



Aplikácie ergonomických princípov pri digitálnych koncepciách výrobných procesov

Dr. h.c. mult. prof. Ing. Juraj Sinay, DrSc¹, doc. Ing. Michal Hovanec, PhD.²

¹ Katedra bezpečnosti a kvality produkcie, Strojnícka fakulta TU v Košiciach, Zväz automobilového priemyslu SR

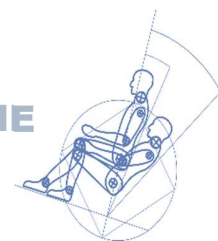
² Katedra leteckého inžinierstva, Letecká fakulta, TU v Košiciach

Úvod do problematiky

Priemyselná revolúcia na konci 19. storočia viedla k radikálnej transformácii výrobných procesov tak vo rámci krajín Európy a následne aj vo svete. Aj počas následných zmien štruktúr priemyslu boli vyspelé štáty hybnou silou industrializácie. Tento vývoj viedol k zvýšeniu kapitálu a rozvoju obyvateľstva krajín, kde sa strategické zmeny v priemysle uplatňovali. Zmeny v štruktúre priemyslu viedli k existencii a následnému rozvoju modernému štátu. Vytvárali sa podmienky pre aplikácie bezpečných pracovných podmienok s aplikáciami moderných ergonomických prístupov. Zohľadňujú sa pritom princípy stratégie Priemyslu 4.0 a/alebo Inteligentného priemyslu [1].

Aplikácie moderných technológií v rôznych odvetviach priemyslu formulujú strategické výzvy pre významne aplikácie ergonomických princípov v 21. storočí. Niektoré klasické prístupy aplikované v rámci výrobných procesov súčasnosti sa vyznačujú primeranou kvalitou a mierou akceptácie. Súčasne digitálne riešenia a nástroje na ich realizáciu sa vyznačujú vysokou úrovňou simulácie, možnosťami vizualizácie v 3D priestore, rýchlosťou realizácie aproximatívnych analýz, implementáciou do komplexného technického riešenia v kontexte zvyšovania produktivity práce [1].

Napriek tendencii intenzívneho zvyšovania automatizácie výrobných, montážnych a logistických procesov naďalej existujú pracovné činnosti, ktoré musí vykonávať človek. Tento fakt podmieňuje existenciu manuálnych pracovných činností resp. ich kombináciu s automatizovanými systémami prostredníctvom komunikačných technológií. Pre tieto činnosti je potrebné riešiť štruktúru pracovísk s ohľadom vytvorenie efektívnych a účinných ergonomických riešení s cieľom zabezpečiť akceptovateľnú úroveň rizík a tým zabezpečiť bezpečnosť vykonávania pracovných činností. Potreba venovať zvýšenú pozornosť oblasti manuálnych činností (napr. všetky práce spojené s nastavovaním robotov a ich údržbou) je dôležitá z pohľadu zvýšenia produktivity práce. Ide o parameter, ktorý charakterizuje podmienky pre konkurencieschopnú a udržateľnú ekonomiku, o ktoré sa usilujú všetky hospodársky vyspelé štáty EU a sveta [7].

