



TVORBA SIMULAČNÉHO PROJEKTU V MONTÁŽNOM PODNIKU

THE CREATION OF SIMULATION PROJECT IN THE ASSEMBLY COMPANY

Milan MARTINKOVIČ – Radovan SVITEK – Vladimíra BIŇASOVÁ
- Branislav MIČIETA

Abstract: The paper deals with the creation of a simulation project in the assembly company. In the simulation project, a simulation model of the assembly workplace was created to determine the use of the final assembly worker. Based on the results, an experiment was designed, in which variants with different worker utilisation were created. The simulation results from each variant were compared and the variant with a higher percentage of worker utilisation was selected. The selected variant has been economically evaluated in terms of efficient use of wage costs. More specifically steps of the simulation project are described in the paper.

Abstrakt: Príspevok sa zaoberá tvorbou simulačného projektu v montážnom podniku. V simulačnom projekte sa vytvoril simulačný model montážneho pracoviska za účelom zistiť využitie pracovníka finálnej montáže. Na základe výsledkov sa navrhol experiment, v ktorom sa vytvorili varianty (simulačné modely) s rôznym využitím pracovníka, ktoré sa odsimulovali. Výsledky simulácie z jednotlivých variantov sa porovnali a vybral sa variant s vyšším percentom využitia pracovníka. Vybraný variant sa ekonomicky zhodnotil z hľadiska efektívneho využitia mzdových nákladov. Konkrétnejšie popísané kroky simulačného projektu sa nachádzajú v príspevku.

Keywords: simulation project, computer simulation, simulation model, worker utilisation

Kľúčové slová: simulačný projekt, počítačová simulácia, simulačný model, využitie pracovníka

Úvod

V súčasnosti čoraz viac podnikov začína využívať počítačovú simuláciu ako podporný nástroj pri plánovaní výroby, ale taktiež nájde uplatnenie pri optimalizácií, minimalizácií nákladov, zefektívnení mzdových nákladov a raste produktivity.

Pomocou simulácie sa testujú efekty rôznych rozhodnutí na simulačnom modeli. Tento model dáva možnosť uskutočniť množstvo experimentov, ktoré sa následne analyzujú, vyhodnocujú, optimalizujú a výsledky je možné aplikovať do reálneho systému. Pri vykonávaní experimentov sa nezasahuje priamo do výroby, tým sa predchádza možným chybám. Pri realizovaných zmenách sa pomocou simulácie overí, ako sa systém bude správať v budúcnosti a vďaka tomu, je možné v predstihu odstrániť, alebo prípadne riešiť problémy. Využívanie počítačovej simulácie je výrazným prínosom pre podnik a tým zvyšuje svoju konkurencieschopnosť na trhu. [1,2,3,4]

Aby spoločnosti dosiahli požadované ciele, musia k simulácií pristupovať ako k projektu. Simulačný projekt sa skladá z jednotlivých krokov (definovanie problému, tvorba konceptuálneho modelu, zber dát, tvorba simulačného modelu, verifikácia a validácia,



prevedenie experimentu, analýza výsledkov a zhodnotenie, zdokumentovanie modelu a posledný krok implementácia), ktoré treba dodržať. [5,6]

Simulačný projekt

Simulačný projekt sa rieši v rámci nového montážneho pracoviska v podniku, ktorý sa zaoberá montážou zariadení pre leteckú, vlakovú a cestnú dopravu. Na montážnom pracovisku sa montuje 8 variantov zariadenia pre parkovací systém. Pre simuláciu sa vybral variant zariadenia s označením Z3, ktorý sa najčastejšie montuje na pracovisku. Simulačný projekt sa skladá zo 7 krokov:

- Krok 1: Definovanie problému a stanovenie cieľa.
- Krok 2: Tvorba konceptuálneho modelu.
- Krok 3: Zber dát.
- Krok 4: Tvorba simulačného modelu.
- Krok 5: Verifikácia a validácia simulačného modelu.
- Krok 6: Experiment – Využitie pracovníka finálnej montáže.
- Krok 7: Vyhodnotenie, ekonomické zhodnotenie.

