

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ FAKULTA SO SÍDLOM V TRNAVE**

Ing. Lucia Grajzová

Autoreferát dizertačnej práce

**Vzájomné pôsobenie Lean manažmentu a Industry 4.0 v priemyselných
podnikoch**

Na získanie akademického titulu doktor (philosophiae doctor, v skratke PhD.)

V doktorandskom študijnom programe: priemyselné manažérstvo

V študijnom odbore: strojárstvo

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Trnava, dňa 29.10.2022

Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Ústave priemyselného manažérstva, Materiálovotechnologickej fakulty so sídlom v Trnave, Slovenskej technickej univerzity v Bratislave

Predkladateľ:

Ing. Lucia Grajzová

Ústav priemyselného manažérstva
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Jána Bottu 2781/25
917 24 Trnava

Školiteľ:

prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.

Ústav priemyselného manažérstva
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Jána Bottu 2781/25
917 24 Trnava

Oponenti:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa o.....h.

na Materiálovotechnologickej fakulte so sídlom v Trnave, Slovenskej technickej univerzity v Bratislave

.....
prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.
dekan, Materiálovotechnologickej fakulty STU

SÚHRN

GRAJZOVÁ, Lucia: *Vzájomného pôsobenia Lean manažmentu a Industry 4.0 v priemyselných podnikoch*. [Dizertačná práca] – Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Ústav priemyselného inžinierstva a manažmentu. – Školiteľ: prof. Ing. Miloš Čambál, CSc. – Trnava: MTF STU, 2022, 139s.

Kľúčové slová: Industry 4.0, manažment výroby, lean manažment, nástroje štíhleho riadenia

Hlavným cieľom dizertačnej práce je navrhnutie metodiky digitálnej transformácie metódy TPM tak aby stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku dokázali túto metódu štíhlej výroby zavádzať a využívať v procese digitálnej transformácie. Obsah práce je rozdelený na šesť hlavných kapitol. Prvá kapitola sa zaoberá teoretickými poznatkami dvoch teoretických okruhov. Prvý teoretický okruh je zameraný na prístup Lean manažmentu, v tejto časti sú objasnené základné pojmy štíhlej výroby a metódy štíhlej výroby. V druhej časti teoretického okruhu definujeme prístup Industry 4.0, technológie štvrtej priemyselnej revolúcie a následnú možnosť vytvorenia predpokladu, že sa tieto dva prístupy môžu navzájom podporovať. Druhá kapitola je zameraná na formuláciu cieľa, zadefinovanie výskumných otázok a formulácia hypotéz dizertačnej práce. V nasledujúcej časti sa zameriavame na metodiku spracovania dizertačnej práce. Štvrtá kapitola dizertačnej práce je rozdelená na podkapitoly, ktoré sú zamerané na charakteristiku výskumnej vzorky, vyhodnotenie výskumných otázok, vyhodnotenie hypotéz. Zároveň sa v tejto časti venujeme zhrnutiu výsledkov z vykonaných analýz. Po spracovaní komplexnej analýzy súčasného stavu sa v piatej kapitole venujeme hlavnému cieľu dizertačnej práce, navrhnutiu metodiky implementácie TPM v podmienkach digitálnej transformácie v priemyselných podnikoch na Slovensku. Na záver v poslednej kapitole sú popísané prínosy dizertačnej práce pre teóriu a prax.

ABSTRACT

GRAJZOVÁ, Lucia: *Interaction of Lean management and Industry 4.0 in industrial enterprises*. [Dissertation thesis] - Slovak University of Technology Bratislava. Faculty of Materials Science and Technology; Institute of Industrial Engineering and Management. - Supervisor: prof. Ing. Miloš Čambál, CSc. – Trnava: MTF STU, 2022, 139p.

Key words: Industry 4.0, production management, lean management, lean tools

The main objective of the dissertation is to propose a methodology for digital transformation of the TPM method so that medium and large industrial enterprises in Slovakia are able to implement and use this method of lean manufacturing in the process of digital transformation. The content of the thesis can be divided into six main chapters. The first chapter deals with the theoretical knowledge of two theoretical areas. The first theoretical strand focuses on the Lean management approach, in this section the basic concepts of lean manufacturing and lean manufacturing methods are explained. In the second part of the theoretical strand we define the Industry 4.0 approach, the technologies of the fourth industrial revolution and the consequent possibility of making the assumption that these two approaches can support each other. The second chapter focuses on the formulation of the objective, the definition of the research questions and the formulation of the hypotheses of the dissertation. The next section focuses on the methodology of the dissertation. The fourth chapter of the dissertation is divided into subchapters that focus on the characteristics of the research sample, evaluation of the research questions, evaluation of the hypotheses. At the same time, this section is devoted to the summary of the results from the conducted analyses. After elaborating a comprehensive analysis of the current state of the art, the fifth chapter is devoted to the main objective of the dissertation, proposing a methodology for the implementation of TPM in the conditions of digital transformation in industrial enterprises in Slovakia. Finally, the last chapter describes the contributions of the dissertation to theory and practice.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD..... | 7 |
| 1 VÝCHODISKÁ PROBLEMATIKY ŠTÍHLEJ VÝROBY S DÔRAZOM NA TPM A INDUSTRY 4.0..... | 8 |
| 1.1 Lean manažment..... | 8 |
| 1.2 Štíhla výroba | 8 |
| 1.3 Metódy štíhlej výroby | 9 |
| 1.4 TPM..... | 9 |
| 1.5 Štvrtá priemyselná revolúcia | 11 |
| 1.6 Technológie štvrtej priemyselnej revolúcie | 11 |
| 1.7 Korelácia štíhlej výroby s Industry 4.0..... | 12 |
| 1.8 Charakteristika výskumnej vzorky – prvotný výskum..... | 12 |
| 1.9 Závery východísk problematiky štíhlej výroby s dôrazom na TPM a Industry 4.0.. | 13 |
| 2 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE..... | 15 |
| 2.1 Výskumné otázky a hypotézy..... | 15 |
| 3 METODIKA A METÓDY SPRACOVANIA DIZERTAČNEJ PRÁCE | 16 |
| 3.1 Metodický postup dizertačnej práce | 16 |
| 3.2 Metódy spracovania dizertačnej práce | 16 |
| 4 ANALÝZA MIERY DIGITÁLNEJ TRANSFORMÁCIE METÓDY TPM V PRIEMYSELNÝCH PODNIKoch | 17 |
| 4.1 Charakteristika výskumnej vzorky – hlavný výskum | 17 |
| 4.2 Štruktúrovaný rozhovor..... | 17 |
| 4.3 Vyhodnotenie výskumných otázok dizertačnej práce | 18 |
| 4.4 Vyhodnotenie analytickej časti | 21 |
| 5 NÁVRH METODIKY DIGITÁLNEJ TRANSFORMÁCIE METÓDY TPM V STREDNÝCH A VEĽKÝCH PRIEMYSELNÝCH PODNIKoch..... | 23 |
| 5.1 Návrh metodiky digitálnej transformácie metódy TPM v stredných a veľkých priemyselných podnikoch | 23 |
| 5.1.1 Definovanie významov v oblasti digitalizácie..... | 24 |
| 5.1.2 Prijatie rozhodnutia integrácie digitálnej transformácie do metódy TPM..... | 25 |
| 5.1.3 Zriadenie implementačného tímu | 25 |
| 5.2 Digitalizácia prvého stupňa metódy TPM | 26 |
| 5.2.1 Digitálny systém riadenia údržby | 26 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3 Digitalizácia druhého stupňa metódy TPM..... | 27 |
| 5.3.1 Zber dát | 28 |
| 5.3.2 Monitorovanie stavu strojov a zariadení..... | 29 |
| 5.3.3 Vizualizácia | 30 |
| 5.4 Sumarizácia realizačných krokov digitálnej transformácie metódy TPM..... | 31 |
| 5.5 Verifikácia uplatnenia navrhovanej metodiky..... | 32 |
| 6 PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE PRE TEÓRIU A PRAX | 34 |
| ZÁVER | 36 |
| ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV | 37 |
| ZOZNAM PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI DOKTORANDA..... | 44 |

ÚVOD

Štíhlu výrobu môžeme považovať za metodiku, ktorá je určená pre zvyšovanie produktivity a znižovanie nákladov. Jej cieľom je optimalizovať procesy a eliminovať plytvania. Avšak každá úspešná implementácia má pre podniky neskôr dvojaký charakter. V prvej časti sa môžeme pozerieť na implementáciu štíhleho riadenia ako úspech pre podnik a napredovanie na konkurenčnom poli. Na strane druhej pri každom úspešnom zavádzaní štíhlosti v podniku nastáva zlom, ktorý znamená, že ďalšie vylepšenia sa stávajú čím ďalej tým viac náročnejšie a ťažšie dosiahnuteľné.

V posledných rokoch sa Industry 4.0 stal jedným z najdiskutovanejších konceptov a získal významnú popularitu ako v akademickej tak i priemyselnej oblasti. Práve v tomto koncepte sa môže skrývať riešenie problému k neustálemu dosahovaniu konkurencieschopnosti v priemyselných podnikoch, čo vyžaduje nepretržité zvyšovanie produktivity, flexibility, ale taktiež správnu kvalitu vo výrobkoch či službách.

Výrobcovia už niekoľko desaťročí používajú štíhle princípy a nástroje na zníženie prevádzkovej zložitosti a zvýšenie produktivity. Štíhly prístup poskytuje základ operačnej dokonalosti štandardizáciou procesov, vnášaním kultúry neustáleho zlepšovania. Vzhľadom na zvyšujúcu sa zložitosť operácií však mnoho podnikov zistilo, že štíhle riadenie samo osebe nestačí na riešenie ich prevádzkových problémov. Teraz so zlúčením moderných digitálnych a fyzických systémov v rámci prechodu na štvrtú priemyselnú revolúciu môžu podniky používať oba koncepty nápadov na to, aby sa prevádzková dokonalosť dostala na novú úroveň.

Predkladaná dizertačná práca sa skladá zo šiestich hlavných kapitol, ktoré sú spojené s čiastkovými cieľmi práce. *Prvá kapitola* je súhrnom dvoch teoretických okruhov, v prvom okruhu sa zaoberáme štíhlym riadením výroby. V druhom okruhu teoretických východísk sa venujeme štvrtej priemyselnej revolúcii a technológiám, ktoré bezprostredne súvisia so zavádzaním Industry 4.0. Ďalej sa v teoretickej časti venujeme možnosti korelácie práve spomínaných dvoch okruhov, prepojením štíhleho riadenia výroby so štvrtou priemyselnou revolúciou. Tieto prepojenia sme hľadali pomocou pilotného dotazníkového prieskumu, ktorý nám zabezpečil špecifikáciu riešenej problematiky. *Druhá kapitola* je zameraná na cieľ dizertačnej práce, s ktorým sú spojené čiastkové ciele a zároveň stanovenie výskumných otázok a hypotéz dizertačnej práce. *Tretia kapitola* sa skladá z metodiky a metód spracovania dizertačnej práce, ďalej obsahuje výpočet výskumnej vzorky, opis zberných nástrojov, ktoré boli použité na získanie údajov. *Štvrtá kapitola* sa venuje zberným údajom, analýze dotazníkového prieskumu, štruktúrovaného rozhovoru a spolupráce so spoločnosťou Sova Digital, a. s.. Ďalej je táto kapitola rozdelená na podkapitoly, ktoré sú zamerané na charakteristiku výskumnej vzorky, vyhodnotenie výskumných otázok, vyhodnotenie hypotéz a zhrnutie výsledkov z vykonaných analýz. *Piata kapitola* je venovaná opisu navrhutej metodiky digitálnej transformácie metódy TPM v stredných a veľkých priemyselných podnikoch na Slovensku tak, aby priemyselné podniky dokázali zavádzať a využívať túto metódu štíhlej výroby s konceptom Industry 4.0. Na záver, v *šiestej kapitole* sú stručne zhodnotené predpokladané prínosy pre teóriu a prax.

1 VÝCHODISKÁ PROBLEMATIKY ŠTÍHLEJ VÝROBY S DÔRAZOM NA TPM A INDUSTRY 4.0

V prvej časti dizertačnej práce je primárnym cieľom pomocou odbornej literatúry popísať na teoretickej úrovni vznik a podstatu Lean manažmentu a zadefinovať pojmy, ktoré súvisia so štíhlym riadením podniku. Teoretická časť sa ďalej zaoberá štvrtou priemyselnou revolúciou, ktorá je momentálne neodmysliteľnou súčasťou priemyselných podnikov. Ďalej sa venujeme možnosti korelácie práve spomínaných dvoch okruhov, prepojením štíhleho riadenia výroby so štvrtou priemyselnou revolúciou. Zdôrazňujeme tu i úlohu integrácie Industry 4.0 do metód štíhleho riadenia ako nástroja udržania konkurencieschopnosti a potenciálu úspešnosti priemyselných podnikov. Tieto prepojenia sme hľadali na základe teoretických vedomostí a pomocou pilotného dotazníkového prieskumu, ktorý nám zabezpečil špecifikáciu riešenej problematiky.

1.1 Lean manažment

Lean manažment v podobe ako ho poznáme dnes je prístup založený na Japonskej výrobnjej filozofii, ktorá už v samotnom pojme lean – štíhly zdôrazňuje úsilie o elimináciu akýchkoľvek strát a plytvania a znižovania nákladov podniku. Jadrom filozofie je dosahovať čo najvyššiu produktivitu, a tým i čo najnižšie náklady na jednotku produktu a neustále zlepšovanie v kontexte so zákazníckou orientáciou. Princípy zoštíhľovania sa z výroby postupne rozšírili i do ďalších oblastí a i na podnik ako celok (Mišún, 2018).

1.2 Štíhla výroba

Lean production, u nás termín štíhla výroba charakterizuje snahu orientovanú na obmedzovanie plytvania zdrojmi, časom, prostriedkom k tomu je zbaviť sa všetkého, čo spoločnosť zaťažuje v jej raste, tzn. vyrábať len, keď je to treba, zamýšľať sa o spoločnosti ako o bezbariérovom toku hodnôt od dodávateľa k zákazníkovi, nie ako o izolovaných výrobcov, technológiách a pod. (Veber, Srpová a kol., 2008).

Štíhla výroba nie je samoúčelné redukovanie nákladov. Ide najmä o maximalizáciu pridanej hodnoty pre zákazníka. Zoštíhľovanie je spôsob k tomu, aby sme produkovali viac, mali nižšie režijné náklady, účinnejšie využiteľnosť svoje plochy a výrobné zdroje (Košťuriak, Frolík a kol., 2006)

Cieľom štíhlej výroby je pridávať hodnotu minimalizovaním plytvania či strát týkajúcich sa materiálu, času, priestoru a ľudí. Výrobné systémy skombinované s týmto poňatím zahrňujú tzv. just-in-time (produkovať pružne tak, aby produkt bol doručený vo chvíli, keď je nevyhnutný, a nebol bezúčelne v sklade), riadenie toku zásobovania, plánovania materiálnych zdrojov a nulovú nepodarkovosť (Armstrong, 2007).