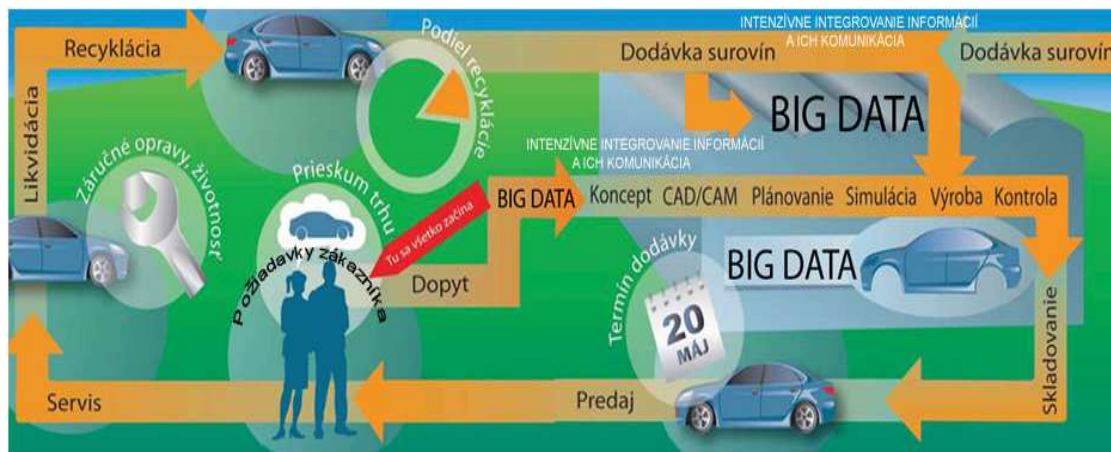


Stratégia Priemysel 4.0, vychádza z aplikácie procesov digitalizácie vo všetkých oblastiach výrobných procesov. Predpokladá sa, že do roku 2020 bude takmer 4,1 miliárd užívateľov internetu na celom svete a 26,3 miliárd sieťových zariadení (viac ako trojnásobok globálnej populácie) ako základnej podmienky pre aplikácie prepojenia internetu vecí (IoT).

Európa je dnes svetovým lídrom v tradičných výrobných odvetviach, od automobilového a farmaceutického priemyslu až po strojárstvo. Digitálne technológie však menia pohľad na tradičné rozdelenia jednotlivých sektorov hospodárstva - napr. vysoký podiel IT v rámci automobilového priemyslu. Dochádza k integrácii rôznych druhov technológií do modelu mechatronických systémov. Keďže digitálne technológie sú dnes súčasťou väčšiny hospodárskych odvetví, hlavnou výzvou je zabezpečiť, aby priemysel a služby boli pripravené na ich implementáciu v priebehu nasledujúceho desaťročia [6].

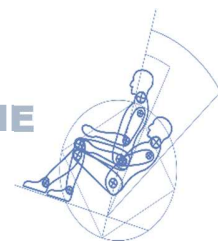
1. Aplikácia princípu efektívnych ergonomických riešení v rámci Automobilového priemyslu

Súčasný trend využívania ako aj výroby automobilov sa vyznačujú intenzívnou aplikáciou digitálnych princípov, ktoré budú mať podstatný vplyv na mobilitu budúcnosti. Obidva vynálezy storočia – automobil a počítač – sa neustále k sebe približujú do formy mechatronického systému.



Obr. 1 Komplex aktivít pre aplikáciu digitálnych technológií v rámci výroby automobilu (zdroj Visions SIEMENS)

V rámci Smart factory – inteligentná automobilka - sa zohľadňujú individuálne požiadavky /priania/ zákazníkov tak, že aj jedinečné automobily je možné vyrobiť za rentabilné ceny. Digitalizácia ako jedna /najrozhodujúcejšia/ z podmienok pre efektívnu výrobu moderných



automobilov sa stáva integrovanou súčasťou výrobných procesov automobilových firiem a ich subdodávateľov – obr. 1.

Súčasne výrobné, montážne a logistické technológie vytvárajú podmienky pre skracovanie príslušných časových veličín výrobných cyklov a vytvárajú predpoklady pre uspokojovanie potrieb zákazníkov v krátkych časových cykloch. Súčasný stav na trhu s automobilmi charakterizovaný zvýšeným prienikom výrobkov s aplikáciami digitálnych technológií vytvára podmienky pre nové vertikálne a horizontálne partnerstvá medzi všetkými typmi firiem vo výrobnom reťazci čím sa odstraňujú príp. minimalizujú tradičné priemyselné bariéry. Z potenciálnych konkurentov sa môžu stať partneri. Spotrebitelia už neakceptujú len štandardizované výrobky. Požadujú výrobky, ktoré uspokojia ich individuálne požiadavky ako jeden z cieľom aplikácie Stratégie Priemysel 4.0. Cieľové skupiny musia byť identifikované s dostatočným časovým predstihom čo podmieňuje vytvorenie podmienok pre efektívnu komunikáciu so zákazníkom.

