



**Proceedings of
11th Annual International Scientific Conference
Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019**

Liberec

7. 11. – 8. 11. 2019

TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
Department of Manufacturing Systems and Automation
Studentská 2, 461 17 LIBEREC 1
Czech Republic

Vydavatel: Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, Liberec 1
Vydání: první
Vyšlo: listopad 2019
Autor: kolektiv autorů
Recenzent : Vědecký a programový výbor
Editor : Ing. František Koblasa, Ph.D

Vědecký a programový výbor:

prof. Ing. Peter Trebuňa, PhD. - STU, SK
prof. Ing. Felicita Chromjaková, Ph.D. – UTB, CZ
doc. Ing. Ružena Králiková, Phd. – STU, SK
doc. Ing. Milan Edl, Ph.D - ZCU, CZ,
doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D – ZCU, CZ
doc. Ing. David Tuček, Ph.D. – UTB, CZ
doc. PhDr. Ing. Aleš Gregar, CSc. – UTB, CZ
doc. Ing. Peter Bubeník, Ph.D. – UNIZA, SK
doc. Ing. Miroslav Rakyta, PhD. – UNIZA, SK
doc. Dr. Ing Michał Sasiadek – ZGORA, PL
doc. Ing. Petr Lepšík, PhD – TUL, CZ
Ing. František Koblasa, Ph.D. – TUL, CZ
Ing. Jan Vavruška, PhD - TUL, CZ
Ing. Jiří Šafka , PhD - TUL, CZ
Ing. Radek Votrubec, Ph.D. - TUL, CZ
Ing. Eva Šírová, Ph.D. – TUL, CZ
Ing. Eva Štichchauerová, Ph.D. – TUL, CZ
Ing. Marek Bureš, Ph.D - ZCU, CZ
Ing. Pavel Raška, Ph.D - ZCU, CZ
Ing. Martina Kuncová, Ph.D - VŠPJ, CZ
Ing. Miroslav Fusko, Ph.D - UNIZA, SK
Ing. Monika Bučková, Ph.D - UNIZA, SK
Ing. Marek Kliment, Ph.D - STU, SK

Organizační výbor:

Ing. Miroslav Vavroušek, PhD - TUL, CZ
Ing. Petr Keller, Ph.D. - TUL, CZ
Ing. Petr Zelený, Ph.D. - TUL, CZ
Ing. Radomír Mendřický, Ph.D. - TUL, CZ
Ing. Věra Pelantová, Ph.D. – TUL, CZ,
Ing. Radek Havlík TUL, CZ
Ing. Martin Kába – ZCU, CZ
Ing. Natálie Pelloneová - TUL, CZ
Ing. František Manlig – TUL, CZ
Jana Aschenbrennerová - TUL, CZ

Odborný garant konference:

Ing. František Koblasa, Ph.D. – TUL, CZ

Organizační garant konference:

Ing. Jan Vavruška, Ph.D. – TUL, CZ

Předmluva

Konference „Výrobní systémy dnes a zítra“ tradičně poskytují prostor pro setkávání odborníků různých profesí a výměnu jejich zkušeností. Cílem těchto setkání je ukázat cesty k řešení firemních problémů, pomoci nalézt vhodné partnery k jejich řešení a podpořit holistický (celostní) pohled na podnikové procesy.

11. ročník mezinárodní vědecké konference podporuje hlavní prvky výrobních systémů (lidské zdroje – technika/technologie – organizace) a zdůrazňuje nutnost jejich synergie.

Příspěvky vycházejí z vizí a zkušeností akademického prostředí a zejména z případových studií řešení konkrétních firemních problémů. Tématicky jsou příspěvky zaměřeny na **Pracovníky, jejich potenciál, řízení a automatizaci jejich činností ve výrobě.**

Recenzovaný sborník příspěvků obsahuje tématické články účastníků konference, které jsou doplněné o vybrané články představující vědecko výzkumné aktivity a možnosti spolupráce akademické půdy s průmyslem.

V Liberci, listopad 2019

Odborný garant konference

Ing. František Koblasa, Ph.D

Partner konference

nadace PRECIOSA

www.nadace.preciosa.cz

Společenská odpovědnost Preciosy

Preciosa jako významná firma v libereckém regionu nezapomíná ani na svou odpovědnost vůči společnosti. Nadace Preciosa byla založena jako projev firemní kultury a toho, co nazýváme firemním občanstvím. Po celou dobu své existence pomáhá především neziskovému sektoru a jednotlivcům v regionu. Na celostátní úrovni je známá také svou podporou vědy a výzkumu a svou péčí o odborné vzdělávání.

Ohlédnutí zpět

PRECIOSA a.s. založila vlastní podnikovou nadaci v roce 1993 jako jeden z prvních průmyslových podniků v České republice. Její prvotní hlavní náplní byla péče o zdraví obyvatel Jablonecka a okolí. Rozhodnutím představenstva firmy došlo koncem roku 1995 k ustavení podnikové nadace se široce pojatou činností a k vytvoření organizační struktury, která existuje do současné doby. Hlavní činnost se zaměřuje na 7 základních okruhů, kterým se věnují jednotlivé fondy a jejich správci.

Nadace je od roku 1998 zapsána v rejstříku nadací vedeném Krajským soudem v Ústí nad Labem. Je samostatným právním subjektem, který organizuje svoji činnost podle zákona o nadacích. Za dobu své existence podpořila Nadace již více než tisíc nejrůznějších občanských aktivit.

Grantová činnost

Nadace Preciosa se stala na základě úspěšné účasti ve výběrovém řízení příjemcem finančních příspěvků z prostředků Nadačního investičního fondu (NIF). Výnosy z tohoto jmění jsou určeny pro každoroční vyhlášení grantů v oblasti sociální a vzdělávací.



EVERESTA

www.everesta.cz

Generální dodavatel řešení

Zabezpečujeme náročné, netradiční a obtížně dostupné služby a dodávky. Pro zajištění náročných projektů sestavujeme konsorcia ověřených dodavatelů a subdodavatelů, jejichž práci kontrolujeme a hodnotíme.



Pro firmy, úřady, instituce, státní správu a samosprávu

IT projekty a řešení

Nabízíme zpracování studií, analýz, odborné podpory a vedení IT projektů.

Řízení projektů a procesů

Nastavujeme, zefektivňujeme, vyhodnocujeme a řídíme projekty a procesy.

Průzkumy a analýzy

Provádíme průzkumy veřejného mínění, evaluace, ekonomické analýzy a průzkumy uvnitř organizací.

Poradenské projekty

Poradíme se strategickým rozvojem, optimalizací lidských zdrojů, dotacemi a zapojováním veřejnosti.

Jazykové a mezinárodní služby

Poskytujeme jazykové vzdělávání, překlady, tlumočení, stáže v zahraničí a podporu mezinárodní spolupráce.

Vzdělávání

Zabezpečujeme komplexně vzdělávací projekty zaměřené na odborné vzdělávání, měkké dovednosti, právní a ekonomická témata a oblast IT.

Marketing & Reklama & Eventy

Připravíme propagační kampaně a produkci pro vaše akce a organizace, posílíme vaši komunikaci s veřejností.

Outsourcing

Poskytujeme služby, na které nemáte vlastní kapacitu.

**Ať už hledáte cokoli,
navštivte naše webové
stránky.**

www.everesta.cz

Chcete probrat Váš dotaz či požadavek osobně? **Domluvte si schůzku.**

Kontaktujte výkonného ředitele **Ladislava BUČKA**

E: ladislav.bucek@everesta.cz nebo T: +420 777 038 343





KATEDRA VÝROBNÍCH SYSTÉMU A AUTOMATIZACE

Oblast průmyslového inženýrství



EduCom - Inovace studijních programů s ohledem na požadavky a potřeby průmyslové praxe zavedením inovativního vzdělávacího systému "Výukový podnik"

CZ.1.07/2.2.00/15.0089



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



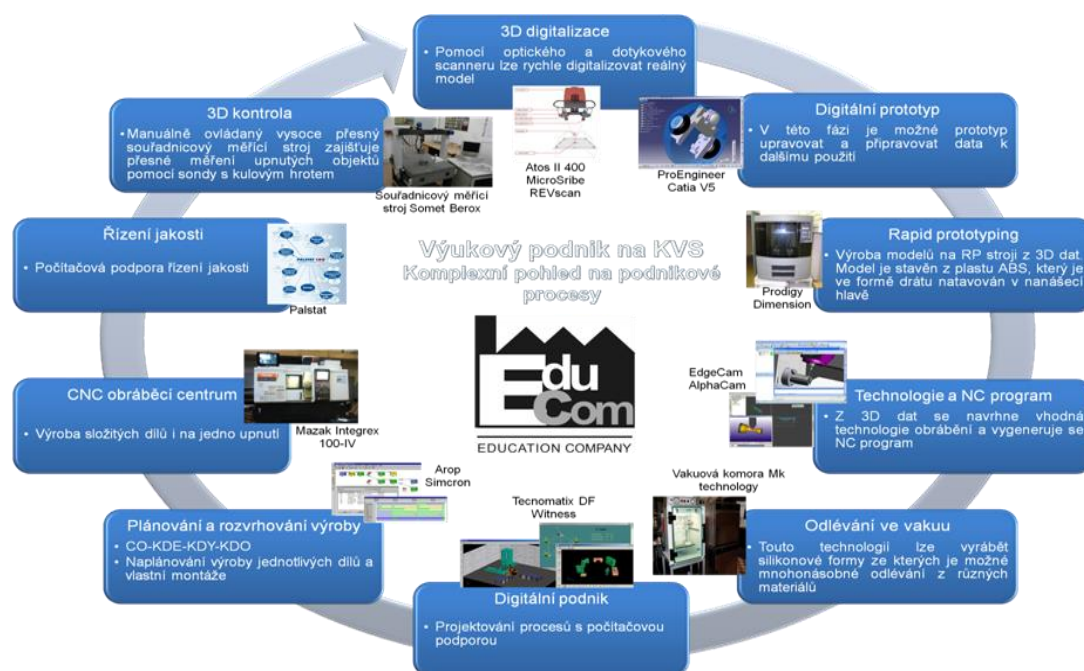
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Důležitým požadavkem průmyslové praxe je učit studenty myslet v souvislostech, tj. chápat vazby mezi jednotlivými procesy a přihlížet k nim při svém rozhodování.

Požadavky kladené na absolventy technických univerzit vyžadují zavádět i jiné formy výuky, které využívají praktické prvky a efektivně je propojují s teorií.

Vytvořené komplexní vzdělávací pracoviště „Výukového podniku“ vychází z nastíněných požadavků a doplňuje „tradiční“ výuku specializovaných předmětů oboru a výrazně ji obohacuje. Pracoviště propojuje jednotlivé počítačové systémy i strojní vybavení katedry do jednotného vzdělávacího systému:

- návrh prototypu v CAD systému (digitální prototyp) i jeho výroba (Rapid prototyping, vakuové lití, CAD/CAM a výroba na CNC strojích),
- projektování pracovišť i celého výrobního systému (virtuální dílna, Digitální podnik),
- plánování výroby,
- zabezpečování jakosti (včetně 3D kontroly).



Studenti si v rámci komplexního výukového projektu mohou „projít celý podnik“ i s jeho procesy - např. navrhnout prototyp i jeho výrobu v CAD/CAM systému, vytvořit potřebný layout dílny, zaplánovat díly do výroby pomocí informačního systému řízení podniku, fyzicky je vyrobit např. na CNC strojích a přesnost výroby ověřit pomocí 3D souřadnicového měřicího stroje. Studenti pracují týmově a využívají moderní metody řešení problémů.

Studenti oboru „Výrobní systémy a procesy“ tak získávají potřebné znalosti o jednotlivých firemních procesech a učí se chápat i vazby mezi nimi



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



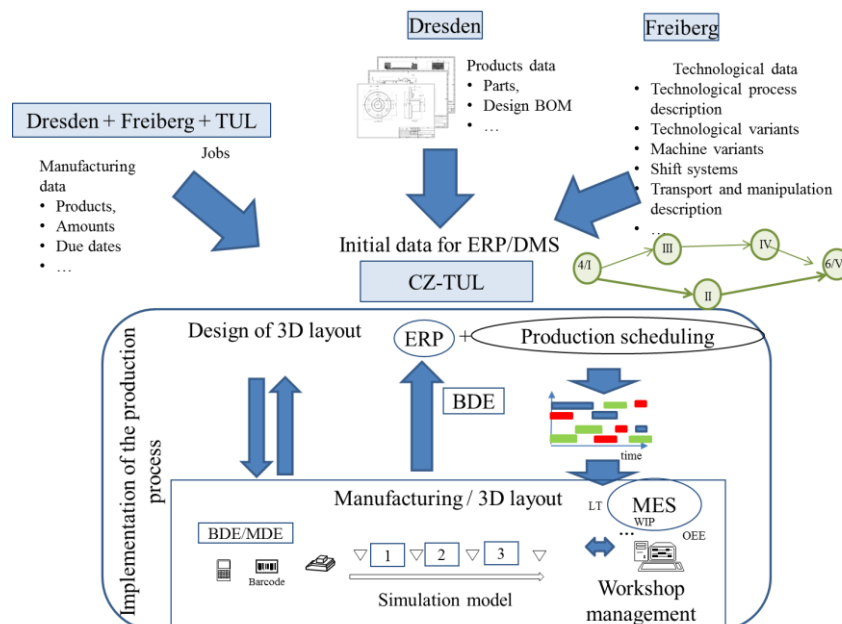
Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014 – 2020

**Název projektu: POKROK.digital - Prakticky orientovaný rozvoj kompetencí v
produkční technice v regionech prostřednictvím kooperace.
Prakticky orientovaný rozvoj kompetencí v produkční technice v regionech
prostřednictvím kooperace.digital**

č: 100281976

Praxisorientierte Kompetenzentwicklung Produktionstechnik in den Regionen durch
Kooperation.digital

Program spolupráce Česká republika – Svobodný stát Sasko
2014 – 2020



Technická univerzita v Drážďanech, Technická univerzita v Liberci, Technická univerzita -
Báňská akademie ve Freibergu a Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem společně
se Střední průmyslovou školou strojní a elektrotechnickou a Vyšší odbornou školou v Liberci v
rámci projektu vytváří digitální platformu pro učení jako pilotní systém pro rozšíření studijních
možností. Aplikací této platformy dojde ke zlepšení odborných a technických dovedností studentů,
k posílení jejich praktických schopností a ke kvalifikaci dalších odborníků pro kovodělný průmysl.

Cílem projektu je společné vygenerování didakticky podložených koncepcí a pilotních řešení
profesně technického vzdělávání na německých a českých středních a vysokých školách v oblasti
výrobní techniky. Učni a studenti obou zemí mají rozvíjet prakticky orientované profesní a
technické kompetence (s podporou digitálních médií, na základě internetu a ve vzájemné
spolupráci). To má zvýšit schopnost profesního zařazení v podnicích obou zemí.

Projekt je podpořen z prostředků EU z Evropského fondu pro regionální rozvoj.

Doba řešení:

03/2017 – 12/2019



Obsah

Smart Factory v prostředí výrobního podniku. Změna pracovních rolí, jaké pracovníky bude Smart Factory potřebovat?.....	12
Aleš Gregar, Ivana Pejřová, Jana Matošková	
Plánovanie a riadenie ľudských zdrojov v údržbe, základ pre I4.0.....	17
Miroslav Rakyta, Miroslav Fusko, Peter Bubeník, Monika Bučková	
Racionalizace personálních procesů ve vybraném podniku	24
Eva Šírová, Monika Nygrinová	
Člověk a holistika procesů	27
Věra Pelantová	
Počítačem podporované vzdělávání – Pokrok.Digital.....	31
František Koblasa, Miroslav Vavroušek, Jan Vavruška, Iryna Hren, Libor Beneš, Radek Havlík, Stefan Nietzsche, Anton Zelenskyi, Thomas Geipel, Dirk Wohlrabe, Andreas Nestler, Frank Arnold, Martin Hartmann ,	
Úloha HR v lean managementu	38
Natalie Pelloneová	
Vliv polohy ramene, lokte a zápěstí na výsledky EMG - předběžné výsledky	43
Martin Kába, Ilona Kačerová	
Implementácia inteligentnej techniky a technológií pre podporu projektovani a výroby budúcnosti.....	46
Vladimír Rudy	
Projektovania nových výrob a ich komplexnosť	52
Juraj Kováč	
Projektovanie dodávateľ'sko / odberateľ'ských reťazcov vo výrobných budúcnosti	58
Peter Malega	
Výrobní proces dílů z materiálu PA12 na HP JET FUSION serie 4000.....	63
Jakub Macháček, Filip Véle, Michal Ackermann, Jiri Šafka, Martin Seidl	
Triangulace polygonu pro zpracování a vizualizaci 3D dat	69
Miroslav Vavroušek	
Použití nástrojů TRIZ pro zlepšování výrobních procesů	73
Vladimír Sojka, Petr Lepšík	
Optimalizace AGV a VRP systému.....	77
František Manlig	
Optimalizace konstrukcí zařízení nebo jejich částí	81
Petr Zelený, Martin Lachman, Michal Moučka	
Analýzy a aplikace aditivní výroby na stavbu dílů.....	85
Petr Zelený, Petr Keller, Jiří Šafka	
Využití optické 3D digitizace v rámci závěrečných prací na katedře výrobních systémů a automatizace	89
Radomír Mendřický	
Model chytré továrny využívající principy Průmyslu 4.0	94
Martin Ševic, Petr Keller	
Modulární konstrukce dronu s využitím aditivních technologií.....	97
Petr Keller, Jan Erlebach	
LabView software pro experimentální určení frekvenčního spektra dílů nebo soustav dílů.....	102
Radek Votrubec, Lenka Šmrhová	



SMART FACTORY V PROSTŘEDÍ VÝROBNÍHO PODNIKU. ZMĚNA PRACOVNÍCH ROLÍ, JAKÉ PRACOVNÍKY BUDE SMART FACTORY POTŘEBOVAT?

Aleš Gregar, Ivana Pejšová, Jana Matošková

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta managementu a ekonomiky, Ústav managementu a marketingu, Zlín, ČR

gregar@utb.cz, pejrova@utb.cz, matoskova@utb.cz

ABSTRAKT

Informace o výzkumném projektu zaměřeném na podporu implementace konceptu Smart Factory (systém řízení s podporou digitalizace, big data, robotizace a AI) v prostředí výrobního závodu ALPS Electric CZ, Sebranice, s ohledem na změny pracovních rolí, pracovních podmínek, kvalifikačních požadavků, kariérových modelů rozvoje pracovníků, změny podmínek pro vnitřní komunikaci a celkové změny firemní kultury. Cílovou skupinou výzkumu je sedm okruhů pracovních míst, která mají přímý vztah k výrobě – procesní inženýři, předáči a mistři, nákup, plánování a příprava výroby, logistika (se zaměřením na zásobování výroby materiálem), operátoři ve výrobě a střední management. Výzkumná data budou sbírána těmito metodami: analýza dokumentů, rozhovory, dotazník, poznatky z vybraných firem. S ohledem na realizaci výzkumu v podmínkách jedné firmy použijeme pro analýzu a interpretaci dat popisnou statistiku a některé metody pro posouzení vztahů mezi vybranými charakteristikami získaných dat. Závěry výzkumu pomohou vedení ALPS identifikovat a eliminovat možné bariéry na straně pracovníků při implementaci konceptu Smart Factory. Navrhne opatření na podporu implementace konceptu Smart Factory v prostředí ALPS specificky zaměřené na jednotlivé okruhy pracovních pozic a systémová opatření podporující „smart“ změnu firemní kultury ALPS Electric CZ. Závěry výzkumu vycházejí z podmínek jednoho výrobního závodu střední velikosti, nemají obecnou platnost. Koncept Smart Factory je zaměřen jen na okruh pracovních míst, které mají přímý vztah k výrobě, není brána do úvahy potřeba vyhodnocovat vliv digitalizace pracovních míst nepřímo souvisejících s výrobou (EKO, HR, MKT).

KLÍČOVÁ SLOVA

Smart Factory; systém řízení; digitalizace, robotizace; pracovní pozice; kvalifikace, pracovní podmínky; organizační kultura

1 ÚVOD

Termín Industry 4.0/Průmysl 4.0 poprvé silně zazněl v roce 2011 na veletrhu v Hannoveru a symbolizoval tak všechny současné progresivní technologie v průmyslové výrobě. Základním stavebním kamenem konceptu Průmysl 4.0 je chytrá továrna [Smart Factory, SF]. Chytrá továrna zpracovává data z výroby a na základě výsledků analýzy dat uskutečňuje

rozhodnutí, která vedou k optimalizaci výrobního procesu. Důležitým aspektem je online propojení celého výrobního řetězce od dodavatelů až po zákazníky. Vzhledem ke sdílení informací se zvyšuje i efektivita podpůrných útvarů jako jsou THP, údržba, logistika, atd [Businessinfo, 2016].

Koncept Průmysl 4.0 vychází z postupující digitalizace celého hodnotového řetězce a výsledného vzájemného propojení lidí, věcí a systémů prostřednictvím výměny dat v reálném čase. V důsledku tohoto propojení jsou výrobky, stroje a procesy schopny se autonomně adaptovat na samovolné změny prostředí. Chytré objekty jsou vestavěny do širších systémů, což zvyšuje tvorbu flexibilních, samokontrolních výrobních systémů [Hecklau et al., 2016].

Centrální myšlenkou průmysl 4.0 je zavedení počítačových systémů (cyber physical systems, CPS) pro výrobu, zahrnujících například snímače, spouštěče a senzory, sítě mikro počítačů, zapojení strojů do hodnotového řetězce (Shamim et al., 2016). Tento průmysl je také charakterizován vysoce různorodou, zákazníkovi přizpůsobenou, výrobou a dobře koordinovanou kombinací produktů a také službami zvyšujícími hodnotu současných produktů a služeb. Jednoduše řečeno, Průmysl 4.0 předpokládá chytré stroje, skladovací systémy a výrobní zařízení. Minimalizuje zásahy člověka a zvyšuje produktivitu [Shamim et al. 2016]. Zdůrazňuje digitalizaci, decentralizaci a automatizaci [Shamim et al., 2016].

Smart manufacturing a Průmysl 4.0 jsou charakterizovány mobilními zařízeními, cloudovými úložišti, analýzou big data, interakcemi stroje se strojem a pracovníka se strojem, 3D tiskárnami a roboty. Tato zařízení a procesy vyžadují od organizace speciální znalosti. Většina výrobních zařízení se transformuje na CPS výrobní procesy (cyber-physical production systems), což jsou stroje vylepšené softwarem. Tyto systémy jednájí, znají svůj stav, kapacitu a různé možnosti nastavení a jsou schopné dělat rozhodnutí nezávisle na lidech. [Agolla, 2018]

Věci související s výrobou, například materiál, senzory, stroje, výrobky, dodavatelský řetězec, zákazníci mohou být spojeni a vyměňovat si informace a kontrolovat se vzájemně, a to nezávisle a autonomně. Produkty mohou kontrolovat svou vlastní výrobu (Qin et al., 2016) Dodavatelský řetězec v systému 4.0 je charakterizován flexibilními procesy a vysokou efektivitou, což by nemělo přinášet jen úspory nákladů, ale také vést k takovým přínosům jako je zlepšené řízení komplexních produktů, zkrácený čas, za jaký se výrobek dostane na trh, výroba na zakázku [Shamim et al., 2016].

Vzhledem ke vlastnímu firmě ALPS je z mimoevropských zemí nutné zmínit japonskou iniciativu v této oblasti. Japonsko reagovalo na Německo vlastní verzí iniciativy pod názvem „Industrial Value Chain Initiative“, která má integrovat datové toky v ekonomice a propojit mezi sebou různá odvětví s cílem kolaborace mezi velkými průmyslovými celky, středně-velkými a malými podniky. V 25 pracovních skupinách jsou řešena témata digitalizace, IoT, horizontální integrace nebo smart a prediktivní údržby [Industrial Value Chain Initiative, nedatováno]. Podobně jako je Industry 4.0 v Německu součástí širšího inovačního konceptu ekonomiky, Japonsko představilo v roce 2016 svůj koncept Společnosti 5.0, ve kterém pokročilé technologie vstupují do všech oblastí života [Japan Science and Technology Agency, 2017]. Vzhledem k tradici spojené s robotizací a automatizací je ale japonský přístup k budoucnosti průmyslu stále zaměřen primárně na výrobu a využití robotů. Nová robotická strategie sice zmiňuje propojení robotů s IT



systemy a umělou inteligenci, zřejmá je ale snaha stavět na existujících japonských technologiích a najít pro ně co nejširší využití [The Headquarters for Japan's Economic Revitalization, 2015].

V Jižní Koreji téma Průmyslu 4.0 dostalo název „Manufacturing Industry Innovation 3.0“. Koncept „chytré továrny“ v sobě obsahuje témata automatizace, výměny dat, IoT, smart senzorů, 3D tisku nebo průmyslových standardů. Jihokorejská vláda je aktivní i v oblasti vzdělávání pracovní síly, kdy cílí na trénink kvalifikovaných pracovníků pro obsluhu (respektive spíše dohled) v plně automatizovaných pracovištích [Export.gov, 2017].

Pro Průmysl 4.0 můžeme použít výraz komplexní automatizace, v níž jde hlavně o výměnu informací mezi výrobními částmi i celky. Proto je také Průmysl 4.0 často označován jako digitální transformace nebo digitální ekonomika," říká Jiří Palát, jednatel společnosti SGEN it (součást skupiny Mibcon), a dodává: "V důsledku to znamená, i když to dnes ještě zní trochu jako sci-fi, že budou vznikat automatizované a samostatně běžící provozy a podniky, které si budou bez účasti lidí elektronicky objednávat materiál, nástroje, opravy a údržbu, predikovat potřeby zákazníků a trhu, zajišťovat distribuci dílů a výrobků atd. Prakticky jde také o zavádění umělé inteligence, strojového učení, Internet of Things (IoT) a dalších prvků, a to nejen do výrobních, ale do všech firemních procesů, včetně komunikace mezi podniky." [Kříž a Zajíc, 2019]

Chápání Průmyslu 4.0 u nás vychází z předpokladu nezbytnosti digitálního přístupu k podnikání, neboť digitalizace, využití virtuálního prostředí k predikcím, modelování, personalizaci zákaznické zkušenosti, řízení výroby a logistiky vede k radikálnímu rozšíření tržního potenciálu a zvyšování efektivity organizace. Z hlediska připravenosti na budoucí svět Průmyslu 4.0 lze diagnostikovat těchto pět úrovní digitální zralosti [Havelka, 2016]:

1. Firma má zaveden informační systém pro řízení výroby, její internetová přítomnost je pasivní (webová stránka). Firma začíná uvažovat o digitalizaci procesů, výroby, údržby, návrhu produktů atd. Nemá definovanou digitální strategii. Alespoň částečná schopnost zapojit se do informačních toků v rámci dodavatelsko-odběratelských vztahů. Základní ekonomický software jí umožňuje komunikaci s některými institucemi státní správy.

2. Interaktivní webová přítomnost, firma softwarově řízená, začíná chápat význam dat. První integrační projekty, dílčí automatizace, uvažuje o nastavení digitální strategie. Zapojení do informačních toků dodavatelsko-odběratelských řetězců (provázané digitální komponentové číselníky, interaktivní digitální katalogy, poloautomatické objednávky atd.).

3. Vícekanálová přítomnost (web, mobily a tablety, sociální sítě atd.), firma má definovanou digitální strategii. Přítomnost základů datové kultury – projekty integrace datové architektury, integrovaná automatizace řízená v reálném čase (MES), personalizované produkty s virtuální komponentou.

4. Integrovaná multikanálová přítomnost v digitálním světě. Ve firmě existuje distribuovaná a personalizovaná digitální strategie. Datová architektura je integrovaná v celém produkčním řetězci od komunikace a sdílení dat se zákazníkem až po subdodavatele. Využití digitální diagnostiky pro predikování poruch a neshod v systémech (výrobní systémy, měřicí systémy atd.).

5. Firma je digitalizační platformou propojující on-line a off-line svět v jeden plně integrovaný a ekonomicky výkonný celek.

Nabízí jedinečnou personalizovanou zkušenost svým zákazníkům prostřednictvím virtuálních produktů/asistentů komunikujících se zákazníky v průběhu celého životního cyklu partnerského vztahu. Prostřednictvím nejnovějších a neefektivnějších přístupů (plná automatizace, 3D tisk atd.) realizuje kyber-fyzický systém (CPS) schopný individualizované realizace případné fyzické části produktu. Poskytuje digitalizační služby svým partnerům a subdodavatelům a tím globálně řídí produkční doménový prostor.

Podle výzkumu mezi 85 společnostmi (Paschek et al., 2019) patří k faktorům, které znesnadňují přechod na Průmysl 4.0: chybějící digitální kompetence (55 %), chybějící technologie a infrastruktura (49 %), chybějící dovednosti a návod pro transformaci (43 %), nejednoznačné vize a cíle (40 %), organizační kultura (39 %), příliš vysoké náklady (37 %).

Závěry studie od Deloitte: Automatizace práce v ČR 2018 [Marek et al., 2018]:

1. Vzhledem ke struktuře české zaměstnanosti a predikci technologických možností byl odhadnut potenciál pro automatizaci odpovídající 51 % pracovních míst.

2. Automatizace nezaměstnanost v krátkodobém horizontu výrazně nezvýší, pokud budou pracovní trhy dostatečně flexibilní a zaměstnanci ochotni se přizpůsobit. V dlouhém období budou zaniklá pracovní místa kompenzována vznikem nových míst, ať už v nových technologických oborech, nebo ve zbytku ekonomiky, jako důsledek rostoucí produktivity, příjmů a poptávky.

3. Z mikroekonomických dat vedle důležitosti technické odbornosti vyplývá zároveň potřeba měkkých dovedností a schopnosti řešit problémy.

4. Automatizace práce povede k růstu produktivity výrobních faktorů, HDP a mezd. Při využití technologického potenciálu pro automatizaci a za předpokladu adaptace pracovních sil by průměrné tempo růstu ekonomiky v příštích 16 letech mohlo dosáhnout 3,9 % ročně. Potenciál ekonomiky by se do roku 2033 zvýšil o 78 %, což je více než dvojnásobek růstu v základním scénáři bez využití robotizace. Jedná se tak o významný růstový potenciál pro českou ekonomiku. Z automatizace a robotizace bude nejvíce těžit zemědělství, stavební sektor a zpracovatelský průmysl. Naopak, nejméně robotizace nejspíše ovlivní oblast vzdělávání.

Chytrá továrna [Smart Factory, SF] je systém řízení s podporou robotizace, digitalizace, big data, Industrial Internet of Things (IIoT) a umělé inteligence (Artificial Intelligence, AI). Koncept SF [Balga, 2018] představuje skok vpřed od tradiční automatizace k plně připojenému a flexibilnímu systému, který může používat nepřetržitý tok dat z připojených operací a výrobních systémů, aby se učil a přizpůsobil se novým požadavkům. SF je klíčovým prvkem přechodu k digitalizovanému a automatizovanému podnikání. Umožňuje digitální propojení výrobního systému, včetně strojů, výrobních linek, skladů a dodavatelských firem. Dokáže integrovat data z celopodnikového fyzického, provozního a lidského majetku za účelem řízení výroby, údržby, sledování zásob, digitalizace operací prostřednictvím digitálního twin a dalších typů činností v celé výrobní síti. Umí autonomně řídit kompletní výrobní proces a zároveň jej zefektivnit.

Nejen všechny výrobní zdroje (senzory, spouštěče, stroje, roboti, dopravníky atd.) jsou propojeny a vyměňují si automaticky informace, ale továrna se stává dostatečně sebevědomá a inteligentní, aby předpovídala a udržovala stroje, kontrolovala výrobní proces a řídila výrobní systém. Navíc mnoho výrobních procesů, jako je návrh výrobků, plánování a

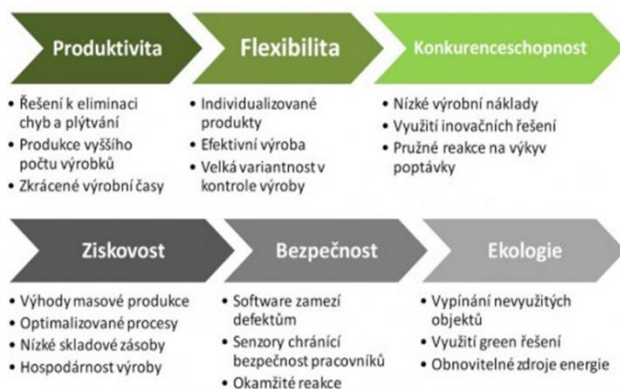
projektování výroby, výroba a údržba jsou simulovány jako modulární a potom spojeny, což znamená, že tyto procesy jsou nejen řízeny decentralizovanými systémy, ale také nezávisle kontrolovány. [Qin et al., 2016]

Zajímavá je výsledná flexibilita procesu a možnost přizpůsobit se aktuálním zásobám, případně urgentním zakázkám. Chytrá továrna není jen otázkou oblasti výroby, ale zejména inteligentní technickou přípravou výroby, která dokáže analyticky zpracovávat data z procesu a vytvářet tak optimalizace pro dlouhodobé plánování. Důležitá je i automatizace administrativní činnosti jako je tvorba dokumentace, zabezpečování shody procesu s platnými normami a standardy, optimalizace designu součástek a úpravy dle požadavků zákazníků. Veškeré činnosti je potřeba vytvářet rychle, ekonomicky a se ziskem [Businessinfo, 2016].

Průmysl 4.0 umožní zvýšit produktivitu práce, přičemž ale může dojít k významným posunům na trhu práce, zejména pak k ohrožení méně kvalifikovaných profesí. Zároveň však přinese i nová pracovní místa, která ale budou spojena s vyššími nároky na kvalifikaci pracovní síly, zejména z oblasti digitálních a inženýrských dovedností, nebo budou záviset na včasné a kvalitní rekvalifikaci. Nástup Průmyslu 4.0 a Smart Factory ovlivní trend znalostí ve společnosti orientovaný na digitalizaci, informatizaci a kybernetizaci v oblasti výroby, služeb i správy státu. Tyto změny ovlivní požadované nároky na kvalifikaci a obecně na trh práce. Změní se struktury a pracovní náplň téměř všech profesí a budou požadovány zcela nové znalosti [Mařík, 2016].

Kromě pozitivních dopadů na průmyslovou/podnikovou sféru je nutno zdůraznit také požadavky, které budou kladeny na trh práce, resp. na oblast vzdělávání a flexibility pracovních sil a také negativní dopady v oblasti sociální; je totiž zřejmé, že i přesto, že si zavádění nových konceptů Průmyslu 4.0 a Smart Factory vynutí vznik nových vysoce specializovaných pracovních míst, dojde také k výrazné redukci počtu pracovních míst v oblasti manuální (zvláště méně kvalifikované) práce. Uplatnitelnost takto uvolněných pracovních sil bude problematická, částečně bude řešena postupným odchodem do důchodu, ale tempo penzionování těchto lidí bude patrně nižší než pokles počtu pracovních míst v těchto profesích způsobený zaváděním Průmyslu 4.0 [Špička et al., 2016].

Výsledkem implementace Smart Factory je efektivnější a flexibilní systém, méně prostojů při výrobě a větší schopnost předvídat a přizpůsobit se změnám v zařízení nebo širší síti, což vede ke zvýšení konkurenceschopnosti na trhu. Předpokládané výhody konceptu SF přehledně zachycuje obrázek (viz dále):



Obrázek 1. Výhody konceptu Smart Factory (Balga, 2018)

I v inteligentní továrně (SF) se předpokládá, že budou lidé stále klíčem operací. Dojde však k velkým změnám požadovaných operací a tím ke změně rolí na podporu nových procesů a schopností. Část rolí bude postupně zanikat, protože je budou nahrazovat kolaborativní roboti a automatizace procesů. Další role budou doplněny o nové funkce například o virtuální realitu, vizualizaci dat a umělou inteligenci. Dále se objeví role nové, zatím neznámé. [Balga, 2018]

V souvislosti s postupující ekonomickou globalizací a internacionalizací lze očekávat, že zaměstnanci budou stále častěji pracovat v prostředí multikulturních týmů. To bude vyžadovat interkulturní senzitivitu, tj. disponovat určitými interkulturními kompetencemi, do kterých se promítají osobnostní předpoklady jako sebereflexe, empatie, kulturní citlivost, zvědavost, zkušenost, tolerování odlišnosti a sebedůvěra či snížená míra úzkostlivosti. Bude zapotřebí, aby se lidé naučili respektovat jiný způsob myšlení kolegů, jejich odlišný styl práce, přístup k lidem, konfliktům a jejich odlišné nastavení priorit v pracovním i osobním životě [Šlapalová Čempelová, 2013].

2 VÝZKUMNÝ PROBLÉM

S ohledem na uvedená teoretická východiska jsme pro výzkumný projekt zaměřený na podporu implementace konceptu Smart Factory (SF) v prostředí výrobního závodu ALPS Electric CZ Sebranice, (ALPS) formulovali výzkumný problém následovně.

Jaký vliv má digitalizace řízení výroby a implementace konceptu SF na zaměstnance ALPS? Jak podporovat implementaci konceptu SF s ohledem na úspěšné zvládnutí změny pracovních rolí, změny pracovních podmínek, změny kvalifikačních požadavků, změny kariérových modelů rozvoje pracovníků, změny motivačních faktorů, změny podmínek pro vnitřní komunikaci a celkové změny podnikové kultury v ALPS?

Výzkumné otázky vyplývající z teoretických východisek jsme stanovili následovně:

VO1: Které okruhy pracovních pozic jsou významné pro implementaci systému řízení SF v ALPS?

VO2: Které specifické povinnosti, potřeby a požadavky pro jednotlivé okruhy pracovních pozic jsou relevantní pro implementaci systému řízení SF v ALPS?

VO3: Které Key Performance Indicators (KPI) pro jednotlivé okruhy pracovních pozic jsou důležité pro implementaci systému řízení SF v ALPS?

VO4: Které překážky v jednotlivých okruzích pracovních pozic jsou významné pro implementaci systému řízení SF v ALPS? Jaká jsou možná opatření pro jejich překonání?

VO5: Jaký vliv má implementace systému řízení SF na stávající firemní kulturu ALPS (hodnoty, normy chování, artefakty)?

VO6: Jaká opatření pro formování „smart“ firemní kultury v ALPS jsou možná pro podporu implementace systému řízení SF v ALPS?

3 METODY

Pro zodpovězení VO1 bude provedena analýza současného stavu, tj. přehled pracovních míst, popisy pracovních míst, rozřídění pracovních míst podle relevance ve vztahu k implementaci systému řízení SF v podmínkách ALPS. Pro třídění pracovních míst bude použita tříbodová škála: „ano, možná,



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

ne“, s ohledem na to, do jaké míry budou jednotlivá pracovní místa ovlivněna implementací SF, přičemž ano = 2 body, možná = 1 body, ne = 0 bod. Toto hodnocení provedou individuálně členové pracovního týmu (10 osob).

Pro zodpovězení VO2 bude využita Národní soustava povolání (NSP MPSV ČR), a následně budou vytipovány, které specifické povinnosti, potřeby, požadavky, odborné a obecné znalosti a dovednosti u zaměstnanců může přechod ke SF ovlivňovat.

Pro zodpovězení VO3 bude provedena analýza současného stavu KPI pro jednotlivé okruhy pracovních pozic relevantních pro systém řízení SF v ALPS a budou navržena opatření pro jejich úpravu.

Pro zodpovězení VO4 bude provedena analýza současného stavu existence překážek v jednotlivých okruzích pracovních pozic relevantních pro implementaci systému řízení SF a budou navržena opatření pro jejich překonání.

Pro zodpovězení VO5 a VO6 bude provedena analýza vlivu systému řízení SF na stávající firemní kulturu ALPS (hodnoty, normy chování, artefakty) a budou navržena opatření pro formování „smart“ firemní kultury pro ALPS jako podpory systému řízení SF v prostředí ALPS.

Pro zodpovězení otázek VO1 až VO6 budou využity také poznatky z vybraného okruhu firem, které se tématem digitalizace řízení výroby a konceptem SF zabývají (publikace, konference, semináře, workshopy).

Pro zodpovězení otázek VO3 až VO6 budou využity také řízené rozhovory, včetně formuláře pro záznam odpovědí. Otázky pro řízené rozhovory budou stanoveny na základě současného stavu dané problematiky v ALPS a na základě poznatků z literatury k danému tématu. Předpokládáme, že rozhovory s pracovníky ALPS proběhnou v říjnu/listopadu 2019, cca 20 rozhovorů, délka 30-45 minut.

Pro sběr dat k zodpovězení otázek VO5 a VO6 bude využita metoda dotazníku. Dotazník bude vybrán z okruhu dotazníků používaných při výzkumu firemní kultury [Bock et al., 2005; Yang, 2007]. Dotazníkové šetření proběhne na jaře 2020. Firma ALPS má cca 400 pracovníků, z toho cca 350 na pozicích operátorů ve výrobě a na montáži. Respondenty budou pracovníci z těchto sedmi okruhů pracovních míst: procesní inženýři, předáci a mistři, nákup, plánování a příprava výroby, logistika (se zaměřením na zásobování výroby materiálem), operátoři ve výrobě a střední management. Těchto sedm okruhů pracovních míst bylo stanoveno po konzultaci s personálním oddělením firmy ALPS. Kritériem pro tento výběr byl přímý vztah těchto pracovních pozic k výrobnímu úseku. Dotazníkové šetření se zúčastní cca 100 respondentů. Výběr respondentů bude proveden ve spolupráci s personálním oddělením ALPS.

S ohledem na realizaci výzkumu v podmínkách jedné firmy (ALPS) bude pro analýzu a interpretaci dat použita popisná statistika.

4 ZÁVĚR

Výsledkem řešení projektu budou opatření na podporu implementace konceptu SF s ohledem na úspěšné zvládnutí změny pracovních rolí, změny pracovních podmínek, změny kvalifikačních požadavků, změny karierních modelů rozvoje pracovníků, změny motivačních faktorů, změny podmínek pro vnitřní komunikaci a celkové změny podnikové kultury ve firmě ALPS. K formulaci opatření budou využity poznatky z odborných publikací, informace zjištěné pomocí rozhovorů ve

vybraných firmách (best practices) a výsledky výzkumu realizovaného ve firmě ALPS Electric CZ Sebranice.

V podmínkách firmy ALPS byly definovány tyto oblasti výzkumu:

- stanovení okruhů pracovních pozic významných pro implementaci konceptu SF v prostředí ALPS,
- stanovení specifických povinností, potřeb a požadavků pro jednotlivé okruhy pracovních pozic relevantních pro SF v ALPS,
- stanovení KPI pro jednotlivé okruhy pracovních pozic podporujících implementaci SF v ALPS,
- identifikace potenciálních překážek v jednotlivých okruzích pracovních pozic pro implementaci SF a stanovení možných opatření k jejich překonání,
- identifikace vlivu SF na stávající firemní kulturu ALPS (hodnoty, normy chování, artefakty),
- stanovení opatření pro formování „smart“ firemní kultury pro ALPS jako podpory implementace SF v prostředí ALPS.

V současnosti je velmi obtížné přesně určit, jak se budou jednotlivé pracovní pozice měnit, popř. zanikat či vznikat zcela nové, jaké konkrétní znalosti a dovednosti budou s nimi spojeny, lze identifikovat jen určité obecné trendy. To, jaké dopady bude mít zavádění technologií na zaměstnance, zda zaměstnanci budou technologie vnímat jako užitečné nebo ohrožující, bude mimo jiné ovlivněno firemní kulturou dané organizace. S jistotou však lze říci, že získané znalosti a dovednosti budou zastarávat mnohem rychleji, než je tomu nyní. Z tohoto důvodu vzroste význam celoživotního vzdělávání, včetně podnikových forem vzdělávání (Kohout a Palíšková, 2017).

Je zřejmé, že kromě posunu ve formách zaměstnávání budou v důsledku digitalizace a robotizace probíhat na pracovištích minimálně dvě další zásadní změny. Zaprvé, bude ve zvýšené míře docházet k zániku a vzniku pracovních míst a profesí, popř. k jejich transformaci. Zadruhé, významně vzrostou nároky na kvalifikaci pracovníků resp. její změnu (na všech úrovních), proto i oblast personálního řízení ve firmách musí projít změnou od tradiční orientace na administrativu spojenou s pracovní silou, k podpoře rozvoje a angažovanosti pracovníků. Poroste význam podnikového vzdělávání, a to i u starších zaměstnanců či u operátorů. I operátoři budou muset rozumět datům a umět si pro jejich práci potřebná data zobrazit, analyzovat a interpretovat je. Bude zapotřebí pracovníky průběžně přeškolená a rekvalifikovat na nové technologie.

V souvislosti s různými generacemi zaměstnanců (generace X, Y a Z), které se ve firmě setkávají, jejich odlišností v přístupu k práci, IT schopnostem a dovednostem, je potřebné přijmout koncept Age managementu, který pracuje s přednostmi všech věkových kategorií zaměstnanců. Důležité bude podporovat angažovanost zaměstnanců a jejich zapojení do chodu firmy. Ke klíčovému motivátorům pro pracovníky bude patřit, osobní růst (příležitost pro jedince plně realizovat svůj potenciál), autonomie, uspokojení z práce vysoké kvality, významné pro firmu. Dále, otevřené vztahy na pracovišti, kvalitní komunikace, soulad s posláním organizace, sdílené firemní hodnoty, silná firemní kultura.

Stávající výzkum je zaměřen na digitalizaci a robotizaci jako podporu pro řízení výroby, není řešena transformace řízení dalších úseků (EKO, HR, MKT). Koncept SF musí ale řešit transformaci celé firmy v souvislosti s digitalizací a robotizací. Tento požadavek je zadáním pro další pokračování výzkumu v oblasti SF v ALPS.



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

ACKNOWLEDGEMENTS

Výzkumný projekt je podporován grantem EFRR a MPO ČR, OPPIK – program APLIKACE – Výzva č. IV, termín řešení 3/2019 – 8/2020.

REFERENCES

- [AGOLLA 2018] AGOLLA, Joseph Evans, 2018. Human Capital in the Smart Manufacturing and Industry 4.0 Revolution. In: Antonella PETRILLO, Raffaele CIOFFI a Fabio De FELICE, ed. Digital Transformation in Smart Manufacturing [online]. B.m.: InTech [vid. 2019-09-24]. ISBN 978-953-51-3841-9. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.73575
- [BALGA 2018] BALGA, Bronislav, 2018. SMART factory - inteligentní továrna - IPA Czech [online] [vid. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/tisk-a-media/aktuality/smart-factory-inteligentni-tovarna>
- [BOCK 2005] BOCK, Gee-Woo, Robert W. ZMUD, Yung-Gul KIM, a Jean-Nam LEE, 2005. Behavioral intention formation in knowledge sharing: Examining the roles of extrinsic motivators, social-psychological forces, and organizational climate. MIS quarterly. s. 87–111.
- [BUSINESSINFO 2016] BUSINESSINFO, 2016. Industrie 4.0 jako významný trend německého průmyslu a obchodu. Businessinfo [online]. Dostupné z: <http://www.businessinfo.cz/cs/clanky/industrie-40-jako-vyznamny-trend-nemeckeho-prumyslu-a-vyzkumu-64121.htm>
- [EXPORT.GOV 2017] EXPORT.GOV, 2017. Korea - Manufacturing Technology - Smart Factory [online]. [vid. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://www.export.gov/article?id=Korea-ManufacturingTechnology-Smart-Factory>
- [HAVELKA 2016] HAVELKA, Zdeněk, 2016. Jsou české firmy připraveny na průmyslovou revoluci? Dotazník. Digitovárna [online] [vid. 2019-08-05]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/jsou-ceske-firmy-pripraveny-na-prumyslovou-revoluci-dotaznik.html>
- [HECKLAU 2016] HECKLAU, Fabian, Mila GALEITZKE, Sebastian FLACHS a Holger KOHL, 2016. Holistic Approach for Human Resource Management in Industry 4.0. Procedia CIRP [online]. 54, 6th CIRP Conference on Learning Factories, 1–6. ISSN 2212-8271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2016.05.102
- [INDUSTRIAL 2017] INDUSTRIAL VALUE CHAIN INITIATIVE, nedatováno. What's IIVI? – Industrial Valuechain Initiative [online]. [vid. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://iv-i.org/wp/en/about-us/whatsivi/>
- JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY, 2017. Future services & societal systems in society 5.0: held on Monday, November 7, 2016. Tokyo: Systems/Information Science and Technology Unit, Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency. ISBN 978-4-88890-554-1.
- [KOHOUT 2017] KOHOUT, Pavel a Marcela PALÍŠKOVÁ, 2017. Dopady digitalizace na zaměstnanost a sociální zabezpečení zaměstnanců [online]. červenec 2017. Dostupné z: http://ipodpora.odbory.info/soubory/dms/wysiwyg_uploads/ba5a5c7366cdf3/uploads/Studie_Dopady_digitalizace.docx
- [KOLEKTIV NVF-NOZV 2017] KOLEKTIV NVF-NOZV, 2017. Dopady Průmyslu 4.0 na trh práce v ČR [online]. 2017. B.m.: Národní vzdělávací fond. Dostupné z: <http://www.nvf.cz/cms/assets/docs/88ffb3e9f7da58fed9741bca08796a3/794-0/dopady-prumyslu4.0-na-trh-prace-v-cr.pdf>
- [ZAJIC 2019] KRÍŽ, Lukáš a David ZAJÍC, 2019. Průmysl 4.0: Trend s velkým přesahem nad rámec technologií. Hospodářské noviny [online]. [vid. 2019-08-30]. ISSN 1213-7693. Dostupné z: https://ictrevue.ihned.cz/c3-66606870-OICT00_d-66606870-prumysl-4-0-trend-s-velkym-presahem-nad-ramec-technologiei
- [MAREK 2018] MAREK, David, Petr NĚMEC a Václav FRANČE, 2018. Automatizace práce v ČR. B.m.: Deloitte.
- [MARIK 2016] MAŘÍK, Vladimír, 2016. Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku. Vydání 1. Praha: Management Press. ISBN 978-80-7261-440-0.
- NSP MPSV ČR, 2019. Národní soustava povolání. Dostupné z: www.mpsv.cz/nsp
- [PASCHEK 2019] PASCHEK, Daniel, Anca MOCAN a Anca DRAGHICI, 2019. Industry 5.0 – The expected impact of next industrial revolution. In: Thriving on Future Education, Industry, Business and Society: Proceedings of the MakeLearn and TIIM International Conference [online]. s. 8. ISBN 978-961-6914-25-3. Dostupné z: <http://www.toknowpress.net/ISBN/978-961-6914-25-3/papers/ML19-017.pdf>
- [QIN 2016] QIN, Jian, Ying LIU a Roger GROSVENOR, 2016. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. Procedia CIRP [online]. 52, The Sixth International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production
- [SHAMIM 2016] SHAMIM, Saqib, Shuang CANG, Hongnian YU a Yun LI, 2016. Management approaches for Industry 4.0: A human resource management perspective. In: 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) [online]. s. 5309–5316. Dostupné z: doi:10.1109/CEC.2016.7748365
- [ŠLAPALOVÁ 2013] ŠLAPALOVÁ ČEMPELOVÁ, Zuzana, 2013. Cesta k multikulturnímu týmu [online] [vid. 2019-07-01]. Dostupné z: [//modernizirzeni.ihned.cz/c1-60518520-cesta-k-multikulturnimu-tymu](http://modernizirzeni.ihned.cz/c1-60518520-cesta-k-multikulturnimu-tymu)
- [ŠPIČKA 2016] ŠPIČKA, J., T. TYKVA a M. ČERVINKA, 2016. Průmysl 4.0: Příležitost nebo hrozba? In: Sborník přednášek z 53. slévárenských dnů® Blok E – Sekce ekonomická. Brno: Česká slévárenská společnost, s. 10. ISBN 978-80-02-02687-7.
- THE HEADQUARTERS FOR JAPAN'S ECONOMIC REVITALIZATION, 2015. New Robot Strategy: Japan's Robot Strategy - Vision, Strategy, Action Plan [online]. Dostupné z: http://www.meti.go.jp/english/press/2015/pdf/0123_01b.pdf
- [YANG 2007] YANG, Jen-Te, 2007. Knowledge sharing: Investigating appropriate leadership roles and collaborative culture. Tourism Management [online]. 28(2), 530–543. ISSN 0261-5177. Dostupné z: doi:10.1016/j.tourman.2006.08.006



PLÁNOVANIE A RIADENIE ĽUDSKÝCH ZDROJOV V ÚDRŽBE, ZÁKLAD PRE I4.0

Miroslav Rakyta, Miroslav Fusko, Peter Bubeník, Monika
Bučková

Žilinská univerzita v Žiline, Katedra priemyselného inžinierstva,
Žilina, Slovenská republika

e-mail: miroslav.fusko@fstroj.uniza.sk

Cieľom článku je priniesť pohľad na plánovanie a riadenie ľudských zdrojov v manažmente údržby v kontexte Industry 4.0. Táto oblasť bude znamenať kľúčovú premisu pre fungovanie podnikov budúcnosti. V budúcnosti bude potreba ľudí s technickým vzdelaním a analytickými schopnosťami, nové pracovné pozície, si budú vyžadovať kreatívne a odborné zručnosti, e-vedenie a inovatívne inžinierstvo. Dnes každá organizácia pracuje s rôznymi zdrojmi, najčastejšie sú to: finančné, informačné, ľudské, materiálne a ekonomické zdroje. Ľudské zdroje sú pre podnik v súčasnosti kľúčové a považované za najdôležitejšie. Sú strategickým kapitálom, pretože práve kvalifikovaní, kompetentní a zruční pracovníci sú najdôležitejším faktorom, ktorý dokáže ovplyvniť vo veľkej miere konkurenčnú výhodu daného podniku. Výhodou ľudských zdrojov je ich neustála kapitalizovateľnosť, t.j. neustále zlepšovanie - vzdelávanie a preškolenie.

KEYWORDS

ľudské zdroje, priemyselné inžinierstvo, plánovanie, riadenie, údržba, Industry 4.0, dolovanie dát, vzdelávanie

1 ÚVOD

Podniky generujú na všetkých stupňoch riadenia množstvo údajov o výrobkoch, výrobe a údržbe. Vzniká veľa údajov, ktoré nám však neposkytujú požadované informácie v pravej chvíli, v správnom obsahu pracovníkom, ktorí informácie potrebujú. Ak si podniky neurobia poriadok v údajoch a digitalizáciu i na údržbe, tak je v podnikoch veľmi ťažko hovoriť o digitálnom podniku, projektoch Industry 4.0, alebo Maintenance 4.0. Z tohto dôvodu je nutnosťou v podnikoch vypracovať stratégiu údržby prechodu z klasického systému riadenia údržby na digitálny systém riadenia údržby, jeho personál na jeho zabezpečenie a zároveň pripraviť vzdelávací program od stredných až po vysoké školy na nový systém organizácie a riadenia údržby. Zmena pohľadu na profesiu údržbár! V súčasnom období všetky podniky v rámci meniacich sa podmienok trhu z hľadiska finančného, technického a personálneho hľadajú východiská v oblasti zvyšovania pridanej hodnoty, znižovania nákladov. Len kopírovanie prístupov a metód pri podnikových zmenách nemusí viesť k celkovému zachovaniu konkurencieschopnosti priemyselného výrobného systému. Podniky si začínajú uvedomovať, že výrobné procesy sú ovplyvňované požiadavkami zákazníkov, informačnými technológiami, strojovým parkom a v prostredí, v ktorom sa priemyselný podnik nachádza. Z tohto dôvodu musia rekonfigurovať podnikové výrobné a pomocné procesy a hľadajú podporu v informačných technológiách a expertných systémoch. Priemysel 4.0 sa stal marketingovým hitom

nemeckého hospodárstva a novou platformou, ktorá spája najlepších vedcov s priemyslom, s jediným cieľom rastu konkurencieschopnosti. [Horváthová-1 2018], [Horváthová-1 2018]

2 AUDIT EFEKTÍVNOTI ÚDRŽBOVÝCH PROCESOV

Obecným cieľom digitalizácie je zvýšenie efektivity využitia dlhodobého hmotného majetku (DHM) a optimalizácie nákladov na údržbu. Zadávatel projektu digitalizácie očakáva od jeho implementácie vyššiu efektívnosť údržbových procesov pri nižších nákladoch. [Pačaiová 2017] Za týmto účelom je potrebné realizovať audit súčasného stavu pripravenosti na digitalizáciu údržby v kontexte priemyslu 4.0. a definovať požiadavky a ciele pre realizáciu:

- Objektívne posúdenie manažmentu údržby zvereného DHM – SWOT analýzu údržbových procesov.
- Návrh opatrení smerujúcich k zvyšovaniu efektívnosti údržbových procesov ich digitalizáciou.
- Postup realizácie nápravných opatrení - akčný plán.

Je potrebné prehodnotiť náplň procesov údržby:

Proces údržby - management

- Definovanie dlhodobej stratégie útvaru údržby, určenie krátkodobých cieľov v súlade s podnikovými cieľmi, definovanie osobných cieľov pre pracovníkov.
- Zabezpečiť, že sú známe princípy bezpečnej práce a sú dodržiavané zo strany zamestnancov a dodávateľov.
- Definovať monitoring a realizovať optimalizáciu zdrojov na údržbu.
- Riadiť výkonnosť útvaru údržby vrátane efektívnosti s využitím číselných parametrov – indikátorov, ktoré môžu merať efektívnosť jednotlivých funkcií. (napr. spoľahlivosti, nákladové indexy, počet výpadkov, realizovať benchmarking)
- Vytvárať a udržiavať motivujúce prostredie na útvare údržby.
- Plánovať odborný rozvoj útvaru údržby a hodnotiť jeho výsledky.
- Zabezpečiť a kontrolovať súlad so stanovenými princípmi údržby v závode.
- Zabezpečiť kooperáciu so zákazníkom údržby – s výrobou.

Proces údržby – inšpekcie

- Udržiavať hlboké znalosti o stave všetkých zariadení spoločnosti.
- Zabezpečiť plánované inšpekcie na zariadeniach a iniciovať následné pracovné príkazy založené na výsledkoch inšpekcií.
- Monitorovať stav zariadení a spolupracovať na predikcii pre kritické zariadenia.
- Sledovať a aktualizovať časový harmonogram pre inšpekcie – určiť inšpekčné cykly.
- Evidovať a aktualizovať špecifikáciu zariadení a archivovať históriu zariadení.
- Ohodnocovať a zlepšiť preventívne plány doporučené dodávateľom a vytvoriť a aktualizovať zodpovedajúce inšpekčné tabuľky.
- Zabezpečiť systematickú aplikáciu a optimalizáciu mazacieho programu.

Proces údržby – plánovanie (príprava)



- Definovať detailné pracovné postupy pre všetky práce podľa priorít so zahrnutím nutných ľudských zdrojov vrátane zručností, koordinácií a zodpovednosti.
- Zabezpečiť, aby potrebný materiál a ND bude dostupný pre plánovanú činnosť v požadovanom množstve a kvalite.
- Pripraviť časové a nákladové odhady pre pracovné príkazy (údržbársku činnosť), a zabezpečiť optimálne využitie zdrojov.
- Formalizovať a aktualizovať pracovné postupy pre kritické operácie, zaznamenávať štatistiku a aktualizovať technickú dokumentáciu.

Proces údržby – rozvrhovanie

- Identifikovať obmedzenia inými útvarmi a definovať globálny časový rozpis pre údržbárske výkony.
- Vytvoriť časový plán pre jednotlivé práce pri koordinácií s dostupnosťou zariadení a ďalších zdrojov.
- Zabezpečiť dodržanie časového plánu podľa prevádzkových priorít.
- Revidovať priority schválených pracovných príkazov a všetkých naplánovaných činností.
- Riadiť zásobník pracovných príkazov – odsúhlasených prác.

Proces údržby - realizácia

- Realizovať práce podľa najvyšších štandardov ako technických tak i bezpečnostných.
- Zabezpečiť, že zariadenie je po oprave v dobrom prevádzkovom stave, schopné splniť výrobné požiadavky, úplne otestované, vyčistené a v bezpečnom stave.
- Poskytnúť správu o oprave so zahrnutím spotreby materiálu, nástrojov, pracovných hodín, aby bolo možné sledovať a odstraňovať odchýlky v pláne.

Proces údržby - zlepšovanie

- Analyzovať a eliminovať príčiny opakujúcich sa porúch.
- Hľadať riešenie pre náhodné poruchy a pre denné pracovné požiadavky.
- Zabezpečiť, že schopnosť udržiavať zariadenia je zobrazená v úvahu pri obnove zariadenia alebo pri investičnom procese.
- Realizovať postupné a kontinuálne zlepšovanie vo všetkých aktivitách údržby a poskytovať technickú podporu ďalším funkciám údržby.

3 PLÁNOVANIE A ROZVRHOVANIE ZDROJOV ÚDRŽBY

Aby sa mohli úspešne plánovať a rozvrhovať činnosti údržby, riadiť špecializované opravovne a údržbárske útvary, musí byť k dispozícii údajová základňa vstupných alebo vypočítaných údajov:

1. Prácnosť údržbárskych operácií (zásahov).
2. Časový fond.
3. Požadovaný objem údržbárskej činnosti.
4. Kapacita údržbárskeho útvaru alebo podniku.
5. Priebežná doba údržby.
6. Takt údržby (opráv).

Z uvedených údajov (podkladov) je zostavený plán údržby spravidla na ročné obdobie. Plán sa sumarizuje pre jednotlivé prevádzky, udržiavané objekty na prevádzkach, obsahuje

plánované údržbárske úlohy, ich prácnosti; pri veľkých akciách i priebežné doby a finančné objemy. [Pačaiová 2015], [Pačaiová 2013] Z dobre spracovaných plánov údržby jednotlivých prevádzok organizácie vyplývajú i požiadavky na kapacity (zdroje) údržby a ich sumarizácia umožňuje celopodnikové plánovanie finančných a ostatných zdrojov.

Plánovanie údržby je proces, ktorého výsledkom je plán údržby pre špecifikované časové obdobie (spravidla rok); ide vlastne o vytvorenie zásobníka údržbárskych úloh s plánovanými údajmi ich výkonu.

