

POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Doktorand : **Ing. Jan Vavruška**
Školitel : **Doc. Dr. Ing. František Manlig** TU v Liberci, Fakulta strojní
Katedra výrobních systémů a automatizace
Studijní program : P2301 – strojní inženýrství.
Recenzent: Doc. Ing. Vratislav Preclík, CSc.,
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie 12 134,
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 166 07 Praha 6, Technická 4

Název doktorské disertační práce :
Strategie rozvrhování pracovníků na výrobní linky

Studijní obor: 2301V031 Výrobní procesy a systémy

Předložená doktorská disertační práce obsahuje 142 stran textu, 48 obrázků, 60 tabulek, 3 přílohy (A, B, C s dalšími tabulkami).

Hlavním cílem disertační práce bylo vytvoření nové metodiky pro podporu rozhodování při volbě strategie (WZ-work zone, RC- rabbit chase/OPF-caravans, Chacku Chacku, BB-bucket brigades/Forage retrieval in ants) rozvrhování a řízení pracovníků na flexibilních výrobních linkách. Získané poznatky, vytvořené simulační modely a navrhovaná metodika rozšíří možnosti systémů určených na podporu rozhodování DSS (Decision Support Systems).

Zvolené téma doktorské disertační práce lze považovat za velmi aktuální, zejména pro montážní systémy, kde je podíl ruční práce při výrobě velký, uplatní se však i pro podporu rozvrhování a řízení dalších výrobních systémů.

V práci dále provádí rozbor metod logistického operačního řízení (organizační strategie, systémový přístup k analýze, formování strategie a taktiky v rámci operativního řízení logistických procesů, vyvažování výrobních operací) a současného stavu problematiky se zaměřením na direktivní řízení (schéma pracovních zón, rozvrhová schémata, kapacitní diagramy, taktovací tabulky, štafety, využití MO zásobníků, APS systémů a PC simulace jako nadstavby ERP, rozvoj nových strategií- OPF: RC/OPF-caravans, BB/FRA, Ants warren-mravenčí kolonie, Bees swarm-včelí roj) i autonomní řízení (LEAN strategie, JIT, KANBAN, flexibilní přizpůsobení kapacity, strategie RC, BB, extra WZ). Na základě řešené případové studie (analýza práce, vyvažování pracovišť, rozvrhování pracovníků) upřesňuje řešenou problematiku do oblasti vzájemného přiřazování pracovníků a pracovních úkolů na montážních linkách s cílem najít alternativní strategie tradičního rozvrhování do pracovních zón a tyto strategie porovnat.

V kapitole 2. pojednává a analyzuje problematiku montážních linek.

V podkapitole 2.1. (str. 22 – 24) „specifikuje“ metodiku rozvrhování pracovníků (worker assignment), kde zdůrazňuje, že chybí povědomí o existenci alternativních strategií k WZ i matematické modelování pro rozvrhování (až v roce 2007 zmiňuje poprvé Miralles: The Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem – ALWABP rozšiřující ALBP o problém přiřazení a „vyvážení“ pracovníků) včetně heuristického řešení.

V podkapitole 2.2. (str. 22 – 24) se zabývá rozvrhováním úkonů na stanice, tedy přiřazováním elementárních činností k operacím, případně sdružováním do pracovních zón (členění činností, precedenční graf – sledový diagram, Smoothness index, Linea efficiency, Line balancing: ALBP, SALBP, GALBP, další modely: MALBP, ALBPWMB – pohyblivý

bottleneck, ALWABP, FALBP). Kapitulu doplňuje kategorizace montážních linek (2.3) a shrnutí poznatků (2.4) z něhož plyne narůstající rozdíl mezi matematickými nástroji a praxí (viz použití stochastických modelů a heuristických algoritmů, MAPA, abstrahujících od dynamických a stochastických vlivů působených operátory) i dílčí vymezení problematiky (2.5.). Oblast řešení je vhodně vymezena na str. 32.