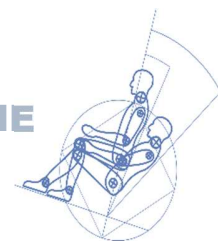
V dôsledku uvedených skutočností musia výrobcovia automobilov a ich subdodávatelia zohľadniť nové a náročnejšie požiadavky [2]:

□ **Akceleráciu modifikácie a diverzifikácie produkčného portfólia:** Koneční výrobcovia (OEM) skracujú životné cykly svojich výrobkov tak aby boli schopní reagovať na individuálne a rýchlo sa meniace požiadavky zákazníkov na inovované výrobky. V minulosti bola priemerná doba **životného cyklu výrobku v automobilovom priemysle osem rokov**, dnes je to omnoho kratšie aj keď sa v niektorých prípadoch jedná o dizajn výrobku modifikovaný po dvoch, alebo troch rokoch na trhu.

□ **Prienik automobilov s digitálnymi technológiami:** V roku 2002 digitálne technológie tvorili v priemere 22% hodnoty vozidla, v roku 2010 to bolo už okolo 35%. Ale pre výrobcov OEM integrácia hardwaru a softwaru do automobilu predstavuje dominantný akceleračný faktor zvýšenia funkčnosti súčasne so zvýšením zložitosti.

□ **Aplikácia digitálnych princípov ergonomie v automobilovom priemysle:** Pri prevádzke strojov a strojových zariadení v dôsledku zavádzania digitalizácie jednotlivých procesov vo výrobe v automobilkách stále viac narastá význam riadiaceho softvéru, pohonov, senzorov, mobility dát na úkor klasických mechanických riešení [5]. Uvedeniu súčasných výrobných liniek do prevádzky predchádza v súčasnej dobe simulácia ich činnosti pomocou digitálnych modelov využívajúcich aj množstvo podporných metód v podobe digitálnej ergonomie a jej metód v kontexte systému človek - stroj - prostredie.

Čiastkové riešenie problémov vznikajúcich vo výrobnom procese je možné dosiahnuť využitím existujúcich ergonomických postupov a techník. Dôležitou úlohou je dodržiavanie záväzných, normovaných príp. odporučených hodnôt, uvedených v aktuálne platnej záväznej legislatíve.



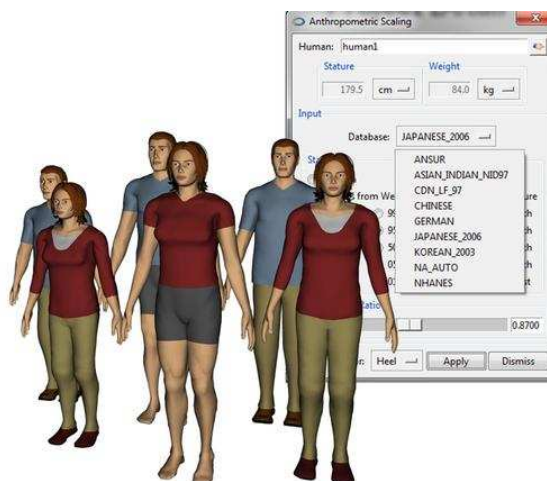
2. Niektoré softwarové balíky pre realizáciu ergonomických analýz

Komplexné riešenie problémov v pracovnom systéme poskytujú parciálne CAx systémy z portfólia PLM - celoživotného cyklu výrobných procesov, ktoré umožňujú riešenie problémov ešte pred fyzickým vytvorením produktu alebo procesu. Ich výhodou je napr. pružné prispôsobenie sa zmeneným podmienkam, využitie variantov pri návrhoch, možnosť simulácie. Softvérové aplikácie, ktoré poskytujú možnosť simulácie ľudského faktora v 3D prostredí umožňujú umiestniť do virtuálneho pracoviska digitálny model človeka (rešpektujúci jeho morfológické parametre ako napr. výšku, vek, pohlavie). Pomocou nich je možné analyzovať jeho správanie a výkon pri konkrétnej pracovnej činnosti.