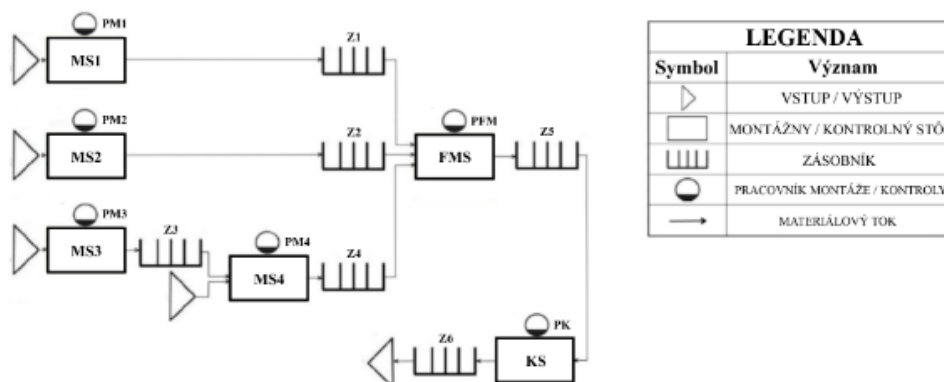
Vyššie uvedené kroky majú základ v simulačných krokoch popísaných v úvode.

Krok 1: Definovanie problému a stanovenie cieľa

Po konzultáciách s podnikom sa definoval problém, ktorý spočíval v tom, že využitie pracovníka finálnej montáže nie je dostatočné. Tým sa stanovil cieľ, navrhnuť a odsimulovať varianty (simulačné modely) s rôznym využitím pracovníka a následne na základe výsledkov vybrať vhodný variant.

Krok 2: Tvorba konceptuálneho modelu

Po zadefinovaní problému a stanovenia cieľa sa pristúpilo k tvorbe konceptuálneho modelu. Pre tvorbu konceptuálneho modelu bolo potrebné zozbierať základné informácie o montážnom pracovisku. Zistil sa počet montážnych a kontrolných stolov na pracovisku, počet pracovníkov a logika pracoviska. Po zistení počtu stolov a pracovníkov na montážnom pracovisku, sa im v rámci simulačného projektu priradilo nasledovné označenie: montážne stoly (MS), finálny montážny stôl (FMS), kontrolný stôl (KS), pracovník montáže (PM), pracovník finálnej montáže (PFM) a pracovník kontroly (PK). Na záver sa vytvoril konceptuálny model, ktorý je zobrazený na Obr. 1.



Obr. 1 Konceptuálny model montážneho pracoviska (zdroj: autor)



Krok 3: Zber dát

Tým, že sa v prvom kroku definoval problém, vedelo sa určiť, aké dáta budú potrebné pre tvorbu simulačného modelu. Získali sa tieto dáta:

- Počet pracovníkov (Krok 2: Tvorba konceptuálneho modelu): 5 pracovníkov montáže, 1 pracovník kontroly.
 - Pracovná zmena: 510 minút (pracovný čas: 480 minút, čas prestávky: 30 minút).
 - Vstupný materiál: spojovací materiál, zväzky káblov, základová doska, USB koncovky, skener, tesnenia, motorčeky, skelet montovaného komponentu.
 - Na pracovisku sa nachádza špeciálny kanban regál, do ktorého sa vkladajú hotové komponenty pre finálnu montáž.
 - Podnik na montážnom pracovisku vykonal meranie časov v súlade s časovou štúdiou pre každý variant zariadenia. Pre variant Z3 sú časy popísané v Tab. 1.
 - Na montážnom stole MS2 sa montujú dva rôzne komponenty potrebné pre finálnu montáž variantu Z3. Na ostatných montážnych stoloch sa montuje jeden komponent.
- [7]

Tab. 1 Časy stolov potrebných pre experiment

Stôl	Komponenty / Zariadenie	Činnosti	Čas [min]	Celkový čas [min]
MS1	A	montáž	19,46	24,96
		kontrola kvality	4	
		zaskladnenie	1,5	
MS2	B	montáž	10,68	16,18
		kontrola kvality	4	
		zaskladnenie	1,5	
	C	brúsenie	5	25,69
		montáž	15,19	
		kvalita kontroly	4	
MS3	D	zaskladnenie	1,5	25,8
		vŕtanie	5	
		montáž	19,3	
MS4	E	úprava pásu	1,5	24,65
		montáž	19,15	
		kontrola kvality	4	
FMS	Z3	zaskladnenie	1,5	17,61
		finálna montáž	16,11	
KS		finálna kontrola kvality	20	20