1.3 Metódy štíhlej výroby

Štíhla výroba predstavuje celý rad metód, ktoré sa zameriavajú na zvyšovanie efektivity výroby, znižovanie spotreby času a nákladov pri zachovaní rovnakej kvality výrobkov.

Jednotlivé metódy a nástroje z odvetvie štíhlej výroby, môžeme rozčleniť podľa orientovania na metódy pre identifikáciu metód pre elimináciu plytvania. Poznáme metódy ako *riadenie a mapovanie toku hodnôt*, ktorá slúži na mapovanie toku v procese, *Poka-Yoke* systém, ktorý slúži na redukovanie neúmyselných a nechcených defektov a chýb spôsobených ľudským faktorom. Medzi metódy, ktoré sú určené na synchronizáciu pohybov operátora a zlepšenie jeho celkového výkonu je metóda *štandardizovanej práce*. *Jidoka* je jednou z metód, ktorá zabraňuje plytvaniu a stratám kontroly nad procesom a výroby nepodarkov. K *Jidoke* tiež môžeme pripísať metódu papierového lampióna, ktorá sa nazýva *Andon*. Skratka *KPI* je definovaná pre kľúčový ukazovateľ výkonnosti. *MTM* je skratka *Methods-Time Measurement*, čo môžeme preložiť ako metóda merania časov. Metóda merania časov vyjadruje, že čas nevyhnutný pre vykonanie istej práce závisí na vybranej metóde uskutočňovanej činnosti. *5x PREČO?* patrí medzi hlavné zlepšovacie metódy kvality procesov pri hľadaní základných príčin problémov a zabránenie ich opakovaniu.

Väčšina z hore spomenutých metód štíhlej výroby bezprostredne spolu súvisia. Vychádzajú z rozdielnych podmienok, ktoré sú spracované nezávisle, spoločne alebo ako integrovaná zložka celého systému metód štíhleho riadenia. Zahraničné literatúry udávajú ešte oveľa viac metód a nástrojov štíhlej výroby avšak pre našu potrebu je dobré poznať, vedieť použiť a detailnejšie sa oboznámiť s metódami štíhlej výroby, ktoré sa v priemyselných podnikoch v SR používajú najčastejšie:

- Kaizen,
- Heijunka,
- TPM.
- Kanban,
- SMED,
- Just in time,
- 5S,

1.4 TPM

Celková produktívna údržba používaná skratkou TPM z anglického názvu Total Productive Maintenance je mimoriadne komplexný prístup k efektívnosti prevádzky a údržbe zaradení. Je jedným zo základných blokov akejkoľvek štíhlej výroby, koniec koncov nie je možné zlepšiť procesy, ak sa nemôžeme spoľahnúť na vybavenie a stroje.

TPM je systém riadenia údržby, ktorý zahŕňa starostlivosť o základné prostriedky a zvažuje dopad údržby na produktivitu, kvalitu, bezpečnosť a všetky záležitosti, ktoré sa týkajú ľudí teda zamestnancov v danom podniku. TPM predstavuje japonský prístup k maximalizácii efektívnosti strojov a zariadení a vytvorenie tak optimálnych podmienok vo vzťahu „Človek – Stroj – Prostredie“ (Macinnes, 2006).

Totálne produktívna údržba kladie dôraz na údržbu ako na povinný a kľúčový prvok podniku (Venkatesh, 2007). Ide o pokrokovú stratégiu, ktorá zvyšuje efektívnosť zariadení, minimalizuje poruchy a podporuje autonómnú údržbu prostredníctvom účasti všetkých zamestnancov organizácie (Ahuja a Khamba, 2008a). Zvyčajne si vyžaduje, aby sa programu TPM venovali všetci jednotlivci v organizácii od vrcholového manažmentu až po obslužný personál na výrobnéj linke (Bataineh a kol., 2019).

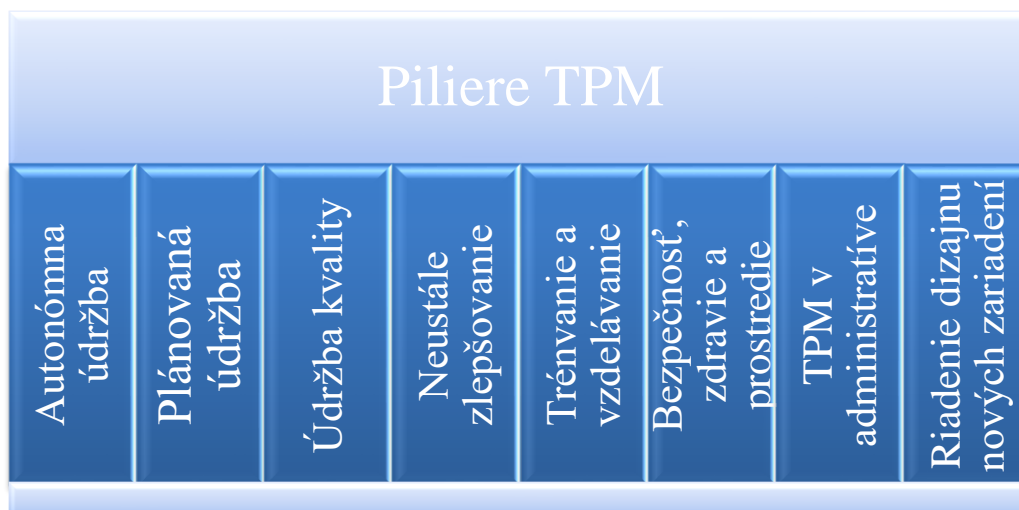
Mnohí autori (Shah a Ward, 2003; Furlan a kol., 2011; Netland a Ferdows, 2014) overili pozitívny vzťah medzi implementáciou TPM a prevádzkovou výkonnosťou podniku prostredníctvom vhodných ukazovateľov. Celková efektívnosť zariadenia (OEE) je najčastejšie používaným ukazovateľom výkonnosti na monitorovanie vplyvu implementácie TPM (McKone a kol., 2001; Nallusamy a Majumdar, 2020). OEE je definovaná ako súčin ukazovateľov dostupnosti, výkonnosti a kvality a umožňuje stručnú vizualizáciu stavu procesu a identifikáciu súvisiacich strát (Méndez a Rodriguez, 2017; Adesta a kol., 2018).

OEE je kvantitatívny ukazovateľ efektívnosti výrobných zariadení, vyjadrujúci percento výrobného času, ktorý bol skutočne produktívne využitý. Výpočet OEE vychádza z predpokladu, že stroj či zariadenie je k dispozícii po určitý plánovaný čas, o ktorý prichádzame dôsledkom pôsobenia jednotlivých druhov plytvania na zariadení (poruchy, prestoje, odstávky, nedostatok materiálu a pod.). Pri realizácii metódy TPM je zavedenie ukazovateľa OEE kľúčovou podmienkou pre úspech. V priemyselnej praxi sa využívajú 3 druhy merania OEE (Červeňan, 2015):

- ručný zber a vyhodnocovanie dát,
- elektronický zber a vyhodnocovanie dát,
- kombinácia ručného a elektronického zberu a vyhodnocovanie dát.

V literatúre sa s TPM spájajú aj ďalšie metriky výkonnosti, napr. priemerný čas opravy (MTTR), priemerný čas medzi poruchami (MTBF), priemerný čas do poruchy (MTTF), ako aj ukazovatele nákladov a bezpečnosti (Ahuja a Khamba, 2008; Agustiady a Cudney, 2018; Pascal et al., 2019).

Celková preventívna údržba je súbor techník, ktoré zabezpečujú, aby každý stroj vo výrobnom procese bol vždy schopný plniť svoju požadovanú úlohu. Dosahuje sa to tým, že sa kladie dôraz na to, aby boli operátori výroby vyškolení na pravidelnú rutinnú údržbu - cítia sa tak posilnení, majú spoločnú zodpovednosť za zariadenie a uvoľnia sa im inžinieri, ktorí môžu byť k dispozícii na špecializovanejšie úlohy. Tento prístup musí byť celkový, pretože si vyžaduje účasť všetkých zamestnancov, nielen pracovníkov na linke, ale aj manažérov, inžinierov a operátorov. Metóda TPM pracuje na základe 8 podporných pilierov, ktoré sú znázornené na obr. 8 (Dulebová, Slobodová 2010).



Obrázok 1/8: Filozofia TPM je postavená na ôsmych podporných pilieroch (Dulebová, Slobodová 2010)

Poslaním každého piliera je znížiť straty s konečným cieľom eliminovať všetky straty. Na začatie zavádzania TPM musí najvyšší manažment najprv pochopiť, že TPM musí byť súčasťou dlhodobého programu zmeny kultúry, nielen iniciatívou pre oddelenie údržby.

1.5 Štvrtá priemyselná revolúcia

Pabbathi (2018) definuje Industry 4.0 ako štvrtú priemyselnú revolúciu, ktorá sa týka inteligentného priemyslu zameraného na výrobu inteligentných zariadení a na inteligentné procesy. Je kombináciou a zoskupením mnohých IT technológií, procesov a strojov pre rýchlejšie operácie, taktiež znižuje potrebu času, nadbytočnú prácu a umožňuje efektívnejšie rozhodovanie v priemyselných operáciách.

Podľa Schwab (2018) je Industry 4.0 vyjadrením súboru prebiehajúcich a blížiacich sa transformácií v systémoch, ktoré nás obklopujú, spôsobených rastúcou dostupnosťou a interakciou súboru mimoriadnych technológií, ktoré stavajú na vedomostiach a systémoch predchádzajúcich priemyselných revolúcií.

Spôsob výroby produktov v blízkej budúcnosti prejde podstatnou zmenou. Ľudia, stroje a zariadenia budú navzájom komunikovať a ovplyvňovať sa. Podniky by sa nemali zamerať len na to stať sa „**podnikom Industry 4.0**“, ale stať sa a aj naďalej zotrvať ako konkurencieschopný podnik v prostredí Industry 4.0 (Halászová, Sakál, 2019).

1.6 Technológie štvrtej priemyselnej revolúcie

Technologické fenomény, ako automatizácia, robotika, nano- a biotechnológie, progresívne materiály, internet vecí, umelá inteligencia, 3D tlač, big data a pod., vytvárajú silné impulzy na štruktúrne zmeny v mnohých odvetviach a sektoroch a sú nositeľom významných zmien v spoločnosti. Štvrtá priemyselná revolúcia znamená prechod od fázy jednoduchej digitalizácie k inováciám založeným na vzájomných kombináciách materiálových, digitálnych a biologických technológií (Jeck, 2017).

Industry 4.0 je zamerané na smart process, čo predstavuje značnú transformáciu oproti terajšej konvenčnej výrobe. Základným kameňom koncepcie je vytvorenie smart factory – inteligentnej továrne, ktoré budú schopné zvládnuť výkyvy dopytu, budú oveľa viac odolné voči poruchám, ale tiež dokážu vyrábať maximálne efektívne. Stroje, ľudia a prostriedky spolu dokážu nielen komunikovať, ale aj spolupracovať. Súčasťou takejto inteligentnej továrne sú technológie, ktoré sú neodmysliteľnou súčasťou štvrtej priemyselnej revolúcie (Balga, 2018):

- Kyberneticko fyzikálne systémy (CPS),
- Internet vecí – Internet of Things (IoT),
- Internet služieb – Internet of Services (IoS),
- Big Data,
- Cloud Computing,
- Product Lifecycle Management Systems (PLM),
- Digital Manufacturing,
- Digital Twin – simulácia,
- Exponenciálne technológie.

1.7 Korelácia štíhlej výroby s Industry 4.0

Štíhla výroba sa všeobecne považuje za potenciálnu metodológiu na zlepšenie produktivity a zníženie nákladov vo výrobných organizáciách. Úspech štíhlej výroby si vyžaduje dôsledné a vedomé úsilie podnikov, kde musia prekonať niekoľko prekážok. Industry 4.0 robí podniky inteligentnými aplikovaním pokročilých informačných a komunikačných systémov, technológií zameraných na budúcnosť (Sundar, Balaji, Kumar, 2014).

Môže sa zdať, že pokročilé technológie Industry 4.0 (IoT, Big Data, Digital Twin, Cloud, 3D tlač a pod.) sú v rozpore so štíhlymi metódami. Avšak podniky nebudú strácať priazeň o štíhle riadenie, priam naopak, štíhle metódy budú významnejšími, pretože efektívne procesy sú očakávaním pre zavádzanie technológií Industry 4.0 (The Future of Jobs Report, 2018).

1.8 Charakteristika výskumnej vzorky – prvotný výskum

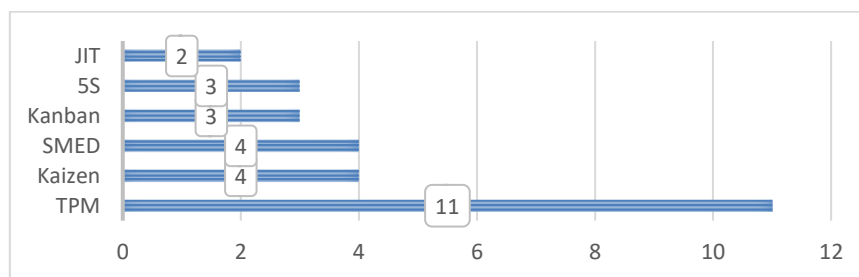
Po preštudovaní odbornej literatúry a na základe časového rozpätia, rozsahu dizertačnej práce sme sa rozhodli zamerať na zúžený okruh nástrojov Lean manažmentu. Na identifikáciu špecifikácie sme využili dopytovanie prostredníctvom dotazníkovej metódy. Dotazník bol zostavený tak, aby boli získané jednoznačné informácie, ktoré budú ďalej rozpracované v hlavnom výskume dizertačnej práce.

Dotazník bol určený pre stredné a veľké priemyselné spoločnosti a obsahoval celkovo 6 otázok. Prvé tri otázky boli zamerané na charakteristiku priemyselných podnikov 1. odvetvie, v ktorom podnik pôsobí, 2. veľkosť podniku a 3. aké metódy štíhlej výroby podnik využíva. Tieto otázky boli uzavreté a respondentom boli poskytnuté možnosti odpovede.

Zvyšné tri otázky boli zamerané na zabezpečenie zvýšenia produktivity pomocou metód štíhlej výroby a Industry 4.0. V 4. otázke bola možnosť voľnej odpovede. V 5. a 6. otázke sme sa zamerali priamo na preskúmanie metódy TPM s digitálnymi nástrojmi Industry 4.0. ako nástroj na získanie konkurenčnej výhody v priemysle, pričom toto tvrdenie v 5. otázke mohli respondenti potvrdiť prípadne vyvrátiť. Respondenti mali možnosť vyjadriť svoj názor, ak pri predchádzajúcej otázke odpovedali možnosťou „nie“, v poslednej 6. otázke mohli pomocou voľnej odpovede uviesť inú metódu štíhlej výroby v kombinácii s digitálnymi nástrojmi Industry 4.0.