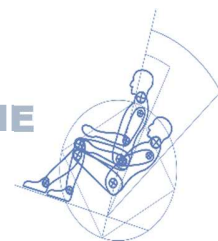
2.1 Softwarový balík Tecnomatix Jack

Medzi používané softvérové aplikácie v oblasti ergonomie patrí napríklad Tecnomatix Jack, ktorý je určený na štúdium správania sa človeka pri práci a umožňuje simuláciu a optimalizáciu pracovného prostredia, ako aj simuláciu a vyhodnocovanie vplyvu pracovnej činnosti a pracovného miesta na človeka.

Model človeka v prostredí Tecnomatix Jack má reálne biomechanické vlastnosti s prirodzeným pohybom a rozsahom kĺbov, ktoré boli prevzaté z rôznych štúdií NASA. Tento model sa skladá zo 71 segmentov a 69 kĺbov, z ktorých niektoré majú viac osí a viac stupňov voľnosti - obr. 2. Celkovo umožňuje realizovať 135 stupňov voľnosti [1]. Štúdiá môže byť buď statická (výhľad na daný predmet, zorný uhol v aute), alebo pohybová (prekladanie predmetu, výmena súčiastky) [2].



Obr. 2 Možnosti nastavenia biomechanického modelu pomocou Tecnomatix Jack

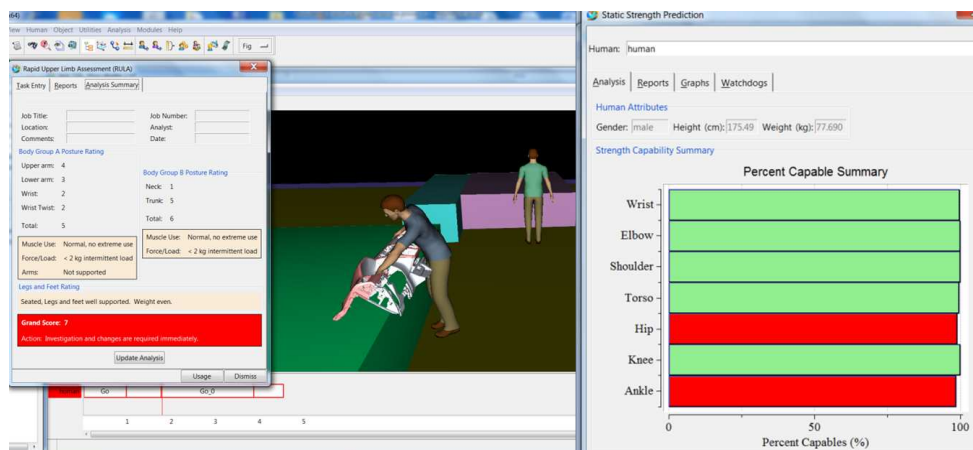


Tento softvér pracuje s najnovšími antropometrickými údajmi, ktoré sú pravidelne aktualizované, keďže u súčasnej populácie sa neustále menia jej antropometrické parametre (napr. geometria človeka). Softvér ponúka 30 základných východiskových polôh figuríny, ktoré sa nachádzajú v knižnici softvéru. Použitím funkcie reach zones pre pravú ruku je daná možnosť overiť jednotlivé jej zóny dosahu.

