

Prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph. D.
ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, o. p. s.
Katedra strojírenství a elektrotechniky
Na Karmeli 1457, Mladá Boleslav

Oponentský posudek disertační práce Ing. Tomáše RIEGRA

„Konstrukce nízkoenergetického zařízení pro dopravu objektů v materiálovém toku“

Na základě pověření prof. Dr. Ing. Petra Lendfelda, děkana Fakulty strojní TU Liberec (č. j. TUL-412661/2112), jsem vypracoval tento oponentský posudek na výše uvedenou disertační práci.

Rozbor práce

Práce se skládá z deseti kapitol, obsahuje použitou literaturu i seznam vlastních publikací. V úvodu je uvedena motivace práce. V kapitole druhé a třetí je přehled současného stavu problematiky a to jak z hlediska spotřeby energií, tak i z hlediska řešení používaných pro transfer objektů v materiálovém toku. Odstavec 3.4 obsahuje stručné vyčtení cílů práce. V kapitole 4 a 5 jsou aplikovány postupy inovačního inženýrství na řešení problému mezioperačního transportu.

Kapitola 6 je uvedena výkladem Karakuri mechanismů, založených na myšlence minimální vnější energie nutné pro pohyb objektů. Dále obsahuje matematicko-fyzikální model situace Karakuri dopravníku s protizávažím. K dosažení rovnoměrného pohybu dopravníku je aplikováno řešení podle Watta s třecí brzdou, je uveden výpočet brzdící síly. Řešení je laboratorně testováno a je shlednáno jako nespolehlivé. Druhým zkoumaným mechanismem je vozík, který využívá akumulaci energie ve stlačených pružinách. Je navržena vlastní konstrukce vozíku, která je podrobena výzkumu. Zdvih pružin 200 mm umožňuje pojezd po dráze 3 m. Je sestaven matematicko-fyzikální model a je proveden experiment pro jeho ověření.

V kapitole 7 jsou navrženy záchytné mechanismy, které umožňují zvětšit dojezdovou vzdálenost vozíku. V poslední kapitole 8 je popsána inovace akumulační pružiny, kdy je původní vinutá ocelová pružina nahrazena kompozitovou listovou. Inovace nepřinesla zlepšení parametrů vozíku.

Závěrečné kapitoly se věnují zhodnocení práce a jejímu přínosu.

Celkové zhodnocení práce

Konstatuji, že předložená práce je zpracována na dobré odborné úrovni. Práce obsahuje přehled současného stavu, cíl práce, vlastní řešení a závěr s doporučeními. Tím splňuje formální požadavky na disertační práci.

Vlastní práce autora se opírá o teoretické přístupy s matematicko-fyzikálním popisem, které jsou ověřovány experimenty. Další použitou metodou jsou MKP simulace.

Práce obsahuje také vlastní konstrukční návrhy a jejich realizaci. Metody práce jsou vhodně zvoleny i aplikovány a dokládají vědecké schopnosti autora práce. Uvítal bych v závěru vhodnou hlubší diskuzi o využitelnosti zkoumaného principu, jeho

variabilitě s ohledem na v praxi jistě proměnlivá zadání dopravních úloh (dráhy, rychlosti, hmoty).

a) Zhodnocení významu práce pro obor, aktuálnost tématu

Ve vědním oboru „Konstrukce strojů a zařízení“ je tato práce přínosem. Problematika úspory energie při manipulaci s materiálem ve výrobě je aktuální a stále řešená.

Přínos vidím v rozpracování teoretických modelů a praktických experimentů s vozíkem na principu Karakuri.

b) Vyjádření k postupu řešení, metodám a splnění cílů

Idea postupu řešení je logická a systematická. Autor formuluje cíl práce, což je návrh realizace nové konstrukce zařízení schopného transferovat objekt definované hmotnosti na určenou vzdálenost při minimální nebo nulové dodané externí energii.