Otázka č. 4: „Ktorá z metód štíhlej výroby, uvedených v otázke č. 3, môže v kombinácii s digitálnymi nástrojmi Industry 4.0 zabezpečiť zvýšenie produktivity výroby?“

Štvrtá otázka primárneho dotazníka bola určená na zistenie korelácie medzi metódami štíhlej výroby a technológiami Industry 4.0. Respondenti mohli uviesť max. dve metódy, ktorých vyhodnotenie je znázornené v grafe 4.



Graf 1/4: Vyhodnotenie štvrtej otázky prvotného výskumu (vlastné spracovanie, 2021)

Zvýšenie produktivity na základe kombinácie metód štíhlej výroby s digitálnymi nástrojmi Industry 4.0 uviedla nadpolovičná väčšina opýtaných metódu TPM. Zvyšné metódy mali pomerne rovnaké nízke zastúpenie od 20 % po 10 % respondentov.

Na základe zistených informácií z prvotného výskumu, môžeme jednoznačne konštatovať, že stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku vidia potenciál prepojenia metód štíhlej výroby so štvrtou priemyselnou revolúciou v metóde TPM.

Preto pre potreby a rozsah dizertačnej práce v nasledujúcej časti budeme skúmať integráciu metódy Total Productive Maintenance s technológiami Industry 4.0 s cieľom navrhnutia metodiky digitálnej transformácie metódy TPM v stredných a veľkých priemyselných podnikoch na Slovensku.

1.9 Závery východísk problematiky štíhlej výroby s dôrazom na TPM a Industry 4.0

Integrácia technológií Industry 4.0 do tradičnej údržby podporuje vývoj existujúcich postupov a koncepcií údržby, čo umožňuje efektívnejšie informačné a fyzické toky (Silvestri et al., 2020). Medzi najrozšírenejšími prístupmi k údržbe vyniká totálne produktívna údržba (TPM), ktorá sa vo väčšej miere začala uplatňovať v 90. rokoch 20. storočia (Ahuja a

Khamba, 2008). Cieľom TPM je maximalizovať efektívnosť zariadení počas celého ich životného cyklu, pričom sa výrazne spolieha na zapojenie všetkých úrovní organizácie a využívanie doplnkových postupov (Nakajima, 1988). Podporuje stabilitu procesov správnou údržbou výrobných zariadení, čo vedie k menej častým poruchám a chybám kvality (Wickramasinghe a Perera, 2016). Okrem toho TPM kombinuje rôzne zložky tradičnej údržby, ktoré sa zvyčajne delia do štyroch kategórií (Coleman a kol., 2017): reaktívna údržba, plánovaná údržba, proaktívna údržba a prediktívna údržba. Tieto typy údržby sa navzájom dopĺňajú smerom k zlepšeniu prevádzkovej výkonnosti a predstavujú rôzne možnosti pri zvažovaní ich digitalizácie (Nowakowski a kol., 2018).

Z uvedených verejne dostupných informácií vyplýva fakt, že je možnosť a priestor na prepojenie a vzájomné implementovanie dvoch samostatne stojacich celkov Industry 4.0 a metódy štíhlej výroby TPM. Experti však podsúvajú otázku, a to či očakávané výhody zo zavádzania technológií Industry 4.0 budú kompenzovať nemalé investície, ktoré sú s týmto procesom spojené. Tu by mala na rad prísť veda, ktorá ponúkne metodiku, ktorá by mohla byť univerzálne platná, aplikovateľná a efektívna pre všetky priemyselné podniky, ktoré budú mať následne potenciál k výrazne ľahšiemu rozšíreniu sa na konkurenčnom trhu.

2 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Hlavným cieľom predkladanej dizertačnej práce s názvom „*Vzájomné pôsobenie Lean manažmentu a Industry 4.0 v priemyselných podnikoch*“ bude „*Navrhnuť metodiku digitálnej transformácie metódy TPM v stredných a veľkých priemyselných podnikoch na Slovensku*“ tak, aby priemyselné podniky dokázali zavádzať a využívať túto metódu štíhlej výroby s konceptom Industry 4.0.

Čiastkové ciele, ktoré podporujú úspešné dosiahnutie hlavného cieľa dizertačnej práce sú definované nasledovne:

- + získať, analyzovať a spracovať dostatočné množstvo teoretických východísk z oblasti štíhlej výroby v kontexte Industry 4.0 z domácich ako aj zahraničných odborných zdrojov slúžiacich k vytvoreniu komplexného obrazu o danej problematike,
- + analyzovať úroveň využívania digitalizovaných metód štíhlej výroby v priemyselných podnikoch v Slovenskej republike,
- + analyzovať súčasný stav využitia metódy TPM v procese digitálnej transformácie,
- + navrhnuť metodiku, určenú pre stredné a veľké priemyselné podniky pôsobiace na území Slovenskej republiky, ktorá bude vytvárať základ pre definovanie stratégií na správnu integráciu technológií Industry 4.0 do existujúcich postupov TPM v priemyselných podnikoch,
- + zhodnotiť prínosy navrhutej metodiky implementácie metódy TPM v procese digitálnej transformácie pre vyberané oblasti.

2.1 Výskumné otázky a hypotézy

- + **VO 1:** Ktoré z metód štíhlej výroby využívajú priemyselné podniky na Slovensku?
- + **VO 2:** Skúmajú priemyselné podniky na Slovensku zvyšovanie produktivity a znižovanie nákladov na základe zavádzania štíhlych metód?
- + **VO 3:** Realizujú priemyselné podniky na Slovensku digitálnu transformáciu v rámci metódy TPM ?
- + **VO 4:** Ovplyvňuje integrácia metódy TPM s technológiami Industry 4.0 zvyšovanie produktivity v priemyselných podnikoch na Slovensku?

Na základe výskumných otázok je potrebné ďalej stanoviť hypotézy dizertačnej práce.

+ **Hypotéza H1**

„Predpokladáme, že je významný rozdiel v aplikácii technológií Industry 4.0 v rámci využívania metód štíhlej výroby.“

+ **Hypotéza H2**

„Predpokladáme, že viac ako 50% stredných a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku nevyužíva metódy štíhlej výroby v procese digitálnej transformácie.“

+ **Hypotéza H3**

„Predpokladáme, že viac ako 80% stredne veľkých a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku plánuje v období desiatich rokov realizovať metódu TPM v procese digitálnej transformácie.“

+ **Hypotéza H4**

„Existuje korelácia medzi významom konceptu Industry 4.0 a jeho úrovňou implementácie v priemyselných podnikoch.“

+ **Hypotéza H5**

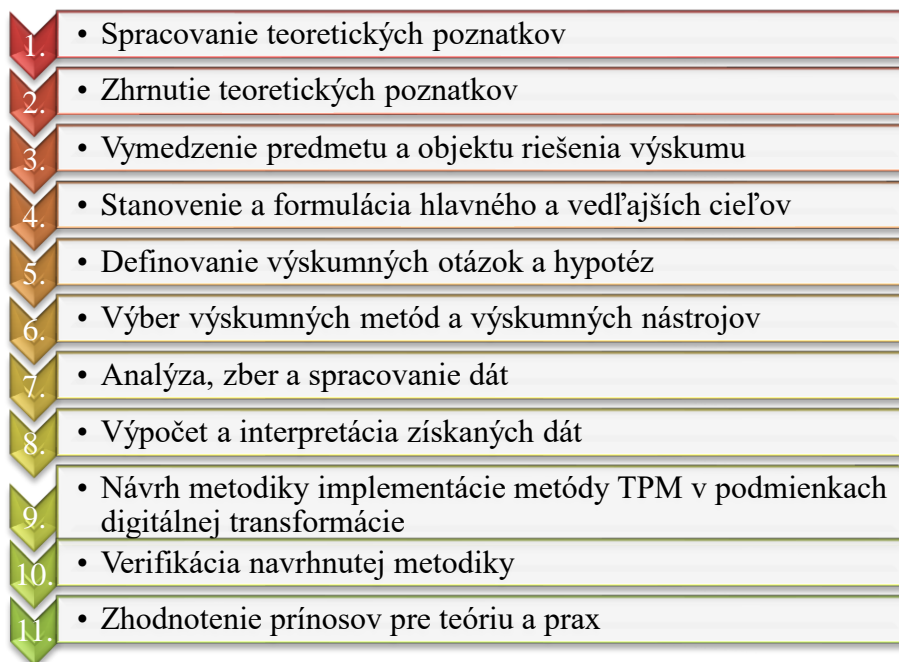
„Existuje korelácia medzi implementáciou TPM a realizáciou Industry 4.0.“

3 METODIKA A METÓDY SPRACOVANIA DIZERTAČNEJ PRÁCE

V úvode práce boli popísané teoretické východiská pre danú problematiku, v druhej časti výskumné otázky a hypotézy, pre ďalšie skúmanie je potrebné, aby bola popísaná presná postupnosť krokov, metodika výskumu spolu s metódami, ktoré budú pri výskume použité.

3.1 Metodický postup dizertačnej práce

Štruktúra metodického postupu, ktorá bola použitá pri vypracovaní dizertačnej práce je znázornená na obr. 2.



Obrázok 2/15: Metodika postupu riešenia dizertačnej práce (vlastné spracovanie, 2021)

3.2 Metódy spracovania dizertačnej práce

V dizertačnej práci som použila nasledovné metódy skúmania:

- **metóda zberu a spracovania informácií,**
- **analýza a syntéza,**
- **dedukcia a indukcia.**

Pri analýze súčasného stavu riešenej problematiky boli využité tieto metódy:

- **dotazníkový prieskum,**
- **štruktúrované rozhovory.**

Výsledky z rozhovorov boli vyhodnocované kvalitatívne. Pri vyhodnocovaní výsledkov z dotazníkového prieskumu som použila:

- **štatistické metódy,**
- **grafické metódy.**

4 ANALÝZA MIERY DIGITÁLNEJ TRANSFORMÁCIE METÓDY TPM V PRIEMYSELNÝCH PODNIKOKH

Štvrtá kapitola dizertačnej práce je rozdelená na podkapitoly, ktoré sú zamerané na charakteristiku výskumnej vzorky, vyhodnotenie výskumných otázok, vyhodnotenie hypotéz. V poslednej podkapitole sa venujeme zhrnutiu výsledkov z vykonaných analýz.

4.1 Charakteristika výskumnej vzorky – hlavný výskum

Nasledujúca podkapitola analytickej časti práce sa zaoberá hlavným dotazníkovým prieskumom, ktorý bol zameraný na stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku.

Charakteristika výskumnej vzorky respondentov – vzorku respondentov tvorili zamestnanci z daných spoločností na vybraných vedúcich pozíciách oddelenia údržby a zodpovedných za oddelenie výroby. Nakoľko sú otázky veľmi konkrétne, bolo dôležité aby dotazníkový prieskum vyplnili zamestnanci, ktorí danej problematike rozumejú a pracujú v danom odvetví. Zapojenie kľúčových vedúcich pracovníkov zo spomínaných oddelení nám umožňuje konfrontovať vnímanie integrácie medzi Industry 4.0 a TPM v priemyselných podnikoch, čo vedie k holistickému chápaniu nášho výskumu.

V rámci hlavného výskumu bolo oslovených 600 respondentov prostredníctvom e-mailovej komunikácie. Táto bola smerovaná predovšetkým pre manažerov údržby a výroby v stredných a veľkých priemyselných podnikoch.

Zber údajov prebiehal počas časového horizontu: 13.12.2021 do 13.01.2022. Po postupnom spracovávaní dotazníkov a vylúčení neúplne vyplnených dotazníkov bolo použiteľných 82 dotazníkov. Rozsah výberového súboru predstavuje $n=91$, čo v tomto prípade nie je splnené, avšak vzhľadom na okolnosti súvisiace s celosvetovou pandemiou získanie väčšieho počtu relevantných respondentov nebolo reálne. Vzhľadom na uvedené budeme daný výskumný súbor považovať za dostatočný a reprezentatívny.

4.2 Štruktúrovaný rozhovor

Pri spracovaní dotazníkového prieskumu sme zachytili nevypracovanú **otázka č. 15. Uved'te reálnu/potenciálnu integráciu technológií Industry 4.0 do činností údržby vo Vašej spoločnosti**, ktorú respondenti vynechali a predstavuje pre nás nulovú pridanú hodnotu. Z hľadiska ďalšieho spracovania dizertačnej práce považujeme túto otázku za kľúčovú nielen v analytickej časti dizertačnej práce, ale následne aj v návrhovej časti. Preto sme sa rozhodli pre realizáciu štruktúrovaného rozhovoru.

Rozhovory sa uskutočnili online formou v marci 2022 a prebiehali štruktúrovanou formou. Scenár otázok (Príloha C) bol rozdelený do troch častí, informácie o respondentoch, implementácia TPM v spoločnostiach a následne digitalizácia údržby v daných podnikoch. Do rozhovoru boli zapojení vedúci zamestnanci z oddelenia údržby prípadne oddelenia výroby v troch veľkých priemyselných podnikoch pôsobiacich na Slovensku. Tieto spoločnosti budú ďalej označované ako podnik A, B, a C aby bola zabezpečená anonymita respondentov a príslušných firiem.

4.3 Vyhodnotenie výskumných otázok dizertačnej práce

Vyhodnotenie výskumných otázok, ktoré boli stanovené v rámci riešenia problematiky dizertačnej práce bolo vykonané prostredníctvom odpovedí od respondentov tzn. priemyselných podnikov z dotazníkového prieskumu.

VO 1: Ktoré z metód štíhlej výroby využívajú priemyselné podniky na Slovensku?

Odpoveď na prvú výskumnú otázku môžeme podložiť z oboch dotazníkových prieskumov. Nakoľko pri prvotnom, ale aj hlavnom dotazníkovom prieskume sme sa respondentov pýtali, ktoré z metód štíhlej výroby využívajú.

Tabuľka 1/15 Odpoveď na prvú výskumnú otázku dizertačnej práce (vlastné spracovanie, 2022)

| Metódy štíhleho riadenia | Prvotný výskum 17 respondentov | Hlavný výskum 82 respondentov |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Kaizen | 88,2 % | 58,5 % |
| Kanban | 70,6 % | 75,5 % |
| Just in Time | 29,4 % | 49,0 % |
| Heijunka | 11,8 % | 24,0 % |
| TPM | 76,5 % | 70,0 % |
| SMED | 47,1 % | 49,0 % |
| 5S | 94,1 % | 93,0 % |

Z uvedenej Tabuľky 1 vyplýva, že priemyselné podniky na Slovensku využívajú pomerne všetky z uvedených metód štíhlej výroby, avšak v popredí sú metódy 5S, Kaizen, Kanban, ale taktiež aj nami riešená metóda TPM.

VO 2: Skúmajú priemyselné podniky na Slovensku zvyšovanie produktivity a znižovanie nákladov na základe zavádzania štíhlych metód?

Odpoveď vyplýva z hlavného dotazníkového prieskumu, kde sme sa v otázke č. 6 pýtali respondentov na túto skutočnosť. Zvyšovanie produktivity a znižovanie nákladov uvádza až 77% priemyselných podnikov, ktoré skúmajú či prostredníctvom zoštíhľovania procesov cez metódy štíhlej výroby dosahujú zvyšovanie produktivity a zároveň tak znižovanie nákladov.

VO 3: Realizujú priemyselné podniky na Slovensku digitálnu transformáciu v rámci metódy TPM ?