Krok 4: Tvorba simulačného modelu

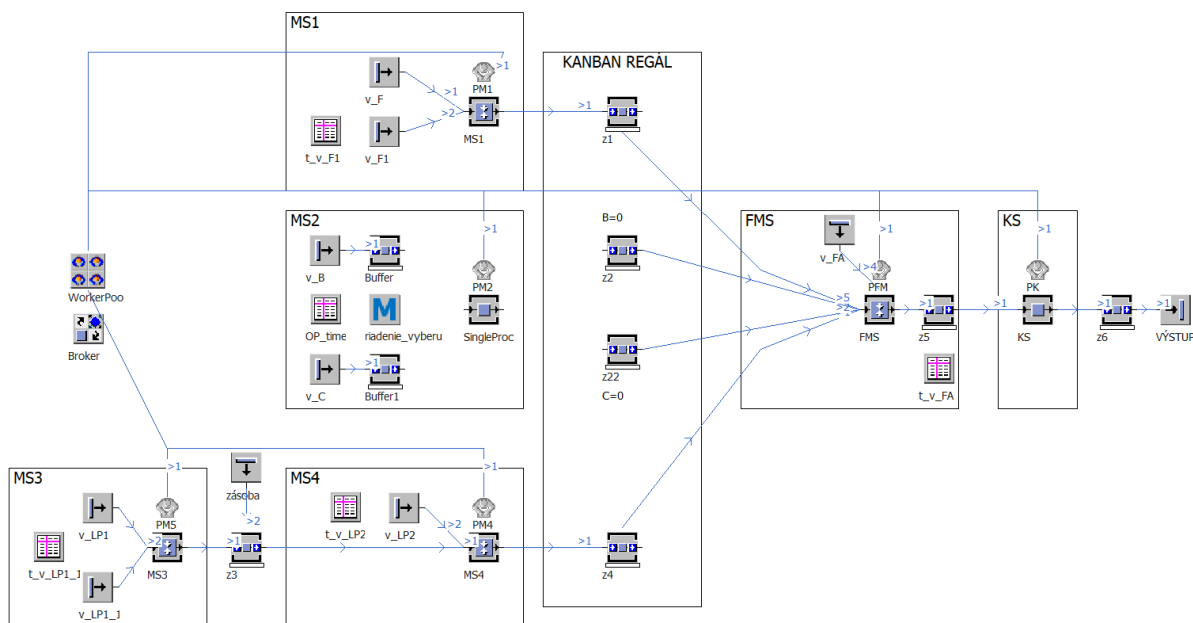
Po vytvorení konceptuálneho modelu a získaní potrebných dát, sa pristúpilo k tvorbe simulačného modelu. Simulačný model sa vytváral v simulačnom softvéri Plant Simulation od spoločnosti Siemens.

V simulačnom modeli sa vytvorili zdroje (vstupný materiál), ktoré vstupujú do montážnych stolov, potom sa vytvorili montážne stoly a kontrolný stôl. Ku každému stolu sa vytvorilo pracovné miesto, na ktorom pracovník vykonáva montáž. Pri montážnom stole MS2, na ktorom sa montujú dva rozdielne komponenty sa vytvorilo pravidlo, aby pracovník vedel, ktorý z komponentov má montovať. Pravidlo na základe množstva v zásobníkoch určuje to, či sa bude na MS2 montovať komponent B alebo C. V prípade, ak by bol rovnaký počet



komponentov B a C v zásobníkoch, bude sa montovať komponent C, pretože má dlhší celkový čas montáže.

Na Obr. 2 je zobrazený vytvorený simulačný model pôvodného montážneho pracoviska. Čiernym orámovaním sú vyznačené montážne stoly a kanban regál. Po vytvorení simulačného modelu sa pristupuje k ďalšiemu kroku, v ktorom sa model verifikoval a validoval. [8,9,10]



Obr. 2 Simulačný model pôvodného pracoviska (zdroj: autor)

Krok 5: Verifikácia a validácia simulačného modelu

Skôr ako sa pristúpilo k experimentu, musela sa skontrolovať správnosť simulačného modelu. Správnosť modelu sa skontrolovala dvoma krokmi:

- **Verifikácia:** pri verifikácii sa spustil simulačný model a kontrolovalo sa, či je celková logika modelu správna, či simulačný model zobrazuje potrebné detaily a prípadne sa odstraňovali chyby, ktoré sa objavili.
- **Validácia:** pri validácii sa porovnával simulačný model s reálnym pracoviskom z hľadiska celkového počtu zmontovaných zariadení Z3. Zmontovaný počet zariadení je porovnateľný s reálnym pracoviskom (16 ks), tým sa simulačný model môže považovať za dostatočné priblíženie sa reálnemu pracovisku.

