

ZLEPŠOVANIE PRODUKTIVITY TOVÁRNE SPOJENÍM TPM A DIGITALIZÁCIE

Miroslav FUSKO, Miroslav RAKYTA, Marcel DUBEC, František RUMAN

Anotácia

Údržba výrobných zariadení je dynamický systém, ktorý musí zohľadniť mnoho faktorov – požiadavky zákazníkov (interných, externých), vekovú štruktúru a typ strojov, typ výrobných procesov a hlavne požiadavky akcionárov pri zabezpečení spoľahlivosti výrobných zariadení hlavného výrobného procesu. Preto je potrebné plánovať údržbu a opravy výrobných systémov na princípoch: nákladovosti, efektívnosti, spoľahlivosti a bezpečnosti. V továrňach je veľmi dôležité urobiť poriadok v údajoch pre potreby prechodu na digitalizáciu aj na oddeleniach údržby. Inak je len ťažko hovoriť o digitálnom podniku a digitálnom dvojčati, projektoch Industry 4.0, alebo Maintenance 4.0. Z tohto dôvodu je nutnosťou v továrňach vypracovať stratégiu údržby prechodu z klasického systému riadenia údržby na digitálny systém riadenia údržby, jeho personál na jeho zabezpečenie a zároveň pripraviť vzdelávací program od stredných až po vysoké školy na nový systém organizácie a riadenia údržby. Zmena pohľadu na profesiu údržbár!

Kľúčové slová: produktivita, TPM, údržba, priemyselné inžinierstvo, digitalizácia, inovácie