Rozvrhovanie údržby je proces, v ktorom sa na základe vypracovaného plánu údržby priradujú spresnené termíny realizácie (výkonu), pracovníci a ostatné zdroje (uvolňujú plánované financie, náhradné diely, materiál, prístroje, nástroje a ďalšie nutné údržbárske zariadenia).

3.1 Plánovanie údržby

Plán údržby je definovaný ako štruktúrovaný súbor úloh, do ktorého sa zahrňujú činnosti, postupy, zdroje a časové plánovanie nutné na výkon údržby. Pre účinné plánovanie a riadenie údržby je veľmi dôležité, aby bola na útvare údržby vytvorená funkcia (pracovná pozícia) plánovač údržby, ktorý môže pracovať s podporou:

- Microsoft Office, najmä s excelovskými tabuľkami,
- špeciálneho softvéru (SW) určeného na podporu plánovania a riadenia údržby.

Správne prepracovaná metóda plánovania a rozvrhovania údržby a jej aplikácia poskytuje jasné odpovede na otázky:

1. Na akom objekte bude údržba vykonávaná, teda jeho špecifikácia (umiestnenie objektu, názov a funkčná štruktúra objektu - jeho rozklad najlepšie až na súčiastky, resp. na úroveň udržiavaných objektov na najnižšom stupni rozčlenenia)?
2. Čo má byť v rámci údržby vykonané, resp. popis údržbárskych činností (operácií a úkonov)?
3. Aká je plánovaná prácnosť jednotlivých údržieb a aká je pri dlhších údržbách (odstávkach) plánovaná priebežná doba (ako dlho bude údržba trvať)?
4. Aké sú požiadavky na náhradné diely a materiál?
5. Kedy má byť údržba vykonaná, resp. dátum údržby určený na základe znalosti intervalov periodickej údržby, resp. na znalosti diagnostického rozhodnutia?
6. Kto má údržbu vykonať a v akom konkrétnom termíne (môže sa líšiť od plánovaného termínu)?
7. Prípadne, aké má byť použité náradie, pomôcky a prístroje?
8. Aké sú plánované náklady na údržbu (ročné, štvrťročné, mesačné)?

Dobrá metóda plánovania údržby na určenie priorít vyžaduje i stanovenie kritickosti strojov a zariadení. [Vavruška 2009] Súčasťou výstupu musí byť i stanovenie finančných zdrojov pre splnenie vypracovaného plánu údržby. Pre existujúce stroje a zariadenia by malo byť aktualizované ich zaradenie do jednotlivých skupín kritickosti, na základe skúseností alebo vynaložených nákladov. Z aktualizovaných programov preventívnej údržby a inšpekčných preventívnych a diagnostických prehľadov, prípadne z legislatívy (vládných nariadení) sa určí počet a druh jednotlivých údržbárskych zásahov a celková ročná prácnosť v hodinách, ktorá sa rozpíše do ročného plánu podľa zariadení.

Z dobre pripravených a zostavených plánov údržby jednotlivých prevádzok vyplývajú i požiadavky na zdroje

(kapacity) údržby a ich sumarizácia umožňuje celopodnikové plánovanie personálnych, technických a finančných zdrojov:

- Celkový počet interných údržbárov $n_{\text{úint}}$ sa vypočíta zo súčtu prácností T_{pi} požadovaných (plánovaných) ročných údržbárskych úloh m zadaných (určených) pre internú údržbu vynásobeného súčiniteľom $k_1(k_1 > 1)$ neplánovanej prácnosti údržby po poruche a ostatné činnosti interných údržbárov a z ročného časového fondu jedného údržbára $F_{\text{ú}}$ výpočtom:

$$n_{\text{úint}} = \frac{k_1 \sum_{i=1}^m T_{pi}}{F_{\text{ú}}} \quad (1)$$

- Celkový počet externých údržbárov $n_{\text{úext}}$ sa vypočíta zo súčtu prácností T_{pi} požadovaných (plánovaných) ročných údržbárskych úloh n zadaných (určených) pre externú údržbu vynásobeného súčiniteľom $k_2(k_2 > 1)$ neplánovanej prácnosti údržby po poruche zabezpečovanej externými údržbármi a z ročného časového fondu jedného údržbára $F_{\text{ú}}$ výpočtom:

$$n_{\text{úext}} = \frac{k_2 \sum_{i=1}^n T_{pi}}{F_{\text{ú}}} \quad (2)$$

Požiadavky na celkové počty údržbárov musia byť následne špecifikované (rozdelené) na jednotlivé profesie a kvalifikačné stupne na základe technologických postupov a požiadaviek údržbárskych procesov. Určovanie počtu údržbárov pre internú a externú údržbu, resp. nastavenie optimálneho pomeru medzi internú a externú údržbu je zložitý proces a pre jeho určenie sa využívajú metódy outsourcingu. Externé zdroje údržbárov by sa mali žiadať a byť alokované pre nárazové údržbárske úlohy (najmä veľké odstávky), pre úlohy, ktoré celoročne kapacitne nevyťažia danú profesiu interného údržbára, alebo keď interný údržbár nemá požadovanú kvalifikáciu a zručnosti. Všeobecne vo všetkých prípadoch, kedy externá údržba splní požadované údržbárske úlohy s nižšími nákladmi a/alebo vo vyššej kvalite pri porovnaní s internou údržbou. Personálne stavy manažérov, technikov a majstrov údržby sa riadia podľa počtu manuálne pracujúcich údržbárov, podľa zložitosti údržbárskych procesov a podľa stupňa outsourcingu.

- Technické informácie majú byť poskytnuté dodávateľom dlhodobého hmotného majetku DHM tak, aby každý udržiavaný objekt bol vybavený, ak to jeho charakter vyžaduje, touto dokumentáciou: technické údaje, návod na obsluhu, návod na údržbu, katalóg náhradných dielov (zoznam komponentov), usporiadanie výmenných komponentov, detailné nákresy pre demontáž, opravu a montáž, mazacie plány, jednoduché schémy zapojenia všetkých energetických obvodov, logických schém funkcií, schém zapojenia napájacích a kontrolných obvodov, schém potrubí prístrojov, nákresov umiestnenia konštrukčnej súčasti v určitej časti zariadenia, nákres rozmiestnenia určitého zariadenia, správa o skúške

(protokol, atest) a revízná správa. Technické informácie slúžia nielen ako potrebná podpora výkonu údržby, ale i pre výcvik a tréning zručností údržbárov, ale aj ako dôležitá pomôcka pri výkone operácie.

- Náradie a prístrojové diagnostické vybavenie je rovnako dôležitým zdrojom pre výkon údržby a každý údržbár podľa výkonu jeho profesie musí byť vybavený základným štandardným i špeciálnym náradím pre údržbu jednotlivých objektov. Diagnostické vybavenie musí vychádzať z programov diagnostickej údržby jednotlivých objektov a z dôkladného posúdenia efektivity jeho využitia vrátane posúdenia vhodnosti outsourcingu celého diagnostického procesu.
- Náhradné diely a materiál (NDM) patria k relatívne nákladným zdrojom a vyžadujú uplatňovať špeciálne logistické metódy (pri porovnaní s riadením zásob pre výrobu) riadenie zásob NDM; ide predovšetkým o riadenie ich položkovej štruktúry (čo držať na sklade a čo nie), aké množstvá. Pri plánovanej údržbe sa zásoby riadia tzv. ťahovým princípom a pri údržbe po poruche tlakovým princípom. Nadmerné zásoby vedú k stratám z viazaného kapitálu a nedostatočné zásoby zase vedú k logistickým prestojom a k stratám výroby.
- Údržbárske dielne dotvárajú materiálovú infraštruktúru údržby a majú umožňovať výkon údržby a opráv i mimo miesta umiestnenia DHM (najmä strojov a výrobných zariadení). Ich kapacita musí byť prispôbená údržbárskym úlohám a veľkosti strojov a zariadení. V tejto súvislosti je potrebné skonštatovať, že údržba je v niektorých prípadoch realizovaná priamo na mieste umiestnenia DHM a/alebo vo výrobnej organizácii. Riešenie údržbárskych dielní (servisov) je najlepšie prepracované v automobilovom priemysle a kapacita týchto servisov je riadená počtom ročne predaných automobilov.

3.2 Rozvrhovanie údržby

V procese rozvrhovania údržby sa definuje (určuje), kedy má byť údržba realizovaná (plánovacie obdobie jeden týždeň), kto má údržbu vykonať, aké náhradné diely (ND) budú použité, aký technologický postup bude vybraný a použitý, aké náradie bude pri údržbe použité. Rozvrhovanie údržby je dynamický proces, ktorý vychádza z ročného plánu a jeho výstupom sú spravidla týždenné až denné plány údržby s konkrétnymi termínmi výkonu, s pracovnými príkazmi pre konkrétnych pracovníkov a špecifikovanými ďalšími zdrojmi vrátane pravidiel bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. Veľmi dôležitá je spätná väzba o skutočnom splnení termínov údržbárskych úloh vrátane ich vyhodnotenia. Táto spätná väzba nuluje počítadlá doby trvania do údržby a umožňuje ďalší krok dynamického plánovania, resp. Rozvrhovania údržby. Rozvrhovanie údržby je proces, v ktorom sa na základe vypracovaného plánu údržby priradujú spresnené realizačné termíny, pracovníci a ostatné zdroje (uvolňujú sa plánované finančné zdroje, náhradné diely, materiál, prístroje, nástroje a ďalšie potrebné údržbárske zariadenia).



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

Výstupom rozvrhovania je harmonogram integrujúci práce všetkých profesií. V rámci prípravy integrovaného harmonogramu je potrebné doplňovať tieto údaje:

- hierarchickú štruktúru jednotlivých údržbárskych prác podľa konkrétnych profesií,
- priradenie jednotlivých pracovných zdrojov a kľúčových nástrojov ku skupinám aktivít,
- presné načasovanie jednotlivých aktivít (dátum, prípadne hodiny začiatkov a koncov),
- dôležité mílniky (napr. termíny odstavenia zariadení z prevádzky atď.),
- postupy práce, požadované štandardy, protokoly z meraní,
- výkazy skutočne odpracovaných hodín odsúhlasené prevádzkovateľom zariadenia.

V prvom kroku rozvrhovania údržbárskych výkonov sa v danom časovom období kumulujú (pre uvažované časové periódy) všetky prioritné kapacitné požiadavky jednotlivých údržbárskych profesií. Tým sa získa hrubá predstava, aké kapacitné vyťaženie budú mať v jednotlivých periódach daného plánovacieho obdobia jednotlivé údržbárske skupiny a profesie. Získa sa taktiež predstava o tom, ktoré zmeny a profesie sú málo vyťažené (hľadanie náhradnej práce) a ktoré sú naopak preťažené (presun požiadaviek na externú formu údržby, prípadne vzhľadom na prioritu presun na ďalšiu plánovanú periódu, dočasné riešenie formou nadčasov alebo prerozdelenie údržby medzi pracovníkov obsluhy, zoraďovačov a údržby).

Cieľom rozvrhu je návrh krátkodobého (týždenného) plánu – sekvencií údržbárskych úloh (zásahov, operácií, úkonov). Základnou otázkou pri určovaní sekvencie je určiť poradie na základe priorít (kritickosti strojov a zariadení), v akom budú spracovávané požiadavky na údržbárske práce a úlohy.

3.2.1 Operatívny plán údržby

Operatívne plánovanie údržby nadväzuje na ročné plány údržby. Základom operatívneho plánovania a riadenia údržby je sústava operatívnych mesačných a následne týždenných operatívnych plánov údržby, ktoré sa konkretizujú a rozvrhujú na denné rozvrhy úloh pre pracovníkov údržby s určením objemu práce, požadovanej kvalifikácie, potreby náhradných dielov a materiálu a trvania odstávky výrobného procesu. Operatívny plán predstavuje základný nástroj pre efektívne riadenú údržbu. Plánovacie oddelenie údržby (plánovač) vydáva s mesačným, alebo aspoň týždenným predstihom operatívny

plán údržby, ktorý je podrobným rozpracovaním časového výseku z ročného plánu. Tento operatívny plán by sa mal zostavovať do 70 % plánovanej hodinovej kapacity dostupných príslušných údržbárskych profesií. Zvyšok sa necháva ako rezerva na nedokončené práce a neplánované opravy.

Operatívny plán obsahuje pri každej položke:

- termín výkonu (od – do),
- plánovaný rozsah výkonu v normohodinách,
- požadované náhradné diely a materiál,
- doplňujúce údaje.

Ďalej je uvedený možný postup verifikácie a validácie operatívneho plánu údržby. K 10-tému dňu predchádzajúceho mesiaca odovzdá plánovač kópie operatívneho plánu na prevádzkovú úroveň, tzn. mechanikom údržby prevádzok, ktorí v spolupráci s majstrami údržby, predákmi a poverenými pracovníkmi výrobných prevádzok vykonávajú:

- previerku opodstatnenosti plánovaných výkonov,
- zmeny rozsahu opráv a ich termínov,
- pri schválených činnostiach údržby sa vystavia pracovné záznamy s príslušnou dokumentáciou,
- orientačný súpis údržieb, ktoré budú pravdepodobne prechádzať ako nedokončené v bežnom mesiaci, vrátane odhadu realizovanej prácnosti,
- kontrolu sumarizovanej prácnosti plánovaných položiek, ktoré by nemali prekračovať 90 až 95 % plánovanej kapacity.

Zástupca výrobného strediska podpíše upravený a spresnený operatívny plán údržby. K 18-tému dňu predchádzajúceho mesiaca odovzdajú mechanici prevádzok plánovačovi spresnené a schválené operatívne plány.

Plánovač doplní zmeny a požiadavky do originálu operatívneho plánu, ktorý bude slúžiť majstrom údržby ako podklad pre rozvrhovanie úloh medzi jednotlivých pracovníkov údržby podľa profesií. Následne plánovač vystaví záznamy na nové plánované údržby a priradí im čísla. K 25-tému dňu predchádzajúceho mesiaca odovzdá plánovač skompletizované podklady s odhadom ceny záznamy v príslušnom členení podľa stredísk mechanikom prevádzok, vrátane kópie vykonávacieho plánu. Príklad operatívneho plánu údržby je uvedený v Tabuľke 1. Výsledkom plánovania a rozvrhovania je integrovaný rozvrh práce na nasledujúci týždeň, aktualizovaný harmonogram práce pre aktuálny týždeň a uvoľnené požiadavky na objednávky materiálu alebo služieb.

ČÍSLO POŽIADAVKY	STREDISKO	SYSTÉM	PRIORITA	TYP PRÁCE	VÝPADOK	POČET PRACOVNÍKOV A PROFESIE	PRÁCNOSŤ	VÝPADOK
012	N01	BV	1	4	0	1 ZVÁRAČ 1 POMOCNÍK	8,8	4,4
004	N01	FC	1	4	0	1 ELEKTRIKÁR 1 POMOCNÍK	7,7	3,8
006	N01	FC	3	4	0	1 ELEKTRIKÁR 1 POMOCNÍK	15,15	7,5

Tabuľka 1. Príklad časti operatívneho plánu údržby

Prínosy úspešného zavedenia metódy plánovania a rozvrhovania:

- zahrnutie prevádzkovateľov strojov a zariadení do prípravy a realizácie harmonogramu,
- užšia kooperácia medzi jednotlivými disciplínami údržby,
- zvýšenie efektívnosti práce,
- skrátenie času realizácie,
- zníženie počtu pracovníkov, a tým i zníženie nákladov.

3.2.2 Normatívy prácností údržby a opráv

Normatívy prácností údržbárskych úloh (operácií) je možné získať normovaním živej alebo strojovej práce. Najviac sú prepracované normatívy prácností údržby v servisoch osobných automobilov vzhľadom na hromadné rozšírenie týchto automobilov. V priemyselnej praxi sa musia útvary údržieb spoliehať na vlastné normovanie údržbárskej a opravárskej práce. Vzhľadom na variabilitu údržbárskych prác je normovanie operácií ťažšie ako v strojárnej výrobe, a teda i menej používané. Avšak racionalizácia, lepšie plánovanie a zvyšovanie motivácie prác údržbárov, normovanie prác sa vyžaduje i v údržbe. V súčasnej dobe sú k dispozícii napr. tieto metódy normovania práce:

1. časové snímky pracovného dňa,
2. momentkové pozorovanie,
3. časové snímky operácií atď.

- Snímkou pracovného dňa jednotlivca alebo pracovných skupín sa zisťuje druh a veľkosť (podiel) jednotlivých druhov spotreby času na zmene a posudzuje sa miera využitia zmeny na účelnú činnosť, veľkosť a príčinu strát. Údaje zistené pri snímke pracovného dňa sú podkladom na vypracovanie návrhov opatrení, ktorých realizácia zabezpečí optimálne využitie údržbárov.
- Momentkové pozorovanie je technika založená na teórii pravdepodobností. Vychádza z predpokladu, že reprezentatívna vzorka náhodne zistených údajov vykazuje s prípustnou presnosťou zhodné zloženie sledovaných druhov údajov, ako je v skutočnosti. Pomocou tejto techniky je možné zistiť podobné údaje ako snímkou pracovného dňa, ale výsledkom nie sú údaje o veľkosti jednotlivých druhov času, ale ich podiel v čase zmeny.
- Snímky operácií sa používajú pri meraní spotreby času pri údržbárskych operáciách. Z číselného radu

nameraných časových hodnôt sa podľa zásad matematickej štatistiky určuje pravdepodobná stredná hodnota času trvania operácie a jej zložiek času. Tieto údaje sú základom na určenie normy spotreby času (prácnosti) a na opakujúce sa činnosti, na vypracovanie súborov noriem a normatívov.

Pomocou snímky operácie sa získavajú podklady na posúdenie účelnosti spôsobu realizácie údržbárskych operácií, hľadanie možností zníženia ich prácnosti s pomocou využitia výkonnejších nástrojov, prípravkov a pomôcok, lepším usporiadaním časového priebehu opráv, atď. Výsledky merania času operácií poskytujú spoľahlivý základ pre plánovanie, prípravu údržby, pracovný výcvik, určenie potrebných nákladov a cien, určenie vhodných foriem mzdy a ich výpočet.

4 KONCEPT „PRIEMYSEL 4.0“

Digitalizáciu výroby a údržby je možné robiť postupne a aj bez veľkých investícií na existujúcich strojoch a zariadeniach. Je to postupný dlhodobější proces, prinášajúci pozitívne výsledky od samotného začiatku. [Rakytka 2017] Odporúčame postupovať v nasledovných krokoch: – urobiť si poriadok v existujúcich procesoch a dátach – odstrániť firemný digitálny babilon, a zabezpečiť kontinuitu toku dát – nasadiť PLM riešenia – riadiť dáta o výrobku a výrobných procesoch – nasadenie DM – zaviesť optimalizáciu výrobných procesov – postupná digitalizácia výrobných procesov – zahájiť zber dát z výroby, a postupne ho rozširovať – spustiť prevádzku digitálneho dvojčaťa. Na aplikáciu Priemyslu 4.0 neexistuje žiadna šablóna. Každá firma potrebuje unikátne riešenie zodpovedajúce jej stratégii rozvoja, podmienok charakteru výrobkov, výroby, jej opakovanosti, trhu a predstáv manažmentu. [Skokan 2018] Je potrebné nastaviť manažment konfigurácie údržby pre „Priemysel 4.0“ na dané východzie podmienky podniku – súčasný stav údržby. V súčasnosti má každá firma spracované už vstupy do programu „Priemysel 4.0“, len o tom nevie. V procese, v ktorom sa stretávajú záujmy rozmanitých subjektov trhu a súčasne pri neustálych zmenách požiadaviek zákazníkov sa vytvára tlak, ktorý vplýva na výber nového údržbového systému a nastavenie inováčnej schopnosti výrobných a montážnych podnikov spojenej s implementáciou inteligentných digitálnych technológií a diagnostickej techniky do výroby. V súčasnosti je hlavným cieľom priemyselných podnikov dosiahnuť rýchlu adaptáciu vzhľadom k inicializácii novej výroby a schopnosti reakcie voči vyskytujúcim sa chybám

pomocou inteligentného údržbového systému na báze konceptu Priemyslu 4.0. [Martinkovič 2018]

Pri vytváraní „Podniku budúcnosti“ je potrebné identifikácia potenciálov využitia princípov, nástrojov a technológií údržby v procese tvorby a zavádzania prístupov Priemyslu 4.0. Zároveň takýto podnik by klásť hlavný dôraz na aplikáciu programu predikcie údržby a implementovať zariadenia technickej diagnostiky, inteligentné senzory, prepojiť zariadenia pomocou internetu vecí a mobilných aplikácií v údržbe, a vytvoriť digitálne dvojča pre riadenie údržby a tak poskytnúť spoľahlivý inteligentný digitálny údržbový systém.

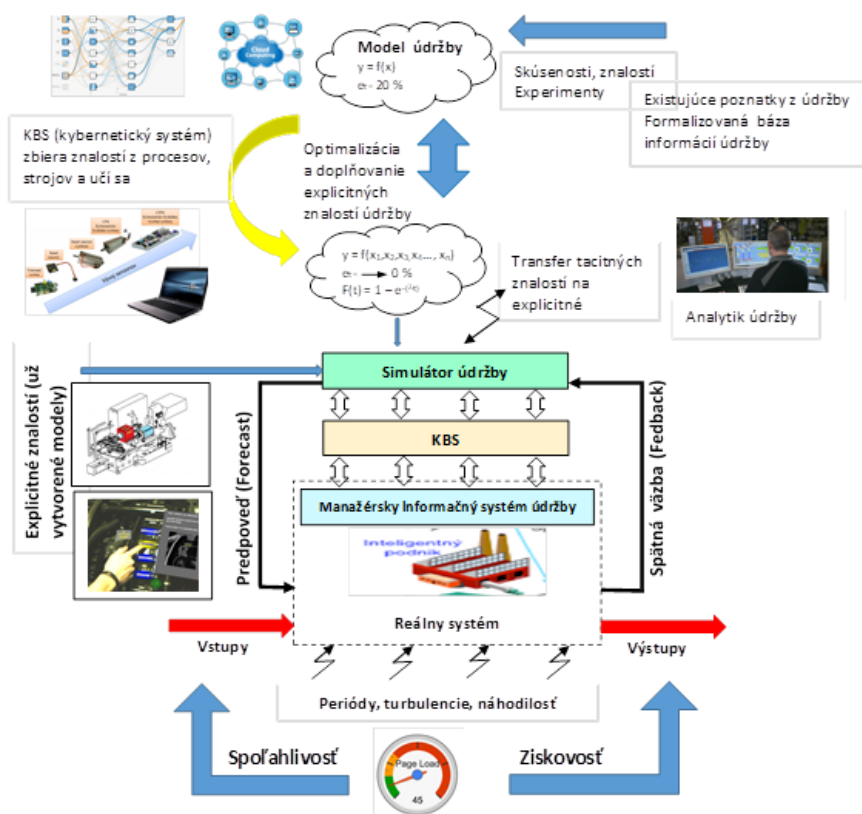
Ukazovatele ako dostupnosť a spoľahlivosť strojov a zariadení majú rozhodujúci význam pre prevádzku strojov, výrobných a montážnych liniek. Tieto údaje pre výpočet týchto ukazovateľov je možné monitorovať pomocou inteligentných snímačov, ktoré dokážu zobraziť stav zariadenia v akejkoľvek dobe, čo má za následok elimináciu prestojov strojov a zariadení.

Prvým krokom je zabezpečiť ich prepojenie a zber údajov zo zariadení previesť od manuálnych papierových kontrol k systémom automatizovaného zberu, ktorý zlepšuje kvalitu údajov a eliminuje množstvo a čas. Monitorovanie zariadení z centra alebo z akéhokoľvek miesta vo výrobe pomocou internetu vecí rozširuje počet a rôznorodosť parametrov, ktoré

možno sledovať a použiť na zabezpečenie pravidelného monitorovania mechanického stavu zariadení, prevádzkovej spoľahlivosti, nákladov na odstávky spôsobené poruchami strojov. Toto riešenie sa v praxi nazýva tiež Digitálne dvojča (Digital Twin). Ide o digitalizáciu všetkých údajov popisujúcich stav zariadenia. V reálnom čase sa zhromažďujú a vyhodnocujú všetky potrebné informácie z výrobného procesu. Zozbierané dáta vytvoria ucelený obraz o výrobku, zariadeniach a výrobnom procese. Získa sa množstvo dát, ktoré povedú k rýchlejšiemu a kvalitnejšiemu riadeniu procesov údržby.

Inteligentný údržbový systém ponúka nielen pružnosť a rekonfigurabilitu, ale tento koncept prináša aj nové poznatky o softvérovej inteligencii, ktorej predpokladom sú rôzne charakteristiky. Takéto systémy využívajú techniky umelej inteligencie na realizáciu činnosti. Inteligentné údržbové systémy disponujú nasledovnými vlastnosťami (Obrázok 1):

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



Obrázok 2. Koncept inteligentného digitálneho systému údržby

5 ZÁVER

Ľudia sú najcennejší kapitál a zároveň kľúčový nositeľ reputácie každej spoločnosti. Niektorí možno namietajú, že pre úspech je dôležitý predovšetkým dobrý produkt, služba či technológia. Tie samozrejme, určite nevznikli samy od seba. A bez ľudí, ktorí ich vymýšľajú, rozvíjajú, vyrábajú či predávajú, by neznamenalí vôbec nič. [Manlig 2014], [Manlig 2013] Práve preto by mali byť

zamestnanci najdôležitejšia cieľová skupina komunikácie a dbať na nich aj pri plánovaní a rozvrhovaní činností v podniku. V praxi je často možné vidieť, že sa firmy sústreďujú najmä na externú komunikáciu, pravidelne komunikujú so svojimi zákazníkmi, s partnermi, médiami či akcionármi a zabúdajú pritom na svojich zamestnancov. Nie je nijaká výnimka, že sa práve tí dozvedajú dôležité informácie pracovnom zaradení,



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

schválení resp. neschválení projektov a iné dôležité informácie o firme v ktorej pracujú, náhodne z neformálnych komunikačných kanálov alebo dokonca z médií. Zamestnanci by pritom mali byť informovaní o situácii v spoločnosti, o jej smerovaní, o novinkách alebo zmenách ako prví a mali by zároveň slúžiť ako efektívny informačný kanál smerom k verejnosti. Iba informovaný, motivovaný a zainteresovaný zamestnanec môže byť z dlhodobého hľadiska pre firmu prínos. To platí aj na oddeleniach údržby a technického servisu, kde stále pracujú väčšinou starší pracovníci, ktorí sa majú občas problém vyrovnáť s novými technológiami, vývojom pracovných miest, zmenami na oddelení či v podniku a pod.

POĎAKOVANIE

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

REFERENCES

- [Horváthová-1 2018] Horváthová, B., et. al. Vplyv Priemyslu 4.0 na pracovné činnosti. In: Aktuálne otázky bezpečnosti práce: 31. medzinárodná konferencia BOZP. - Košice: Technická univerzita v Košiciach. s. [1-6] [USB-key]. ISBN 978-80-553-2784-6.
- [Horváthová-2 2018] Horváthová, B., et. al. Podniky budúcnosti: vízia operátora 4.0. In: Invention for enterprise [print]: proceedings. - 1. vyd. - Žilina: CEIT Stredoeurópsky technologický inštitút, 2018. s. 104-107. - ISBN 978-80-89865-07-9.
- [Pačaiová 2017] Pačaiová, H., et. al. Maintenance management based on quality management system requirements. In: Održavanje 2017 - Maintenance 2017 - Instandhaltung 2017: 23. međunarodno savjetovanje : Vodice, 15. - 17. svibnja 2017: zbornik radova. Zagreb: HDO - Hrvatsko društvo održavatelja, 2017. - S. 128-133. ISSN 1848-4867.
- [Pačaiová 2015] Pačaiová, H., Glatz, J. Maintenance management system. MM Science Journal [elektronický zdroj], 2015, online, no. 3, pp. 665-669, ISSN 1803-1269.
- [Rakyta 2017] Rakyta, M., Fusko, M.: Priemysel 4.0 a jeho požiadavky na nové údržbové systémy. In: Bezpečnosť. Kvalita. Spôľahlivosť [elektronický zdroj]: 8. medzinárodná vedecká konferencia: Košice 2017. - Košice: Technická univerzita, 2017. s. 214-220. ISBN 978-80-553-3115-7.
- [Pačaiová 2013] Pačaiová, H., et. al. Systematic approach in maintenance management improvement. International journal of strategic engineering asset management, 2013, vol. 1, no. 3, pp. 228-237, ISSN 1759-9733.
- [Vavruška 2009] Vavruška, J., et. al.: Analýza rozvrhování pracovníků a výrokový mix. In: Sborník příspěvků 12. ročník mezinárodní konference WITNESS 2009, ISBN 978-80-214-3900-9.
- [EN 15628:20014] EN 15628:2014 – Maintenance. Qualification of Maintenance Personnel, CEN 2014.
- [CEN TR 15628 :2007] CEN TR 15628:2007 – Údržba. Kvalifikácia pracovníkov údržby, SÚTN august 2008.
- [Skokan 2018] Skokan, R., Krajčovič, M.: Digitálne dvojča ako súčasť podnikov budúcnosti. In : Invention for enterprise [print] : proceedings. - 1. vyd. - Žilina: CEIT Stredoeurópsky technologický inštitút, 2018. s. 128-131 - ISBN 978-80-89865-07-9.
- [Martinkovič 2018] Martinkovič, M. et. al.: Wykorzystanie symulacji komputerowej dla oceny wariantów wytwarzania nowego wyrobu [print] = Computer simulation in the assessment of a new production variants. In : Technologie, procesy i systemy produkcyjne [print]. - 1. vyd. - Bielsko-Biała: Wydawnictwo naukowe Akademii techniczno-humanistycznej w Bielsku-Białej, 2018. s. 157-166 ISBN 978-83-65182-97-5..
- [Manlig 2014] Manglig F., et. al.: Education Company – An Experience from the Implementation of Problem Based Learning. Applied Mechanics and Materials [online]. 2014, 693: 477-482.
- [Manlig 2013] Manglig F., et. al.: Educational company and e-learning (2013) Proceedings of the International Conference e-Learning 2013, s. 394-398.

RACIONALIZACE PERSONÁLNÍCH PROCESŮ VE VYBRANÉM PODNIKU

Eva Šírová, Monika Nygrinová

Katedra podnikové ekonomiky a managementu,
Ekonomická fakulta, Technická univerzita v Liberci

e-mail: eva.sirova@tul.cz

K výzkumnému šetření byla použita převážně primární data získaná vlastním výzkumem ve vybraném podniku. Ke sběru dat byla použita kvantitativní metoda a technikou sběru dat bylo nepřetržitě pozorování (metoda snímků pracovního dne). Při objemu práce měřeného úkonu s ohledem na opakovatelnost u jednoho pracovníka (jednosměnný provoz) byl počet náměrů stanoven na 5 dní. V první fázi projektu byly vytvořeny snímky pracovního dne, pomocí kterých byla zjišťována skutečná spotřeba času pracovníka. Výsledky provedeného pozorování byly využity ke kvantifikaci jednotlivých pracovních činností vyjádřených pomocí spotřeby času. Dále pak byl proveden rozbor struktury spotřeby pracovní doby ztrátových časů. Výsledkem je vypracování výkonnostních studie jednotlivých pracovních pozic. Na základě časové analýzy vytížení jednotlivých pracovníků byla podniku předložena doporučení vedoucí k rozhodnutí o případné redukci, navýšení počtu pracovníků nebo případně o přesunu určitých pracovních operací mezi pracovníky. Podnik také dostal námět k optimalizaci vybraného pracoviště.

KEYWORDS

optimalizace, proces, racionalizace, skladování, snímkování

1 ÚVOD

V rámci představovaného příspěvku byla provedena analýza a následně racionalizace personálních procesů a pracovišť. K výzkumnému šetření byla použita převážně primární data získaná vlastním výzkumem v terénu. Ke sběru dat byla použita kvantitativní metoda a technikou sběru dat bylo nepřetržitě pozorování. Šetření probíhalo v měsíci červenec roku 2017. Prvním úkolem bylo vytvoření snímků pracovního dne, pomocí kterých byla zjišťována skutečná spotřeba času pracovníka. Výsledky provedeného pozorování byly využity ke kvantifikaci jednotlivých pracovních činností vyjádřených pomocí spotřeby času. Dále pak byl proveden rozbor struktury spotřeby pracovní doby ztrátových časů.

2 PŘEDSTAVENÍ ANALYZOVANÉHO PODNIKU

2.1. Úvodní data

Společnost byla založena již roku 1994 a od roku 2013 je čistě rodinnou firmou. Hlavním předmětem činnosti je zlatnictví, klenotnictví, výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 a 3 živnostenského zákona, výroba, instalace, opravy elektrických strojů a přístrojů, elektronických a telekomunikačních zařízení, zámečnictví, nástrojářství. Jednateli jsou tři rodinní příslušníci. Průměrný počet zaměstnanců byl v minulém roce 42 zaměstnanců, k datu konání snímkování 46 zaměstnanců. Výsledek hospodaření běžného roku 2016 dosáhl 1 120 000 Kč,

což je více než 50 % nárůst oproti předcházejícímu období s 548 000 Kč. Společnost se zabývá výrobou lisovaných kovodílů pro automobilový, elektrotechnický a spotřební průmysl. Zkoumanými subjekty jsou manažer expedičního skladu a dva pracovníci expedičního skladu, přičemž jeden je v kumulaci se skladníkem hutního materiálu.

V projektu jsme pracovali se třemi typy aktivit: A - kategorie činností v souladu s popisem práce k dané pozici. B - kategorie činností nad rámec popisu práce dané pozice. C - kategorie činností mimo popis práce dané pozice, mimopracovní aktivity. Optimální vytížení je 85 % celkového pracovního času, zahrnuje aktivity A and B, vyjma aktivit C. Vytíženost skladu byla počítána podle kritéria vytíženosti jeho zaměstnanců.

2.2. Zhodnocení vytíženosti jednoho z pracovníků

V tabulce 1 pod textem vidíme ukázkou naměřených hodnot u jednoho ze zkoumaných pracovníků. Z výsledků vyplývá, že pracovník nedosáhl optimálního vytížení v pondělí, úterý ani ve středu. K takto nízkým hodnotám došlo v důsledku přílišné komunikativnosti a sdílnosti ze strany pracovníka, což bylo vyhodnoceno jako rušivý element. Negativním jevem bylo také nadměrné vykonávání aktivit v kategorii C (například časté osobní telefonáty, občerstvení mimo předepsaný čas a podobně). Přestože další dny bylo vytížení pracovníka v optimálních mezích, jako záporná vlastnost je také pasivní přístup pracovníka k aktivitám spadajícím do skupiny B.

Tab. 1 Vytíženost pracovníka

	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Celkem
Doba trvání činností bez kategorie C (min)	366	375	351	402	411	1905
Procentní vytížení (%)	81,33	83,33	78,00	89,33	91,33	84,67

2.3. Zhodnocení vytíženosti expedičního skladu a skladu

hutního materiálu

V tabulce 2 je zhodnocena vytíženost expedičního skladu a skladu hutního materiálu. Je hodnocena vytíženost jednotlivými pracovníky v průběhu jednoho pracovního týdne, celkové jsou hodnoty zprůměrovány. Z výsledků vyplývá, že vytížení expedičního skladu je v průměru na optimální úrovni. Jeden z pracovníků skladu je většinu času přetěžován a druhý je optimálně vytížen a třetí nedostatečně. Proto se doporučuje vhodnější rozdělení aktivit mezi jednotlivé pracovníky. Sklad hutního materiálu nebyl během snímkování téměř vůbec navštěvován. Organizace by se měla na tuto část skladu zaměřit a lépe využít její potenciál.

Pracoviště/pracovník	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Celkem
----------------------	---------	-------	--------	---------	-------	--------

Expediční sklad průměr	Procentní vytižení (%)	80,52	88,00	84,22	92,0	87,33	86,43
Expediční sklad: pracovník 1	Doba trvání činnosti bez kategorie C (min)	405	442	446	445	437	2 175
	Procentní vytižení (%)	90,00	98,22	99,11	98,8	97,11	96,67
Expediční sklad: pracovník 2	Doba trvání činnosti bez kategorie C a B (min)	399	428	414	432	403	2 076
	Procentní vytižení (%)	88,67	95,11	92,00	96,0	89,56	92,27
Expediční sklad: pracovník 3	Doba trvání činnosti bez kategorie C (min)	283	318	277	366	339	1 583
	Procentní vytižení (%)	62,89	70,67	61,56	81,3	75,33	70,36
Sklad hutního materiálu: pracovník 3	Doba trvání činnosti bez kategorie C (min)	83	57	74	36	72	322
	Procentní vytižení (%)	18,44	12,67	16,44	8,00	16,00	14,31

Tab. 2 Vytíženost skladu (vlastní zpracování)

3. OPTIMALIZAČNÍ NÁVRHY

Níže jsou uvedena navrhovaná optimalizační řešení:

1. Vyřazení nevyužívaných zásob.
2. Změna rozložení skladu.
3. Zavedení čárových kódů.

3.1. Vyřazení nevyužívaných zásob

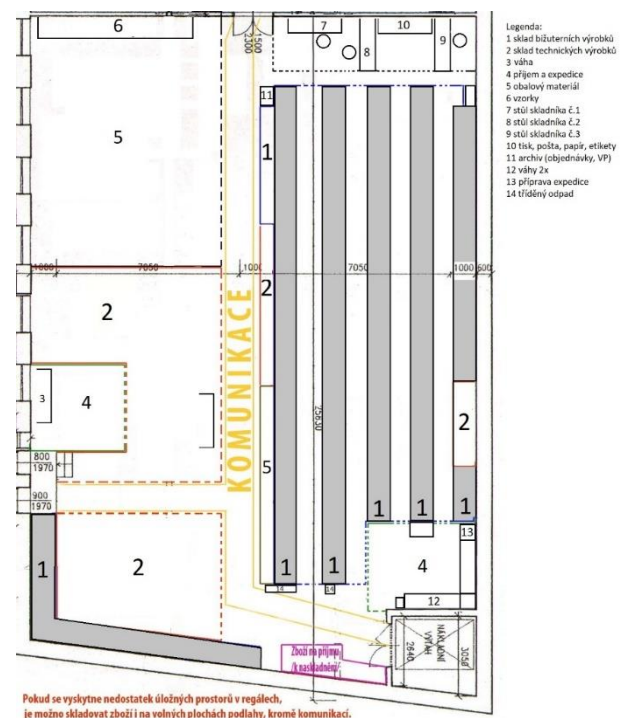
Prvním návrhem pro zlepšení současné situace je vyřazení nevyužívaných zásob. Nadbytek těchto zásob vzniká v důsledku špatných rozhodnutí vedení společnosti, které příliš lpí na starých tradicích a není ochotna se těchto zásob zbavovat. V rámci probíhající inventury by docházelo k postupné eliminaci skladových zásob, které nebyly expedovány v posledních 3 letech. Seznam nevyužívaných výrobků by byl předložen vedení společnosti a obchodnímu oddělení ke schválení vyřazení. Položky, které nebudou schváleny, budou umístěny do jiné části skladu. Ostatní položky budou zcela vyřazeny. Vyřazením je

míněno využití nepotřebných zásob ve výrobě, odprodání za sníženou cenu nebo likvidace.

Tímto krokem společnost docílí větší přehlednosti skladu, což by mělo vést ke snížení časů potřebných k vyskladňování, naskladňování a celkově manipulaci se zásobami. Výsledkem budou také volné pozice pro nové zásoby. Pro dosažení větší efektivity by v další fázi měly být skladové zásoby utříděny podle metody ABC. Přičemž nejvíce využívané zásoby je třeba umístit do regálů nejbližší k oblasti příjmu a expedice.

3.2 Změna rozložení skladu

Druhým návrh představuje změnu rozložení skladu. Tento návrh vychází z logistických toků, které byly zaznamenány v průběhu pozorování. Pracovníci skladu se pohybují několikrát za den přes celý sklad (délka 25,6 m – pohyb cca 20 s). Pracovníci musí chodit mezi regály od stolu s počítačem (horní část místnosti) ke stolu s váhou nebo k expedici (spodní část místnosti), kvůli fyzickému a elektronickému naskladnění/vyskladnění požadovaných artiklů. Změnou rozmístění regálů a přemístění částí pracoviště by mělo dojít ke zkrácení pohybu pracovníka (viz obr. 1)



Obr. 1 Současné rozložení skladu (vlastní zpracování)

3.3 Zavedení čárových kódů

Posledním návrhem je zavedení čárových kódů pro rychlejší orientaci ve skladu. Vzhledem k tomu, že firma stále využívá papírové skladní karty a nejsou zde žádné prvky automatické evidence, bylo navrženo zavedení čárových kódů. Se zavedením čárových kódů do skladu by souviselo i zavedení nového softwaru (nebo sloučení se stávajícím softwarem SQL), pořízení čteček čárových kódů a tiskárny. Kroky zavádění čárových kódů:

1. vytvoření systému čárových kódů,
2. označení palet, balíků, přepravek, vychystávacích míst a skladových položek,
3. synchronizace čárových kódů se systémem.



Zavedením tohoto typu automatické identifikace docílíme lepší organizace práce ve skladu a vyšší přehlednosti. Vzhledem k tomu, že při jakémkoliv úkonu dojde po načtení kódu ihned ke změně stavu zásob, povede inovace k urychlení příjmu, manipulace, výdeje výrobků a materiálu v rámci skladového hospodářství a úplné sledovanosti po ekonomické a účetní stránce. Tudiž i lepší komunikaci mezi skladem, výrobou a účtárnou. Zároveň by díky Wi-Fi připojení čtečky a zobrazení požadavku na vyskladnění, nedocházelo ke zbytečnému pohybu skladníků od vah k počítači a zpět pouze za účelem kontroly, zda v systému nečeká objednávka k vyskladnění.

4. ZÁVĚR

Výsledkem projektu je vypracování výkonnostní studie vybraných pracovních pozic. Každý jednotlivý čas zhodnocen a stejnorodé činnosti byly shrnuty do skutečné bilance spotřeby času příslušné směny. Bylo také provedeno očištění získané časové řady vyloučením extrémních hodnot. V závěru bylo vyhodnoceno, zda jsou prováděné činnosti účelné, zda spotřeba času není příliš vysoká nebo zda by dané činnosti mohli vykonávat jiní pracovníci.

REFERENCES

[FREIVALDS 2013] FREIVALDS, Andris and Benjamin NIEBEL. 2013. *Niebel's Methods, Standards & Work Design: 13th Edition*. McGraw-Hill Higher Education. ISBN 978-0073376363.

[LHOTSKÝ 2005] LHOTSKÝ, Oldřich. 2005. *Organizace a normování práce v podniku*. Praha: ASPI, a.s. ISBN 80-7357-095-5.

[LOJDA 2011] LOJDA, Jan. 2011. *Manažerské dovednosti*. Praha: GRADA Publishing, a.s. ISBN 978-80-247-3902-1

Internal resources of the company



ČLOVĚK A HOLISTIKA PROCESŮ

Věra Pelantová

Fakulta strojní, KSA, Technická univerzita v Liberci,
Liberec, Česká republika

e-mail: vera.pelantova@tul.cz

Během běžného provozu procesů systému management v organizační praxi se často zapomíná na jejich úplnost. To se projevuje, mimo jiné, nárůstem neshod a administrativy, nepružností a je znát např. při auditu, kdy jsou vytknuty nedostatky. Příspěvek se snaží na tuto problematiku s ohledem na provedený průzkum navázat. Zabývá se úlohou lidí v holistice procesů. Ukazuje se jako opomíjená v kontextu důrazu na modernizaci zejména technického rázu. Přitom měkký činitel dodává patřičnou dimenzi k naplnění holistiky. Příspěvek nabízí doporučení k posílení této oblasti v organizacích.

KEYWORDS

Člověk, holistika, proces, systém management, organizace, vedení, neshody.

1 INTRODUCTION

Řízení procesů se stalo již běžnou praxí v systémech managementu ve většině organizací nejen v tuzemsku. Přístup k nim je různý podle znalostí pracovníků, podle dosavadních organizačních zvyklostí, ale také podle osobnosti manažera a jím aplikovaného způsobu řízení. Výsledkem bývá řada neshod, nárůst administrativy a nákladů, nepružnost produkce a též složitost systému managementu apod. Společným důvodem je časté zapomínání na úplnost procesů. Též není dostatečně zdůrazňována úloha člověka v holistice procesů. Tento příspěvek se pokusí tuto mezeru zacelit.

2 STRUČNÁ REŠERŠE PUBLIKACÍ

Publikací o personalistice nebo o řízení lidských zdrojů bylo napsáno mnoho. Zdálo by se, že je vše zřejmé. Tento příspěvek se pokusí na problematiku pohlédnout ohniskem holistiky procesů. Jedná se o vztah úplnosti procesů a úlohy člověka. Úplnost procesu je možno specifikovat pomocí jeho charakteristiky. Zahnuje interní popis, metodickou základnu, typologii, úroveň stavu odpovídající hodnotám znaků a požadavkům zákazníků, vazby na interní a podstatné okolí, včetně zapojení lidí v systému managementu a v jeho správě. S procesem je tak možno operovat jako se samostatnou entitou a sledovat její vývoj.

V článku [Sullivan 2019] je popsáno hodnocení výkonnosti procesů a předkládá se kategorizace problémů s ní související. Problémy se týkají vlastního hodnocení výkonnosti, procesů jako takových, nástrojů řízení, manažerů, zaměstnanců a času. Jako časté jsou uvedeny: chybějící zpětná vazba a cíle, tajení výsledků, přílišná subjektivita, nepropojenost hodnocení a popisu činností, neznalost pracovníků, nereálné termínové plánování, chybějící měřítka efektivity atd. Zajímavostí je, že zde není zmíněna motivace pracovníků jako taková. To napravuje článek [Palata 2019], konkrétně jde o role středního managementu. Podle jejich průzkumu se motivaci pracovníků věnují manažeři v polovině případů max. 5 dnů ročně. O

motivovanosti je potřeba nejen vědět, ale s ní i něco dělat, což zhruba 1/3 manažerů stejně neprovádí. Motivace totiž posiluje produktivitu, znalosti, efektivitu a loajalitu pracovníků. Právě toto jsou faktory úspěchu pracovníků pro management kvality v nadcházejícím období podle knihy [Nenadál 2018]. Technologie mění okolní prostředí, a to včetně personalistiky. Mění se podle článku [Součková 2019] pracovní návyky, myšlení pracovníků i jejich chování. S tím se pojí rovněž nástup do práce u generací, které již byly v dětství ovlivněny počítači, mobily apod. V organizacích se digitalizace projevuje elektronickou dokumentací, její správou a podpisy, digitálními toky, ale také uplatněním biometrie apod. Pracovníci jsou z ní nadšení, nebo mají strach ze ztráty práce. Článek jmenuje měkké dovednosti, které mají tento strach omezit. Jedná se např. o: komunikaci, rozumové schopnosti, inovaci, tvořivost a emoční inteligenci. V této souvislosti je zmiňována také pověst organizace na pracovním trhu. Potřebné bude nejen učení se a informovanost, ale rovněž práce se stresovými faktory, posilování seberealizace, což má přibližně 16 % pracovníků, a vyšší důvěra. Rolím v pracovních činnostech je věnován text [Authors1 2019]. Opírá se o sociální a psychologické aspekty. Text zmiňuje vztah pracovní činnosti s odpovědností a s pravomocemi, kvalifikací, vztahy a zdroji.

Autor [Dave 2017] konstatuje, že procesy odrážejí kulturu organizace a mají vliv na zvládání řízení změn. Aby došlo k opravě nebo k optimalizaci procesu, je nutná holistika, což potvrzuje také článek [Henshall 2019], avšak v souvislosti s uplatněním agilní metody. K tomu je dle textu [Dave 2017] potřeba patřičná technologie. Na druhé straně je ovšem vyžadováno distribuované rozhodování a rychlé výsledky procesů, což potvrzuje též kniha [Nenadál 2018]. Do popředí rozhodování se dostávají kromě kvantitativních dat také kvalitativní data podle textu [Grove 2019]. Stejně jako článek [Sullivan 2019], volají autoři [Grove 2019], [Háša 2016] a [Henshall 2019] po posílení chápání osobnosti pracovníka ve výrobním procesu. Navíc, v organizacích budou potřebnější mentoři. Text [Henshall 2019] aplikuje detailně agilnost do systému managementu podle norem ISO řady 9000, konkrétně se jedná o normu managementu kvality [Standard ISO 9001 2016], včetně zastavení a zlepšení procesu. Uvádí potřebu odstranění hierarchické organizační struktury z důvodu rozmělnění struktury, ztráty důrazu na „řemeslo“ a hlavně ztráty „odpovědnosti za rozhodování“. Opět poroste význam specialistů a ti si mají svůj proces sami zdokumentovat a vytvořit kontrolní seznam jako bezpečnostní nástroj pro sebekontrolu. K tomu samozřejmě potřebují být uplatněny malé a samostatné týmy, které budou mít vlastní rozpočet. Proto není potřeba střední management, nad kterým uvažuje např. text [Palata 2019]. Úskalí tohoto trendu spočívá podle článku [Henshall 2019] v zaměstnání mladých pracovníků a pracovníků s nízkou kvalifikací a v nasazení v silně legislativně regulovaných odvětvích.

Z trendů personalistiky v článku [Becková 2018] je pro řízení procesů zásadní spokojený pracovník a zapojení nových technologií. Samozřejmě často v organizacích chybí kvalitní pracovníci a řízení jejich talentů, což zdůrazňuje spolu se spoluprací také článek [Urban 2015]. Texty jako např. [Authors2 2019] a [Nenadál 2018] považují za důležité ještě též firemní kulturu, koučink a vzdělávání pracovníků, důraz na samostatnost a prevenci neshod v systémech managementu.



3 DISKUSE

Na základě článků [Sullivan 2019] a [Dave 2017] lze konstatovat, že změnové řízení procesů je opět upozaděno. Jeho nezvládnutí přináší do mnoha organizací chaos, který narušuje jejich systém managementu. Nesprávné nastavení procesů vede k nekonzistenci změn uvnitř. Jde tedy o změnu popisu procesu a následnou změnu jeho způsobu hodnocení. S ohledem na řízení změn, zmíněné autorem [Dave 2017], jsou významné především změny podstatného okolí, které může proces pouze mírně korigovat, ale nikoli je plně sám eliminovat. Opomenutí zpětné vazby, zmíněné v [Sullivan 2019], je chybou. Z hlediska regulace je tato vazba v tvrdých i měkkých systémech potřebná. Nepropojení popisu a hodnocení procesu dále odpovídá zanedbané údržbě procesů.

Než o pouhé tajení výsledků procesů (jako v [Sullivan 2019]) jde spíše o kompletní tajení informací v organizacích, ač se o ně daný pracovník zajímá. Potlačování prostého přísunu informací průměrný pracovník brzy rozezná a zachvátí ho stres z vyčlenění ze skupiny a dále postrádá informace pro svou činnost, což může vést ke snížení kvality produkce, nebo též ke vzniku bezpečnostního incidentu. Způsobilst se pojí s požadovanou legislativou, kterou musí daná organizace vzhledem ke své specifické produkci plnit, tudíž nebývá tolik ohrožena.

Hodnocení pracovníků v procesech mnohdy nebývá podloženo systémovým základem. Spíše je pojímáno jako nástroj perzekuce konkrétních osob. Kladné hodnocení se v tuzemsku uplatňuje pomálu. Vlastně je to již znát v některých školách, kde negativní způsob hodnocení převažuje. Manažeři navíc hodnotí de facto slepě, protože některé pracovníky ani pořádně neznají. Sebehodnocení tak je často zkracováno na ty sobě rovné či pod sebou, nikoli 360°, jak se často proklamuje. Subjektivitě ([Sullivan 2019]) se hodnotitel procesů nevyhne, ale na druhé straně v kombinaci s problémem tajení výsledků a vlastně informací je nebezpečná. Odtud pak pramení neznalosti pracovníků a vznik některých neshod v systémech managementu.

V pojetí procesního přístupu je navíc nutno rozlišovat mezi personálním sebehodnocením, které bývá právě oslabeno, a sebehodnocením systémovým, které mnohde zcela chybí.

Též motivaci pracovníků v organizacích je věnováno málo času, jak dokládá [Palata 2019]. Přitom je jedním z předpokladů vedení pracovníků, které je zásadní pro zavedení procesního přístupu v organizaci. Autorka [Součková 2019] představuje zářnou perspektivu trendů vývoje lidských zdrojů, ovšem prostá transformace personální dokumentace v elektronickou nepomůže procesům ani pracovníkům. Rovněž chápání celých generací jako prototypů pracovníků není vhodné, protože digitalizace a robotizace nepůsobí ani na poslední generace stejně. Někteří jedinci si zachovávají i přes značný tlak médií odstup a zdravý rozum a zmíněné digitalizaci nepropadají, takže jejich pracovní návyky i schopnosti jsou odlišné od jejich vrstevníků. Tento fakt ovšem nezaznamenali ani někteří psychologové a personalisté.

Pro efektivní proces je navíc potřeba redukce administrativy, ať je vedena v jakékoli podobě. Zásadní jsou hlavní znaky a jejich hodnoty. Také snadné a rychlé odsouhlasení dokumentů není vhodné, pokud pracovník uvažuje a má dodatečné otázky k dokumentované problematice. Na druhé straně je zde nezdravý prostor pro možné kyber neshody či dokonce zneužití takto koncipovaného systému managementu. Prostá elektronizace organizace ovšem má své úskalí, související

s chodem internetu a elektrického proudu. Pak je akceptována také písemná podoba dokumentace procesů.

Ve vazbě na procesní přístup navíc elektronická forma dokumentace systému managementu nepřispívá k zavedení pružných organizačních struktur. Hierarchie je, jak dokazuje též literární rešerše výše, s holistickou neslučitelná. S tím souvisí fakt, že typ řízení musí vhodně odpovídat některé z pružných organizačních struktur. Holistika zahrnuje také systém managementu organizace ve všech jeho částech. Jejich provázanost souvisí se stupněm integrace systémů, které organizace uplatňuje. Čím vyšší integrace, tím blíže je k holistice procesů. Autor [Henshall 2019] aplikuje scumy pro práci s procesy, což podporuje pružné organizační struktury a inovační základnu. Úskalí v mladých pracovnících a pracovnících s nízkou kvalifikací, jak je vidí autor [Henshall 2019], není prvotní v souvislosti s procesním přístupem. Jde spíše o vlastní schopnost pracovníka k sebeřízení, cílevědomosti a pokoře bez ohledu na věk a vzdělání. V textu [Urban 2015] je spolupráce podmíněna synergickým účinkem týmu, jenže ten vzniká opět na základě pevných osobních vazeb seberegulace schopných jedinců, což nebývá právě časté.

Měkké dovednosti dle článku [Součková 2019] se dosud ve vzdělávacím systému neprosazují natolik, jak by podle nadcházejících požadavků managementu a Průmyslu 4.0 měly. Toto zároveň generuje hlavní část kvalitativních dat ([Grove 2019]), která je nutno zpracovávat specifickými metodami.

Vše obsaženost znalostí by byla vítána a potřebná, avšak současný rozsah znalostní báze lidstva již překročil kapacitu lidského mozku. Proto je na místě specializace oborová, doplněná všeobecným přehledem a pravidelné doškolení. Potřeba volné komunikace a pospolitosti je lidem vrozena. Pro správný chod procesů jsou důležité.

Osobnostní rysy vycházejí z typologie člověka. Jsou vrozeny a získané výchovou v konkrétním prostředí. Člověk tak může v souvislosti s textem [Authors1 2019] zastávat pouze některé role. Je pro ně předurčen. Podle rozvrstvení osobnostních rysů je poté různá intenzita podpory holistiky procesů. To následně koresponduje se spokojeností pracovníků ([Becková 2018]) a s kvalitou firemní kultury, zmíněné v textu [Authors1 2019]. Kapacity v procesech mají odpovídat rozsahu činností a délce technologických procesů a logistických úloh, jinak hrozí jejich oslabení. Zde se holistika pojí s faktorem času. Procesy totiž patří mezi dynamické systémy. Kvalitní výsledek proto vzniká až po uplynutí příslušného času.

4 PRŮZKUM

Pro konkretizaci poznatků tohoto článku byl zařazen malý průzkum stavu vztahu člověka a holistiky procesů.

Data byla sbírána formou rozhovoru s heterogenní skupinou respondentů a formou pozorování v krátkém časovém období v 7 organizacích, z nichž byly 4 malé a střední organizace a 3 velké organizace. Tyto organizace zahrnují obor: automotive, strojírenství, elektrotechnika, plastikářský, služby. Výstupy jsou převážně komplexní produkty, vycházející ze sériové výroby. V organizacích převažuje hierarchická organizační struktura. Organizace mají zavedeny základní integrované systémy managementu s nízkým stupněm integrace. Jejich dokumentace je převážně elektronická i písemná.

Data jsou kvalitativního typu. Jedná se o neshody, které se vyskytly ve sledovaném období v systémech managementu těchto organizací. Popisují aktuální stav jejich systémů



managementu. Tato data byla podrobena klasické analýze. K jejich kategorizaci byl použit nástroj řízení Afinitní diagram. Vychází v průměru 3 neshody na organizaci, což je zdánlivě málo, ale jedná se o hraniční hodnotu, signalizující zhoršený stav systémů managementu. Z neshod plyne těchto 6 kategorií: kapacity, znalosti, provázanost k systému managementu, chyby řízení, komunikace, ostatní.

Kategorie neshod jsou zde konkretizovány. Neshody kapacit se týkají personální nedostatečnosti a velkého zatížení pracovníků, což následně vede často k fluktuacím. Znalostní neshody se týkají nízkého rozsahu znalostí pro výkon procesů, opomenutí školení, neinformování nadřízenými, neobnovení způsobilosti apod. Neshody provázanosti k systému managementu jsou spojeny s jeho nekompletní provázaností a nízkým stupněm integrace. Chyby řízení se váží k uplatňované hierarchické struktuře. Neshody komunikace odpovídají omezení či absenci komunikace, potřebné pro provoz procesů mezi pracovníky. Ostatní neshody zahrnují nevšímavost, nedokončení práce, záměny, nedostatečnou evidenci, ztráty, nepořádek apod. Lze konstatovat, že úloha lidí je upozaděna. Neshody odpovídají kategoriím problémů v rešerši, týkajícím se hlavně manažerů a času.

Neshody jsou na první pohled banální. Ovšem jejich následky mohou vést až k vážným bezpečnostním incidentům. Např. se může jednat o zhrucení či zranění pracovníka, méně závažné pak jsou následky jako: nekvalitní výsledek procesu, zvýšené náklady, špatná orientace na pracovišti nebo, že v systému managementu chybí některý prvek. Technika je podpůrný prvek, ale sama o sobě k dokonalosti nepomůže, neboť systém managementu je i v poměrně malých organizacích velmi sofistikovaný v důsledku zahrnutí lidského činitele. Z neshod výše je navíc patrné, že jsou výrazně vázány k měkkému činiteli. Jen málo z nich je automatizovatelných, jako např. evidence či záměny. Některé, jako nevšímavost, nedokončování práce apod., jsou de facto osobnostní rysy pracovníků, které lze automatizovat jen dosti obtížně, ne-li vůbec.

Uplatnění nástroje Trojúhelníková tabulka představuje jako nejzávažnější kategorii ostatní, protože tvoří mnoho neshod spojených s osobnostními rysy, které rozhodují o úspěšnosti procesů. Za ní následují dle závažnosti tyto kategorie: komunikace, chyby řízení, znalosti, kapacity. Nejméně důležitá je v tomto výčtu kategorie provázanost k systému managementu, což ovšem neznamená, že systémová integrace není pro organizace důležitá.

Úplnost procesu je dána jeho charakteristikou. Role člověka v procesu, jakožto měkké činitele, lze dále komplexně posoudit pomocí nástroje řízení CATWOE:

- C – následující proces nebo externí zákazník
- A – vykonavatel souboru činností pro přidání hodnoty
- T – přeměna vstup na výstup podle postupu, který provádí konkrétní pracovník
- W – norma ISO 9001 nebo TQM nebo světová dohoda, tedy konsenzus zainteresovaných osob
- O – vlastník procesu, který ho spravuje
- E – okolní kontext, který působí na organizaci a její vnitřní kulturu, tj. osoby mimo daný proces

Pracovník doplňuje systém managementu a působení produkce organizace. Přitom ve vztahu k procesu může zastávat několik rolí. Je nutno zdůraznit, že toto členění odpovídá potřebám pružných organizačních struktur, tím posiluje inovativní schopnosti a podporuje holistiku procesů. Proto je toto

rozdělení rolí odlišné od klasického výčtu, který odpovídá hierarchické struktuře.

Zde posuzovaná problematika byla analyzována i vzhledem k teoretickým východiskům holistiky s ohledem na poznatky v publikacích [Hrbková 2011], [Authors3 2019] a [Authors4 2019].

5 DOPORUČENÍ

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům průzkumu lze doporučit tato počáteční pravidla pro pracovníky, uplatňující holistiku procesů:

- Systematická práce.
- Schopnost seberegulace vč. sebekontroly.
- Ohleduplnost k okolí.
- Potřeba vzdělávání se.
- Tvořivost.
- Informovanost a volná komunikace.
- Domýšlení důsledků činností a jejich úplnosti (prevence) v kontextu okolí, a nejen své osoby.
- Dokončování práce.
- Prostorem realizace je daný proces s jeho cíli a technické prostředky jsou jedním z nástrojů.

6 ZÁVĚR

Z hlediska procesního přizpůsobení organizace je změna možná v krátkém čase řádu měsíců, a to důkladně systémově, tedy holistickou koncepcí, ač častěji je v praxi využití graduální koncepce. Soustava činností podle daného charakteru může oscilovat mezi graduální a holistickou koncepcí. Mozek člověka však až na výjimky tyto převratné změny tak rychle nezvládá. Lpí na stereotypu, je schopen soustředění jen po velmi krátký časový úsek, po němž prudce narůstá procento neshod v důsledku vyčerpání, ztráty koncentrace a působení rušivých vlivů. Měkké systémy jsou pro lidí většinou obtížně pochopitelné. Ve výčtu doporučení jsou uvedeny především základní schopnosti, které má vykazovat člověk v holistických procesech pro posílení jejich konkurenceschopnosti. Tvořivost je pak dílem vrozena a dílem vychází z působení interního okolí (týmu) i podstatného okolí organizace.

