



RIADENIE SPOĽAHLIVOSTI PROCESOV PROSTREDNÍCTVOM INDEXOV SPÔSOBILOSTI

MANAGEMENT OF PROCESS CAPABILITY BY INDEX CAPABILITY

Denisa ĎURIČEKOVÁ – Marek ANDREJKOVIČ – Zuzana HAJDUOVÁ

Abstract

Quantitative capability can be defined as the probability that the item (component, device or system) will perform its function without failure for a specified period under given conditions. Monitoring and evaluation process should be in the application of statistical quality control a top priority. There are many different views on which method of calculating the capacity used. But we cannot say about any of those methods and neither was technically or mathematically better than others. Statistical approach (estimation theory) except description allows immediate eligibility and calculates an estimate of future capacity.

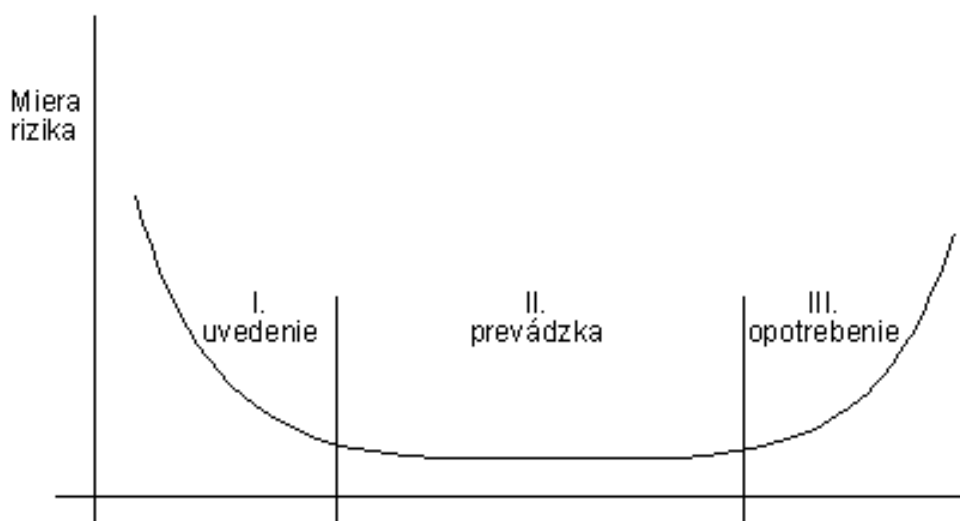
Key words

Process capability, index capability, management, statistical approach

Úvod

Po 1. svetovej vojne sa spoľahlivosť stala hlavným záujmom leteckého priemyslu. Mnohé pokusy o zvýšenie spoľahlivosti boli založené len na pokuse a omyle. Keď niečo zlyhalo, bola navrhnutá a vyrobená náhrada využitím pokroku v technológii a skúseností získaných z vyšetřovania nehody. Z postupne dopĺňaných informácií vznikol systém porúch, ktorý viedol k vyjadreniu spoľahlivosti v prípade zlyhania konkrétneho typu lietadla alebo systému. Postupne však rástla požiadavka kvantifikácie spoľahlivosti.

Spoľahlivosť je teda meradlom pravdepodobnosti úspešného fungovania systému počas určitej doby. Spoľahlivosť väčšiny komponentov sa riadi tzv. spoľahlivostnou „vaňovou krivkou“, ktorá je znázornená na obr. 1.



Obr. 1 "Vaňová" krivka spoľahlivosti



V I. fáze (obr. 1) je stupeň rizika redukovaný eliminovaním slabých komponentov. V II. fáze (fáza životnosti) stupeň rizika zostáva približne konštantný, v III. fáze sa komponenty opotrebovávajú a stupeň rizika sa zvyšuje.