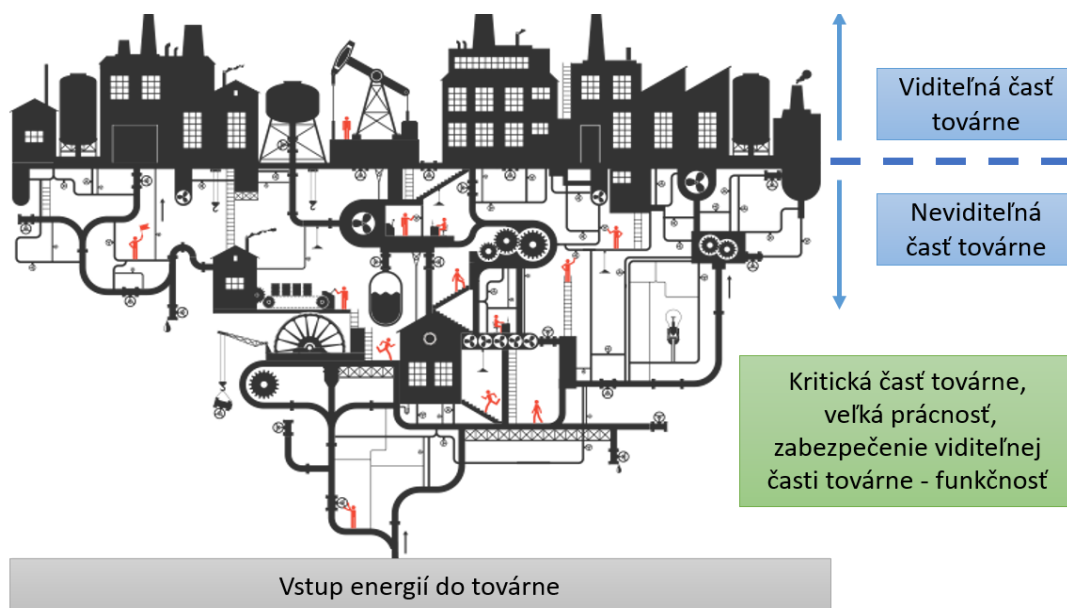
ÚVOD

Historický vývoj, ako aj vplyv globalizácie a megatrendov vyvolali potrebu zmeny procesu v jednotlivých priemyselných odvetviach. Meniace sa požiadavky zákazníkov kladli veľký dôraz na flexibilitu výroby, inovácie a flexibilitu pri reagovaní na zmeny. Dnes je potrebné rýchlo upraviť štruktúru a organizáciu výroby, čo je často časovo náročné a nákladné. Mnoho krajín a skupín štátov pripravilo svoje vlastné iniciatívy na zlepšenie postavenia jednotlivých priemyselných odvetví a priemyselnej výroby. Jednou z najznámejších iniciatív je nemecký Priemysel 4.0. Medzi ďalšie známe prístupy a iniciatívy patria Továrne budúcnosti alebo Holandský inteligentný priemysel a podobne. Spoločným menovateľom všetkých iniciatív je zvýšenie úrovne digitalizácie a autonómie procesov. Digitalizáciu výroby a údržby je možné robiť postupne a aj bez veľkých investícií na existujúcich strojoch a zariadeniach. Je to postupný a dlhodobý proces, ktorý však prinášajúci pozitívne výsledky od samotného začiatku. Na aplikáciu Priemyslu 4.0 neexistuje žiadna šablóna. Každá továreň a organizácia potrebuje unikátne riešenie zodpovedajúce jej stratégii rozvoja, podmienok charakteru výrobkov, výroby, jej opakovanosti, trhu a predstáv manažmentu. Je potrebné nastaviť manažment konfigurácie údržby pre Priemysel 4.0 na dané odrazové podmienky továrne, t.j. zistenie súčasného stavu údržby. V súčasnosti už má veľa tovární spracované min. základné vstupy do programu Priemysel 4.0, avšak o tom nemusí vedieť. Takéto Smart a neskôr inteligentné továrne budú konkurencieschopnejšie a ich úroveň konfigurácie procesov bude na vysokej úrovni. Úspešnosť budúcich aktivít tovární bude preto závisieť od včasného odhalenia potenciálnych príležitostí a hrozieb [1].

1. TPM – Totálne produktívna údržba

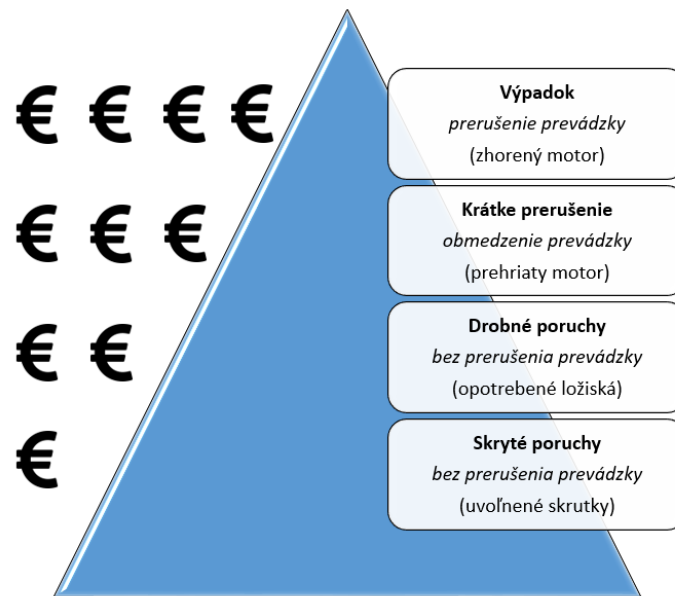
Pozitíva zavedenia TPM v továrňach nesledujeme len vo sfére výroby, môžeme však vidieť hmotné i nehmotné prínosy v rámci celej továrne. Táto japonská filozofia údržby sa postupne začala uplatňovať vo väčšine svetových úspešných továrňach a v súčasnosti reprezentuje nástroj, ktorého správnou implementáciou možno výrazne zvýšiť konkurencieschopnosť továrne. Hoc vznik TPM sa datuje v rokoch 1950 – 1970 v Japonsku (autor Seiichi Nakajima) aj dnes predstavuje táto filozofia veľmi účinný nástroj pre zefektívnenie procesov v továrňach a zvýšenie produktivity bez väčších investícií. Tento prístup však prináša do praxe, okrem iného aj reálnu aplikáciu matematických a štatistických metód. Jeho prvoradým cieľom je predchádzať poruchám v továrni. Tento koncept, resp. filozofia, tvorí teda prvotný základ na ceste k transformácii klasickej továrne na smart továreň.

Továreň možno rozdeliť na dve časti, a to na viditeľnú a neviditeľnú časť (obr. 1). Viditeľná časť je prezentácia továrne navonok, čiže to čo vidíme, keď navštívime továreň. Viditeľnú časť predstavuje environment továrne, stroje a zariadenia, budovy, okolie továrne, pracovníci a pod. Tú neviditeľnú časť predstavuje všetko čo, čo treba na zabezpečenie tej viditeľnej časti továrne. Predovšetkým je to technický servis, ktorý má za úlohu udržiavať všetky procesy funkčné. Táto neviditeľná časť továrne sa môže nazvať aj kritická časť továrne, pretože keď zlyhá, tak nastáva problém v celej továrni.