Použité metody zcela odpovídají potřebám provedeného výzkumu. Teoretické znalosti a jejich využití je v práci doloženo.

Cíl práce byl splněn.

c) Vyjádření k výsledkům a původnosti konkrétního přínosu práce

V práci jsou zcela konkrétní původní výsledky a to jak z oblasti teoretické, tak z oblasti konstrukční a experimentální. Byl ověřen potenciál Karakuri principu pro pohyb vozíku s využitím akumulace energie v tlačných pružinách. Matematicko-fyzikální popis a provedené experimentální simulace jsou vlastním přínosem autora.

d) Formální zpracování práce

Po formální stránce je práce zpracována pečlivě, je dostatečně přehledná a systematická. Členění odpovídá potřebám přehlednosti i logické struktury práce. Text je srozumitelný, odkazový aparát na literaturu a obrázky je dostatečný. Obrázky grafy a schéma jsou názorná, lze vytknout poněkud horší čitelnost některých popisů v grafech, např. str. 53, 54 nebo čitelnost údajů v tabulkách, např. str. 55, 56. Jinou drobností je např. popis obrázku uvedený až na další stránce (28).

e) Hodnocení publikací disertanta

Publikační činnost disertanta je uvedena na straně 119 a obsahuje 6 titulů příspěvků na konferencích z let 2016 až 2018. Z názvů je zřejmé, že se dotýkají tematiky zpracované v disertační práci. Tím je doloženo, že části práce byly již odbornou veřejností přijaty. Disertant prokázal, že je schopen publikovat své vědecko-výzkumné výsledky.

Otázky k obhajobě

1. Prosím o vysvětlení obrázku na str. 43.
2. Vysvětlit obr. str. 71, chybí popisy os a znázorněných křivek.
3. Upřesněte popis obrázku na str. 74.
4. Vysvětlíte podrobněji funkci záchytných mechanismů, jak jsou při zastavování eliminovány dynamické účinky?
5. Provedte diskuzi reálného využití Vámi navržené koncepce.

f) Závěrečné vyjádření

Na základě výše uvedeného **doporučuji** dle zákona č. 111/1998 Sb. §47 disertační práci Ing. Tomáše Riegra k obhajobě a po úspěšné obhajobě doporučuji udělit disertantovi akademický titul

„doktor“.

V Mladé Boleslavi dne 2. 12. 2019



prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph. D.

Posudek disertační práce

Uchazeč:	Ing. Tomáš Riegr
Název disertační práce:	Konstrukce nízkoenergetického zařízení pro dopravu objektů v materiálovém toku
Studijní obor:	Konstrukce strojů a zařízení
Školitel:	doc. Dr. Ing. Ivan Mašín
Oponent:	doc. Ing. Antonín Potěšil, CSc.

Aktuálnost tématu disertační práce
komentář: Téma předložené disertační práce je aktuální a respektuje současné i budoucí inovativní trendy transferu objektů ve výrobních procesech, a to ve snaze minimalizovat náklady zejména klasického energetického charakteru (elektrická energie), což je přínosem pro ekologii ve snaze nedevastovat nenahraditelné přírodní zdroje.

Metody a postupy řešení
komentář: Zvolené metody a postup řešení jsou adekvátní současným trendům modelování mechanických systémů. Řešitel využíval zejména analytické přístupy v simulacích kinematiky transportních systémů, založené na řešení pohybových rovnic tuhé mechaniky. Pozitivně lze hodnotit přípravu a realizaci fyzických experimentů, které disertant použil pro srovnání s teoretickými výsledky. Ocenění si zaslouží návrh a realizace kompozitní tvarové pružiny v adaptovaném karakuri vozíku.

Splnění cílů disertační práce
komentář: Po prostudování této práce jako celku konstatovat, že vymezené cíle práce a naplánované záměry doktoranda byly naplněny.



Výsledky disertace - konkrétní přínosy disertanta

komentář:

Hlavním přínosem disertační práce je porovnání transportních vlastností a schopností několika typů energeticky úsporných transportních systémů vycházejících z ideí nejen karakuri mechanických systémů.