Spôsobilosť procesu

Nech sú systémy alebo prvky akokoľvek dobre navrhnuté a skonštruované, časom určite raz zlyhajú. Základnou úlohou je zabezpečiť, že hoci systém zlyhá, frekvencia jeho zlyhania alebo pravdepodobnosť zotrvať v stave zlyhania v čase bude prijateľná. Prijateľnosť môže byť posudzovaná buď podľa ekonomických, alebo bezpečnostných kritérií, v závislosti od typu daného systému. Najvhodnejšími pravdepodobnostnými formulami na opísanie výkonu prvku alebo systému sú spôsobilosť a spoľahlivosť.

Pod pojmom (kvalitatívna) spôsobilosť procesu (zariadenia) rozumieme schopnosť predmetného procesu (zariadenia) dosahovať požadované (predpísané) požiadavky na kvalitu. Analýza spôsobilosti slúži na:

- overovanie spôsobilosti nového zariadenia pri jeho preberaní,
- odhad spôsobilosti sériovej výroby pred jej nábehom,
- overovanie a preukazovanie spôsobilosti procesov počas sériovej výroby,
- odhad úrovne kvality do budúcnosti.

V praxi teda spôsobilosť procesu je podmienená jeho stabilitou a pre procesy, ktoré nie sú stabilné, je určovanie ich spôsobilosti zbytočné a neuznávané. Najčastejšie používanými ukazovateľmi kvalitatívnej spôsobilosti sú indexy spôsobilosti zariadenia C_m , C_{mk} , C_{mu} , C_{ml} a procesu P_p , C_p , P_{pk} , C_{pk} , P_{pu} , C_{pu} , P_{pl} , C_{pl} .

Pre niektoré modely nie je vhodné použiť normálne rozdelenie. Z toho dôvodu je nevyhnutné dosiahnuť v priemyselnej oblasti čo najskôr záväzné rozhodnutie v prospech tej či onej metódy výpočtu aj pre tieto procesy.

Indexy spôsobilosti

Častou úlohou v spoločnostiach je ocenenie či oznámkovanie procesov, strojov, meracích zariadení, dodávateľov atď., kvôli porovnaniu (benchmarku) procesov, liniek, zmien, vyhoveniu technickým či zákazníckym požiadavkám, analyzovaniu stability, posúdeniu vhodnosti zavedenia štatistickej regulácie a pod.

Na tento účel sa v praxi používajú pomerne ľahko vypočítateľné ukazovatele - indexy spôsobilosti, ktorých otcom je Japonský inžinier a štatistik **Gen'ichi Taguchi**. Jednoduchosť a aplikovateľnosť spočíva v jednoduchej myšlienke porovnania požiadavky zákazníka (tolerancie) so stavom procesu.

Existuje množstvo rôznych označení indexov spôsobilosti (tab.1), a to v závislosti od významu aký má daný index interpretovať od použitej normy alebo automobilovej smernice.

Tab. 1 Najčastejšie používané indexy spôsobilosti

Označenie	Názov / Význam
C_p	Index spôsobilosti (potenciál procesu). Najčastejšie používané označenie väčšinou svetových koncernov. Toto označenie indexu vyjadruje spôsobilosť variability procesu voči požiadavkám zákazníka v dlhom časovom intervale (predpísané normami a smernicami; spravidla 20 pracovných dní). Preto ich tiež často nazývajú indexy dlhodobej spôsobilosti.