Keďže základnou požiadavkou je pracovať v danom simulačnom prostredí s konkrétnymi údajmi aktuálneho zamestnanca, je možné pomocou funkcie HUMAN SCALING nastaviť požadované rozmery ako sú [3], [4]:

- pohlavie vybraného modelu človeka,
- výška,
- hmotnosť,
- výber typu človeka v súlade s databázou jednotlivých kontinentov,
- výber percentilu pri základnom výbere z databázy podľa definovaného populačného výskumu.

V rámci ergonomických analýz je možné hodnotiť fyzické zaťaženie zamestnancov, pracovné polohy pri práci, analyzovať rozmery pracoviska a úkony, ktoré zamestnanec pri práci vykonáva, realizovať časové štúdie pracoviska, atď [6], [7].



Obr. 3 Tecnomatix Jack - Výsledky metódy RULA, celkové skoré 7 – Výsledky metódy SSP neprijateľná pracovná poloha v oblasti bedier a členka

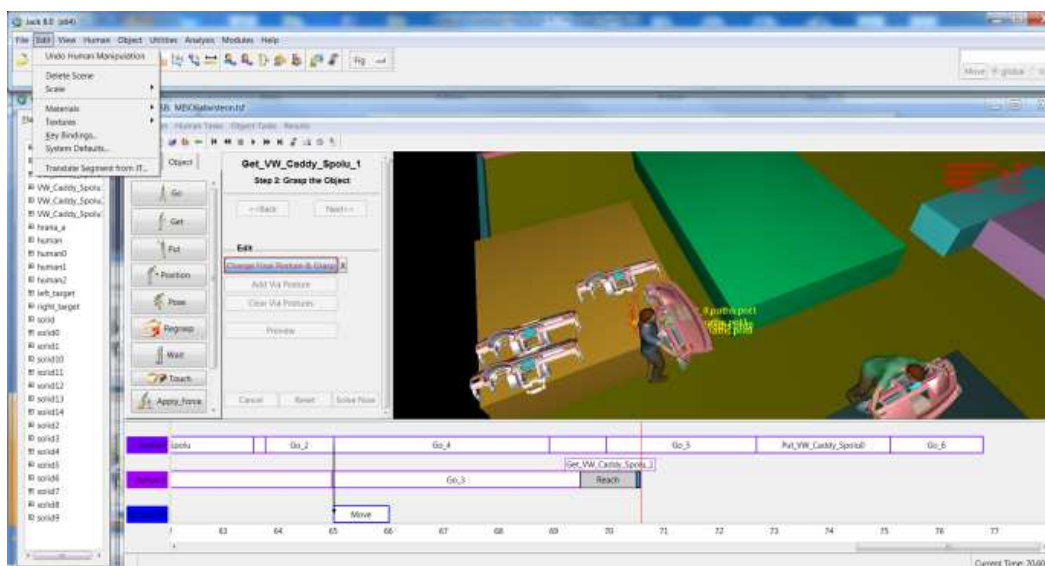
Softvérový balík Tecnomatix Jack umožňuje realizáciu rôznych ergonomických analýz – obr. 3, medzi ktoré patria:

- Fatigue Analysis,
- Low Back Spinal Force Analysis,
- Manual Handling Limit,



- Metabolic Energy Expenditure,
- NIOSH Lifting Analysis,
- Working Posture (OWAS),
- Predetermined Time Analysis (MTM-1),
- Rapid Upper Limb Assessment (RULA),
- Static Strength Prediction.

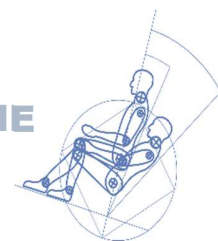
Moderne výrobné technológie, ktoré sa aplikujú v automobilovom priemysle vychádzajú z možnosti digitalizácie všetkých procesov v rámci výrobných, montážnych a logistických technológiách pri výrobe konečného produktu/automobilu. Ich aplikácie zabezpečia jeho flexibilitu, konkurencieschopnosť a udržateľnosť na európskych a svetových trhoch - obr. 4.