Pro řešení vybrané **strategie obsluhy** montážních linek (BB, RC, WZ, chacku-chacku) uvádí podrobněji disertant **v kapitole 3.** Jsou uvedeny i hybridní strategie (3.5, str. 40-42) a vhodně specifikovány faktory, které ovlivňují výsledné parametry systému (změna taktu-počtu operátorů, osobní výkonnost pracovníků, pořadí pracovníků, přecházení mezi operacemi, vyvážení procesu, časová náročnost operace, opakovatelnost činností, motivace pracovníků. Současný výzkum ukázal, že např. strategie BB umožňuje díky dynamice přerozdělit zátěž mezi jednotlivé členy týmu, avšak náročným úkolem je monitorování odváděné práce a uspořádání pracovníků dle výkonnosti.

V kapitole 4. jsou vhodně upřesněny cíle disertace pro *návrh metodiky systematického výběru vhodné strategie obsluhy na víceproduktových linkách v SME* (Small and Medium Enterprises) a stanoveny čtyři kroky řešení (Analýza, Porovnání, Návrh, Ověření, viz str. 46). Na základě reflexe v rámci případové studie jsou stanoveny hypotézy (1H – 4H), sloužící zejména pro porovnání vybraných strategií BB, RC a WZ. Hypotézy byly prověřeny pomocí počítačové simulace.

V kap. 5., nazvané „Simulační model a datová báze“ vhodně deklaruje typické úlohy řešené počítačovou simulací, kroky simulačního projektu, softwarové produkty a pro ověření vlastností strategií obsluhy linek vybírá simulační nástroj Witness.

Kapitola 6. se zabývá „Simulací“, řídicí logikou jednotlivých strategií (vývojové diagramy obr.6.2-6.5), modelem pro řízené experimentování a jeho částmi, datovou základnou, metrikami a parametry linek.

Vlastní **výsledky simulace** uvádí **kapitola 7.** Podle ověření hypotéz 1H, 2H, 3H z prvního simulačního bloku, lze pro daná zjednodušení (str. 66) považovat strategie BB, RC a WZ za vzájemně alternativní. Druhý simulační blok byl zaměřen na ověření hypotézy 4H a následné porovnání odezvy při souboru faktorů působících v reálných systémech (simulační parametry viz tab. 7.4, str.70). Dle výsledků druhého bloku nutno nulovou hypotézu zamítnout a přijmout hypotézu opačnou (strategie nepovažujeme za srovnatelné). Důležitá je následná diskuze odezvy systému (kap.7.3) dle působících faktorů.

Následná „**Metodika**“ (kap. 8) se omezuje na ruční linky „OPF“ (one piece flow). V první části (**A-topologie linek a vhodnost strategie**) se zaměřuje na technické a organizační limity pro uplatnění jednotlivých strategií ve druhé (**B-charakteristika linek a odezva strategií**) na schopnosti strategií adaptovat organizační rozvržení úkonů s ohledem na produktivitu linky (odezvy analyzovány pomocí simulace). Pro přehlednost je zpracován **souhrn metodiky** (8.3) v obou částech (tab.8.34-39 a 8.40-45), včetně „návodu“ (8.3.3 str.106). Práce je vhodně doplněna ověřením metodiky (kap.9) a závěrem (kap.10)

Dosažení cíle stanoveného v disertaci

Hlavní cíl disertační práce „vytvoření nové metodiky stanovení vhodné strategie“ pro rozvrhování a řízení pracovníků na montážní lince byl splněn v plném rozsahu, ve čtyřech krocích. Z analýzy omezujících podmínek vznikla část A metodiky. Ve druhém kroku byly diskutovány výsledky 2. bloku simulačních experimentů, jež byly základem pro třetí krok-hodnocení strategií z hlediska dosažené účelové funkce (časový fond pracovníků, resp. Makespan). Čtvrtým krokem byla praktická ukázka postupu práce s metodickou tabulkou v rámci kap.9. (ověření metodiky v praxi).

Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Úroveň rozboru současného stavu, která je součástí kapitol 1 – 6 s uvedenou prostudovanou i publikovanou literaturou (str. 127 – 137) je vysoká a plně postihuje vymezený obsah řešení práce.

Teoretický přínos disertační práce

Nově navržená metodika je založena na teoretickém zkoumání prostudované literatury a diskuzi výsledků simulačních experimentů, prokazuje novost a má teoretický přínos. Navíc bylo prokázáno na úrovni hypotéz několik nových tvrzení, teoreticky mapujících uvažovanou oblast řešení. Byla rozšířena charakteristika reálných problémů v oblasti topologie montážních (příp. výrobních) linek a posouzeny schopnosti BB, RC, WZ strategií splnit speciální požadavky, definované v rámci topologie linek. Pro tyto tři strategie byly vytvořeny simulační modely zkoumání strategií obsluhy. Sloučený komplexní model je důležitým krokem pro zkoumání hybridních strategií.