Po úspešnej verifikácii a validácii sa mohlo pristúpiť k experimentu.

Krok 6: Experiment – Využitie pracovníka finálnej montáže

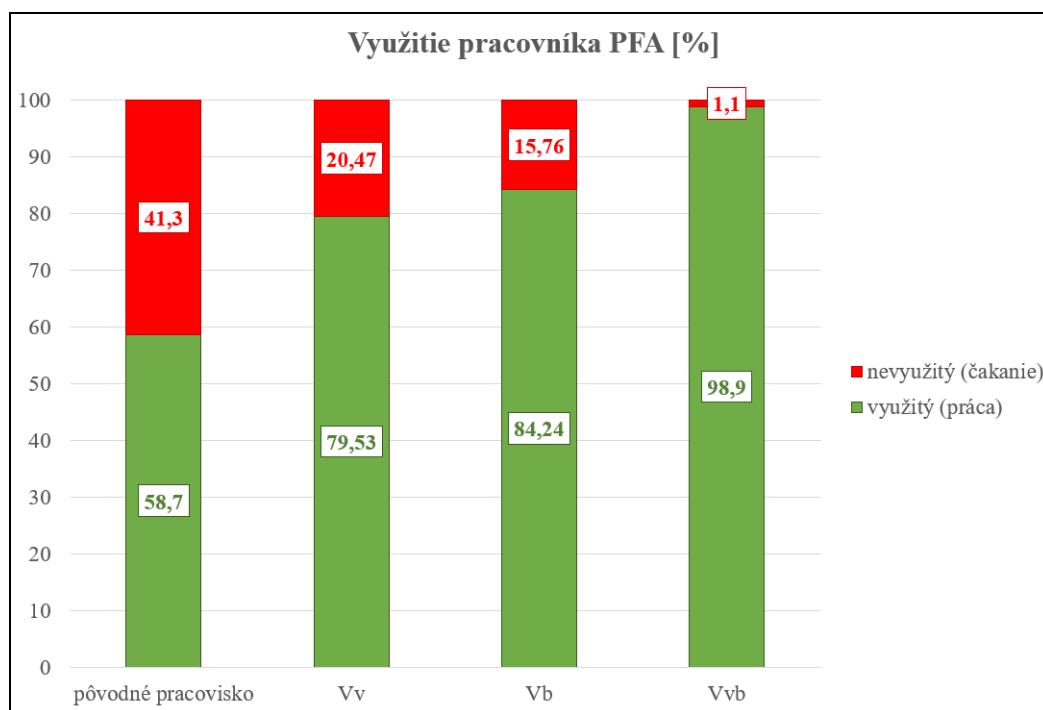
Počas konzultácie v podniku sa zistilo, že pracovník finálnej montáže dostatočne nevyužíva celý svoj pracovný čas na montáž zariadenia Z3. V simulačnom modeli sa nastavil čas na 960 minút (480 minút: doba nábehu z nulového stavu, 480 minút: pracovný čas) a spustil sa simulačný model.

Po skončení simulácie sa z výsledkov zistilo, že pracovník finálnej montáže je využitý na 58,70% (montuje zariadenie) z celkového pracovného času. Zvyšných 41,30% je pracovník nevyužitý (čakanie na komponenty). Na základe výsledkov sa navrhol experiment, v ktorom sa vytvorili 3 varianty s využitím pracovníka:



- **Variant vŕtanie (Vv):** pracovník finálnej montáže bude v čase čakania vykonávať operáciu vŕtanie z montážneho stola MS3. Vŕtanie sa vykonáva na stojanovej vŕtačke, ktorá je umiestnená na samostatnom stole. Na stojanovej vŕtačke sa vyvŕtavajú otvory do komponentu, ktoré sú potrebné pre ďalšiu montáž. Čas vŕtania je 5 minút a stôl so stojanovou vŕtačkou je umiestnený 7,7 m od pracovníka finálnej montáže. Na montážnom stole MS3 sa celkový montážny čas zníži o 5 minút. Potrebný počet vyvŕtaných komponentov na pracovnú zmenu je 16 ks.
- **Variant brúsenie (Vb):** v tomto variante pracovník finálnej montáže vykonával operáciu brúsenie z montážneho stola MS2. Pracovník obrusuje plastové výlisky pomocou ručného pilníka. Čas obrusovania je 5 minút a obrusuje sa na montážnom stole. Na montážnom stole MS2 sa čas zníži o 5 minút. Celkový počet potrebných obrúsených výliskov je 16 ks.
- **Variant vŕtanie, brúsenie (Vvb):** variant je kombináciou predchádzajúcich dvoch variantov. [9]