Obr. 1 Časti továrne (spracované podľa [2])

Na základe štatistických a matematických metód je možné efektívne určiť optimálny rozsah preventívnej údržby, tak aby sa možnosť poruchy minimalizovala. Pracovníci technického servisu v továrni využívajú vyhodnotenia poznatkov z terénu (implicitné a explicitné znalosti) na tvorbu harmonogramu údržby strojov a zariadení. Cieľom tohto postupu je predísť akýmkoľvek neželaným technickým problémom a zvýšeným výdajom financií na údržbu strojov a zariadení (obr. 2). Výsledkom aplikácie TPM je minimalizovanie výpadkov stroja počas výroby a s tým spojené straty produkcie.



Obr. 2 Stupňovitost porúch a ich finančné vyjadrenie

Stratégia riadenia údržby v organizáciách sa orientuje na údržbu plánovanú (preventívnu údržbu), ale i na neplánovanú (údržbu po poruche) a týka sa aj špecializovaných opravovní s líniovým charakterom riadenia plánovanej údržby. Vychádza z programu preventívnej periodickej údržby a z výsledkov technickej diagnostiky (kontinuálne – online monitoring alebo nespojitej periodickej), ktorá je východiskom pre diagnostickú prediktívnu údržbu. Riadenie procesov v špecializovaných opravovniach vychádza zo zásad platných pre riadenie výroby v strojárnských organizáciách. Riadenie údržby po poruche je s ohľadom na jej náhodnosť vždy náročnejší proces, charakterizujúci lokalizáciou poruchy, opravou a výstupnou kontrolou, ktorou sa overuje spôsobilosť výrobného zariadenia po realizácii výkonu údržby po poruche. Túto údržbu nie je možné plánovať, len po výskyte poruchy riadiť opravárenský úkon, definovať príčinu a navrhnúť nápravné opatrenie pre elimináciu jej opakovaného výskytu a následkov (FMECA). V prípade potreby zaradiť do preventívnej údržby. Hlavná úloha projektovania stratégie údržby spočíva v zlepšení priepustnosti systému a v znížení pravdepodobnosti zlyhania celého systému zapojením obsluhy do starostlivosti o strojné zariadenie. Netreba však zabúdať, že tak ako ostatné princípy Lean aj v TPM je nevyhnutný tréning zamestnancov v oblasti starostlivosti o stroje a zariadenia [3].

2. SMART TOVÁREŇ

Digitalizácia ponúka možnosť optimalizovať a oveľa efektívnejšie a flexibilnejšie ovládať výrobné procesy v továrňach. Reálne výrobné-montážne systémy sa vďaka senzorum, automatizácii, robotom, systémom pre zber a spracovanie dát a v poslednej dobe aj zavedením prvkov umelej inteligencie stávajú čoraz viac Smart. Postupným vývojom sa tieto továrne začnú stávať aj čoraz viac inteligentnejšími a odolnými voči vonkajším vplyvom.

Internet vecí a cloud computing umožňujú zo zbieraných dát získavať nové znalosti a využívať ich pri optimalizácii reálnych výrobných systémov. Vstupnou bránou ku

„kyberneticko-fyzikálnym systémom“ je digitálny podnik, ktorý bol rozvíjaný na Katedre priemyselného inžinierstva ako prvej katedre na Slovensku. Ponúka riešenia pre projektovanie a riadenie výrobných systémov aj pre samotný vývoj produktov. Umožňuje postupne vytvárať digitálny model celej továrne a využívať ho ďalej pri navrhovaní, simulácii a optimalizácii výroby. Zároveň je nevyhnutným predpokladom na zavedenie virtuálnej a rozšírenej reality do výrobných procesov. S postupným osádzaním senzorov, zberom údajov v reálnom čase a implementáciou disruptívnych technológií sa tieto modely môžu dopĺňať o zozbierané dáta, čím sa začne tvoriť virtuálna továrneň. Výsledkom následne dostávame koncept digitálneho dvojčaťa továrne [4].