C_{pk}	Index spôsobilosti (využitie potenciálu procesu). Vyjadruje spôsobilosť polohy procesu voči požiadavkám, opäť v dlhom časovom intervale (predpísané normami a smernicami). V závislosti od procesu, typu a charakteru výroby, je doba potrebná na realizáciu zberu dát pre výpočet rôzna. Tieto prvé dva indexy resp. ich označenie je často mylne využívané na interpretáciu aj pre významovo iné symboly.
C_{pkd}	Index spôsobilosti (využitie potenciálu procesu dolný). Dolný potenciál procesu. V podstate ukazuje odchýlku spôsobilosti smerom dole od stredu procesu.
C_{pkh}	Index spôsobilosti (využitie potenciálu procesu horný). Horný potenciál procesu. Ukazuje odchýlku spôsobilosti smerom hore od stredu procesu.
Tieto indexy spôsobilosti sú v praxi najviac rozšírené. Mnohokrát sa však s opísaným významom neinterpretujú.	
T_p	Index spôsobilosti nestabilných procesov (potenciál procesu).
T_{pk}	Index spôsobilosti nestabilných procesov (využitie potenciálu procesu).
Význam týchto dvoch indexov je rovnaký ako predchádzajúcich, ibaže symbol T nám hovorí o tom, že proces je v čase nestabilný (mení sa jeho poloha resp. variabilita). Toto označenie sa už v praxi používa oveľa zriedkavejšie a jeho označenie T sa často nahrádza písmenami C alebo P.	
P_p	Predbežný index spôsobilosti (predbežný potenciál).
P_{pk}	Predbežný index spôsobilosti (využitie potenciálu).
Toto označenie sa používa pre indexy, ktorých výberový súbor je zbieraný rovnako v podskupinách ako pri dlhodobej spôsobilosti avšak v kratšom časovom intervale (deň, týždeň, či pri málokusových sériách).	
C_m	Krátkodobý index spôsobilosti (potenciál).
C_{mk}	Krátkodobý index spôsobilosti (využitie potenciálu).
Indexy sa používajú pre vyjadrenie spôsobilosti výrobných zariadení (maschine). Hlavný rozdiel oproti predchádzajúcim ukazovateľom je zber dát. Údaje sú zbierané za sebou.	
C_p^*	Okamžitý ukazovateľ spôsobilosti.
Týmto špeciálnym ukazovateľom je možné uviesť, ktorá charakteristika spôsobilosti by bola dosiahnuteľná za ideálnych podmienok konštantného a vystredného procesu. V podstate sa dá povedať, že slúži ako nejaký spoľahlivostný ukazovateľ indexov spôsobilosti.	
C_{pm}	Index spôsobilosti procesu (špeciálny index spôsobilosti určený na kvalifikáciu bilaterálnych tolerancií).
P_o	Index spôsobilosti procesu (potenciál procesu; polohové tolerancie).
P_{ok}	Index spôsobilosti procesu (využitie potenciálu; polohové tolerancie).
CAM	Priemerný koeficient spôsobilosti (Coefficient d'Aptitude Moyen).
CPK	Koeficient polohy a rozptylu produkcie (Coefficient de position et de dispersion de la production).
CAP	Koeficient spôsobilosti procesu (Coefficient d'aptitude du processus).
Posledné tri označenia sa používajú hlavne vo firmách, ktoré sa riadia francúzskymi normami a automobilovými smernicami CNOMO E41.32.110.N a AFNOR E60-181.	



Modely výpočtov indexov spôsobilosti

Keďže v praxi pracujeme s rôznymi typmi procesov, máme možnosť zvoliť si štatisticky vhodný model výpočtu indexov spôsobilosti. Výber najvhodnejšieho typu modelu si vyžaduje však čo najlepšie štatistické poznanie skúmaného javu. Tab. 2 ukazuje voľbu najvhodnejšej metódy vzhľadom na typ modelu procesu opísaných v norme ISO 21747 (resp. E DIN 55319-3).

Tab. 2 Typ modelu procesu podľa normy ISO 21747 (E DIN 55319-3)

Výpočtová metóda	Model procesu							
	A1	A2	B	C1	C2	C3	C4	D
M1 ₁	x							
M1 ₂	x							
M1 ₃	x							
M1 ₄	x							
M2	x	x		x				
M3	x	x	x	x	x	x	x	x
M4	x	x	x	x	x	x	x	x
M5				x	x	x	x	
M6				x	x	x	x	

Zdroj: ISO 21747

M1 (DIN 55319)

Výpočet pre normálne rozdelenie s odhadmi pre smerodajnú odchýlku σ . Výpočet variability je možné modifikovať v závislosti od veľkosti podskupiny.

$$C_p = \frac{HTM - DTM}{6\hat{\sigma}}; C_{pk} = \min \left\{ \frac{HTM - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - DTM}{3\hat{\sigma}} \right\}$$

$$\hat{\mu}_1 = \bar{x} \text{ alebo } \hat{\mu}_2 = \tilde{x}$$

Aritmetický priemer a medián sú vo výrobnnej praxi najčastejšie používanými charakteristikami polohy, ktorú z nich použijeme, závisí od vhodnosti a štatistických vlastností charakteristiky polohy v tom ktorom prípade.