Po vytvorení návrhov sa vytvorili tri kópie zo simulačného modelu pôvodného montážneho pracoviska. Tieto kópie sa upravili a tým vznikli simulačné modely navrhovaných variantov. Po nastavení simulačného času 960 minút sa spustila simulácia. Výsledky zo simulácie sa spracovali do grafu, ktorý je zobrazený na Obr. 3 a tabuľky Tab.2.



Obr. 3 Grafické spracovanie výsledkov zo simulácie (zdroj: autor)

Tab. 2 Výsledky simulácie z navrhnutých variantov

Varianty	Zmontované Z3 [ks]	Vŕtanie [ks]	Brúsenie [ks]
pôvodné pracovisko	16	-	-
Vv	16	19	-
Vb	17	-	20
Vvb	15	10	9



Krok 7: Vyhodnotenie, ekonomické zhodnotenie

Obr. 3 zobrazuje, že vyššie percento využitia pracovníka (98,90%) je pri variante Vvb, ale variant z hľadiska vyvŕtaných a vybrúsených kusov nevyhovuje (Tab. 2). Tieto množstvá nepokryjú minimálnu potrebu pre pracovnú zmenu. Variant nevyhovuje aj z hľadiska celkového počtu zmontovaných zariadení Z3 (Tab. 2). Pri tomto variante sa zmontuje o jedno zariadenie menej ako pri pôvodnom pracovisku.

Pri porovnaní variantov Vv a Vb z hľadiska využitia pracovníka, má vyššie percento využitia variant Vb (84,24%). Pri danom variante sa obrúsi dostačujúce množstvo plastových výliskov (Tab. 2). Z hľadiska celkového počtu vyrobených kusov sa vyrobí o jedno zariadenie viac ako pri pôvodnom pracovisku a pri variante Vv.

Po vyhodnotení výsledkov, sa vybraný variant Vb ekonomicky zhodnotil z hľadiska efektívneho využitia mzdových nákladov na pracovníka finálnej montáže.

Ekonomické zhodnotenie

V ekonomickom zhodnotení sa variant Vb porovná s pôvodným montážnym pracoviskom z hľadiska mzdových nákladov na pracovníka. Porovnaním sa preukáže výhodnosť variantu Vb (efektívne využitie mzdových nákladov). Skôr ako sa začalo porovnávať, musel sa získať údaj o hodinovej mzde pracovníka. Podnik na účely výpočtu poskytol údaj o superhrubej hodinovej mzde (6,25€). Superhrubá mzda reprezentuje náklady, ktoré má zamestnávateľ na zamestnanca (superhrubá mzda = hrubá mzda pracovníka + odvody zamestnávateľa a platené na zamestnanca).

Pri experimente sa zistilo, že pracovník je využitý na 58,70% z celkového pracovného času (480 minút). Z toho vyplýva, že pracovník je nevyužitý na 41,30% (čaká) a po prepočte na náklady zamestnávateľa na zamestnanca, to činí sumu 20,65€ za pracovnú zmenu. V prepočte na mesiac (160 hodín pracovného času) to činí sumu 413€, čo sa môže charakterizovať ako neefektívne využitie mzdových nákladov (podnik platí zamestnanca za čakanie).

Pri variante Vb je využitie pracovníka na 84,24% z celkového času, čo znamená, že pracovník je nevyužitý na 15,76%. Po prepočte na náklady zamestnávateľa na zamestnanca to činí sumu 7,88€ na pracovnú zmenu a za mesiac to činí sumu 157,60€. Po porovnaní s pôvodným pracoviskom, kleslo neefektívne využitie mzdových nákladov o 61,84%. V peňažnom prepočte to činí úsporu 255,40€ za mesiac. [11]

Záver

Tento príspevok sa zaoberá tvorbou simulačného projektu, ktorý sa riešil v rámci montážneho pracoviska, na ktorom sa montuje 8 variantov zariadenia pre parkovací systém. Na začiatku príspevku sa zadefinovali kroky simulačného projektu, podľa ktorých sa postupovalo pri tvorbe. V prvom kroku sa po konzultácii s podnikom definoval problém a stanovil sa cieľ. V druhom kroku sa získali základné informácie o pracovisku a zostavil sa konceptuálny model. Po zostavení konceptuálneho modelu sa v treťom kroku zozbierali dáta potrebné pre tvorbu simulačného modelu. V štvrtom kroku sa vytvoril simulačný model, v ktorom sa nastavila logika pracoviska a časy montážnych stolov. Po vytvorení simulačného modelu sa v piatom kroku model verifikoval a validoval a pristúpilo sa k návrhu experimentu.