Měkké neshody tak ovlivňují interní i externí kontext organizací více a tím jejich produkční kvalitu, rychlost a jiné, než se dříve myslelo. Průmysl 4.0 dokáže odstranit pouze některé z těchto neshod. Důraz na modernizaci zejména technického rázu odsouvá role lidí v holistice procesů do pozadí a tím vede de facto k oslabení výsledků procesů. Výsledky tohoto průzkumu, mimo jiné, poukazují na přímou potřebu některého typu pružné organizační struktury a kvalitního vzdělávání osob v tomto směru a na potřebu dalšího bádání v oblasti měkkých systémů a holistiky.

ACKNOWLEDGEMENTS

This publication was written at the Technical University of Liberec as part of the project 21278 - „Optimization of manufacturing systems, 3D technologies and automation“ with the support of the Specific University Research Grant, as provided by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic in the year 2019.

REFERENCE

Book:



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

[Háša 2016] Háša, S. Co je nového v management. Praha: Nová beseda, z.s., 2016. ISBN 978-80-906089-9-3.

[Nenadál 2018] Nenadál, J. et al. Management kvality pro 21. století. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-7261-561-2.

Paper in a journal:

[Hrbková 2011] Hrbková, M. Vědecké revoluce. Deník Referendum Domov, 2/2011. [online] Citation: 2019-9-10. Available from: <http://denikreferendum.cz/clanek/8746-vedecka-revoluce>

[Urban 2015] Urban, J. Personalistika se nedá dělat podle šablony. Každá firma je jedinečná. Hospodářské noviny IHNEĎ, 1/2015. ISSN 1213-7693. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <https://byznys.ihned.cz/lide-a-personalni-rizeni-manazerske-dovednosti/c1-63440390-personalistika-se-neda-delat-podle-sablony-kazda-firma-je-jedinecna>

Technical reports or thesis:

[Standard ISO 9001 2016] ČSN EN ISO 9001: 2016 Systémy management kvality – Požadavky. (010321) Praha: ÚNMZ, 2016.

WWW page:

[Authors1 2019] Autoři. Pracovní role v praxi. ManagementMania.cz, 2019. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <https://mamagementmania.com/cs/pracovni-role>

[Authors2 2019] Autoři. Lidské zdroje. BusinessInfo.cz, Czech Trade, 2019. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <https://www.businessinfo.cz/cs/faze-podnikani/rozvoj-podnikani/lidske-zdroje.html#!&PG=2>

[Authors3 2019] Autoři. Holistický přístup. Slovník cizích slov, 2019. [online] Citation: 2019-6-18. Available from:

<https://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/holisticky-pristup-1>

[Authors4 2019] Autoři. Holistický princip, holistický přístup. Management Mania Series of Management, 2016. ISSN 2327-3658. [online] Citation: 2019-6-18. Available from: <https://managementmania.com/cs/holisticky-pristup>

[Becková 2018] Becková, T. Nové trendy v HT: co říkají odborníci. Vimvíc.cz, 2018. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <https://www.vimvic.cz/clanek/hr-trendy>

[Dave 2017] Dave, M. Celostní přístup k opravě obchodních procesů. K2.com, 2017. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <httpS://www.k2.co/blog/executiveseries14>

[Grove 2019] Grove, A. What are holistic admissions. 2019. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <https://www.thoughtco.com/what-are-holistic-admissios-788426>

[Henshall 2019] Henshall, A. Agile ISO – a holistic business process management framework. Medium.com, 2019. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: https://medium.com/@adam_51852/agile-iso-a-holistic-business-process-management-framework-d0167ab31c01

[Palata 2019] Palata, K. Role středního management v procesu zvyšování motivovanosti zaměstnanců. Monster, 2019. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <https://www.monster.cz/cz/nabor/clanky/management/vykon-zamestnancu/role-stredniho-managementu-zvysovani-motivovanosti-zamestanancu/>

[Součková 2019] Součková, M. HR trendy 2019. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <http://www.monikasouckova.cz/news/hr-trendy-2019/>

[Sullivan 2019] Sullivan, J. 50 největších problémů hodnocení výkonnosti. Monster, 2019. [online] Citation: 2019-10-31. Available from: <https://www.monster.cz/cz/nabor/clanky/management/vykon-zamestnancu/50-nejvetsich-problemu-hodnoceni-vykonnosti/>



POČÍTAČEM PODPOROVANÉ VZDĚLÁVÁNÍ – POKROK.DIGITAL

František Koblasa¹, Miroslav Vavroušek², Jan Vavruška³, Iryna Hren⁴, Libor Beneš⁵, Radek Havlík⁶, Stefan Nitzsche⁷, Anton Zelensky⁸, Thomas Geipel⁹, Dirk Wohlrabe¹⁰, Andreas Nestler¹¹, Frank Arnold¹², Martin Hartmann¹³,

¹⁻³ TU Liberec, Faculty of mechanical engineering, Department of Manufacturing Systems and Automation, Studentská 2, CZ-46117 Liberec, www.ksa.tul.cz

⁴⁻⁵ Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta strojího inženýrství, Faculty of Mechanical Engineering, Pasteurova 7, CZ-40096 Ústí nad Labem, www.ujep.cz/cs

⁶ Střední průmyslová škola strojího a elektrotechnická a Vyšší odborná škola, Liberec 1, Masarykova 3

⁷⁻⁹ TU Bergakademie Freiberg, Institute for Maschinenelements, Design and Manufacturing, Chair of Additive Manufacturing, Agricolastraße 1, D-09599 Freiberg, www.imkf.tu-freiberg.de

¹⁰⁻¹¹ TU Dresden, Institut für Berufspädagogik und Berufliche Didaktiken, Professur für Metall- und Maschinentechnik / Berufliche Didaktik, Weberplatz 5, D-01217 Dresden, www.tu-dresden.de/gsw/ew/ibbd/mmt-et

¹²⁻¹³ TU Dresden, Institut für Fertigungstechnik, Professur Formgebende Fertigungsverfahren, George-Bähr-Straße 3c, D-01069 Dresden, www.tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/if/ff

e-mail: Frantisek.koblasa@tul.cz

Technologická příprava, plánování a řízení výroby jsou jedny z nejnáročnějších oblastí z hlediska získávání znalostí a dovedností. Až na výjimky se při výuce aplikují pouze principy pasivního vzdělávání a to zejména z důvodů nemožnosti si tyto činnosti vyzkoušet a to jak z časových, tak z finančních důvodů. Nedostatek pracovníků s odpovídajícími znalostmi a dovednostmi neustále vzrůstá a to zejména na úrovni učňovského, středoškolského a prvního stupně vysokoškolského vzdělání. Tuto situaci se snaží řešit několik akademických institucí v rámci mezinárodní spolupráce Česko-Sasko. Článek v krátkosti seznamuje se základními principy řešení této situace pomocí simulačních nástrojů, které vznikly v rámci projektu Pokrok.Digital. Vyhodnocuje základní výhody a nevýhody společně s hodnocením předběžných výsledků testování v českém prostředí.

KEYWORDS

Pokrok.digital, Počítačem podporované vzdělávání, Unity 3D, e-learning, CAEd

1 ÚVOD

S neustále vzrůstajícími nároky na znalosti a dovednosti absolventů sekundárního (učňovského a středního) a prvního stupně terciálního (bakalářské) vzdělávání vzrůstají i nároky na způsoby výuky. Zvláště v oblasti technického vzdělávání

(strojího, stavebního, elektrotechnického aj.) se klade důraz na získávání praktických zkušeností. Zde současný klasický systém poskytuje vedle teoretického získávání znalostí také možnost získávání praktických dovedností, ať již v laboratorních podmínkách vzdělávací instituce či pomocí praxe v partnerských společnostech.

Jsou však oblasti, které jsou s ohledem na časovou náročnost a důsledky plynoucí z chyb vznikajících v průběhu procesu učení obtížné jak pro studenta, tak pro pedagoga. Nejedná se pouze o finanční náklady na odstranění chyb, ale také možné zdravotní důsledky.

Jednou z takových oblastí je technologická příprava, plánování a řízení výroby. Tuto situaci si dlouhodobě uvědomují jak vysokoškolské, tak středoškolské vzdělávací instituce v České republice a v Svobodném státě Sasko, které již od roku 2017 řeší tuto situaci v rámci projektu „Pokrok - Prakticky orientovaný rozvoj kompetencí v produkční technice v regionech prostřednictvím kooperace.digital“, financovaný Saskou rozvojovou bankou a státním rozpočtem České republiky.

Partnerské instituce se rozhodly řešit tuto situaci pomocí implementace prvků Počítačem podporovaného vzdělávání CAEd (Computer Aided Education).

CAEd, taktéž označovaná za CAE (jenž je také používaná pro Computer Aided Engineering), CAL (Computer Based Learning) či CAT (Computed Based Training) mají již dlouhou tradici počínající vznikem prvních mechanických počítačů pro sebe testování studentů [Benjamin 1988].

Již v 60 letech minulého století, kdy profesori Patrick Suppes a Richard C. Atkinson experimentovali s využitím počítačové techniky ve výuce na základní škole v East Palo Alto, Californii [Cingi 2013] se CAEd orientovalo na výuku přírodních věd (v tomto případě matematiky).

S rozvojem výpočetní techniky a její větší dostupností v 80 letech minulého století se využití osobních počítačů rozrostlo veskrze všechny vědní obory. Na Delaware university (USA) jej využívalo 9000 studentů výukový systém PLATO [Eberts 1988] v 112 kurzech.

Mimo rozvoj a dostupnost výpočetní techniky značně ovlivnil CAEd také vznik a rozvoj internetu. Dodnes je nejnámějším CAEd systémem právě e-learning. Ten umožnil značnou liberalizaci výukového systému a přístupu k informacím počínaje již k tradičně demonstrováné Wikipedii [Wannemacher 2010] konče glorifikovaným materiálům světoznámé MIT, která uvolnila všechny svoje přednášky k nekomerčním účelům již v roce 2001 v rámci iniciativy MIT OpenCourseWare [Zhang 2003].

CAEd se však neomezuje pouze na organizaci výuky, testování studentů či poskytování výukových materiálů v digitální podobě. CAEd se také orientuje na využití principů hry ve výuce, které byly definované již v 17. století [Komenský 1930]. Nejnámějším příkladem je pak aplikace hry Sim city 2000, která studenty motivovala k získávání dovedností v dynamickém prostředí plánování infrastruktury města, které by bylo jen obtížně sprostředkovatelné pomocí klasických prvků výuky.

Obecně tak lze říci, že CAEd se orientuje zejména na tyto oblasti:

- Školení a hodnocení znalostí založené na výukových materiálech.
- Výuka a získávání dovedností pomocí simulace.

- Kreativní a vzdělávací hry.
- Projektově a problémově orientovaná výuka.

Právě na využití her a simulačního nástroje se soustředí navržená digitální platforma.

Následující kapitoly popisují nejprve problematiku výuky technologické přípravy plánování a řízení výroby z pohledu akademických institucí, ale také požadavků středních škol a průmyslové praxe. Dále pak popisují řešení této problematiky pomocí digitální platformy Pokrok.Digital spolu s předběžnými výsledky jejího testování ve výuce s důrazem na zpětnou vazbu od studentů.

2 PROBLEMATIKA TECHNOLOGICKÉ PŘÍPRAVY, PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY TRÍSKOVÝCH TECHNOLOGIÍ

Zpětná vazba z průmyslové praxe, ale i ze vzdělávacích institucí poukazují na závažné nedostatky v kompetencích absolventů v oblasti technologické přípravy výroby a samotné realizaci procesu obrábění. Pro to, aby bylo možné současnou situaci zlepšit bylo nutné nejprve identifikovat konkrétní požadavky na znalosti a dovednosti a jejich míru naplnění pomocí odborných kurzů.

Tato analýza byla provedena ve 3 fázích:

- Identifikace a míra naplnění požadavků praxe
- Analýza sylabů vyučovaných předmětů a jejich plnění studenty
- Analýza nedostatků náplně předmětů.

Každá z partnerských organizací prováděla tento úkol samostatně na základě kulturních zvyklostí a podmínek jednotlivých institucí. Výsledky pak byly popsány tak, aby odpovídaly názvosloví a vyjadřovaly společné oblasti, na které by se měla Digitální platforma zaměřit. S ohledem na provázanost otázek jsou výsledky prezentovány jako analýza požadavků průmyslové praxe a vzdělávacích institucí.

2.1 Analýza požadavků průmyslové praxe

Identifikace a plnění požadavků praxe v ČR proběhla jak v čistě výrobních organizacích, tak v organizacích vědecko-výzkumných (mimo systém vysokých škol), které mají jako jednu z výrobních oblastí třískové obrábění. Ať již jako hlavní náplň výroby-obchodu či jako prostředek pro výrobu vlastních zařízení pro výrobu a údržbu dílů vlastních zařízení.

V rámci šetření byla zvolena forma strukturovaného dotazování, bez pevně stanovených otázek, avšak se stanovenými oblastmi a jejich strukturou. Fyrmy se nevyjadřovali pouze k absolventům, ale i k nedostatkům, které mají „zkušeni pracovníci“. Tučně jsou zvýrazněny požadavky, na které byl kladen při odpovědích důraz, jak z důvodu subjektivní četnosti výskytu u absolventů (zejména u nedostatků), tak z důvodu subjektivního vnímání důležitosti. Níže popsané formulace výsledků šetření se snaží co nejvíce zachovat ráz odpovědi, což na jedné straně způsobuje nejednotnost formulace odpovědí, ale také zdůrazňuje profesní a citové zabarvení odpovědi.

Analyzovány byly následující role resp. profese a jejich nedostatky:

- Konstruktér
 - **Nemá znalosti a dovednosti technologičnosti konstrukce.**

- Nedostatky v principech kótování a uvádění zbytečné tolerance. Nedávají se kóty podle toho, jak se měří ale k jednotné základně. Nereálné tolerance.
- Nezohledňuje technologický postup / projektování výroby (přesnosti neodpovídají s ohledem na výrobní buňku).
- **Neumí základní cenové kalkulace výrobku.**
- Je potřebná znalost materiálů cen a složení.
- Nedostatky ve volbě vhodného materiálu (technologie – výkovek, výlisek, odlitek).
- Neuvažuje dědičnost výrobků.
- **Nepoužívá principy modulární konstrukce, modifikace vs. přizpůsobení.**
- Chybí standardizace konstrukčních prvků součástí.
- Nepoužívá konstrukčně technologické a výrobní standardy, např. barevné standardy pro povrchy.

Technolog

- Znalost dostupných a vhodných přípravků.
- Znalosti materiálů a chemicko - tepelného zpracování.
- Znalost zaměnitelnosti technologií (cementovat, nitridovat).
- Znalost materiálů cen a složení.
- Znalost práce na stroji – práce programátora i obsluhy.
- **Znalost konstrukce - kinematiky stroje** (rozsahy posuvů rotačí atd.)
- Popis charakteristických prvků do IS pro použití vyhledávání a uplatnění dědičnosti.
- Standardizace konstrukčních prvků součástí a technologické „balíčky postupů - podprogramů“
- **Znalosti v oblasti plánování a řízení výroby** (především výrobní ukazatele).

Projektant

- Znalost posloupnosti procesů a nástrojů pro jejich návrh (spaghetti diagram atd.).
- **Nedávat stroje tam kde je volno, ale používat procesní mapy.**
- Vzájemné ovlivňování pracovního prostředí a technologií (hlavně vibrace atp.)
- Bezpečnost a hygiena práce (hlavně hluk atd.).
- Znalost manipulační techniky (hlavně jeřáby a jejich uspořádání, nosnost).
- **Znalosti z oblasti LEAN, plánování a řízení výroby** (hlavně řízení a minimalizace zásob)

CNC programátor

- Standardizace programů dle zvyklostí firmy.
- Jednotná databáze nástrojů a řezných podmínek.
- **Přizpůsobení řezných podmínek specifickému stroji** (dva stejné typy stroje nejsou totožné).
- Znalosti v oblasti nástrojového hospodářství.

Seřizovač

- **Umět číst výkres a technologický postup.**
- Upnutí nástroje a materiálu.
- Znalosti o efektivitě, produktivitě a kvalitě.
- **Znalosti v oblasti LEAN, plánování a řízení výroby** (SMED, činnosti přidávající a nepřidávající hodnotu).
- Znalosti v rámci údržby TPM.
- Znalosti nástrojového hospodářství.



- Obsluha CNC stroje
 - Řezné podmínky pro nástroj u soustruhů.
 - **Čtení technické dokumentace k nástrojům.**
 - Nejsou znalosti základní matematiky.
 - **Logické myšlení, selský rozum.**
 - Znalosti v oblasti LEAN, plánování a řízení výroby (SMED, činnosti přidávající a nepřidávající hodnotu).
 - Práce se SW (především IS, CAD/CAM)
 - Výrobní ukazatele, odvádění výroby, materiálové a nástrojové hospodářství.
 - Preventivní údržba, standardizace a kvalita.
 - Řízení změn a modifikací v rámci zakázky.
 - Upínání obrobků, přípravků a nástrojů.
 - Vložit šoupatko na přepočít rychlostí.
 - Rozdělení materiálů do skupin dle obrobitelnosti.
 - Záleží na tuhosti stroje – při málo tuhém mají problémy s výrobkem vyrobít bez rozklepání stroje a jakosti výrobku. U více tuhého nedokáží využít jeho potenciál.
 - Ruční dialogové programování – hlavně čas, struktura - podprogramy, chyby s kolizemi
 - Geometrie nástrojů a jejich broušení (nože, ani vrtáky skoro neumí).
 - Základy manipulace s těžkými břemeny, zaškolení jeřábník a vazač.
- Kontrolor
 - **Čtení výkresové dokumentace.**
 - **Neumí používat jinou šupleru než digitální.**
- Mistr/plánovač
 - Znalosti japonských řídicích systémů (Lean) – hlavně nepřizpůsobovat.
 - **Znalosti informačních systémů.**
 - Znalost práce s lidmi.
 - Detailně znát technologie a jednotlivé stroje na dílně s jejími odchylkami.
 - **Znalost čtení plánu a záměnu technologií u specifických operací.**
 - **Znalost psychologie.**
 - Základy honorování práce – lidí.
 - Znat aktuální hodnoty výrobních ukazatelů.
 - Poskytovat rychlou zpětnou vazbu a součinnost pracovníkům.
 - Vedení porad – motivace.
 - **Umět chválit.**
- Absolvent obecně
 - **Zodpovědnost za odvedenou práci a stroje. Samostatnost. Dodržování bezpečnosti.**

2.2 Analýza vzdělávacích institucí

Analýza vzdělávacích institucí v ČR probíhala na několika úrovních. Nejprve se analyzovala náplň sylabů a následně jejich nedostatky:

- Nedostatky připravenosti absolventů z předchozích vzdělávacích institucí, které zabraňují efektivnímu vzdělávání v následujících stupních, ať již na úrovni firmy či na úrovni terciálního vzdělávání.
- Nedostatky náplně sylabů z pohledu odborníků na vzdělávání a průmyslové praxe.

Obecně lze říci, že znalosti studentů ze středních škol jsou na velmi různých úrovních. Významně to souvisí s typem a odborným zaměřením a kvalitou výuky na střední škole, kterou student absolvoval. Rozdílné znalosti mají studenti po absolvování střední průmyslové školy strojní (příp. učňovské školy s maturitou) a po absolvování gymnázia. Při výuce odborného předmětu na VŠ je nutné tyto rozdíly respektovat a přizpůsobit způsob výuky (ne však obsah).

Ze zevrubné analýzy klasifikace studentů předmětu, zaměřeného na technologii obrábění, ovšem nevyplývají jednoznačné závěry typu absolvent střední průmyslové školy strojní má dobré výsledky a absolvent gymnázia nemá dobré výsledky. Lze tedy konstatovat, že záleží na individuálním přístupu a zájmu studenta o zvolený obor.

V návaznosti na sylaby předmětů bakalářského a magisterského navazujícího studia byly pak identifikovány jednotlivé oblasti:

- Technologické postupy - učí se samostatně jednotlivé výrobní technologie obrábění (tj. vrtání, soustružení, frézování, broušení apod.), ale chybí jejich návaznosti při konkrétním tvaru dílu. Chybí vysvětlení priority operací na jednom díle - např. jaký je rozdíl v pořadí operací s ohledem na přesnost výroby (tenké stěny, žebra, ale i např. zápichy vs. dokončený obvod).
- Nástroje a nástrojové systémy - učí se materiály nástrojů a stanovování řezných podmínek, ale chybí možnosti upnutí, jejich vliv na přesnost, trvanlivost nástroje apod. Možností upnutí se myslí jak strana nástroj - držák (Weldon, upínání do kleštiny, hydraulické upínače apod.), tak strana držák - stroj (ISO kužel, Capto apod., dáno především strojem, ale při nákupu nového stroje je možnost volby)
- Upínání obrobků - neučí se vůbec či velmi málo (v podstatě se předpokládá, že rotační díl na soustruhu se upne do sklíčidla, hranol na vrtačce nebo frézce do svěráku). Pojmy upínka, lícní deska atd. studentům navazujícího studia bez předchozí průmyslové školy strojního zaměření nic neříkají.
- Metrologie chyběla v době analýzy úplně (dnes je částečně zařazena do standardní výuky v bakalářském studiu na TUL). Řada studentů navazujícího studia neumí správně použít posuvné měřítko nebo mikrometr, s jakou přesností mohou s danými měřidly měřit apod. Dále mají např. problém s odečítáním nonia.
- CNC stroje na bakalářském studiu často chybí úplně (na TUL je pouze v navazujícím studiu). Bylo by vhodné seznámit studenty alespoň se základy této problematiky. Určení CNC strojů, jejich výrobní možnosti, přesnost vs. opakovatelnost, druhy a základy prací potřebných pro přípravu výroby na CNC strojích (seřizování nástrojů, pozice polotovaru, vazba na NC program).

Je však nutné podotknout, že vyučovat všechny oblasti je nad časové možnosti studia, ale alespoň základní seznámení pro představu, co vše je třeba, by studenti mít měli. Je názorem dotazovaných pedagogů na TUL, že to vše by se dalo shrnout do několika málo přednášek a hlavně cvičení.

Zásadním problémem je, že teorie se často učí, ale chybí manuální praxe.

3 STRUKTURA DIGITÁLNÍ PLATFORMY

Struktura digitální platformy, která je vytvořena v prostředí Unity 3D vychází z předchozí analýzy a zaměřuje se na hlavní 2 oblasti kompetencí:

- Komplexní znalost návrhu technologického postupu včetně návržení upínacích přípravků, režných rychlostí a alternativního výběru stroje.
- Znalost realizace výrobního úkolu včetně znalosti výkresové dokumentace, výrobního postupu, pracovních lístků dalších výrobních dokumentů, které mají absolventi znát a aktivně využívat.

V obou oblastech je pak uvažována rozdílná obtížnost činností. U první oblasti jsou nastaveny 3 úrovně:

U první obtížnosti dostane uživatel popis výrobního procesu znázorněného pomocí grafu, ve kterém jsou zobrazeny správně nastavené „mezi-stavy“, a uživatel musí k nim přiřadit správné operace.

U druhé obtížnosti má uživatel zadán hotový výrobek a jeho úkolem je definovat jak jednotlivé „mezi-stavy“, tak operace.

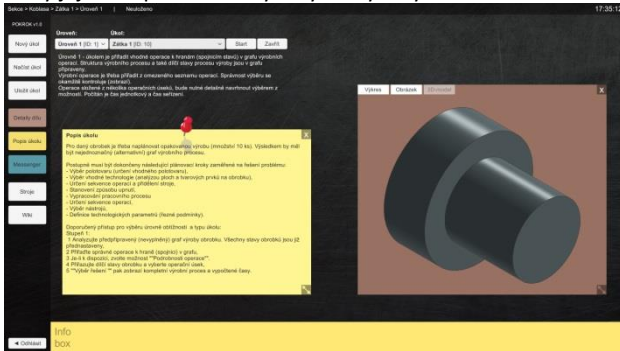
V poslední úrovni (třetí) pak navíc oproti úrovni druhé musí uživatel specifikovat režné podmínky a způsob upnutí. To vše na základě znalosti dostupné výkresové dokumentace.

Definování mezi-stavů (není definován český výraz – neodpovídá českým normám) pak odpovídá tzv. hrubému plánování, definování operací pak odpovídá tzv. detailnímu plánování. V ČR je zvyklostí toto nerozlišovat a určovat obě v rámci definování operací.

Druhá oblast (realizace výroby) obsahuje dvě obtížnosti a to realizace výrobního procesu s nápovědou a bez nápovědy.

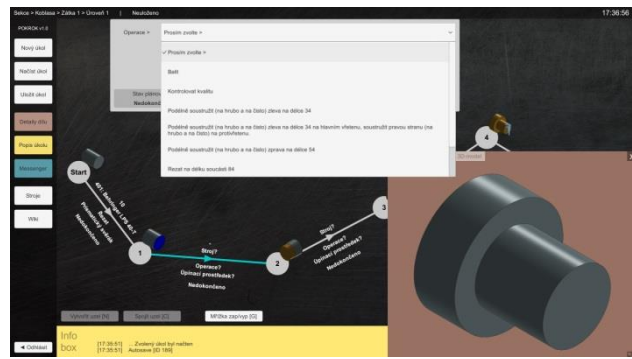
Digitální platforma obsahuje možnost jednotlivé oblasti zahrát zvlášť či procvičit celý proces od návrhu technologického postupu až po výrobu výrobku.

Při hraní celého procesu si student nejprve vybere výrobek, který jej bude provázet celým výukovým cyklem viz obr 1

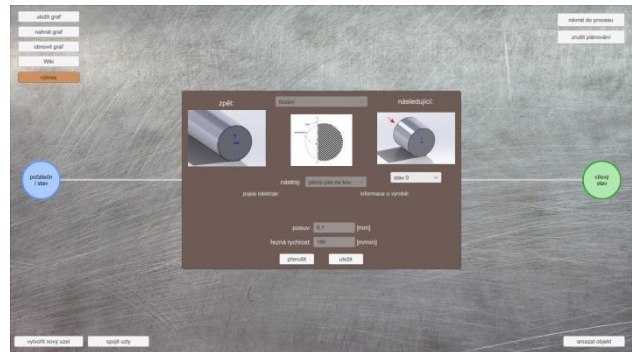


Obrázek 3. Výběr a popis výrobku

Pak na základě zvolené obtížnosti nejprve provede definici hrubého (obr 2) a detailního výrobního plánu (obr 3), jehož výsledky jsou pak shrnuty v Technologickém postupu (obr 4)



Obrázek 2. Definice hrubého výrobního plánu



Obrázek 3. Definice Detailního výrobního plánu



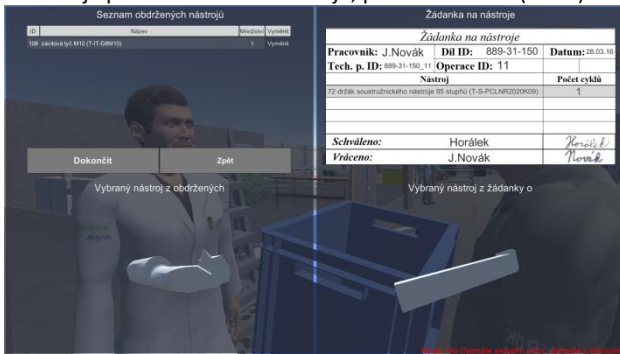
Obrázek 4. Technologický postup

Z technologického postupu si pak student volí operaci, kterou chce vyrobit. Následně pak po krátkém seznámení s dílnou a jednotlivými prvky ovládání si může student pomocí interaktivního prostředí vyzkoušet procesy na dílně. Celým postupem ho provází v závislosti na zvolené obtížnosti nápověda.



Obrázek 5. Seznámení s výrobním scénářem

Důležitou součástí simulace pouze interakce se strojním zařízením, ale tak jako ve skutečnosti je nedílnou součástí interakce se zaměstnanci ve výrobě počínaje výrobním mistrem, konče skladníkem a nástrojařem. V rámci dialogů pak student řeší konfliktní situace jako například vydání nevhodného nástroje. To studenta na jedné straně upozorňuje na možné chyby ve výrobním procesu, na druhou stranu umožňuje procvičit znalost nástrojů, polotovarů atd. (obr 6).



Obrázek 6 Dialog výdeje nástroje.

Po splnění administrativních činností přistupuje student k činnostem přímo související s výrobou. Pracovník zaznamenává veškeré činnosti s ohledem na výkonosti zdrojů, tak jak je to obvyklé ve výrobních organizacích. Po zaznamenání začátku seřízení pracoviště a provedení samotné činnosti (obr 7) pokračuje simulace dle zadaných úkonů, výrobou kontrolou jakosti a případným znovu seřízením stroje.



Obrázek 7 Pracovní listek – začátek seřizování

V rámci průběhu procesů je pak možné sledovat časový průběh operace jak pomocí času, tak progressbaru. V případě dlouho trvajících činností, jejichž délka odpovídá času definovaného v technologickém postupu, je možné čas značně zrychlit (obr 8).



Obrázek 8 Seřízení stroje

Při výrobě se tak jako v reálných systémech vyskytuje zmetkovitost. Zmetkovitost má základní pravděpodobnost výskytu, kterou lze ovlivnit správným výběrem nástroje. Operátor má možnost po každém vyrobeném kusu výrobek zkontrolovat. Tuto činnost může provádět při běhu stroje, a tak uspořit čas, či počkat na vyhodnocení zmetku – jakostního kusu (obr 9). V případě nalezení zmetku následně musí seřídit znovu stroj pro napravení chyby. V závěrečném hodnocení je pak nenalezený zmetek hodnocen více negativně, než nalezený.



Obrázek 9 Kontrola jakosti při chodu stroje

Po vyrobení prvních třech kusů přechází výroby do zrychleného módu, který se zastavuje pouze v případě vyrobení zmetku. Po dokončení výroby, odevzdání výrobků a nástrojů odpovídajícím pracovníkům vyhodnotí mistr výkonost pracovníka (obr 10).



Obrázek 10 Kontrola jakosti při chodu stroje

Vyhodnocení je provedeno standartním způsobem dle jednotlivých činností přidávajících a nepřidávajících hodnotu. Tím je celá simulace ukončena.



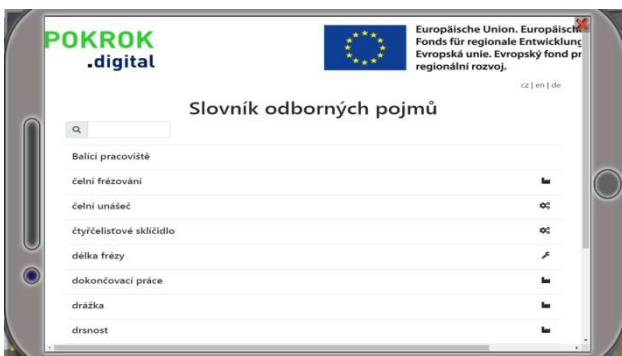
Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

V případě, že student nenachází všechny informace, které by považoval za nutné k dokončení, je možné spustit mobilní aplikaci (obr11),

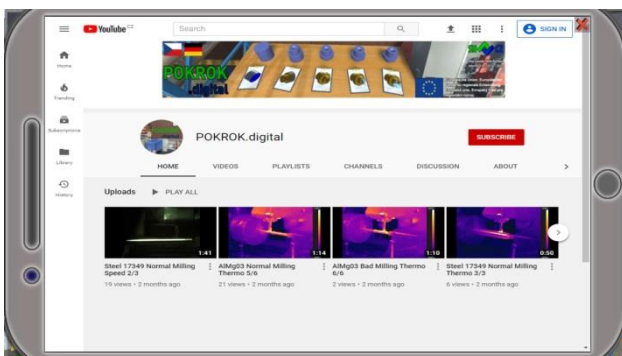


Obrázek 11 Mobilní aplikace

Ta obsahuje nejen výkladový slovník (obr 12), ale také multimédia (např. videa – obr 13), který popisují výrobní procesy na reálných strojích.



Obrázek 12 výkladový slovník



Obrázek 13 YouTube kanál projektu

4 TESTOVÁNÍ PILOTNÍHO ŘEŠENÍ

Studenti v obou fázích testovali jak scénáře vzniklé primárně na TUD a TUBAF (tvorba technologického postupu), tak scénář vzniklý zejména na TUL (realizace výrobního procesu). Proto byl

dotazník navržený na TUD rozšířen o otázky, které specifikují jednotlivé scénáře a jejich podrobnosti tak, aby bylo možné získat zpětnou vazbu k jednotlivým dílčím prvkům digitální platformy.

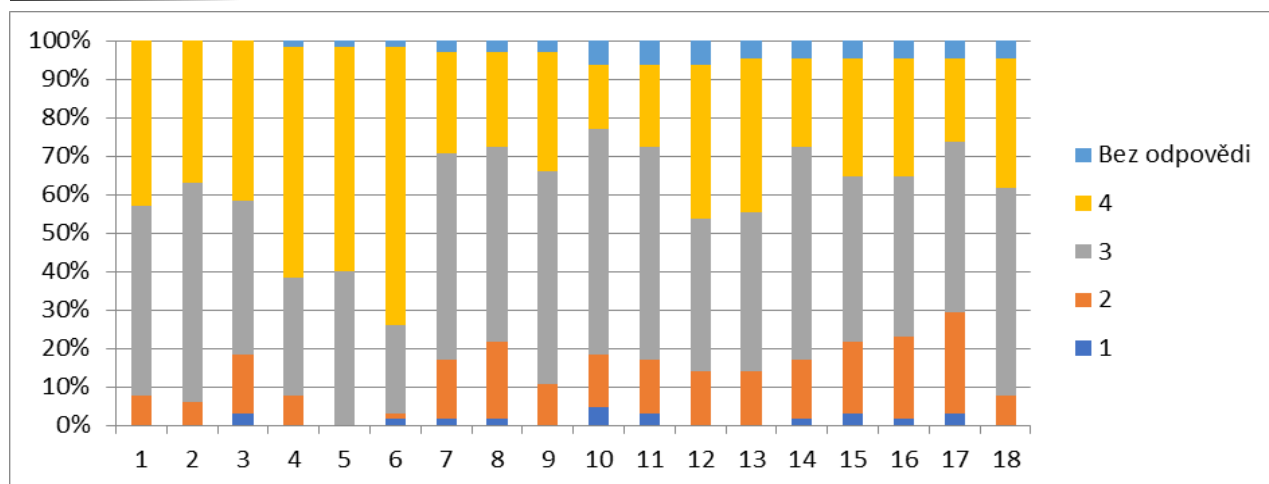
Studenti byli dotazováni na následující otázky:

- 1 Obecné
 - 1.1 Myslím si, že využití simulační hry pro podporu výuky dává smysl.
 - 1.2 Vazba mezi technologickou přípravou výroby (navržení operací a úseků včetně časových normativů) a výrobou (dodržení normativů) je zřejmá.
 - 1.3 Cíl, obsah a způsob fungování simulační hry je jasný.
 - 1.4 Chápu princip první úrovně obtížnosti tvorby sledu operací.
 - 1.5 Chápu princip první úrovně obtížnosti tvorby sledu úseků.
 - 1.6 Chápu princip první úrovně obtížnosti výroby součásti (s nápovědou).
 - 1.7 Chápu princip druhé úrovně obtížnosti tvorby sledu operací.
 - 1.8 Chápu princip druhé úrovně obtížnosti tvorby sledu úseků.
 - 1.9 Chápu princip první úrovně obtížnosti výroby součásti (bez nápovědy).
 - 1.10 Chápu princip třetí úrovně obtížnosti tvorby sledu operací.
 - 1.11 Chápu princip třetí úrovně obtížnosti tvorby sledu úseků
 - 1.12 Po použití simulační hry je mi aplikace síťového grafu na popis výrobního procesu zřejmá.
 - 1.13 Úkoly jsou v simulační hře zadány jasně.
 - 1.14 Všechny nezbytné kroky vedoucí k vyřešení úloh v simulační hře jsou dobře vysvětleny.
 - 1.15 Všechny informace potřebné k dokončení úkolů jsou dostupné.
 - 1.16 Simulační hra mě v průběhu hraní dostatečně a srozumitelně informuje o tom, že dělám něco špatně/dobře tak, aby bylo možné úkoly dokončit.
 - 1.17 Simulační hra je uživatelsky přívětivá
 - 1.18 Myslím si, že hra popisuje reálné procesy ve výrobě
- 2 Názory a doporučení na zlepšení simulační hry:
 - 3 V průběhu odehrávání scénářů jsem narazil(a) na tyto závažné chyby

Studenti, tak jako u ostatních kooperačních partnerů odpovídaly na otázky kategorie 1. ve škále:

- 1 Nesouhlasím
- 2 Převážně nesouhlasím
- 3 Převážně souhlasím
- 4 Zcela souhlasím

Výsledky zpětné vazby (obr 14) vypovídají o vysoké míře uspokojení studentů s novými principy, která implementace digitální platformy zavádí do výuky. Jsou zde však aspekty, které je nutné zlepšit pro plné nasazení od výuky.



Obrázek 44. Výsledky odpovědí

Jak je patrné z výsledků anket, nejvíce nespokojených odpovědí se týkalo přívětivosti uživatelského prostředí (1.17 - 29%), srozumitelnosti zadání a zpětné vazby o chybných krocích při průběhu scénáře přímo aplikací (1.16 - 23%), které souvisí s dostupností informací přímo v aplikaci (1.15 - 22%). To se zejména projevilo v scénáři druhé úrovně obtížnosti tvorby sledu úseků (22%), který měli studenti samostatně zpracovat doma.

Nejvíce kladně pak byly hodnoceny nejnižší úrovně obtížnosti zadání (1.4 -1.6). Celkově byla hra hodnocena velmi kladně a to pro neobvyklou formu přístupu, který digitální platforma nabízí. Studenti se také angažovali v otevřených otázkách 2 a 3, kde bylo zpracováno mnoho připomínek od 36 studentů. Mezi nejčastější pak patřili:

- Ovládání aplikace - Je potřeba zlepšit způsob přihlašování do aplikace, tvorbu grafu, kvalitu a rychlost animací
- Scénář první úrovně obtížnosti výroby součástí (s nápovědou) je příliš jednoduchý
- Ostatním scénářům chybí relevantní nápověda přímo v aplikaci.
- Je potřeba okamžitá zpětná vazba od aplikace (ne od učitele) pokud něco udělám špatně.
- Celkový cíl není (vnitřní motivace hrát scénáře) zřejmý pokud se vyloučí čas a skóre v jednom ze scénářů.

Řada drobných připomínek mimo výše uvedený seznam byla pak implementována v průběhu či po dokončení první testovací fáze připomínek v rámci verzí 9.c-9e v roce 2018.

Před uvedením tohoto článku proběhlo další testování v pokročilé verzi simulační hry 14e, nebylo již ale možné výsledky zpracovat.

5 ZÁVĚR

Je nutné zdůraznit, že projekt Pokrok.Digital neměl za cíl vytvořit nástroj o rozsahu herních simulátorů jako je SimCity. Měl však za úkol definovat oblasti a vhodné nástroje pro rozvoj kompetencí v oblasti výroby pomocí třískových technologií. Přes to, že aplikace zaostává za komerčními řešeními zejména v ovládání a vizualizaci, jedná se o ojedinelý nástroj, který dle zpětné vazby má velký potenciál v oblasti vzdělávání.

ACKNOWLEDGEMENTS

Autoři by chtěli poděkovat Evropské Unii, Evropskému fondu pro regionální rozvoj v kooperačním programu Svobodné státní Sasko a České republiky v letech 2014-2020, Saské rozvojové bance za podporu projektu Pokrok.Digital (100281976) a všem projektovým partnerům za spolupráci.

The authors would like to thank the European Union, the European fund for regional development in the cooperation program Free State of Saxony and Czech Republic 2014-2020, the Saxon Development Bank for supporting the project Pokrok.Digital (100281976) and all project partners for the trusting cooperation.

REFERENCES

- [Eberts 1988] Eberts, Ray E. "Computer-aided education." Tutorials. Springer, New York, NY, 1988. 37-44.
- [Cingi 2013] Cingi, Can Cemal. "Computer aided education." Procedia-Social and Behavioral Sciences 103, 2013 : 220-229.
- [Benjamin 1988] Benjamin, Ludy T. "A history of teaching machines." American psychologist 43.9 1988: 703.
- [Wannemacher 2010] Wannemacher, Klaus, and Frank Schulenburg. "Wikipedia in academic studies: corrupting or improving the quality of teaching and learning?." Looking toward the future of technology-enhanced education: Ubiquitous learning and the digital native. IGI Global, 2010. 295-311.
- [Zhang 2003] Zhang, Dongsong, and Jay F. Nunamaker. "Powering e-learning in the new millennium: an overview of e-learning and enabling technology." Information systems frontiers 5.2 2003: 207-218.
- [Komentsky 1930] Komentský, Jan Amos. Didaktika velká. Překlad Augustin Krejčí. Praha: Dědictví Komenského, 1930. 314 s.
- [Adams 1998] Adams, Paul C. "Teaching and learning with SimCity 2000." Journal of geography 97.2 (1998): 47-55.



ÚLOHA HR V LEAN MANAGEMENTU

Natalie Pelloneová

Technická Univerzita v Liberci, Ekonomická fakulta,
Katedra podnikové ekonomiky a managementu, Liberec,
Česká republika

e-mail: natalie.pelloneova@tul.cz

Lean management lze zavést v jakékoli oblasti podnikání. Cílem každého „štíhlého“ podnikání je snížit plýtvání, racionalizovat procesy a eliminovat ty, které nepřidávají hodnotu. Aby byl lean management úspěšný, musí zahrnovat všechny složky podnikání, což mimo jiné znamená, zapojit i zaměstnance. Příspěvek se zabývá vztahem mezi řízením lidských zdrojů a štíhlou výrobou. Zkoumá dopad štíhlé výroby na řízení lidských zdrojů a naopak.

KEYWORDS

štíhlá výroba, lean management, řízení lidských zdrojů, lidský kapitál, lidské zdroje

1 ÚVOD

V nedávné době došlo k výraznému nárůstu výzkumu vlivu lidského kapitálu na úspěch v oblasti štíhlé výroby (angl. lean production) a štíhlého řízení (angl. lean management). Před rokem 1990 byla většina výzkumu zaměřena spíše na technické aspekty provozu než na záležitosti související s lidskými zdroji [Power 1997, 2000]. Od 90. let se mnoho autorů začalo stále více zaměřovat na výzkum toho, proč vlastně štíhlá výroba funguje či nefunguje a jaké jsou zdroje úspěchu štíhlého řízení. V souvislosti s těmito otázkami je faktorům souvisejícím s řízením lidských zdrojů věnována větší pozornost. Někteří autoři, kteří se věnují štíhlé výrobě, diskutují významné dopady, které tento výrobní systém přináší do oblasti řízení lidských zdrojů. Další autoři jako např. [Samson 1993] uvádějí, že nové výrobní systémy nemohou být jednoduše implementovány do organizace, aniž by byla předem věnována pozornost řadě zásadních otázek z oblasti lidských zdrojů. Také [Forza 1996] považuje lidské zdroje za jeden z klíčových nástrojů štíhlé výroby a zároveň zdůrazňuje důležitost nábory a školení lidských zdrojů pro úspěch celého štíhlého řízení. [Paez 2004] poukazuje na skutečnost, že štíhlá výroba vyžaduje integraci lidských a technologických postupů. Aby byl podnik schopen plnit své vytyčené cíle mělo by tedy dojít ke společné optimalizaci technologických a lidských systémů.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Štíhlé řízení a štíhlá výroba

Termín „štíhlý“ se používá k označení souboru nástrojů určených ke zvýšení konkurenceschopnosti podniků systematickým odstraňováním všech druhů plýtvání [Shah 2007]. Štíhlé řízení a štíhlá výroba byly v posledních desetiletích přijaty společnostmi v nejrůznějších odvětvích služeb a průmyslu. V mnoha případech umožnila společností implementace štíhlého řízení zlepšit jejich výkonnost a konkurenceschopnost [Moyano-Fuentes 2012]. Štíhlé řízení se orientuje na maximální uspokojení potřeb jednotlivého

zákazníka, což je ústřední determinanta úspěchu [Tuček 2006]. Hlavní principy štíhlého řízení jsou:

- Zaměření se na efektivní poskytování hodnot koncovým uživatelům.
- Respektování a zapojení lidských zdrojů.
- Zjištění a vyloučení neefektivních procesů.
- Systém tahu.
- Usilování o dokonalost.

Tyto výše jmenované principy jsou odvozeny ze základního pohledu na štíhlé myšlení, které uvádí, že pokud je každý pracovník vyškolen, aby identifikoval zbytečný čas a úsilí ve své práci a lépe spolupracoval na zlepšení procesů odstraněním těchto zdrojů plýtvání bude výsledným efektem pro celou organizaci větší přidaná hodnota a nižší náklady. Štíhlé myšlení zahrnuje mnohem hlubší a pronikavější kulturní transformaci, nejedená se pouze soubor nástrojů štíhlé výroby, jakkoli jsou tyto nástroje důležité, představují pouze „taktické“ aspekty celkového souboru zásad, hodnot a cesty ke štíhlosti. Štíhlost je třeba chápat jako celistvý systém, který musí prostoupit kulturu organizace [Liker 2007].

Klíčovým prvkem štíhlé výroby jsou mimo jiné také lidské zdroje. Pouze zaměstnanci mohou proces zdokonalovat a svou prací přímo ovlivňovat kvalitu výrobku. Nevyužívání jejich potenciálu je chápáno jako plýtvání, neboť jejich znalosti a zkušenosti lze promítnout do řady zlepšovací návrhů, které jsou důležité nejen ve stádiu implementace štíhlé výroby, ale také ve fázi zdokonalování. Především při zavádění principů štíhlé výroby do podnikové praxe bývá oblast lidských zdrojů mnohdy opomíjena. Právě toto opomíjení bývá jednou z hlavních příčin neefektivnosti zavedených principů. Pro úspěšnou implementaci jakéhokoliv nástroje štíhlé výroby je nezbytné, aby o jeho vhodnosti bylo přesvědčeno nejen vedení podniku, ale i samotní pracovníci. Pokud však nejsou se zaváděním prvků štíhlé výroby dostatečně seznámeni všichni zaměstnanci, nemůže být taková snaha nikdy úspěšná. Proto je zapotřebí veškeré plánované změny se zaměstnanci probrat a motivovat je, aby se aktivně zapojovali svými nápady a tím napomáhali k neustálému zlepšování všech podnikových činností [Kristová 2010].

2.2 Řízení lidských zdrojů

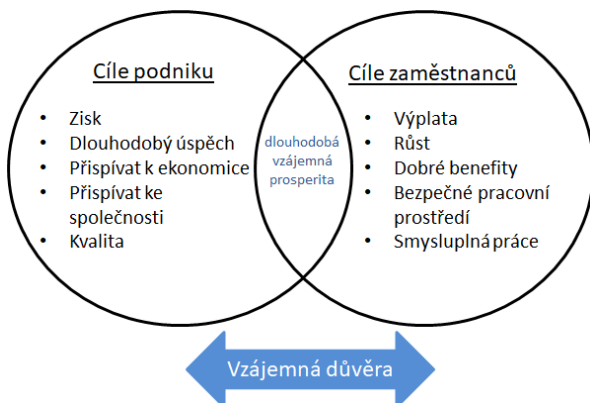
Řízení lidských zdrojů je velmi důležitějším faktorem úspěchu. Lidské zdroje jsou tím, co podstatně ovlivňuje chod podniku, jeho procesů, ale i kvalitu výrobků. Proto by společnosti měly dbát o rozvoj svých pracovníků [Mikešová 2016]. Personalisté a HR manažeři ve spolupráci s ostatními manažery řídí to nejcennější v celé organizaci – lidské zdroje. Účastní se výběru vhodných pracovníků, mají možnost pracovníky vést a motivovat a vytvářet tak podmínky pro společný úspěch [Bastlová 2011].

Cílem procesů v oblasti lidských zdrojů je zlepšit výkonnost organizace pomocí zvyšování výkonnosti zaměstnanců. V rámci řízení lidských zdrojů se lze setkat s různými procesy, jejichž cílem je zlepšit schopnosti a dovednosti zaměstnanců. Principy štíhlého řízení se i v tomto případě stávají pro personalisty užitečnými.

Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

2.2.1 Štíhlá výroba a řízení lidských zdrojů

Literatura o štíhlé výrobě uvádí, že rozhodujícím faktorem při zavádění změn je plné čerpání z mentálních schopností všech zaměstnanců ve výrobním procesu. Je zapotřebí čerpat vědomosti nejen manažerů nebo inženýrů. Dokonce i samotní mechanici a operátoři mají určitý přehled o strojích, procesech a postupech založených na jejich každodenní práci. Toto je zdroj odborných znalostí, které lze využít při jakémkoli úsilí o zvýšení výkonnosti výrobních podniků. Jako držitelé kritických odborných znalostí by operátoři měli mít pravomoc přijímat rozhodnutí související s jejich prací, aniž by museli získat rutinní rozhodnutí od vedoucího. Také by měli očekávat, že budou jejich návrhy na zlepšení pečlivě vyhodnoceny.



Obrázek 5. Vztah mezi podnikovými a zaměstnaneckými cíli

Efektivní zavedení štíhlé výroby vyžaduje motivované, kvalifikované pracovníky a integraci HR praktik do výrobní strategie [MacDuffie 1995]. Kvalifikovaní a informovaní pracovníci, kteří ale nejsou motivováni, pravděpodobně nepřispějí ke zvýšení výkonnosti. Na druhé straně motivovaní pracovníci, kteří ale postrádají potřebné dovednosti nebo znalosti, přispívají k podnikové výkonnosti také pouze nepatrně. To znamená, že společnost by v ideálním případě měla propojit soubor výrobních postupů souvisejících s minimalizací plýtvání a soubor praktik v oblasti lidských zdrojů souvisejících s rozšiřováním dovedností a motivací pracovních sil [Flynn 1995; MacDuffie 1995; Forza 1996; Shah 2003; Smith 2003]. Správné řízení lidských zdrojů je v systému štíhlé výroby nesmírně důležité. Ve firmě, která přijala štíhlé myšlení, by pracovníci měli navštěvovat průběžná školení, aby se ujistili, že jejich dovednosti zůstávají aktuální. Toto propojení HR praktik a štíhlé výroby je však stále prakticky neprobádáno. [Tracey 2006] výzkumem zjistili, že prediktorem „štíhlého“ úspěchu nejsou nástroje specifické pro výrobu, ale lidské zdroje. Termín „štíhlý“ je v oblasti lidských zdrojů definován jako odstraňování plýtvání z HR procesů.

Většina výzkumu zaměřeného na zlepšování procesů se zaměřuje spíše na různé techniky z hlediska průmyslového inženýrství, kvality nebo řízení provozu např. [Deming 1986; Pšek 2013], nikoli z pohledu lidských zdrojů. Jiní odborníci však zjistili, že má-li štíhlé řízení snižovat překážky plynoucí z plynulého výrobního toku neustálým zlepšováním a odstraňováním zbytečného času a pohybu, měli by být pracovníci vybaveni dovednostmi, které jim pomohou kontrolovat své pracovní prostředí, aby tohoto cíle dosáhli [Torella 2012].

[Cua 2001] ukazuje, jak štíhlé výrobní programy jako je např. TQM, JIT a TPM zahrnují některé praktiky z oblasti lidských zdrojů a jaký mají dopad na výkonnost. [Osterman 1994] také konstatuje, že pro úspěšnou implementaci TQM je nezbytná podpora HRM postupů. [Kholopane 2007] ve svém výzkumu dokázali, že při správném uplatňování inovativních postupů v oblasti lidských zdrojů lze podporovat celkovou účinnost strojních zařízení a tím i zvyšovat produktivitu společnosti. Prezentovaný výzkum vyzdvihuje některé prvky z oblasti lidských zdrojů, které lze aplikovat i v systému TPM.

[Bonavia 2011] se ve svém výzkumu rozhodli analyzovat dopad štíhlé výroby na personální politiku a řízení lidských zdrojů (dále HRM). Druhým cílem jejich výzkumu bylo zjistit, zda implementace postupů HRM spojených se štíhlou výrobou vysvětluje rozdíly v organizační výkonnosti mezi jednotlivými výrobními závody. Výzkumem bylo zjištěno, že společnosti, které využívají postupy štíhlé výroby co nejlépe, jsou zároveň ty, které dbají na to, aby školily pracovníky v používání těchto postupů. Zároveň bylo výzkumem zjištěno, že rozdíly v organizační výkonnosti mezi výrobními závody byly jen minimální.

2.3 Nástroje zaměřující se na využití lidského potenciálu ve výrobě

V následující podkapitole jsou popsány vybrané nástroje a techniky využívané v konceptu štíhlé výroby, které přímo využívají lidský kapitál.

2.3.1 Jidoka

Označení jidoka zahrnuje podle [Mašín a Vytlačil 2000] technická opatření, která činí stroj schopným rozhodovat o průběhu operace. Tato koncepce řízení jakosti byla vyvinuta v 50. letech 20. století společností Toyota. Tato metoda je založena na principu okamžitého zastavení výrobní linky v případě, že se ve výrobním procesu objeví jakákoliv abnormalita [Vochozka a Mulač 2012]. Stroj je vybaven takovými mechanismy, jako jsou dotykové spínače nebo počítadla dávek, které v případě výskytu chyby, procesní abnormality nebo jakéhokoliv problému stroj automaticky zastaví a informují o daném problému obsluhu. Toto opatření by mělo zabránit předání vadného dílu na další stanoviště a zajistit, že se chyba dále neopakuje, nevstupuje do dalšího kroku výrobního procesu a je sjednána co nejrychlejší náprava [Váchal a Vochozka 2013].

2.3.2 Total Productive Maintenance (TPM)

Totálně produktivní údržba (angl. Total Productive Maintenance; dále TPM) je progresivní systém organizace a provádění údržby na celopodnikové bázi [Mašín a Vytlačil 2000]. Koncepce systému TPM byla vyvinuta v Japonsku v roce 1951. Systém TPM je založen na týmově prováděné preventivní, produktivní a prediktivní údržbě, která umožňuje předcházet poruchám, redukuje defekty a krátkodobé prostoje [Mašín a Vytlačil 2000]. Systém TPM vyžaduje účast všech zaměstnanců od top managementu až po obsluhující pracovníky a zahrnutí všech strojů a výrobních zařízení.

Tato celopodniková koncepce údržby strojů a zařízení využívá schopností a dovedností každého pracovníka společnosti, nikoli



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

pouze pracovníků z oddělení údržby [Mašín a Vytlačil 2000]. Hlavním cílem TPM je maximalizace efektivnosti výrobního zařízení a snížení ztrát v provozu strojů.

2.3.3 5S

Název této metody pochází z pěti japonských slov, která začínají na písmeno S: Seiri, Seiton, Seisou, Seiketsu a Shitsuke, a která označují pět pilířů pro dosažení čistého, přehledného a organizovaného pracoviště [Mašín a Vytlačil 2000]. Společně tyto pilíře vytváří nepřetržitý proces zlepšování pracovního prostředí a jejich zavedení by mělo být prvním krokem k jakémukoli zlepšovacím procesu [Liker 2007]. Úspěšné zavedení pěti pilířů metody 5S by mělo vytvořit příjemnější pracovní prostředí, zvýšit produktivitu, zefektivnit a zkvalitnit práci. Mezi hlavní výhody metody 5S patří:

- umožňuje zaměstnancům podávat kreativní nápady,
- napomáhá vytvoření příjemnějšího pracoviště,
- přináší pocit uspokojení z práce,
- snižuje množství defektů,
- snižuje množství odpadu,
- podporuje bezpečnost pracovníků a přispívá ke snižování úrazovosti na pracovišti,
- napomáhá odstranění nepořádku a zastaralých věcí,
- odhaluje a redukuje plýtvání,
- přispívá k tvorbě zákaznické loajality a snižuje počet zákaznických stížností,
- vytváří kulturu neustálého zlepšování,
- podporuje týmovou práci [Moulding 2010].

3 VYUŽITÍ LIDSKÝCH ZDROJŮ PŘI ZAVÁDĚNÍ TPM VE VYBRANÉM PODNIKU

Proces metody TPM byl na lince zahájen formou TPM karet a TPM nástěnky. Metoda TPM byla využita pro úzká místa výrobního procesu, kterými byla dvě pracoviště svařovací robot H-table a 10-ti osý svařovací robot. Zaměstnanci jednotlivých pracovišť mají za úkol pečovat o výrobní stroje a zařízení, monitorovat stav výrobního zařízení a při zjištění nějaké skutečnosti (abnormality), která má nebo by mohla mít vliv na bezpečnost práce, stav zařízení, produktivitu nebo kvalitu, vyplnit TPM kartu.

TPM karty jsou umístěny na lince u TPM nástěnky a jsou tak pracovníkům okamžitě k dispozici. Jsou používány tři typy TPM karet, které jsou barevně rozlišené dle stupně závažnosti problému:

- žlutá karta – údržbářské závady (běžné poruchy),
- modrá karta – elektrické závady (porucha na elektroinstalaci),
- červená karta – bezpečnostní závady (porucha s vlivem na bezpečnost).

Na lince je umístěna korková TPM nástěnka, která je rozdělená na tři následující sloupce:

- Identifikované (odhalená abnormalita),
- Vykonávané/Plánované,
- Vykonané (odstraněná abnormalita).

Obsluha stroje vezme dle identifikované poruchy příslušnou TPM kartu a vyplní v horní a spodní části TPM karty následující údaje:

- datum,
- číslo stroje,
- jméno pracovníka,
- stručný čitelný popis abnormality.

Spodní část TPM karty odtrhne a připevne na TPM nástěnku dle barevného rozřazení do sloupce „Identifikované“. Horní část TPM karty připevne na stroj u místa poruchy. Úkolem pracovníka údržby je průběžně sledovat stav abnormalit na TPM nástěnce ve sloupci „Identifikované“ a zajišťovat jejich odstranění. V případě, že odstranění zjištěné abnormality není schopn provést, informuje vedoucího údržby. Při řešení abnormality přesune TPM kartu ze sloupce „Identifikované“ do sloupce „Vykonávané/Plánované“ a doplní aktuální datum řešení abnormality. Do stejného sloupce přesune TPM kartu i v případě čekání na objednaný materiál, který je pro řešení abnormality nezbytný. Po dokončení opravy přesune TPM kartu ze sloupce „Vykonávané/Plánované“ do sloupce „Vykonané“.

Pro kontrolu provádění aktivit v rámci samostatné údržby je na obou pracovištích umístěn kontrolní seznam TPM. V kontrolním seznamu jsou stanoveny jednotlivé úkoly, kdo daný úkol provádí, kolik času má úkolu věnovat, příslušný týden v měsíci, směna a den v týdnu. Po splnění daného úkolu pracovník potvrdí označením příslušného pole v kontrolním seznamu vykonání úkolů z oblasti samostatné údržby.

Na začátku směny pracovník provede následující úkoly:

- zkontroluje stav a funkčnost bezpečnostních závor;
- provede vizuální kontrolu elektrických kabelů, hadic a senzorů;
- zkontroluje stav a funkčnost všech upínek (pneumatických i ručních).

Na konci směny pracovník provede následující úkoly:

- s pomocí čistící utěrky a ocelového kartáče očistí přípravek od prachu a okují,
- pomocí koštěte zamete pracoviště.

Metoda TPM byla na vybrané montážní a svařovací lince zavedena na dvou pracovištích (svařovací robot H-table a 10-ti osý svařovací robot). Ekonomický přínos metody TPM lze vyjádřit pomocí počtu odhalených abnormalit na výrobním zařízení. Abnormality jsou díky metodě TPM odhaleny včas a pracovník údržby provede opravu výrobního zařízení v době, kdy linka nevyrábí (např. v době plánovaných přestávek). Díky včasnému zásahu nevznikají z důvodu poruchy stroje neplánované prostoje ve výrobě, ke kterým by došlo, pokud by byla abnormalita ponechána bez povšimnutí. Pracovník údržby by byl v takovémto případě nucen vykonat opravu stroje v době, kdy probíhá výroba, což by znamenalo částečné omezení výroby, v nejhorším případě by byla výroba na lince zcela zastavena.

Průměrná doba opravy jedné abnormality je 19 minut. Průměrný počet abnormalit, které se za měsíc na obou pracovištích vyskytnou, je 14. Doba oprav abnormalit tedy měsíčně představuje 266 minut, což je 4,43 hodiny využití výrobního času.



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

Nejhorší možná varianta by byla taková, při které by oprava abnormality vyžadovala zastavení provozu na celé lince a všech osm pracovníků by přerušilo výrobu. Vynásobením 4,43 hodiny počtem pracovníků na lince a nákladem firmy na pracovníka na hodinu, který je ve výši 200 Kč, lze vypočítat úsporu ve výši 7 088 Kč za měsíc.

Náklady na realizaci metody TPM představují náklady na pořízení TPM tabule a TPM karet, které si společnost nechala vytvořit na zakázku v ceně 2 485 Kč. Pro výpočet čisté úspory jsou náklady na realizaci metody TPM rozpočítány na každý měsíc, tedy na 207 Kč měsíčně. Celková čistá měsíční úspora ponížená o náklady dosahuje výše 6 881 Kč.

4 ZÁVĚR

Příspěvek se zabýval vztahem mezi řízením lidských zdrojů a štihlou výrobou. V první části příspěvku by zkoumán dopad štihlé výroby na řízení lidských zdrojů a naopak v teoretické rovině. Ve druhé části příspěvku bylo na vybraném podniku popsáno využití lidských zdrojů při zavádění TPM na montážní a svařovací lince. Pomocí ekonomického zhodnocení bylo zjištěno, že zavedení této metody přineslo čisté měsíční úspory ve výši 6 881 Kč.