Samozrejme, z ničoho nič sa nemôžu súčasné továrne adaptovať na nové podmienky. Táto adaptácia, resp. transformácia musí pozostávať z určitých krokov (etáp, fáz). Tieto kroky sa väčšinou zdajú jednoduché, no pokiaľ ideme podrobne po jednotlivých oblastiach, tak je to naozaj náročný proces. Tak ako sa zavádza TPM v továrňach, odporúčame zavádzať aj digitalizáciu, t.j. najskôr začínať v oblasti pomocných a obslužných procesov v tesnej spolupráci s výrobnou časťou továrne. Ako isto vieme oddelenia údržby a výroby sú spojené nádoby. Navrhnutý a odporúčaný postup digitalizácie údržby:

- KROK 1: Audit údržby z hľadiska komplexnosti a pripravenosti na Priemysel 4.0 a Údržba 4.0.
- KROK 2: Verifikácia údajov manažmentu údržby – návrh projektu digitalizácie..
- KROK 3: Segmentácia procesov výroby – výber prevádzky pre digitalizáciu údržby.
- KROK 4: Kvantifikácia položiek konfigurácie systému údržby pre digitalizáciu.
- KROK 5: Nastavenie kritérií a znalostí pre položky systému konfigurácie údržby – rozhodovací model - digitálne dvojča.
- KROK 6: Výber prostriedkov technickej diagnostiky, PLM riešení, modulov pre zber údajov, monitoring strojov.
- KROK 7: Nasadiť zber údajov - navrhnutie štruktúry správy údajov (cloud computing), technického /PDA, tablet, mobilné aplikácie/ a SW riešenia.
- KROK 8: Návrh zmeny organizácie a riadenia údržby na princípe digitalizácie.
- KROK 9: Realizácia digitalizácie údržby na vybranej prevádzke, verifikácia, prezentácia ekonomických prínosov.
- KROK 10: Spustiť digitalizáciu systému údržby na úrovni celej továrne.

Digitalizácia v továrni by mala pokrývať základné oblasti ako sú výroba, kvalita, logistika, údržba a základné funkcionality ako správu výrobných zdrojov, správu výrobných postupov, detailné plánovanie výroby, riadenie výroby, zber dát, sledovanie výrobkov a ich rodokmeň, analýzu výkonnosti továrne, údržbu, správu skladových postupov, manažment logistiky, interné procesy továrne (schvaľovanie dovolení, služobné cesty a pod.), firemné kolaboračné nástroje a elektronický obeh dokumentov [5].

2.1 Bezpapierová výroba

V modernej továrni nie je miesto pre papierovanie, ale úspora papiera je najmenšia z výhod. Všetky výrobné dokumenty (vytlačené) sú zobrazené na ergonomických dotykových paneloch umiestnených na každom stojane operátora. Dokumentácia o výrobkoch, výrobné

príručky, karty Kanban - niekedy ide o jeden list papiera, niekedy to môže byť až 100 listov. Skladovanie, hľadanie a archivácia papierových dokumentov je často nočnou morou a obrovským plytvaním.

2.2 Mobilné aplikácie

Používanie mobilných terminálov, smartfónov alebo tabletov sa stáva štandardom v priemysle. Mobilné terminály čiarových kódov alebo RFID sa používajú pre systémy riadenia výroby, kvality a logistiky. Smartfóny sa používajú pre aplikácie údržby, napríklad pre preventívnu údržbu. V súčasnosti už veľa firiem dokáže vytvoriť špecializované aplikácie site na mieru jednotlivým továrňam. Tieto aplikácie bežiacie na mobilných zariadeniach, ktoré podporujú rôzne výrobné činnosti.

2.3 Prediktívna údržba

Prediktívna údržba poskytuje nástroj, ktorý na základe historických dát uskutočňuje predikcie budúceho stavu. Prediktívna údržba nie je náhradou za tradičné metódy údržby. Je to hodnotný prídavok k celkovému obsahlemu programu údržby v továrni. Predpokladom prediktívnej údržby je zabezpečenie pravidelného monitorovania stavu zariadení a prevádzkovej efektivity procesných systémov, ktoré zabezpečia maximálny interval medzi opravami; minimalizujú počet odstávok a náklady spôsobené poruchami strojov a zdokonaľujú celkovú spoľahlivosť prevádzok [6].