Obr. 4 Tecnomatix JACK možné určenie kolíznych stavov v module TaskSB (zdroj SIEMENS PLM)

PLC - Informácie o designe výrobku sa využijú v etape konštruovania, MES (Manufacturing Execution System) riadi procesy výroby, ktorých efektívnosť závisí predovšetkým od stupňa jej automatizácie. Informačné riadiace systémy sú súčasťou obchodných procesov vo firme – všetko musí byť zosúladiené v rámci horizontálnej väzby počas PLM – životný cyklus výrobku.

3. Trendy budúcnosti v rámci integrácie ergonomických princípov v moderných výrobných procesoch



Dialóg medzi výrobkom a strojmi vo výrobných linkách zabezpečuje flexibilitu a robustnosť systému. V budúcnosti sa bude výroba automobilov vyznačovať vysokým podielom individuálnych požiadaviek na konečný produkt pokiaľ možno za cenu výrobku vyrobeného v rámci sériovej výroby. Tým sa budú meniť aj požiadavky na výrobné a logistické procesy v rámci ich výroby.

Tieto trendy sú súčasťou stratégie Industrie 4.0 (inteligentného priemyslu). Jedným zo základných princípov stratégie je Inteligentná fabrika /Smart factory/ so svojou novou výrobnou logikou založenou na princípe digitálneho podniku.

Inteligentné výrobky, ku ktorým patria v súčasnosti automobily, musia byť jednoznačne identifikovateľné počas celého výrobného procesu. K tomu pristupuje požiadavka na možnosť získania informácií o ich okamžitej rozpracovanosti vo výrobnom procese ako aj možnosť realizovať individuálne požiadavky na jeho vlastnosti ešte počas výroby na základe požiadaviek zákazníka. Pri zohľadnení druhu úpravy alebo doplnenia pôvodného vybavenia automobilu je potrebné vypracovať taký systém zberu dát, aby mohol operátor na základe informácie od obchodníkov zadať pokyn pre zmenu dát použitých pri špecifikácii pôvodnej zákazky.

Pre efektívnu realizáciu skracovania výrobných časov, pružné reakcie na požiadavky zákazníkov a dosahovania kvality automobilu na jeho výstupe sa v súčasnosti, ako súčasť digitálnej fabriky, využívajú nové technológie ako je napr. 3D tlač, Rapid prototyping, Reverzné inžinierstvo, pričom intenzita ich aplikácie sa bude v budúcnosti zvyšovať. Aj keď sú tieto technológie známe niekoľko rokov k ich efektívnemu integrovanému využitiu dochádza práve v komplexných technológiách digitálneho podniku ako súčasť Stratégie Priemysle 4.0.

Realizácia skracovania výrobných procesov spolu s individuálnymi požiadavkami na konečný výrobok - automobil si vyžadujú horizontálnu komunikáciu medzi konečným výrobcom automobilu a jeho subdodávateľmi. Táto komunikácia, ako súčasť výrobného procesu, si vyžaduje spracovanie množstva informácií. Tok informácií v digitálnej forme sa uskutočňuje v horizontálnom formáte teda medzi všetkými zúčastnenými aktérmi v rámci výrobného procesu automobilu. Je kombinovaný s vertikálnym spôsobom komunikácie v rámci jednej firmy, teda identifikovanie toku informácií v rámci logistického systému vo firme cez informácie z výrobných hál a ich sprostredkovanie vrcholovému manažmentu automobilky. Dochádza k aplikáciám integrovaných ergonomických princípov tak, že sa zohľadňujú všetci aktéri teda konečných výrobcov, ako aj ich dodávateľov ako súčasť princípov kladených na výslednú kvalitu konečného produktu – automobilu.