Metóda M1 môže byť ešte modifikovaná výpočtom variability $\hat{\sigma}$, ďalej sú ukázané štyri rôzne spôsoby výpočtu. Hlavný výber typu je predovšetkým závislý od veľkosti podskupiny.

$$\hat{\sigma}_1 = \sqrt{s^2}; \hat{\sigma}_2 = \frac{\bar{s}}{d_n}; \hat{\sigma}_3 = \frac{\bar{R}}{d_n}; \hat{\sigma}_4 = s_{celk}$$

M2 (DIN 55319)

Metóda sa použitia pri modeloch A1, A2, C1, kde existuje hraničná (t. z. prirodzená resp. fyzikálna) medza a to buď dolná alebo horná. Ide o takzvané unilaterálne tolerancie. Zaujímavosťou je, že v tomto prípade nie je potrebné zisťovať aj potenciál procesu teda index C_p .

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{u_{1-p_{DTM}}}{3}; \frac{u_{1-p_{HTM}}}{3} \right\}$$

M3 (DIN 55319)

Metóda je vhodná pre všetky modely, pričom odhad μ , sa vypočíta ako priemer podskupín alebo ako priemer mediánov. Odhad variability procesu sa vypočíta z rozpätia R. Metódu je vhodné použiť len pri malých podskupinách.



$$C_p = \frac{HTM - DTM}{x_{\max} - x_{\min}}; C_{pk} = \min \left\{ \frac{HTM - \hat{\mu}}{x_{\max} - \hat{\mu}}, \frac{\hat{\mu} - DTM}{\hat{\mu} - x_{\min}} \right\}$$

M4 (DIN 55319)

Metóda je vhodná pre všetky modely, pričom za odhad μ , sa použije priemer alebo medián štatisticky skúmaného súboru. Odhad variability procesu sa vypočíta ako rozdiel dvoch kvantilov vnútri ktorých sa nachádza 99,73% všetkých meraní, analogicky, ako u normálneho rozdelenia 6σ .

$$C_p = \frac{HTM - DTM}{K_{0,99865} - K_{0,00135}}; C_{pk} = \min \left\{ \frac{HTM - \hat{\mu}}{HTM - K_{0,99865}}, \frac{\hat{\mu} - DTM}{K_{0,00135} - DTM} \right\}$$

M5 (DIN 55319)

Metóda je vhodná v prípade štatisticky významnej zmeny polohy (napr. Trend). Je založená na pripočítaní odchýlky polohy k variabilite. Vhodná pre modely typu C.

$$C_p = \frac{HTM - DTM}{6\hat{\sigma} + \hat{\mu}_{add}}; C_{pk} = \min \left\{ \frac{HTM - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma} - \frac{\hat{\mu}_{add}}{2}}, \frac{\hat{\mu} - DTM}{3\hat{\sigma} - \frac{\hat{\mu}_{add}}{2}} \right\}$$

M6 (DIN 55319)

Metóda M6 je rovnako ako metóda M5 vhodná len pre modely typu C, kde dochádza ku kompenzácii známej zmeny polohy v skúmanom súbore dát. Na rozdiel od metódy M5 je založená na odpočítaní šírky tolerance o odchýlku polohy. Obe metódy M5/M6 ďalej predpokladajú normálne rozdelené podskupiny. Je možné použiť aj podskupiny s nekonštantnou veľkosťou.