Odpoveď je podložená z hlavného dotazníkového prieskumu otázkou č. 8, respondentov sme sa pýtali, ktoré z metód štíhlej výroby využívate v procese digitálnej transformácie. Zároveň nám z tejto otázky vyplynula odpoveď na tretiu výskumnú otázku.

Tabuľka 2/16 Vyhodnotenie tretej výskumnej otázky (vlastné spracovanie, 2022)

| Odpoveď | Kaizen | Kanban | JiT | Heijunka | TPM | SMED | 5S |
|---|--------|--------|--------|----------|-------|-------|--------|
| IoT | 7,3% | 7,3% | 2,4 % | 0 | 12,2% | 9,8% | 2,4 % |
| Big Data | 7,3% | 7,3% | 2,4 % | 0 | 12,2% | 9,8% | 4,9 % |
| Cloud Computing | 2,4% | 2,4% | 0 | 0 | 9,8% | 4,9% | 4,9 % |
| Rozšírená, virtuálna realita | 0 | 0 | 2,4 % | 0 | 12,2% | 2,4% | 0 |
| Vizualizácie | 29,3% | 34,1% | 9,8 % | 9,8% | 51,2% | 26,8% | 58,5 % |
| Asistenčné systémy | 7,3% | 12,2% | 12,2 % | 2,4% | 14,6% | 7,3% | 12,2 % |
| Čiarové kódy, QR kódy, RFID technológie | 14,6% | 46,3% | 34,1 % | 4,9% | 14,6% | 7,3% | 17,8 % |
| 3D tlač | 12,2% | 7,3% | 2,4 % | 0 | 17,8% | 9,8% | 14,6 % |
| Pokročilá robotika | 9,8% | 2,4% | 0 | 0 | 2,4% | 2,4% | 4,9 % |

V rámci metódy TPM priemyselné podniky na Slovensku majú najväčšie zastúpenie v nasledujúcich technológiách štvrtej priemyselnej revolúcie:

- Vizualizácia – **51,2%**
- 3D tlač – **17,8 %**
- Asistenčné systémy, čiarové, QR kódy, RFID technológie – **14,6%**
- IoT, Big Data, rozšírená, virtuálna realita – **12,2 %**
- Cloud Computing – **9,8 %**
- Pokročilá robotika – **2,4%**

VO 4: Ovplyvňuje integrácia metódy TPM s technológiami Industry 4.0 zvyšovanie produktivity v priemyselných podnikoch na Slovensku?

Odpoveď: Respondenti uviedli jednoznačnú odpoveď a vyjadrili kladný názor možnosťou

„áno“ ovplyvní zvyšovanie produktivity integrácia TPM s technológiami Industry 4.0. V niektorých prípadoch vyjadrili respondenti aj príklady:

- áno, eliminácia zbytočných krokov pre zrýchlenie celého procesu,
- áno, potenciál zlepšiť procesy a dostupnosť zariadení.

Overenie hypotézy 1

H₀: „Nie je významný rozdiel v aplikácii technológií Industry 4.0 v rámci využívania metód štíhlej výroby.“

H₁: „Je významný rozdiel v aplikácii technológií Industry 4.0 v rámci využívania metód štíhlej výroby.“

Hypotézu 1 sme overovali v programe MS Excel, prostredníctvom dvojfaktorovej analýzy rozptylu bez opakovaní (Anova: Two-Factor Without Replication). Testovali sme rozdiel v aplikácii technológií Industry 4.0 v rámci využívania metód TPM (otázka č. 8 v dotazníku).

Realizáciou štatistického testu a verifikáciou poslednej výskumnej hypotézy možno zamietnuť nulovú hypotézu **H₀** a **prijat'** alternatívnu hypotézu **H₁** a tým tvrdiť, že medzi technológiami Industry 4.0 **je významný rozdiel**, pokiaľ ide o aplikáciu v rámci metód štíhlej výroby.

Overenie hypotézy 2

H₀: „50% stredne veľkých a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku nevyužíva metódy štíhlej výroby v procese digitálnej transformácie.“

H₁: „Viac ako 50% stredne veľkých a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku nevyužíva metódy štíhlej výroby v procese digitálnej transformácie.“

Hypotézu 2 sme overovali v programe MS Excel, za pomoci Chí kvadrát testu. Prvá premenná sú empirické (zistené) početnosti a druhá premenná mala hodnotu teoretických (očakávaných) početností. Pre obidve hodnoty premennej vypočítame odchýlku (Residual), čiže rozdiel medzi pozorovanou a očakávanou početnosťou. Hodnota Chí-kvadrát = 12,488 a dosiahnutá signifikancia $p = 0,00041$.

Prostredníctvom realizovaného štatistického testu zamietame nulovú hypotézu **H₀** a **prijímame alternatívnu hypotézu H₁**. Výsledky štatistického testovania potvrdili, že **viac ako 50%** stredných a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku nevyužíva metódy štíhlej výroby v procese digitálnej transformácie.

Overenie hypotézy 3

H₀: „80% stredne veľkých a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku plánuje v období desiatich rokov realizovať metódu TPM v procese digitálnej transformácie.“

H₁: „Viac ako 80% stredne veľkých a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku plánuje v období desiatich rokov realizovať metódu TPM v procese digitálnej transformácie.“

Hypotézu 3 sme overovali v programe MS Excel, za pomoci Chí kvadrát testu. Testovali sme rozdiel medzi početnosťami zistenými prieskumom a teoretickými/predpokladanými početnosťami, čiže prvá premenná sú empirické (zistené) početnosti a druhá premenná mala hodnotu teoretických (očakávaných) početností.

Hodnota Chí-kvadrát = 11,182 a dosiahnutá signifikancia $p = 0,000826$ sú uvedené v tabuľke 21.

Prostredníctvom realizovaného štatistického testovania a verifikácie druhej výskumnej hypotézy zamietame nulovú hypotézu H_0 a **prijímame alternatívnu hypotézu H_1** . Výsledky štatistického testovania potvrdili, že **viac ako 80%** stredne veľkých a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku plánuje v období desiatich rokov realizovať metódu TPM v procese digitálnej transformácie.

Overenie hypotéza 4

H_0 : „Neexistuje závislosť medzi významom konceptu Industry 4.0 a jeho úrovňou implementácie v priemyselných podnikoch.“

H_1 : „Existuje závislosť medzi významom konceptu Industry 4.0 a jeho úrovňou implementácie v priemyselných podnikoch.“

Hypotézu 4 sme overovali za pomoci programu IBM SPSS Statistics 23, skúmali sme vzťah medzi významom Industry 4.0 a úrovňou jej implementácie v priemyselných podnikoch.

Za pomoci realizovaného štatistického testu môžeme zamietnuť nulovú hypotézu H_0 a **prijat' alternatívnu hypotézu H_1** a tým konštatujeme, že **existuje závislosť** medzi dôležitosťou Industry 4.0 a úrovňou jej implementácie v priemyselných podnikoch.

Overenie hypotéza 5

H_0 : „Neexistuje závislosť medzi implementáciou TPM a úrovňou Industry 4.0.“

H_1 : „Existuje závislosť medzi implementáciou TPM a úrovňou Industry 4.0.“

Hypotézu 5 sme overovali pomocou programu IBM SPSS Statistics 23, skúmali sme koreláciu medzi implementáciou TPM a realizáciou Industry 4.0 v priemyselných podnikoch.

Na základe realizovaného štatistického testu a verifikácie štvrtej výskumnej hypotézy, môžeme zamietnuť nulovú hypotézu H_0 a **prijat' alternatívnu hypotézu H_1** a ďalej tvrdiť, že **existuje závislosť** medzi implementáciou TPM a úrovňou Industry 4.0.

4.4 Vyhodnotenie analytickej časti

Cieľom analytickej časti práce bolo zhromaždenie dostatočného množstva dát, následné preskúmanie, vyhodnotenie záverov a overenie stanovených hypotéz. Tento postup vytvoril predpoklad pre vypracovanie návrhovej časti dizertačnej práce.

Prvým krokom bolo uskutočnenie rozhovoru s expertom na riešenie problematiku a následné poukázanie na vývoj jednotlivých otázok z prieskumu spoločnosti Industry4^{UM}. Táto časť tvorila akýsi proces, ktorý viedol k vytvoreniu hlavného dotazníkového výskumu.

Z hlavného dotazníkového prieskumu môžeme konštatovať, že dôsledná realizácia TPM v spojení s prvkami a technológiami Industry 4.0 prináša veľký potenciál či už z pohľadu efektívneho riadenia životného cyklu zariadení, resp. aplikácie prediktívnych prístupov v procesoch údržby, intuitívne nastavenie zariadení, využitie inteligentných strojov. Potenciál má využitie vizualizácie a simulácie na zlepšenie prístupov z pohľadu údržby ako efektívneho oddelenia zabezpečujúceho plynulý chod výroby a vysokú úroveň efektivity strojného zariadenia. Momentálne okolo 70% priemyselných podnikov nevyužíva metódy štíhlej výroby v procese digitálnej transformácie avšak v nasledujúcich desiatich rokoch až 95% podnikov plánuje prejsť digitálnou transformáciou v oblasti metódy TPM. Prostredníctvom implementácie TPM v podmienkach digitálnej transformácie dochádza k navýšeniu optimálneho počtu strojov a tým pádom k zvýšeniu produktivity. Dostupnosť dát je v tomto absolútne kľúčová. Strojové učenie by malo zasa zohrať kľúčovú úlohu v prechode z preventívnej na prediktívnu údržbu a tým prispieť k zníženiu nákladov na údržbu.

5 NÁVRH METODIKY DIGITÁLNEJ TRANSFORMÁCIE METÓDY TPM V STREDNÝCH A VEĽKÝCH PRIEMYSELNÝCH PODNIKOKH

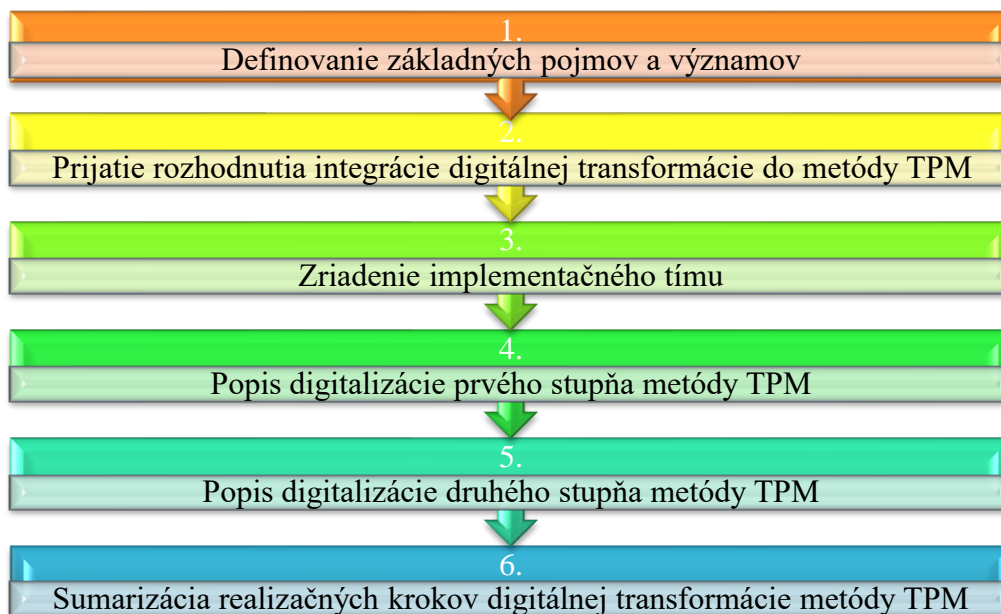
Po spracovaní komplexnej analýzy súčasného stavu vzájomného pôsobenia Lean manažmentu a Industry 4.0 a následné využitie metódy TPM v procese digitálnej transformácie v priemyselných podnikoch na Slovensku pokračujeme návrhom metodiky. Hlavným cieľom dizertačnej práce je navrhnuť metodiku digitálnej transformácie metódy TPM v stredných a veľkých priemyselných podnikoch na Slovensku.

Metodika je vytvorená na základe:

- štúdia a analýzy teoretických východísk z domácej a zahraničnej literatúry,
- analýzy súčasného stavu vzájomného pôsobenia Lean manažmentu a Industry 4.0 v stredných a veľkých priemyselných podnikoch na Slovensku,
- získania praktických skúseností nadobudnutých počas odbornej stáže v priemyselnom podniku Snop Automotive Malacky, a. s.,
- nadobudnutia praktických zručností v rámci pedagogickej činnosti na UPIM a spolupráce s Industry4^{UM},
- pološtruktúrovaného rozhovoru s odborníkom na Industry 4.0 a s autorom publikácie TPM – cesta k fungujúcej údržbe,
- účasti na vedeckých a odborných podujatiach (konferencie, semináre, webináre, školenia) zameraných na oblasť štíhlej výroby a štvrtej priemyselnej revolúcie.

5.1 Návrh metodiky digitálnej transformácie metódy TPM v stredných a veľkých priemyselných podnikoch

Nami navrhnutá metodika predstavuje postupnosť konkrétnych krokov, ako dospieť k naplneniu cieľa. Jednotlivé kroky sú graficky znázornené na obr. 3 pre vypracovanie metodiky digitálnej transformácie metódy TPM.



Obrázok 3/1: Kroky metodiky digitálnej transformácie metódy TPM (vlastné spracovanie, 2022)

Navrhnutá metodika je určená pre stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku, pre ktoré je uceleným spôsobom zvyšovania efektivity podniku metóda TPM. Zároveň tieto podniky využívajú na základe metódy TPM plošné zavedenie rovnakých princípov na každé oddelenie, požiadavky angažovanosti všetkých pracovníkov a jasne definovaný cieľ, na ktorom sa podieľa každý zamestnanec daného podniku.

5.1.1 Definovanie významov v oblasti digitalizácie

Pre lepšie pochopenie významov, ktoré sú v metodiky použité sme tieto pojmy zadefinovali tak ako sa využívajú na jednotlivých úrovniach digitalizácie podnikov. K navrhnutiu metodiky digitálnej transformácie metódy TPM sú používané nasledovné termíny:

1. stupeň digitalizácia (digitization) – digitalizácia informácií a dát v podniku predstavuje konverziu údajov do digitálneho formátu, opisuje čisto analógovú konverziu existujúcich údajov a dokumentov do digitálnej podoby. Cieľom digitalizácie však nie je optimalizácia procesov alebo údajov.
2. stupeň digitalizácia (digitalization) – tento stupeň digitalizácie zahŕňa viac než len digitalizáciu existujúcich údajov, je to schopnosť digitálnych technológií zhromažďovať údaje, vyhodnocovať nich, určovať trendy a prijímať lepšie obchodné rozhodnutia, využíva digitálne informačné technológie na úplnú transformáciu podnikových procesov alebo vytvorenie digitálneho pracoviska.
3. stupeň digitálna transformácia – keďže každý priemyselný podnik je špecifický digitálna transformácia bude pre každú spoločnosť vyzerat' inak. Vo všeobecnosti však digitálnu transformáciu definujeme ako integráciu digitálnych technológií do

nových alebo úpravu existujúcich podnikových procesov do všetkých oblastí podnikania, ktoré vedú k zásadným zmenám v tom, ako priemyselné podniky fungujú.