Dôsledky aplikácie digitalizácie v rámci PLM vedú k tomu, že sa podstatne skracujú intervaly nielen v etape dodania nového automobilu v rámci obchodnej siete ale aj k skracovaniu času jeho výroby ale aj vývoja nového automobilu ako aj jeho pôsobenia v prevádzke. V súčasnosti sa v dôsledku digitalizácie skrátí vývoj nového typu



automobilu viac ako 3 krát na dobu 3 až 5 rokov, podľa stupňa novosti rozhodujúcich komponentov, pričom počas tohto času sa realizujú jedna až dve inováčné zmeny.

4. Záver

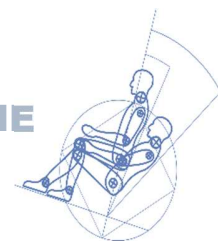
Projektovanie nového resp. optimalizácia existujúceho pracovného miesta pre manuálnu činnosť ako súčasť technológii Stratégie Priemyslu 4.0 sa má realizovať s cieľom umožniť čo najširšiemu okruhu pracovníkov vykonávať pracovnú činnosť bez zvýšenia pracovnej záťaže v zdravom a bezpečnom pracovnom prostredí. Mení sa charakter aktuálnych pracovných operácií. To znamená tvorbu a úpravu pracovného miesta s rešpektovaním ergonomických zásad, ktoré zaručia vyššiu mieru prispôbitelnosti pracovného systému a zabezpečia tak zachovanie pracovnej pohody človeka pri práci.

Stratégia Industrie 4.0, ako jedna z rozhodujúcich faktorov pre rozvoj najsilnejšej ekonomiky EU musí byť motivujúcim činiteľom pre súčasný priemysel jednotlivých členských štátov, pokiaľ si chce zachovať svoju konkurencieschopnosť a to aj v oblasti digitálnej ergonomie v automobilovom priemysle. Bez intenzívnej digitalizácie priemyselných činností nie je v súčasnosti pravdepodobný udržateľný rozvoj spoločnosti.

Príspevok bol vypracovaný v rámci realizácie projektov: APVV-15-0351 „Vývoj a aplikácie modelov riadenia rizík v podmienkach technologických systémov v súlade so stratégiou Priemysel (Industrie) 4.0“ a VEGA 1/0150/15 „Vývoj metód implementácie a verifikácie integrovaných systémov bezpečnosti strojov, strojových systémov a priemyselných technológií“.

Literatúra

- [1] MARRAS, W.S., KARWOWSKI, W. (2006). Fundamentals and Assessment Tools for Occupational Ergonomics, Taylor&Francis Group, CRC. ISBN 0-8493-1937-4
- [2] SMUTNÁ, M., DULINA, L. 2010: Metódy a softvérová podpora v priemyselnej ergonomii, CD. Slovenská ergonomická spoločnosť (SES) 2010, 146 s. ISBN 978-80-970525-6-0.
- [3] HNÁT, J.: Assembly line balancing problem solved by generic algorithm. In Advanced Industrial Engineering. Wydawnictwo Fundacji Centrum Nowych Technologii, Bielsko-Biala. 2013. p. 7-22. ISBN 978-83-927531-6-2.
- [4] KORBA, P. - PILA, J. : Aplikácia CAx systémov pri projektovaní konštrukčných uzlov vrtuľníka - 1. vyd. - Puławy : Zakład Poligraficzny WISŁA - 2013. - 191 p.. - ISBN 978-83-937543-3-5.



- [5] HOVANEK M., SINAY J., PAČAIOVÁ H. (2014). Application of Proactive Ergonomics Utilizing Digital Plant Methods Based on Augmented Reality as a Tool Improving Prevention for Employees - 2014. In: International Symposium on Occupational Safety and Hygiene: 13. - 14.2.2014: Guimares, Portugalsko P. 182-185 Guimares : SPOSHO, 2014, ISBN : 978-989-98203-2-6
- [6] Citované z :<https://euractiv.sk/clanky/buducnost-eu/v-tallinne-sa-zacal-summit-nova-cestovna-mapa-pre-uniu-nepribudne/>
- [7] Citované :<http://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/1150-ergonomicke-aspekty-pracovneho-systemu>