Praktický přínos disertační práce

Nově navržená metodika má ve sledované oblasti praktický přínos nejen v oblasti vědy a výzkumu. Ověřená metodika je určena pro usnadnění posuzování výrobního systému z hlediska vhodnosti pro použitou strategii obsluhy. Slouží pro výběr vhodné strategie pro průtokové linky s filosofií OPF. Je rovněž nástrojem posouzení kvality současného řešení pro již uplatněnou strategii obsluhy. Je vhodným nástrojem pro „neustálé zlepšování výrobních procesů“. Praktickým přínosem byl i návrh TO opatření ve společnosti Teraco International s.r.o., která byla v různém rozsahu implementována (kap. 9).

Vhodnost použitých metod a prokázání znalostí v oboru

Nová metodika byla vhodně navržena na základě zjištěných výsledků simulačních experimentů a jejich vyhodnocení v odpovídajícím rozsahu a vědecké úrovni. Rovněž formální úroveň práce je na vysoké úrovni. Výsledky disertace byly publikovány v souladu s Vysokoškolským zákonem č.111/1998 Sb. Doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru.

Předložená disertační práce má přínos praktický i teoretický. Práce nesporně prokazuje, že autor práce ovládá příslušné vědecké metody a má hluboké teoretické znalosti ve sledované oblasti. Disertační práci pana Ing. Jana Vavrušky doporučuji k obhajobě.

V Praze 9.1. 2017

Doc. Ing. Vratislav Preclík, CSc.

Oponentský posudok dizertačnej práce

Strategie rozvrhování pracovníků na výrobní linky

Autor práce : **Ing. Jan Vavruška**
Študijný program : P2301 - Strojní inženýrství
Študijný odbor : 2301V031 Výrobní systémy a procesy

Oponentský posudok na dizertačnú prácu Ing. Jana Vavrušku som vypracoval na základe žiadosti dekana Fakulty strojní Technickej univerzity v Liberci prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda zo dňa 14.októbra 2016. Predložená dizertačná práca obsahuje 137 strán textu, 42 obrázkov, 70 tabuliek a 16 grafov.

Aktuálnosť zvolenej témy

V dnešnej dobe sú montážne linky a výrobné linky základným stavebným kameňom v automobilovom, leteckom, elektrotechnickom a potravinárskom priemysle. Narastajú požiadavky na rekonfiguráciu linky a preto oprávnené výrobné spoločnosti hľadajú nástroje pre podporu optimalizácie a využitie dostupných kapacít.

Dizertačná práca je orientovaná na montážne a výrobné linky a je smerovaná do oblasti rozvrhovania a riadenia pracovníkov na úrovni majstra, supervízora a team lídra. Z tohto hľadiska preto považujem hodnotenú dizertačnú prácu za vysoko aktuálnu.

Splnenie cieľov

Hlavný cieľ doktorandskej dizertačnej práce je jasne sformulovaný, autor si dal za cieľ navrhnuť metodiku pre systematický výber vhodnej stratégie obsluhy na viac produktových montážnych linkách. Hlavný cieľ je rozdelený do štyroch čiastkových cieľov: kategorizovať súčasné problémy a popísať hlavné stratégie, porovnanie hlavných stratégií, návrh metodiky pre rozhodovanie riadiacich pracovníkov pre rozvrhovanie, pre riadenie pracovníkov montážnej linky a overenie navrhnutej metodiky. Konštatujem, že všetky ciele dizertačnej práce boli preukázateľne splnené.

Zvolené metódy spracovania

Doktorand vhodne využil základné vedecké metódy pre riešenie problému. Úspešné spracovanie témy dizertačnej práce si od autora vyžadovalo dobrú orientáciu v metódach a nástrojoch priemyselného inžinierstva, v metódach rozvrhovania a vyvažovania montážnych liniek, v optimalizačných metódach a v metódach merania výkonnosti procesov. Autor vhodne použil metódy systémového prístupu, analýzy a syntézy. Neboli opomenuté ani matematické, štatistické a simulačné nástroje, ktoré slúžili k overeniu navrhovaného vlastného riešenia. Konštatujem, že použité metódy boli zvolené vhodne a viedli k úspešnému splneniu cieľov dizertačnej práce.