Z daných pojmov možno pre ďalší vývoj návrhovej časti metodiky digitálnej transformácie metódy TPM konštatovať, že digitalizujeme *informácie a dáta*, digitalizujeme *podnikové procesy a systémy*, na základe ktorých je možný chod podniku a digitálne transformuje *podnik* ako celok a jeho *stratégiu*.

5.1.2 Prijatie rozhodnutia integrácie digitálnej transformácie do metódy TPM

Prvým krokom stredných a veľkých priemyselných podnikov je prijatie rozhodnutia integrácie digitálnej transformácie do metódy TPM. Tento krok je úlohou TOP manažmentu, ktorý si naplno uvedomuje možné zmeny, náklady, prínosy ale aj úspory spojené s prijatím digitalizácie metódy TPM.

Úlohou TOP manažment pri prijímaní digitalizácie sú nasledovné kroky:

- rozhodnutie o digitálnej transformácii začína práve u TOP manažmentu,
- vrcholový manažment musí byť pripravený a ochotný presadiť dané zmeny súvisiace s digitálnou transformáciou,
- rozhodnutie sa aj na základe technického stavu prevádzky,
- prijatie rozhodnutia ako prioritnú úlohu s jasnou víziou a odhodlaním,
- vytvorenie stratégie digitálnej transformácie,
- neustála podpora zo strany TOP manažmentu,
- presvedčenie všetkých zainteresovaných osôb,
- aktívne podieľanie sa na jednotlivých procesoch v oblasti údržby,
- zabezpečenie podmienok a zároveň bezpodmienečne vyčleniť čas na vykonávanie TPM, ktorý je definovaný vo výrobnom programe,
- zabezpečenie aktívnej spolupráce smerom nadol – TOP manažment – stredný manažment – tím údržby – operátor na výrobnéj linke.

5.1.3 Zriadenie implementačného tímu

Po prijatí rozhodnutia digitálnej transformácie metódy TPM nastáva druhý krok, kedy vedenie stredných a veľkých priemyselných podnikov definuje a vytvorí tím zodpovedný za vedenie digitálnej transformácie, ktorému zároveň vymedzí zodpovednosti, právomoci a kompetencie.

Úlohy implementačného tímu digitálnej transformácie:

- „pravá ruka“ TOP manažmentu,
- náplň práce je 100% spojená s digitalizáciou procesov v podniku,
- zameranie sa na realizáciu projektov digitálnej transformácie,
- venovanie sa vývoju a implementácii riešení digitálnej transformácie v podnikových procesoch na oddelení údržby,
- podieľanie sa na analýze a optimalizácii podnikových procesov,
- analyzovanie dát,
- premieňanie dát na informácie s pridanou hodnotou,

- napĺňanie výsledkov implementácie metódy TPM v podmienkach digitálnej transformácie.

5.2 Digitalizácia prvého stupňa metódy TPM

Prvým krokom, ktorý je potrebný pre digitálnu transformáciu metódy TPM pre stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku je prvý stupeň digitalizácie, ktorý nie je zameraný na procesy ale na digitalizáciu dát.

Na základe analytickej časti dizertačnej práce, kedy sme navštívili niekoľko priemyselných podnikov, v ktorých sme vykonávali rozhovory s manažérmi údržby sme zistili, niekoľko nedostatkov a slabých stránok pri riadení procesov údržby bez používania systému údržby. Medzi tie, ktoré sa najviac opakovali patrili:

- straty časov pri vypisovaní aktivít údržby,
- nepresné definovanie údržbárskych aktivít prípadne sa aktivity nevyhodnocujú vôbec,
- nesprávne vyhodnotené výsledky a ciele ukazovateľov údržby,
- nedostatočná evidencia a opakujúca sa chybovosť materiálov pri auditoch.

Hlavnou príčinou týchto problémov je chýbajúci mechanizmus na riadenie a monitorovanie údržbárskych procesov a výsledkov. Nadobudnutím systému, ktorým prevedieme fyzické informácie do digitálnej podoby budú priemyselné podniky môcť disponovať s informáciami a dátami. Tieto budú ďalej ukladané a manipulácia s nimi bude možná pomocou PC, tabletu či smartfónu.

5.2.1 Digitálny systém riadenia údržby

Priemyselné podniky po celom svete využívajú rôzne softvéry a nástroje na riadenie nielen údržbárskych procesov, ale aj obchodných procesov, ľudských zdrojov, nákupu či výroby. Prvým predpokladom je, že podnik má zavedený komplexný informačný systém ERP (Enterprise Resource Planning), kde sa budú údaje/dáta spracovávať, archivovať v digitálnej databáze. Medzi tie, ktoré centralizujú informácie o údržbe a uľahčujú procesy údržby sa riadia počítačové systémy riadenia údržby (CMMS). Existuje niekoľko podnikových softvérov na riadenie údržby, vedenie evidencie a vykonávanie údržby.

V mnohých firmách je ako podnikový ERP používaný jeden z najkomplexnejších systémov, ktorý patrí k najväčšiemu dodávateľovi podnikového softvéru medzi spoločnosťami – SAP. Pod tento systém spadá SAP Plant Maintenance (PM) modul, ktorý je systémom riadenia údržby. Tento špecifický modul sa používa pre plánovanie, riadi každodenné činnosti údržby a zaznamenáva vzniknuté problémy a poruchy. Kľúčové funkcie systému možno zhrnúť do nasledujúcich činností, ktoré zahŕňajú:

- kontrolu, ktorá zahŕňa všetky opatrenia, ktorými sa zisťuje skutočný stav systému alebo zariadenia,
- preventívnu údržbu, ktorá zahŕňa všetky opatrenia, ktoré udržiavajú ideálny stav,
- opravu, ktorá zahŕňa všetky opatrenia, ktoré obnovujú ideálny stav (www.sap.com).

Doterajšie realizovanie plánovanej údržby a hlásenie porúch v priemyselných podnikoch cez evidenciu plánov údržby v papierovej forme možno nahradiť do digitálnej editovateľnej formy pomocou nasledovných krokov:

- zozbieranie podkladov, dokumentácie strojov a zariadení,
- definovanie jednotlivých výkonov, časov tzv. dávok,
- zaškolenie všetkých užívateľov podporného informačného systému,
- v systéme vytvoriť všetky návody a plány údržby na základe dokumentácie zariadenia,
- dodržanie všetkých výrobcom určených činností, termíny a parametre pre správne a bezpečné prevádzkovanie zariadenia,
- po vytvorení plánov vznikne možnosť nahlasovania porúch do systému v súlade s konceptom TPM.

Táto fáza býva časovo veľmi náročná, pretože na kvalite vstupných dát stojí alebo padá celý úspech implementácie TPM.

Na vykonávaní danej činnosti sa musia zúčastňovať všetci členovia oddelenia – tímu údržby. Všetci musia byť presvedčení o dôležitosti správne a dôsledne vykonávať túto činnosť. Prítomnosť a prejavovaný aktívny záujem manažmentu, ktorý môže byť sporadicky (morálna podpora), avšak len podtrhuje dôležitosť tejto metódy. Každý člen má vopred známe a jasné úlohy ktoré sú definované v dokumentácii. Po ukončení činnosti vedúci tímu jednotlivé výkony zaznamená do systému. Tak sa zachová v databáze potrebná história pre ďalšie spracovanie, kontrolu a štatistiku.

Záznamy výkonov TPM, údržby a opráv do digitálnej systémovej databázy zabezpečia jasné a prehľadné finančné toky materiálové, ale aj personálne, ktoré sa dajú ďalej priebežne sledovať. Na základe týchto údajov je potom možné plánovať väčšie (generálne) opravy prípadná celková výmena/obmena zariadení. Dokonca je možné zisťovať aj možné chybné postupy pri prevádzkovaní zariadení. Samozrejmosťou pri týchto digitalizovaných systémoch sú vizualizácie aktuálneho stavu a príprava denných reportov pre manažment. Toto všetko v konečnom dôsledku umožňuje šetriť finančné prostriedky a prestoje zariadení.

5.3 Digitalizácia druhého stupňa metódy TPM

Nasledujúci krok, ktorý je potrebný pre digitálnu transformáciu metódy TPM pre stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku je digitalizácia, ktorá zahŕňa zhromažďovanie údajov, vyhodnocovanie, určovanie trendov, monitorovanie procesov či prijímanie lepších rozhodnutí.

Ak priemyselný podnik prijme rozhodnutie o implementácii digitalizácie metódy TPM, je potrebné aby na začiatok poznal odpoveď na nasledujúce štyri body:

- výber veličín tzn. aký druh veličín chce pozorovať,
- ako často tzn. v akom časovom rozsahu bude tieto veličiny sledovať,
- kam ich bude ukladať,
- a ako ich bude vizualizovať.

Digitalizáciou druhého stupňa metódy TPM, ktorá sa bude zaoberať celým mechanizmom digitalizácie údržby vrátane:

- zberu údajov,
- monitorovania stavu strojov, minimálne na úrovni pravidelných diagnostických činností,

- vizualizácie výrobných dát a technického stavu výrobných zariadení,

zabezpečíme moderný systém nepretržitého monitorovania stavu požadovaných zariadení založených na automatizovanom zbere dát stredným a veľkým priemyselným podnikom na Slovensku.

5.3.1 Zber dát

Digitalizácia údajov je kľúčový krok na ceste za digitálnou transformáciou podnikových procesov. Úspech digitalizácie druhého stupňa si vyžaduje určitú úroveň dátovej histórie, bezpečný zber dát, ukladanie, či analýzu dát v reálnom čase. Digitalizácia údajov zahŕňa dva kroky:

- konverziu existujúcich fyzických dokumentov do digitálnej podoby (kapitola 5.2),
- priame vytvorenie digitálnych dokumentov.

Koncept z pohľadu digitalizácie druhého stupňa implementácie metódy TPM v podmienkach digitálnej transformácie sa skladá z týchto častí:

- zber údajov,
- ukladanie a spracovanie údajov,
- vytvorenie dátového centra pre všetky oddelenia podniku.

Zber údajov – mať včas k dispozícii údaje o údržbe, ktoré sú aktuálne, presné a úplné, je dôležité z niekoľkých dôvodov. Jeden z tých najdôležitejších je, že manažér údržby má aktuálne informácie o výkonnosti každého zariadenia a prístroja, ak existujú potenciálne riziká poškodenia alebo poruchy, je možné ich včas riešiť. Nepretržitý automatický zber dát z výrobných zariadení a strojov založený na IoT platforme, z výrobného informačného systému (MES), podnikových databáz, pomocou programovateľného logického automatu (PLC) prípadne ak sa v podniku nachádzajú stroje a zariadenia, ktoré nedokážu komunikovať cez PLC, získať dáta je možné prostredníctvom moderných senzorov či snímačov. Ďalšie systémy pre zber údajov sú napr. EAM (riadenie podnikového majetku), SCADA (dohľad riadenie a zber údajov). V súčasnosti existuje niekoľko typov zariadení, ktoré sú nastavené na rôzne druhy strojov a monitorujú ich činnosti, ktoré ďalej odovzdávajú výsledky do nadradených systémov, či už je to MES, SAP. Snímače, ktoré monitorujú a sledujú údaje o hluku, teplote, výparoch, vibráciách a ďalších aspektoch výkonu stroja, možno nainštalovať ku každému stroju. Sú bezdrôtové, vďaka čomu sú nenápadné a ľahko pripojiteľné k sieti.

Ukladanie a spracovanie údajov – systémy na ukladanie údajov sú servery, ktoré sú schopné zálohovať údaje, zabraňujú možnému preťaženiu údajov a chránia podnikové údaje. Od optických médií cez externý USB disk sa dostávame do možností využívať cloudové služby. Ide o prenájom kapacity dátového úložiska v externom dátovom centre. Tieto sprístupňujú dáta odkiaľkoľvek a zabezpečujú možnosť disponovať s dátovým úložiskom bez investície do vlastnej IT infraštruktúry.

Dátové centrum – ak sa priemyselný podnik rozhodol zbierať, spracovávať a analyzovať dáta, je potrebné aby tieto dáta tvorili informáciu, ktorá bude potrebná ku každodennému rozhodovaniu pre všetky oddelenia podniku. Prepojenie a výmena dát prostredníctvom dátového centra, zabezpečí v jednom okamihu zhromaždenie údajov z mnohých rôznych

strojov a zariadení štruktúrovane, usporiadane a dodá im kontext. Priemyselný podnik bude vedieť, ktorá výrobná linka:

- vyrobila XY dielov,
- pri teplote T,
- na zmene S,
- expedované boli zákazníkovi Z,
- v deň D,
- bolo N neplánovaných prestojov,
- a celková efektivita zariadenia bola C.

V konečnom dôsledku toto dátové centrum vygeneruje potrebné reporty pre manažment v prehľadných grafických prezentáciách čo vedie v neposlednej rade k efektívnejšej komunikácii.

5.3.2 Monitorovanie stavu strojov a zariadení

Každý priemyselný podnik chce stroj, ktorý bude pracovať rýchlo, dlho, bezpečne a bez závad. Riešenie takýchto požiadaviek efektívnou a udržateľnou cestou sú informácie o aktuálnej kondícii strojov tzv. condition monitoring. Monitorovanie stavu je proces, pri ktorom sa sledujú rôzne parametre stroja ako napr. teplota, vibrácie, tlak a pod. Na základe tohto monitorovania je možné identifikovať významnú zmenu, ktorá naznačuje vznikajúcu poruchu. Správna znalosť technického stavu stroja pomôže v rozhodovaní o tom, ako dlho môže byť zariadenie prevádzkované, prípadne pre rozhodnutie o odstávke a oprave. Metódy, ktoré patria k monitorovaniu a vyhodnocovaniu stavu stroja a jeho porúch sú napr.:

- ultrazvuková detekcia,
- termografia,
- nedeštruktívne testovanie,
- vibračná diagnostika,

Adekvátny výber metódy prípadnú kombináciu metód komplexných služieb v oblasti technickej diagnostiky a zistenia strojového zariadenia si každý priemyselný podnik musí zvoliť individuálne za základe konkrétnych strojov, ktorými disponuje a za pomoci systému riadenia údržby. Využívanie monitorovania stavu umožní naplánovať údržbu, sledovať trendy v nameraných hodnotách a indikovať vznikajúce poruchy skôr, ako ovplyvnia prevádzku stroja.