2.4 Spracovanie dát v reálnom čase

Platforma na zber, spracovanie a analýzu priemyselných dát v reálnom čase z rôznych systémov, zariadení a cloud služieb. Nepretržitý zber collect a širokú škálu údajov z prístrojov IoT, PLC, výrobných systémov, systémov MES, podnikových databáz, aplikácií v cloude a ich analýzu v reálnom čase.

3. DIGITALIZÁCIA V SMART TOVÁRNI Z POHĽADU TECHNICKÉHO SERVISU

V procese, v ktorom sa stretávajú záujmy rozmanitých subjektov trhu a súčasne pri neustálych zmenách požiadaviek zákazníkov sa vytvára tlak, ktorý vplyva na výber nového údržbového systému a nastavenie inovačnej schopnosti výrobných a montážnych tovární spojenej s implementáciou inteligentných digitálnych technológií a diagnostickej techniky do výroby. Dnes je hlavným cieľom tovární dosiahnuť rýchlu adaptáciu vzhľadom k inicializácií novej výroby a schopnosti reakcie voči vyskytujúcim sa chybám pomocou inteligentného údržbového systému na báze konceptu Priemyslu 4.0.

Pri vytváraní konceptu Tovární budúcnosti (FoF – Factories of the Future) je potrebné identifikácia potenciálov využitia princípov, nástrojov a technológií údržby v procese tvorby a zavádzania prístupov Priemyslu 4.0. Zároveň takáto továreň by kládla hlavný dôraz na aplikáciu programu predikcie údržby a implementovať zariadenia technickej diagnostiky, inteligentné senzory, prepojiť zariadenia pomocou internetu vecí a mobilných aplikácií

v údržbe, a vytvoriť tak digitálne dvojča pre riadenie údržby s cieľom poskytnúť spoľahlivý inteligentný digitálny údržbový systém. Ukazovatele ako dostupnosť a spoľahlivosť strojov a zariadení majú rozhodujúci význam pre prevádzku strojov, výrobných a montážnych liniek. Tieto údaje pre výpočet týchto ukazovateľov je možné monitorovať pomocou inteligentných snímačov, ktoré dokážu zobrazíť stav zariadenia v akejkolvek dobe, čo má za následok elimináciu prestojov strojov a zariadení.

Prvým krokom je zabezpečiť ich prepojenie a zber údajov zo zariadení previesť od manuálnych papierových kontrol k systémom automatizovaného zberu, ktorý zlepšuje kvalitu údajov a eliminuje množstvo a čas. Monitorovanie zariadení z centra alebo z akéhokoľvek miesta vo výrobe pomocou internetu vecí rozširuje počet a rôznorodosť parametrov, ktoré možno sledovať a použiť na zabezpečenie pravidelného monitorovania mechanického stavu zariadení, prevádzkovej spoľahlivosti, nákladov na odstávky spôsobené poruchami strojov. Toto riešenie sa v praxi nazýva tiež Digitálne dvojča (Digital Twin). Ide o digitalizáciu všetkých údajov popisujúcich stav zariadenia. V reálnom čase sa zhromažďujú a vyhodnocujú všetky potrebné informácie z výrobného procesu. Zozbierané dáta vytvoria ucelený obraz o výrobku, zariadeniach a výrobnom procese. Získa sa množstvo dát, ktoré povedú k rýchlejšiemu a kvalitnejšiemu riadeniu procesov údržby [7].

Inteligentný údržbový systém ponúka nielen pružnosť a rekonfigurabilitu, ale tento koncept prináša aj nové poznatky o softvérovej inteligencii, ktorej predpokladom sú rôzne charakteristiky. Takéto systémy využívajú techniky umelej inteligencie na realizáciu činnosti. Inteligentné údržbové systémy disponujú nasledovnými vlastnosťami [8]:

- schopnosť učenia a adaptácie na interné a externé vplyvy,
- schopnosť predpovedať budúci vývoj stavu zariadení,
- schopnosť optimalizovať riadenie údržby,
- schopnosť učenia sa z historických aj aktuálnych dát.