Cennou zkušeností pro doktoranda a jeho pracoviště je vlastní zkušenost z praktické realizace dvou variant karakuri mechanických vozíků.

Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

komentář:

Práce je dobrým východiskem pro inovační aktivity v oblasti využití nízkoenergetického zařízení pro dopravu objektů na průmyslových pracovištích, kde autor působí.

Doporučuji, aby navazující práce byly orientovány hlouběji do teoretických oblastí fyzikálních vlastností kompozitních materiálů jak s ohledem na navazující zpracovatelské technologie při výrobě produktů, tak na jejich průmyslové aplikace v konkrétním slova smyslu.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

komentář:

Práce má logické členění, text je až na výjimky srozumitelný, i když v textu existují drobné editační nedostatky, které však nekazí celkový dojem práce.

Poněkud neobvyklé je např. zařazení textu v prvním odstavci shora uvádějící kap. 6.4.2 na str. 66.

Vyjádření k publikačním aktivitám

komentář:

Z uvedeného přehledu publikačních aktivit autora disertační práce je patrné, že se uplatnily zejména na mezinárodních konferenčních fórech jak v zahraničí, tak v ČR a staly se tak základem věcné části předkládané doktorandské práce.

Připomínky

1. Práce je prostá rozsáhlejším teoretickým základům mechaniky kompozitních materiálů jako takových a jejich následnému modelování v CAE sw, např. ANSYS. Konstatování, že rozdíl 37.8% mezi reálnou tuhostí vyrobené kompozitní pružiny a CAE modelu je dán nepřesností modelu kompozitní struktury v sw ANSYS je toho důkazem. Může doktorand konkretizovat použitý způsob definice (zadáání) kompozitní struktury v sw ANSYS?
2. Proč nebyla k ocenění tuhosti kompozitní struktury vyrobených vzorků 8.4.1. využita ohybová zkouška namísto zkoušky tahové, která má spíše uplatnění při identifikaci kritéria selhání dané struktury. Může doktorand prezentovat průběh tahové zkoušky v pojmech (grafech):
tahová síla - prodloužení, resp. axiální napětí - axiální poměrná deformace?
3. Prediktivní CAE simulace objektů s kompozitními tenkostěnnými strukturami lze realizovat více způsoby. Může doktorand zmínit jakými? Uveďte příklady.
4. Současnými nástroji prediktivních simulací jsou pro konstruktéry nejen představené analytické metody, ale do popředí se dostávají stále více numerické CAE metody. Kromě zmíněné metody konečných prvků jsou to multibody simulace (MBS), umožňující řešit komplexní soustavy těles s celkem reálnými modely kinematických vazeb včetně zohlednění významných poddajností. Uvažoval doktorand o jejich využití?

Závěrečné zhodnocení disertace

Na základě shora uvedeného posudku doporučuji předloženou práci k obhajobě před komisí pro obhajobu doktorské práce.

Doporučuji po úspěšné obhajobě disertační práce udělení titulu Ph.D.²

ano

ne

² Nehodící se škrtněte

Místo a datum: V Liberci 19.12.2019

Podpis oponenta:



Antonín Potěšil

doc. Ing. Václav Vaněk, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů

Univerzitní 8, 306 14 Plzeň

Oponentský posudek disertační práce

Tomáše Riegra

s názvem

„Konstrukce nízkoenergetického zařízení pro dopravu objektů v materiálovém toku“

Studijní obor: 2302V010 – Konstrukce strojů a zařízení

Škola: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní

Rozbor práce

Disertační práce (dále DisP) se zabývá návrhem nových řešení mezioperačních transferů objektů v materiálovém toku. Jedná se o taková technická řešení, která by vyžadovala co nejnižší dodávku externí energie a minimální zásahy prováděné obsluhujícím operátorem výroby. V souvislosti s DisP také vznikl funkční vzorek nového prostředku určeného pro transfer objektů v materiálovém toku, který využívá ke svému pohonu gravitační sílu vyvozenou transportovaným objektem. V DisP navrhovaný technický systém však není finálním řešením, které by mohlo být přímo použitelné v reálných podmínkách produkčních firem, ale ambicí tohoto řešení je ukázat, že je možné navrhovat a zajišťovat funkčnost nízkonákladových zařízení, založených na obdobných principech, jež jsou uváděna v této DisP. Na základě výše uvedeného je možné predikovat to, že výsledky dosažené v průběhu řešení DisP mohou iniciovat vznik podobných zařízení v různých oblastech interních transportů objektů v materiálovém toku.

DisP je rozčleněna do následujících částí

- **Úvod** – V úvodu autor komentuje to, co je předmětem DisP a uvádí, že v současné době se intenzivně rozvíjí oblast „LCA“ (Low Cost Automation), jež je orientovaná na využití takových energetických zdrojů, které se vyskytují běžně ve výrobním procesu, ale v současné době nejsou využívány a jsou odváděny jako parazitní zdroje energie, což představuje nezanedbatelné ztráty v průběhu životního cyklu výrobku. Autor zde uvádí základní zaměření DisP a obecně také to, jakým způsobem bude stanovených cílů dosahováno.
- **Přehled současného stavu problematiky spotřeby energií** – V této kapitole autor uvádí stručný přehled celosvětové spotřeby energií a vyvozuje závěr, že celosvětová spotřeba energie vykazuje trend růstu, který bude pokračovat i v budoucích letech. Autor konstatuje, že rezervy v úspoře energií je možné nalézt také v mezioperačním transferu objektů, což je v současné době opomíjená oblast.
- **Současný stav používaných řešení pro transfer objektů v materiálovém toku** – V této kapitole autor shrnuje obecně známé principy a řešení pohonu zařízení určených pro transfer přepravovaných objektů. Poněkud nezvykle jsou v rámci této kapitoly uvedeny i cíle DisP. Primárním cílem DisP je návrh a realizace nové konstrukce zařízení schopného transportovat objekt stanovené hmotnosti na určenou vzdálenost, za současné minimalizace potřeby dodávání vnější energie.
- **Formulace a modelování inovačního problému** – Autor využívá jako nástroj pro formulaci inovačního problému „funkčně – objektovou analýzu“. Výstupem z této analýzy jsou stanovené škodlivé funkce

- vznikající při zajišťování pohonu manipulačního vozíku dvěma uváděnými principy. Tyto funkce by měly být v průběhu dalšího vývoje technického systému omezeny, či úplně eliminovány jejich škodlivé účinky.
- **Trimming** – Východiskem pro trimming byla výše uvedená analýza. Autor v kapitole stanovuje dvě otázky související s dosažením v DisP stanoveného cíle pro dvě varianty pohonu transportního vozíku. Vyvozuje, že možnou odpovědí na tyto otázky by bylo využití Karakuri mechanismů.
 - **Karakuri mechanismy – potenciál řešení nových nízkoeenergetických zařízení pro transfer objektů v materiálovém toku** – V této kapitole autor provádí rešerši mechanismů a uvádí jejich základní dělení dle způsobů použití. V dalších podkapitolách se detailněji zmiňuje o vybraných konstrukčních řešeních těchto mechanismů. V podkapitole 6.2.4. navrhuje, pro dosažení rovnoměrného přímočarého pohybu na dopravníku s protizávažím, využít odstředivý regulátor s třecí plochou. Výsledkem poměrně rozsáhlého vyšetřování je však zjištění, že nelze regulátor uvedené konstrukce doporučit. V podkapitole 6. 4 je uváděn Karakuri vozík. Na základě provedené rešerše autor dospěl k tomu, že k danému technickému systému není dohledatelný podrobnější popis a další informace vztahující se navrhování zařízení obdobného typu. Z tohoto důvodu se v další části DisP autor zabývá návrhem a ověřováním vlastností tohoto vozíku.
 - **Návrh mechanismu pro zvýšení dojezdové vzdálenosti Karakuri vozíku** – Na základě analýzy průběhu volného pohybu vozíku (obr. 6.4.3-3) autor navrhuje zachytné mechanismy pro zvýšení dojezdové vzdálenosti. Funkčnost tohoto řešení byla potvrzena provedenými experimenty.
 - **Návrh modifikovaného prostředku pro transfer objektů v materiálovém toku pomocí metod inovačního inženýrství** – Autor využívá metodu TRIZ a pro dosažení optimalizovaných vlastností rámu vozíku stanovuje technický rozpor. Jedním z doporučovaných inovačních principů je i „princip použití kompozitních materiálů“, jehož aplikace by měla vést ke snížení hmotnosti při současném zachování pevnosti konstrukce. Autor v DisP navrhuje a experimentálně ověřuje možnosti využití vozíku s implementovanými kompozitními pružinami.
 - **Závěr** – V závěru autor shrnuje, co bylo uděláno pro dosažení cílů DisP. Konstatuje, že všechny zkoušené karakuri mechanismy byly funkční a predikuje, kolik energie by bylo možné použitím navrženého vozíku s kompozitními pružinami ušetřit během ročního období.
 - **Přínosy práce a doporučení pro další výzkum** – V této kapitole autor uvádí přínosy DisP pro vědu, praxi a další výzkum, vývoj a inovace.