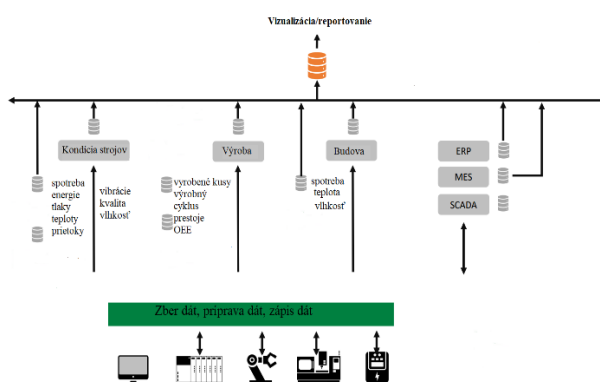
Pre systém monitorovania stavu strojov a zariadení je potrebné, aby si každý priemyselný podnik vypracoval vhodnú individuálnu stratégiu. Pri vypracovaní úspešnej stratégie treba zohľadniť veľa drobných krokov, ako napr.:

- komplexný proaktívny prístup,
- stanovenie kritických zariadení,
- história porúch a údržby na zariadeniach,
- odber vzoriek a vzorkovacie body,
- výber testov na základe odporúčaní od výrobcu,
- pravidelné analýzy – dôležité trendy,
- stanoviť limitné hodnoty,
- stanoviť metódy zásahu v prípade prekročenia limitov,
- stanovenie cieľov a vyhodnotenie.

5.3.3 Vizualizácia

Vizualizácia stavu výrobných dát a technického stavu výrobných zariadení – je potrebné dáta nielen zbierať, ale spraviť z nich informácie s pridanou hodnotou, ktoré budú viditeľné pre všetkých. Na to, aby sa s dátami dobre pracovalo je nevyhnutné ich vidieť a kontrolovať ich na základe prehľadných reportovacích nástrojov, ktoré disponujú s prehľadnými grafmi, vizualizáciou a zároveň sú dostupné nielen spätne, ale aj v reálnom čase online.

Ako je možné vidieť na obr. 4 na základe zberu dát zo strojov a zariadení a postupným spracovaním dát na rôznych odvetviach sa dostávame k vizualizácii týchto údajov a reportovaniu údajov nielen pre manažment podniku, ale aj pre zamestnancov na všetkých úrovniach.



Obrázok 4/2: Spôsob vizualizácie a reportovania na základe digitalizácie v reálnom čase (vlastné spracovanie, 2022)

Vizualizáciu údajov dosiahneme pomocou nadobudnutia nástroja, ktorý bude nadstavbou nad komplexným softvérovým informačným systémom (ERP, SAP, MES, SCADA). Jeho úlohou bude vizualizovať dáta v čo najčitateľnejšej podobe tak aby umožnili rýchle a správne rozhodnutia nielen v oblasti údržby, ale na úrovni celej organizácie. Takýto nástroj vytvorí pre priemyselné podniky:

- vizualizáciu dát z odlišných systémov,
- elementárnu analýzu dát a tvorbu reportov,
- pohotovú pohľad na aktuálny stav v podniku,
- zacielenie na kľúčové ukazovatele.

Vďaka nástrojom Business Intelligence môžu priemyselné podniky analyzovať údaje a získavať informácie zo svojho systému, rýchlo ich aktualizovať novými údajmi, kombinovať a rôzne spájať. Medzi nástroje BI, ktoré sa využívajú v organizáciách patria:

- Power BI

Microsoft Power BI je analytický nástroj, ktorý pomáha pri vytváraní reportov, získavaní údajov a vizualizácii údajov s cieľom poskytnúť obchodné informácie. Power BI má niekoľko zabudovaných konektorov, ktoré spájajú zdroje údajov s analytickými nástrojmi v reálnom

čase. V závislosti od potrieb podniku a veľkosti organizácie je možné prejsť na Power BI Pro a Power BI Premium.

- **DOMO**

Domo je samoobslužná cloudová platforma pre business intelligence, ktorá integruje zdroje údajov a pripravuje ich na analýzu. Platforma využíva tieto údaje na poskytovanie poznatkov, umožňuje spoluprácu a poskytuje prediktívnu analýzu na mikroúrovni aj na makroúrovni. Ponúka funkcie integrácie a transformácie metódou "drag and drop" tzn. ťahaj a pusti, čo je technika používaná v grafických prostrediach, ktoré vytvárajú vizualizácie v reálnom čase. Na prispôbenie vizualizácií a predpripravených ovládacích panelov nepotrebuje technické znalosti, pretože tento nástroj BI uľahčuje premenu „surových“ údajov na komplexný dátový celok.

- **Tableau**

Tableau je vizuálna analytická platforma, ktorá vytvára interaktívne vizuálne analytické panely, je známa tým, že dokáže rýchlo a jednoducho prijať akýkoľvek druh údajov z takmer akéhokoľvek systému a premeniť ich na využiteľné poznatky. Tieto panely umožňujú netechnickým analytikom a koncovým používateľom ľahko previesť údaje do zrozumiteľných interaktívnych vizuálov a grafov.

Na trhu v súčasnosti existuje celý rad nástrojov, ktoré sú vytvorené k tomu, aby vizualizovali dáta, ktoré sú potrebné pre ďalšie rozhodovanie v priemyselných podnikoch. To, ktorý z uvedených nástrojov je vhodný, je potrebné individuálne prehodnotiť na základe finančnej náročnosti a potrieb, ktoré sú pre každý priemyselný podniky odlišné.

5.4 Sumarizácia realizačných krokov digitálnej transformácie metódy TPM

Navrhnutá metodika predstavuje postupnosť piatich krokov, ktoré sú popísané v jednotlivých kapitolách vyššie. Predtým ako sa priemyselné podniky pustia do digitálnej transformácie metódy TPM je potrebné, aby postupovali krok po kroku naprieč všetkými stupňami digitalizácie. Naplnenie čiastkových krokov ich dovedie k naplneniu cieľa, ktorým je digitálna transformácia metódy TPM.

- ✚ Fáza I. – pred začiatkom plánovania implementácie metódy TPM v podmienkach digitálnej transformácie je dôležité rozhodnúť sa na základe technického stavu prevádzky a vytriediť stroje a zariadenia, ktorých kondícia nespadá do možnosti digitalizácie.
- ✚ Fáza II. – jednotlivé priemyselné podniky by mali zhodnotiť svoj súčasný stav a úroveň digitalizácie metódy TPM, v ktorej sa nachádzajú podľa vyššie spomenutých stupňov (digitalizácia 1.stupňa, digitalizácia 2. stupňa, digitálna transformácia celého podniku) a na základe toho zvoliť vhodnú stratégiu digitálnej transformácie metódy TPM.
- ✚ Fáza III. – prostredníctvom stanovenej stratégie na zistenú úroveň digitalizácie metódy TPM spustiť pilotný projekt, v ktorej sa podniky nachádza. Pilotný projekt organizácií otestuje či dané systémy fungujú tak ako sú navrhnuté a zabezpečí spätnú väzbu, odstráni nežiaduce prvky a v prípade, že bude úspešný, posunie podnik na ďalšiu úroveň digitalizácie.

- ✚ Fáza IV. – digitálna transformácia metódy TPM pre stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku je štandardizovaný postup, ktorý je uceleným spôsobom zvyšovania efektivity a konkurencieschopnosti podniku.
- ✚ Fáza V. – implementačný tím posudzuje či dochádza k digitálnej transformácii metódy TPM a zaisťuje udržateľnosť a postupné zlepšovanie úrovne digitálnej transformácie na základe meniacich sa potrieb trhu.

Tak ako je spomenuté v kapitole 5.1.1 je nevyhnutné, aby priemyselné podniky postupovali cez jednotlivé stupne digitalizácie. Postupným spracovaním a zavádzaním moderných systémov od digitalizácie dát cez digitalizáciu procesov sa dostanú k celkovému naplneniu konceptu Industry 4.0 a môžu sa tak stať podnikom, ktorý bude niesť prívlastok „priemyselný podnik 4.0“. V prípade navrhutej metodiky hovoríme o metóde TPM, kde implementácia tejto metódy spočíva v digitalizácii dát, digitalizácii procesov až po digitálnu transformáciu metódy TPM, čo možno označiť ako „TPM 4.0“.

Navrhnutá metodika je určená pre stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku, ktoré chcú zvyšovať svoju konkurencieschopnosť na základe systémového prístupu v oblasti celkovej produktívnej údržby. Zároveň táto metóda štíhlej výroby je pre dané podniky uceleným spôsobom zvyšovania efektivity so zreteľne zadefinovaným cieľom, na ktorom pracujú všetci zamestnanci v oblasti údržby.

5.5 Verifikácia uplatnenia navrhovanej metodiky

Verifikácia navrhutej metodiky prebiehala formou zaslania dokumentu, ktorý obsahoval celý postup návrhovej časti a bol určený pre vybrané stredné a veľké priemyselné podniky. Priemyselný podnik mal vyjadriť svoje stanovisko k navrhovanému metodickému postupu na základe priloženého dokumentu a nasledujúcich otázok:

1. Je podľa Vás návrh metodiky digitálnej transformácie metódy TPM jasný a zrozumiteľný?
2. Je daná postupnosť konkrétnych krokov dostatočná tak ako je uvedená v predkladanej práci?
3. Je daný návrh pre Vás prínosom s reálnou možnosťou aplikovateľnosti vo Vašom podniku?

Podniky, ktoré sme oslovili k verifikácii spadali do kategórie stredné a veľké priemyselné podniky a spolupracovali s nami aj pri analytickej časti dizertačnej práce. Verifikácia prebiehala od 12. septembra 2022 do 30. septembra 2022 a bola určená predovšetkým pre manažérov údržby a manažérov výroby.

Pozitívne stanovisko k navrhutej metodike a reálnu možnosť implementácie vyjadrili zástupcovia spoločností Hörnlein, k. s., Schaeffler Skalica, spol. s r. o., IDC Holding, a. s., Matador Automotive Vráble, a. s..

Priemyselný podnik **Hörnlein, k. s.**, návrhovú časť hodnotí „na veľmi dobrej úrovni, metodika je zrozumiteľná, jednotlivé kroky sú dopodrobna popísané“. Ďalej potvrdil, že „na základe dostupných podkladov uvedených v práci je možné použiť navrhnutú metodiku ďalej na realizáciu vo viacerých odvetviach automobilového priemyslu. Zvolenú tému považujem za aktuálnu a dôležitú, daná metodika je aplikovateľná vo viacerých závodoch a taktiež by som si vedel aj ja predstaviť, že by som podľa metodiky realizoval digitalizáciu metódy TPM v našom podniku Hörnlein.“

Priemyselný podnik **Schaeffler Skalica, spol. s r. o.** konštatuje, že „návrhová časť je postavená na dobrých základoch, je potrebné si uvedomiť nevyhnutnosť riešenia tejto problematiky pre budúcu existenciu priemyselných podnikov.“ Ďalej zástupca spoločnosti uviedol, že na základe skúseností s digitalizáciou v podniku je žiaduce sa venovať dátam a prenosu dát, nakoľko digitalizácia všetkých procesov začína pri zbere dát.

Priemyselný podnik **IDC Holding, a. s.** „my ako podnik práve prechádzame niečím takýmto, takže pre nás je to veľmi aktuálna téma a tiež veľmi podstatná práve v tejto dobe, kedy bude všetkým firmám, spoločnostiam záležať na sledovaní nákladov spoločnosti na personál, materiál, energie a pod.“ Potvrdil, že „v konečnom dôsledku považuje navrhnutú metodiku za aplikovateľnú a prispôsobiteľnú na reálne podniky. Taktiež vyjadril názor, že navrhnutá metodika, je dlhodobý proces, ktorý si musí predovšetkým uvedomiť manažment podniku.

Priemyselný podnik **Sodecia Matador Automotive Vráble, a. s.**, „možno konštatovať, že navrhovaný spôsob metodiky implementácie TPM svojim spracovaním spĺňa kritéria kladené na industriálny a komplexne ladený projekt v podmienkach priemyselného podniku.“ Ďalej uviedol, že je „zrozumiteľne a logicky popísaná postupnosť krokov zavádzania plnohodnotnej digitalizácie systému riadenia údržby TPM, aplikovateľnú či už pre zabehnutú analógovú formu riadenia údržby alebo pre zavedenie jej digitálnej formy. Spracovanie a výber témy možno hodnotiť v optike aktuálne rastúceho trendu redukcie výrobných a energetických nákladov ako nielen aktuálny ale určite ako nevyhnutný prostriedok, vedúci k optimalizácii nákladovej štruktúry akéhokoľvek priemyselného podniku, Sodecia Matador Automotive Vráble, a.s. nevynímajúc.“

Verifikáciou „metodiky digitálnej transformácie metódy TPM v stredných a veľkých priemyselných podnikoch“ máme za to, že navrhnutá metodika je zrozumiteľná a aplikovateľná s možnosťou reálnej implementácie pre stredné a veľké priemyselné podniky na Slovensku.

6 PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE PRE TEÓRIU A PRAX

Posledná kapitola je orientovaná na zhrnutie prínosov, ktoré sú založené z poznatkov dizertačnej práce. Hlavné prínosy, ktoré predkladaná dizertačná práca priniesla, uvádzame v dvoch oblastiach:

Prínosy dizertačnej práce v oblasti teórie:

- ✚ spracovanie teoretických východísk štíhlej výroby a štvrtej priemyselnej revolúcie z odborných domácich a zahraničných zdrojov,
- ✚ sumarizácia nových poznatkov v rámci metód štíhlej výroby a technológií Industry 4.0,
- ✚ vytvorenie uceleného pohľadu na aktuálny stav implementácie metód štíhlej výroby a technológií štvrtej priemyselnej revolúcie,
- ✚ vytvorenie konceptu najnovších techník, nástrojov a metód k udržaniu konkurencieschopnosti podnikov.

Prínosy dizertačnej práce v oblasti praxe:

- ✚ univerzálny postup pre zavedenie návrhu digitálnej transformácie metódy TPM do praxe v podmienkach stredných a veľkých priemyselných podnikoch na Slovensku,
- ✚ vytvorenie návrhu zlúčenia moderných digitálnych a fyzických systémov s metódou štíhleho riadenia – Total productive maintenance,
- ✚ prostredníctvom nasadenie správnej kombinácie metódy TPM s technológiami Industry 4.0 podniky dosiahnu zlepšenie plánovania a predpovedania fáz životného cyklu strojov a zariadení, taktiež zreteľnejšie pokyny na diagnostiku a kontrolu strojov,
- ✚ overovanie možnosti uskutočnenia navrhovanej metodiky digitálnej transformácie metódy TPM v priemyselných podnikoch na Slovensku.

Zároveň je možné predloženú dizertačnú prácu využiť v pedagogickom procese na vysokých školách v študijných programoch zaoberajúcich sa vzdelávaním v oblasti priemyselného inžinierstva, tak pri inovácii obsahu jednotlivých odborných predmetov, ako aj pri tvorbe príslušnej študijnej literatúry.

V záujme pokračovania vedeckého skúmania riešenej problematiky je možné rozpracovať ďalšie spomenuté metódy štíhlej výroby v podmienkach digitálnej transformácie prostredníctvom tém dizertačných prác. Taktiež na základe predloženej dizertačnej práce, nadobudnutých poznatkov vidím možnosť pokračovania vo vedeckom skúmaní metódy TPM v spojení s technológiou Industry 4.0 - Big Data.