REFERENCE

- [Bastlová 2011] Bastlová, H. Řízení lidských zdrojů ve vybraném podniku. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2011.
- [Bonavia 2011] Bonavia, T. and Marin-Garcia, J. Integrating human resource management into lean production and their impact on organizational performance. *International Journal of Manpower*, 2011, Vol. 32, No. 8, pp 923-938. ISSN 0143-7720
- [Cua 2001] Cua, K., McKone, K. and Schroeder, R. G. Relationships between implementation of TQM, JIT and TPM and manufacturing performance. *Journal of Operations Management*, 2001, Vol. 19, No. 6, pp 675-94. ISSN 0272-6963
- [Deming 1986] Deming, W. E. *Out of the crisis*. Cambridge: MIT Press, 1986. ISBN: 978-02-625-4115-2
- [Flynn 1995] Flynn, B. B. and Sakakibara, S. Relationship between JIT and TQM: practices and performance. *Academy of Management Journal*, 1995, Vol. 38, No. 5, pp 1325-38. ISSN 0001-4273
- [Forza 1996] Forza, C. Work organization in lean production and traditional plants. What are the differences? *International Journal of Operations & Production Management*, 1996, Vol. 16, No. 2, pp 42-62. ISSN 0144-3577
- [Kholopane 2007] Kholopane, P. A., Pretorius, L. and Strauss, A. Some Effects of a Human Resources Strategy on Total Productive Manufacturing (TPM) improvement. In: *PICMET '07 - 2007 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology*, Portland, 5-9 August, 2007. IEEE. ISBN 978-1-8908-4315-1
- [Kristová 2010] Kristová, D. *Zavádění principů štihlé výroby*. Brno: Masarykova univerzita, 2010.
- [Liker 2007] Liker, J. K. *Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce*. Praha: Management Press, 2007. ISBN 978-80-7261-173-7
- [MacDuffie 1995] MacDuffie, J. P. Human resource bundles and manufacturing performance: organizational logic and flexible production systems in the world auto industry. *Industrial and Labour Relations Review*, 1995, Vol. 48, No. 2, pp 197-221. ISSN 0019-7939
- [Mašín 2000] Mašín, I. a Vytlačil, M. *Nové cesty k vyšší produktivitě: Metody průmyslového inženýrství*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. ISBN 80-902-2356-7
- [Mikešová 2016] Mikešová, B. *Uplatnění štihlé výroby v podniku*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2016.
- [Moulding 2010] Moulding, E. *5S: a visual control system for the workplace*. Central Milton Keynes: AuthorHouse, 2010. ISBN 978-1-4490-2977-7
- [Moyano-Fuentes 2012] Moyano-Fuentes, J. and Sacristán-Díaz, M. Learning on lean: a review of thinking and research. *International Journal of Operations & Production Management*, 2012, Vol. 32, No. 5, pp 551-582. ISSN 0144-3577
- [Osterman 1994] Osterman, P. How common is workplace transformation and who adopts it? *Industrial & Labor Relations Review*, 1994, Vol. 47, No. 2, pp 173-88. ISSN 0019-7939
- [Paez 2004] Paez, O. D., Genaidy, J., Tuncel, A., Karwowski, W. and Zurada, J. The lean manufacturing enterprise: an emerging sociotechnological system integration. *Human Factors & Ergonomics in Manufacturing*, 2004, Vol. 14, No. 3, pp 285-306. ISSN 1520-6564
- [Plsek 2013] Plsek, P. E. *Accelerating health care transformation with Lean and innovation: The Virginia Mason experience*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. ISBN 978-14-822-0383-7
- [Power 1997] Power, D. J. and Sohal, A.S. An examination of the literature relating to issues affecting the human variable in just-in-time environments. *Technovation*, 1997, Vol. 17, No.11/12, pp 649-666. ISSN 0166-4972
- [Power 2000] Power, D. J. and Sohal, A.S. An empirical study of human resource management strategies and practices in Australian just-in-time environments. *International Journal of Operations & Production Management*, 2000, Vol. 20, No. 8, pp 932-958. ISSN 0144-3577
- [Samson 1993] Samson, D., Sohal, A. S. and Ramsay, E. Human resource issues in manufacturing improvement initiatives: case study experiences in Australia. *The International Journal of Human Factors in Manufacturing*, 1993, Vol. 3, No. 2, pp 135-52. ISSN 1522-7111
- [Shah 2003] Shah, R. and Ward, P. T. Lean manufacturing: context, practice bundles and performance. *Journal of Operations Management*, 2003, Vol. 21, No. 2, pp 129-149. ISSN 0272-6963
- [Shah 2007] Shah, R. and Ward, P. T. Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 2007, Vol. 25, No. 4, pp 785-805. ISSN 0272-6963
- [Smith 2003] Smith, A., Oczkowski, E., Noble, C. and Macklin, R. New management practices and enterprise training in Australia. *International Journal of Manpower*, 2003, Vol. 24, No. 1, pp 31-47. ISSN 0143-7720
- [Torella 2012] Torella, M. S., Falzon, P. and Morais, A. Participatory design in Lean production: Which contribution from employees? For what end? *Work*, 2012, Vol. 41, pp 2706-2712. ISSN 1051-9815
- [Tracey 2006] Tracey, M.W. and Flinchbaugh, J.W. How Human Resource Departments Can Help Lean Transformation, *Target*, 2006, Vol. 22, No. 3, pp 5-10. ISSN 0924-1884
- [Tuček 2006] Tuček, D. a Bobák, R. *Výrobní systémy*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. ISBN 80-731-8381-1



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

[Váchal 2013] Váchal, J. a Vochozka, M. Podnikové řízení. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4642-5
[Vochozka 2012] Vochozka, M. a Mulač, P. Podniková ekonomika. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4372-1



VLIV POLOHY RAMENE, LOKTE A ZÁPĚSTÍ NA VÝSLEDKY EMG - PŘEDBĚŽNÉ VÝSLEDKY

Martin Kába, Ilona Kačerová

Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 2732/8, 301 00 Plzeň

e-mail: kaba@kpvc.zcu.cz, ikacerov@kpvc.zcu.cz

Výzkum se zabývá hodnocením dopadu poloh horních končetin (ramena, lokte a zápěstí) na lokální svalovou zátěž horních končetin. Lokální svalová zátěž je měřena metodou integrované elektromyografie a následně vyhodnocena dle české legislativy. Jedná se o úvodní studii, která zpracovává prvotní výsledky experimentů.

KEYWORDS

Ergonomie, EMG, svalová zátěž, pracovní polohy

1 ÚVOD

Pracovníci v dnešní době čelí problému nemoci z povolání. Ta může být způsobena mnoha problémy a může být trvalá, nebo dočasná. Indispozice pracovníka je však nepříjemná jak pro něj, tak pro jeho zaměstnavatele. V České republice bylo v roce 2017 hlášeno 1 370 nemocí z povolání 1 117 pracovníků (551 žen a 566 mužů). Ve srovnání s rokem 2016 se celkový počet hlášených nemocí z povolání zvýšil o 73 (tj. 5,6 %). V roce 2017 byli nejvíce postiženi pracovníci v odvětvích „výroba motorových vozidel, přívěsů a návěsů“, „sociální péče a sociální péče“ a „těžba a dobývání“. Pracovníci ve výrobě motorových vozidel trpěli převážně přetížením končetin (155 případů) a profesionální dermatózou (16 případů). Nejčastěji hlášenou diagnózou je syndrom karpálního tunelu. Ten může být způsoben přetížením končetin (více než 320 hlášených případů) nebo vibracemi (více než 140 hlášených případů). [SZU 2016] [SZU 2017] Syndrom karpálního tunelu je suverénně nejčastější nemocí z povolání, se kterou se lze u pracovníků setkat. Incidence tohoto onemocnění je udávána mezi 180 až 346 diagnostikovanými případy/100 000 obyvatel a rok. Ženy jsou v tomto případě postižovány zhruba 3x častěji než muži. [Minks 2014]

Tento výzkum je zaměřen na problematiku lokální svalové zátěže v oblasti rukou a předloktí. Lokální svalovou zátěž lze hodnotit několika způsoby – integrovanou elektromyografií nebo tenzometrickou a výpočetní metodou. Při výzkumu byla použita metoda integrované elektromyografie, která patří k experimentálním vyšetřovacím metodám, které umožňují objektivní vyhodnocení neuromuskulární aktivity registrací bioelektrických potenciálů. Jedná se o neinvazivní metodu, která používá povrchové elektrody k zachycení signálů. [EMG 2001a] Výzkum se zabývá hodnocením dopadu poloh horních končetin (lokte a zápěstí) na lokální svalové zatížení. Jedná se o úvodní studii.

2 METODIKA VÝZKUMU

Cílem výzkumu je hodnocení dopadu poloh horních končetin (ramena, lokte, zápěstí) na svalovém zatížení rukou a předloktí. Skupina 15 mužů z České republiky ve věku 20 – 45 let byla měřena pomocí integrované elektromyografie, výsledky byly následně hodnoceny. Pracovní polohy v České republice jsou hodnoceny dle NV 361/2007 Sb., ty určují, zda je pracovní poloha přijatelná, podmíněně přijatelná a nepřijatelná. Nařízení vlády také určuje úhly lidského těla (např. rameno, zápěstí, záda atd.), ve kterých může pracovník pracovat. Výzkum byl zaměřen na dynamickou aktivitu a to ve třech polohách ramene (flexe), čtyřech polohách lokte a čtyřech polohách zápěstí. Měření muži v ruce při pohybu drželi závaží (0 kg, 2 kg, 4 kg, 6 kg, 8 kg, 10 kg v případě pohybů lokte a ramen), v případě pohybů zápěstí se jednalo o závaží 0 kg, 2 kg a 4 kg. Účastníci měření vždy provedli jeden pohyb s jednou vahou. Úhel jejich pohybu byl měřen standardními goniometry. Výsledky z měření byly ve speciálním softwaru EMG Analyzer následně zpracovány a přepočteny na průměrnou Fmax.

3 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

V dnešní době je známo a v praxi využíváno několik typů elektromyografie. Od elektromyografie jehlové, při které jsou zaváděny jehličky do příslušných svalů až po elektromyografii povrchovou, kdy je sval měřen pomocí povrchových elektrod, které jsou nalepeny na příslušné místo. Výzkum byl proveden s měřicím přístrojem EMG Holter.

Tento přístroj byl vyvinut pro hodnocení lokální svalové zátěže horních končetin, konkrétně svalů ruky a předloktí. Přístroj umožňuje celosměnový záznam čtyř EMG signálů a pulsní frekvence. Během snímání EMG jsou ukládány integrální hodnoty a frekvence EMG signálů. EMG Holter obsahuje volný DC kanál pro připojení dalšího vnějšího modulu. Veškeré snímané hodnoty jsou ukládány do interní paměti přístroje, která umožňuje zaznamenávat data ze všech 4 kanálů až po dobu 17-ti hodin. Uložená data se po skončení měření přenášejí do počítače k dalšímu hodnocení. [EMG 2001a] [EMG 2001b] [Vitalion 20019]

Samotný Holter je malá kompaktní jednotka z ocelového plechu tloušťky 0,8 mm, která zajišťuje vysokou odolnost a zároveň chrání elektroniku přístroje proti elektromagnetickému a elektrostatickému rušení. EMG svody jsou připojovány prostřednictvím konektorů, jejichž konstrukce zabraňuje samovolnému uvolňování a následnému přerušení snímání dat. Do jednoho svodu jsou instalovány dva EMG kanály, což snižuje počet kabelů a zjednodušuje tak samotné snímání. Pro snímání elektrických potenciálů jsou použity snímací elektrody. Elektrody jsou na kůži vybraného svalu připevněny pomocí jednorázových gelových elektrod. [Vitalion 20019] [EMG 2018] Výsledky z měření jsou ve speciálním softwaru EMG Analyzer následně zpracovány a hodnoceny dle NV 361/2007 Sb.

4 PRŮBĚH EXPERIMENTU

Na probandovu ruku jsou přilepeny elektrody – 5 elektrod (dvě červené elektrody na extensor, dvě žluté elektrody na flexor a jedna zelená elektroda jako zemnicí, která je přilepena na loketní kost). Probandi po připojení EMG Holteru namačkali na dynamometru Jamar Plus+ maximální svalovou sílu (Fmax), jedná se o sílu, kterou je vyšetřovaná osoba schopna dosáhnout

při maximálním volním úsilí, které je vynakládáné konkrétními svalovými skupinami. Poté proband postupuje dle plánu, nejprve je zkoumána pravá ruka – rameno. Proband provede pohyb ramene z neutrální polohy (ruce podél těla) do 40° (nejprve bez závaží). Poté ruku vrátí zpět do neutrální polohy. Následují pohyby se závažími (0kg – 10kg). Poté je se všemi závažími proměřena ruka levá, následně je provedeno měření do dalších úhlů ramene. Následuje měření lokte - probandova ruka je v neutrální poloze 0°, loket je poté ohnut do – 30°a následně zpět do 0°. Tento pohyb je opakován se závažím (0 kg, 2 kg, 4 kg, 6kg, 8 kg, 10kg). Poté ruka odpočívá a stejný pohyb je opakován s rukou levou. Následuje ohyb ruky z 0°do – 60°a zpět, vše se opakuje pro obě ruce a pro všechna závaží. Poté je měřen pohyb lokte 0°až + 30°a následně 0°až + 60°. Po změřením všech úhlů lokte se všemi závažími je měřen pohyb zápěstí. Pohyb zápěstí je zkoumán následujícím způsobem, probandova ruka je položena do vhodné výšky, ruka se opírá o stůl, proband nejprve provádí pohyb s nulovým závažím, poté s 2kg závažím a nakonec s 4kg závažím. Nejprve je provedena extenze zápěstí (závaží je drženo nadhmatem), poté je zkoumána flexe zápěstí (závaží je drženo podhmatem), následně je zkoumána ulnární dukce zápěstí (závaží je opět drženo nadhmatem) a nakonec je proveden pohyb radiální dukce (závaží opět drženo nadhmatem). Ruce jsou během jednotlivých měření střídány. Zároveň jsou mezi měřeními 10 vteřinové pauzy. Po měření je proband odpojen od EMG Holteru.

5 ZPRACOVÁNÍ DAT

Po ukončení měření jsou data uložena do přístroje a přetažena do počítače, kde jsou následně zpracována ve speciálním softwaru EMG Analyzer. Pohyby byly během měření ohraničeny markerem. Každý z těchto pohybů je následně vyhodnocen jako průměrné % Fmax. Průměrná svalová síla (% Fmax) je síla, která je vyjádřena v relativních hodnotách průměrnou směnovou časově váženou hodnotou % Fmax v průměrné směně. [KSHSK 2018] Průměrná směnová časově vážená hodnota % Fmax nemůže v průměrné osmihodinové směně překročit 30 %, tato hodnota je pro vyhodnocení brána jako stěžejní. [zakonyproliidi 2007]

6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Obsahem této kapitoly jsou předběžné výsledky vyhodnocené jako průměrné hodnoty z osmi měřených probandů. Následující dvě podkapitoly podrobně znázorňují výsledky měření pohybů loktů a zápěstí.

6.1 Vliv polohy ramene na výsledky EMG

Následující tabulka zobrazuje výsledné průměrné hodnoty % Fmax z měření pohybů ramen a to:

- Rameno 0 – 40°(flexe),
- Rameno 0 – 60°(flexe),
- Rameno 0 – 80°(flexe).

		0kg	2kg	4kg	6kg	8kg	10kg
Rameno 40°	Extensor PR	0,5075	8,516	11,201	16,243	19,523	21,856
	Flexor PR	0,467	3,11	4,98	8,05	10,25	13,632
	Extensor LR	1,011	9,843	13,215	15,388	20,052	25,643
	Flexor LR	0,661	4,068	8,523	10,908	13,518	15,278
Rameno 60°	Extensor PR	0,725	13,497	14,228	18,681	22,529	27,753
	Flexor PR	0,736	4,007	4,963	7,292	9,353	12,382
	Extensor LR	1,027	9,768	10,615	17,68	21,832	24,30
	Flexor LR	1,358	14,051	13,895	18,852	24,413	31,20
Rameno 80°	Extensor PR	0,701	5,305	6,326	7,665	9,39	12,342
	Flexor PR	1,58	11,551	14,061	20,845	26,703	30,199
	Extensor LR	0,858	6,338	8,663	11,077	15,867	21,820
	Flexor LR	0,735	10,047	12,728	14,15	18,728	22,829

Tabulka 1 – Výsledky měření EMG ramene (flexe)

Veškeré experimenty byly provedeny nadhmatem, právě z tohoto důvodu jsou vynaloženy vyšší síly u extensorové skupiny horní končetiny. Flexory vykazují nižší svalové zatížení. Průměrné % Fmax stoupá. Pravá horní končetina (v tomto případě take dominantní) má nižší výsledky lokální svalové zátěže než končetina levá (submisivní). Největší vzrůst je mezi 0kg a 2kg. Z výsledků také vyplývá, že není doporučeno zvedat 10kg zátěží do 80°.

6.2 Vliv polohy lokte na výsledky EMG

Následující tabulka zobrazuje výsledné průměrné hodnoty % Fmax z měření pohybů loktů a to:

- loket 0 – -30°,
- loket 0 – -60°,
- loket 0 – +30°,
- loket 0 – +60°.

		0kg	2kg	4kg	6kg	8kg	10kg
Loket -30	Extensor PR	2,31	5,77	8,10	10,62	14,68	19,47
	Flexor PR	0,75	4,88	8,14	10,93	14,92	22,05
	Extensor LR	2,60	6,45	9,54	12,95	14,63	18,94
	Flexor LR	1,62	7,20	11,01	15,95	21,69	26,52
Loket -60	Extensor PR	2,34	4,67	7,74	11,62	16,11	18,50
	Flexor PR	1,10	3,20	7,11	10,75	17,04	20,07
	Extensor LR	2,73	6,89	10,92	12,85	16,96	19,99
	Flexor LR	2,08	6,99	9,49	14,91	24,68	31,07
Loket +30	Extensor PR	2,21	6,50	8,45	10,07	16,40	13,25
	Flexor PR	1,33	4,26	8,36	12,71	16,40	21,15
	Extensor LR	2,58	8,09	9,91	11,37	13,78	21,03
	Flexor LR	1,90	9,31	14,12	19,69	26,36	30,06
Loket +60	Extensor PR	2,30	7,87	9,16	13,24	15,76	18,77
	Flexor PR	1,25	6,61	11,16	15,89	19,19	27,48
	Extensor LR	3,07	6,82	8,54	11,64	16,67	20,15
	Flexor LR	2,60	8,45	14,74	20,94	29,52	39,46

Tabulka 2 – Výsledky měření EMG poloha lokte

Tabulka jasně dokazuje, že se zvyšující vahou roste i průměrná % Fmax. Pohyb loktů se závažím do 6 kg je z hlediska průměrné % Fmax v pořádku v celém rozsahu měřeného pohybu. Problém nastává s 8 kg zátěží při úhlu lokte ve směru kladných hodnot, tzn. ve směru flexe (ohnutí) lokte. S 10 kg zátěží nastává problém u všech měřených pohybů. Pro běžnou opakovanou práci jsou tyto pohyby s 10 kg zátěží nepříjemné a v některých zmíněných úhlech lokte dokonce již se zátěží 8 kg. Ve většině případů jsou dle hodnot v tabulce více zatížené flexorové svaly. To je dáno tím, že měřený pohyb probíhal vždy podhmatem, kde právě flexory přebírají většinu práce. V případě, že by pohyb probíhal nadhmatem, lze s velkou jistotou predikovat podobné nebo dokonce ještě horší výsledky u vyšších vah, díky vyššímu objemu svalů flexorových na předloktí lidské ruky. Zjednodušeně lze říci, že práce se závažími více než 8 kg v těchto úhlech lokte by se na pracovištích neměla vyskytovat vůbec, nebo se vyskytovat mohou, ale pouze v případě zařazení

Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

pracovišť do kategorie práce č. 3, což má za následek povinné přestávky po dvou pracovních hodinách atd.

6.3 Vliv polohy zápěstí na výsledku EMG

Následující tabulka zobrazuje výsledné průměrné hodnoty % Fmax z měření pohybů zápěstí a to:

- extenze,
- flexe,
- ulnární dukce (pohyb za malíkem),
- radiální dukce (pohyb za palcem).

		0kg	2kg	4kg
Extenze	Extensor PR	6,80	13,46	15,58
	Flexor PR	6,63	11,08	16,57
	Extensor LR	4,75	15,88	20,71
	Flexor LR	7,55	15,57	22,09
Flexe	Extensor PR	3,04	7,53	10,81
	Flexor PR	5,26	9,13	12,27
	Extensor LR	4,88	8,21	9,79
	Flexor LR	5,41	6,74	10,83
Ulnární dukce (za malíkem)	Extensor PR	6,15	17,15	19,06
	Flexor PR	12,97	22,05	27,60
	Extensor LR	8,29	16,72	22,93
	Flexor LR	7,20	18,34	23,91
Radiální dukce (za palcem)	Extensor PR	4,92	13,32	21,59
	Flexor PR	7,71	9,20	17,41
	Extensor LR	7,38	9,33	11,67
	Flexor LR	6,51	10,49	11,16

Tabulka 3 – Výsledky měření EMG zápěstí

Na rozdíl od měření různých poloh lokte se v případě měření poloh zápěstí řešily pouze maximální rozsahy těchto kloubů ve čtyřech směrech. Konkrétně se tedy jedná o extenzi, flexi, ulnární a radiální dukci. Prvním důvodem je omezený rozsah kloubu zápěstí především při úklonech směrem za malíkem a palcem. Z tohoto důvodu není potřeba pohyb dělit na více částí. Druhým důvodem je složité odečítání hodnot natočení kloubu zápěstí.

Dalším omezením je zvolená zátěž při vykonávaných pohybech. Zadané striktní pohyby se 6 kg zátěží zvládnou pouze velmi silní jedinci, takže se měření provádělo s 0 kg, 2 kg a 4 kg zátěží.

Z hlediska vyhodnocení průměrných % hodnot Fmax je označena jako riziková práce pouze zátěž 4 kg a vyšší. Zajímavé je porovnání ulnární a radiální dukce. Dle naměřených hodnot lze jasně potvrdit, že pohyb ruky ve směru malíku (ulnární dukce) je podstatně náročnější než pohyb ruky za palcem (radiální dukce). Tento fakt lze zohlednit při ergonomických úpravách pracovišť a pracovních postupů tak, aby se tento pohyb vyskytoval co možná nejméně. Už od své podstaty je tento pohyb poměrně nepřírozený a naměřené výsledky to jen dokazují. Záměrně byl pro všechna měření vybrán nadhmat a to z důvodu obvyklé drobné manuální práce, která probíhá nejčastěji tímto způsobem. Z tohoto důvodu není vhodné porovnávat extenzi s flexí, protože právě extenzory jsou při pohybu zápěstí s nadhmatem více zatěžovány.

Jako jeden z hlavních výsledků tohoto výzkumu lze označit práci s rukama v poloze nadhmatem s minimálním úklonem do stran a zátěží do 4 kg jako práci nerizikovou. Vyšší zátěž nebo krajní polohy kloubů zápěstí jsou pro drobnou manuální práci nepřijatelné.

7 ZÁVĚR

Studie byla zaměřena na problematiku lokální svalové zátěže v oblasti rukou a předloktí. Výzkum se zabýval hodnocením dopadu poloh horních končetin (ramen, lokte a zápěstí) na lokální svalové zatížení horní končetiny.

Z prvotních výsledků vyšlo najevo, že pro poloha ramene do 80° je z hlediska lokální svalové zátěže nevhodná při zátěži 10kg. Zároveň bylo zjištěno, že flexorové skupiny svalů vykazují nižší svalové zatížení než extenzory. Při zkoumání vlivu polohy lokte na výsledky EMG se došlo k závěru, že práce se závažnými více než 8 kg v úhlech lokte 0 - +60° by se na pracovištích neměla vyskytovat vůbec. V případě, že se tento typ práce s těmito váhami vyskytuje, je třeba s velkou pravděpodobností zařadit pracovišť do kategorie práce č. 3, což má za následek povinné přestávky po dvou pracovních hodinách atd., aby měli pracovníci čas na oddech.

Výsledné hodnoty z náměrů poloh zápěstí označují práci s rukama v poloze nadhmatem s minimálním úklonem do stran a zátěží do 4 kg jako práci nerizikovou. Vyšší zátěž nebo krajní polohy kloubů zápěstí jsou pro drobnou manuální práci nepřijatelné. Podrobné výsledky měření loktů a zápěstí jsou obsaženy v kapitole 6.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému (Optimizing sustainable production system parameters).

POUŽITÁ LITERATURA

- [EMG 2001a] Elektromyografie (EMG) | Moje zdraví. Moje zdraví - péče o psychickou i fyzickou pohodu [online]. 2001 [cit. 12.7.2019]. Dostupné z: <https://www.mojezdravi.cz/vysetreni/elektromyografie-emg-1922.html>
- [EMG 2001b] EMG [online]. Dostupné z: <https://www.kntb.cz/emg>
- [EMG 2018] EMG Holter | Fyziologie práce. Úvodní stránka – Uživatelský manuál | Fyziologie práce [online]. Copyright © 2018 [cit. 15.7.2019]. Dostupné z: <http://fyziologie.getacentrum.cz/ke-stazeni/>
- [KHSHK 2018] Krajská hygienická služba Hradec Králové – elearning. Posuzování lokální svalové zátěže [online]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs5/222_posuzovn_lokln_svalov_zte.html
- [Minks 2014] Minks, E., Minksová, A., Brhel, P., Babičová, V. Profesionální syndrom karpálního tunelu. In: Neurologie pro praxi 2014; 15(5): 234 – 239.
- [SZU 2016] Nemoci z povolání v České republice 2016, http://www.szu.cz/uploads/NRNP/aktual_Hlaseni_NzP_2016.pdf
- [SZU 2017] Nemoci z povolání v České republice 2017, http://www.szu.cz/uploads/NzP/Hlaseni_NzP_2017.pdf
- [Vitalion 20019] Elektromyografie (EMG) - Vitalion.cz. Vyšetření - databáze vyšetření - Vitalion.cz [online]. Dostupné z: <https://vysetreni.vitalion.cz/elektromyografie/>
- [zakonyprolidi 2007] Zákony pro lidi.cz Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>



IMPLEMENTÁCIA INTELIGENTNEJ TECHNIKY A TECHNOLOGII PRE PODPORU PROJEKTOVANI A VÝROB BUDÚCNOSTI

Vladimir Rudy

Technická univerzita v Košiciach, Ústav manažmentu,
priemyselného a digitálneho inžinierstva, Košice Slovensko

e-mail: vladimir.rudy@tuke.sk

Budúcnosť inteligentných výrobných systémov bude érou Smart technológií. Technológií spätých s komplexnou automatizáciou, robotizáciou a umelou inteligenciou. Už dnes sa virtualizácia a digitálna transformácia výrobných systémov, snaha o aplikovanie prvkov Priemysel 4.0 a platformy priemyselného internetu veci stavajú prítomnosťou. Nástup a virtuálnych a digitálnych technické prostriedky a prelomových projekčných technológií umožňujúcich realizáciu komplexného, „na mieru šitého výrobného prostredia“ prináša množstvo všeobecné proklamovaných benefítov vo forme produktivity, flexibility, kvality produkcie, vrátane absolútnej ústretovosti pri plnení rôznorodých a stúpajúcich nárokov zákazníkov na úžitkové vlastnosti výrobkov. Výhody koncipovania štruktúr výrobných systémov ako virtuálnych modelov a ich následná digitalizácia sú všeobecné známe a spolu flexibilitou plnenia narastajúcich nárokov zákazníkov dominujú.

Každá takáto kvalitatívna zmena výrobného prostredia znamená „vedomostnú zaťaž“ na tvorcov takýchto výrobných štruktúr. Musia byť kreované na báze najlepších praktík, poznatkov a znalosti ktoré aplikujú metódy, postupy, nástroj, techniky a modely zlepšovania a skracovania výstavby, resp. transformácie (reštrukturalizácie) výrobného prostredia.

projektovanie výrobných systémov, Priemysel 4.0, výrobné prostredie, virtuálne projektovanie, digitalizácia výroby. Industry 4.0, production environment, virtual design, production digitization.

1 ÚVOD

Projektovanie štruktúr výrobného prostredia je zložitý mnohoúrovňový systém, ovplyvňovaný veľkým počtom faktorov, vonkajších i vnútorných protirečení. Ich prekonávanie je základom metódik projektových činnosti, ktoré sú technický a technologický vysoko intelektuálne náročné a cielene orientované na realizáciu inovácií, modernizáciu, respektíve reštrukturalizácií výroby. Technologický projekt výrobného prostredia je základným modelom štruktúry budúcej výroby. V súlade s konkurencieschopnosťou a technologickosťou výrobu vytvára predstavy možných modelov jeho budúcej výroby. Vývoj projekčných metódik kráča ruka v ruke s konkurencie schopnosťou, potrebami trhu a inováciami výrobok. Postaví investičné a prevádzkovo rentabilný výrobný systém schopný rýchlo zhmotňovať meniacim sa, často nepredvídateľné nároky na úžitkové vlastnosti výrobkov, reagovať na kolísanie odbytu a pod. znamená projektovať

modernými technológiami umožňujúcimi priestorovú vizualizáciu budúceho výrobného prostredia, technologickú simuláciu procesov, ich kvalitu, výkonové charakteristiky systému, vrátane ekonomických dopadov na firmu, atď. Táto cesta je schodná len zdokonaľovaním projekčných metódik, ich integráciou do produktívnych informačných a znalostných systémov zabezpečujúcich žiadanú kvalitu a životnosť realizovaných projektov. Veda o projektovaní výrobného prostredia (teória projektovania, filozofia projektovania) je charakterizovaná ako súbor logický zoskupených znalosti a informácií o inžinierskom projektovaní. Projektovanie je preto komplexná oblasť teórií, metód, postupov a techník zahrňujúca široké pole inžinierskych činnosti.

2 INOVATÍVNE METODIKY PROJEKTOVANIA VÝROB BUDÚCNOSTI.

Projektovanie dnešných výstavbovo zložitých a rôznorodých výrobných systémov si vyžaduje komplexnú analýzu ich činnosti v troch priestorových dimenziách a v čase. Len tento prístup je zárukou identifikácie, optimalizácie, resp. eliminácie nedostatkov projektov ešte pred ich budúcou fyzickou implementáciou. Projektant výrobných zoskupení musí byť profesionál a špecialista. Musí disponovať tvorivosťou a hlbokými odbornými teoretickými i praktickými vedomosťami v problematike, ktorú v projekte rieši. V technických riešeniach projektov musí mať zmysel pre precíznosť a riešenie detailov, ako limitnej požiadavky úspešnosti realizácie a prevádzkovania budúceho projektu. Musí zvládnuť sledovanie vývojových trendov projektovania nových výrobných štruktúr a smerovanie ich vývoja. Neostať v rovine výberu zastaraných, dobou prekonaných technických riešení, aplikovaných technológiách a technických prostriedkoch. Pre projektovania výrobných systémov sú dlhodobou vyvíjané adekvátne metodické postupy, algoritmy a nástroje, ktoré v jednotlivých etapách projektového procesu zabezpečia vyššiu efektívnosť riešení. Tvorivý charakter projektových činností vytvára tlak na interaktívne generovanie variantov riešení, ich hodnotenie, optimálny výber a detailné rozpracovanie. Ak je cieľom vysoká kvalitatívna úroveň riešenia projektov, je nevyhnutné uvažovať s vysokou variantnosťou. Táto vyplýva z reálnej podstaty strojárskych výrobných procesov, typológie, štruktúrneho usporiadania, lokalizácie výrobných systémov v priestore, čase, ich ekonomickej efektívnosti a pod. Metodické postupy projektovania využívané v jednotlivých etapách riešenia musia byť úzko previazané.

Etapy riešenia sú najčastejšie prezentované modelmi, v ktorých je dekomponovaná projektová činnosť do hierarchických úrovní. Filozofia inovatívneho, interaktívneho projektovania je založená na predpoklade, že riešenie projektových problémov prebieha v troch základných etapách [1]:

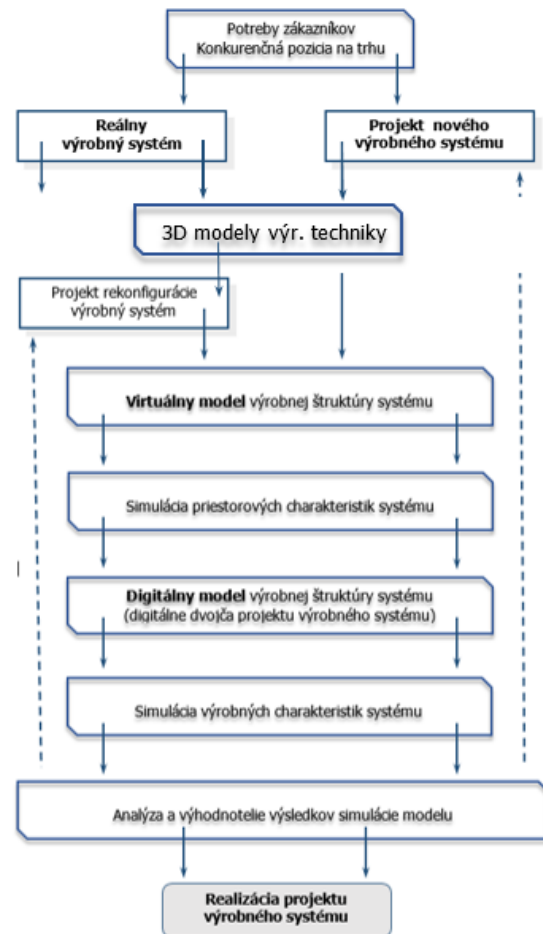
- Vytvára sa množina variantov riešení projektových úloh v súlade so stanovenými cieľmi. Pre stanovenie variantov referenčných riešení môžu byť využívané rôzne metódy (analytické, morfologické, hierarchické generovanie a pod.). Potrebne je vytvoriť väčší počet variantov a v ďalšej etape vymedzovať prípustné riešenia. Pri menej zložitých úlohách je možné využívať intuitívne spôsoby generovania variantov na základe referenčných typových vzorov.

- Vymedzujú sa prípustné riešenia. V rámci tejto etapy je potrebné vylúčiť nevhodné varianty riešenia buď na základe intuitívnych prístupov, resp. na báze využívania logických a matematických metód. Výhodné je hodnotiť varianty pomocou metód, ktoré sú založené na funkčnej a parametrickej prípustnosti. V prvom prípade je možné hodnotiť najmä funkčné väzby celkovej štruktúry riešenia (grafy, modely väzieb, matematicko-logické modely a pod.). V druhom prípade je potrebné špecifikovať súbor kritických, t.j. neprekročiteľných parametrov riešenia.
- Vyberá sa optimálny variant riešenia projektových úloh ako záverečná etapa. Optimálny variant môže byť získaný na základe porovnávacích metód (referenčné projekty), na základe simulačnej činnosti a pod.

Metodiky projektovania sú založené na tvorbe 3D modelov výrobných techník a ich transformácii do virtuálnych scén umožňujúcich digitalizáciu a následnú simuláciu ich ťubovoľných výrobných charakteristík (napr. realizovateľnosť operácií na výrobných techníkach, overenie vypočítaných operačných časov výroby a pod.). Prvotným podkladom pre kreovanie 3D, resp. virtuálnych pracovísk môžu byť využité jednoduché variantne návrhy spracované v 2D modifikáciách priestorovej štruktúry výrobného prostredia. Rámcová metodická postupnosť tvorby projektu výrobných štruktúr zaručujúcej jeho realizačnú a prevádzkovú úspešnosť je ilustrovaná na obr. 1.

Najvýznamnejším prínosom virtuálneho projektovania je skrátenie inovačného cyklu výrobného systému pri jeho rekonfigurácii, resp. celkového vývojového cyklu pri koncipovaní novej výrobných štruktúry. Funkčnosť návrhu ako celku a jeho komponentov je kontrolovaná po každej vykonanej operácii počas celej doby práce s modelom. Testy a simulácia takto pomáhajú odhaľovať chyby a nedostatky, ktoré by vyšli najavo až pri realizácii projektu finálnej výroby a vyžadovali by si spätné, časovo i ekonomicky náročné zmeny. Toto je podstatný prínos špičkovej technológie oproti klasickej technickej príprave výroby. Keďže sa výrazne skracuje cyklus inovácie výrobku, možno výrobky inovovať častejšie alebo rýchlejšie reagovať na meniace sa požiadavky trhu a takto zvyšovať konkurencieschopnosť. Podmienkou je integrácia virtuálnych technológií s inými technológiami CAx, ktoré sú v prevádzkovaní výrobných štruktúr používané a sú známe pod pojmom PDM systémy. Inovačné zmeny umožnil najmä pokrok dosiahnutý v hardvérových, softvérových a informačných technológiách a zobrazovacej technike. Vyspelá reprografická a prezentačná technika integrovaná interaktívnymi softvérovými systémami umožňuje nový spôsob práce projektantov výrobných systémov.

3D modelovacie techniky umožňujú len vytvorenie vizuálnej ilúzie „umelého“ výrobného priestoru z pohľadu pozorovateľa. Na virtuálnych modeloch sa realizuje simulácia priestorových charakteristík budúceho systému (účelnosti, optimálnosť dispozičného rozmiestnenia výrobných techník, priestorové charakteristiky veľkosti skladov a pomocných plôch, veľkosti uličiek, dopravno-manipulačné charakteristiky, ergonómia obsluhy výrobných techník a manipulácia s objektami výroby, merania a pod.).



Obr. 1 Ilustrácia metodiky projektovania novej výrobných štruktúry

Virtuálne modely projektov výroby sú projektované v postupnosti :

- 1) spracovanie 3D modelov výrobných techník začlenených do riešeného projektu,
- 2) spracovanie modelov výrobných hál, v ktorej projekt bude situovaný, vrátane jej prevádzkovej infraštruktúry (kúrenie, klimatizácia, odsávanie, rozvody technických médií a pod.),
- 3) kreovanie dispozičného riešenia 3D výrobných štruktúr budúcej výroby,
- 4) transformácia modelu do virtuálnej reality (napr. prevod 3D modelu do formátu VRML).

Virtuálne modely existujúcich reálnych výrob, ktoré v minulosti neboli spracované ako 3D projekty, napr. pri potrebe technologickej rekonfigurácie výrobného systému (zmena výrobných techník, zmena priestorovej konfigurácie výrobných priestorov a pod.) sú modelované v postupnosti :

- 1) priestorová digitalizácia (skenovanie) výrobných štruktúr (výrobný priestor, výrobná technika, napr. 3D skenery SCAN in a BOX Structured Light),
- 2) koncept priestorovej štruktúry systému,
- 3) transformácia dát do virtuálneho prostredia.

Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

Technika pre vizualizáciu modelov a zobrazovacie metódy v súčasnosti poskytujú viaceré možnosti transformácie fyzických modelov projektov výrobných systémov do 3D zobrazovaných scén. Dnešný trh disponuje širokou ponukou SW i HW prostriedkov. Vývoj týchto zariadení kopíruje pokroky vo vývoji virtuálnych technológií a má veľmi dynamicky charakter :

- technické zariadenia pre veľkoobjemové skenovanie (výrobných hál, výrobných techník),
- 3D kamerové systémy (stacionárne, mobilne, drony),
- softvérové technológie pre vizualizáciu pracovných postupov vo virtuálnej realite (SW Twinmotion, Taracos, Plavis, Factory Design Suite, Vuforia studio). Twinmotion je program, ktorý funguje na princípe vizualizácie v reálnom čase.
- technické prostriedky pre tréning, pocitové vnímanie a vzdelávanie vo virtuálnej realite (napr. Oculus Touch Controller - ovládač na virtuálnu manipuláciu s objektami),
- HW prostriedky pre virtuálnu manipuláciu s objektami (virtuálne helmy Oculus Rift, Samsung Gear VR, okuliare nReal Light, Olympus EyeTrek Insight EI-10 ...).

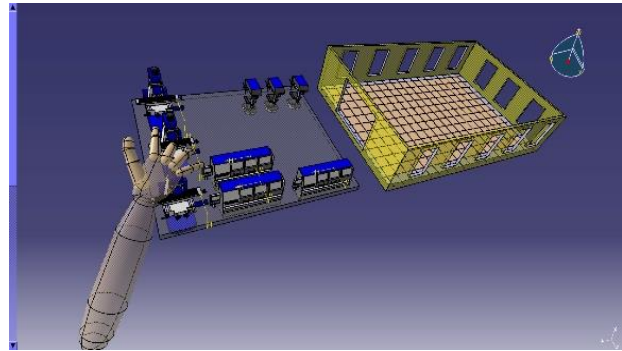
„Headset“ je komplet technických prostriedkov pre tréning, pocitové vnímanie a prácu vo virtuálnom svete. Pozostáva z Oculus Rift virtuálnej helmy s OLED binokulárnym displejom rozlíšenia 1080x1200 pixela a obnovovacou frekvenciou 90Hz a integrovanými slúchadlami, pravým a ľavým snímačom polohy a dvomi ručnými jednotkami pre ovládanie pohybu - Oculus Touch. Používané sú v SW aplikácii Oculus Home a majú široko spektrálne využitia od hier až po výskumne aktivity. Ilustrácia projekčnej práce je na obr. 2.



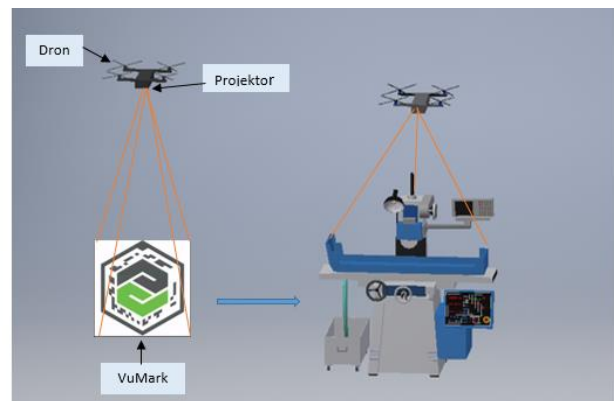
Obr. 2 Overovanie rozmiestnenia výrobných techník vo virtuálnej scéne

Projektant (3D model projektu výrobných štruktúr) môže realizovať z podkladov 2D dispozičných riešení, ktoré môžu byť čiastočne priestorovo optimalizované alebo manipulovať s modelmi výrobných techník priamo v 3D prostredí, resp. tvoriť ich virtuálne modifikácie priamo vo virtualnej realite. Ilustrácia koncipovania virtuálneho projektu výrobných štruktúr prostredníctvom rukavíc (DataGloveII) je na obr. 3. Pri interaktívnom projektovaní výrobných systémov vo virtuálnej realite sa odporúča dodržiavať zásady špecifikované v uvádzaných metodických postupoch projektovania. Spôsob usporiadania výrobných prostriedkov môže byť rôzny (pozdĺžne, priečne, šikmé, nepravidelné).

Obr. 3 Manipulácia s 3D modelmi vo virtuálnej scéne pomocou dátovej rukavice Data Glove II



Príklad inovatívneho prístupu riešenia rozmiestňovacích úloh výrobných techník pri výstavbe, resp. rekonfigurácii výrobných dispozičných v zmiešanej realite pomocou drona ilustruje obr.4.. Dron je vybavený mini projektorom, ktorý postupne podľa projektu finálneho variantu výrobných štruktúr premietá špeciálne vytvorený QR kód (VuMark) vytvorený v prostredí SW Vuforia studio na reálnu podlahu výrobných hál. Projektant prostredníctvom virtuálnej helmy Oculus Rift, resp. pomocou kamery smartfónu alebo tabletu sleduje polohovanie modelu stroja, resp. projektor zobrazuje len pôdorysný pohľad zariadenia viditeľný voľným okom. Po označení polohy stroja, resp. jeho umiestnení na vyznačenú pozíciu sa dron presúva na ďalšiu pozíciu v zmysle projektu. Podmienkou presnosti rozmiestnenia výrobných techník je spracovanie modelu výrobných štruktúr v mierke 1:1. To zaručuje, že model zobrazovaný v zmiešanej realite rozmerovo zodpovedá fyzickému výrobnému zariadeniu, ktorý má byť na danom výrobnom priestore umiestnený.



Obr.4 Tvorba reálnej výrobných štruktúr pomocou drona

3 VÝROBNÉ SYSTÉMY BUDUCNOSTI

Výrobné systémy budúcnosti sú projektované ako systémy novej generácie, v ktorých výroba je založená na znalostiach. Pri riešení ich projektov sú aplikované najvyspelejšie softvérové, informačné a komunikačné technológie.

Organizované sú v nových decentralizovaných a adaptabilných výrobných štruktúrach. Vízia budúceho vývoja výroby je zameraná hlavne na oblasť vývoja nových výrobkov a služieb s vysokou pridanou hodnotou, nových výrobných technológií, nových výrobných systémov, systémov organizácie a riadenia a pod., podporená infraštruktúrou vzdelávania, výskumu a

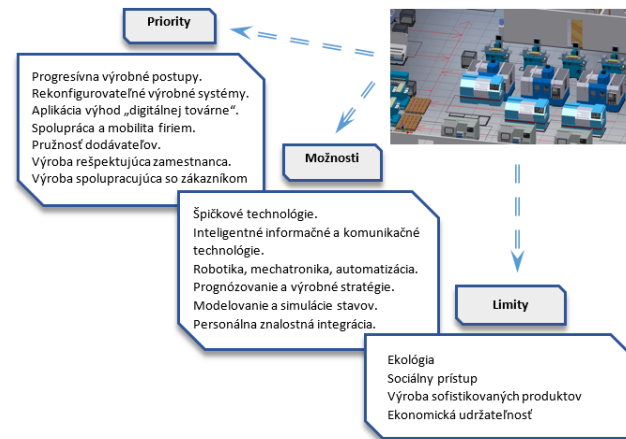
vývoja. Kvalitný technologický projekt je prvým podkladom pre realizačné etapy a od neho závisí budúca úroveň výroby v novom resp. rekonfigurovanom systéme. Predstavuje budúci obraz o charaktere a podmienkach výroby. Preto je nutné, aby bol nositeľom všetkých znakov modelu. Len tak bude minimálne vzdialený od optimálneho riešenia vo funkciách, štruktúre, parametroch, a tď. Spracovanie dobrých projektov nových výrob znamená nájdenie optimálneho, tímového kompromisu názorov na celý rad strategických otázok, ktoré musia byť zodpovedané skôr, ako sa prikróči k technickému riešeniu. Dostatok komplexných a hodnoverných podkladov je potrebné mať tak v koncepcných ako aj detailných etapách riešenia príslušného projektu. Najmä inovatori, ktorí pracujú na zmenách vo výrobe, musia svoje postupy orientovať na využívanie najnovších a najmodernejších technických poznatkov. Informácie a poznatky je potrebné využívať tak v experimentálnej ako aj praktickej činnosti. Pri rozhodovaní musí byť pritom uvažovaný zložitý súbor technických, ekonomických, sociálnych a environmentálnych faktorov. Tieto výroby musia byť budované ako systémy, v ktorých výroba je šetrná ku „komfortu života na zemi“ (obr.5).



Obr. 5 Ekologická dimenzia projektov závodov budúcnosti

Ekologická dimenzia ich prevádzkovania musí byť súčasťou predrealizačných analýz a simulácií projektov. V kritických prípadoch musí byť nadriadená prevádzkovým (technickým, technologickým a ekonomickým) kritériám realizovateľnosti daného výrobného systému. Simulačné analýzy musia garantovať, že produkcia takýchto výroby bude „čistá“ a hospodárna. Výroba šetrná k životnému prostrediu a človeku, maximálne recyklovateľná, energeticky šetrná, tichá, fungujúca na „ohľaduplných technológiách“ (zápach, hlučnosť, prašnosť, vibrácie ...). Modifikované budú ako ucelené filantropické komplexy so špecifickou firemnou kultúrou. Budú manažované na komunikačnej a informačnej platforme so zodpovedným a ohľaduplným prístupom k zamestnancom, tak aby generovali poznatky pre vlastný rozvoj. Projektová činnosť sa bude musieť stať ešte pružnejšou, tak aby sa dokázala prispôbiť tlaku trhu v časových a ekonomických limitoch zaujímavých pre zákazníka. Aj preto je nutné mať dostatok komplexných a hodnoverných podkladov, tak v koncepcných ako aj detailných etapách riešenia príslušného projektu. Pri pohľade na budúcnosť je zrejme, že projekčné organizácie čakajú podstatná zmeny celkového riadenia, používaných prostriedkov a projektových zdrojov. Výskum a vývoj výrobných prostriedkov nadobúda čoraz viac internacionálny charakter. Projektová činnosť moderných výrobných štruktúr bude stále náročnejším problémom. Bude sa musieť stať pružnejšou, aby sa prispôbila obchodnému tlaku, rôznorodým výrobným kultúram, spolu partnerskej integrácii a pod. Do popredia budú vystupovať problémy štandardizácie a normalizácie, pre ktoré bude treba hľadať adekvátne zdroje v systémových teóriách. Množstvo informácií, ktoré je treba získať, zhromažďovať, prenášať, ukladať a vyhľadávať, sa bude prenikavo zvyšovať. Bude naďalej narastať decentralizácia a špecializácia. Zatiaľ čo teraz pri tvorbe projektov postačuje SW vybavenie solo PC techniky, v

budúcnosti sa budú realizovať projekty v projekčných systémoch, len na báze počítačových sietí. Hybnou silou bude zvýšený dôraz na uspokojovanie zákazníkov a potrebu vytvárať čo najnižšie náklady. Následkom licencií a diverzifikácii projektov bude treba súbežne riešiť väčšie množstvo projektov. Bude sa vynakladať úsilie, aby sa projekty podľa možnosti dostali čo najrýchlejšie do fázy rozhodnutia o tom, či sa v nich bude alebo nebude pokračovať. To si bude vyžadovať od vedenia projektov prácu s množstvom informácií, bude sa musieť naučiť ich rýchle usporiadať pri rozhodovaní o dieľčích cieľoch. Charakteristiky limitujúce riešenia budúcich projektov, koncepcne modelované na princípoch závodov budúcnosti sú ilustrované na obr. 6.



Obr. 6 Medzne charakteristiky koncepcii výrob budúcnosti.

Externé zložky firemnej kultúry budú povýšené na úroveň bezprostrednej, neformálnej spolupráce s dodávateľmi. Dodávateľské firmy budú organizované v globálnych výrobných sieťach, koordinované na zásadách vysokej pružnosti a spoľahlivosti dodávok. Zákazník sa stane partnerom firmy a výrobným „on-line koordinátorom“ svojej zákazky v celom hodnotovom reťazci jeho výroby. Tieto skutočnosti do značnej miery ovplyvnia aj projektové koncepcie usporiadania a štruktúry administratívnych priestorov takýchto výroby a pod.

Digitálna továreň – digitálne dvojča (Digital Twin)

V ostatných rokoch v praxi dominuje pojem „Industry 4.0“. Tento pojem spája všetky odvetvia od výroby a montáže, cez riadiace a regulačné technológie, meracie, pohonné a spojovacie technológie, automatizáciu, logistiku a údržbu. Podstatu jeho významu tvoria pojmy ako internet vecí, kybernetické systémy, inteligentné služby alebo digitálna transformácia. Svet hovorí o vytváraní sietí, bezpečnosti a zabezpečení a decentralizácii. A samozrejme zvýšenie produktivity prostredníctvom optimalizácie procesov. Komplexnejšie projekty digitalizovaných výroby sa objavili začiatkom 90-tych rokov. Zásľuhu na tom mal rozvoj SW systémov počítačom podporovaného navrhovania výrobkov (CAD Computer Aided Design) a systémov pre počítačom integrovanú výrobu (CIM Computer Integrated Manufacturing). Nové informačné a komunikačné technológie a exponenciálny rast výkonu HW prostriedkov zapríčinili, že statické metódy aplikované v projektovej príprave prestali byť pre rozhodovanie postačujúce (napr. z dôvodu rastúcej zložitosti a komplexnosti výrobkov a pod.). Bolo nutné stále viac využívať dynamických metód a metód rozhodovania za neurčitosti. Digitalizácia



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

a nové digitálne technológie sa stali technologickým riešením a spôsobili začiatkom 21. storočia do priemyselného sveta revolúciu, ktorá bola označená ako *Digitálny továrň* (Digital Factory). Umožnili vytvárať komplexné digitálne modely výrobných systémov a ich integráciou s dátami zbieranými v reálnych výrobných procesoch. To umožňovalo vznik dynamických modelov reprezentujúcich reálny výrobný systém, ktorý prostredníctvom dát reprezentuje objekty a procesy vo výrobe. Virtualizácia tak umožnila vznik virtuálneho obrazu výrobných systémov. Dáta zo senzorov, spracované inteligentnými algoritmi, vytvárajú dynamický, virtuálny obraz reálnej výroby - duálny systém reality a jej virtuálne zobrazenie. Jej rozvoj podporil rýchly vývoj nových komunikačných prostriedkov a systémov. Virtuálne výrobné systémy generujú obrovské množstvá big dát, ktoré je potrebné uchovávať, analyzovať a využívať pre predikciu budúceho správania sa výrobných systémov. Prichádza čas, kedy budú postupne všetky rozhodujúce procesy výrobných systémov (produkty, procesy a zdroje) nahradené ich digitálnymi kópiami, digitálnymi modelmi, nazývanými aj DMU (Digital Mock Ups). Významovo zahŕňa komplexné spracovanie a sieťovanie digitálnych modelov, metód a nástrojov, v ktorých dominujú simulácie a trojrozmerné vizualizácie spravované prostredníctvom integrovaného riadenia údajov. Ich cieľom je komplexné plánovanie, hodnotenie a neustále zlepšovanie všetkých základných štruktúr, procesov a zdrojov. Technické riešenia digitálnych projektov tovární umožnili integráciu celého reťazca činností spojených s výrobou, začínajúc od návrhu produktu, jeho testovania, technologickej prípravy výroby, návrhu výrobného systému až po samotnú výrobu. Predstava prevádzkovania budúcich produkčných systémov spracovaného vo virtuálnej podobe sa konkretizuje (simulačné oživuje) vďaka aplikácii digitálnych technológií do podoby tzv. digitálneho dvojčaťa (Digital Twin). Jeho podstata spočíva vo vytvorení (obohatení) virtuálneho modelu vyvíjaného produktu, stroja, zariadenia, celej výrobnéj technológie a pod. Umožňuje simuláciu overovanie jeho stavov a chovania sa napr. v reálnych výrobných podmienkach. Takýto virtuálny model ako „digitálne dvojča“ môže byť využívaný vo všetkých fázach vývoja, prevádzky a zlepšovania. Tvorený je súborom digitálnych modelov (modely výrobných zariadení vo výrobnom systéme), ktorých dynamiku možno analyzovať s využitím počítačovej simulácie. Koncept digitálneho dvojčaťa bol postupne rozšírený z úrovne produktov aj na úroveň procesov, výrobných systémov až po podnikovú úroveň. Samotný proces sa začína digitalizáciou a plánovaním v 3D prostredí digitálneho podniku. Návrh je následne racionalizovaný a optimalizovaný s podporou dynamickej simulácie. Návrhom a overením v prostredí modelu „digitálneho dvojčaťa výrobného systému“, môže realizátor výrobného systému urýchliť jeho uvedenie do prevádzky. Skôr, než sa začne reálna implementácia zmien, už môže v kľúčových procesoch prebiehať príprava personálu na ostrú prevádzku systému (skrátene nábehového času začatia výroby). Virtuálny tréning prebieha v 3D prostredí, ktoré je digitálnym dvojčaťom reálneho systému. Po tom, ako je celé riešenie navrhnuté, optimalizované a beží virtuálny tréning, špecialisti realizujú implementáciu navrhnutých riešení v podnikovom prostredí – od nasadenia komplexných automatických logistických systémov až po dodanie „na mieru“ navrhnutých výrobných liniek. Prevádzka týchto riešení je autonómna, dokážu sa samy optimalizovať v reálnom čase, komunikovať s riadiacim systémom podniku a môžu reagovať

na zmeny požiadaviek výroby v reálnom čase. Posledným krokom je automatický zber, monitorovanie a analyzovanie dát, ktoré prinášajú faktografický digitálny obraz vlastného podnikového prostredia. Základnou technológiou, ktorú využíva Factory Twin, je napr. technológia lokalizácie objektov v reálnom čase RTLS (Real Time Localisation System) [2].

V digitálnej továrni sú prepojené všetky systémy. Dokonca aj komponenty majú inteligenciu a môžu "povedať" výrobnému zariadeniu, čo a s akým nástrojom by sa malo robiť. Príjem objednávky spustí neuveriteľnú výmenu dát Táto výmena údajov sa týka celého výrobného systému ako celku, vrátane skladovania, ale aj logistiky a dodávateľov. Systém analyzuje skladové zásoby, informácie o ich stave odovzdáva priamo do systému dodávateľa Zákazník sa dozvie presný dátum dodania objednávky. Tento princíp výmeny informácií sa takýmto spôsobom šíri naprieč celému výrobnému systému od logistiky, cez výrobu, údržbu, až po energetické hospodárstvo a pod. Z toho jasne vyplýva, prečo je do tejto zmeny zapojených toľko odvetví a prečo systém už nemôže byť riadený centrálné. Digitálna továrň podporuje všetky tieto oblasti čo najkonzistentnejšie, aby sa urýchlilo a zlepšilo plánovanie výroby. Je reprezentovaná súborom statických, kinematických a dynamických digitálnych modelov, vzájomne integrovaných do jednotného digitálneho vývojového prostredia, kde základom rozhodovacích rozhodnutí o realizácii projektu sú výsledky dynamických počítačových simulácií. Technologický pokrok a rast požiadaviek zákazníkov vytvára permanentný tlak na firmy. Núti ich neustále inovovať nielen výrobky, ale ich výrobný systém, tak aby boli pripravené rýchlo reagovať na zmeny výrobných podmienok a správania sa konkurencie. 3D modelovanie, virtualizácia produkcie a výrobných procesov, ich digitalizácia si postupne nachádzajú stále širšie uplatnenie v projektoch nových výrob.

Efektívnosť firmy je rozhodujúcim spôsobom ovplyvnená schopnosťou kooperujúcich firiem a obchodných partnerov integrovať sa na princípoch podmienok „Priemysel 4.0“. To znamená zvládnuť otázky kvality plánovania, zvládnuť procesný model procesu softvérového inžinierstva pre digitálnu továrň, atď. Konceptie nových, „inteligentných“ výrobných systémov, využívajúce najpokrokovejšie technológie, sú označované ako *Inteligentné továrne* (Smart Factory). Továrne sú modifikované ako integrácia troch prostredí : reálneho, virtuálneho a digitálneho. Ich produkčné systémy musia byť navrhované ako samoorganizované, adaptívne systémy, schopné imitovať mechanizmy využívané napr. organizmami živej prírody a pod. Hlavné výhody, ktoré koncept digitálnej továrne prináša, sú :

- Zníženie podnikateľského rizika pri zavádzaní novej výroby.
- Možnosť virtuálnej prehliadky výrobných hál.
- Overenie navrhovaného konceptu výroby.
- Optimalizácia rozmiestnenia výrobného zariadenia.
- Preverenie procesov pred zahájením výroby.
- Redukcia potrebnej plochy a úprav zariadení.
- Odhalenie slabých miest a kolízií.
- Lepšie využívanie dostupných zdrojov.
- Programovanie strojov a liniek off-line.
- Obmedzenie potreby prototypov a zníženie potreby opráv.

4 ZÁVER

Problém projektovania výrobných procesov a systémov, v systémovom chápaní adekvátnych nástrojov vedy a inžinierskej

práce, núti komponovať nové systémy vedeckého poznávania a inžinierskych postupov v početných oblastiach. Empirickým spôsobom možno určiť, že sú predovšetkým tri základné aspekty týchto oblastí: teórie, metódy a realizácia. Výrobná prax má záujem na synergických efektoch z realizácie, ktoré sleduje a vyhodnocuje. Užitočné je však zaoberať sa aspektmi metód a teórií ako základnej miery efektívnosti činnosti. Významné sú dve úrovne prístupov:

- Systematizácia vedeckých a inžinierskych poznatkov a ovplyvňovanie disciplín, a formovanie spoločenskej objednávky na vedecké a inžinierske práce v prospech modernej výroby.
- Analýza a kritika doterajších postupov a efektov práce s cieľom zoskupiť zdravé jadrá kritiky a formulovať nové prístupy. Vytvoriť tak systém projektovania a optimalizácie konkrétnych riešení perspektívnych výrob.

Rozvoj metodologických prác väčšinou ide po ceste zlepšenia štruktúry algoritmov na konštrukčné a technologické projektovanie zavádzaním nových metód vrátane umelej inteligencie. Zvyšuje sa úroveň lokálnych a systémových ukazovateľov kvality a efektívnosti. Počet rôznych metód stále rastie a tieto metódy sa dostávajú do úrovne programových realizácií použiteľných pre rôzne riešenia.

Možno konštatovať, že vývoj výrobných procesov a systémov, stavia na nových teoretických základoch a metódach a má značnú praktickú silu. Zároveň možno pozorovať, že v súčasnosti existuje ešte stále rozpor medzi teoretickými prácami a ich aplikáciou v praxi. Vysoký počet metód (z mnohých pozícií veľmi zaujímavý) sa dostáva do zabudnutia a neprechádza z autorského prostredia do prostredia využívania. Tento nedostatok, ako prechodný jav, treba postupne odstraňovať preverovaním experimentálnymi štúdiami, zavádzaním kvantifikácie a systémových hodnotení závažnosti so zreteľom na potencie ďalšieho zdokonaľovania. Všeobecne je známe, že efektívna cesta rozvoja aplikovaných vied tkvie v evolučnom odstraňovaní nedostatkov, ktoré sa prejavujú v praxi.