Dosažení v DisP stanoveného cíle

Primárním cílem byl návrh a realizace nové konstrukce zařízení schopného transportovat objekt stanovené hmotnosti na určenou vzdálenost, za současné minimalizace potřeby dodávání vnější energie. Pro splnění tohoto cíle byla provedena řada studií, analýz, modelových simulací, návrhů zkušebních zařízení a praktických zkoušek. Vše, co bylo v průběhu řešení úkolu splněno, je velmi přehledně shrnuto v závěru DisP.

Cíle a sub-cíle disertační práce považují za splněné.

Úroveň rozboru současného stavu v DisP řešené problematiky

Rozbor současného stavu řešené problematiky je v navrhované DisP uveden srozumitelným a dle mého názoru vyčerpávajícím způsobem. Autor zjišťuje, že rezervy v úspoře energií je možné nalézt také v mezioperačním transferu objektů, což je v současné době nezasloužené opomíjená oblast a právě proto si zaslouží věnovat této problematice zvýšenou pozornost. Z provedené rešerše v DisP vyplynulo, že k danému technickému systému (gravitační karakuri vozík) není dohledatelný podrobnější popis a další informace vztahující se navrhování zařízení obdobného typu. Autor tedy vidí větší možnosti praktického uplatnění energeticky méně náročných technických systémů primárně určených pro transport objektů v budoucnosti.

Teoretický přínos disertační práce

Za hlavní přínosy této DisP považují to, že byla experimentálně prokázána funkčnost navržených nízkoeenergetických vozíků určených pro přepravu objektů v materiálovém toku. Autor v DisP uvádí sestavení matematického modelu vozíku a navrhuje využití funkce signum pro zjednodušení celého výpočtu. Výsledky získané z numerické simulace však dostatečně nekorespondují s výsledky získanými na základě provedených experimentů, což je možné pozorovat srovnáním časového průběhu dráhy vozíku na obr. 6.4.2-3 s průběhem na obr. 6.4.3-3. Přínosem DisP je také poukázání na vyšší hmotnost kompozitních pružin ve srovnání s pružinami

běžně používanými, pokud je posuzujeme jako samostatnou komponentu. Kompozitní pružiny byly navrženy na základě výsledků simulací jejich chování v prostředí systému ANSYS 2019 R1. Při ověřování tuhosti kompozitní pružiny bylo zjištěno, že tato tuhost je o 37,8% vyšší, než bylo požadováno. Z tohoto zjištění opět vyplývá nutnost dalšího zpřesňování modelu kompozitní pružiny v systému ANSYS takovým způsobem, aby bylo dosaženo alespoň takové schody mezi modelem a reálných chování komponenty, která by byla pro návrh obdobných kompozitních pružin akceptovatelná.