ZÁVER

Priemyselné podniky sa v snahe zvýšiť spoľahlivosť a dostupnosť svojich zariadení a zároveň udržať náklady na údržbu pod kontrolou obracajú na nové technológie. Pomocou digitálnych nástrojov a pokročilých analytických schopností spolu s tradičnými technikami štíhlej výroby sa snažia predvídať a predchádzať poruchám zariadení, zvyšovať produktivitu práce a zefektívniť riadenie externých dodávateľov.

Úspech štíhlej výroby si vyžaduje dôsledné a vedomé úsilie podnikov. Industry 4.0 robí podniky inteligentnými aplikáciou pokročilých informačných a komunikačných systémov a technológií zameraných na budúcnosť. Narúša výrobu na viacerých frontoch – od výrobných kapacít, údržby, kvality až po dodávateľský reťazec a riadenie zásob. Je to práve trend digitalizácie, ktorý spadá pod štvrtú priemyselnú revolúciu, ktorej technológie zabezpečujú inteligentný aspekt dnešných podnikov. V tomto zmysle v súlade s koncepciou štíhlej výroby, do ktorej patrí metódou TPM znamená implementácia technológií Industry 4.0 integráciu nových technológií do existujúcich štíhlych postupov a nie ich nahrádzanie. Výsledkom spomínanej integrácie je TPM 4.0 účinný spôsob ako dosiahnuť riešenie problému k neustálemu dosahovaniu konkurencieschopnosti, čo si vyžaduje nepretržité zvyšovanie produktivity, flexibility, ale taktiež správnu kvalitu vo výrobkoch či službách. Týmto sa tak priemyselné podniky môžu dostať na novú úroveň prevádzkovej dokonalosti na neustále dynamickom trhu.

Hlavným cieľom predloženej dizertačnej práce bolo navrhnúť metodický postup digitálnej transformácie metódy TPM v stredných a veľkých priemyselných podnikoch na Slovensku. K dopracovaniu sa k hlavnému cieľu dizertačnej práce boli stanovené aj čiastkové ciele:

- ✚ získať, analyzovať a spracovať dostatočné množstvo teoretických východísk z oblasti Lean manažmentu v kontexte Industry 4.0 z domácich ako aj zahraničných odborných zdrojov slúžiacich k vytvoreniu komplexného obrazu o danej problematike,
- ✚ analyzovať úroveň využívania digitalizovaných metód štíhlej výroby v priemyselných podnikoch v Slovenskej republike,
- ✚ analyzovať súčasný stav využitia metódy TPM v procese digitálnej transformácie,
- ✚ navrhnúť metodiku, určenú pre stredné a veľké priemyselné podniky pôsobiace na území Slovenskej republiky, ktorá bude vytvárať základ pre definovanie stratégií na správnu integráciu technológií Industry 4.0 do existujúcich postupov TPM v priemyselných podnikoch,
- ✚ posúdiť navrhnutý metodický postup v praxi priemyselných podnikov,
- ✚ formulovať prínosy tejto dizertačnej práce pre teoretickú a praktickú oblasť.

Na záver možno konštatovať, že hore uvedený hlavný cieľ dizertačnej práce spolu s čiastkovými cieľmi boli postupným napĺňaním splnené. Okrem ucelene spracovaných teoretických podkladov zameraných na štíhlu výrobu a štvrtú priemyselnú revolúciu pre priemyselné podniky, práca poskytuje aj návrh metodického postupu digitálnej transformácie metódy TPM v podmienkach stredných a veľkých priemyselných podnikov na Slovensku.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ADESTA, E Y T, PRABOWO, H A, AUGUSMAN D. 2018. *Evaluating 8 pillars od TPM implementation and thier contribution of manufacturing performance*. IOP Publishing; IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Volume 290. International Conference on Advances in Manufacturing and Materials Engineering (ICAMME), Kuala Lumpur, Malaysia.
- AGUSTIADY, T. K., CUDNEY, Elizabeth, A.2018. Total productive maintenance. (Systems Innovation Book Series). Ist Edition; CRC Press, ISBN: 978-03-677-8347-1
- AHUJA, I. P. S., KHAMBA J. S. 2008. *Total productive mainteance implementation in manufacturing organisation*. Int. J. Productivity and Quality Management. Vol. 3., No. 3.
- ALVES, Anabela, C., DINIS-CARVALHO, J., SOUSA, Riu, M. 2012. *Lean production as promoter of thinkers to achive companies agility*. The Learning Oraganization, Publisher: Emerald Group Publishing Limited. Vol. 19, No3 ISSN: 0969-6474 pp. 2019-237
- AMSTRONG, M. 2007. *Řízení lidských zdrojů*. Najnovější trendy a postupy 10. vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-1407-3
- BALGA, B. 2018. *Smart factory - inteligentní továrna*. IPA Slovakia. [online] [cit. 2020-01-15]. Dostupné na internete: <https://www.ipaslovakia.sk/sk/tlac-a-media/aktuality/smart-factory-inteligentni-tovarna>
- BAUER, M., HABURAIIOVÁ, I. 2015. *Leadership s využitím kaizen a lean: pohádky pro unavené manažery*. Brno: BizBooks. ISBN 978-80-265-0390-3
- BEDNÁRIKOVÁ, M. 2013. *Úvod do metodológie vied*. Trnava: Filozofická fakulta Trnavskej univerzity v Trnave. ISBN 978-80-8082-620-8
- BOLEDOVIČ, D., 2017. *Kaizen*. [online] [cit. 2020-01-15]. Dostupné na internete: <https://www.ipaslovakia.sk/clanok/kaizen>
- BÍLIK, P., KUDLÁČ, M. 2019. *Anatómia inteligentného priemyslu*. Quark. Magazín o vede a technike. [online] [cit. 2020-04-16]. Dostupné na internete: <https://www.quark.sk/anatomiainteligentneho-priemyslu/>
- BOLEDOVIČ, D. 2017. *TPM*. [online] [cit. 2020-01-16]. Dostupné na internete: <https://www.ipaslovakia.sk/clanok/tpm>
- BURIETA, J. 2013. *Metóda 5S. Základy štíhleho podniku*. Žilina: IPA Slovakia, s. r. o. ISBN 978-80-89667-04-8
- CABALLERO-GIL, C., MOLINA-GIL, J., CABALLERO-GIL, P., QUESADA-ARENCIBIA, A. 2013. *IoT Application in the Supply Chain Logistics*. Computer Aided Systems Theory – EUROCAST. Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-642-53861-2
- CEMPÍREK, V., KAMPF, R., ŠIROKÝ, J. 2009. *Logistické a přepravní technologie*. Pardubice: IJP, s. 198. ISBN 9778-80-86530-57-4.
- CIGÁNEKOVÁ, M. 2017. *Heijunka*. [online] [cit. 2020-01-15]. Dostupné na internete: <https://www.ipaslovakia.sk/clanok/heijunka>
- CIRALLI, M., SABAPATHY, S. 2018. *4. priemyselná revolúcia v strednej a východnej Európe*. Adecco. Inovantage. [online] [cit. 2020-04-02]. Dostupné na internete: https://adecco.sk/wp-content/uploads/2018/08/Adecco_Inovantage_SVK.pdf
- ČERVEŇAN, A. 2015. *Systém údržby*. Bratislava: CKV Constult s.r .o. 68s. ISBN 978-80-971986-0-2

- DRATH, R., HORCH, A. (2014) *Industrie 4.0: Hit or Hype?* IEEE Industrial Electronics Magazine, 8, 56-58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>
- DO, D. 2017. *The Five Principles of Lean*. [online] [cit. 2020-01-15]. Dostupné na internete: <https://theleanway.net/The-Five-Principles-of-Lean>
- DULEBOVÁ, L., SOBOTOVÁ, L. 2010. Organizácia údržby strojov prostredníctvom systému RCM a TPM. The 13th International Scientific Conference Trends and Innovative Approaches in Business Processes "2010". [online] [cit. 2020-01-15]. Dostupné na internete: https://www.sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2010/index.files/clanky%20PDF/DULEBOVA_SOBOOTOVA.pdf
- DUPAL, A., LEŠČIŠIN, M., STREN, J. 2008. *Manažment výroby*. Bratislava: SPRINT. ISBN 80-89085-00-6
- DREHER, A. 2016. *Plug-and-Produce is Key for the Smart Factory of the Future*. Belden: Industrial Automation. Part 1. [online] [cit. 2020-05-15]. Dostupné na internete: <https://www.belden.com/blog/industrial-ethernet/plug-and-produce-is-key-for-the-smartfactory-of-the-future-part-1>
- FULLERTON, R., R., et. al. 2014. *Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices*. Journal of Operations Management. [online] [cit. 2020-01-15]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272696314000618>
- FURLAN, A., VINELLI, A., DAL PONT, G. 2011. *Complementarity and lean manufacturing bundles: An empirical analysis*. International Journal of Operations, Production Management, 31(8), 835 – 850.
- GAVORA, P. a kol. 2010. *Elektronická učebnica pedagogického výskumu*. Bratislava: Univerzita Komenského, [online] [cit. 2021-02-10]. Dostupné na internete: <http://www.e-metodologia.fedu.uniba.sk/>
- GLAESSGEN, E. H., STARGEL, D., S., 2012: „*The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles*“ in 53rd Structures, Structural Dynamics and Materials Conference: Special Session on the Digital Twin. [online] [cit. 2020-02-10]. Dostupné na internete: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120008178.pdf>
- GREGOR, M., KOŠTURIK, J. 2002. Jak zvyšovat produktivitu firmy. Žilina: InForm. ISBN 80-968-5831-9.
- HILL, A., HILL, T. 2012. *Operations management*. Palgrave; 3rd edition. ISBN-13 978-0230362901.
- CHARY, N., S. 2009. *Production and operations management*. McGraw-Hill Education: Pvt Limited. ISBN 978-007-0091-53-5
- IMAI, M. 2007. *Kaizen: metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. Praxe Manažera. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-1621-0.
- JANČURA, M., PROZBIK, J. 2016. *Industry 4.0*. Becont weekly report, číslo 32. [online] [cit. 2020-01-10]. Dostupné na internete: <https://www.bencont.sk/app/cmsSiteAttachment.php?ID=111&disposition=inline>
- JECK, T. 2017. *Slovenská ekonomika a štvrtá priemyselná revolúcia: faktory a predpoklady*. Bratislava: Ekonomický ústav SAV. ISSN 1337-5598 [online] [cit. 2020-01-10]. Dostupné na internete: http://ekonom.sav.sk/uploads/journals/373_wp_4_priemyselna_a_sk_final.pdf

KEMP, R. 2017. Legal Aspects of the Internet of Things. Kemp IT Law. IT Law at the Apex. [online] [cit. 2020-03-10]. Dostupné na internete: http://www.kempitlaw.com/wp-content/uploads/2018/06/Legal_Aspects_of_the_Internet_of_Things_KITL_v1.0_June_2017.pdf

KEŘKOVSKÝ, M., VALSA, O. 2012. *Moderní přístupy k řízení výroby*. Praha: C.H. Beck. ISBN 978-80-7179-319-9

KING, P. L.; KING, J., S. 2015. *Value Stream Mapping for the Process Industries: Creating a Roadmap for Lean Transformation*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 9781482247695.

KOSEČEK, M., 2015. *Velké dáta – Big Data čo to je a prečo dnes „letí“*. [online] [cit. 2020-03-10]. Dostupné na internete: <http://www.bigdatablog.sk/big-data/>

KOŠTURIÁK, J., FROLÍK, Z., a kol. 2006. *Štíhly a inovatívni podnik*. Praha: Alfa Publishing. ISBN 80-86851-38-9

KŘIVÁNEK, D., 2009. *Cesta k štíhlosti*. [online] [cit. 2019-10-20]. Dostupné na internete: <https://www.ipaslovakia.sk/sk/tlac-a-media/napisali-sme/stihly-podnik-viac-penazi-daliborkrivanek?css=desktop>

KUBASÁKOVÁ, I., 2010. *Zavádzanie logistického systému Kanban do podniku pre zvýšenie kvality procesov*. Logistický monitor: Internetové noviny pre rozvoj logistiky na Slovensku. ISSN: 1336-581. [online] [cit. 2020-03-01] Dostupné na internete: <https://www.logistickymonitor.sk/images/prispevky/system-kanban.pdf>

KUČERÁK, D., 2017. Kanban – Ťahový systém riadenia výroby. [online] [cit. 2020-02-28] Dostupné na internete: <https://www.ipaslovakia.sk/clanok/kanban>

LAGE, J., M., FILHO, G., M., 2010. *Variations of the kanban system: Literature review and classification*. International Journal of Production Economics. [online] [cit. 2020-04-18] Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527310000198>

LEE, J., KAO, H.A., YANG, S. (2014). *Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment*. Procedia CIRP. [online] [cit. 2020-03-30] Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114000857?via%3Dihub>

LUCKE, D., CONSTANTINESCU, C., WESTKÄMPER, E. (2008). *Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing*. Manufacturing systems and technologies for the new frontier. Springer London. [online] [cit. 2020-03-30] Dostupné na internete: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-84800-267-8_23

MACINNES, R., L., 2006. *Štíhly podnik Memory Jogger: vytvářejte hodnotu a eliminujte ztráty v celém vašem podniku*. Praha: Česká společnost pro jakost. ISBN 80-02- 01849-4

MAKULA, J., FOLTIN, T., 2020. *SMED – Eliminácia strát pri zmene sortimentu*. Certifikácia Manažérskych systémov. Interné dokumenty spoločnosti.

MANRODT, K., B., VITASEK, K., THOMPSON, R., H. 2008. *Lean practices in the supply chain: Benchmarking your Leanjourney*. In: JLL [online] [cit. 2020-01-10]. Dostupné na internete: http://manrodt.com/pdf/lean_2008.pdf

MARKECHOVÁ, D., TIRPÁKOVÁ, A., STEHLÍKOVÁ, B., 2011. *Základy štatistiky pre pedagógov*. Nitra: Fakulta prírodných vied UKF v Nitre. ISBN 978-8094-899-3.

