučuji** udělení titulu doktor filosofie (philosophiae doctor), ve zkratce Ph.D.

V Přešticích dne 27. 11. 2023

Doc. Ing. Jan Horejc, Ph.D.,  
oponent disertační práce