Výsledky dizertačnej práce s uvedením nových poznatkov

Nové dosiahnuté poznatky sú zhmotnené v návrhu metodiky pre systematický výber vhodnej stratégie obsluhy na viac produktových montážnych linkách pre malé a stredne veľké výrobné podniky. K novým poznatkom radím:

- Vypracovanú analýzu problému balancovania výroby s rozborom používaných metód a prístupov k rozvrhovaniu pracovníkov, kde sa autor zameriaval na kategorizáciu liniek na základe triedenia problémov v oblasti rozvrhovania úkonov na montážnej linke, autor popísal súčasné poznatky o stratégii obsluhy WZ (Work zone), RC (Rabbit chase), BB (Bucket brigades), Cahcku Chacku a hybridné stratégie. Stratégie doplnil o ďalšie poznatky získané zo simulačných experimentov. Autor následne overil vlastne postavené hypotézy, u ktorých zistil, že pri splnení teoretických poznatkov sú stratégie RC a BB alternatívou k stratégii WZ.

- Porovnanie hlavných stratégií s ohľadom na ich aplikovateľnosť, kde autor zistil chovanie sa stratégií pri zohľadnení stochastického chovania reálneho systému. Výsledkom sú predpoklady o vplyvoch hlavných faktorom na chovanie výrobného systému a to s vzhľadom na zvolenú stratégiu. K dôležitým výsledkom patrí séria experimentov kde prebehlo overenie adaptability stratégií na počítačových modeloch linky. Overený bol aj vplyv stratégie na výkon, vplyv kvalifikácie a výkonu pracovníkov na produkciu linky.

- Návrh metodiky pre voľbu stratégie určená riadiacim pracovníkom pre uľahčenie rozhodovania pri zvažovaní alternatív. Navrhnutú metodiku na reálnych modeloch strojárenskej výroby na výrobnéj linke Tetraco International, s.r.o. a simulačná štúdia potvrdila výstupy metodiky. Stratégie rozvrhovania boli testované vo výrobnéj prevádzke a chovanie výrobného systému odpovedá očakávaniam.

Autor publikoval 46 publikácií doma i v zahraničí z toho 6 v Scopuse. Na uvedené publikácie bolo zaregistrovaných 6 ohlasov.

Význam výsledkov riešenia pre rozvoj vednej disciplíny

K významným výsledkom doktorandskej dizertačnej práce patrí zoskupenie poznatkov k metódam a prístupom rozvrhovania pracovníkov na montážnej linke, rozšírenie charakteristík reálnych problémov v oblasti topológie výrobných liniek. Posúdenie schopnosti stratégií pre splnenie zvláštnych požiadaviek v rámci topológie liniek. Vytvorenie simulačných modelov pre skúmanie stratégie obsluhy, rozšírenie poznatkov o výkonnostnom účinku výrobného systému na faktory, ktoré bývajú v teórii zanedbávané. Vytvorenie zlúčeného modelu pre stratégie WZ, RC a BB, ktorý smeruje skúmaniu k hybridným stratégiám.

Pripomienky k práci

Formálna úprava doktorandskej dizertačnej práce zodpovedá požiadavkám kladeným na tento druh doktorandských dizertačných prác (požiadavky vyhlášok, noriem, bežné štandardy). Autoreferát k DDP svojím obsahom, rozsahom i formou spracovania spĺňa požiadavky príslušných predpisov.

Otázky a pripomienky k doktorandskej dizertačnej práci:

1. Čo podľa vášho názoru bráni širšiemu uplatneniu stratégie Rabbit chase v praxi?
2. Aký význam má poradie pracovníkov v stratégii Bucket brigades?
3. Ako by ste predstavil Moving bottleneck (plávajúce úzke miesto), o ktorom sa zmieňujete v práci?