MARÍK, V., a kol. 2016. *Průmysl 4.0: Výzva pro Českou republiku*. Management Press, ISBN: 978-80-7261-440-0

- MAYR, A., WEIGELT, M, KÜHL, A., GRIMM, S., ERLI, A, POTZEL, M., FRANKE, J. 2018. *Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0*. 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Published by Elsevier B.V. [online][cit. 2020-04-14]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/profile/Andreas_Mayr8/publication/326020401_Lean_40__A_conceptual_conjunction_of_lean_management_and_Industry_40/links/5b366d63a6fdcc8506df9060/Lean-40-A-conceptual-conjunction-of-lean-management-and-Industry-40.pdf
- MCKONE, Kathleen, E., SCHROEDER, Roger, G., CUA, Kristy O. 2001. *The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance*. Journal of Operations Management. [online]. [cit. 2019-05-11]. ISSN 02726963. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S027269630000030>
- MICKLEWRINGHT, M. 2019. *Integrating Industry 4.0 and Kaizen Culture*. [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné na internete: <https://no.kaizen.com/blog/post/2019/01/24/integrating-industry-40-and-a-kaizen-culture>
- MIČIETA, B., GREGOR, M, QUIRENCE P., BOTKA, M. 2001. *Kanban – ste na ťahu!* 1.vyd. Žilina: Slovenské centrum produktivity. ISBN 80-968324-2-5
- MIŠŮN, J., a kol. 2018. *Trendy interného kontrolovania v podnikateľských subjektoch vo svetle nových výziev*. 1. vydání. České Budějovice:Vysoká škola evropských a regionálních studií. ISBN 978-80-7556-027-8
- MODRÁK, V. – PANDIAN, R. S. 2011 . *Operations Management Research and Cellular Manufacturing Systems: Innovative Methods and Approaches*. Premier refence source. ISBN13: 978-1613500477
- MORALES MÉNDEZ, J. D., RODRIGUEZ, R. S. 2017. *Total productive manitenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 92 (1-4), 1013-1026, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-017-0052-4>
- NALLUSAMY, S., MAJUMDAR, G. 2020. *Analysis on Effect of Machining Parameters in Oil Pump Back Plate using Response Surface Methodology*. International Journal of Mechanical Engineering, vol. 7, no. 9, pp. 20-26. Crossref, <https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V7I9P104>
- NETLAND, Torbjorn, H., FERDOWS K. 2014. *What to Expect From a Corporate Lean Program*. MIT Sloan Management Review. Denmark: Springer.
- ONOFREJOVÁ,D., ŠIMŠÍK, D. 2017: *Výskumné aktivity zamerané na budovanie platformy pre Priemysel 4.0*. ATP Journal 4/2017, ročník XXiV. ISSN 1335-2237
- PABBATHI, K., K. 2018. *Quick Start Guide to Industry 4.0: One-stop refenece guide for Industry 4.0*. CreateSpace Independent Publishing Platform, ISBN: 978-17-1897-861-4
- PARROTT, A., WARSHAW, L. 2017. *Industry 4.0 and the digital twin*. Manufacturing meets its match. [online][cit. 2020-02-14]. Dostupné na internete: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smartfactory.html>
- PASCAL, D. 2007. *Lean production simplified: a plain language guide to the world's most powerful production system*. 2nd ed. New York: Productivity Press. ISBN 978-1-56327-356-8.

- PASCAL, V., TOUFIK, A., MANUEL, A., FLORENT, D., FRÉDÉRIC, K. 2019. *Improvement indicators for Total Productive Maintenance policy*. Control Engineering Practice, 82, 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.019>
- PAŠKA, Ľ. 2014. *Manažment výroby*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. ISBN 978-80-552-1168-8
- PEKARČÍKOVÁ, M. 2019. *Industry 4.0 ako perspektíva digitálneho Supply Chain*. Technická univerzita v Košiciach: Edícia vedeckej odbornej literatúry Strojníckej fakulty. ISBN 978-80-553-3387-8
- PERNICA, P. 2005. *Logistika (supply chain management) pro 21. století*. 1. vyd. Praha: Radix, s. 1096-16. ISBN 80-86031-59-4.
- PLENERT, J., G. 2002. *International Operations Management*: Copenhagen Business School Press DK. ISBN 978-87-6300-068-0
- RAKYTA, M. 2016. *Totálne produktívna údržba. TPM*. [online][cit. 2020-01-02]. Dostupné na internete: <http://www.tpm.sk/wordpress/na-stiahnutie/>
- ŘEPA, V. 2012. *Procesně řízená organizace*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4128-4.
- ROGOVSKÁ, V., 2015. *3D tlač ako nová priemyselná revolúcia*. [online][cit. 2020-01-12]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/profile/Vanda_Rogovska/publication/283566423_3D_TLAC_A_KO_NOVA_PRIEMYSELNA_REVOLUCIA_3D_PRINTING_AS_A_NEW_INDUSTRIAL_REVOLUTION/links/563f1a9008ae34e98c4e54de.pdf
- ROWBOTHAM, F., GALLOWAY, R. L., AZHASHEMI M. 2007. *Operations management in context: fundamental practices for manufacturing management*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, BH, Business books (Computer Press). ISBN 07-506-8198-5.
- RYBANSKÝ, R., DRAHŇOVSKÝ, J. 2009. *Manažment výroby I*. Trnava: AlumniPress. ISBN 978-80-8096-084-1
- RUSSEL, Roberta, S., TAYLOR Bernard. W., 2011. *Operations Management*. Hoboken: John Wiley. ISBN: 978-04-7064-623-6
- SALAZAR, J., SILVESTRE, S. 2017. *IoT*. Techpedia. 31. ISBN 978-80-01-06232-6.
- SANDERS, A., ELANGESWARAN, CH., WULFSBERG, J., 2016. *Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing*. Journal of Industrial Engineering and Management. OmniaScience, Barcelona. ISSN 2013-0953
- SHAH, R., WARD, P., T. 2007. *Defining and developing measures of lean production*. Journal of Operations Management. ISSN 02726963. [online][cit. 2020-01-12]. Dostupné na internete: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272696307000228>
- SCHWAB, K., 2017. *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Business. ISBN 978-1524758868
- SOUČKOVÁ, I. 2017. *Manažment výroby*. Bratislava: SPEKTRUM STU. ISBN 978-80-2274672-4
- STEHLÍK, A., KAPOUN, J. 2008. *Logistika pro manažery*. 1. vyd. Praha: Ekopress, s. r. o., 266 s. Ekonomie, 2/08. ISBN 978-80-86929-37-8.
- SVOZILOVÁ, A., 2011. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-3938-0

SUJA, R., 2014. *Big Data*. Infostat. Inštitút informatiky a štatistiky. [online] [cit. 2020-12-20]. Dostupné na internete: http://www.infostat.sk/web2015/sk/publikacie/Big_Data.pdf

SUNDAR, R., BALAJI, A.N., KUMAR, R.M. S. 2014. *A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques*. Procedia Engineering. ISSN 18777058. [online] [cit. 2019-12-20]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814034092>

ŠEMINSKÝ, J. 2018. *Kyberneticko-fyzikálne systémy vo výrobe. Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch*. Roč. 21. [online] [cit. 2019-12-20]. Dostupné na internete: http://www.sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2018/index.files/25_Seminsky_Kyberneticko_fyzikalne%20systemy%20vo%20vyrobe.pdf

THORNTON, R., MARTINEZ, F. 2018. *Analyzing the Impacts of Industry 4.0 in Modern Business Environments*. United States of America: IGI Global. ISBN 978-152-253-459-3

VEBER, J., SRPOVÁ, J., a kol. 2008. *Podnikání malé a střední firmy*. 2. aktualizované a rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-2409-6

ZYWICKI, K., P. REWERS, P., BOZEK, M. 2017. *Data Analysis in Production Levelling Methodology,* Recent Advances in Information Systems and Technologies. Switzerland: Springer International Publishing.

ZÜHLKE, D., OLLINGER, L. 2011: *Agile Automation Systems Based on Cyber-Physical Systems and Service-Oriented Architectures*. In. *Advances in Automation and Robotics, Vol.1: Selected Papers from the 2011 International Conference on Automation and Robotics (ICAR 2011)*

ZIKOPOULOS, P., EATON CH. 2011. *Undertanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data;* McGraw Hill Professional. ISBN:978-00-7179-054-3

ZÜHLKE, D., KOLBERG, D. 2015. *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*. [online] [cit. 2020-04-1]. Dostupné na internete: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2405896315005984?token=3B94156CABC46703B183B62D5CFF9AFBA3FD681EB84B6DA8BF7D9D811186754DD698C3C9B03603053613D54CF71D433C>

All About Lean. 2018. *Lean and Industry 4.0*. [online] [cit. 2020-03-25]. Dostupné na internete: <https://www.allaboutlean.com/lean-and-industry-4-0/>

CeMS. Certifikácia manažérskych systémov. 2020. *5S metóda*. [online] [cit. 2020-03-15]. Dostupné na internete: <https://www.cems.sk/blog/195-5s-metoda>

CEO fórum. *Priemysel 4.0 a jeho miesto v spoločnosti*. [online] [cit. 2020-03-15]. Dostupné na internete: <https://www.ceoforum.sk/priemysel-4-0/>

Micromain. *TPM Manufacturing*. [online] [cit. 2021-03-15]. Dostupné na internete: <https://www.micromain.com/tpm-manufacturing/>

Priemyselná revolúcia. 2018. [online] [cit. 2020-04-12]. Dostupné na internete: https://moodle.tuke.sk/moodle35/pluginfile.php/38769/mod_page/content/4/TEMA10.pdf

The Leadership Network. 2016. *Lean and Big Data: How Manufacturing Is Getting Even Leaner*. [online] [cit. 2020-04-17]. Dostupné na internete:

<https://theleadershipnetwork.com/article/big-data-lean-manufacturing>
The Principles Of Lean Manufacturing. 2016. [online] [cit. 2019-11-02]. Dostupné na internete: <https://www.manufacturing.net/home/article/13193437/the-principles-of-lean-manufacturing>

The Future of Jobs Report. 2018. [online] [cit. 2020-04-02]. Dostupné na internete: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf

Trout, J. 2021. *Total Productive Maintenance: An Overview*. [online] [cit. 2020-04-02]. Dostupné na internete: <https://www.reliableplant.com/Read/26210/tpm-lean-implementation>

SAGE Automation. 2019. *The new lean: how lean manufacturing meets Industry 4.0*. [online] [cit. 2020-03-25]. Dostupné na internete: <https://www.sageautomation.com/blog/the-new-lean-how-lean-manufacturing-meets-industry-4.0>

Seebo. 2019. *Industry 4.0 Brings Total Productive Maintenance into the Digital Age*. [online] [cit. 2020-03-30]. Dostupné na internete: <https://www.seebo.com/total-productivemaintenance/>

Sova group. 2020. *Technológie*. [online] [cit. 2020-03-10]. Dostupné na internete: <http://industry4.sk/o-industry-4-0/technologie/>

Sova group. 2018. Infografika: Industry 4.0 – stručný prehľad a história. [online] [cit. 2020-03-10]. Dostupné na internete: <http://industry4.sk/magazin/industry-4-0/infografika-industry4><http://industry4.sk/magazin/industry-4-0/infografika-industry4-strucny-prehľad-a-historia/>

Veda na dosah. 2016. *Štvrtá priemyselná revolúcia*. [online] [cit. 2020-03-10]. Dostupné na internete: <https://vedanadosah.cvtisr.sk/stvrta-priemyselna-revolucia>

ZOZNAM PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI DOKTORANDA

V2 Vedecký výstup publikačnej činnosti ako časť editovanej knihy alebo zborníka

- V2_01 GRAJZOVÁ, Lucia - HALADOVÁ, Mária - ČAMBÁL, Miloš. Analysis of innovative approaches of generation Z in the context of the concept Industry 4.0. In *Trends and Innovative Approaches in Business Processes 2021 : 24th International Scientific Conference, Herlany, October 19th-20th, 2021*. 1. vyd. Košice : Technical University of Košice, 2021, S. 132-139. ISBN 978-80-553-3835-4. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_02 GRAJZOVÁ, Lucia - JANÍK, Samuel - ČAMBÁL, Miloš - MĽKVA, Miroslava. Analysis of the current application of AR in the context of TPM in Slovakia organizations. In *Proceedings of the 32nd International DAAAM Virtual Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation"*. 1. vyd. Vienna : DAAAM International Vienna, 2021, S. 546-554. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-902734-33-4. V databáze: DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.079 ; SCOPUS: 2-s2.0-85123922790. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_03 GRAJZOVÁ, Lucia - JANÍK, Samuel - ČAMBÁL, Miloš - MĽKVA, Miroslava. Identification of potential synergies between lean manufacturing tools and technologies of Industry 4.0. In *International Doctoral Seminar 2022 : 27. - 28. 04. 2022, Smolenice, SR*. 1. vyd. Trnava : AlumniPress, 2022, S. 80-87. ISBN 978-80-8096-292-0. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_04 JANÍK, Samuel - MĽKVA, Miroslava - GRAJZOVÁ, Lucia - SZABÓ, Peter. Use of AHP method in integration of selected lean manufacturing methods with Industry 4.0 - big data. In *InvEnt 2022. Invention for Enterprise : Scientific International Conference, 15. - 17.6.2022, Turčianske Teplice, SR*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita, 2022, S. 44-49. ISBN 978-80-970974-4-8. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

V3 Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu

- V3_01 GRAJZOVÁ, Lucia - HALADOVÁ, Mária - ČAMBÁL, Miloš. Automation of administrative activities. In *Fórum manažéra*. Roč. 18, č. 2 (2021), s. 21-27. ISSN 1339-9403. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF
- V3_02 GRAJZOVÁ, Lucia - JANÍK, Samuel - MĽKVA, Miroslava - SZABÓ, Peter. Identifikácia optimálnej metódy štíhlej výroby k integrácii s technológiou Big Data. In *Fórum manažéra*. Roč. 19, č. 1 (2022), s. 23-30. ISSN 1339-9403. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF

- V3_03 HALADOVÁ, Mária - GRAJZOVÁ, Lucia - ČAMBÁL, Miloš. Analýza zručností generácie Z v kontexte Industry 4.0. In *Fórum manažéra*. Roč. 18, č. 2 (2021), s. 28-36. ISSN 1339-9403. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF
- _01 HALADOVÁ, Mária - STUPAVSKÁ, Lucia - ČAMBÁL, Miloš. Motivation in context of generations. In *Invention for Enterprise : InvEnt 2019: Industrial Engineering - Invention for Enterprise. Proceedings of the Scientific International Conference, 18.06.2019, Žilina*. 1. vyd. Bielsko-Biala : Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humnistycznej w Bielsku-Bialej, 2019, S. 56-59. ISBN 978-83-66249-18-9. Kategória publikácie do 2021: AFD
- _02 JOHANESOVÁ, Veronika - STUPAVSKÁ, Lucia - VAŇOVÁ, Jaromíra - ČAMBÁL, Miloš. Linking Industry 4.0 and Slovak Republic. In *Annals of DAAAM International Symposium 2019 [USB] : Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 20. - 27. 10. 2019, Zadar, Croatia*. 1. vyd. Viedeň : DAAAM International, 2019, S. 1-7. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-23-5. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85077886826. Kategória publikácie do 2021: AFC
- _03 STUPAVSKÁ, Lucia - HALADOVÁ, Mária - ČAMBÁL, Miloš. Optimization of the production process. In *Invention for Enterprise : InvEnt 2019: Industrial Engineering - Invention for Enterprise. Proceedings of the Scientific International Conference, 18.06.2019, Žilina*. 1. vyd. Bielsko-Biala : Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humnistycznej w Bielsku-Bialej, 2019, S. 112-115. ISBN 978-83-66249-18-9. Kategória publikácie do 2021: AFD
- _04 STUPAVSKÁ, Lucia - JOHANESOVÁ, Veronika - ČAMBÁL, Miloš. Analysis of the impact of the fourth industrial revolution on employees of industrial companies in the context of generations. In *Vplyv Industry 4.0 na tvorbu pracovných miest : International Scientific Conference on the Impact of Industry 4.0 on Job Creation, 21.11.2019, Trenčianske Teplice, Slovakia*. 1. vyd. Trenčín : Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka, 2020, S. 390-396. ISBN 978-80-8075-903-2. V databáze: WOS: 000532485800047. Kategória publikácie do 2021: AFD