Súčasné obdobie si vyžaduje intenzívnejšie využívať systémové vedy a prístupy. Formuluje objednávky na projekty a systémy inovovaných výrob. Výskum a projektovanie výroby kladú vysoké nároky na invenciu a tvorivé riadenie. Žiada sa, aby sa prehlbovala spolupráca vysokých škôl vrátane ich študentov s výskumnou sférou, projektovaním a výrobou. Treba sa usilovať, aby zaangažované kolektívy ďalej kvantitatívne a najmä kvalitatívne rástli, a aby sa výsledky ich práce uplatnili v efektívnej výrobnéj praxi.

ACKNOWLEDGEMENTS

Príspevok bol riešený v rámci projektu KEGA 030TUKE-4/2017 Implementácia inovačných nástrojov zvyšovania kvality vysokoškolskej výučby v študijnom odbore 5.2.52 Priemyselné inžinierstvo.

LITERATÚRA

[Kováč 2018] Kováč J., Rudy V., Kováč J.: Metodika projektovania výrobných procesov II. Inovačné projektovanie výrobných systémov. 1. vyd. Košice. Technická univerzita v Košiciach. 2018. ISBN 978-80-553-2873-7.

[Daneshjo 2018] Daneshjo N., Kováč J., Rudy V., Mareš A. et al : Intelligent industrial engineering - Innovation potential. San Antonio. FedEx Print & Ship Center. 2018. ISBN 978-0-578-40289-5.

[Gregor 2018] Gregor M., Mičieta B., Krajčovič M. a kol.: Súbor prednášok 50. rokov – Katedra priemyselného inžinierstva. Žilinská univerzita v Žiline.

[Gregor 2006] Gregor M., Medvecký, Š., Mičieta, B., Matuszek, J., Hrčeková, A.: Digitálny podnik. Ústav konkurencieschopnosti a inovácií, 2006, ISBN 80-969391-5-7

[Bubeník 2004] Bubeník, P., Bubeníková, E., Korbel, P., Nagy, P.: Informačné technológie pre podnikovú prax. Edis,ŽU v Žiline, 2004, ISBN 80-8070-288-8

PROJEKTOVANIA NOVÝCH VÝROB A ICH KOMPLEXNOST

Juraj Kováč

Technická univerzita v Košiciach, Ústav manažmentu,
priemyselného a digitálneho inžinierstva, Košice Slovensko

e-mail: juraj.kovac@tuke.sk

ABSTRACT

Projektovanie je jednou zo základných činností v procesoch prípravy realizácie inovácií, modernizácií, respektíve reštrukturalizácií výroby. Projektovanie dnešných výstavbových zložitých a rôznorodých systémoch si vyžaduje komplexnú analýzu ich činností v troch priestorových dimenziách. Metodiky projektovania založené na tvorbe 3D modelov a ich transformácií do virtuálnych scén umožňujú digitalizáciu a následnú ich simuláciu. Virtuálna realita je v tomto nový smer v technickom ponímaní, vyvolaný potrebami konštruktárskej a projektovej praxe. V oblasti virtuálneho projektovania je prínosom skrátenie inovačného cyklu systému pri jeho rekonfigurácii, resp. celkového vývoja cyklu pri koncipovaní novej výrobnéj štruktúry. Testy a simulácie vo virtuálnej realite takto pomáhajú odhaľovať chyby a nedostatky ktoré by vyšli najavo až pri realizácii projektu finálnej výroby a vyžadovali by si spätné, časovo i ekonomicky náročné zmeny. Inovačné zmeny umožnil najmä pokrok dosiahnutý v hardvérových, softvérových a informačných technológiách a zobrazovacej technike. Vyspelá reprografická a prezentačná technika integrovaná interaktívnymi softvérovými systémami umožňuje dnes nový spôsob práce projektantov výrobných systémov.

KEYWORDS

projektovanie výrobných systémov, Priemysel 4.0, výrobné prostredie, virtuálne projektovanie, digitalizácia výroby. Industry 4.0, production environment, virtual design, production digitization.

1 ÚVOD

Inovácie projektových činností vyžadujú špeciálne znalosti a príslušné metódy, postupy a nástroje. Dôležitú úlohu pritom majú teoretické vedy. Rozvoju inžinierskej práce napomáhajú viaceré inžinierske disciplíny. Veda o projektovaní (teória projektovania, filozofia projektovania) je významná, pretože obsahuje súbor logicky zoskupených znalostí o riešeníach inžinierskych činností. Projektovanie je komplexná oblasť teórií, metód a informácií, zahŕňajúca široké pole inžinierskej pôsobnosti. Vedomostné predpoklady členov projekčných tímov možno rozdeliť na:

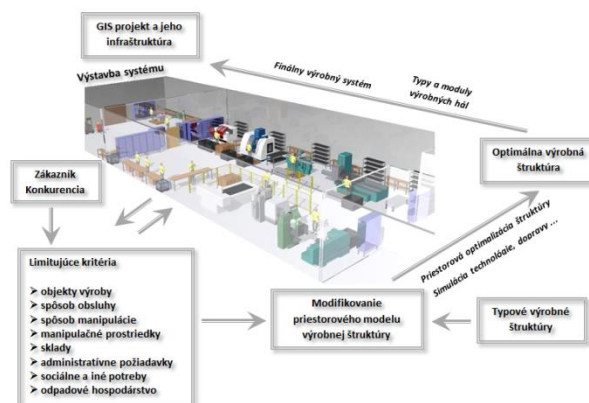
- všeobecné a špeciálne znalosti o technických systémoch a procesoch vrátane spôsobov ich prejavu, vlastností a kvality, štruktúr a princípov ich rozvoja,
- všeobecné a špeciálne znalosti o inžinierskom projektovaní, jeho štruktúre, prvkoch, vlastnostiach a riadení,

- špeciálne, detailné znalosti technického, technologického, ekonomického, organizačného a riadiaceho charakteru, potrebné na projektovanie,
- manažérske schopnosti z oblasti projektového riadenia a tímovej práce.

2 ZAKAZNICKA ORIENTACIA VÝROBY A JEJ KOMPLEXNOST

Projektovanie dnešných výstavbovo zložitých výrobných systémov vyžaduje komplexnú analýzu ich činnosti v reálnom priestore a čase. Treba zohľadňovať filozofické aspekty technologických inovácií, modelovanie, príklady a štúdie úspešných referenčných riešení, finančnú podporu a materiálne zabezpečenie inovačných zmien, mnohoúčelové a účelové projekty syntézy technologických inovácií a pod. Cieľom takýchto riešení je zvyšovanie produktivity bez straty pružnosti, skracovanie času výroby, zvyšovanie kvality a hodnoty výrobkov a služieb a pod. Výroby sú modifikované ako sociálno-ekonomické systémy a sú náročné na projektovanie, realizáciu a prevádzkovanie. Ich rozvoju sa venuje početná odborná literatúra. Rámcová metodika aplikácie pri zostavovaní modelu novej výrobnéj štruktúry je znázornená na obr.1. Realizuje sa v postupnosti:

- 1) tvorba poznatkovej základne a jej marketingová analýza,
- 2) príprava technologickej časti projektu,
- 3) variantné 2D/3D modelovanie – priestorová optimalizácia štruktúry systému,
- 4) virtuálna vizualizácia výrobnéj štruktúry a jej optimalizácia
- 5) digitálny model – funkčná simulácia virtuálneho modelu výroby,
- 6) optimalizácia štruktúry, výroba projektovej dokumentácie, BIM a GIS modifikácia modelu výrobnéj štruktúry.



Obr.1 Charakteristika projekčných postupov novej výroby

Moderné výrobné zoskupenia v projektovej príprave zohľadňujú :

- Environmentálne aspekty šetrné k : ovzdušiu, vode, pôde, človeku (hluk, zápach, vibrácie) a tvorbe odpadov, úspora energie a zdrojov pre výrobnú základňu a vykonávané technologické operácie, a osvetlenie či klimatizáciu; redukovanie vyžarovania tepla a pod.
- Zlepšenie metodológie bunkovej výroby: autonómnosť, väčšia voľnosť v zoskupovaní a proporcionálnom usporiadaní, v konštrukčnom navrhovaní strojového parku, zlepšenie mobility zariadení pre inštaláciu, rekonfiguráciu,

premiestnenie, procesná integrácia, ... ukončenie životnosti.

- Zákaznícka orientácia: pružná logistika, výroba, personalizácia produktov podľa individuálnych objednávok zákazníkov v rôznych množstvách (rýchle navyšovanie/pokles objemu), výrobky majú kratšie životné cykly a preto musia existovať mnohé varianty z každého produktu.
- Agilita: jednoduchá a veľmi rýchla úprava procesov a výrobných základne, dynamická rozšíriteľnosť pri zmenách vyrábaného množstva, spoľahlivosť a nenáročná údržba.
- Nákladová efektívnosť: znížené iniciačné a prevádzkové náklady, efektívne využitie priestoru, nízke kapitálové výdaje.
- Variabilita a pružnosť pracovnej sily.

Vyššie nároky na projektovú činnosť si vyžadujú významnú počítačovú podporu, t. j. informačné a počítačové technológie, bez ktorých sa vysoká kvalita projektov, väčšia variantnosť riešení, inovačná pružnosť, ako aj ďalšie atribúty dajú len ťažko dosiahnuť.

Kombinácia softvérových aplikácií s hardvérovými prostriedkami typu 3D projektory kamery a veľkoplošné skenery, digitalizačné jednotky a pod., umožňuje interpretáciu budúceho reálneho obrazu výrobného systému vo virtuálnej realite, a tým :

- odhaliť kritické nedostatky ešte pred začatím budovania reálneho systému,
- simuláciu funkčnej činnosti prvkov systému, t. j. overenie výrobných charakteristík (napr. priebeh technologických procesov, pohyb pracovníkov, tok materiálu a pod.

Zvládnutie simulácie znamená :

- dôslednú analýzu variantov generovaných štruktúr a komplexnosť ich hodnotenia ako výsledok multidisciplinárneho riešenia,
- vyhľadávanie a aplikáciu prototypových, už existujúcich znalostných databáz umožňujúcich opätovné použitie údajov,
- v kombinácii s podpornými procesnými algoritmi postupov umožní overovanie použitia už schválených postupov analýzy a pod.
- správu a efektívne zvládanie veľkého množstva údajov týkajúcich sa simulácií vrátane parametrov riešenia a výsledkov,
- vizualizáciu výsledkov simulácie časového cyklu simulovaného deja v softvérovom prostredí,
- objektívnosť reálnosti získaných výsledkov a možnosť on-line spätnej väzby na simulovaný proces.

Výhody získané zo simulácie výrobných a logistických systémov sú [133] :

- Zníženie investičného rizika odhalením nedostatkov v prípravných fázach projektu.
- Zvýšenie produktivity existujúcich výrobných zariadení o viac ako 15 - 20 %.
- Skrátene priebežnej doby výroby a redukovanie zásob o 20 - 60%.

- Redukcia investičných nákladov pri plánovaní nových výrobných systémov o viac ako 20%.
- Optimalizácia parametrov výrobného systému vrátane skladových zásob.
- Maximalizácia využitia výrobných zdrojov.
- Zlepšenie materiálových tokov a rozvrhovania výroby.
- Zníženie podnikateľského rizika pri zavádzaní novej výroby.
- Možnosť virtuálnej prehliadky výrobných hál.
- Overenie navrhovaného konceptu výroby.
- Optimalizácia rozmiestnenia výrobného zariadenia.
- Preverenie procesov pred začatím výroby.
- Redukcia potrebnej plochy a úprav zariadení.
- Odhalenie slabých miest a kolízií.
- Programovanie strojov a liniek off-line.
- Obmedzenie potreby prototypov a zníženie potreby opráv.

Metodické princípy simulácie podnikových procesov sú nasledovné:

- Analýza systému - analýza reálneho alebo konceptuálneho systému, definovanie cieľov projektu
- Vytvorenie simulačného modelu – objektu, na ktorom sa pomocou vhodného simulačného programu realizujú simulačné experimenty.
- Plánovanie a realizácia experimentov - určenie postupnosti zmien parametrov simulačného modelu s následným overením vplyvu týchto zmien na model.
- Formálne výsledky - zo simulačných experimentov sa získajú výsledky, ktoré je potrebné spracovať a analyzovať.
- Dôsledky pre reálny systém - na základe požiadaviek na systém sa definuje splnenie cieľa, resp. požiadavka na úpravu simulačného modelu.
- Aplikácia - ak výsledky simulačných experimentov splnili definované ciele, pristupuje sa k aplikácii navrhnutého riešenia.

Oblasti využívania simulácie v podniku sú uvedené v tab.1.

Výroba	Technológie
<ul style="list-style-type: none"> • Implementácia moderných metód riadenia • Plánovanie kapacít • Identifikácia úzkych miest vo výrobe • Optimalizácia výrobných dávok • Overovanie výrobných postupov • Preverovanie návrhov dispozícií 	<ul style="list-style-type: none"> • Analýza vplyvov zmeny • Návrh a preverenie logiky materiálových a informačných tokov • Začlenenie nových prvkov do systému
Logistika	Služby
<ul style="list-style-type: none"> • Analýza manipulácie s materiálom • Analýza využitia zdrojov • Modelovanie distribučných reťazcov 	<ul style="list-style-type: none"> • Analýza obslužných časov • Optimalizácia využitia pracovných síl • Rozmiestnenie pracovísk obsluhy

Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

<ul style="list-style-type: none"> Analýza výrobných nákladov 	<ul style="list-style-type: none"> Analýza toku informácií a dokumentov Racionalizácia siete pobočiek
--	---

Tab.1 Oblasti využitia simulácie procesov v podniku

Simulácia procesov navrhovaných virtuálnych výrobných zostav znamená:

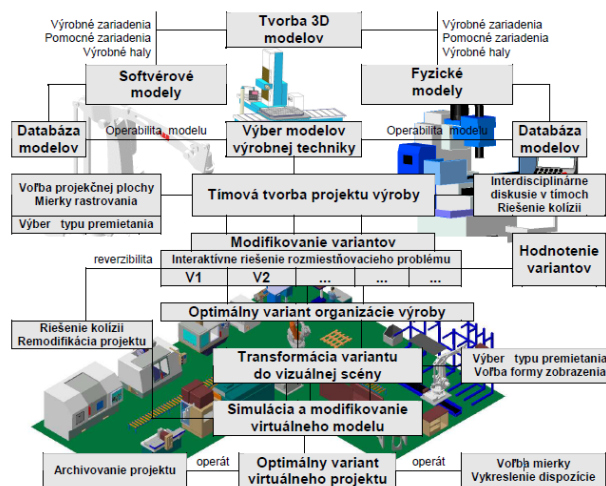
- dôslednú analýzu variantov generovaných štruktúr a komplexnosť ich hodnotenia ako výsledok multidisciplinárneho riešenia,
- aplikáciu prototypových, už existujúcich znalostných databáz umožňujúcich opätovné použitie údajov,
- overovanie použitia už schválených postupov analýzy a pod.
- správu a efektívne zvládanie veľkého množstva údajov týkajúcich sa simulácií vrátane parametrov riešenia a výsledkov,
- korekciu funkčnej vizualizácie výrobných prostriedkov reálneho modelu výroby,
- vysokú zhodu projektu s reálnym modelom výroby (objektívnosť modelu virtuálnej reality),
- možnosť on-line spätnej korekcie projektu a pod.

Súčasný trh ponúka aplikačné softvérové systémy, ktoré podporujú projektovanie výrobných systémov v rôznych aplikačných oblastiach. Použitie takýchto systémov dovoľuje navrhovať celý výrobný systém, účelovo lokalizovať výrobné prostriedky na výrobnú plochu, navrhovať dopravné cesty, skladovacie priestory, ich simuláciu, zobrazovanie a vykresľovanie v ľubovoľných pohľadoch a pod. Počítačové podporné prostriedky aplikovať v projektovaní umožňujú :

- tvorbu nových 2D a 3D dispozícií v ľubovoľných rovinách a uhloch pohľadu,
- transformáciu fyzických modelov do výrobných konfigurácií,
- tvorbu virtuálnych aplikácií výrobných konfigurácií,
- digitalizáciu a simuláciu ich stavov,
- transformáciu reálnych výrob do virtuálneho prostredia, ich digitalizáciu a simuláciu.

Procesy projektovania výroby sa v súčasnej dobe menia a sú charakterizované takými aspektmi, ako sú napr. stúpajúca komplexnosť výrobkov, skracovanie priebežných časov výroby, väčšie vývojové tímy, rovnaké vývojové ciele celosvetovo pôsobiach podnikov, smerovanie produkcie na medzinárodné trhy, práca s elektronickou dokumentáciou, sieťové modely spolupráce projekčných tímov vo virtuálnom pracovnom prostredí a pod. K hlavným požiadavkám na realizáciu virtuálneho vývojového prostredia patria optimalizované pracovné procesy, dostupnosť celkových elektronických údajov o výrobkoch a procesoch pre všetkých členov tímu, jednotnosť elektronickej dokumentácie, komunikačné rozhranie k vonkajšiemu svetu, jednoduché a zabezpečené využívanie všetkých nástrojov v pracovnom prostredí. Vývoj výrobných systémov sprevádzalo aplikovanie rozličných filozofií a metodológií v projektovaní, ako sú napríklad [1, 5, 16] štíhla výroba, agilná výroba, flexibilná výroba, rekonfigurovateľný výrobný systém, e-produkčný systém, výroba na báze internetovej siete, samo organizovaný decentralizovaný

výrobný systém, trvalo-udržateľná výroba, holonický výrobný systém, virtuálny výrobný systém založený na distribúcii, výrobný systém s vyváženou úrovňou inteligentnej automatizácie, výrobný systém inšpirovaný živým organizmom atď. V minulom období boli realizované koncepcie tvorby konfigurácie výrobných systémov založené na tvorbe dvoch druhov modelov. Modely neboli navzájom integrované a spoločne využívané. Fyzické modely výrobných prostriedkov a výrobných systémov umožňujú pri rozhodovaní projektantov aj v súčasnosti lepšie porozumieť komplexu dispozičných súvislostí a umožňujú efektívnu vzájomnú komunikáciu špecialistov a expertov. Digitalizované simulačné a virtuálne modely umožňujú počítačovou prezentáciu budúceho, reálneho stavu. Najnovšie techniky umožňujú tieto rozdielne prístupy integrovať do jedného integrovaného systému. Synchronná práca v reálnom a virtuálnom prostredí prináša rad efektov. Integrované postupy zabezpečujú, že všetky akcie aplikované s reálnymi fyzickými modelmi sa prenášajú do paralelnej práce s počítačovými modelmi, ktoré sa následne prezentujú vo virtuálnom prostredí. Integráciu oboch druhov prístupov pri modelovaní prezentuje obr.2.



Obr.2 Metodická postupnosť integrovaného projektovania výrobných systémov

Projekty zákaznícky orientovaných výrob budúcnosti vyžadujú inovatívne riešenia, ktoré zohľadňujú [1, 17]:

a) *Pružne prispôsobiteľné, rekonfigurovateľné výrobné prostriedky, technológie a systémy.*

Dnešný zákazníci sú nároční na úžitkové vlastnosti a kvalitu produktov. Požadujú výhodnú cenu a krátky čas dodania tovaru. Tento tlak na výrobné podniky smeruje k nevyhnutnosti využívať vysokoflexibilné a adaptívne stroje, zariadenia a komplexné výrobné bunky. Kľúčovým faktorom je preto vysoká výkonnosť výrobného systému a jeho vysoká efektívnosť dosahovaná napr. prostredníctvom jeho modularity. Rýchle zmeny týkajúce sa technológií v procesoch vyvolávajú tiež akútnu potrebu navrhovania a tvorby výrobných systémov s takou stavebnicovou štruktúrou, ktorá je nenáročne modernizovaná, a do ktorej je jednoduché integrovať moduly vykonávajúce nové funkcie a realizáciu technologických metód [3]. Rekonfigurovateľnosť výrobného systému je vlastnosť získaná počas fázy projektovania a umožňuje nastavenie

výrobnej kapacity a funkčnosti v súlade s požiadavkami zákazníkov, a to sa deje zmenou štruktúry alebo úpravou výstavbových komponentov systému [2]. Funkčnosť systému alebo jeho elementárnych zariadení a výrobné kapacity musia byť prispôsobené okamžite, v závislosti od záujmu na trhu, ktorý sa vyznačuje značnou turbulentnosťou a variantnosťou potrieb.

b) *Výrobné prostriedky a technológie, komplexné produkčné systémy pre produkciu miniaturizovaných produktov.*

Miniaturizácia výrobkov je dôležitým hodnotiacim kritériom vlastností výrob budúcnosti. Ovlivňuje výber výrobných techník a technológií vhodných pre riešenie projektov výrobných konfigurácií a ich architektúru (komplexné miniaturizované závody). Projektová príprava takýchto projektov má svoje špecifika v úspore priestorov, energií a materiálov. Sú nositeľmi vysokej mechanizácie a automatizácie, môžu byť pružne lokalizované v mieste trhovej spotreby, sú ekologické s malou produkciou odpadov a pod. Takýto výrobný systém môže byť koncipovaný napr. vo formáte „pracovného stola“ a môže byť vhodný pre komplexnú výrobu súčiastok a výrobkov malých rozmerov vysokej presnosti.

c) *Nástroje pre adaptívne výrobné systémy*

Konkurencieschopná výroba novej generácie s vysokou pridanou hodnotou si vyžaduje pokrokové, nekonvenčné výrobné technológie, zariadenia, štruktúry a procesy. Ich aplikácia vyžaduje použitie nástrojových systémov novej generácie, ktoré sú schopné v kombinácii s adaptívnymi automatizovanými kontrolnými nástrojmi (inteligentné meracie systémy) aktívne optimalizovať priebeh procesov podporujúce filozofiu nulovej nepodarkovosti vo výrobe. To si vyžadujú spolu s inováciami produktov a procesov hľadať aj adekvátne metód a nástrojov riešenia konštrukcií strojov a monitorovania výrobných operácií, zlepšovania ergonomie a pod.

d) Zmena prístupov v navrhovaní produktov (produkt design) a ich vplyv na výrobnú štruktúru:

- skracovanie uvádzacích časov na trh,
- rastúca variantnosť a modifikácie výrobkov, ich zákaznícka personalizácia,
- stúpajúca váha kritérií kvality výrobkov, bez ohľadu na dobu ich životnosti,
- nárast funkčnej integrácie úžitkových vlastností výrobku,
- miniaturizácia komponentov výrobku,
- nárast modifikácii výrobkov - montážna rozmanitosť,
- doplnkové montážne procesy generujú potrebu nových montážnych prostriedkov a prípravkov,
- narastá miera presnosti montáže a požiadavky na funkčnú spoľahlivosť a komfortnosť užívania produktu zákazníkom.

e) Zmeny v metodikách projektovania výrobných štruktúr:

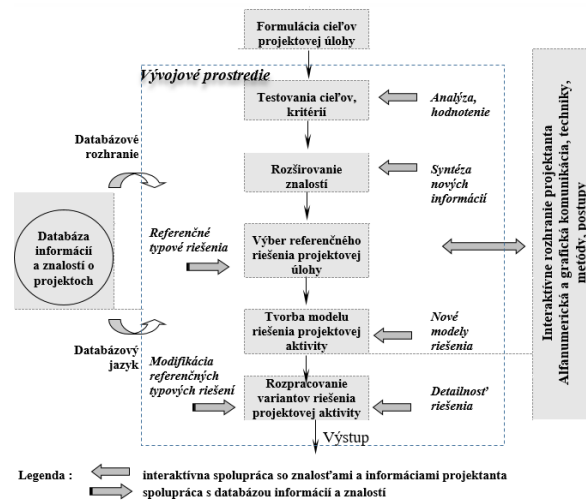
- skracovanie času na inžinierske aktivity a spracovanie projektov,
- variantnosť usporiadania výrobných štruktúr, ich rýchla rekonfigurovateľnosť,
- modularita štruktúr a možnosť ich rozšírenie a doplnenia,
- optimalizácia výrobného priestoru,
- vysoká flexibilita výrobných prostriedkov schopná eliminovať výkyvy v kvantite výrobnej dávky, zmenené technologických procesov a pod.,

- redukcia energetickej náročnosti, zjednodušená údržba, nízko-nákladová automatizácia, ekologická, personálna a sociálna dimenzia projektov.

Zo všeobecného hľadiska sú v projektovej príprave budúcej výroby realizované nasledovné činnosti :

1. Hlavné projektové aktivity

Programové moduly tohoto druhu sú orientované na základné etapy projektovania výrobných systémov. Vo všeobecnosti na základe vstupných podmienok (technické zadanie, cieľové funkcie, informácie, obmedzujúce podmienky a pod.) umožňujú spravidla v interaktívnom režime riešiť projektové úlohy. Riešenia sú variantné. Štruktúra aktivít takéhoto typu je uvedená na obr.3.



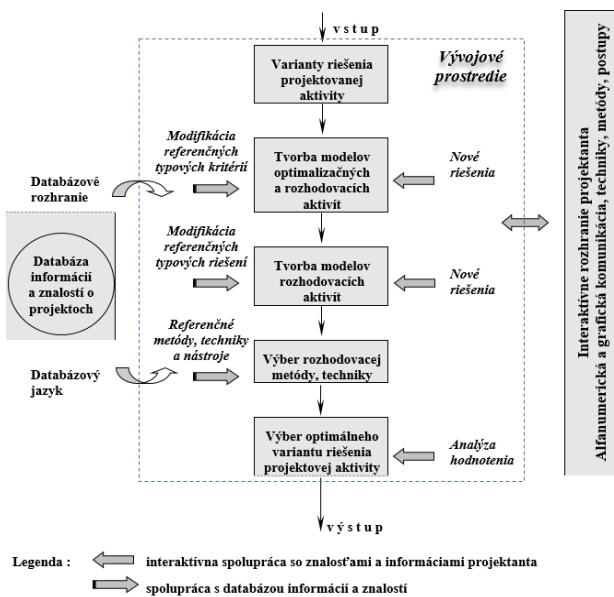
Obr.3 Štruktúra projektových aktivít v automatizovanom projektovaní

Variety riešenia projektovej úlohy na základe počítačovej podpory sa získavajú :

- generovaním variantov riešení pomocou komerčných alebo špeciálnych programových modulov,
- výberom typových alebo referenčných riešení zo znalostných a informačných systémov,
- interaktívnym projektovým postupom na základe logických alebo heuristických procedúr.

2. Optimalizačné a rozhodovacie aktivity

Aktivity takéhoto druhu je potrebné v procesoch projektovania využívať najmä pri výberových aktivitách, keď je potrebné z vytvorenej množiny riešení nájsť optimálne riešenie. Počet využívaných metód a nástrojov môže byť značne široký. V závislosti na riešených problémoch sa využívajú metódy multikriteriálneho a neostrého rozhodovania, expertné ale aj iné metódy. Zovšeobecnená štruktúra aktivít takéhoto druhu je na obr.4.



Obr.4 Štruktúra rozhodovacích aktivít v projektovaní

Aktivity v uvádzanom zmysle sú rozdelené na :

- interaktívne tvorivé a heuristické procedúry,
- všeobecné matematické metódy a techniky pre hodnotenie a optimalizáciu variantov,
- simulačné metódy a techniky.

3. Znalostné a informačné systémy

Z hľadiska počítačovej podpory projektových úloh sa vyžaduje vhodný informačný a znalostný systém. V projektovaní sa využíva značný rozsah rôznorodých faktografických a grafických druhov informácií a znalostí, ktoré musia byť vhodným spôsobom modifikované a využívané. Využívať je potrebné algoritmicke a informačné postupy, ktoré zabezpečia optimálnu informačnú činnosť. Znalostné a informačné systémy sú efektívne v projektovej činnosti. Stávajú sa taktiež aj súčasťou technickej prípravy výroby a sú efektívnym nástrojom pre integráciu v automatizovaných výrobných systémoch, systémoch CIM a pod. Skúsenosti z tejto oblasti ukazujú, že znalostné a informačné systémy sú efektívne pri riešení rôznych druhov problémov. Ich aplikácia sa odporúča ak:

- na riešenie nie je možné uplatniť analytické metódy,
- počet variantných riešení môže byť veľký (kombinatorika počtu),
- v problémovej oblasti existuje rozsiahle množstvo znalostí, pričom sa využívajú relevantné znalosti atď.

Z obsahového hľadiska pri projektovaní výrobných systémov a zoskupení je potrebné zabezpečiť spracovanie súboru funkcií podľa technického zadania. Hlavné typové aktivity v projektovaní výrobných systémov sú :

- Spracovanie vstupných údajov a cieľových funkcií v zmysle technického zadania. Predstavuje analýzu všeobecnej množiny obmedzujúcich podmienok a optimalizačných funkcií, vrátane výberu tých, ktoré sú pre daný projekt rozhodujúce so stanovením ich priority. Potrebné je aj v rámci tejto analýzy posúdiť komplexnosť údajov a ich doplnenie s cieľom optimalizovať technické zadanie a špecifikáciu cieľov a funkcií.

- Profilácia výrobkov a výrobných technológií. Analyzuje a vyhodnocuje súčiastkovú základňu a výrobky z hľadiska technologických, manipulačných, systémových, resp. iných kritérií. Realizuje sa výber výrobných metód a štruktúr (zohľadňované majú byť také kritériá, ako je úroveň koncentrácie výrobných operácií, štruktúra reálneho času výroby, priestorová lokalizácia a pod.). Vybrané metódy a štruktúry sa kvantitatívne vyhodnocujú, stanovuje sa ich priorita a formuje základňa pre ich syntézu v ďalšej etape riešenia.
- Kvantifikácia potrieb a zdrojov - kapacitné výpočty. Pre uvažovaný sortiment vyrábaných objektov na výrobnom pracovisku a v systéme sa na základe príslušných výpočtových postupov stanovuje potrebný počet výrobných, manipulačných, skladovacích, pomocných a riadiacich prvkov a prostriedkov, resp. špecifikujú sa ďalšie kapacitné parametre, energie, plochy a pod.
- Výber výrobných prostriedkov a prvkov výrobného pracoviska, resp. systému. Vyberajú sa výrobné, manipulačné, pomocné, skladovacie, riadiace a ďalšie prvky a technické prostriedky pre realizáciu systému. Výber sa spravidla zakladá na porovnaní parametrov technických prostriedkov a prvkov zaznamenaných v informačnom systéme (banka dát) s vektorom požadovaných vlastností - variantným spôsobom. V tejto etape je potrebné formulovať množinu vhodných technických zariadení a prvkov pre realizáciu a integráciu pracovísk, resp. výrobného systému.
- Syntéza štruktúr výrobného pracoviska, resp. systému. Zabezpečuje sa zlúčenie funkcií realizovaných technickými prostriedkami a prvkami do realizačného celku. Zlučovanie sa vykonáva na základe vyhodnocovania vhodnosti technických prostriedkov a prvkov plniť funkcie výrobných metód a štruktúr. Vypočítavajú sa pritom základné parametre systému a usporadúvajú sa podľa príslušných štruktúrnych funkcií.
- Riešenie zonálnych a priestorových vzťahov, materiálových a informačných rozhraní. Optimalizácia rozmiestňovacích úloh sa vykonáva na základe geometrických výpočtov a vyúsťuje do grafického znázornenia výrobného systému. Znázornenie môže byť vo forme 2D dispozičného riešenia alebo 3D modelu s príslušnými rezmi, pohľadmi, vyznačenia manipulačných zón a ďalších údajov, tokov materiálov a informácií.
- Spracováva sa funkčný režim činností výrobného pracoviska, resp. systému, t.j. sled technologických, manipulačných, riadiacich a pomocných operácií a pod. Formou simulácie overované môžu byť funkcie spoľahlivosti, priechodnosti, časové relácie, kolízne stavy a pod.
- Rozpracované, resp. zvolené varianty riešenia výrobného pracoviska, resp. systému, sa posudzujú na základe presného výpočtu technických a ekonomických ukazovateľov (napr. operačný čas, výrobnosť, spoľahlivosť, pružnosť, stupeň automatizácie, náklady na projekt, doba návratnosti a pod).
- Vypracovanie výstupnej dokumentácie. Výstupná dokumentácia sa vypracováva v dvoch formách a to:
 - ako grafický záznam príslušného riešenia (dispozičné, resp. priestorové riešenie, grafy manipulačných cyklov a pod.)



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

- výpis kvantitatívnych údajov (špecifikácia technických prostriedkov a prvkov,
- výpis technicko-ekonomických ukazovateľov a pod.).

4 ZÁVER

Hybnou silou nových projektov dnešných výrobných systémov je zvýšený dôraz na uspokojovanie individuálnych potrieb zákazníkov prostredníctvom čo najnižších výrobných nákladov. Spracovanie dobrých projektov znamená nájdenie tímového kompromisu názorov na celý rad strategických otázok, ktoré musia byť zodpovedané skôr, ako sa prikrčí k technickému riešeniu. Ich podstatou sú :

- a) odborné znalosti projekčného tímu (voľba adekvátnych metód a nástrojov pre riešenie),
- b) systémový prístup k riešeniu inžinierskych úloh (schopnosť zachytiť komplexnosť riešeného problému ako súboru riešenia dielčích problémov, relatívne izolovaných, ale navzájom úzko súvisiacich),
- c) abstraktné myslenie a predstavivosť projektanta (definovanie technického problému, a variantnosť riešenia a vytvorenie ucelenej modelovej predstavy o budúcom systéme),
- d) kreativita projektanta (schopnosť generovať nové, nepoznané riešenia a tie spracovať do funkčného riešenia),
- e) etika projektanta („eko-schopnosti“ odhadnúť dôsledky technického riešenia na prírodu, spoločnosť alebo na budúcich používateľov technického systému).

ACKNOWLEDGEMENTS

Príspevok bol riešený v rámci projektu KEGA 030TUKE-4/2017 Implementácia inovačných nástrojov zvyšovania kvality vysokoškolskej výučby v študijnom odbore 5.2.52 Priemyselné inžinierstvo.

LITERATÚRA

[Kováč 2018] Kováč J., Rudy V., Kováč J.: Metodika projektovania výrobných procesov II. Inovačné projektovanie výrobných systémov. 1. vyd. Košice. Technická univerzita v Košiciach. 2018. ISBN 978-80-553-2873-7.

[Daneshjo 2018] Daneshjo N. et al : Intelligent industrial engineering - Innovation potential . San Antonio. FedEx Print & Ship Center. 2018. ISBN 978-0-578-40289-5.

[Gregor 2018] Gregor M., Mičieta B., Krajčovič M. a kol.: Súbor prednášok 50. rokov – Katedra priemyselného inžinierstva. Žilinská univerzita v Žiline.

[Rudy 2010] Rudy V.: Inovačné postupy a metódy pre projektovanie výrobných systémov. Autoreferát habilitačnej práce. 2010. ISBN 978-80-553-0244-7.

PROJEKTOVANIE DODAVATEĽSKO / ODBERATEĽSKÝCH RETAZCOV VO VÝROBACH BUDUCNOSTI

Peter Malega

Technická univerzita v Košiciach, Ústav manažmentu,
priemyselného a digitálneho inžinierstva, Košice, Slovensko

e-mail: peter.malega@tuke.sk

ABSTRACT

This article is oriented on the supplier/customer chains in the productions of the future. It describes the structure of supplier chains, important characteristics of supplier/customer chains, flexible supplier/customer networks, virtual supplier/customer chains, integrated supplier/customer chain and processes in these chains. You can find there also models of supplier/customer integration, relationships of processes in the supply chain, an example of a supply network that adapts to the conditions and requirements of a core business and procedure for selecting suppliers and managing supplier relationships. Since the relationships between suppliers and customers are a fundamental relationship in the trading process, it is necessary to manage them so that the company gains a competitive advantage through good interconnection.

KEYWORDS

logistics, supplier-customer chains, production of the future, production digitization, designing of production systems

1 ÚVOD

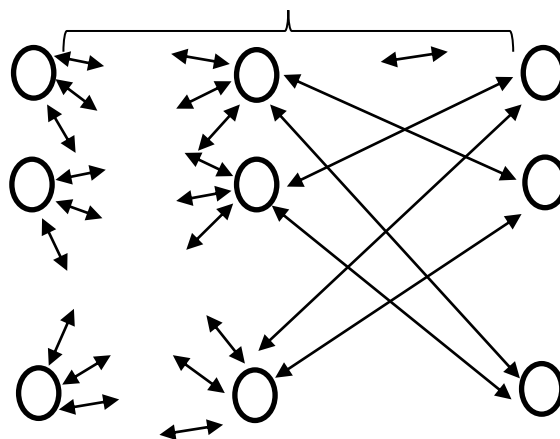
Vzťahy medzi dodávateľmi a odberateľmi tvoria základný vzťah v procese obchodovania. Práve sila a pevnosť týchto vzťahov sú v mnohých prípadoch kľúčovými prvkami pre úspech oboch strán. Riadenie týchto vzťahov preto v sebe zahŕňa všetky činnosti počnúc tokom tovarov a služieb od dodávateľov k zákazníkom až po koordináciu a riadenie prislúchajúcich informácií [Birkahn 2007].

Spoločnosti s výborne riadeným a udržateľným dodávateľským/odberateľským reťazcom, ktoré dbajú na to, aby ich služby, výrobky alebo komponenty naplnili, či dokonca prekročili aj environmentálne a sociálne očakávania ich partnerov, sú nielen schopné manažovať riziko vo väčšom rozsahu ako konkurenti. Vďaka partnerstvu s dodávateľmi/odberateľmi prinášajúcom inovácie získavajú aj podstatnú konkurenčnú výhodu [Dupal 2002].

2 DODÁVATEĽSKÉ/ODBERATEĽSKÉ REŤAZCE A SYSTÉMY

Dodávateľský/odberateľský reťazec je mnohovrstvový systém. Medzi dvoma susednými vrstvami sa realizujú dodávateľsko-odberateľské vzťahy. Reťazce tvoria v sieťovom prostredí množiny dodávateľov, spracovateľov, distribútorov, zákazníkov

a pod., medzi ktorými existuje množstvo rôznych väzieb. Štruktúra reťazca ako sieť je ilustrovaná na Obr.1 [Švač 2006].



Obrázok 1. Štruktúra dodávateľských/odberateľských reťazcov [1]

V sieťovom prostredí často vzniká množstvo reťazcov. Dodávateľský/odberateľský reťazec je zložitá medzipodniková štruktúra, ktorá sa vytvára z podnikateľských subjektov, ktoré sa vzájomne podporujú a špecializujú sa na výskum, vývoj, výrobu, montáž, servis, distribúciu, dopravu, skladovanie, marketing, predaj a pod. V projektovaní dodávateľských/odberateľských reťazcov sa využívajú mnohé koncepcie vyvinuté v rôznych iných disciplínach, ale sú napr.: logistika, marketing, finančný manažment, informačné systémy, operačný manažment, ekonomika, systémová dynamika a operačný výskum, a vychádza z integrácie ich poznatkov.

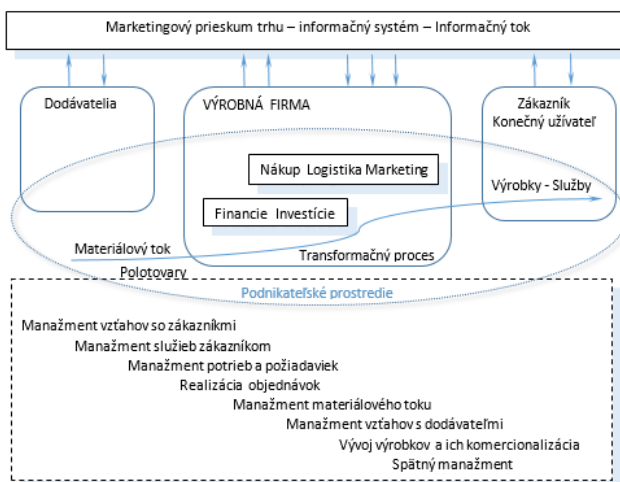
Projektovanie dodávateľských/odberateľských reťazcov ovplyvňuje pokrok v informačných technológiách (IT). Tieto umožňujú využívať sieťové štruktúry nielen pre vlastný prenos a riadenie informačných tokov, ale takisto pre riadenie materiálových a finančných tokov a vyhľadávanie optimálnych podmienok dodávok presne podľa požiadaviek zákazníka.

Postavenie dodávateľsko/odberateľských reťazcov neustále silnie. Podniky potrebujú dodávateľov, svoju dodávateľskú sieť, ktorá svojimi rôznorodými prepojeniami vytvára možnosti pre globálne pôsobenie. Riadenie dodávateľsko/odberateľských reťazcov je významným procesom v moderných spôsoboch riadenia podnikov. Výskum prináša revolučné filozofie a prístupy, ktoré podnikom majú zabezpečiť trvalú konkurencieschopnosť. V posledných rokoch ide nielen o konkurenciu, ale aj o vzájomnú spoluprácu medzi samotnými výrobcami komplexných výrobkov a medzi dodávateľmi/odberateľmi. Vznikajú mnohé spoločné podniky, projekty pri konštrukcii dielov, modulov výrobkov a systémov, ale aj spoločné práce pri vývoji, výrobe a montáži [Kováč 2018].

Procesy prebiehajúce v dodávateľskom reťazci majú svoje prepojenia a vzájomné vplyvy. Na obr.2 sú zobrazené prepojenia procesov v dodávateľskom/odberateľskom reťazci, pričom:

- Manažment vzťahov so zákazníkmi – poskytuje štruktúru ako sú vyvíjané a udržiavané vzťahy so zákazníkmi.

- Manažment služieb zákazníkom – poskytuje obraz o podniku, jednoduché informácie o podniku.
- Manažment potrieb a požiadaviek – vytvára rovnováhu zákazníckych požiadaviek s kapacitami dodávateľského reťazca.
- Vybavenie objednávok – zahŕňa všetky aktivity potrebné pre definovanie zákazníckych požiadaviek, návrh logistickej siete, doplnenie zákazníckych objednávok a pod.
- Manažment výrobného toku – poskytuje štruktúru ako riadiť výrobné toky.
- Vývoj výrobkov a komercializácia – poskytuje štruktúru pre vývoj a vstup nových výrobkov na trh spoločne so zákazníkmi a dodávateľmi.
- Spätný manažment – zahŕňa všetky aktivity týkajúce sa odpovedí, spätnej logistiky, zrušenia činností a pod.



Obrázok 2. Vzťahy procesov v dodávateľskom/odberateľskom reťazci

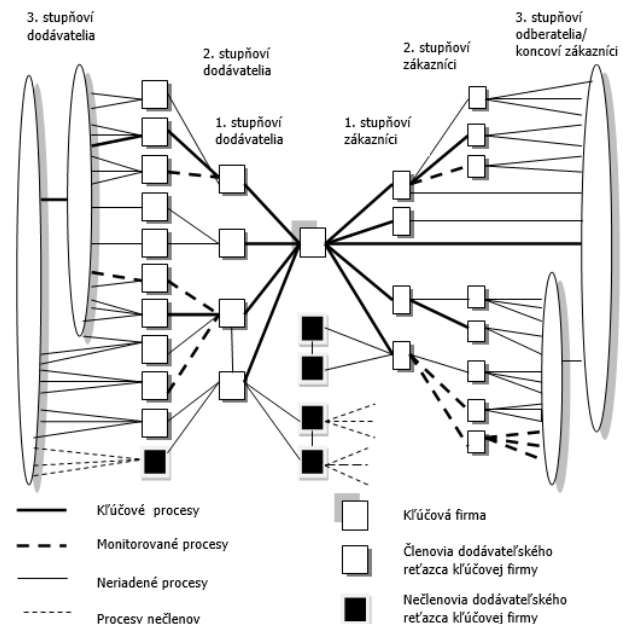
Dodávateľský/odberateľský reťazec má významnú úlohu vo zvyšovaní atraktívnosti výrobkov a vplyve na ich tvorbu vzhľadom k rastu konkurencie. Globálna konkurencia, schopnosť inovovať, resp. poskytovať kvalitné služby sú kľúčové faktory pre udržanie si dobrého postavenia na trhu. Pri projektovaní je potrebné brať zreteľ na významné charakteristiky dodávateľského/odberateľského reťazca. Medzi tie sa zahrňujú:

- globalizácia trhu, znižovanie nákladov, efektívny systém spolupráce,
- nižšie ceny výrobkov, rozšírenie high-tech, vyššia kvalita, dokonalý servis zákazníkovi,
- rýchle a podstatné zmeny procesov v hodnotovom reťazci,
- rozdelenie práce medzi dodávateľom a výrobcem výrobkov je efektívnejšie a optimalizovanejšie pre vyšší stupeň integrácie,
- zodpovedajúce aktíva podnikov sú inovačná sila, flexibilita a mobilita,
- zvyšuje sa úroveň zodpovednosti za vývoj u dodávateľov,
- kľúčová úloha k zníženiu nákladov je stratégia platforiem a štandardizácia výroby komponentov,
- princíp modulov a systémov v dodávateľskom sektore,
- zvyšovanie úrovne komunikácie v dodávateľskom reťazci,
- zapájanie dodávateľov/odberateľov do vývoja výrobku už v prvotnej fáze,
- dodávateľská ponuka zákazníkovi: zníženie nákladov, zníženie počtu častí a hmotnosti výrobku, rýchle inovácie, investície do

- vývojeovej oblasti, rozšírenie objemu produkcie, aktivity v zahraničí,
- narastajúca silná spolupráca dodávateľov/odberateľov pri vývoji komponentov,
- redukcia počtu dodávateľov – otvorené dlhodobé partnerstvá s vybranými výrobcami komponentov (tzv. základné „jadro“ dodávateľov),
- vytváranie strategických aliancií,
- vytváranie Joint-Ventures,
- rozvoj modularizácie – svetoví výrobcovia podporujú rozvoj modulového systému montáže predovšetkým s dôrazom na redukciu počtu výrobných operácií, čo je finančne výhodné ako pre výrobcu výrobkov, tak aj pre dodávateľa komponentov. Problémové je balenie modulov pred ich dopravou a možné problémy pri preprave na veľké vzdialenosti.
- flexibilita dodávateľov – konečným výsledkom má byť výrazná redukcia nákladov. Výrobné technológie podporujúce flexibilitnú výrobu obsahujú nasledujúce faktory:
 - opätovná použiteľnosť výrobného zariadenia,
 - modifikovateľné, resp. opätovne využiteľné náradie,
 - štandardizácia základných prvkov výrobného procesu,
 - umiestnenie výroby,
 - obalová technika,
 - štandardizácia kľúčových bodov výrobného dizajnu,
 - modifikovateľnosť výrobného priestoru,
 - rýchle pretvorenie výrobných a montážnych liniek pre rôzne typy výrobkov[Kováč 2018] .

3 DODÁVATEĽSKÉ/ODBERATEĽSKÉ SIETE NOVÝCH VÝROB

Príklad dodávateľskej siete, ktorá sa prispôbuje podmienkam a požiadavkám kľúčového podniku je zobrazený na Obr.3.



Obrázok 3. Príklad dodávateľskej siete, ktorá sa prispôbuje podmienkam a požiadavkám kľúčového podniku

Flexibilné dodávateľské/odberateľské siete zvyšujú flexibilitu všetkých fyzických, informačných, plánovacích a riadiacich procesov v celom hodnotovom reťazci. Cieľom siete je dosiahnuť pokrok v informáciách a logistike materiálov radikálnym zredukovaním zdĺhavých časov, anonymných

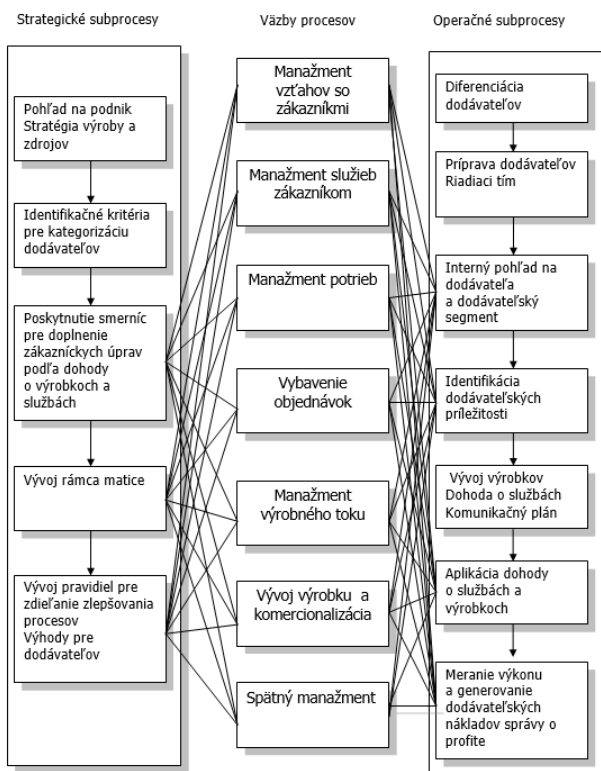
skladových zásob a nepoužívaných kapacít v dynamickom prostredí siete. Flexibilná sieť obsahuje tieto faktory [Kováč 2018]:

- nové vnútropodnikové spolupracujúce procesy pre plánovanie,
- kooperujúce výrobné kapacity v dodávateľskej sieti,
- zrealizovanie individuálnych zákaznických objednávok,
- založenie sofistikovaného monitoringu riadenia zákaznických objednávok a ich dielcov a komponentov,
- nové organizačné štruktúry s novými úlohami a zodpovednosťami.

Virtuálne dodávateľské/odberateľské reťazce sa dajú charakterizovať ako outsourcing vybraných častí z kompletného objednávkového procesu so sofistikovanou internetovou IT podporou. Výhody tohto reťazca sú [Kuric 2002]:

- redukcia investícií pri fakturačných a objednávkových operáciách a ich infraštruktúry,
- väčšia variantnosť služieb a výrobkov bez ďalších nákladov pri procese vybavovania objednávok,
- využívanie pri vysoko rozmanitých potrebách,
- nižšie náklady,
- nižšie prepravné náklady.

Procesy v dodávateľskom reťazci sú na Obr.4.

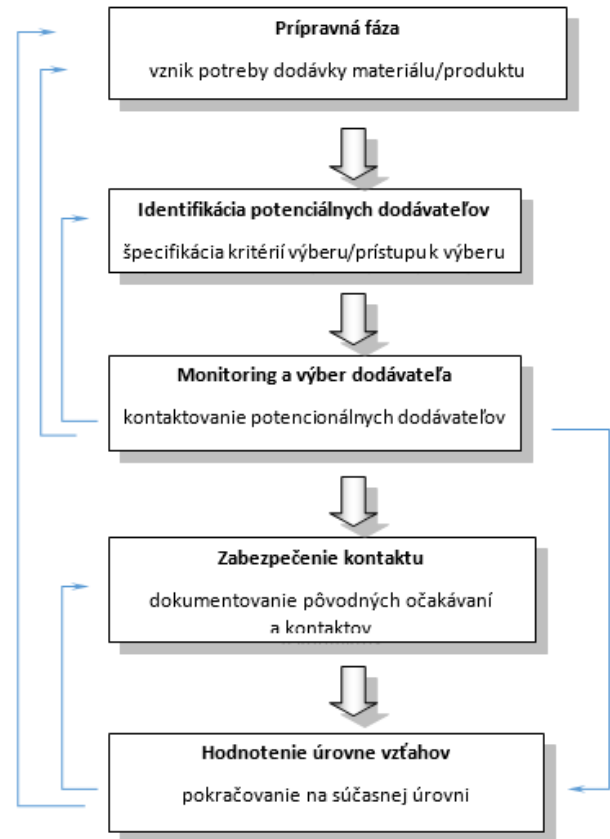


Obrázok 4. Procesy v dodávateľskom reťazci

Postup pri výbere dodávateľov a riadení dodávateľských vzťahov je uvedený na Obr.5.

Proces začína zistením potreby zabezpečiť dodávku až po priebežné hodnotenie s následnou kontrolou. Pri rozhodovaní sa berie do úvahy široká škála faktorov (celková doba dodania, dodávky načas, schopnosť urýchlenia, konkurenčné ceny alebo podpora po predaji). Vo väčšine podnikov sa v rámci dodávok rozlišuje šesť hlavných kategórií: (1) súčiastky a diely, (2)

suroviny, (3) prepravovaný spotrebný materiál, (4) pomocné zariadenia, (5) výrobné/spracovateľské zariadenia a (6) služby. V každej z týchto kategórií pritom môže ísť o rutinné, priebežné nákupy, alebo o nerutinné nákupy, ktoré môžu vyžadovať zvláštnu pozornosť.



Obrázok 5. Postup pri výbere dodávateľov a riadení dodávateľských vzťahov

Dôvody pre integráciu reťazcov sú [Modrák 2006]:

- možný potenciál konkurenčných výhod,
- konkurenti môžu spolupracovať,
- možný prínos väčšej stability vo vzťahoch,
- možný prínos v zlepšení služieb zákazníkom, zvýšenie ziskov,
- nové technológie priamo pôsobia na rozvoj podnikania,
- svet sa stáva viac globálny a menia sa obchodné praktiky,
- firmy sa zameriavajú na tzv. „core business“.

4 INTEGROVANÉ DODÁVATEĽSKÉ/ODBERATEĽSKÉ REŤAZCE

Súčasný integrovaný dodávateľský/odberateľský reťazec vyžaduje riešenia, ktoré redukujú skladové priestory, znižujú náklady na skladovanie, zvyšujú pridanú hodnotu výrobkov, rozširujú svoje zdroje, zvyšujú rýchlosť vstupu výrobku na trh a udržiavajú si zákazníka. Efektívne riadenie dodávateľského/odberateľského reťazca môže mať za účinok virtuálne riadenie všetkých podnikových procesov, čo vedie ku kontinuálnym zlepšeniam v oblastiach ako sú: presnosť a kvalita informácií, redukcia komplexnosti operácií, optimalizovaný výber dodávateľov/odberateľov, nakupovanie, skladovanie a distribúcia [Edl 2007].

Ďalšie výhody, ktoré zahŕňa riadenie integrovaného dodávateľského/odberateľského reťazca sú:

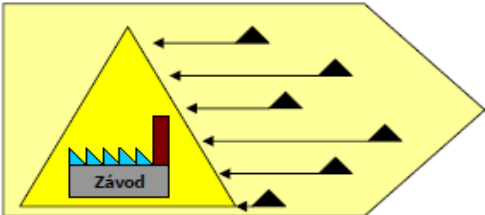
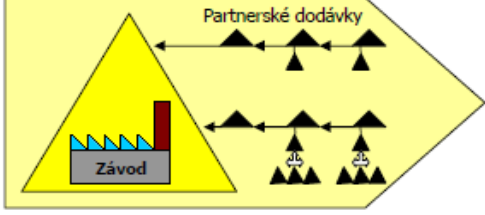
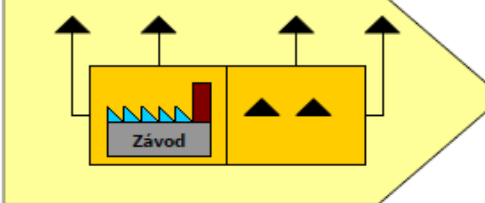
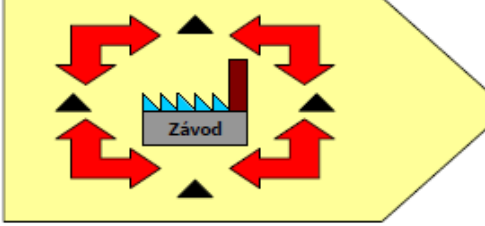
- rýchlejšia reakcia na zákazníkov a splnenie ich požiadaviek,

- vyššia produktivita a nižšie náklady, redukcia skladov v rámci reťazca,
- zvýšenie precíznosti budúcich plánov, menší počet dodávateľov a kratšie plánovacie cykly, zlepšenie kvality a zdokonalenie technologickosti výrobkov,
- zlepšenie medzinárodnej komunikácie a kooperácie,
- skrátenie logistických časov a nákladov.

Výberu a rozvoju dodávateľov/odberateľov je potrebné venovať systematickú pozornosť. Mnohé diely a komponenty výrobkov (napr. automobilov) sú vyvíjané, konštruované a testované v spolupráci s dodávateľskými podnikmi, ktoré preberajú komplexnú zodpovednosť za výrobok a taktiež za všetkých subdodávateľov na druhom a ďalších stupňoch až k

výrobcom základných surovín a materiálov. Trendom je tzv. integrácia dodávateľov.

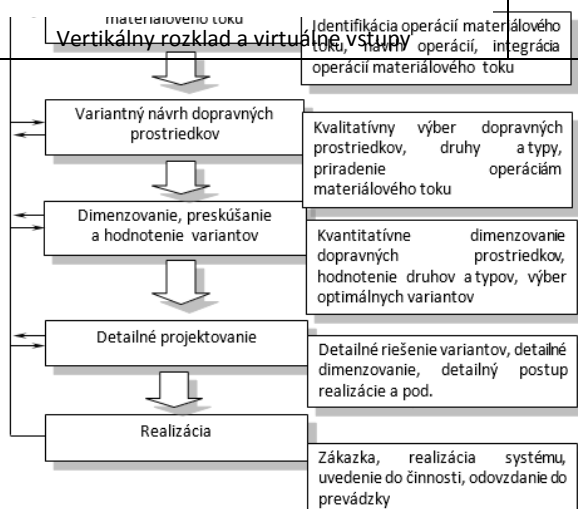
To znamená, že určitý dodávateľ má priamo prenajatú výrobnú plochu v areáli výrobcu a tu realizuje svoje subdodávky. Významným trendom je modulárna výroba, ktorá je realizovaná tzv. "modulovým dodávateľom". Podstatou tejto stratégie je, že niektorí dodávatelia väčších funkčných celkov (modulov) sú zapojení do procesu tvorby výrobku už od okamihu vývoja modulu (vývojový dodávateľ) až po konečnú montáž (integrovaný dodávateľ). Táto metóda kladie vysoké nároky na výkonnosť dodávateľov, ale je zároveň zárukou najvyššej kvality. Modely integrácie dodávateľov sú v Tab.1 [Gregor 2018].

 <p>Vertikálna integrácia a tradičné vstupy</p>	<p>Znaky Väčšina výrobkov je vyrábaných doma. Otvorené vzťahy k dodávateľskej základni.</p> <p>Kritériá Používajú sa tam, kde sú dodávateľské kapacity veľmi slabé alebo chýbajúce. Použitie modelu je relevantné pre vysoko dôvernú, resp. vlastnú výrobu.</p>
 <p>Vertikálna integrácia a štandardné vstupy</p>	<p>Znaky Montáž je u dodávateľa, ale využíva sa nakupovanie dielov. Kompletné moduly sú kupované od dodávateľov prvej úrovne.</p> <p>Kritériá Zaistenie dodávok od nadradených dodávateľov. Komponenty a dodávatelia sú viditeľne segmentované.</p>
 <p>Vertikálny rozklad a sieťové vstupy</p>	<p>Znaky Využívanie vnútropodnikovej a mimo podnikovej kontroly. Úplná dôvera k subdodávateľovi.</p> <p>Kritériá Podstatné dielce sú vyrábané viacerými dodávateľmi. Systematické vyhodnocovanie strategických výkonov vo vzťahu k sekundárnym výkonom. Zamedzenie zneužívaniu vzťahov v dodávateľskej sieti.</p>
 <p>Vertikálny rozklad a virtuálne vstupy</p>	<p>Znaky Pôvodný výrobca vyrába len minimálne množstvo alebo žiadne dielce, nastáva totálna dôvera k dodávateľom.</p> <p>Kritériá Súhlasnosť dodávateľov pre vývoj a konštrukciu výrobku Žiadaný je rýchly prienik na trh a vzostup.</p>

Tabuľka 1. Modely integrácie dodávateľov/odberateľov

V rámci integrovaného dodávateľského/odberateľského reťazca je nutné mať na pamäti, že aj keď ide o systém plne prepojený a unifikovaný, je nutné nezabúdať na úlohy, ktoré sa riešia aj vtedy, keď dodávateľský/odberateľský systém integrovaným nie je. Takou je napr. projektovanie materiálových tokov, čo je zobrazené na Obr. 6.

Obrázok 6. Příklad postupu projektovania materiálových tokov





Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

5 ZÁVER

Je nepochybné, že základným faktorom, ktorý umožňuje individualizáciu a prispôsobovanie výrobkov, je pružnosť výrobných technológií, ktorou spoločnosť disponuje. Tento prechod postupnosti výroby výrobkov cez štádiá prototypov, overovacích sérií, atď. na výrobu reálnych produktov s danými úžitkovými vlastnosťami podľa predstáv individuálneho zákazníka vyžaduje aplikáciu rôznych výrobných i obchodných modelov [Daneshjo 2018].

Dodávateľské/odberateľské reťazce výrob budúcnosti, ktoré budú musieť reflektovať globalizačné trendy a spojenú ponuku produktov so službami, budú vyžadovať nové prístupy zohľadňujúce presun materiálu, využívanie zoskupení výrobných centier excelentnosti spolu so schopnosťou plniť požiadavky lokálnych zákazníkov na maximálnej možnej úrovni [Lambert 2000].

Výroba zákaznícky prispôbovaných produktov s krátkym životným cyklom, ktoré si žiadajú premenlivé trhy, bude potrebovať nové štruktúry a prevádzkové stratégie ich dodávateľských/odberateľských reťazcov.

Dodávateľské/odberateľské reťazce budúcnosti sa budú musieť dynamicky rekonfigurovať, nakoľko zákaznicke produkty budú postavené na čoraz väčšom počte špecifických komponentov. Z tohto hľadiska bude potrebné vyvinúť nové technológie, štruktúry a IKT systém, ktoré pomôžu vytvoriť dodávateľský/odberateľský reťazec pre konkrétne produkty.

Nové technológie a štruktúry budú podporovať pracovníkov s rozhodovacími právomocami pri nachádzaní a vytváraní tých najlepších dodávateľských/odberateľských reťazcov pre akúkoľvek špecifickú objednávku.

Budú potrebné prístupy na vývoj vhodných modelov nákladov s cieľom kvantifikovať prínosy v rámci nových dodávateľských/odberateľských reťazcov (náklady, ochrana životného prostredia atď.). Tie by mali pomôcť pri rozhodovaní a počas fázy vývoja inovatívnych produktov a mali by podporovať informovanosť o prechode na nové spôsoby práce.