Experiment sa zaoberal využitím pracovníka finálnej montáže. Zo simulácie sa zistilo, že pracovník nevyužíva celý svoj pracovný čas na montáž. Z tohto dôvodu sa vytvorili tri varianty s využitím pracovníka, ktoré sa odsimulovali. Výsledky simulácie sa spracovali do grafu (Obr. 3) a tabuľky (Tab. 2) a vybral sa variant s vyšším percentom využitia.



Vybraný variant sa ekonomicky zhodnotil z hľadiska efektívneho využitia mzdových nákladov na pracovníka a odporučil sa spoločnosti.

Pod'akovanie

„Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0488.“

Použitá literatúra

- [1] MARTINKOVIČ, M.: Počítačová simulácia pri posudzovaní variantov novej výroby. Diplomová práca. Žilinská univerzita v Žiline. 2018. 106 p.
- [2] LIPTÁKOVÁ, A. 2012. Simulácia, nástroj podpory plánovania a riadenia výroby. In Posterus. [online]. 2012, [cit. 2018-01-19]. Dostupné na internete: <<http://www.posterus.sk/?p=13656&output=pdf> >.
- [3] KRAJČOVIČ, M., FURMANN, R. 2017. Projektovanie výrobných a logistických systémov s podporou moderných počítačových technológií. ProIN 2017, ISSN 1339-2271
- [4] GREGOR, M. et al. Industry 4.0 and the digital factory concept, In: InvEnt 2016, (2016) 120-123.
- [5] TAKÁČ, P. Simulácia ako simulačný projekt [online]. 2012, [cit. 2018-01-19]. Dostupné na internete: <https://www.sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2009/index_soubory/clanky/TAKAC%20Peter%20SIMULACIA%20AKO%20SIMULACNY%20PROJEKT.pdf >.
- [6] DLOUHÝ, M. a kol. 2007. Simulace podnikových procesů. 1. vyd. Brno : Computer Press, a.s., 2007. 202 s. ISBN 978-80-251-1649-4.
- [7] HORVÁTHOVÁ, B., GAŠO, M. New technologies for ergonomic workplace evaluation. Bielsko Biala: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2017. - ISBN 978-83-65192-80-7. - S. 419-424.
- [8] KRAJČOVIČ, M., ŠTEFÁNIK, A., DULINA, Ľ.: Logistics processes and systems design using computer simulation. In: Communications – Scientific letters of the University of Žilina. Vol. 18, no. 1A (2016), p. 87-94. ISSN 1335-4205.
- [9] HODOŇ, R., GRZNÁR, P. Dynamic model creation for the value stream mapping. Bielsko-Biala: In: Projekt interdyscyplinarny projektem XXI wieku: monografia. Bielsko Biala: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2017. - ISBN 978-83-65192-80-7. - S. 411-417.
- [10] KRAJČOVIČ, M. et al. Intelligent manufacturing systems in concept of digital factory. Communications: scientific letters of the University of Zilina, 2013, Vol. 15, pp 77– 87. ISSN 1335-4205. Available from: http://www.uniza.sk/komunikacie/archiv/2013/2/2_2013en.pdf.
- [11] MEDVECKÁ, I. a kol. [online]. 2017, [cit. 2018-11-19]. Dostupné na internete: <http://www.sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2017/index.files/prispevky/31_Medvecka_Binasova_Kovacova_Worobel_FinSit.pdf >.

Kontakt

Ing. Milan Martinkovič
Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra priemyselného inžinierstva,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovensko
e-mail: milan.martinkovic@fstroj.uniza.sk



Ing. Radovan Svitek

Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra priemyselného inžinierstva,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovensko

e-mail: radovan.svitek@fstroj.uniza.sk

Ing. Vladimíra Biňasová, PhD., DiS.

Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra priemyselného inžinierstva,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovensko

e-mail: vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk

Prof. Ing. Branislav Mičieta, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra priemyselného inžinierstva,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovensko

e-mail: branislav.micieta@fstroj.uniza.sk