Praktický přínos disertační práce

V DisP navrhovaný technický systém není finálním řešením, které by mohlo být přímo použitelné v reálných podmínkách výrobních firem, ale ambicí tohoto řešení je ukázat, že je možné navrhovat a zajišťovat funkčnost nízkonákladových zařízení, založených na obdobných principech, jež jsou uváděná v této DisP.

V DisP je uváděn konstrukční návrh karakuri vozíku ve dvou verzích a návrh možnosti zvýšení dojezdu vozíku použitím záchytného mechanismu v krajních pozicích jeho dráhy. V DisP uváděný návrh technického řešení vozíku je dobrým prvotním počínem pro budoucí uplatnění uváděného typu přepravního zařízení v technické praxi.

Na základě výše uvedeného je možné predikovat to, že výsledky dosažené v průběhu řešení DisP mohou iniciovat vznik podobných zařízení v různých oblastech interních transportů objektů v materiálovém toku.

Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Pokud vezmeme jako hlavní kritérium logický postup vývoje nízkenergetického zařízení pro dopravu objektů v materiálovém toku, pak z tohoto úhlu pohledu je možné konstatovat, že zvolené metody (i experimentální) a navržené simulační prostředky (experimentálně ověřené), byly aplikovány vhodně a správně. Přínosem by však bylo, pokud by byly některé simulační modely precizovány a lépe odladěny s tím cílem, aby více korespondovali s reálným chováním navrhovaných technických systémů.

Prokázání odpovídajících znalostí v daném oboru

Domnívám se, že autor je velmi dobře zorientovaný v řešené problematice, což plyne i z jím již dříve získaných jak teoretických, tak i praktických poznatků a zkušeností.

V daném oboru prokázal jednoznačně odpovídající znalosti, které využil k návrhu v DisP uváděných vlastních řešení.

Výsledky své práce prezentoval na mezinárodních konferencích.

Formální úroveň práce

DisP je systematicky zpracována. Její jazyková úroveň i grafické zpracování má odpovídající úroveň. V DisP jsou pouze drobné chyby, např. v nedůsledném a správném označování některých veličin v matematických vztazích uváděných v DisP, což může způsobit obtížnou srozumitelnost předkládaného textu. Na obr. 6.2.4-1 je pravděpodobně v legendě obráceno barevné označení zobrazovaných charakteristik. Na str. 108 je uváděna hodnota $s_{\max}=0,7$ [m]. Na str. 109 je však uvedeno, že při použití záchytného mechanismu je možné dosáhnout hodnoty $s_c=1,9$ [m].

Dotazy k obhajobě

1. Proč v DisP nebylo pokračováno v návrhu takového technického řešení, které by mohlo prakticky zajistit dosažení požadované rovnoměrnosti přímočarého pohybu u dopravníku s protizávažím?
2. Uvedený způsob použití metod inovačního inženýrství vedl k návrhu kompozitní pružiny, což nepřineslo žádný výrazný efekt. Proč nebyly v DisP zkoumány další možnosti zvýšení dojezdové vzdálenosti vozíku např. formou snížení valivých odporů (pohyb kola po kolejnici)?
3. Mohou mít negativní vliv na dojezd vozíku i rozdílné zatěžovací charakteristiky použitých pružin?

Závěrečné vyjádření

Na základě výše uvedeného doporučuji dle zákona č. 111/1998 Sb. §47 disertační práci **Tomáše Riegra** k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit disertantovi akademický titul

„doktor“.

V Plzni dne 5. 12. 2019

Digitálně
podepsal
Václav Vaněk
Datum:
2019.12.05
15:37:49 +01'00'

doc. Ing. Václav Vaněk, Ph.D.