ACKNOWLEDGEMENTS

Príspevok bol riešený v rámci projektu KEGA 026TUKE-4/2017 Implementácia inovatívnych edukačných prístupov a nástrojov pre posilnenie rozvoja kľúčových kompetencií absolventov študijného odboru Priemyselné inžinierstvo a KEGA 030TUKE-4/2017 Implementácia inovačných nástrojov zvyšovania kvality vysokoškolskej výučby v študijnom odbore 5.2.52 Priemyselné inžinierstvo.

LITERATÚRA

[Birkahn 2007] Birkahn, C.: Smart Production Systems-Intelligente Konzepte zur Gestaltung von Productionssystemen. Kaiserslautern, 2007

[Daneshjo 2018] Daneshjo N. et al. Intelligent industrial engineering - Innovation potential. San Antonio: FedEx Print & Ship Center, 2018. ISBN 978-0-578-40289-5.

[Dupař 2002] Dupař, A. Logistická podpora výrobného procesu. Bratislava: Vydavateľstvo EKONÓM, 2002. ISBN 80-225-1610-4

[Edl 2007] Edl, M: Koncept digitálnej fabriky. In.: 2. ročník mezinárodná konferencia Výrobní systémy dnes a zítra 2007, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-295-1

[Gregor 2018] Gregor M. a kol. Súbory prednášok 50. rokov – Katedra priemyselného inžinierstva. Žilinská univerzita v Žiline.

[Kováč 2018] Kováč J., Rudy V. a Kováč J. Metodika projektovania výrobných procesov II. Inovačné projektovanie výrobných systémov. 1. vyd. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2018. ISBN 978-80-553-2873-7.

[Kuric 2002] Kuric, I. a kol. Počítačom podporované systémy v strojárstve. Žilina: Žilinská univerzita, 2002. ISBN 80-7100-948-2

[Lambert 2000] Lambert, D., M., et al. Logistika. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-221-1

[Modrák 2006] Modrák, V. Logistika, zásobovanie a distribúcia. učebný text, 1. Vyd., Prešov: FVT TU, 2006. ISBN 80-8073-606-7

[Švač 2006] Švač, V. Dodávateľské systémy v automobilovom priemysle. Košice: Edícia EQUAL TU SJF v Košiciach, 2006. ISBN 80-8073-682-0

VÝROBNÍ PROCES DÍLŮ Z MATERIÁLU PA12 NA HP JET FUSION SERIE 4000

Jakub Macháček, Filip Véle, Michal Ackermann, Jiri Šafka,
Martin Seidl

Technická univerzita v Liberci, Laboratoř prototypových
technologií a procesů, Liberec, Česká republika

e-mail: jakub.machacek@tul.cz

Článek se zaměřuje na princip technologie Multi Jet Fusion (MJF). Jsou zde popsány veškeré potřebné kroky, které vedou k finálnímu výrobku na zařízení HP Jet Fusion 4200. Toto zařízení je umístěné v Laboratoři prototypových technologií a procesů na TUL. Je zde také detailně popsána výrobní kapacitní analýza, kde je zahrnuto velké portfolio kusové vyráběných dílů. Součástí článku je i výpočet přímých a nepřímých nákladů včetně vlastní efektivity procesu MJF. V závěru článku jsou shrnuty hlavní výhody a nevýhody tohoto výrobního procesu.

KEYWORDS

HP Multi Jet Fusion; HP Jet Fusion 4200; Výrobní kapacita;
Aditivní výroba; Plánování výroby

1 ÚVOD

V současné době se velice často v průmyslové sféře setkáváme s nasazením aditivních technologií a to převážně technologie FDM (Fused Deposition Modeling). Tato technologie je vhodná pro prototypy či kusovou výrobu a to převážně nefunkčních dílů. Od roku 2016 je jednou z nejrychleji se rozvíjejících se technologií aditivní výroby technologie Multi Jet Fusion (MJF). Tato technologie pochází od americké společnosti Hewlett Packard (HP). Technologie HP Multi Jet Fusion díky své podstatě umožňuje vyrábět designové či funkční prototypy, ale i výrobní přípravky, kde je nutná zvýšená mechanická odolnost. Další vhodnou cílovou skupinou je kusová, malo-sériová výroba finálních produktů z termoplastických materiálů. Multi Jet Fusion nemá snahu vytlačit technologii FDM a nahradit ji, ale rozšířit výrobní potenciál výrobků bez složitých úprav výrobních nástrojů - vstříkovaní. [3dhubs 2019]

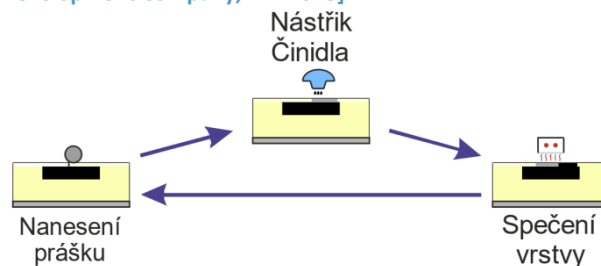
2 TECHNOLOGIE HP MULTI JET FUSION, MATERIÁLY

Technologie MJF představená společností HP v roce 2016 umožňuje aditivní zpracování termoplastických prášku. Společnost definovala normy pro tzv. „Otevřenou materiálovou platformu“, kde případným dodavatelem spotřebního materiálu mohou být i další technologické firmy. To vše za předpokladu, že firma splní přesně daná kritéria na kvalitu zpracovaného materiálu. V současné době je k dispozici několik druhů Polyamidu – PA12, PA12 GB a PA11. Ke konci roku 2019 bude i uveden materiál TPU (termoplastický polyuretan) od firmy BASF.

MJF je dostupná v několika strojních provedeních. HP Jet Fusion Serie 300/500 pro prototypovou a designovou výrobu. HP Jet Fusion Serie 4000 pro kusovou výrobu až malosériovou výrobu. Posledním přírůstkem je HP Jet Fusion Serie 5000, která je určena pro sériovou až velkosériovou výrobu.

2.1 Princip technologie MJF

Vlastní tiskový proces je rozdělen do několika částí. V prvním kroku tiskárna nanese na celou tiskovou plochu souvislou vrstvu termoplastického materiálu. Následně dochází k předehřátí vrstvy prášku pomocí infrazářičů či topných patron umístěných v zásobníku materiálu (stavební jednotce). Teplota předehřátí je blízká teplotě natavení daného materiálu. V dalším kroku je v dané vrstvě vstříknuta speciální činidla (Agent - fixační a detailní). Tyto činidla pracují jako pojiva tepelného absorbentu. V horní části 3D tiskárny je umístěn infračervený panel - zapékací lampy, které dodají tepelnou energii na natavení prášku. Takto předávaná energie je pohlcena pouze materiálem, který byl již ovlivněn činidlem. Díky konstrukci sdružené tiskové jednotky je celá tisková vrstva zpracována na jeden přejezd. Doba tisku jedné vrstvy je tedy konstantní a nemá vliv na velikost zaplnění tiskového procesu. Vlastní časová náročnost je cca 9 vteřin. Po dokončení dané tiskové vrstvy se celý proces opakuje do zpracování kompletního tiskového objemu. Po ukončení tisku je nutné provést proces chlazení dílů na teplotu okolí. To lze buď přirozeným chlazením „natural cooling“ či rychlejším „fast cooling“. Doba procesu chlazení je závislá na tištěném objemu dílů. Po ochlazení je nutný proces odstranění nevyužitého prášku a vlastní mechanické očištění dílů od zbytku prášku. [HP Development Company, L.P. 2018]



Obrázek 2. Princip Technologie HP Multi Jet Fusion

Nezpracovaný prášek, který je v okolí dílů je možné použít znovu v procesu tisku za předpokladu přimíchání nového (čistého) prášku. Poměr základního míchání obou složek je 80/20. Což znamená 80% použitého a 20% nového prášku. Lze však i nastavit jiný poměr a to až 90/10.

Díky principu 3D tisku v celé ploše je možné umístit díly libovolně do tiskového prostoru. Tiskárna nevytváří žádné přidané podpůrné konstrukce je tak umožněna výroba tvarově komplikovaných dílů bez nutnosti podpor. [HP Development Company, L.P. 2018]

2.2 Zařízení HP Multi Jet Fusion

2.2.1 HP Jet Fusion Serie 300/500

HP Jet Fusion Serie 300 jsou nejmenší zařízení technologie HP Multi Jet Fusion. Umožňují výrobu jednobarevných bílých (HP Jet Fusion 340) a plně barevných (HP Jet Fusion 380) dílů. Rozdíl mezi sérií MJF 300 a MJF 500 je ve velikosti Y-ové osy, kde série 500 je oproti MJF 300 o 79mm větší. Tato „malá“ zařízení jsou určeny zejména na ověření designu a výrobu malých funkčních prototypů. Jedná se o kompaktní řešení technologie MJF v jediném zařízení. Celý výrobní proces probíhá v tiskárně. Tiskárna si připravuje tiskový prášek, provádí tisk a také zde probíhá proces chlazení a to včetně i odstranění nevyužitého prášku. Jedinou operací mimo tiskárnu je čištění dílů od zbytků

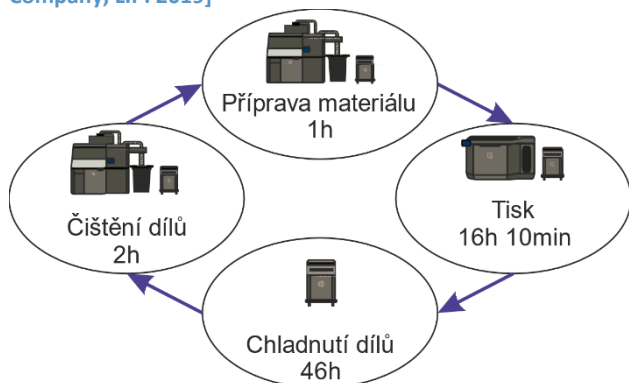
prášku, který ulpívá na povrchu součástí. [HP Development Company, L.P. 2019]



Obrázek 2. Tiskárna HP Jet Fusion 580 [HP Development Company, L.P. 2019]

2.2.2 HP Jet Fusion Serie 4000

HP Jet Fusion Serie 4000 je výrobní systém složený z několika zařízení: Tiskárny, Procesní stanice a Stavebních jednotek. Systém nabízí možnost výroby funkčních dílů a to až v sériovém režimu výroby. Finální výrobky mají šedé zabarvení. Tiskárna a procesní stanice tvoří dvojici výrobních strojů a stavební jednotka případně jednotky slouží jako jistý druh technologické palety. V procesní stanici dochází k přípravě (míchání) tiskového prášku, který je následně naplněn do stavební jednotky. Stavební jednotka se následně umístí do tiskárny. Tiskárna provádí 3D tisk přímo do stavební jednotky. Po tisku je jednotka opět přesunuta z tiskárny na chlazení mimo tiskový prostor. Proces chlazení může probíhat mimo procesní stanici přirozeně, nebo v procesní stanici, kde lze proces zkrátit. Po ochlazení je jednotka načtena v procesní stanici a je umožněno další zpracování tiskové úlohy. Tiskárna je tak v době chlazení tiskové jednotky volná pro možnost zpracování další tiskové jednotky. Představené zařízení je možné použít pro nepřetržitou výrobu, za předpokladu vlastnění více stavebních jednotek a užití rychlého chlazení dílů v procesní stanici. [HP Development Company, L.P. 2019]



Obrázek 3. Výrobní cyklus stavební jednotky s přirozeným chlazením



Obrázek 4. Tiskárna a procesní stanice HP Jet Fusion 4200 [HP Development Company, L.P. 2019]

2.2.3 HP Jet Fusion 5200

Nejnovějším výrobním systémem je HP Multi Jet Fusion, pro velkosériovou výrobu. Přináší oproti systému HP Jet Fusion 4200 zrychlení tiskového procesu a do procesu chlazení přináší externí chladič jednotku. Po tisku je vytlačena celá objem stavební jednotky do chladič jednotky. Díky tomu dílce chladnou tak nejen mimo tiskárnu, ale i mimo stavební jednotku. Tím je možné provozovat nepřetržitý tisk s jedinou stavební jednotkou. [HP Development Company, L.P. 2019]



Obrázek 5. Tiskárna, stavební jednotka, chladič kontejner a procesní stanice HP Jet Fusion 5200 [HP Development Company, L.P. 2019]

3 VÝROBA NA ZAŘÍZENÍ HP JET FUSION 4200

Celý výrobní proces se skládá z několika částí:

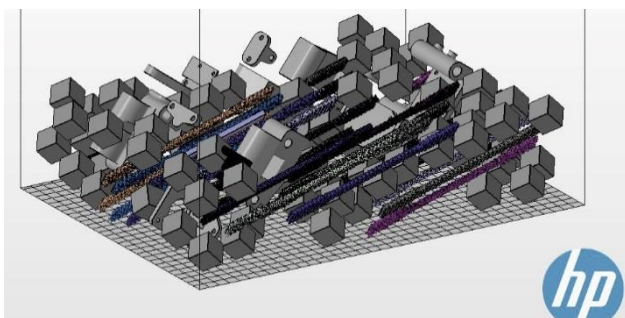
1. Příprava dat pro tisk
2. Příprava stavební jednotky a tiskárny na tisk
3. Tisk a chlazení
4. Očištění dílů a stavební jednotky
5. Další procesy úpravy dílů

Bod 1. je podobný jako při přípravě programů pro CNC stroje. Pokud se bude provádět opakovaná - sériová výroba, tak se příprava dat provádí pouze jednou a to na začátku výroby. V dalším tisku se používají shodná data.

[HP Development Company, L.P. 2018]

3.1 Příprava dat pro tisk

Systémy HP Multi Jet Fusion pracuje s 3D daty ve formátu 3MF (3D Manufacturing Format). Jedná se o otevřený standardizovaný formát, který umožňuje přenést i informaci o materiálu či barvě modelu. Pro efektivní výrobu je nutné vhodně orientovat jednotlivé díly vůči tiskovému prostoru a zároveň je optimálně skládat vůči sobě navzájem. Za těmito účely se využívají speciální softwarová řešení pro přípravu tiskových dat. Výstupem z těchto aplikací je balíček dílů umístěných v tiskovém prostoru.



Obrázek 6. Tisková sestava dílů v Softwaru Netfabb

3.2 Příprava stavební jednotky a tiskárny k tisku

Před každým tiskem je třeba provést kalibraci a diagnostiku tiskových hlav. V rámci přípravy se provádí jejich čištění, kalibrace, diagnostika a v případě nutnosti výměna. Nelze nikdy přesně odhadnout kolik kroků bude nutné učinit pro připravení systému na tisk. Lze však ze znalostí předchozích příprav odhadnout přibližnou náročnost prací. Zde je odhad času přípravy tiskárny od 30 min do 90 min a to dle stavu tiskových hlav. Při výměně tiskové hlavy je nutné počítat s vyšší časovou náročností. [HP Development Company, L.P. 2018]

Tiskový systém není jen jedinou součástí mající přípravu. Je také potřebné naplnit stavební jednotku tiskovým materiálem. Plnění probíhá v procesní stanici. Během plnění se míchá nový a již použitý prášek v zadaném poměru. Doba plnění je závislá na míře naplnění jednotky z předchozího tisku. Zde je proces cca 30-120min. [HP Development Company, L.P. 2018]

3.3 Tisk a chlazení

Nejpodstatnější část výrobního procesu při použití technologie HP Multi Jet Fusion. Proces tisku a chlazení může probíhat po svém zahájení a to již bez přítomnosti obsluhy. V případě problému jej systém vyhodnotí a proces případně přeruší či informuje obsluhu o varovném hlášení.

3.3.1 Možnosti tisku a chlazení

Výrobní proces lze ovlivnit nastavením režimu tisku a režimu chlazení.

Výrobce nabízí tiskové režimy Balanced, Mechanical, Fast, Cosmetic pro materiál PA12. Tyto režimy ovlivňují čas výroby, mechanické vlastnosti, povrchovou a rozměrovou kvalitu výrobku. Režim „Balanced“ nabízí vyvážený poměr mezi všemi parametry výroby. [HP Development Company, L.P. 2018]

Režim „Mechanical“ klade důraz na pevnost a houževnatost výrobků za cenu snížené přesnosti a detailů. „Fast“ režim snižuje výrobní čas a náročnost na spotřebu činidla, zároveň snižuje mechanické vlastnosti výsledných dílů. Posledním režimem tisku je Cosmetic, který přináší vyšší povrchovou kvalitu z pohledu tónu barvy a drsnosti to vše za cenu snížení mechanických vlastností, ale i rychlosti výroby. [HP Development Company, L.P. 2018]

Chlazení dílců může probíhat v režimu Natural, nebo Fast Cooling. Natural cooling je přirozené chlazení bez nutnosti využití procesní stanice. Natural cooling má za cíl snížit vnitřní pnutí dílů a tím také dosáhnout minimálních deformací během chlazení. Fast cooling má cíl snížit čas chlazení a tím zvýšit produktivitu. Režim Fast přináší díky rychlému ochlazení vyšší výslednou pevnost dílů, ale snižuje se houževnatost výsledného dílu. Pro velké výrobky, kde se znatelně vyskytují deformace, je vhodné použít proces chlazení „Natural“. U drobnějších dílů je

možné efektivně využít proces chlazení „Fast“. Drobné díly nejsou na rozdíl od velkých náchylné na deformace při chlazení. Vzhledem k možnosti výroby různých výrobků spolu v jedné stavební jednotce je nutné vždy volit proces chlazení dle nejkomplicovanějšího výrobku v dané jednotce.

[HP Development Company, L.P. 2018]

3.3.2 Časová náročnost tisku a chlazení

Časová náročnost tisku a chlazení není přímo závislá na geometrickém tvaru vyráběných dílů. Doba stavby je přímo úměrná výšce tisku. K celkovému času tisku je nutné připočítat čas na chlazení tiskového systému a stavební jednotky bezprostředně po tisku, v tomto čase není možné tiskárnu otevřít a jednotku vyjmout. Pro nejvíce používaný režim tisku „Balanced“ je doba chlazení 30 minut. Časy výroby a možné typy chlazení pro různé výšky tisku jsou uvedeny v tabulce 1.

Tisková výška	Doba tisku + potiskové chlazení	Chlazení	
		Natural	Fast
380 mm	16h 50min	46 h	10 h
285 mm	12h 45min	35 h	8 h
190 mm	8h 40min	23 h	6 h 30min
95 mm	4h 30min	12 h	5 h

Tabulka 3. Výrobní časy pro tiskový režim Balanced [HP Development Company, L.P. 2018]

Po každém tisku je třeba tiskárnu vyčistit od polyamidového residua. Čas čištění tiskového systému je proměnný dle intervalu. Základní čištění, které je hned po tisku tzv. malé čištění. Jednou týdně se provádí velké čištění. Velké čištění je nutné provést i při změně tiskového materiálu. Malé čištění je možné zajistit v jedné osobě během 30 - 40 min. Velké čištění je vhodné provádět ve dvou osobách s časovou náročností cca 60 min. Čištění stroje není nutné provádět bezprostředně po dokončení tiskové úlohy, je však nezbytné tiskárnu vyčistit před započítím dalšího procesu tisku. [Šoškic Z. 2019]

3.4 Čištění dílů a stavební jednotky

Čištění dílů a stavební jednotky probíhá zároveň při jednom procesním postupu v procesní stanici. Podstatnou částí čištění je vyjmutí dílů z jednotky a následné odsání zbylého prášku z jednotky. Prášek z jednotky se znovu použije pro následující tisk. Samotné čištění jednotky je možné provést do 30 min. Kompletní očištění dílů je časově náročné – záleží na komplexnosti tištěných dílců. Po základním očištění na dílech zůstává nepatrná vrstva prášku, kterou je nutné odstranit. Pro finální očištění se používá proces pískování. Pískování dílů probíhá v samostatném zařízení, které není součástí stanice. K pískování se používá speciální směs, která je určena pro pískování polyamidových dílců.

3.5 Další možné procesy úpravy povrchu dílů

Po dokončení čistícího procesu dílů je možné dále díly opracovávat - postprocesing. Dokončovací operace mohou mít, jak funkční tak i vzhledový charakter. Díly lze i dokončovat obráběním funkčních ploch pro dosažení požadovaných rozměrů, ale i snížení výsledné drsnosti povrchu. Další možnou povrchovou úpravou je barvení máčením pro sjednocení barvy povrchu a jádra dílu. Barvit je možno pouze do tmavých tónů, nejlépe však vychází barvení na černou. Černá barva je i doporučena výrobcem této technologie. Po úpravě povrchu vhodným broušením je možné díly lakovat, případně pokovit.



Obrázek 7. Díl mřížky bez povrchové úpravy



Obrázek 10. Díl mřížky vakuově pokovený – chromovaný



Obrázek 8. Díl mřížky lakovaný – černě matně



Obrázek 9. Díl mřížky lakovaný – černě leskle

4 KAPACITA VÝROBY, VÝROBNÍ NÁKLADY KUSOVÉ VÝROBY

Laboratoř prototypových technologií a procesů na TUL, disponuje strojem HP Jet Fusion 4200. Tento stroj je určen jak pro aplikace vědy a výzkumu, ale i na zakázkovou kusovou výrobu. Z tohoto využití vyplívají jistá procesní omezení a to zejména pro chlazení výtisků. Je vhodné vždy použít přirozený (natural) chladicí proces, pro zajištění nejvyšší možné rozměrové přesnosti u všech tisknutých dílů. Dalším omezujícím faktorem v plánování výroby je maximální výška potřebná pro výrobu velkých dílů, pokud se díl nevejde do zaplánované výšky tisku, je nutné jej přesouvat na výrobní dávku s vyšší výškou tisku.

4.1 Kapacita výroby

Kapacita výroby je analyzována přes dostupný objem ve stavebních jednotkách za celý pracovní týden. Při rozvrhování je použit pracovní týden, tj. 5 pracovních dnů v jednosměnném provozu 8h. Porovnány jsou možnosti s využitím 2 a 3 stavebních jednotek. Stavební jednotka a tiskárna má časový fond 7 x 24h. Limitující je pouze směnnost obsluhy pro zadání tiskové úlohy a údržbu stroje.

Při tvorbě tiskového rozvrhu byly vytvořeny tři varianty, dvě pro stávající počet jednotek rovným dvěma a jedna rozvrhová varianta se třemi jednotkami.

Varianta rozvrhu A je koncipována pro tisk každý den, přináší tak kratší dobu odezvy pro malé díly, které se zaplánují do tisku s nižší celkovou výškou. Velké díly ve variantě A čekají na konec týdne pro objemnější tisk.

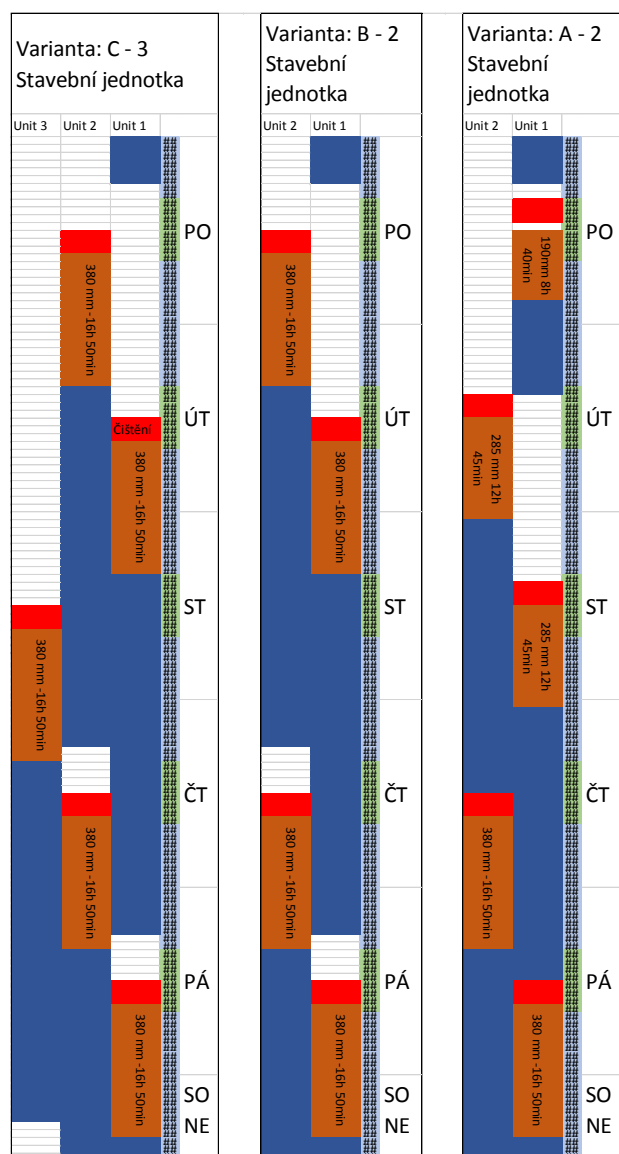
Varianta B a C představuje pouze tisk zcela plných jednotek, je tak možné spouštět tisk velkých dílů kdykoli v týdnu. Celková kapacita výroby je pro Variantu A i B stejná. Rozdíl mezi variantou A - B je v počtu objemných dílů. Varianta A umožňuje pojmout pouze dva velké dílce týdně. Varianta B pojme čtyři velké díly.

Varianta rozvrhu	Celková výška Tisku [mm]	Celkový tištěný objem [cm ³]	Možný objem dílu s plněním 7% [cm ³]
A	1 520	164 038	11 482
B	1 520	164 038	11 482
C	1 900	205 048	14 353

Tabulka 2. Týdenní výrobní kapacita

Varianta rozvrhu	Využití tiskárny [%]	Využití jednotky č. 1 [%]	Využití jednotky č. 2 [%]	Využití jednotky č. 3 [%]
A	40	85	66	/
B	34	75	75	/
C	50	75	75	37

Tabulka 3. Využití kapacity tiskárny a stavebních jednotek

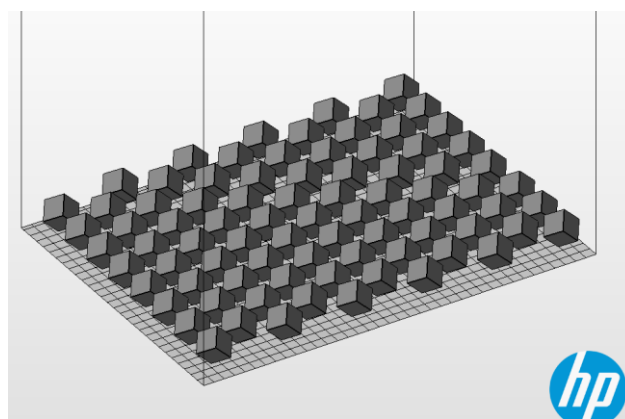


Obrázek 3. Týdenní výrobní rozvrh ve třech variantách

4.2 Náklady na výrobu

Technologie HP Multi Jet Fusion patří mezi nové technologie zaměřené na sériovou výrobu dílů z termoplastických materiálů. Oproti jiným technologiím např. FDM, kde je výroba převážně určena pro jednotky kusů, je technologie MJF vhodná pro vyšší tiskovou dávku. Náklady na výrobní proces se nezkládají pouze z z přímých nákladů na materiál vlastního výrobku, ale také z nepřímých nákladů. Tyto nepřímé náklady vznikají ve stejné míře při výrobě jednoho nebo desítky kusů dílů, odvíjí od výšky stavby nikoli od počtu objektů při stavbě.

K porovnání nákladů nám poslouží jednoduchý model krychle o velikosti 20 x 20 x 20 mm. Krychle je o celkovém objemu 8 cm³ a má povrchovou plochu 24 cm². Cena prášku a potřebných činidel na tuto krychli tvoří přibližně 150 Kč. Při ideální poloze kostičky pro tisk je výška celkového tisku cca 35 mm. Samotné náklady na vytištění této výšky jsou s ostatním spotřebním materiálem cca 1 300 Kč. Cena tisku jedné kostičky tedy vychází na 1 450 Kč/ks. Do této stavební výšky je možno zapracovat celkem 83 krychlí. Cena pak vychází 165 Kč na kus. Z toho návrhu jasně vyplývá vhodnost tisku více dílů současně. Je tedy vhodné sdružovat zakázky do společných objemově podobných výrobních dávek.



Obrázek 3. Rozložení 83 ks krychlí na tiskové platformě

5 ZÁVĚR

Hlavní benefit technologie HP Multi Jet Fusion je produktivita oproti technologiím FDM, SLA ale i SLS. Z kapacitní analýzy vyplývá možnost získání prvních kusů funkčních výrobků již po 24 hodinách pro malé stavby, ale pro objemné dílce je to cca 63 hodin od zadání výroby. Jedná se také o vhodnou a rychlou náhradu za vstřikování či obrábění termoplastických materiálů. V případě výroby objemově menších součástí, které jsou komplexně složitě, nabízí vysokou produktivitu a relativně krátkou dobu výroby oproti konvenčním způsobům výroby. Další nespornou výhodou jsou mechanické vlastnosti finálního výrobku, ale i možnost dokončení obráběním funkčních ploch výrobků a to v jakýchkoli směrech stavby, na rozdíl od jiných aditivních technologií jako je FDM či PolyJet.

Nevýhodou může být nutnost zpracovávat více výrobků v rámci jednoho procesu a to z důvodu ekonomiky výroby. Je tedy vhodné zpracovávat velké i malé dílce současně. V případě opakované produkce objemově podobných dílců je třeba najít vhodnou tvarovou výplň a tu použít k doplnění daného tiskového objemu. Jednou z možných výplní, mohou být i prezentační vzorky z této technologie.



REFERENCES

Paper in electronic journal:

[Šoškić Z. 2019] Šoškić, Zlatan & Monti, Gian & Montanari, Simona & Monti, Michele & Cardu, Marco. (2019). Production cost model of the multi-jet-fusion technology. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 095440621983730. 10.1177/0954406219837300.

WWW page:

[HP Development Company, L.P. 2019] HP Industrial 3D Printers - Leading The Commercial 3D Printing Revolution | HP® Official Site. [online]. [cit. 31.10.2019] Dostupné z: <https://www8.hp.com/us/en/printers/3d-printers.html>

[3dhubs 2019] HP MJF vs. SLS: A 3D Printing Technology Comparison | 3D Hubs. 3D Hubs | On-demand Manufacturing: Quotes in Seconds, Parts in Days [online]. Copyright© 2019 3DHUBS B.V. All rights reserved. [cit. 31.10.2019]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/hp-mjf-vs-sls-3d-printing-technology-comparison/>

Other:

[HP Development Company, L.P. 2018] HP Industrial 3D Printers - HP Jet Fusion 4200 3D Printing Solution User Guid

TRIANGULACE POLYGONU PRO ZPRACOVÁNÍ A VIZUALIZACI 3D DAT

Miroslav Vavroušek

Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 461 17
Liberec 1

e-mail: miroslav.vavrousek@tul.cz

Článek se stručně zabývá problematikou triangulace jednoduchých konvexních a nekonvexních mnohoúhelníků. Představené metody umožňují rozdělení souvislých nedegenerovaných rovinných polygonů na nepřekrývající se trojúhelníky. Popsané metody nabývají na důležitosti při zpracování a vizualizaci dat na moderních grafických akceleračních kartách, které jsou optimalizované především pro práci a vykreslování trojúhelníků. Prezentované metody jsou univerzální pro mnohoúhelníky splňující definované vlastnosti a jsou zaměřené na snadnou implementaci v libovolném programovacím jazyku pomocí základních výpočetních funkcí a datových struktur.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zpracování 3D dat, výpočetní metody, 3D grafika, triangulace polygonu

1 ÚVOD

Článek nastiňuje problematiku rozdělení rovinného polygonu na sadu nepřekrývajících se trojúhelníků. V úvodu článku je nastíněna problematika a význam dekompozice polygonu v moderním světě počítačové grafiky. Dále je v článku definován polygon a provedena klasifikace podle jejich vlastností. Další část se zabývá dvěma metodami pro dekompozici a jejich použitelností pro polygony daných vlastností. V závěru článku jsou prezentovány výsledky výkonnostních testů přestavených algoritmů s ohledem na reálnou rychlost triangulace polygonu.

Obě popisované metody jsou již dlouho známé, mají vyčíslenou výpočetní složitost. Výhodou je, že popisované metody patří k implementačně jednoduchým, což usnadňuje jejich nasazení. Článek se tak především zaměřuje na popis implementace nezávisle na využívaném vývojovém prostředí. Část výkonových testů zachycuje reálné možnosti využití na dnešním hardwaru.

Motivací pro vytvoření tohoto článku bylo, že v dnešním světě nástrojů pro práci a vizualizaci 3D modelů vzniká konflikt mezi potřebami popisu geometrických dat a prostředky pro jejich vizualizaci. Model je při tvorbě často popisován operacemi, které vedou k jeho vytvoření. To umožňuje snadnou implementaci nástrojů potřebných pro jednoduchou práci s geometrií modelu. Mezi tyto funkcionality patří například možnost vrátit se o operaci zpět nebo jednoduché přepočítání geometrie. Tento přístup je také vhodný při tvorbě a úpravě parametrických modelů. Velmi často jsou polygony používány v souborových formátech 3D modelů, které umožňují efektivnější uložení geometrických dat než velké množství samostatných trojúhelníků. Tímto přístupem, ale často vznikají plochy modelů tvořené polygony. Polygony nejsou vhodné

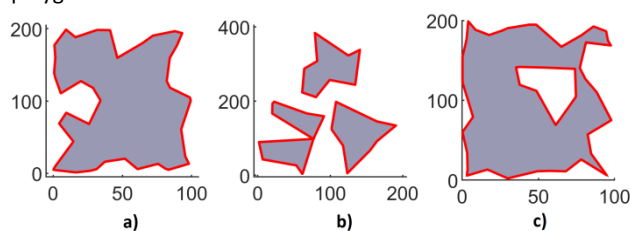
pro přímé zobrazování pomocí grafického rozhraní a řada knihoven pro akceleraci je ani přímo nepodporuje. Pokud jsou přímo podporovány, je to většinou za cenu významné degradace výkonu. Proto je vhodné při vytvoření geometrie modelu provést dekompozici na trojúhelníky pomocí triangulace polygonu. Tuto operaci lze provést pouze jednou při obnovení geometrie a ušetřit tak výkon grafického akceleračního hardwaru, který tuto operaci provádí při kreslení polygonu v každém referovaném snímku. Triangulace polygonu tak umožňuje snadné spojení výhod popisu modelu pro snadnou úpravu i pro snadnou vizualizaci, pouze s malým a jednorázovým požadavkem na výpočetní výkon.

2 VLASTNOSTI POLYGONU

V článku je přestavena jednoduchá metoda pro dekompozici souvislého rovinného konvexního polygonu trojúhelníky a metoda pro dekompozici souvislých rovinných nekonvexních polygonu nazývaná jako metoda ohýbání oušek. Obě metody jsou dlouho známé a můžeme nalézt efektivnější metody, obzvláště pro velmi komplexní polygony. Pro běžné použití jsou obě naprosto vyhovující, ale v řadě prostředí nejsou přímo obsaženy. Výhodou je také to, že je lze snadno implementovat pomocí elementárních operací. Protože jsou obě metody konstruktivistické lze snadno odhadovat střední výpočetní čas pro dekompozici polygonu o dané počtu bodů. Polygony musí být definované body spojených přímkou. Pokud je polygon definován například parametricky je nutné ho nejprve transformovat. Polygony, na které lze tyto metody aplikovat, musí splňovat následující podmínky.

SOUVISLOST POLYGONU

Souvislý polygon nemá žádné přerušení a neobsahuje díry. Za přerušení je považována i hranice tvořená pouze jediným bodem. Jednotlivé body tvoří posloupnost a jejich spojnice hrany polygonu. Pro popis v počítači je vhodné dvourozměrné pole anebo list. Pokud je polygon přerušen lze zpracovat jednotlivé části samostatně. Pokud polygon obsahuje díry, je nutné použít pokročilejší metody, které tuto vlastnost vyřeší. Na obr. 1 jsou zachyceny tři polygony. Na části a) je souvislý polygon na části b) je polygon s přerušením a v poslední části je polygon s dírou.

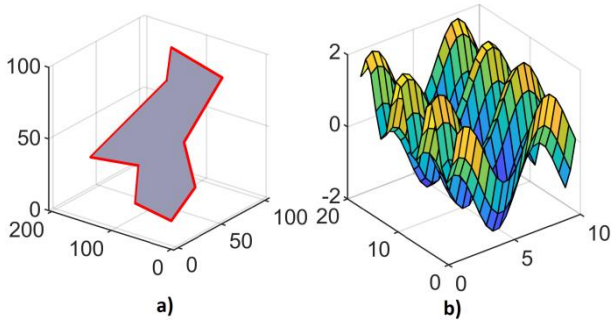


Obrázek 1. a) Souvislý b) Přerušením c) S dírou

ROVINNOST POLYGONU

Všechny body musí ležet v jedné rovině. Tuto vlastnost má smysl uvažovat pouze u polygonů umístěných ve třídimenzionálním prostředí. V praxi je tato podmínka vždy splněna, což souvisí s postupem tvorby polygonů při vytváření modelu. Pokud by byl polygon nerovinný, vytvořen například jako plocha definovaná matematickým popisem, tvořil by spíše objekt označovaný v grafice jako mesh a šlo by ho rozdělit na polygony v jednotlivých rovinách. Navíc ve světě třírozměrné počítačové grafiky jsou polygony často definovány pouze

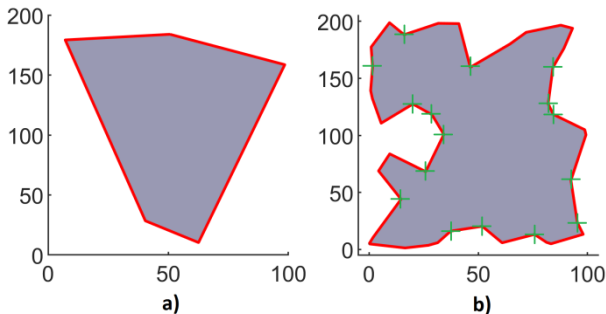
ve dvou dimenzích a nesou si sebou definici roviny, ve které leží. K definici se často využívá vektor posunutí počátku roviny a informace o natočení roviny v prostoru. Rotace může být zachycena mnoha způsoby od bazových vektorů, přes Eulerovy úhly, až po rotační transformační matici. Na obr. 2 je v první části zachycen rovinný polygon v prostoru a v druhé části je vizualizace nerovinného polygonu.



Obrázek 2. a) Rovinný polygon v prostoru b) Nerovinný polygon

KONVEXNOST POLYONU

Konvexní polygon má všechny vnitřní úhly konvexní. Konvexní úhel je menší než přímý úhel (180°). Konvexnost polygonu umožňuje použití velmi jednoduchých metod ať už pro triangulaci, nebo například identifikaci průniku dvou polygonů. Řada knihoven pracuje pouze s konvexními polygony, při použití nekonvexních polygonů je nutné provést jejich dekompozici. Na obr. 3 je v první části zachycen konvexní polygon a v druhé části nekonvexní polygon s vyznačeným nekonvexním uhlem.



Obrázek 3. a) Konvexní polygon b) Nekonvexní polygon

3 TRIANGULACE SOUVISLÉHO ROVINNÉHO KONVEXNÍHO POLYONU

Přístupů pro využití souvislého rovinného konvexního polygonu existuje celá řada. Mohou zohledňovat rozměry a proporce vzniklých trojúhelníků. To nemá v počítačové grafice většinou význam a lze tak provést dekompozici polygonu v jediném cyklu, kde počet kroků je o dva menší než počet bodů polygonu. Vzniklé trojúhelníky jsou tvořeny zvoleným bodem a dvojicí po sobě následujících bodů. Zvoleným bodem bývá často první bod polygonu a potom lze algoritmus popsat následující pseudokódem. Vstupem algoritmu je počet bodů a výstupem pole, kde jednotlivé trojice tvoří vrcholy trojúhelníku, které jsou jako odkazy na použité body polygonu. Pokud jsou požadovaným výstupem přímo body trojúhelníku, lze je získat z polygonu.

```
//indexování polí od nuly
```

```
//N      int - počet bodů trojúhelníka
//Polygon float[N,2] - body polygonu (x,y)
//Triangle int[3*(N-2)] - odkazy na body trojúhelníků
//TriPnts float[3*(N-2,2)] - body trojúhelníků

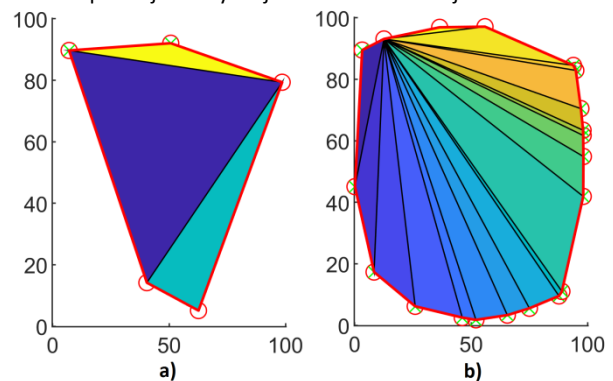
//vstup TEST
//N = 5
//Polygon [0,0;2,0;2,1;1,2;0,1]

for I=1:N-2
    //Odkazy na body
    Triangle[3*(I-1)] = 0;
    Triangle[3*(I-1) + 1] = I;
    Triangle[3*(I-1) + 2] = I + 1;

    //Body
    TriPnts[3*(I-1), :] = Polygon[0,:];
    TriPnts[3*(I-1) + 1, :] = Polygon[I,:];
    TriPnts[3*(I-1) + 2, :] = Polygon[I+1,:];
end

//výstup TEST
//Triangle [0,1,2,0,2,3,0,3,4]
```

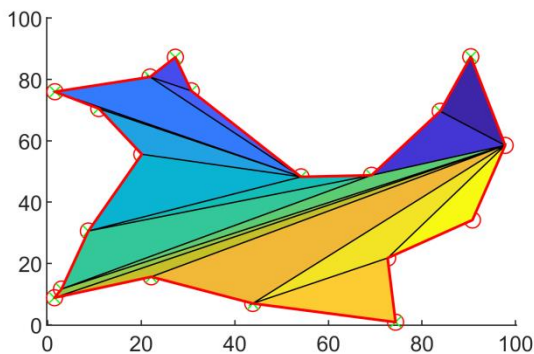
Na obr. 4 jsou znázorněny dvě triangulace konvexních polygonů. V pravé části je jednoduchý 5 bodový polygon. V druhé části je komplexnější 20 bodový polygon. V dekompozici je každý trojúhelník znázorněn jinou barvou.



Obrázek 4. Triangulace konvexních polygonů

4 TRIANGULACE SOUVISLÉHO ROVINNÉHO NEKONVEXNÍHO POLYONU

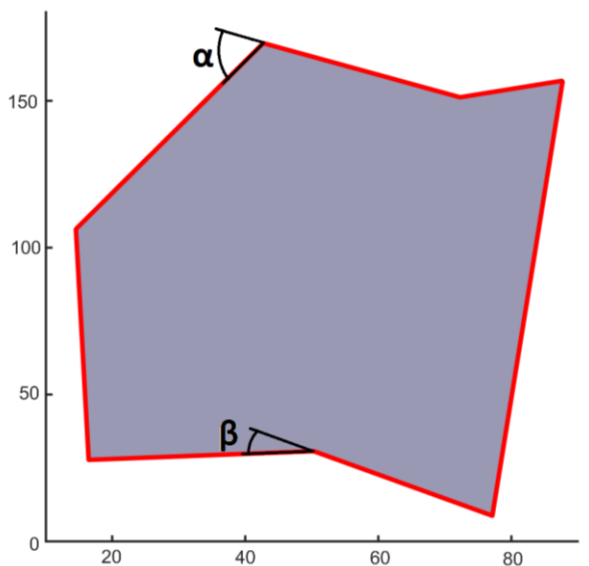
Metoda je nazývána jako ohýbání oušek (v angličtině Ear clipping method), protože spočívá v nalezení ouška a odstranění (ohnutí) trojúhelníku z polygonu. Existence ouška v polygonu je dána platností dvououškového teoremu, který říká, že každý jednoduchý polygon tvořený více než třemi body má alespoň dvě ouška. Protože ouško tvoří trojúhelník, lze ho z polygonu odstranit a pokračovat v dekompozici ve zjednodušeném polygonu. Z hlediska algoritmizace můžeme rozdělit postup do třech částí. První fází je klasifikace vrcholu na konvexní a nekonvexní. To vyžaduje i určení vnitřní a vnější oblasti polygonu. Druhou fází je nalezení vrcholu, který tvoří ouško v dekomponovaném polygonu. Na obr. 5 je zachycena dekompozice nekonvexního polygonu s 19 vrcholy. Každý vytvořený trojúhelník je zachycen jinou barvou.



Obrázek 5. Triangulace nekonvexního polygonu

ZJIŠTĚNÍ OBLASTI POLYGONU A TYPU VRCHOLŮ

Pokud máme polygon definovaný pouze seznamem bodů, nevíme, zda se plocha polygonu nachází napravo nebo nalevo od přímky tvořené první dvojicí bodů. Znalost, na které straně se hranice polygonu nachází je nutná pro označení vrcholů za konvexní nebo nekonvexní. Pro určení strany, na které se nachází plocha polygonu lze využít jednoduchou skutečnost, že proto, aby byl polygon uzavřený, musí být součet odchylek od přímého úhlu roven 2π . Úhel vrcholu je definován jako úhel, který svírají dvě přímky hran přidružené k vrcholu. Potom stačí rozdělit body do dvou skupin podle smyslu pootočení od přímého směru daného vrcholem a předcházejícím bodem a sčítat úhly podle skupin. Skupina s větším součtem odchylek od přímého směru jsou konvexní vrcholy polygonu. Druhou skupinu tvoří nekonvexní vrcholy. Na obr. 6 je zachycen souvislý nekonvexní polygon s vyznačeným úhlem odchylky od přímého směru pro konvexní (α) a nekonvexní (β) vrchol.

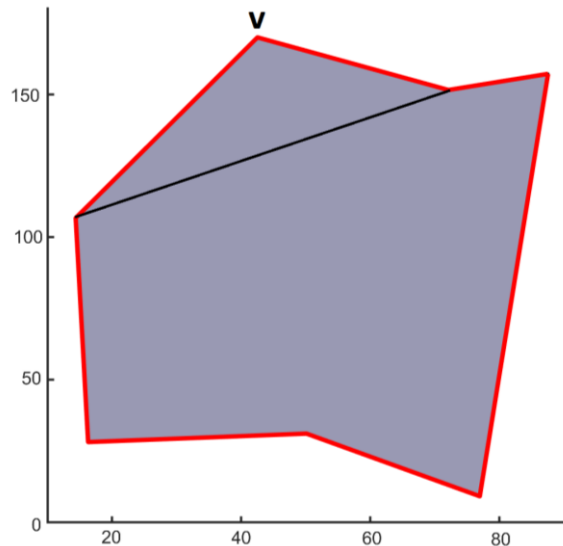


Obrázek 6. Polygon s vyznačeným úhlem konvexního a nekonvexního vrcholu

HLEDANÍ OUŠKA

Ouško je konvexní vrchol, který splňuje další doplňující podmínky. Ouško lze z polygonu odstranit a rozdíllová oblast je tvořena trojúhelníkem mezi vrcholem, předcházejícím a následujícím bodem. Proto, aby mohl být konvexní vrchol ouškem, nesmí mít přímka žádný průsečík s hranami polygonu, kromě hran procházejících předcházejícím a následujícím

vrcholem. Spojnice se také celá musí nacházet uvnitř polygonu. První podmínku lze převést na problém hledání průsečíku dvou přímek. Pokud bude splněna první podmínka, druhou lze převést na kontrolu, zda se libovolný bod na spojnici vrcholů nachází uvnitř polygonu. Na obr. 7 je zachycen vrchol tvořící ouško a spojnice následujícího a předcházejícího vrcholu.



Obrázek 7. Vrchol ouška a spojnice sousedních vrcholů

DEKOMPOZICE POLYGONU

Vrchol ouška lze ze seznamu bodů odstranit. Nový trojúhelník je tvořen vrcholem, předcházejícím a následujícím bodem. Algoritmus pokračuje na redukovaném polygonu, dokud má redukovaný polygon více jak tři vrcholy.

ALGORITMU TRIANGULACE POLYGONU

Popsaný algoritmus můžeme popsat pomocí následujícího pseudokódu. Tento pseudokód popisuje pouze získání pole incidencí trojúhelníka. Pro získání bodů lze provést stejnou transformaci na body jako v pseudokódu předešlé metody.

```
//indexování polí od nuly
//N      int - počet bodů trojúhelníka
//Polygon float[N,2] - body polygonu (x,y)
//Triangle int[3*(N-2)] - odkazy na body trojúhelníků

//vstup TEST
//N = 5
//Polygon [0,0;2,0;2,2;1,1;0,2] - v3 je nekonvexní
P = 0;

//Přidá 3. sloupec s indexem vrcholu
Polygon = [Polygon; 0:N-1];
while Pocetbodu(Polygon) > 3
[G1, G2] = RozdelVrcholyKonvexNekovex(polygon);
OskoNenalezeno = true;
I = 1;

while OskoNenalezeno
if I isin G1
JeVrchol0usko = true;

I1 = NasledujiciVrcholIndex();
I2 = PredchazejiciVrcholIndex();

for J1=1:Pocetbodu(Polygon)-1
```

```
J2 = NasledujiciVrcholIndex();

if not((J1=I1,I,I2) and (J2=I1,I,I2))
  if JePusecikUsecek(I1,I2,J1,J2)
    JeVrcholOusko = false;
  end
end

if NeniBodVPolygonu((I1+I2)/2)
  JeVrcholOusko = false;
end
end

if JeVrcholOusko == true
  OskoNenalezeno = false;
  Triangle[3*(P)] = polygon(I1, 2);
  Triangle[3*(P) + 1] = polygon(I, 2);
  Triangle[3*(P) + 2] = polygon(I2, 2);
  P = P + 1;
  break;
end
end

if OskoNenalezeno
  I = I + 1;
end
end
end
end

Triangle[3*(P)] = polygon(0, 2);
Triangle[3*(P) + 1] = polygon(1, 2);
Triangle[3*(P) + 2] = polygon(2, 2);

//výstup TEST
//Triangle [1,2,3,0,1,3,0,3,4]
```

5 VÝKONNOSTNÍ TEST PŘEDTAVENÝCH METOD

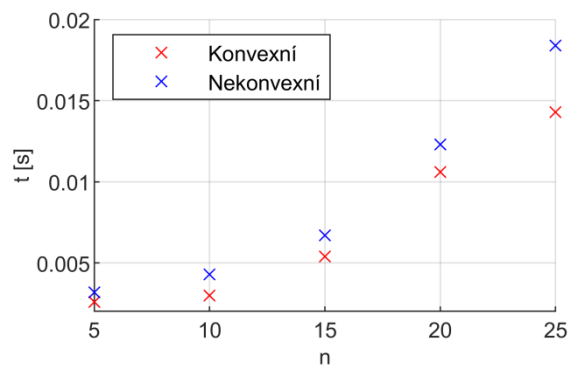
Algoritmus ohýbání oušek byl otestován jak na konvexních, tak nekonvexních polygonech. Algoritmus byl ozkoušen na polygonech s různým počtem vrcholů.

Konvexní polygony	
n	t [s]
5	0,0026
10	0,0030
15	0,0054
20	0,0106
25	0,0143

Nekonvexní polygony	
n	t [s]
5	0,0032
10	0,0043
15	0,0067
20	0,0123
25	0,0184

tabulka

Počet vrcholů byl zvolen 5 až 25 s krokem 5. Pro každý vrchol bylo otestováno 10 polygonů a výsledné časy byly zprůměrovány. V tab. 1 jsou obsaženy průměrné časy pro dekompozici. Všechny testy byly provedeny na shodné hardwarové konfiguraci. Podle očekávání je triangulace nekonvexních polygonu mírně náročnější, protože ouško může být tvořeno pouze konvexním vrcholem. Ještě většího rozdílu by šlo dosáhnout použitím metody určené pouze pro konvexní polygony. Výsledky byly vyneseny do grafu na obr. 8.



Obrázek 8. Graf průměrné časové náročnosti pro různý počet vrcholů

6 ZAVĚR

V článku byly přestaveny dvě jednoduché metody pro triangulaci rovinných souvislých polygonu, které mohou být snadno využity v praxi. V řadě prostředí, které nejsou určeny přímo pro práci s grafikou, nejsou přímo obsaženy. Použití knihoven třetích stran není vždy možné, a proto je vhodné tyto základní metody znát. Článek a uvedené pseudokódy lze využít pro vytvoření vlastních implementací popsaných metod. Metody nevyvíkají výpočetní rychlostí, ale v praxi dosahují počty vrcholu polygonu poměrně často pouze nízkých hodnot a lze je tak účinně použít.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen na Technické univerzitě jako součást projektu (21278) – „Optimalizace výrobních systémů, 3D technologií a automatizace“ podpořeného specifickým vysokoškolským výzkumem v rámci studentské grantové soutěže vyhlášené Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019.

ZDROJE

[Fajie 2011] Fajie L. and Reinhard K. Euclidean Shortest Paths, Springer, 2011 doi:10.1007/978-1-4471-2256-2, ISBN 978-1-4471-2255-5.

[Meisters 1975] Meisters, G. H. Polygons have ears. American mathematical monthly 82 (1975). 648–651

[Berg 2000] DE Berg M., Van Kreveld M., Overmars M. And Schwarzkopf O, Computational geometry (2nd Revised Ed.), Springer-Verlag, ISBN 3-540-65620-0 Chapter 3: Polygon Triangulation: Pp.45–61.

[Berg 2008] berg m., cheong o., kreveld m. and Overmars M. Computational geometry algorithms and applications. Berlin heidelberg 2008: Springer-Verlag.



POUŽITÍ NÁSTROJŮ TRIZ PRO ZLEPŠOVÁNÍ VÝROBNÍCH PROCESŮ

Vladimír Sojka, Petr Lepšík

Katedra částí a mechanismů strojů,
Technická univerzita v Liberci, Liberec, Czech Republic

e-mail: vladimir.sojka@tul.cz

Pro udržení konkurenceschopnosti jsou výrobní společnosti nuceny neustále zlepšovat své procesy. K tomu jsou často používány metodiky jako je Lean nebo Six Sigma. Současné nástroje však nemusí generovat ideální řešení pro nalezené problémy. Náměty na zlepšení závisí na zkušenostech řešitelského týmu a bývají ovlivněny vektorem psychologické setrvačnosti. Z toho vyplývá, že nalezená řešení nebývají z hlediska vývoje technických systémů nejlepší, případně při vyřešení problému vznikají problémy sekundární. Řešením by mohli být nástroje systematické kreativity, jako je TRIZ (teorie řešení inovačních zadání). Tento příspěvek shrnuje úroveň současného poznání v poli propojování nástrojů TRIZ s nástroji používanými pro zlepšování procesů, a navrhuje další postupy jak nástroje TRIZ uplatnit k efektivnějšímu a více inovativnímu zlepšování výrobních procesů.

KEYWORDS

TRIZ, zlepšování procesů, neustálé zlepšování, inovace procesů.

1 ÚVOD

Obecně je snaha ve výrobních procesech zlepšovat výrobní čas, náklady, a kvalitu. Kromě těchto tří základních parametrů je vhodné zohlednit bezpečnost, ekologii a ergonomii procesů. Výrobní procesy mohou být zlepšovány mnoha nástroji či metodami. Velmi rozšířené jsou metody Lean a Six Sigma. Metodika Lean se zaměřuje na hodnotu – tedy na aktivity v procesu, jež přidávají hodnotu pro zákazníka, a odstraňuje plýtvání, tedy všechny aktivity, které hodnotu nepřidávají. Metodika Six Sigma se oproti tomu zaměřuje na kvalitu procesů, tedy na množství defektů, které se snaží snížit na úplné minimum a to za pomoci snižování variability procesu. Běžné nástroje, které jsou při zlepšovateckých projektech typu Lean nebo Six Sigma používány však nemusí vždy vést k odhalení nejlepšího možného řešení nalezených problémů. V některých případech může řešení problému neideálním způsobem vést ke vzniku sekundárních problémů. [Mašín 2012]

Pomocí systematické kreativity kam se řadí TRIZ lze dosáhnout lepších výsledků při hledání řešení pro nalezené problémy. TRIZ (Teorie řešení Inovačních Zadání) vychází ze studie tisíců patentů, kdy byly odhaleny opakující se vzory problémů a jejich řešení. Na základě těchto zjištění byly sestaveny nástroje k systematickému řešení problémů tak, aby řešení směřovala stejným směrem jako evoluční vývoj technických systémů. [Mašín 2012]

Tento příspěvek se zaměřuje na shrnutí současného stavu poznání v poli propojování nástrojů TRIZ s nástroji používanými

pro zlepšování procesů. Mimo jiné navrhuje další směr pro použití nástrojů TRIZ ke zlepšování výrobních procesů v praxi.

2 METODIKA

2.1 TRIZ

TRIZ je akronym ruského теория решения изобретательских задач, česky Teorie řešení inovačních zadání. Je to filozofie založená na výzkumu tisíců patentů. Při zkoumání mnoha patentů byly objeveny opakující se vzorce. V historii nehledě na typ technického systému se opakovaně vyskytují stále dokola stejné typy problémů, které byly vyřešeny omezeným počtem inovačních řešení. Na základě těchto poznání byly sestaveny nástroje, které pomáhají řešit velice náročné problémy, tak aby jejich řešení nebylo ovlivněno vektorem psychologické setrvačnosti a výsledek se co nejvíce blížil k pomyslnému ideálnímu řešení, jež leží ve směru evolučního vývoje daného technologického systému. [Jirman 2015], [Mašín 2012]

2.2 Propojení nástrojů TRIZ s jinými nástroji

Mnoho autorů došlo k tomu, že lze výhodně použít nástroje TRIZ jako nástroje pro metodiku Lean. [Ikovenko 2004], [Bligh 2006] našli uplatnění pro nástroje TRIZ například při odstraňování plýtvání či pro jiné lean metody jako jsou VSM (Value Stream Mapping), 5S, KANBAN a další. Podobnosti mezi nástroji Lean a TRIZ jsou zobrazeny v tabulkách Tab. 1 a Tab. 2. Plýtvání lze také odstraňovat tak, že se z nalezených hodnot nepřidávajících aktivit vytvoří technické či fyzikální rozpory a ty se pak řeší například pomocí invenčních principů, separačních principů a dalších [Thurnes 2014]. [Ikovenko 2004] Poukazuje, že pro řešení problémů v lean lze použít TRIZ a potenciálně dojít k lepším řešením. Dalším příkladem propojení Lean a TRIZ může být použití nástrojů TRIZ v případech, kdy jsou objeveny problémy na které již nástroje lean nestačí [Bligh 2006]. TRIZ lze také používat pro navrhování budoucích stavů při tom lze využívat především teorie evoluce technických systémů a S-křivky [Ikovenko 2004], [Navas 2015]. Díky znalosti směru evoluce technického systému, lze lépe předpovídat, jak by měl nový stav systému nebo procesu vypadat. [Thurnes 2014b] rozšířil a upravil invenční principy tak aby byly lépe použitelné v projektech lean. Pro problémy lze použít slovník s upravenými principy pro řešení v lean výrobě.

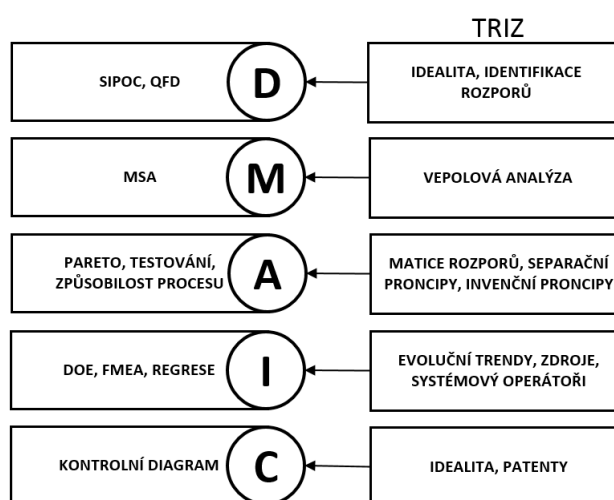
Lean	TRIZ
Nadvýroba	Nadbytečná funkce
Zásoby	Opravná funkce
Zbytečné zpracování	Poskytující a Opravná funkce
Zbytečné pohyby	Poskytující a Opravná funkce
Chyby	Nedostatečná, Nadbytečná nebo Škodlivá funkce
Čekání	Nedostatečná funkce
Transport	Poskytující funkce

Tabulka 4. Podobnost mezi plýtváním a kategoriemi funkcí z TRIZ

Lean	TRIZ
VSM - současný stav	Funkční model
VSM - budoucí stav	Trimming, Příčinně-následný řetězec
Kanban	Invenční principy, Standardy, Trimming
Standardizovaná práce	Invenční principy, Standardy
Balancování práce	Funkční model
5S	Přechod do nadsystému, Trimming, Standardy

Tabulka 2. Metody Lean a nástroje TRIZ, které lze v metodách použít

Jiní autoři se pokoušeli propojit nástroje TRIZ s metodikou Six Sigma. [Averboukh 2003] tvrdí, že propojením TRIZ a Six Sigma dojde k značnému zlepšení metodiky Six Sigma. TRIZ vlastně zabraňuje vzniku slabých míst v projektech Six Sigma. [Zhao 2005], [Xie 2009], [Kermani 2003] a [Soti 2012] využívají nástrojů TRIZ přímo ve fázích cyklu DMAIC. Mimo jiné popisují, které nástroje lze v jakých fázích cyklu použít viz Obr. 1. [Averboukh 2006] naráží na důležitý problém a to obtíž s tréninkem nových uživatelů. TRIZ není snadný nástroj a jeho použití pro nezkušené uživatele není snadné. Na kvalitním a snadném tréninku tedy závisí úspěšnost veškerých propojení TRIZu s jinými nástroji. Jinými slovy kde chceme používat TRIZ nebo jeho nástroje je nezbytný kvalitní trénink a tak se nelze s jistotou spolehnout na dlouhodobě úspěšné propojení. [Brad 2010] představil komplexní algoritmus, který propojuje metody TRIZ a Six Sigma v 12 hlavních krocích. Jedná se o identifikaci cílů, reformulaci problémů a vybrání vektorů řešení dle vektorů invenčních principů. Použití tohoto algoritmu však vyžaduje speciální software a samotný algoritmus je velice složitý a poměrně náročný na použití, jak potvrzuje i samotný autor.