ZÁVER

Článok prináša pohľad na to, ako digitalizácia narúša zavedené veci v priemysle. Toto narušenie bude zapríčinené tým, že pracovníci budú využívať nové technológie na posilnenie svojich schopností, zvyšovanie bezpečnosti a zefektívnenie pracovných činností vo všetkých výrobných procesoch. Pretože priemysel pokračuje v digitalizácii, automatizácii a robotike, mnohé z činností, ktoré sú dnes ručne, sa zmenia alebo zmiznú. Digitalizácia nekončí príbehom digitálnej transformácie, keď prejdeme na Priemysel 4.0. Ako príklad môžeme uviesť koncept Japonskej vlády, ktorá už niekoľko rokov pracuje na pokračujúcom koncepte, ktorým je Spoločnosť 5.0. Po digitalizácii procesov môžu vzniknúť a prakticky sa implementovať do továrni aj ďalšie technológie ako strojové učenie či umelá inteligencia.

Ako sa dnes stále ukazuje v továrňach, je nevyhnutné projektovať stratégiu údržbových systémov na princípe implementácie tzv. komplexu údržby: TPM, RCM, RBM, VDM v integrácii inovatívnych a disruptívnych technológií, ako napr. digitalizácia a s ňou spojený digitálny podnik a digitálne dvojča továrne, imerzívne technológie a s nimi spojená rozšírená a virtuálna realita a pod. Tieto procesy zabezpečia do budúcnosti továrni optimálnu

prevádzkovú spoľahlivosť pri optimálnych nákladoch na údržbu a opravy. Pri implementácií nových procesov, alebo vylepšovaní tých jestvujúcich netreba zabúdať aj na rôzne druhy rizík, ako napr. individuálne, technické, sociálne, environmentálne či ekonomické [9, 10]. Cieľom TPM je vypracovanie programu údržby na základe požiadaviek hlavného výrobného procesu, technického stavu strojov a zariadení a ekonomických možností továrne.

POĎAKOVANIE

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

Použitá literatúra

- [1] Gregor, M. – Magvaši, P.: Globalizácia a megatrendy. In: ProIN : dvojmesačník CEIT. - ISSN 1339-2271. - Roč. 15, č. 4 (2014), s. 67-73.
- [2] Zobrazenie továrne. Dostupné na internete: <https://www.productivityinc.com/wp-content/uploads/2018/03/TPM-Asset-Management-System3.png>.
- [3] Rakyta, M.: TPM – stratégia pre spoľahlivé a efektívne procesy. Dostupné na internete: <https://www.engineering.sk/strojarstvo-extra/2166-tpm-strategia-pre-spoahlive-a-efektivne-procesy>.
- [4] Priemysel 4.0. Dostupné na internete: <https://www.smartanalytics.sk/riesenia/priemysel/>.
- [5] What is Total productive maintenance (TPM). Dostupné na internete: <https://www.graphicproducts.com/articles/what-is-total-productive-maintenance-tpm/>.
- [6] Fusko, M.: Predictive maintenance 4.0 as a tool for sustainability in smart factories. In: Advanced industrial engineering [print] : Advanced methods of manufacturing, maintenance and logistics. - 1. vyd. - Bielsko-Biala: Wydawnictwo naukowe Akademii techniczno-humanistycznej w Bielsku-Białej, 2019. - ISBN 978-83-66249-29-5. - s. 83-104.
- [7] Rakyta, M. – Fusko, M. – Bubeník, P. – Bučková, M.: Plánovanie a riadenie ľudských zdrojov v údržbe, základ pre I4.0 [print] / Miroslav Rakyta ...[et al.]. In: Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019 [print]. - 1. vyd. - Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. - ISBN 978-80-7494-506-9. - s. 16-22.
- [8] Rakyta, M. – Fusko, M.: Inteligentný údržbový systém pre Industry 4.0. In: Údržba : časopis pracovníkov údržby. - ISSN 1336-2763. - Roč. 17, č. 4 (2017), s. 7-10.
- [9] Grenčík, J. – Poprocký, R. – Galliková, J. – Volna, P.: Use of risk assessment methods in maintenance for more reliable rolling stock operation. In: In: Machine modelling and simulations 2017 [electronic]. - ISSN 2261-236X (online). - 1. vyd. - Londýn: Édition Diffusion Presse Sciences, 2018. - s. [1-11] [online].
- [10] Svitek, R. – Krajčovič, M. – Furmann, R.: CEIT Table, system for interactive evaluation and capacitive dimensioning of production workers. In: Invention for enterprise: proceedings. – 1. vyd. – Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humnistycznej wBielsku-Białej, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, 2019. – ISBN 978-83-66249-49-3. s. 136-139.