$$C_p = \frac{HTM - DTM - \hat{\mu}_{add}}{6\hat{\sigma}}; C_{pk} = \min \left\{ \frac{HTM - \hat{\mu} - \frac{\hat{\mu}_{add}}{2}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - DTM - \frac{\hat{\mu}_{add}}{2}}{3\hat{\sigma}} \right\}$$

CNOMO E41.32.110.N

Výpočet spôsobilosti podľa francúzskej automobilovej normy koncernu PSA

$$CAM = \frac{HTM - DTM}{6\hat{\sigma}_3}$$

$$CPK = \min \left\{ \frac{HTM - \hat{\mu}}{3C\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}, \frac{\hat{\mu} - DTM}{3C\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}} \right\} \text{ kde } C = \frac{1}{\sqrt{\frac{\chi_{\alpha,f}^2}{f}}}$$

závisiaca na počte výberového súboru a $f = n - 1$ je stupeň voľnosti.

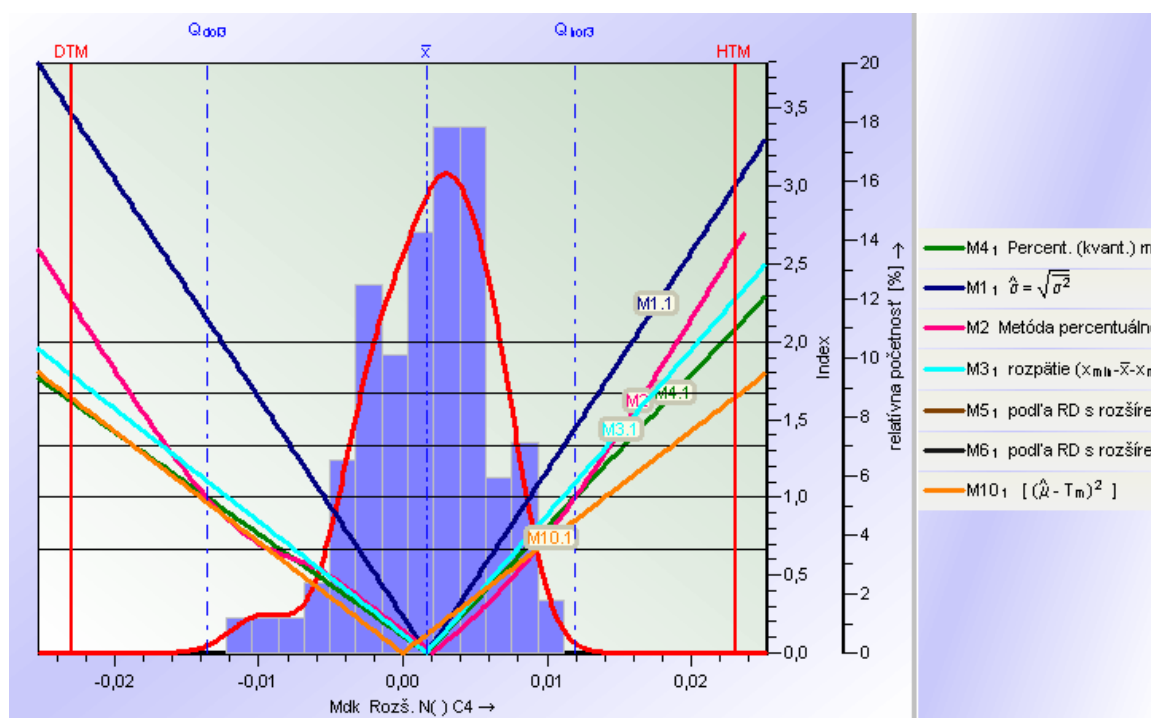
M10 (Cpm - Index)