Záver

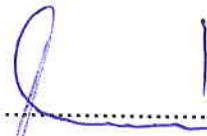
Posudzovaná doktorandská dizertačná práca spĺňa všetky náležitosti a podmienky. Predloženou doktorandskou dizertačnou prácou doktorand preukázal svoju spôsobilosť vedeckej práce a preto ju odporúčam **prijat'** k obhajobe a po jej úspešnej obhajobe **navrhujem**

Ing. Janovi Vavruškovi

udelíť v odbore 52301V031 „Výrobní systémy a procesy“

akademický titul „philosophiae doctor – PhD.“

Žilina, dňa 30. január 2017


.....
doc. Ing. Peter Bubeník, PhD.



Oponentní posudek k obhajobě disertační práce

Západočeská univerzita v Plzni

Jméno: Ing. Jan VAVRUŠKA

Název: Strategie rozvrhování pracovníků na výrobní linky

Fakulta: Fakulta strojní

Studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Výrobní systémy a procesy

Školitel: doc. Dr. Ing. František Manlig

Oponent: doc. Ing. Milan EDL, Ph.D.
Katedra průmyslového inženýrství a managementu
Fakulta strojní
Západočeská univerzita v Plzni

Práce se skládá ze 137 stránek, deseti kapitol a tří příloh.

Aktuálnost tématu

Disertační práci lze považovat beze sporu za práci aktuální. Oponent musí ocenit velmi kvalitně zpracované teoretické předpoklady celé disertační práce a jejich komplexnost z pohledu zkoumané problematiky. Výsledky práce mají jasný pozitivní dopad do průmyslové praxe v poměrně krátkém časovém horizontu. Velmi důležitý aspekt disertační práce je důraz na implementaci nových pohledů pro rozvoj průmyslových podniků, který je velmi důležitý pro dlouhodobý a koncepční rozvoj každého podniku.

Postup řešení problému

Z metodického pohledu nemá oponent připomínek. Na metodickém postupu řešení práce je vidět zkušenost výzkumného pracoviště v řešení výzkumně-vývojových úkolů. Z hlediska postupu řešení je vidět velmi kvalitní "liberecká škola" metodického vedení výzkumně-vývojových úkolů. Pro oponenta bylo velmi přínosné a názorné použití algoritmického znázornění návrhu metodiky určené pro systematický výběr vhodné strategie obsluhy na víceproduktových montážních linkách.

Význam rozvoj vědního oboru a pro praxi

Podle prezentovaných cílů disertace má disertační práce jasný přínos a to jak pro rozvoj oboru, tak i pro potřeby praxe. Disertant věnuje této problematice závěrečnou kapitolu deset.

Formální a jazyková úroveň

Formální i jazyková úroveň je velmi dobré úrovni. V předložené práci je zde vidět velmi dobrá vyjadřovací a prezentační schopnost autora v to zejména v oblasti prezentace výsledků prováděného výzkumu.

Publikační činnost

Publikační činnost je na velmi dobré úrovni. Autor publikoval jak na domácích, tak i zahraničních akcích. Oponent musí zdůraznit, že publikování není důležité jen pro doktoranda samotného, ale také i pro rozvoj oboru a pracoviště.

Poznámky, připomínky

Oponent považuje předloženou disertační práci za velmi dobře zpracovanou. Dále je nutné zdůraznit, že disertant musel znalostně zpracovat jak velmi široký, tak i hluboký záběr znalostí. Možná by stálo za úvahu zpracovat disertaci do knižní publikace nebo do vysokoškolské učebnice. A dále je možné deklarovat i pedagogický přínos předložené disertační práce.

Po zodpovězení položených otázek a na základě předložené disertační práce ji **doporučuji** k obhajobě.

Doporučuji po úspěšné obhajobě udělit akademickou hodnost „philosophiae doctor“ - Ph.D.”

Předloženou disertační práci na základě předchozího hodnocení **DOPORUČUJI** přijmout k obhajobě po jejím úspěšném obhájení navrhuji udělit akademický titul

„philosophiae doctor (Ph.D.)“

Doplňující otázky:

1. Jak se podnik stavěl k implementaci Vámi navržených opatření?
2. Jaká je šance prosazení Vámi navržených opatření v dalších podnicích?
3. Proč se jedna ze strategií označuje jako Caravans, nebo Rabbit chase?

V Plzni, 29. 9. 2016



Milan EDL