Obrázek 6. Využití nástrojů TRIZ v etapách cyklu DMAIC

Propojení TRIZ a Lean-Six Sigma je velice podobné jako propojení se Six Sigma [Wang 2010], [Jiang 2015]. Za zmínku stojí idea použití TRIZu k inovaci systému po jeho předchozí optimalizaci [Barkan 2011]. Návrh je ale bohužel pouze teoretický, bez přesnějšího návodu, jak postupovat. Bez předchozích zkušeností s TRIZ tedy opět nelze proces těmito nástroji zlepšit.

Mnoho studií se také zabývá použitím TRIZ ke zlepšení metodiky QFD (Quality Function Deployment) Snahou je dosažení větší efektivity QFD. Podle [Domb 1997] a [Hu 2011], lze TRIZ také použít pro řešení problémů objevených v rámci QFD. V propojení s TOC (Theory of Constraints) byla snaha autorů [Mann 2000] a [Li 2006] použít TRIZ k řešení konfliktů vydefinovaných v rámci nástroje Evaporating Cloud. Konflikty z Evaporating Cloud lze řešit nástroji pro řešení rozporů. TRIZ lze podle různých autorů, používat pro generování lepších nápadů při metodách vycházejících z brainstormingu. Může to být brainstorming sám osobě [Campbell 2003], nebo jiná podobná metodika například 6 thinking hats [Mann 2001].

Vhodnost použití TRIZ dohromady s jinými nástroji dokazuje množství nástrojů, metod a technik se kterými byla snaha TRIZ propojit. Mezi dalšími nástroji, které se autoři pokoušeli s TRIZ propojit jsou například: SMED [Kumaresan 2011], myšlenkové mapy [Care 2001], FMEA [Wang 2007], 8D report [Navas 2015], NLP (Neuro-Linguistic Programming)/Neurosemantic [Bridoux 2002], dále použití TRIZ pro řešení netechnických problémů a mnoho dalších.

3 VÝSLEDKY

Z literární rešerše vyplývá, že propojení TRIZu s ostatními nástroji je obecně považováno za dobré. Vhodnost propojení je podpořena faktem kolik nástrojů se autoři pokoušeli s TRIZem propojit. Nevýhodou je však složitost TRIZu. Pro nové uživatele je používání TRIZu problém a naučit se TRIZ na použitelnou úroveň může zabrat mnoho času. Proto je použití propojených nástrojů v běžné praxi velice náročné.

Dalším problémem je, že nalezená řešení jsou buď abstraktní, nebo příliš složitá. V jiných případech zase použití vyžaduje speciální software, který je často obtížně dostupný. Mnoho publikací pouze konstatuje pozitivní vliv propojení TRIZ s jinou



metodou. Jinde zase chybí jasný návod jak univerzálně postupovat. To vše snižuje pravděpodobnost pro praktické využití TRIZ metod propojených se známými nástroji. Tyto překážky poukazují na obtížný přechod ze sféry, kde je TRIZ již znám do jiných oblastí použití. Pokud uživatel nemá předchozí zkušenosti s TRIZem je jeho použití pro zlepšování procesů takřka nemyslitelné.

Vyplývajícím závěrem by mohlo být oprostění se od pokusů propojit TRIZ s existujícími nástroji a vytvoření samostatného nástroje založeného na principech TRIZ. Postup nebo algoritmus určený ke zlepšování či inovaci procesů. Stěžejním bodem je však snadnost použití v praxi. Výsledný nástroj musí být po určitém zaškolení poměrně snadno aplikovatelný v praxi například průmyslovými inženýry.

4 DISKUZE

Z rešerše je jasné, že TRIZ lze s pozitivními výsledky použít v rozličných odvětvích a zlepšování procesů je oblast kde by uplatnění TRIZu mohlo být velkým přínosem. Problém je pouze forma a snadnost použití pro běžnou aplikaci v praxi. Z toho vyplývá, že je vhodné navrhnout samostatný nástroj – algoritmus pro zlepšování procesů založený na principech TRIZ. Když se metodika Lean zaměřuje na hodnotu a plýtvání, Six Sigma zase na defekty a variabilitu procesu. Nový nástroj založený na TRIZ lze zaměřit na stupeň ideality systému. Koncept ideality je jeden ze základních nástrojů TRIZ, a je popsán rovnicí (1).

$$I = \frac{\sum p}{\sum n + \sum c} \quad (1)$$

Kde I je idealita systému, p jsou pozitivní efekty funkcí systému, n jsou negativní efekty systému a c jsou náklady na funkčnost systému. Pokud pozitivní a negativní efekty vyjádříme v penězích, výsledkem je bezrozměrné číslo značící stupeň ideality.

Ideální stav procesu si lze představit jako stav kdy se produkty vyrábějí sami, bez vynaložení usilí a nákladů. V praxi to může znamenat snahu aby byly výrobní procesy rychlejší, levnější, s méně defekty, a tohoto stavu dosahovat pokud možno bez větších investic.

Zvyšování stupně ideality by se mělo dosáhnout lepšího stavu systému, tedy zlepšovaného výrobního procesu. Ostatní nástroje TRIZ pak mohou pomoci s generováním inovačních řešení nalezených problémů a posunout tak proces z hlediska inovace o úroveň výš.

4.1 Koncept algoritmu

Požadavky na algoritmus vyplývají z rešerše, hlavními faktory je zvyšování ideality systému a použitelnost v praxi. Z hlediska použití nástrojů TRIZ, by bylo vhodné použít nástroje, jako jsou:

- IFR (Ideální finální řešení)
- RCN analýza, což je extremizace funkčnosti systému z hlediska rozměrů, času a nákladů
- Seznam zdrojů, který pomáhá pochopit co vše v systému nebo jeho okolí již je, a lze použít k řešení problémů.
- Funkční analýza

- Trimming, pro redukci či nahrazení prvků s negativním vlivem na systém.
- Definování technických rozporů
- Definování fyzikálních rozporů
- Invenční principy
- Separační principy

Použití těchto nástrojů a z nich plynoucí řešení by mohlo pomoci inovovat systém směrem evolučního vývoje, a zabránit vziku řešení problémů ovlivněných vektorem psychologické setrvačnosti.

5 ZÁVĚR

Současný stav snah o propojení nástrojů TRIZ s jinými nástroji naznačuje, výhodnost použití metodiky TRIZ mimo hranice běžného využití, což je inovace produktů. Autoři se shodují na výhodnosti použití nástrojů TRIZ v rozličných oblastech. Pro zlepšování procesů je zde mnoho publikací zabývajících se propojením, v současné době používaných, nástrojů s nástroji TRIZ. Ne všechny publikace však dávají jasný návod jak při zlepšování obecného procesu postupovat. Jednou z největších překážek pro použití TRIZu v praxi je obtížnost zvládnutí samotné metodiky TRIZ.

Je jasné, že kvalitní trénink je nezbytnou součástí a přípravou před používáním Nástrojů TRIZ pro zlepšování výrobních procesů.

Vhodným řešením by mohlo být sestavení samostatného nástroje ke zlepšování výrobních procesů, založeného na principech TRIZ. Samotný algoritmus by pak vycházel z konceptu ideality technického systému. Při finálním návrhu bude muset být brán zřetel na snadnost použití inženýry ve výrobní praxi. Pro správné navržení a ověření funkčnosti nového nástroje je nezbytně nutná úzká spolupráce s průmyslovými firmami.

PODĚKOVÁNÍ

Tato publikace byla napsána na Technické univerzitě v Liberci jako součást projektu "Inovace výrobků a zařízení ve strojírenské praxi" s podporou specifického univerzitního výzkumného grantu poskytnutého Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019.

REFERENCE

- [Averboukh 2003] Averboukh, E.A. I-TRIZ for Six Sigma Business Process Management. The TRIZ Journal [online]. 21. December 2003, Available from <<https://triz-journal.com/triz-six-sigma-business-process-management/>>.
- [Averboukh 2006] Averboukh, E.A. Six Sigma Trends: TRIZ Six Sigma for Cost Reduction: Strategic Breakthrough Training Based Projects. The TRIZ Journal [online]. 18. July 2006, Available from <<https://triz-journal.com/six-sigma-trends-triz-six-sigma-cost-reduction-strategic-breakthrough-training-based-projects/>>.
- [Barkan 2011] Barkan, M.G. TRIZ in a bi-system with Lean Sigma. Master Thesis for defense of certification on Level 5 of MATRIZ certification program, 2011.
- [Bligh 2006] Bligh, A. Overlap Between TRIZ and Lean. 2006



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

- [Brad 2010] Brad, S. Sigma-TRIZ: Algorithm for Systematic Integration of Innovation within Six Sigma Process Improvement Methodologies. Quality Management and Six Sigma, 2010, 89-108, ISBN 978-953-307-130-5
- [Bridoux 2002] Bridoux, D. and Mann, D. Evolving TRIZ Using TRIZ and NLP/Neurosemantics. In: Proceedings of TRIZCON 2002, Altshuller Institute, May 2002
- [Campbell 2003] Campbell, B. Brainstorming and TRIZ. The TRIZ Journal [online]. 02. February 2003, Available from <<https://triz-journal.com/brainstorming-triz/>>.
- [Care 2001] Care, I. Mann, D. Using MINDMAPS™ with TRIZ. The TRIZ Journal [online]. 14. January 2001, Available from <<https://triz-journal.com/using-mindmaps-triz/>>.
- [Domb 1997] Domb, E. QFD and TIPS/TRIZ. In: Proceedings of the 3d International Symposium on QFD, Linköping, Sweden, 1997.
- [Hu 2011] Hu, Ch. and Yeh, Ch. The Synergy of QFD and TRIZ Design Practice – A Case Study for Medical Care Bed. In: Proceedings of 2011 International Conference on Modelling, Identification and Control, Shanghai, China, June 26-29, 2011, 523-531
- [Ikovenko 2004] Ikovenko, S. and Bradley, J. TRIZ as a Lean Thinking Tool. In: G. Cascini, ed. ETRIA TRIZ Future Conference 2004, Florence, Italy, 2004, Florence: Firenze University Press, pp 157-163, ISBN 88-8453-220-5
- [Jiang 2015] Jiang, J. and Nguyen, T. Process improvement by application of Lean Six Sigma and TRIZ methodology Case Study in Coffee Company. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, March 2015, Vol. 4, Issue 3, 208-219, ISSN 2319-4847
- [Jirman 2015] Jirman, P. a Logvinov, S. Aplikace TRIZ na mikroúrovni. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-807494-190-0
- [Kermani 2003] Kermani, A.H.M. Empowering Six Sigma methodology via the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), The TRIZ Journal [online]. 20. December 2003. Available from <<https://triz-journal.com/empowering-six-sigma-methodology-via-theory-inventive-problem-solving-triz/>>.
- [Kumaresan 2011] Kumaresan, K.S. and Saman, M.Z.M. Integration of SMED and TRIZ in Improving Productivity at Semiconductor Industry. Jurnal Mekanikal, December 2011, No 33, 40-55
- [Li 2006] Li, G. et al. Idea Generation for Fuzzy Front End Using TRIZ and TOC. In: Management of Innovation and Technology, 2006, Vol. 2, 590-594
- [Man 2000] Mann, D. and Stratton, R. Physical Contradictions and Evaporating Clouds. The TRIZ Journal [online]. 18. April 2000, Available from <<https://triz-journal.com/physical-contradictions-evaporating-clouds/>>.
- [Mnn 2001] Mann, D. TRIZ Thinking Hats. The TRIZ Journal [online]. 20. March 2001, Available from <<https://triz-journal.com/triz-thinking-hats/>>.
- [Mašín2012] Mašín, I. a Jirman, P. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-853-3
- [Navas 015] Navas, H.V.G. and Machado, V.A.C. "The Lifeline" of Technical Systems in a TRIZ-LEAN Environment. In: World Conference: TRIZ FUTURE, TF 2011-2014, Procedia Engineering 131, 2015, pp 232-236, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.383
- [Soti 2012] Soti, A., Ahankar, R. and Kaushal, O.P. Six Sigma with innovation tool kit of TRIZ. International Journal of Business Innovation and Research, 2012, Vol. 6, No. 2, 220-237
- [Thures 2014] Thurnes, Ch.M., Zeihsel, F. and Hallfell, F. TRIZ for Waste Elimination on a "Lean Production" Environment. In: TRIZFest 2014, Prague, Czech Republic, September 4-6, 2014, pp 284-292, ISSN 2374-2275
- [Thuns 2014b] Thurnes, Ch.M. Lean-Operators for the 40 Inventive Principles (international edition). OPINNOMETH White-Paper, 2014, 2, 1-33, ISSN 2199-0301
- [Wang 2007] Wang, Ch. and Chang, T. Integrated QFD, TRIZ and FMEA in Conceptual Design for Product Development Process. In: Proceedings of the 13th Asia Pacific Management Conference, Melbourne, Australia, 2007, 1085-1095
- [Wang 2010] Wang, F. and Chen, K. Applying Lean Six Sigma and TRIZ methodology in banking services. Total Quality Management & Business Excellence, 2010, Vol. 21, No. 3, 301-315, DOI: 10.1080/14783360903553248
- [Xie 2009] Xie, J. and Li, F. Study on Innovative Method Based on Integrated of TRIZ and DMAIC. In: 2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering including place and date of conference, pp 351-354, DOI 10.1109/ICII.2009.92
- [Zhao 2005] Zhao, X. Integrated TRIZ and Six Sigma Theories for Service/Process Innovation. In: Services Systems and Services Management, 13-15 June 2005, Chongqing, China, IEEE, pp 529-532, ISBN 0-7803-8971-9, DOI: 10.1109/ICSSSM.2005.1499529

OPTIMALIZACE AGV A VRP SYSTÉMU

František Manlig

Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 461 17
Liberec 1

e-mail: frantisek.manlig1@tul.cz

Práce se zaměřuje na dvě problematiky. První problematikou je optimalizace řízení jízdy [Automatic guided vehicle](#) (AGV) s principem jízdy pomocí senzorů detekující černou pásku. Druhá část se zabývá problematikou [Vehicle routing problem](#) (VRP). Vychází se z projektu na katedře výrobních systémů a automatizace, kde se touto problematikou zabývají. Cílem je navrhnout optimalizaci algoritmu, který navrhuje optimální pořadí vypuštění zakázek do výroby. Algoritmus se opírá o principy umělé inteligence s využitím metaheuristických algoritmů.

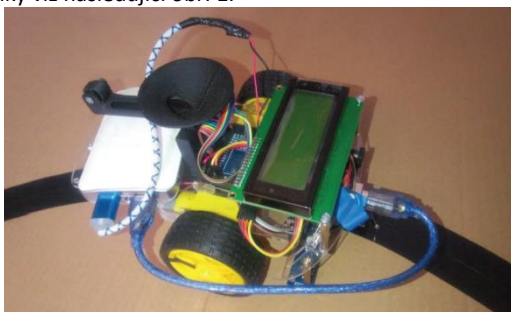
KLÍČOVÁ SLOVA

AGV, VRP, umělá inteligence, evoluční algoritmy

1 ÚVOD

V průmyslu se zvyšují nároky na výrobu. Proto se především s příchodem Průmyslu 4.0 nasazují automatizované systémy celým provozem. Kompletní problematiku dopravy materiálu dle potřeb JIS, JIT řeší logistika 4.0. Pro účely dopravy materiálu jsou zapotřebí automatizované dopravní prostředky. Interní automatizovanou dopravu mohou zajišťovat Automatic guided vehicle (AGV) vozíky [Sidora 2017; Jungheinrich 2019; Mahadevan 1990].

Na Katedře výrobních systémů a automatizace na Fakultě strojní na Technické univerzitě v Liberci jsou v rámci modelu chytré továrny využity pro účely AGV vozíků malé arduino vozíky viz následující obr. 1.



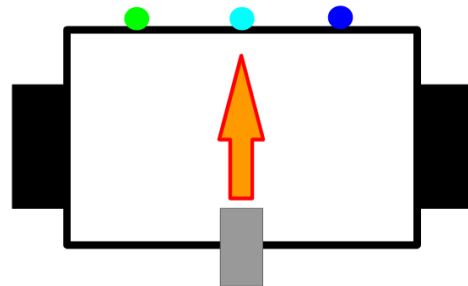
Obr. 1. Vozík na trati

První část této publikace se zabývá vlivem parametrů dráhy a nastavení vozíku na charakter jízdních vlastností tohoto vozíku.

Vozík využitý ve výzkumu, se v prostoru orientuje pomocí černé pásky. Vozíček, viz obr. 1 a obr. 2, má dvě pohonná kola s roztečí 135 mm a jedno kolo podpěrné. Pohonná kola zajišťují rozdílnou rychlostí zatáčení. Pro jízdu jsou využity tři senzory. Prostřední sensor detekuje čáru a hlídá vyjetí z dráhy. Boční senzory detekují logickou hodnotou 0 a 1 hranu čáry. Vozík při jízdě buďto jede rovně, nebo zatáčí definovaným poloměrem.

Výsledkem, tedy účelovou funkcí je maximální poloměr, kterým je vozík schopen bez potíží projet celou dráhu.

● střed mezi senzory ● levý sensor ● pravý sensor



Obr. 2. Využitý vozíček

Zkoumané vstupní parametry jsou poloha senzorů, a tvar a tloušťka černé pásky.

Další problematikou spojenou s automatizovanou logistikou je řídicí systém, který by vyhodnocoval aktuální stav výroby, stav nových zakázek a dle kapacit plánoval tak, aby se docílilo potřebných požadavků. Požadavky mohou být od nároků na co nejkratší celkovou dobu výroby všech zakázek, přes požadavek na dokončení určité zakázky v daném časovém okně až po řešení komplexních problémů při nečekaných poruchách a nečekaných nárocích.

V již zmíněném modelu chytré továrny je též snaha řešit uskupení zakázek automatizovaným systémem. Touto problematikou přiřazování úkolů v čase se zabývá problematika Vehicle routing problem (VRP). Touto problematikou se zabývá druhá část této publikace. Automatizovaný řídicí systém se skládá z algoritmu založen na metaheuristických algoritmech. Cílem je navrhnout optimalizaci nějaké části algoritmu tak, aby byl schopen algoritmus rychleji konvergovat k ideálnímu řešení.

Algoritmus je založen na evolučních algoritmech, které fungují na principu populace jedinců. Každý jedinec představuje jisté řešení a jeho hodnota celkové doby na výrobu všech zakázek je hodnota účelové funkce. Každou generaci, tedy každým opětovným počítáním vznikají noví jedinci kombinací předešlých. Noví jedinci jsou vytvářeni s jistými pravděpodobnostmi, čímž je ovlivňována nahodilost náhodných jevů. Po definovaném čase výpočet skončí a jako výsledek určí hodnotu účelové funkce nejlepšího jedince.

2 NASTAVENÍ EXPERIMENTU

Analýza vstupních parametrů na charakter jízdních vlastností

Analýza je provedena ve výpočetním programu Matlab. Výzkum se zabývá vlivem vstupních parametrů na charakter jízdních vlastností. Prezentovány jsou experimenty s parametry v těchto nastaveních:

- Tloušťka čáry: 10 a 80 mm.
- Poloměr dráhy v zatáčkách: 200 a 1000 mm.
- Rozteč pravého a levého bočního senzoru: od 50 % do 150 % tloušťky čáry v 15 hodnotách.
- Vysunutí bočních senzorů: 30 až 100 mm v 15 nastaveních.

Celkem se jedná o čtyři grafy, kde každý má 225 testů. Experimentální trať je tvořena rovnými úseky a úseky s oblouky definovaného poloměru dle daného experimentu.

Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

Vychází se z myšlenky, že vozík bude vibrovat tím méně, čím větším poloměrem pojede, tedy bude mít méně změn směru jízdy, které vibrace vytvářejí.

Optimalizace evolučního algoritmu

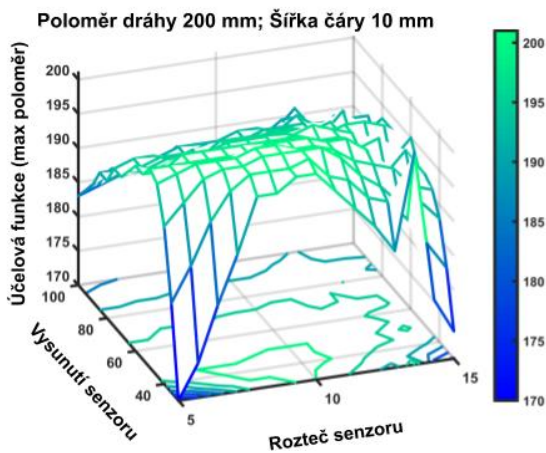
Pro testování optimalizačního návrhu byl využit základní algoritmus bez optimalizací. Toto bylo zvoleno z důvodu umožnění jasnějšího pozorování změn v průběhu výpočtu bez dalších vlivů v tomto základním výzkumu. V další fázi výzkumu je zapotřebí testovat i na kombinatoricky složitějších problémech i s optimalizačními prvky. Testuje se vliv změny nalezení aktuálně nejlepšího řešení a průměrné řešení v závislosti na výpočtovém času, respektive na počtu výpočtového cyklu, neboli počet generací. Výsledky budou porovnány s jednoduchým genetickým algoritmem (SGA). Cílem je pochopit vliv experimentovaného parametru na rychlost výpočtu a jeho kvalitu. Toto bude v dalším výzkumu využito pro porovnání chování komplikovanějších problémů, kdy se bude postupně pokračovat i v dalších optimalizačních krocích.

3 VÝSLEDKY

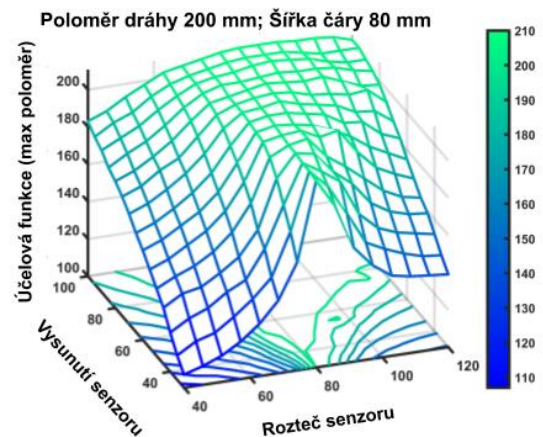
Analýza vstupních parametrů na charakter jízdních vlastností

Níže jsou na grafech znázorněny jen vybrané testované parametry. Vynechané testované parametry mezi těmito hodnotami jsou plynulé bez zásadních změn.

Graf 1a a graf 1b znázorňují experimenty, kdy bylo využito poloměru dráhy 200 mm. Graf 1a využívá šířku čáry 10 mm a graf 1b využívá šířku čáry 80 mm.

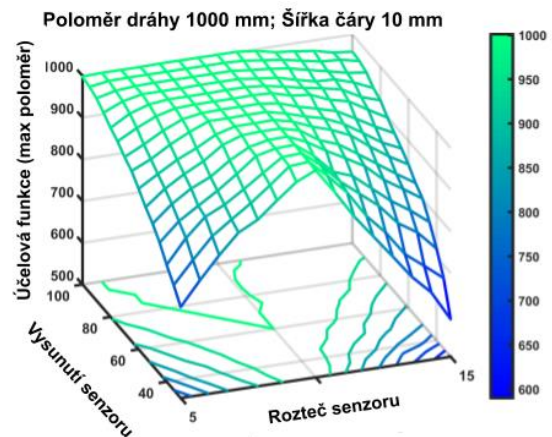


Graf 1a. Výsledný graf – poloměr dráhy 200 mm

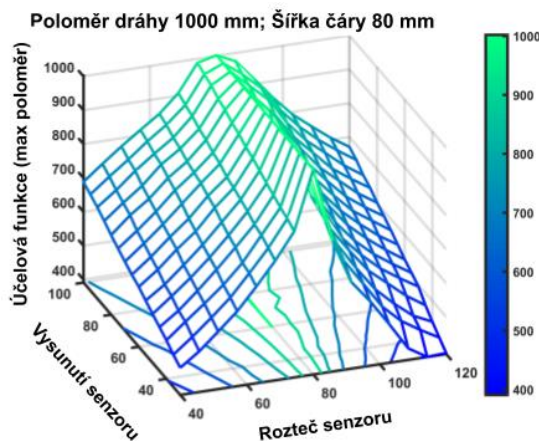


Graf 1b. Výsledný graf – poloměr dráhy 200 mm

Testovaly se různé rozeče senzorů, které se volily dle šířky čáry, aby byly vždy otestovány varianty, kdy senzory mají větší rozeč než šířka čáry a zároveň rozeč senzorů menší jak šířka čáry. Dále bylo pro každou variantu testováno různé vysunutí senzorů směrem vpřed od vozíku. Ve výpočtu experimentu je jako účelová funkce zadáno najít maximální poloměr, kterým vozík ještě projede dráhu bez komplikací vyjetí. Na grafu 1a je zajímavá oblast s rozečemi senzorů do 10 mm a vysunutím senzoru 50 mm, kde se drží maximální poloměr jízdy vozíku pro bezproblémovou jízdu kolem 190 mm. Graf 1b má oproti tomu nejlepší oblast v rozmezí rozeče senzorů 70 až 120 mm s vysunutím senzorů 70 až 100 mm. Graf 1a není tolik vyhlazený, což by mohlo indikovat nevhodně zvolené parametry pro jízdu. Graf 1b je až na detaily vyhlazený a je snadné definovat oblast vhodnou pro nastavení parametrů vozíku.



Graf 2a. Výsledný graf – poloměr dráhy 1000 mm



Graf 2b. Výsledný graf – poloměr dráhy 1000 mm

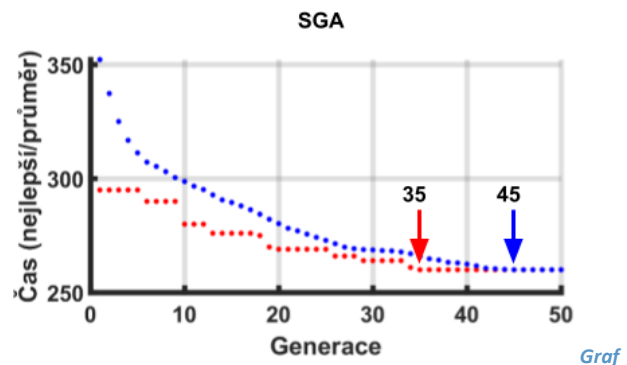
Testování pro 1000 mm poloměru dráhy je shodné s testováním poloměru dráhy 200 mm. Na grafu 2a lze vidět velkou trojúhelníkovou oblast se souřadnicemi: [rozteč senzorů, vysunutí senzoru], [5,100], [10,30], [15,100]. Naopak u grafu 2b jsou optimálními parametry pouze v nastavení rozteče senzorů na 80 mm s minimálním vlivem vysunutí senzorů. Grafy ukazují velký vliv na drobnou odchylku rozteče senzorů na výsledek účelové funkce. Při využití parametrů z tohoto grafu, tedy poloměru dráhy 1000 mm a šířky čáry 80 mm se dají očekávat velké potíže s jízdou při drobných vadách dráhy a vozíčku.

Celkově lze grafy hodnotit tak, že čím menší je minimální poloměr dráhy, tím je vhodné volit širší čáru dráhy. Například pro dráhu o poloměru 200 mm, viz graf 1a a 1b je vhodná šířka čáry 80 mm. Naopak pro velké poloměry 1000 mm a víc, viz graf 4a a 4b je vhodné volit tenkou čáru šířky 10 mm. Vysunutí senzorů je vhodné ve všech případech volit větší, tedy 100 mm. Kmitání vozíku závisí na poloměru, kterým vozíček jede, tedy je snaha maximalizovat účelovou funkci. Při srovnání grafu 1b a 2a je vidět, že je vhodnější volit větší poloměr dráhy.

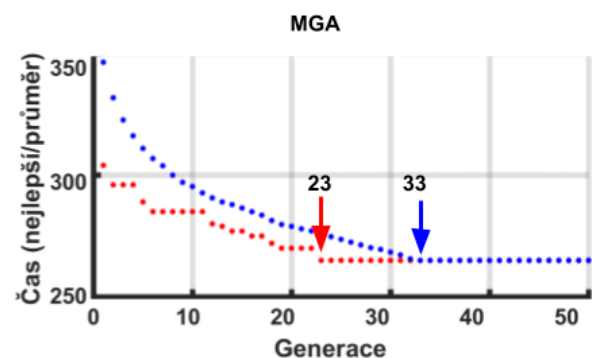
Optimalizace evolučního algoritmu

Rychlost, kterou algoritmus je schopen nalézt nejlepší řešení je rozhodující především z důvodu času, který vyžadují náročnější kombinatorické problémy. Kvalitní řešení je zapotřebí pro finální úsporu času při reálné výrobě. Je tedy potřeba nalézt cestu, která dostatečně rychle nalezne řešení. Toto řešení nemusí být nejlepší, ale ve srovnání s nejlepším je ideálně vyhovující. Zároveň časové nároky na nalezení nejlepšího řešení jsou nesrovnatelně větší.

Následující graf 3a znázorňuje průměrný průběh výpočtu jednoduchého genetického algoritmu (SGA). Další graf 3b průměrný průběh navrhovaného memetického algoritmu (MGA).



3a. Průměrný průběh výpočtu metody SGA



Graf 3b. Průměrný průběh výpočtu metody MGA

Modré body označují průměrný výsledek množiny řešení v daném čase (výpočetní generaci). Červené body označují nejlepší jedince v množině aktuálních řešení v daném čase.

Z grafů je vidět, že MGA se k optimálnímu řešení blíží rychleji. Tedy červené body jsou na svém minimu dříve u MGA než u SGA. To značí, že navrhovaná metoda MGA spěje k lepšímu výsledku rychleji. V tomto případě MGA dosáhne svého nejlepšího řešení orientačně o 30 % dříve než porovnávaná metoda SGA.

Algoritmy se vzaly bez řešení problematiky, kdy se postupem času jedinci stanou shodnými. Tedy zlom, kdy nejlepší jedinec je roven průměrnému jedinci v populaci. Tento zlom nastává v momentě, kdy modré body překryjí červené. Z grafů lze vyčíst, že i v tomto případě dosáhne metoda MGA tohoto stavu dříve.

Tento stav se správně považuje za špatný, protože i kdyby existovalo lepší řešení, algoritmus by již nebyl schopen lepší řešení nalézt. Tato část výzkumu se zaměřila na základní zjištění vlivu změn na výsledné chování v případě jednodušších kombinatorických problémů.

Následně bude testování a optimalizace algoritmu pokračovat v dalším výzkumu. Výzkum se zaměří na testování v náročnějších kombinatorických problémech a budou přidávány další optimalizační kroky, které například zamezí tomu, aby byla tvořena celá populace shodnými jedinci.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen na Technické univerzitě jako součást projektu (21278) – „Optimalizace výrobních systémů, 3D technologií a automatizace“ podpořeného specifickým vysokoškolským výzkumem v rámci studentské grantové soutěže vyhlášené Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019.



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

ZDROJE

[Sidora 2017] SIDORA, Juraj. *Logistika 4.0* - IPA Slovník - IPA Czech. Firemní vzdělávání, Inovace, Strategický rozvoj, Výrobní management, Optimalizace výroby, Soft skills - IPA Czech 2017 [online]. Copyright © 2012 [cit. 29.04.2019]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/logistika-4-0-cz>
[Jungheinrich 2019] Automatizace. *Klíč k optimalizaci Vaší intralogistiky*. AGV CZ | Jungheinrich. Homepage |

Jungheinrich [online]. Copyright © 2019 Jungheinrich AG [cit. 03.04.2019]. Dostupné

z: <https://www.jungheinrich.cz/landingpages/agv-cz/>

[Mahadevan 1990] B. MAHADEVAN & T. T. NARENDRAN (1990) *Design of an automated guided vehicle-based material handling system for a flexible manufacturing system*, International Journal of Production Research, 28:9, 1611-1622, DOI: [10.1080/00207549008942819](https://doi.org/10.1080/00207549008942819)

OPTIMALIZACE KONSTRUKCÍ ZAŘÍZENÍ NEBO JEJICH ČÁSTÍ

Petr Zelený, Martin Lachman, Michal Moučka

Katedra výrobních systémů a automatizace, Fakulta
strojní, Technická univerzita v Liberci, Liberec, Česká
Republika

e-mail: petr.zeleny@tul.cz

Tento článek si klade za cíl ukázat to nejzajímavější z vývoje, návrhů a optimalizací konstrukcí strojů a zařízení. Téma konstrukce strojů a zařízení se zaměřením na oblast výrobních strojů je na katedře řešeno již po mnoho let. Oblastí výzkumu, či spíše vývoje, bývají různé konstrukční celky, jako např. zakrytování strojů, odsávání u výrobních strojů a speciální zařízení. Většina témat pochází z průmyslu a je řešena ve spolupráci s průmyslem. V řadě případů jsou výsledky aplikovány u zadavatelů nebo fungují jako průzkum nových možností.

KEYWORDS

konstrukce strojů, řezání laserem, odsávání, vibrační zásobník, CNC stroje

1 ÚVOD

Konstrukcí strojů a zařízení se pracoviště zabývá od založení katedry výrobních systémů v roce 1990. Od té doby bylo vyřešeno a obhájeno více jak 100 diplomových prací nebo bakalářských prací. Zaměření pracoviště bylo nejprve na obráběcí a montážní stroje a nyní je to na výrobní stroje obecně. Předmět výzkumu, či spíše vývoje, bývají různé konstrukční celky, jako např. zakrytování strojů, odsávání u výrobních strojů a speciální zařízení. Naprostá většina témat pochází od firem a jsou řešena na pracovištích zadávajících podniků. Navrhované konstrukce jsou v řadě případů podniky přejímány a aplikovány v praxi. Některé výstupy firmám slouží jako průzkum nových možností a směrů v jejich vývoji. V některých případech dále navazují výzkumné či vývojové projekty.

V následujících kapitolách jsou uvedeny vybraná témata řešená na katedře výrobních systémů a automatizace v letech 2018 a 2019 v oblasti konstrukce strojů a zařízení.

2 ODSÁVÁNÍ SPALIN U LASEROVÉHO STROJE

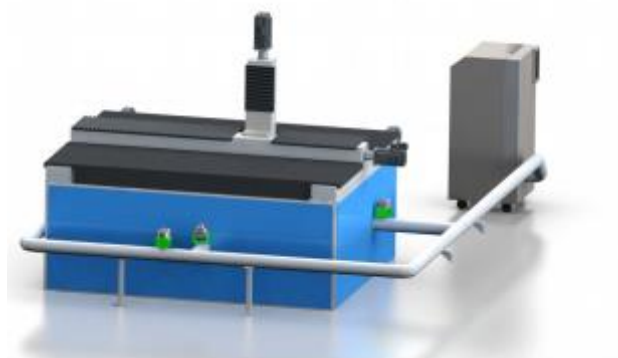
Tento projekt se zabývá problematikou odsávání a filtrace technologií termického dělení a návrhy odsávání konkrétního laserového stroje. Tento stroj byl postaven na Katedře výrobních systémů a automatizace.

V úvodní části je rozbor důvodů pro odtah a filtraci škodlivin. Dále jsou představeny konstrukčně nejčastější způsoby odsávání a nejčastěji používané druhy odsávacích zařízení. Jsou zde uvedeny početní metody pro kapacitní návrh odsávacího zařízení, požadované vlastnosti sacích nástavců, na základě výpočtů je volena odsávací jednotka a jsou vyhotoveny tři konstrukční návrhy pro odsávání stroje.

2.1 Výsledek projektu

Výsledkem tohoto projektu je zvolená odsávací jednotka, 3 konstrukční návrhy odsávání stroje, popsány jejich výhody a

nevýhody, jejich porovnání mezi sebou a vybrané finální řešení (obr. 1).



Obr. 7. Návrh odsávání stroje skrze boční panely [Taich 2016]

2.2 Zhodnocení projektu

Po zakrytování laserového stroje a připojení odsávání, podle vybraného finálního řešení, je nyní možné řezat další materiály, jako například dřevo, karton a některé druhy plastů.

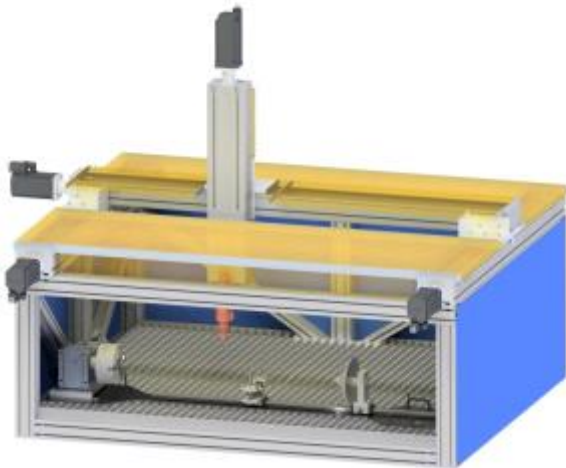
3 DESIGNOVÝ NÁVRH PŘÍDAVNÉ ROTAČNÍ OSY PRO LASEROVÉ ŘEZÁNÍ TRUBEK

Tento projekt se zabývá tématem řezání trubek pomocí laseru a návrhem konstrukce přídatné rotační osy pro laserové řezání trubek do již existujícího laserového stroje v laboratoři KSA. Úvodní část se věnuje představení současného stavu laserového stroje, dále je vysvětlen základní princip řezání laserem, jsou zde uvedeny základní typy laserů a poté následuje seznámení s problematikou řezání trubek a profilů. Práce pokračuje rešerší, ve které jsou zmíněny laserové stroje na řezání trubek prodávající se na trhu. V praktické části je představen vlastní designový návrh přídatné rotační osy na laserové řezání trubek.

3.1 Výsledek projektu

Výsledkem projektu je 3D model přídatné rotační osy na laserové řezání trubek. Přídatné zařízení je plně odstranitelné a není potřeba jakkoliv upravovat současný stav laserového stroje. Přídatná rotační osa se skládá ze základního ocelového plechu, na kterém je umístěn servomotor s kuželovou převodovkou. K převodovce je připevněno univerzální sklíčidlo pro upnutí řezaného materiálu. Na základní desce je lineární vedení ve tvaru T, po kterém mohou jezdit vozíky se středícím kuzelem nebo s podpěrnými válci (obr. 2). Oba tyto vozíky mají za úkol odstranit průhyb řezané trubky a zvýšit tak přesnost a kvalitu výrobku.

K manipulaci se zařízením slouží 3 madla. Do stroje lze upnout polotovar o průměru 208 mm a maximální délce 1403,5 mm. Laser je však omezen rozsahem pohybu, může tedy řezat jen trubky do délky 1183,5 mm. Celková hmotnost zařízení je 44,25 kg s vozíky a 38,25 kg bez nich. Rozměry navrženého zařízení jsou 1623 mm na délku, 483,6 mm na šířku a 231 mm na výšku.



Obr. 8. Umístění přídatné rotační osy v laserovém stroji [Láník 2018]

3.2 Zhodnocení projektu

Po aplikaci výsledku na laserovém stroji dojde k rozšíření možností využití stroje. Nyní se laserový stroj používá pouze pro řezání plechů, ale v budoucnu se bude moci využít i pro řezání trubek. Výhodou je navržená modularita. Přídatnou osu lze odmontovat a tím nedochází ke zmenšení pracovního prostoru při řezání plechů.

4 NÁVRH KONSTRUKCE PŘÍDAVNÉHO ZAŘÍZENÍ PRO PÁLENÍ TRUBEK

Tento projekt je zaměřen na technologii dělení materiálu paprskem fotonů – laserem, s využitím plošného 2D laseru i pro pálení do rotačních polotovarů s možností automatického provozu s manuálním zakládáním polotovarů.

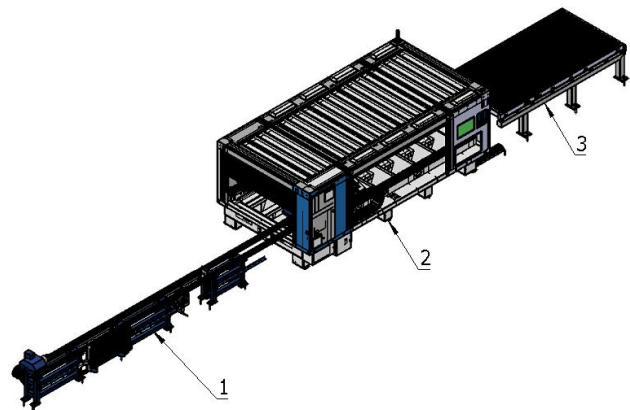
Cílem bylo vytvořit konstrukční návrh přídatného zařízení pro pálení do trubek na CNC laserovém stroji, dle požadovaných parametrů.

4.1 Výsledek projektu

Byl proveden kompletní konstrukční návrh rozšíření pro pálení do trubek na CNC laserovém stroji (obr. 3). Součástí návrhu je i průzkum konkurenčních a patentovaných řešení, kompletní 3D dokumentace a výrobní výkresy jednotlivých dílčích sestav.

Byla navržena vhodná sklíčovadla pro polohování a podávání polotovarů nejen kruhových profilů, pohony, včetně a podpůrná konstrukce.

Celé rozšíření pro pálení do trubek je kompletně zakrytováno z důvodu možnosti odrazu laserového paprsku a zamezení kontaktu obsluhy s pohyblivými částmi stroje. Stejně tak jako dráha pojezdného vřeteníku je i krytování přizpůsobeno úpravě na kratší variantu.



Obr. 3. Celkový pohled bez kapotáže (1-navržené zařízení, 2-stroj, 3-pálicí stůl) [Roháč 2019]

4.2 Zhodnocení projektu

Navržené řešení umožňuje výrobcí CNC laserového stroje rozšířit svoji nabídku i na možné pálení trubkových či jiných profilů. Zařízení je modulární a lze ho bez velkých úprav připojit k již existujícím strojům u zákazníka. Firma tímto získává výhodu před konkurencí.

5 VIBRAČNÍ PODÁVÁNÍ A ZAKLÁDÁNÍ POUZDER

Jedná se o návrh dvou plně automatizovaných stanic. Zásobení a založení pouzder do lůžka nýtovacího zařízení.

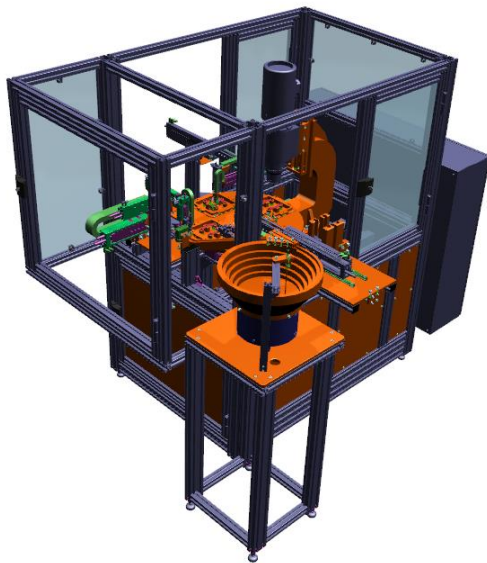
Jádrum nýtovacího zařízení je rám, na kterém je uchyceno nýtovací zařízení, jehož pohyb je docílen pomocí lineárních os a otočného stolu se čtyřmi polohami. K rámu jsou připojeny další čtyři stanice. Stanice, která slouží k zásobení stroje, stanice na založení pouzder, stanice se zásobníkem na zakládání dílů a stanice na odnášení dílu ze stroje. Stanice lze dle potřeby odmontovat a vyměnit.

5.1 Výsledek projektu

Byl proveden kompletní konstrukční návrh (obr. 4) včetně výkresové dokumentace.

Pro zásobování stanice byl zvolen vibrační kruhový zásobník. Pro dopravu pouzder z vibračního zásobníku do místa odběru byl navržen jednoduchý gravitační skluz, v němž jsou pouzdra vedena pomocí drážky. Vyřešen byl způsob uchycení celé stanice k nýtovacímu zařízení splňující požadavek na snadné odejmutí.

Navržena byla stanice pro zakládání pouzder do lůžka stroje. Pouzdra se do místa odběru dostávají pomocí gravitačního skluzu. Cestou je kontrolována výška pouzder. Jestliže dojde k vyhodnocení pouzdra jako zmetku, je toto pouzdro následně vyřazeno. Pouzdra jsou z místa odběru odebírána pomocí soustavy čtyř pneumatických válců a paralelního chapadla. Pouzdra lze založit na čtyři různá místa a pomocí modulu mezipohyby lze vyřadit i pouzdra, která jsou označena jako zmetky.



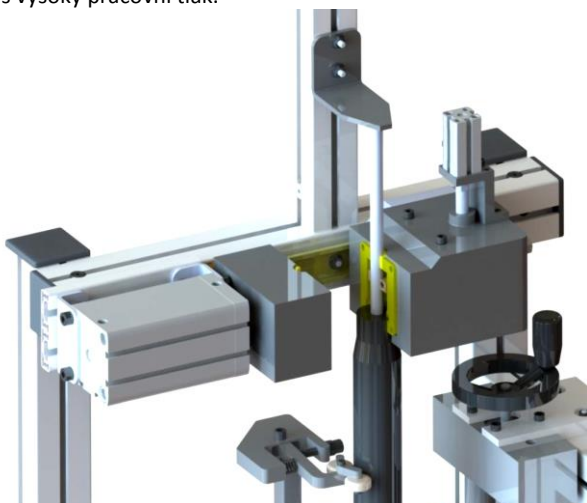
Obr. 4. Navržené nýtovací zařízení [Smetana 2018]

5.2 Zhodnocení projektu

Konstrukční návrh stanic pro zásobování, dopravu a zakládání pouzder do nýtovacího stroje nabízí komplexní řešení této problematiky. Obě stanice jsou navrženy tak, aby byly snadno odnímatelné od rámu nýtovacího zařízení. Vstupem je chaotický shluk pouzder a výstupem založená pouzdra v lůžku. Celé zařízení pracuje automaticky, s jedinou výjimkou, kterou je dodávání vstupního materiálu do nádoby vibračního zásobníku.

6 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ PRO TLAKOVÁNÍ PROTOTYPO-VÝCH TLUMIČŮ

Jedná se o vyvinutí a zkonstruování zařízení, které je schopno plnit prototypové tlumiče přesně na požadovaný tlak, tlumiče s chybným tlakem opět přeplynovat na správnou hodnotu. Inovovat současný postup plnění, který vyžaduje odladění a příliš vysoký pracovní tlak.



Obr. 5. Detailní pohled – otevřený stav [Král 2019]

6.1 Výsledek projektu

Bylo navrženo zařízení na plynování tlumičů (obr. 5) dle požadavků pro celé portfolio tlumičů, které se vyrábí, či používají v dané firmě. Prvky, které byly uvažovány jako variabilní, byly délkové parametry tlumiče, průměry pístnic a průměry trubek tlumičů.

V úvahu se musely také brát měnící se délkové hodnoty pístnice při plynování. Zakončení tlumičů bylo jedním z dalších měnících se parametrů. Byl vyroben a otestován zkušební dlouhý nehet, kde nebyl zjištěn žádný negativní dopad na těsnění, především z hlediska mechanického poškození těsnících břitů.

6.2 Zhodnocení projektu

Vliv na proces při plynování tlumičů bude značný. Nejen, že výrobou plynovacího zařízení se eliminuje nutnost pozastavovat sériovou výrobu, ale dokonce se i ušetří čas zamezením přemísťování tlumičů a seřizování stroje. Velkou výhodou bude také případné přeplynování tlumičů na menší hodnotu tlaku, což nyní nebylo možné. Výrobou stroje se ušetří nejen práce ale i peníze firmy.

7 ÚPRAVA POTISKOVACÍHO STROJE LH16

Jedná se o analýzu současného stavu zařízení a vypracování návrh konstrukčních úprav a modernizace potiskovacího stroje LH 16 na skleněné foukané výrobky.

7.1 Výsledek projektu

Na základě provedené analýzy zastaralého zařízení s častou chybovostí bylo navrženo modernizované zařízení. Byl vypracován 3D model (obr. 6) a potřebná technická dokumentace. Zařízení bylo realizováno a uvedeno do plného provozu.



Obr. 6. Realizace zařízení [Petrásek 2018]

7.2 Zhodnocení projektu

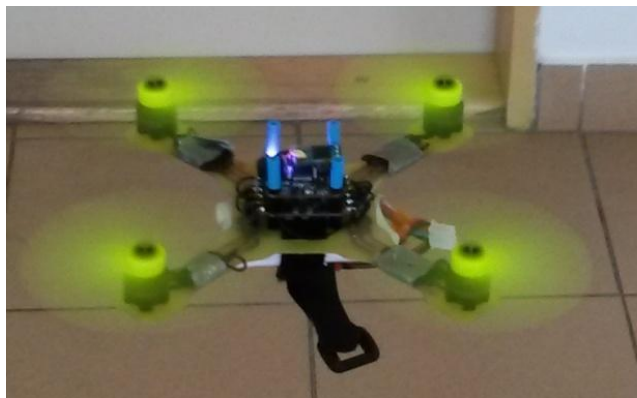
Úprava stroje se i přes poměrně vysoké pořizovací náklady jednotlivých komponentů vyplatí a měla by se bez problémů v řádu několika desítek měsíců vrátit. Dá se předpokládat, že takto upravený stroj by měl bez menších obtíží vydržet přibližně 10 let nepřetržitého provozu.

8 NÁVRH KONSTRUKCE MULTIKOPTÉRY

Projekt se zabýval konstrukcí multikoptéry od koncepčního návrhu až po následné zhotovení prototypu. Nejprve byl proveden průzkum dostupných konstrukčních prvků, jako jsou tvary rámu, výrobní materiály, dostupné motory a jejich řídicí jednotky. Následně byla navržena konstrukce rámu. Byl navržen rám se čtyřmi osami. Rozměry vycházely z rozměrové analýzy vybraných motorů a jejich řídicí jednotky. Základním výrobním materiálem byla sklolaminátová deska FR4, která je určena pro výrobu desek plošných spojů. Jedná se o velmi netradiční řešení. Materiál FR4 umožnil integraci vodičů vedoucích od řídicí jednotky k motorům přímo do rámu kvadrokoptéry. V průběhu návrhu byly provedeny pevnostní výpočty rámu. Velký důraz byl kladen na správné dimenzování vodičů nejen z hlediska mechanické odolnosti, ale z hlediska značné velikosti protékajícího elektrického proudu. Bylo navrženo několik variant. Vybraná varianta byla vyrobena a podrobena testům mechanické pevnosti. Po osazení motory, řídicí jednotkou a následném oživení (včetně nastavení parametrů PID regulátorů) bylo měřeno oteplení vodičů vlivem protékajícího proudu. Všechny testy proběhly úspěšně.

8.1 Výsledek projektu

Výsledkem je plně funkční kvadrokoptéra (obr. 7). Její letuschopnost a spolehlivost byla mnohonásobně úspěšně odzkoušena jak v uzavřených prostorách, tak i v exteriérech. Vzhledem k tomu, že byla multikoptéra koncipována jako modulární, lze ji tak využít k různým účelům. Například po nainstalování termokamery se stabilizačním systémem s možností přenosu signálu online je využitelná k monitorování stavu opláštění budov nebo po připojení videokamery je možné sledovat terén. Po menších úpravách je možné připojení různých typů snímačů.



Obr. 7. Letová zkouška prototypu [Záveský 2018]

8.2 Zhodnocení projektu

Výsledek je dobrým vstupem do vývoje konstrukcí vlastních multikoptér. Budoucnost v této oblasti je v integraci elektronických obvodů přímo do rámu multikoptér. To umožní zmenšení rozměrů na výšku, ale i částečné snížení hmotnosti. To umožní zvýšit nosnost bez nutnosti volby výkonnějších motorů se silnějším zdrojem energie. Integrace elektronických obvodů do rámu vyžaduje vývoj vlastních řídicích elektronických obvodů a potřebného softwarového vybavení. V současné době se naše pracoviště tímto tématem zabývá.

9 ZÁVĚR

To, že výsledky některých projektů jsou aplikovány v praxi, je dostatečným oceněním jejich kvality. Že je třeba řadu detailů dopracovat a upravit dle zvyklostí ve firmách je vzhledem k malé zkušenosti autorů (studentů) pochopitelné. Některé z prací slouží jako průzkumné zprávy a pomáhají firmám řešit to, na co nemají jejich zaměstnanci čas. Na závěrech těchto prací lze postavit nový projekt nebo vývoj nového zařízení. A někdy může být závěr, že tudy cesta v současné době nevede.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen na Technické univerzitě jako součást projektu (21278) – „Optimalizace výrobních systémů, 3D technologií a automatizace“ podpořeného specifickým vysokoškolským výzkumem v rámci studentské grantové soutěže vyhlášené Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019. Výzkumná činnost uvedená v tomto článku byla z části podpořena institucionální podporou na nespecifický vysokoškolský výzkum.

REFERENCE

- [Král 2019] Král, T. Konstrukce zařízení pro tlakování prototypových tlumičů. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. Vedoucí práce: Petr Zelený
- [Láník 2018] Láník, Š. Designový návrh přídavné rotační osy pro laserové řezání trubek. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce: Martin Lachman
- [Petrásek 2018] Petrásek, J. Úprava potiskovacího stroje LH16. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce: Petr Zelený
- [Roháč 2019] Roháč, J. Návrh konstrukce přídavného zařízení pro pálení trubek pro stroj CNC Kompakt Laser. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. Vedoucí práce: Petr Zelený
- [Smetana 2018] Smetana, A. Vibrační podávání a zakládání pouzder. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce: Petr Zelený
- [Taich 2016] Taich, J. Odsávání spalin u laserového stroje. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. Vedoucí práce: Martin Lachman
- [Záveský 2018] Záveský, R. Návrh konstrukce multikoptéry. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce: Michal Moučka

ANALÝZY A APLIKACE ADITIVNÍ VÝROBY NA STAVBU DÍLŮ

Petr Zelený, Petr Keller, Jiří Šafka

Katedra výrobních systémů a automatizace, Fakulta
strojní, Technická univerzita v Liberci, Liberec, Česká
Republika

e-mail: petr.zeleny@tul.cz

Tento článek si klade za cíl ukázat to nejzajímavější z výzkumu, aplikace a analýzy výroby dílů pomocí aditivní výroby, které byly řešeny na katedře výrobních systémů a automatizace. Téma 3D tisku / aditivní výroby / rapid prototyping je na katedře řešeno již mnoho let. Oblastí výzkumu jsou nevhodnější parametry nastavované během 3D tisku pro dosažení nejlepších výsledků na tištěných modelech, nové aplikace 3D tisku, mechanické testy vytištěných dílů a testování netradičních materiálů pro 3D tisk. Zaměřujeme se také na vývoj vlastních konstrukcí 3D tiskáren či částí 3D tiskáren, jako jsou např. tiskové hlavy.

KEYWORDS

3D tisk, aditivní výroba, rapid prototyping, FDM, FFF, SLM, RepRap

1 ÚVOD

První 3D tiskárna byla pořízena do laboratoří katedry v roce 2001. Od té doby je téma 3D tisku / aditivní výroby / rapid prototyping na katedře řešeno a zkoumáno. Oblastí výzkumu bývají často nevhodnější parametry nastavované během 3D tisku pro dosažení nejlepších výsledků na tištěných modelech, nové aplikace 3D tisku, mechanické testy vytištěných dílů a testování netradičních materiálů pro 3D tisk. Poslední období se zaměřujeme na vývoj vlastních konstrukcí 3D tiskáren či částí 3D tiskáren, jako jsou např. tiskové hlavy. Uvedené projekty fungují jako průzkum nových možností a cest.

V následujících kapitolách jsou uvedeny vybrané projekty řešené na katedře výrobních systémů a automatizace v roce 2018 a 2019 na téma 3D tisk.

2 STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ODLEHČENÝCH DÍLŮ Z TECHNOLOGIE FFF

Tento projekt se zabýval problematikou aditivní výroby dílů s odlehčenou vnitřní strukturou a jejich mechanickým testováním. Testovaným materiálem byl ABS na technologii FFF. Geometrie testovaných vzorků byla dle normy ČSN EN ISO 527-2. K testování byly zvoleny dvě geometricky rozdílné odlehčené struktury. Jednalo se to o výplně (rectilinear a honeycomb). Dále byly zvoleny faktory zaplnění (0 %, 25 %, 50 %, 75 % a 100 %). Základní mechanické vlastnosti získané ze zkoušek tahem, ohybem a rázem byly získány ze 100 % vyplněného tělesa. Dalšími hodnocenými faktory byly tiskový čas a hmotnost jednotlivých vzorků.

2.1 Výsledek projektu

Výsledkem praktických testů je soubor poznatků, které popisují mechanické vlastnosti dané struktury. Z výsledků mechanických testů vychází jako nevhodnější struktura typu rectilinear.

Tento typ struktury vykazuje vyšší hodnoty pevnosti než typ honeycomb (obr. 1.). Rectilinear také vykazuje jistou linearitu mechanických vlastností při změně faktoru vyplnění.



Obr. 9. Ukázka výplně u struktury honeycomb [Macháček 2018]

2.2 Zhodnocení projektu

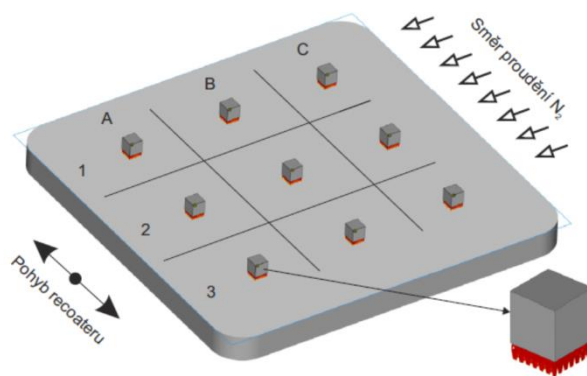
Poznanky z tohoto výzkumu jsou dále využívány pro výzkumné aplikace laboratoře 3D tisku.

3 ANALÝZA PROCESNÍCH PARAMETRŮ TECHNOLOGIE SELECTIVE LASER MELTING

Tento projekt se věnoval analýze vstupních parametrů procesu SLM a posouzení jejich vlivu na výstupní strukturu materiálu. Byly ovlivňovány dva parametry, a to výkon laseru a skenovací rychlost u materiálu AISI H13 (DIN 1.2344). Vyhodnocovanými parametry procesu byly porozita a tvrdost materiálu v daném řezu. Praktická část této práce byla rozdělena na tři části - analýzu vstupního prášku, aplikování metody DOE a využití statistické metody ANOVA pro zobrazení výsledků.

3.1 Výsledek projektu

Výsledkem praktických testů je soubor poznatků - parametrů, které mají největší vliv na konečnou porozitu a tvrdost. Bylo zjištěno, že tímto ovlivňujícím parametrem je výkon laseru. Hlavním zjištěním tohoto výzkumu byla skutečnost, že je možné efektivně využívat metody DOE k analýzám vstupních parametrů pro SLM procesy (obr. 2.).



Obr. 10. Rozmístění zkušebních vzorků na platformě [Véle 2018]

3.2 Zhodnocení projektu

Poznanky z tohoto výzkumu jsou dále využívány pro výzkumné aplikace laboratoře 3D tisku.

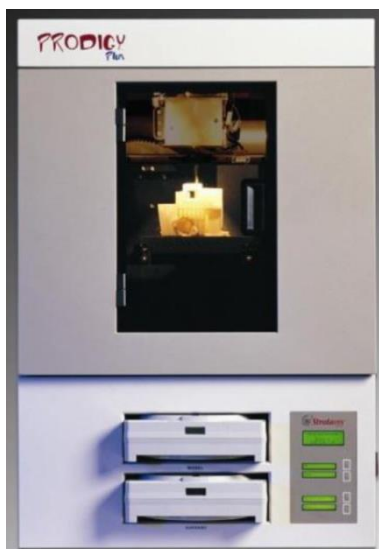
4 DOKONČENÍ 3D TISKÁRNÝ TECHNOLOGIE FLM

Tento projekt se zabývá úpravou již nefunkční 3D tiskárny technologie FLM. Z původní tiskárny byla kromě skříně využita jen mechanická část pro pohyb tiskové hlavy v rovině XY a stolu v ose Z včetně pohonů s krokovými motory (obr. 3.). Tisková

hlava, část stolu a celá řídicí elektronika jsou nahrazeny novými prvky.

4.1 Výsledek projektu

Byla provedena analýza stavu tiskárny a předchozích kroků řešení její konstrukce. Byl zpracován postup úprav a vylepšení tiskárny jak z hlediska funkčnosti, tak z hlediska jednoduché montáže jednotlivých nově navržených komponent do stávající konstrukce. Byla osazena nová tisková hlava, koncové spínače všech pohybových os, upraven stůl tiskárny a nová elektronika pro řízení tiskárny založená na platformě Arduino Mega 2560 s firmwarem Repetier. Vzhledem ke specifickému řízení tiskové hlavy tiskárny jej však bylo nutné modifikovat.



Obr. 3. Pohled na 3D tiskárnu technologie FLM [Řeřuchová 2018]

4.2 Zhodnocení projektu

Po základním nastavení došlo k prvním zkušebním výtiskům, nejprve součásti bez podpor. Při tomto tisku došlo k další regulaci parametrů tisku. Hlavně se jednalo o teplotu, rychlost tisku a rychlost podávání materiálu. Poté se přešlo k tisku součásti s podporami, kde došlo ke kalibraci vzdálenosti trysek mezi sebou. Po vyladění parametrů byl proveden finální tisk z materiálu PLA a vytisknut díl, který odpovídal očekáváním.