V niektorých prípadoch je význam indexov neadekvátny a nerieši problém centrovania procesu. Týka sa to prípadu obojstrannej prirodzenej (fyzikálnej) medze t. z. bilaterálna

tolerancia. Variabilitu procesu redukujeme o rozdiel od cieľovej hodnoty. Variabilita pozostáva z dvoch častí: procesnej variability σ a rozdielu pri centrovaní $\mu - T$

$$C_{pm} = \frac{HTM - DTM}{6\sqrt{(\mu - T)^2 - \sigma^2}}$$

Na obrázku je zobrazený príklad, kde sú naznačené rôzne výpočty indexov spôsobilosti pre jeden výberový súbor. Voľba správneho typu výpočtu je závislá od miery poznania kvalifikovaného procesu. Na obr.1 sú naznačené rozdielne výsledky výpočtu indexov spôsobilosti na jednom a tom istom súbore dát. Zaujímavosťou je takmer až 50% rozdiel vo výsledkoch indexov spôsobilosti v závislosti od vybranej metódy výpočtu.



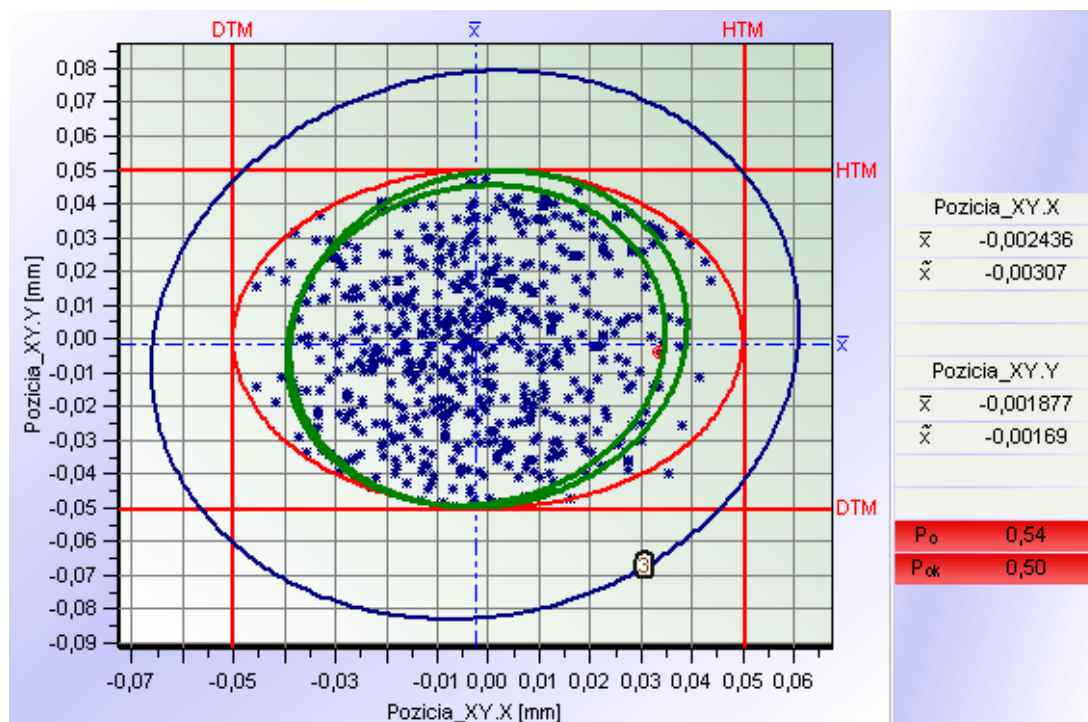
Obr.1 Model procesu C4 (charakterizovaný je náhodnou, ale aj systematickou zmenou polohy)

Na obrázku je zobrazený model procesu C4, ktorý je charakterizovaný náhodnou, ale aj systematickou zmenou polohy. Farebné priamky v tvare V zobrazujú vypočítané indexy spôsobilosti rôznymi metódami.

Indexy spôsobilosti pre toleranciu polohy

Špeciálnym typom indexov spôsobilosti sú indexy pre tolerancie polohy. Rozdiel je v tom, že pre polohové tolerancie musíme počítať s dvojrozmerným rozdelením na rozdiel od predchádzajúcich metód, ktoré vychádzali z jednorozmerných rozdelení.

Pre výpočet indexov tak vlastne dávame do pomeru elipsu požiadaviek (tolerancie), ku elipse variability procesu. Grafické zobrazenie nameraných hodnôt tolerancií polohy je na obr.2.



Obr. 2 Grafické zobrazenie nameraných hodnôt tolerancií polohy

Súhrn

Kvantitatívne môže byť spoľahlivosť definovaná ako pravdepodobnosť, že položka (komponent, zariadenie alebo systém) bude vykonávať svoju funkciu bez poruchy počas stanovenej doby za daných podmienok. Monitorovanie a vyhodnocovanie procesu by malo byť pri aplikácii štatistického riadenia kvality najvyššou prioritou. Existuje mnoho rôznych názorov na to, akú metódu výpočtu spôsobilosti použiť, pritom ale nemôžeme o žiadnej z týchto metód povedať, žeby bola technicky alebo matematicky lepšia ako ostatné. Štatistický prístup (teória odhadu) dovoľuje okrem opisu okamžitej spôsobilosti vypočítať aj odhad predpokladanej budúcej spôsobilosti.

Kľúčové slová

Spoľahlivosť procesov, index spôsobilosti, manažment, štatistický prístup

Príspevok bol pripravený v rámci projektu VEGA č. 1/0339/10.

Použitá literatúra

- [1] Antony, J. – Banuelas, R. – Knowles, G., Implementing Six Sigma (2001), Warwick Manuf. Group, Warwick Univ., Coventry, UK
- [2] Schulze, A. – Dietrich, E. Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation (2009), Hanser Verlag
- [3] Schulze, A. – Conrad, S. Pocket Guide- Abnahme von Fertigungseinrichtungen (2005), Hanser Verlag
- [4] Szombathyová, E. – Kováč, J. Spôsoby merania vybraných ergonomických parametrov. In: Transfer inovácií. - ISSN 1337-7094. - Č. 12 (2008), s. 159-162.
- [5] Wappis, J. – Jung, B. Taschenbuch null-fehler-management: Umsetzung von Six Sigma (2008), Hanser Verlag



- [6] Dipl.-Phys. Franz-Georg Neupert, VW AG Konzern Qualitätssicherung, Vortrag zur VDI-Veranstaltung in Berlin, Statistikbasierte Prozessanalysestrategie bei VW zur gezielten Prozessverbesserung (2003)
- [7] Trebuňa, P. Projektovanie výroby optimálnym systémom hmotných tokov. In: Transfer inovácií. - ISSN 1337-7094. - Č. 11 (2008), s. 184-186.
- [8] Turisová, R. – Pekarčíková, M. Effect of usefulness of machines and equipments on usability of cost function on TPM. In: Acta oeconomica cassoviensia : Scientific journal. - ISSN 1337-6020. - Roč. 2, č. 1 (2009), s. 104-111.
- [9] Smernica VOLKSWAGEN AG VW 101 31, Prověrka způsobilosti procesu pro měřitelné charakteristiky (2005)
- [10] Smernica Zošit 9, Robert Bosch GmbH, Způsobilost strojů a procesů (2004)

Kontaktná adresa

Ing. Denisa Ďuričková, PhD.
Podnikovohospodárska fakulta
Ekonomickej univerzity v Bratislave
Tajovského 11, 041 30 Košice
e-mail: denisa.duricekova@gmail.com

RNDr. Zuzana Hajduová, PhD.
Podnikovohospodárska fakulta
Ekonomickej univerzity v Bratislave
Tajovského 11, 041 30 Košice
e-mail: zuzana.hajduova@euke.sk

Ing. Marek Andrejkovič, PhD.
Podnikovohospodárska fakulta
Ekonomickej univerzity v Bratislave
Tajovského 11, 041 30 Košice
e-mail: marek.andrejkovic@gmail.com