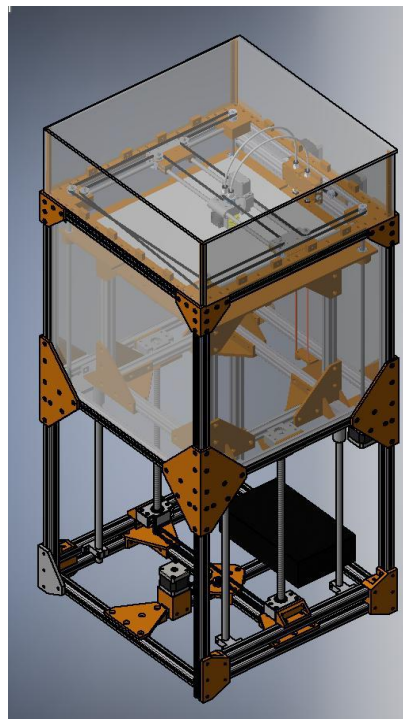
5 ZLEPŠENÍ KONSTRUKCE 3D TISKÁRNY NR802

Cílem dalšího projektu podobného předchozímu bylo vylepšení 3D tiskárny NR802 čínské výroby, která používá k tisku technologii FFF (FLM, FDM). Jednalo se o odstranění výrobních chyb (nekvality), ale také o optimalizaci použitých konstrukčních řešení. Opět byl nejprve proveden rozbor původního stavu konstrukce 3D tiskárny a byla vytipována problematická místa její konstrukce i dílenského zpracování. Dále byly provedeny a postupně realizovány návrhy na eliminaci nalezených problémů.

5.1 Výsledek projektu

V rámci tohoto projektu byla po provedeném rozboru stávající téměř nefunkční konstrukce zcela přepracována koncepcí uložení jednotlivých os, upravena tisková hlava a tiskárna je

připravena na kompletní zakrytování pracovního prostoru. S tím souviselo též přemístění všech komponent citlivých na teplotu mimo tento v budoucnu vyhřívaný prostor (obr. 4.). Bylo tak nutné předělat i umístění motorů a způsob pohonů jednotlivých os.



Obr. 4. 3D model upravené 3D tiskárny NR802 [Jersák 2018]

5.2 Zhodnocení projektu

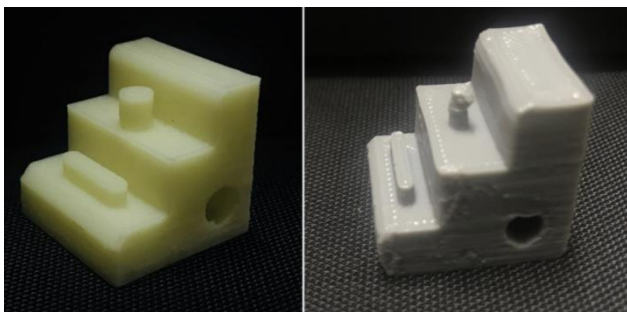
V době tvorby tohoto článku ještě nebyly zrealizovány všechny plánované úpravy, ale ty které byly provedeny, ukázaly jasný posun ke spolehlivosti i zvýšené kvalitě tisku. Upravená tiskárna má za sebou desítky hodin tisku, lze tedy konstatovat, že cíl získat spolehlivý stroj byl splněn.

6 TESTOVÁNÍ 3D TISKÁRNY TECHNOLOGIE FLM

Cílem dalšího projektu bylo testování a nastavení vhodných parametrů tisku na 3D tiskárně REBEL II pro tisk z běžných termoplastických materiálů s cílem získat co nejvyšší kvalitu vytisknutých součástí.

6.1 Výsledek projektu

Byl navržen CAD model testovací součásti s různými detaily a tato součást byla postupně tisknuta na 3D tiskárně Rebel II. Bylo provedeno testování tisku základních materiálů (ABS, PLA, PVA a HIPS). Pro každý materiál byly experimentální formou nalezeny vhodné podmínky při tisku testovací součásti (obr. 5.). V průběhu řešení se ukázalo, že původně navržená tisková hlava nemá dostatečnou schopnost podávat některé materiály dále do extruderu a výstupní trysky. Proto bylo součástí řešení též kompletní předělání tiskové hlavy na již dříve osvědčenou duální hlavu s jedním podávacím motorem. S touto hlavou se již podobné problémy nevykytly.



Obr. 5. Ukázka testovacích výtisků z ABS a PLA [Jayakumar 2018]

6.2 Zhodnocení projektu

Pro každý z testovaných materiálů (ABS, PLA, PVA a HIPS) byly experimentálně zjištěny vhodné parametry nastavení tisku. Byl sledován především vliv změny teploty tisku, rychlosti a v některých případech i vzoru výplně vnitřku dílu při tisku jednotlivých materiálů.

7 TESTOVÁNÍ KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ PRO ADITIVNÍ VÝROBU TECHNOLOGIÍ FLM

Cílem projektu bylo testování a hledání vhodných parametrů tisku na 3D tiskárně REBEL II pro tisk z ne příliš typických materiálů pro tento typ tiskárny (PA, PA s uhlíkovými vlákny, Iglidur).

7.1 Výsledek projektu

Byl navržen CAD model testovací součásti pro následný 3D tisk. Dále byly vybrány nejdůležitější parametry tisku a seříděny podle vlivu na kvalitu tisku. Pomocí Taguchiho metody byl potom naplánován experiment jednotlivých tisků s postupně se měnícími parametry (obr. 6.). Z tohoto experimentu poté vzešly výsledné „optimální“ parametry nastavení 3D tisku pro každý z testovaných materiálů. V průběhu testování se ukázalo, že je vhodné chladit výtisk během tisku, proto byla tisková hlava doplněna o další ventilátor a upravena elektronika řízení tiskárny pro jeho ovládání.



Obr. 6. Ukázka výtisků z PA s uhlíkovými vlákny [Rajaganesh 2019]

7.2 Zhodnocení projektu

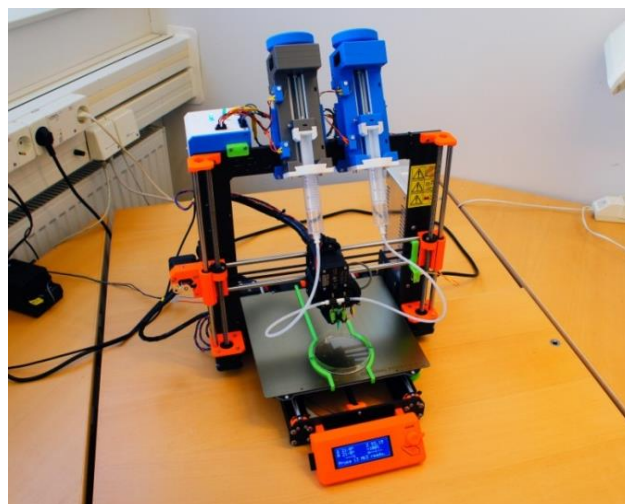
Pro každý z testovaných materiálů (PA, PA s uhlíkovými vlákny a Iglidur) byly pomocí metody plánování experimentu nalezeny vhodné parametry nastavení pro 3D tisk, čímž byla dále rozšířena paleta materiálů, ze kterých je možné tisknout na „hobby“ tiskárně Rebel II s otevřeným pracovním prostorem.

8 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ 3D TISKÁRNY PRO TISK BIO-GELU.

Velice progresivním odvětvím je použití 3D tiskáren pro tisk biologických materiálů. V současné době se zkoumají možnosti využití těchto aplikací v medicíně, farmacii a biotechnologii. Tyto aplikace se souhrnně nazývají 3D Bio tisk. Jako příklad lze uvést tisk modelu masky člověka, která obsahuje kožní buňky, a mohla by být použita jako náhrada kůže v případě zranění. V současné době jsou na trhu pouze relativně drahá řešení zabývající se 3D Bio tiskem, která jsou zaměřena především na medicínské aplikace. Z tohoto důvodu je tento projekt zaměřen na návrh a výrobu cenově dostupného řešení pro tisk bio-gelu.

8.1 Výsledek projektu

Byl vypracován přehled technologií 3D bio tisku včetně aplikací a dostupných 3D bio tiskáren. Bylo navrženo vlastní řešení pro konkrétní aplikaci 3D bio tisku – tisku bio gelu obsahujícího živé bakterie *Geobacter sulfurreducens* na grafitové elektrody. Řešení je realizováno přestavbou komerčně dostupné 3D tiskárny Prusa I3 MK3. Součástí návrhu je i návrh řízení tiskárny. Byla provedena optimalizace tiskových parametrů a uskutečněny zkušební výtisky.



Obr. 7. Realizovaná dvou extruderová tiskárna pro tisk bio gelu [Haluška 2019]

8.2 Zhodnocení projektu

Výsledkem vývoje je samostatně fungující zařízení (obr. 7.), které maximálně využívá výhod tiskárny Prusa I3 MK3 a rozšiřuje ho o uživatelsky přívětivou funkcionalitu tisku z hydrogelu, včetně softwarové podpory pro přípravu tiskových dat. Drtivá většina dílů použitých k přestavbě na gelový tisk je vyrobena metodou FDM 3D tisku. Výroba jednotlivých dílů dokonce probíhala na stejné tiskárně. Mimo tuto konkrétní aplikaci je možné takto přestavěnou tiskárnu využít k tisku de-facto jakéhokoliv materiálu s vlastnostmi pasty nebo gelu (potravin, keramika, atd.) a pomoci tak s rozvojem těchto oborů.

9 ZÁVĚR

Výzkumné práce v oblasti 3D tisku většinou fungují jako průzkum nových možností a cest. V některých případech na



toto navazují výzkumné projekty nebo vznikají nová témata pro další práce či vývoj nových zařízení.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen na Technické univerzitě jako součást projektu (21278) – „Optimalizace výrobních systémů, 3D technologií a automatizace“ podpořeného specifickým vysokoškolským výzkumem v rámci studentské grantové soutěže vyhlášené Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019. Výzkumná činnost uvedená v tomto článku byla z části podpořena institucionální podporou na nespecifický vysokoškolský výzkum a z části projektem LO1201 za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu "Národní program udržitelnosti I" a projektu OP VaVpl Centrum pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace CZ.1.05/2.1.00/01.0005.

REFERENCE

- [[Haluška 2019](#)] Haluška, J. Návrh konstrukčního řešení 3D tiskárny pro tisk bio-gelu. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. Vedoucí práce Ing. Petr Zelený, Ph.D.
- [[Jayakumar 2018](#)] Jayakumar, T. K. Testing of FLM 3D Printer. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce Ing. Petr Keller, Ph.D.
- [[Jersák 2018](#)] Jersák, Z. Zlepšení konstrukce 3D tiskárny NR802. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce Ing. Petr Keller, Ph.D.
- [[Macháček 2018](#)] Macháček, J. Stanovení základních mechanických vlastností odlehčených dílů z technologie FFF. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce: Jiří Šafka
- [[Rajaganesh 2019](#)] Rajaganesh, S. Testing of Structural Materials for Additive Manufacturing by FLM Technology. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. Vedoucí práce Ing. Petr Keller, Ph.D.
- [[Řeřuchová 2018](#)] Řeřuchová, I. Dokončení 3D tiskárny technologie FLM. Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce Ing. Petr Keller, Ph.D.
- [[Véle 2018](#)] Véle, F. S Analýza procesních parametrů technologie Selective Laser Melting. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2018. Vedoucí práce: Jiří Šafka

VYUŽITÍ OPTICKÉ 3D DIGITLIZACE V RÁMCI ZÁVĚREČNÝCH PRACÍ NA KATEDŘE VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ A AUTOMATIZACE

Radomír Mendřický

Katedra výrobních systémů a automatizace, Technická
univerzita v Liberci, Liberec, Česká republika

e-mail: radomir.mendricky@tul.cz

V souladu s nejnovějšími světovými trendy jsou v posledních letech na Katedře výrobních systémů a automatizace (KSA) stále častěji využívány moderní metody bezkontaktní 3D digitalizace pomocí laserových nebo optických 3D skenerů. Jejich užití je velmi široké – od inspekce kvality výroby (kontrola rozměrů a tvaru obrobku), přes reverzní inženýrství, aditivní výrobu, technický design, až po aplikace v kultuře, architektuře nebo např. medicíně. Laboratoř 3D digitalizace a reverzního inženýrství na Technické univerzitě v Liberci disponuje špičkovým vybavením jak z hlediska hardwaru tak i softwaru. Bezkontaktní skenování je často využíváno během vědeckovýzkumných aktivit nebo v rámci smluvního výzkumu pro průmyslové partnery, primárně však pro vzdělávací aktivity. S metodami optické 3D digitalizace a jeho praktickým využitím jsou studenti ve výuce seznamováni již během magisterského studia v několika předmětech. Vybavení laboratoře je také studentům k dispozici pro řešení závěrečných prací. Nejčastěji se jedná o výzkumná témata, jejichž zadání vychází z aktuálních potřeb praxe nebo katedry. V minulém roce byla pomocí optické 3D digitalizace řešena problematika rozměrové stability dílů vyráběných aditivní technologií a byl zkoumán vliv procesních parametrů na kvalitu a přesnost 3D tisku technologií FDM. Dále byla provedena podrobná analýza vlivu materiálu obrobku na přesnost optické 3D digitalizace a v neposlední řadě byl realizován návrh konstrukčního řešení pro automatické skenování osob. Výběr těchto témat využívající potenciál optické 3D digitalizace shrnuje tento příspěvek.

KEYWORDS

3D digitalizace, optický 3D skener, 3D tisk, aditivní technologie, inspekce, přesnost.

1 ÚVOD

Laboratoř 3D digitalizace a reverzního inženýrství na Technické univerzitě v Liberci se věnuje expertním činnostem, které souvisí s 3D digitalizací objektů, zpracováním a analýzou takto získaných dat. Pro 3D digitalizaci objektů jsou používány především systémy pro bezkontaktní 3D skenování. Laboratoř disponuje špičkovým vybavením jak z hlediska hardwaru (optické, laserové 3D skenery, systém pro fotogrammetrii, multisenzorový souřadnicový měřicí stroj), tak i softwaru (programy pro editaci meshe, inspekci, reverzní inženýrství).

1.1 Vybavení laboratoře

První systém pro bezkontaktní skenování byl do laboratoře pořízen již před více než 10 lety. Pro udržení kroku s nejmodernějšími trendy, je snahou přístroje i softwarové vybavení neustále modernizovat a aktualizovat. Starší přístroje, jako např. systém ATOS II 400, ruční skener RevScan nebo pozemní laserový skener Trimble CX byly představeny v [Mendricky 2017]. Nově byla laboratoř v poslední době dovybavena těmito zařízeními:

ATOS III TripleScan – profesionální optický 3D skener, u kterého je proces digitalizace a výpočtu souřadnic bodů založen na principech Fringe Projection, aktivní triangulace a stereoidivění. Systém využívá LED projekci modrého světla. Přístroj umožňuje volbou vhodných objektivů definovat ve směru skenování velikost 3D oblasti, v níž lze měřený objekt skenovat - tzv. měřicí objem (k dispozici je MV 100, 320 a 700). Ten je určující nejen pro velikost měřené součásti, ale významně ovlivňuje i hustotu měřených bodů a samotnou přesnost snímání. Při rozlišení CCD kamer 8 mil. pixelů se teoretická hustota mraku bodů pohybuje od 0,03 mm (pro MV 100) a přesnost cca od 0,01 mm.



Obr. 11. Optický 3D skener ATOS Triple Scan

TRITOP – jedná se o systém, využívající pro získání souřadnic bodů v prostoru principu fotogrammetrie. Skládá se z 2D kamery, kalibračních tyčí, kódovaných a nekódovaných referenčních bodů a softwaru. Jeho využití je pro měření statických deformací či posunutí diskretních bodů ve 3D, dále v součinnosti se skenerem ATOS pro přesné měření velmi velkých objektů.



Obr. 2. Tritop - fotogrammetrie

MetraSCAN 350 – dvou-kamerový laserový skener, u kterého je skenovací hlava pozicována v prostu pomocí optického trackeru (C-Track). Výhodou tohoto řešení je možnost skenování bez lepení referenčních bodů na měřený objekt. Systém též umožňuje snímat barevné, lesklé i černé povrchy bez nutnosti zmatňování. Pracovní prostor C-tracku je více než 16 m³, objemová přesnost udávaná výrobcem až 0,12 mm a rozlišení od 0,2 mm.



Obr. 3. MetraSCAN 350 (C-track – nahoře, skenovací hlava – dole)

Pro ovládání a řízení skenerů, zpracování naskenovaných dat, kontrolu rozměrové a tvarové jakosti (inspekci mraku bodů resp. polygonální sítě) nebo pro reverzní inženýrství používáme specializované software:

GOM Inspect Professional (ATOS XL Live) – SW pro skenování, fotogrametrii, zpracování a vyhodnocení dat z optických 3D skenerů, editace meshe, rozměrové a tvarové analýzy, inspekce.

Geomagic Design X (Geomagic Studio) - specializované softwaru pro transformaci 3D naskenovaných dat na plošné, resp. objemové modely vhodné pro CAD/CAM systémy a virtuální realitu.

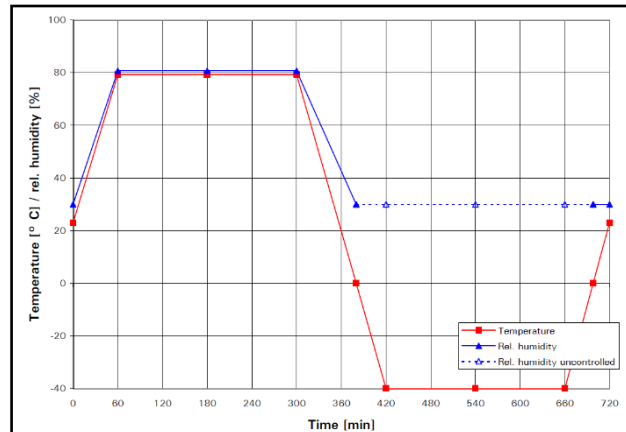
PolyWorks Inspector / Modeler - SW pro metrologii, inspekci / modelování a reverzní inženýrství.

Dále je to např. VX Element (VX inspect, VX model), Calypso base CNC + Calypso curve a další.

2 VÝZKUM V OBLASTI 3D DIGITALIZACE

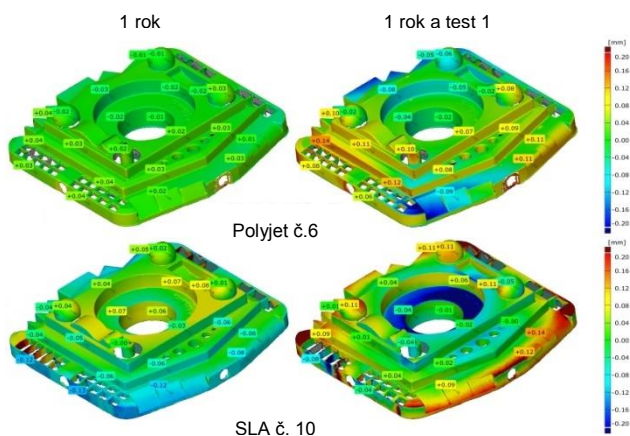
V rámci závěrečných prací byl v předchozím roce realizován výzkum využití bezkontaktního 3D měření v procesu kontroly jakosti výroby a aplikaci metod reverzního inženýrství při inovaci nástrojů a výrobků. Byla dokončena analýza přesnosti aditivní výroby 3D tiskáren pomocí optické digitalizace, a to doplněním o dlouhodobé zkoušky a se zahrnutím působení klimatických změn na tvarovou a rozměrovou stabilitu výrobku. Nově bylo otevřeno téma vlivu materiálu obrobku na kvalitu a přesnost optické 3D digitalizace a byl realizován návrh konstrukčního řešení pro automatické 3D skenování osob.

2.1 Rozměrová stabilita dílů vyráběných aditivní technologií
Jedním z témat využití optické 3D digitalizace byl výzkum přesnosti aditivní výroby součástí v závislosti na použité technologii Rapid Prototyping [Soni 2018]. Byla provedena analýza dlouhodobé rozměrové stability dílů vyráběných aditivní technologií (byly skenovány a posuzovány modely s odstupem jednoho roku od jejich výroby) a především byl doplněn vliv klimatického působení na tvarovou stálost dílů. K tomuto účelu bylo využito klimatických komor, kde byly vzorky vystaveny normovaným cyklickým změnám teploty a vlhkosti – test 1 (teplota a vlhkost - jeden cyklus běží po dobu 720 min a teplotní rozsah od -40 °C až +80 °C a relativní vlhkosti od 30 % do 80 % - viz Obr. 4), nebo působení UV záření - test 2 (intenzita ultrafialového záření 1 000 W/m² po dobu 600 hodin). Při analýze rozměrové a tvarové přesnosti byl zohledněn vliv použité technologie, použité 3D tiskárny a vliv „stárnutí“ modelu.



Obr. 4. Testovací cyklus dle PV 1200 (teplota, vlhkost) [PV 1200 1987]

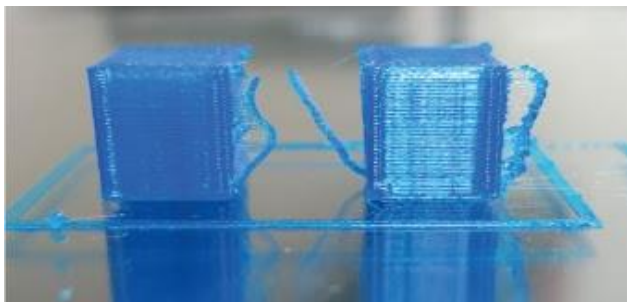
Měření provedená v rámci tohoto výzkumu ukázala, že největší deformace v čase vykazovaly modely vyrobené technologií PolyJet (materiál VeroGrey) a SLA (materiál White Resin nebo ABS 3SP Tough), zvláště pokud byly vzorky vystaveny působení teploty a vlhkosti – test 1 (viz Obr. 5). Ostatní vzorky, konkrétně technologie FDM (materiál ABS – P400 nebo ABS – M30) a SLS (materiál PA 2200) byla z rozměrového hlediska relativně stabilní. Vzorky nevykazovaly významné tvarové či rozměrové změny ani po roce od výroby 3D tiskem a to ani, pokud byly vystaveny testu 1 nebo testu 2.



Obr. 5. Rozměrové a tvarové odchylky 1 rok po tisku

2.2 Vliv procesních parametrů na kvalitu a přesnost 3D tisku technologií FDM

V rámci této práce byl zkoumán vliv procesních parametrů na kvalitu a přesnost dílů vyráběných technologií FDM [Fris 2018]. Experimenty byly provedeny na 3D tiskárně Ultimaker, jako testované materiály byl použit termoplast PLA. V rámci experimentální činnosti byla stanovena optimální teplota tisku, parametry jako rychlost retrakce, délka retrakce a přejezdová rychlost (Obr. 6). Dále byl zjišťován vliv 13 parametrů na dobu tisku, spotřebu materiálu, kvalitu povrchu (byla měřena drsnost povrchu vzorků pomocí dotykového profilometru SV2000) a geometrickou přesnost (měřena optickým 3D skenerem ATOS II 400). Pomocí metodiky DoE Taguchi byl stanoven efekt jednotlivých faktorů na ukazatele kvality. Následně pomocí Paretova pravidla byly určeny vlivné parametry.



Obr. 6. Experiment „strunování“ – pro stanovení parametrů nastavení: délka a rychlost retrakce, přejezdová rychlost a teplota trysky

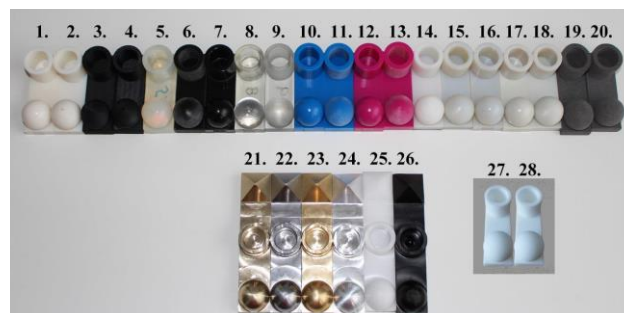
Výsledkem výzkumu bylo nastavení procesních parametrů pro dosažení nejlepších výsledků a souhrn procesních parametrů, které do velké míry ovlivňují ukazatele kvality. Bylo zjištěno, že na drsnost povrchu mají největší vliv parametry v tomto pořadí: výška vrstvy, tvar vrchní vrstvy, rychlost tisku výplně a rychlost tisku vrchní vrstvy. Rozměry modelu jsou pak nejvíce ovlivněny výškou vrstvy, orientací dílů na podložce a rychlostí tisku výplně. Porovnáním výsledků vlivu procesních parametrů na dobu tisku a velikosti rozměrových odchylek bylo zjištěno, že velikost odchylky významně ovlivňují parametry, které nebyly označeny jako parametry mající významný vliv na dobu tisku (viz. Tab. 1). Tento fakt pomůže zlepšit rozměrovou přesnost dílů bez zásadní změny doby tisku, což bylo hlavním cílem výzkumu.

Parametr	Procentuální část [%]	Kumulativní četnost [%]
Výška vrstvy	37.41	37.41
Rychlost tisku stěn	14.35	51.76
Rychlost tisku vrchní vrstvy	13.65	65.41
Rychlost tisku výplně	12.94	78.35
Počet stěn	4.24	82.59
Procento výplně	3.29	85.88
Tloušťka vrchní vrstvy	3.06	88.94
Šířka vytlačované linky	2.82	91.76
Tvar vrchní vrstvy	2.35	94.12
Množství vytlačovaného materiálu	2.12	96.24
Tvar podpor	1.41	97.65
Orientace dílu na podložce	1.18	98.82
Tvar výplně	1.18	100

Tab. 1. Vliv procesních parametrů na dobu tisku

2.3 Analýza vlivu materiálu obrobku na přesnost optické 3D digitalizace

Zkušenosti naznačují, že materiálové složení měřeného obrobku, jeho povrchová struktura a barva, mohou mít zásadní vliv na jeho skenovatelnost [Langer 2018]. Zmíněné faktory ovlivňují nejen kvalitu polygonální sítě, ale v některých případech i rozměry získaného modelu. Cílem výzkumu bylo analyzovat, jak použitý materiál obrobku ovlivní výsledky procesu 3D optické digitalizace. Pro tyto účely byly vyrobeny téměř 3 desítky vzorků, a to z různých materiálů (ocel, hliník, mosaz, plast), barev (od bílé a čiré, přes barevné, po černou) a povrchů (matný, lesklý) (viz obr. 7). Zvláštní pozornost byla věnována materiálům používaným při aditivní výrobě, neboť ty se zdají dle zkušeností nejvíce rizikové.



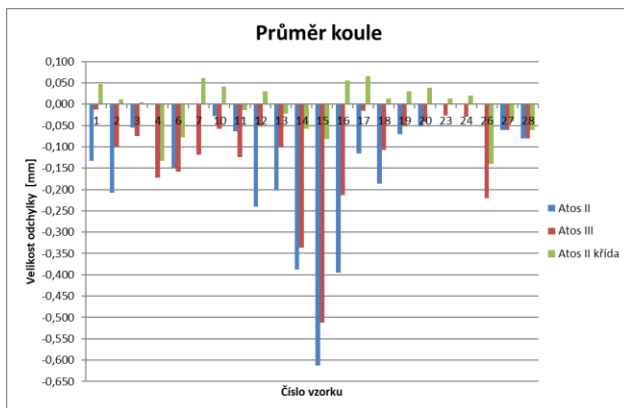
Obr. 7. Posuzované vzorky (tištěné, obráběné)

Modely byly skenovány optickými 3D skenery ATOS II 400 a generičně mladším systémem ATOS III TripleScan. Hodnocení probíhalo ve dvou rovinách. Prvně byla posuzována skenovatelnost vzorků, a to procentuálním vyjádřením naskenované plochy. U dostatečně naskenovaných modelů pak byly vyhodnocovány rozměrové charakteristiky. Na každém vzorku bylo kontrolováno pět rozměrů, a to srovnáním s referenčními daty, které byly stanoveny dotykovým způsobem na souřadnicovém měřicím stroji. Všechna měření probíhala nejprve bez použití antireflexního nástřiku, ve druhé fázi byly vzorky před skenováním zmatněné křídovým sprejem.

Nejčastěji mohou v závislosti na skenovaném povrchu nastat tři případy. První ideální varianta je taková, pokud je model kvalitně a rozměrově správně skenovatelný bez antireflexního nástríku. Druhý případ zahrnuje materiál, který nelze bez zmatnění vůbec oskenovat. Třetí, nejrizikovější skupinou jsou pak modely s takovými povrchovými vlastnostmi, kdy model je sice dobře zdigitalizován, ale rozměry modelu vykazují nepřijatelné odchylky. Jak dokládají výsledky výzkumu, toto chování se nejčastěji projevuje u mírně průhledných či průsvitných plastových materiálů, u materiálů použitých při aditivní výrobě, a to především u fotopolymerů. Výzkum tedy potvrdil domněnku, že především materiály používané při výrobě 3D tiskem jsou sice relativně bezproblémově skenovatelné, ale modely vykazují významnou rozměrovou chybu.

Experimenty ukázaly, že starším systémem ATOS II není možné bez matnicího nástríku téměř vůbec oskenovat lesklé povrchy, jako např. obráběné díly z materiálu ocel, hliník, mosaz, teflon, polyamid a čiré vzorky vyráběné technologií 3D tisku (SLA Durable, VeroClear).

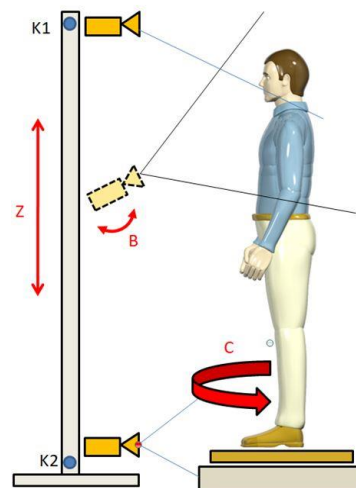
Z pohledu rozměrové chyby dosahovaly nejhorších výsledků vzorky vyrobené technologií PolyJet, jmenovitě materiál ABS like a PureWhite. Chyba rozměrů modelu vyrobeného touto technologií dosahovala u skeneru ATOS III TripleScan kolem 0,44 mm, u starší generace skeneru používající bílé světlo projektoru byly rozměry v průměru menší dokonce o 0,52 mm. Odchylky pro jeden ze sledovaných parametrů - průměr koule - jsou zobrazeny na obr. 8.



Obr. 8. Rozměrové odchylky jednotlivých vzorků (průměr koule)

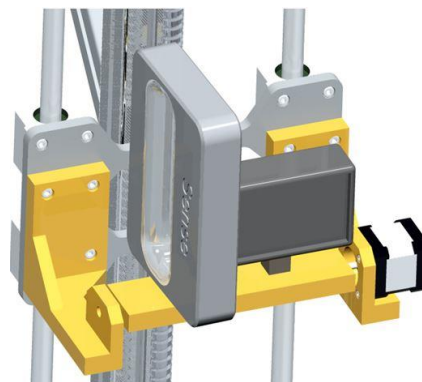
2.4 Návrh konstrukčního řešení pro automatické skenování osob

Jedním z vývojových témat byl návrh a realizace konstrukčního řešení pro automatické 3D skenování předmětů a osob pomocí 3D skeneru [Maly 2018]. V této oblasti byla provedena rešerše prací na podobné téma, byl testován SW pro skenování a byl proveden návrh a realizace konstrukčního řešení ve formě pohyblivého stojanu a otočné platformy (viz. Obr. 9).



Obr. 9. Základní koncepce skeneru

Výsledkem této aktivity byla stavba zařízení pro automatické skenování osob. Jako skener byl využit low-end systém Sence v ceně okolo 10 tis. Kč. Samotná platforma pro uchycení skeneru se skládá z rámu složeného z hliníkových profilů, pohonu rámu (trapezový šroub, krokový motor), vedení (tyče s lineárními kuličkovými pouzdry), platformy pro uchycení skeneru (deska, natáčení, krokový motor). Vše je doplněno elektronikou. Druhou částí je pak motoricky poháněný otočný stůl pro polohování osoby. Detail konstrukce platformy je na Obr. 10.



Obr. 10. Finální podoba platformy

Celkové náklady na stavbu zařízení se vyšplhaly na necelých 37 tis. Kč. Tato částka přesáhla cca o 10 tis. odhadovanou cenu, nicméně je stále výrazně nižší než cena obdobných systémů dostupných na trhu. Byl tedy splněn cíl, navrhnout systém, který bude ekonomicky výhodnější v porovnání s komerčními systémy a který rozšíří možnosti laboratoře skenovat i pohyblivé objekty.

3 ZÁVĚR

Měření a inspekce s využitím optických 3D skenerů, stejně tak jako reverzní inženýrství, je v posledních letech v praxi na vzestupu. Roste proto i zájem o studenty, kteří mají o těchto metodách povědomí, umí s těmito systémy a především daty pracovat. Snahou je zařazovat problematiku 3D měření a optické 3D digitalizace stále více do edukativního procesu a



Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019

podporovat závěrečné práce využívají těchto moderních metod v nejrůznějších oborech výzkumné a vědecké činnosti.

PODĚKOVÁNÍ

Tato publikace byla napsána na Technické univerzitě v Liberci v rámci projektu "(21278) Optimalizace v oblasti výrobních systémů, 3D technologií a automatizace" s podporou specifického univerzitního výzkumného grantu poskytovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019.

LITERATURA

[Fris 2018] FRIŠ, Daniel. *Vliv procesních parametrů na kvalitu a přesnost 3D tisku technologií FDM*. Liberec, 2018. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.

[Langer 2018] LANGER, Ondřej. *Analýza vlivu materiálu obrobku na přesnost optické 3D digitalizace*. Liberec, 2018. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.

[Maly 2018] MALÝ, Vratislav. *Návrh konstrukčního řešení pro automatické 3D skenování osob*. Liberec, 2018. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.

[Mendricky 2017] MENDŘICKÝ, Radomír. Výzkum v oblasti 3D digitalizace a reverzního inženýrství realizovaný v rámci závěrečných prací na Katedře výrobních systémů a automatizace. In: *10th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2017*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2017. ISBN 978-80-7494-370-6.

[Soni 2018] SONI, Durgashankar Rakeshkumar. *Dimensional stability of parts manufactured by additive technologies*. Liberec, 2018. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.

[PV 1200 1987] *Standard Test Manual: KLASS.-NR. 50 32 1. Vehicle Parts PV 1200: Testing of Resistance to Environmental Test Cycle (+ 80 / -40) ° C*. 1987



MODEL CHYTRÉ TOVÁRNY VYUŽÍVAJÍCÍ PRINCIPY PRŮMYSLU 4.0

Martin Ševic, Petr Keller

Katedra výrobních systémů a automatizace, Fakulta strojná,
Technická univerzita v Liberci, Liberec, Česká Republika

e-mail: martin.sevic@tul.cz, petr.keller@tul.cz

Článek pojednává o vytvářeném modelu chytré továrny využívající principy Průmyslu 4.0. Jedná se o vytvoření autonomního výrobního systému, který do jednoho celku sdružuje výrobní prostředky, jako jsou stroje, manipulační jednotky, sklady, apod., dále také lidské zdroje a toky informací. Výrobní systém není řízen centrálně, ale každé stanoviště má svůj vlastní řídicí systém a komunikuje s ostatními stanovišti na principu Internetu věcí. Celý výrobní systém se chová plně autonomně, sám se organizuje a přizpůsobuje zadaným požadavkům v reálném čase. Jeho cílem je co nejefektivněji v daném čase vyrobit dané produkty na základě požadavků zákazníka. Přínosem takového systému by pak mělo být výrazné zvýšení produktivity, rychlá a jednoduchá rekonfigurace celého systému, což je klíčové převážně v případě malosériové výroby.

Klíčová slova

Průmysl 4.0, chytrá továrna, autonomní systém, Internet věcí (Internet of Things)

1 ÚVOD

Pojem Průmysl 4.0 (případně Industry 4.0) je označován za čtvrtou průmyslovou revoluci, která má spočívat ve využití technologických konceptů internetu věcí (Internet of things), kyber-fyzických systémů (Physical Systems) a dalších moderních technologií, které mají přinést úplné digitální propojení všech výrobních procesů (od vývoje až po distribuci výrobku). [ATP Elektro, MM 2016]

Toto propojení povede ke vzniku tzv. „chytré továrny“ budoucnosti. Různá zařízení by měly implementovány počítačové čipy schopné mezi sebou bezdrátově komunikovat přes internet. Výroba by pak probíhala v autonomních výrobních systémech, kde by spolu všechny jeho části včetně samotných produktů komunikovaly a tvořily tzv. kyber-fyzický systém. [Sborník 2015, Volty 2016]

2 MODEL CHYTRÉ TOVÁRNY

Téma konceptu „chytré“ továrny, též také autonomních výrobních systémů je v současné době velmi aktuální a nepochybně ho v blízké době čeká ještě velký rozvoj. Cílem tohoto konceptu je vytvořit plně autonomní výrobní systém, tzv. „chytrou“ továrnu, kde jsou všechny úrovně výroby digitálně propojeny (od vývoje výrobku až po logistiku), to by mělo vést k výraznému zvýšení produktivity, k rychlé a jednoduché rekonfiguraci celého systému, což je klíčové převážně v případě malosériové výroby.

V současné době bezpochyby dochází k postupnému zavádění nových automatizačních technologií do výrobní praxe. Řada firem již experimentuje např. s možnostmi a přínosy využití rozšířené i virtuální reality, použití kolaborativních robotů, které mohou bezpečně spolupracovat s člověkem, kompletní digitalizací výrobních dokumentací, prediktivní údržbou, atd. Ovšem k realizaci plně autonomního výrobního systému, tak aby byl pro firmu skutečně přínosem, je stále poměrně daleko. Proto je nutné vytvořit zkušební systém, na kterém bude možné vše pohodlně vyzkoušet. Výzkum se musí zaměřit na realizaci optimálního řešení provedení vzájemné komunikace všech úrovní systému tak, aby byla co nejjednodušší a nejefektivnější a pracovala s co nejmenším (pouze nutně potřebným) množstvím dat, a tím se maximalizoval její přínos. Motivací pro vytvoření modelu „chytré“ továrny na Technické univerzitě v Liberci je tedy vytvořit plně autonomní výrobní systém, na kterém bude možné jednoduše a srozumitelně prakticky ukázat základní princip a všechny výhody a přínosy uplatnění autonomního výrobního systému v praxi.

3 KOMPONENTY MODELU CHYTRÉ TOVÁRNY

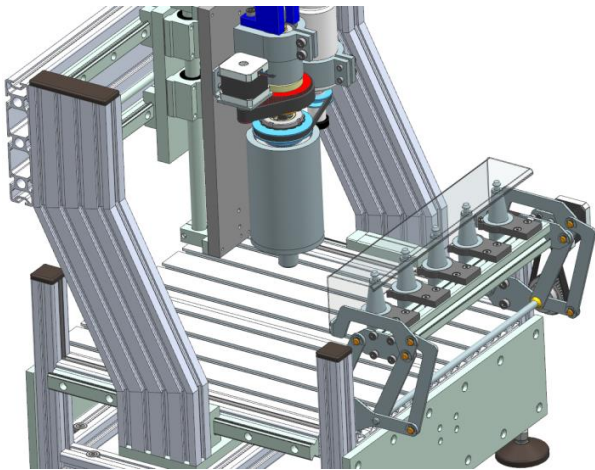
Vytvářený model chytré továrny se bude skládat z několika různých komponent (stanovišť), které budou vzájemně bezdrátově propojeny. Všechny komponenty budou jednak vlastní konstrukce, a také k nim bude vytvořen vlastní řídicí systém. Tím, že bude konstrukce i řízení otevřené, bude podstatně jednodušší je přizpůsobit potřebám celého systému, zejména komunikaci s okolními komponentami výrobního systému, ale také se předpokládá úprava hardwaru stroje např. pro realizaci automatického upínání obrobků apod.

3.1 Malá tříosá CNC frézka

Základem vytvářeného výrobního systému je malá tříosá CNC frézka. Frézka slouží k obrábění lehce obrobitelných materiálů, jako je umělé dřevo, plasty a slitiny hliníku. Rozměr pracovního prostoru frézky je 250 x 260 x 150 mm.

Základní konstrukce stroje je zhotovena z hliníkových profilů, což umožňuje variabilitu a dostatečnou tuhost a přesnost konstrukce. Pro osy X a Y je voleno valivé prizmatické vedení, pro osu Z jsou použity válcové vodící tyče s valivými lineárními ložisky průměru 16 mm. Pro pohony jednotlivých os jsou použity válcované kuličkové šrouby o průměru 12 mm a stoupání 4 mm s předepnutou maticí. Při volbě vřetene se vycházelo z vypočtených hodnot, potřebného výkonu vřetene, řezné síly a krouticího momentu na nástroji při frézování. Žádné dostupné vřeteno nespĺňovalo zadané požadavky, tak bylo přistoupeno k návrhu konstrukce vlastního vřetene. Navržené vřeteno využívá stejnosměrný motor s výkonem 400 W s PWM regulátorem, s regulací otáček v rozsahu 3 000 až 12 000 za minutu. Vřeteno je s tímto motorem spojeno přes řemenový převod s převodovým poměrem 1 : 2. Jako držák nástrojů je použit adaptér se spojku ISO 20, největší průměr nástroje, který může upnout je 7 mm.

Frézka je také vybavena zásobníkem nástrojů. Výměna nástrojů probíhá plně automaticky.



Obr. 12. CNC frézka s integrovaným zásobníkem nástrojů

3.2 Zásobník nástrojů

Zásobník nástrojů je navržen pro pět pozic. Je uzpůsoben tak, aby lišta zásobníku s nepoužívanými nástroji nezmenšovala pracovní prostor frézky. Lišta zásobníku je tedy umístěna mimo pracovní prostor stroje, do něhož je vyklápěna pomocí paralelogramu, který je ovládán krokovým motorem. K paralelogramu je dále svázán další čtyř-kloubový mechanismus, který zajišťuje odklopení ochranného krytu nástrojů. O pohon se stará krokový motor, který je převodován v poměru 1 : 4.

Na vtahování nástroje do vřetene jsou použity kleštiny, které jsou při vysunutí otevřeny pomocí rozpěrného kroužku, a tím je nástroj uvolněn z vřetene. Další částí vřetene je pružina, která vyvozuje vtažovací sílu na nástroj.

Soustava pro automatickou výměnu nástrojů se skládá z vřetene, zásobníku nástrojů a mechanismu na jejich výměnu, viz. obr. 1.

3.3 Prostředek operační a mezioperační manipulace

Účelem manipulace s dílem je jeho přeprava mezi jednotlivými stanovišti modelu továrny. Díl je přepravován upnutý na technologické paletě. Paleta slouží jako unifikovaná základna, se kterou umí jednotlivá stanoviště pracovat. Manipulace s touto paletou je rozdělena na mezioperační, tzn. je transportována mezi stanovišti systému, a operační, kdy je s ní manipulováno v rámci dané operace – např. upínání na frézce.

3.3.1 Operační manipulace

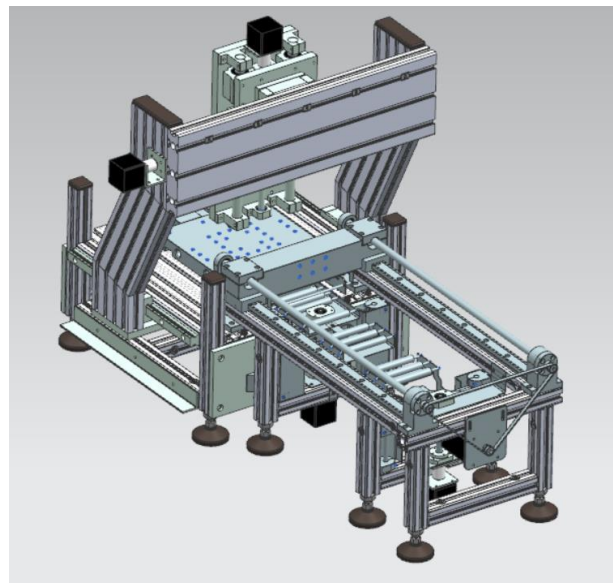
Úkolem operační manipulace je zajištění správného založení polotovaru a jeho upnutí v pracovním prostoru daného zařízení, v tomto případě tedy CNC frézky. Byl navržen systém pro převzetí technologické palety z vozíku a její založení a pevné upnutí v pracovním prostoru frézky, viz obr. 2.

3.3.2 Mezioperační manipulace

Úkolem mezioperační manipulace je zajištění přepravy (polotovaru nebo již hotových výrobků) mezi jednotlivými prvky systému, tedy mezi skladovacími systémem, CNC frézku, měřicím (kontrolním) zařízením, apod. Mezioperačním prostředkem bude v tomto systému kolový vozík (robot), sledující černou čáru na podlaze. Použití vodící černé čáry

umožňuje snadné úpravy v layoutu stanovišť. Zařízení bude realizováno jako samostatná jednotka, která může jak přijímat, tak i vydávat pokyny ostatním stanovištím.

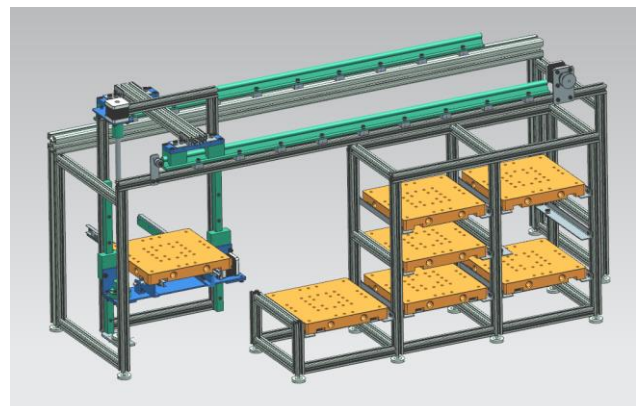
Vozík ponese již zmíněnou technologickou paletu s upnutým polotovarem. Na technologické paletě je umístěn RFID čip, který umožní její jednoznačnou identifikaci. Paleta je samostatný prvek systému. Při přepravě do stanoviště bude z přepravního zařízení odebrána a upnuta ve stanovišti. Důvodem je, že během operace může přepravní zařízení vykonávat další činnost a sníží se tak množství potřebných přepravních zařízení.



Obr. 13. Prostředek operační manipulace

3.4 Inteligentní skladovací systém

Návrh skladu, viz obr. 3, vychází z požadavku, aby naskladnění i vyskladnění dílů probíhalo zcela automaticky. Předpokládá se, že díly pro naskladnění již budou upnuté na zmíněné technologické paletě. Sklad musí být do značné míry univerzální tak, aby byl schopen pojmout díly o různých rozměrech. Dále musí komunikovat s další jednotkou, která slouží k přepravě dílů do další stanice.



Obr. 14. Návrh skladovacího systému

Celá stanice se skládá ze dvou částí, samotného skladu a manipulátoru. Ve skladu budou umístěny technologické paletky, na kterých bude umístěn obrobek, který si specifikuje



zákazník. Manipulátor zajišťuje přepravu mezi skladem a místem sloužícím k výdeji nebo v opačném případě k naskladnění dílů a musí zajišťovat přepravu mezi skladem a vozíkem sloužícím k přepravě paletky do další stanice.

4 PRINCIP FUNGOVÁNÍ CELÉHO SYSTÉMU

Na výše popsaném systému bude možné pracovat na optimalizaci řídicích algoritmů jednotlivých částí tohoto systému. Dále pak optimalizovat komunikaci mezi všemi členy systému a minimalizovat a optimalizovat přenášená data. Jednotlivé členy systému nebudou řízeny centrálně, ale každý bude mít své vlastní řízení. Komponenty budou vzájemně komunikovat na principu IoT.

Postup výroby by pak měl být následující: v základním uživatelském rozhraní si zákazník nadefinuje (nakonfiguruje) z možných variant výrobek. Pak se pro tento konkrétní výrobek upraví NC program pro frézku. NC program by se měl sám rekonfigurovat dle konkrétního výrobku zadaného zákazníkem. Může jít např. o vizitku, do které bude gravírován text nebo obrázek dle specifikace zákazníka.

Software zvolí ideální polotovary pro díl, zavolá si vozík a tuto informaci mu předá. Vozík se pak dotáže skladovacích jednotek, jestli u sebe tento konkrétní polotovar mají, pokud ano, tak si vozík vybere nejbližší sklad a zajede do něj pro polotovary. Pokud žádný sklad požadovaný polotovar nemá, vozík zvolí další nejlepší možnost rozměru polotovaru a opět se dotáže skladů, jestli ho vlastní. Dále když bude mít vozík polotovar naložený tak se dotáže frézky, jestli má volnou kapacitu pro výrobu požadovaného dílu, opět pokud ano, tak vozík dojedne ke frézce a polotovar jí předá. S polotovarem jí také předá informace o požadovaném výrobku, frézka si podle těchto informací z hlavní databáze stáhne požadovaný NC program a poté zahájí výrobu. Po vyrobení dílu frézka vnese požadavek na potřebu vozíku, a nejbližší volný vozík přijede a paletku s hotovým dílem naloží. Tu pak odveze např. do kontrolní měřicí stanice, kde se zkontrolují hlavní (nejdůležitější) rozměry dílu. Pokud budou všechny rozměry v pořádku, díl se odveze do skladu pro hotové výrobky. Pokud je díl špatný, ale opravitelný, tak se zpět odveze k frézce, která opraví požadované rozměry. Díl se pak opět přesune do měřicí stanice, kde se rozměry znovu zkontrolují. Systém také v měřicí stanici analyzuje nepřesnost výroby a pro příští díl pošle frézce informace pro korekci nástroje. Třetí variantou je to, že výrobek je špatný a neopravitelný, v tom případě se pak odloží do zmetkových dílů.

Celý proces a stav rozpracovanosti jednotlivých výrobků bude možné také sledovat na informační aplikaci (obrazovce), ke které bud mít přístup každý zákazník, aby věděl jak na tom jeho výrobek je.

5 ZÁVĚR

Cílem práce je navržení funkčního modelu chytré továrny na principu Průmyslu 4.0. Mělo by se jednat o autonomní výrobní systém se stroji, manipulačními jednotkami, skladem, apod., kde bude klíčové správně navrhnout tok informací. Pro zajištění snadné změny (přestavby) výrobního systému je důležité, aby řízení nebylo centrální, ale každé stanoviště systému bylo samostatné a svoji činnost koordinovalo na základě komunikace s ostatními prvky systému na principu Internetu věcí.

Z důvodu nutnosti otevřené konstrukce pro možné pozdější zásahy a úpravy bylo rozhodnuto, že všechny klíčové prvky

modelu chytré továrny budou zkonstruovány a vyrobeny svépomocí, včetně systémů řízení, kde se sice vychází z dostupných již hotových programů, které ale budou upravovány na míru vlastním potřebám. V současné době je hotový návrh jednotlivých komponent celého systému na úrovni CAD modelů (sestav), CNC frézka je pak ve fázi těsně před dokončením hardwarové části. Paralelně se stavbou stroje probíhá i vývoj jeho řídicího systému. Bylo rozhodnuto, že pro řízení CNC frézky se zásobníkem nástrojů bude použit interpret tzv. G-kódu GRBL, běžící a vykonávající instrukce v reálném čase na platformě Arduino. Pro jeho obsluhu a komunikaci s ostatními prvky systému pak je vytvářen program běžící na standardním počítači.

Ostatní prvky systému nejsou tak složité na řízení, proto bude pravděpodobně pro jejich řízení a komunikaci použit pouze mikro-kontrolér, např. opět na platformě Arduino. Rozhraní pro komunikaci se zákazníkem může být uděláno např. jako webová aplikace, tzn. zadávání a sledování zakázek by bylo možné odkudkoli přes internet. Případně to může být jen program běžící na lokálním počítači a komunikující se systémem, což může být v první etapě jednodušší.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen na Technické univerzitě v Liberci v rámci projektu (21289) - „Vývoj autonomního výrobního systému“ s podporou Specifického vysokoškolského výzkumu, poskytovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019.

LITERATURA

- [ATP Elektro] ATP Elektro: Jaká bude továrna budoucnosti? [online]. www page: <http://atp-elektro.cz/jaka-bude-tovarna-budoucnosti/>.
- [MM 2016] MM Průmyslové spectrum: Průmysl 4.0 a čtvrtá průmyslová revoluce. [online]. www page: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prumysl-4-0-a-ctvrta-prumyslova-revoluce.html>.
- [Sborník 2015] SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ: Průmyslové inženýrství 2015. Mezinárodní studentská vědecká konference Ostrava, říjen 2015.
- [Volty 2016] Volty.cz: Čtvrtá průmyslová revoluce. [online]. www page: <http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor//clanky/2016/Volty-Prima.pdf>.

MODULÁRNÍ KONSTRUKCE DRONU S VYUŽITÍM ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

Petr Keller, Jan Erlebach

Katedra výrobních systémů a automatizace, Fakulta
strojní, Technická univerzita v Liberci, Liberec, Česká
Republika

e-mail: petr.keller@tul.cz

Příspěvek se zabývá konstrukcí dronu s modulární koncepcí rámu a jeho výrobou s použitím aditivních technologií. Dron využívá stejnou základní část s elektronikou a s různými rameny s motory a vrtulemi umožňuje použití ve třech různých kategoriích závodního létání.

KEYWORDS

Dron, kvadrokoptéra, modulární konstrukce, aditivní výroba

1 ÚVOD

Drony jsou v poslední době velmi rychle se rozvíjející odvětví, kterému se začíná věnovat poměrně velké množství lidí. Ať už se jedná o hračky, drony pro pořizování obrazových nebo video záznamů či drony závodní. Dají se také využít v průmyslu, vědě, školách, designu a dalších oblastech. Dnes velmi diskutovanou otázkou je také bezpečnost dronů. Bez jakékoliv licence lze prozatím zakoupit drony i velkých rozměrů a s velmi výkonnými pohony. Tím vzniká problém u nových majitelů, kteří drony neumí dostatečně ovládat a mohli by způsobit velké škody nebo i újmny na zdraví. Dron se dá v horších případech využít i jako zbraň, čemuž by se mělo zabránit. [Erlebach 2019]

Příspěvek vychází z diplomové práce autora [Erlebach 2019] a je dále rozšířen o praktické zkušenosti a z toho vyplývající změny v navržené konstrukci. Seznamuje s konstrukcí závodního dronu, která je řešena netypicky jako modulární. Jednoduchou výměnou ramen s elektromotory a vrtulemi je možné změnit letové vlastnosti dronu a tím i kategorii tohoto hobby sportu. Dále je pro výrobu jednotlivých nosných komponent dronu využita aditivní technologie. Výhodou je v podstatě neomezený tvar jednotlivých dílů, který není třeba přizpůsobovat tradičním výrobním technologiím. Tím bylo možné optimalizovat nejen velikost rámu a ramen dronu, ale i jejich hmotnost.

2 PŘEDSTAVENÍ ZÁVODNÍCH FPV DRONŮ

Závodní drony jsou vlastně podskupinou hobby dronů. Vznikly zejména díky zdokonalení řídicích systémů, pohonů, jednotek přenosu obrazu a dalších inovací. Vzhledem k dosahovaným rychlostem je nutné zajistit okamžité odezvy na řízení a co nejvyšší výkon při nízké váze. Pro závodní drony se obvykle volí konstrukce, kde jsou čtyři motory a vrtule od tří do šesti palců. FPV je zkratka „First person view“, což lze volně přeložit jako „pohled z kabiny pilota“. Znamená to tedy, že kamera umístěná na dronu přenáší v reálném čase obraz na zem a pilot dron řídí podle tohoto obrazu, zobrazovaném buď v brýlích, nebo v jiném zobrazovacím zařízení. [FPVgurucz 2013]

Závodní drony je možné rozdělit do následujících tří kategorií:

- Race,
- Freestyle,
- Long range.

V kategorii Race jde o maximální výkon, rychlost a obratnost. Závodní se létají skrz branky a to až 4 piloti najednou. Jedná se o velmi adrenalinový sport. Kategorie Freestyle je volná disciplína, létá se na libovolných místech a celý let se natáčí na HD kameru. Provádějí se různé „triky“. Dron může být těžší a při letu se využívá i setrvačnosti. Poslední kategorií je Long range. Jak je již z názvu patrné, létá se na dlouhé vzdálenosti a je důležitá celková minimální spotřeba stroje. I vybavení jako je vysílač a přijímač tomu musí být uzpůsobeno.

Je tedy patrné, že se drony pro jednotlivé kategorie liší zejména v rozměru konstrukce, použitých motorech a velikosti vrtulí. V současné době v podstatě není na trhu univerzální dron, který by plně splňoval požadavky alespoň dvou z výše uvedených kategorií.

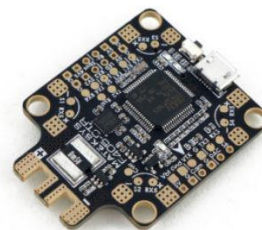
3 POUŽÍVANÉ KOMPONENTY (HARDWARE) DRONŮ

S vývojem a miniaturizací elektroniky se i toto odvětví mění každým dnem. Neustále se zlepšují parametry, např. zvyšují maximální proudy regulátorů při stejné nebo dokonce menší velikosti, vylepšují a zrychlují datové přenosy apod. Tato kapitola seznamuje se základními komponentami, které se při stavbě závodních dronů používají.

3.1 Řídicí jednotka

Jedná se o tzv. mozek dronu. Obsahuje kombinaci mikroprocesoru a senzorů, které neustále vyhodnocují náklon a úhlovou rychlost dronu. Jde o šesti-osý senzor, který obsahuje tři gyroskopy a tři akcelerometry pro každou prostorovou osu jeden. Pomocí firmwaru a řídicího signálu z vysílače je dron řízen popřípadě stabilizován.

Řídicí jednotka může obsahovat i další senzory. Například barometrický senzor, magnetometr, tj. tzv. magnetický kompas apod. Dále je možné k jednotkám připojit externí GPS modul, pomocí kterého může dron sledovat předem určenou trasu nebo při výpadku signálu se vrátit na místo startu atd. [Rotorama 2019]



Obr. 15. Řídicí jednotka [Rotorama 2019]

3.2 Regulátory

Regulátor, tzv. ESC (Electronic Speed Controller), slouží k řízení otáček motoru na základě povelu řídicí jednotky a přeměňuje stejnosměrný proud z baterie na střídavý pro střídavý elektromotor.

Výběr regulátoru se provádí na základě maximálního podporovaného proudu a maximálního vstupního napětí. Každý motor řídí jeden regulátor. V současné době jsou na trhu regulátory tzv. 4 v 1. Na jedné desce jsou tedy čtyři regulátory. Výhodou je nižší hmotnost a rozměry modulu, nevýhodou pak nutná výměna celku při poškození i jen jednoho regulátoru. [Rotorama 2019]



Obr. 16. Regulátor [Rotorama 2019]

3.3 Akumulátory

Závodní drony potřebují maximální výkon a aby toho mohly dosáhnout, potřebují dostatek elektrické energie. V současné době jsou v podstatě jediné vhodné akumulátory typu Li-Pol (Lithium-Polymer), protože dokáží dát dostatečně velké proudy po dostatečně dlouhou dobu.

Přestože akumulátory Li-Pol jsou relativně nebezpečné, kdy při nevhodném zacházení mohou způsobit požár, nejsou momentálně jiné typy akumulátorů schopné podat rovnocenné výkony.

Akumulátory se volí podle několika základních parametrů. Jedná se zejména o kapacitu akumulátoru mAh, čím vyšší, tím lepší, ale se zvyšováním kapacity roste hmotnost akumulátoru. Pro závodní drony se používají akumulátory s kapacitou kolem 1000 - 1800mAh. Další parametr je počet článků. Jeden článek při plném nabití dosahuje napětí 4,2V. Zde se volí podle použitých komponentů (tj. regulátorů a motorů) většinou 4 sériově zapojené články – 4S 16,8V. Další důležitou hodnotou je vybíjecí proud označený číslem a písmenem „C“. Například baterie 1300mAh 95C dosahuje vybíjecího proudu 123,5A ($I=1,3*95=123,5A$). Vybíjecí proud se volí vždy vyšší než je max. odběr dronu. V opačném případě bude akumulátor trpět a dlouho nevydrží. [Rotorama 2019]

3.4 Motory

Pro závodní drony se jednoznačně využívá střídavých elektromotorů s neodymovými magnety. Označují se například 2306, první dvě číselnice uvádějí průměr statoru a další dvě výšku statoru a to v milimetrech. Pro tyto motory obecně platí, že čím větší motor se použije, tím většího výkonu se dosáhne. Faktem ale též zůstává, že větší motor má také větší hmotnost a spotřebu.

Motor se skládá z nepohyblivé části statoru s vinutím a ložisky a pohyblivé části – rotoru, kde jsou umístěny neodymové permanentní magnety a hřídel. Důležitým parametrem motoru je počet otáček na volt. Otáčky na volt se volí podle použité vrtule a stylu létání, pro který má být motor určen. Například na Long range se volí nižší otáčky s větší vrtulí kvůli efektivitě. [Rotorama 2019]



Obr. 17. Motor v rozebraném stavu [Rotorama 2019]

3.5 Vrtule

Významný vliv na letové vlastnosti dronu má použitá vrtule. Vrtule se označuje například 5040, kde první dvě čísla označují průměr vrtule v palcích (50 = 5") a další dvě čísla udávají stoupání listu vrtule. Čím větší vrtule je, tím větší získaný tah, ale na úkor spotřeby. Pro závodní drony se nejčastěji používají 3-listé 5" vrtule a pro long range 2-listé 7". [Rotorama 2019]

3.6 Přenos řídicího a video signálu

Další nutnou součástí závodního dronu je jeho řízení a přenos obrazu. K řízení dronu se využívá vysílače, který pracuje nejčastěji na frekvenci 2,4 GHz nebo 867 MHz. Na dronu je umístěn přijímač, který je zapojen k řídicí jednotce. Přijímač s vysílačem si uzamkne volný kanál, aby nedocházelo k rušení od jiných ovladačů na dané frekvenci.

Přenos videa funguje opačně. Na dronu je umístěn vysílací modul na frekvenci nejčastěji 5,8 GHz (analog) a pilot má brýle nebo monitor s přijímačem, který obraz přijímá a zobrazuje ho v reálném čase s minimální latencí na zařízení. Pokud se sejde více pilotů, je nutné, aby každý využil jiné frekvence. Vzhledem k výkonu video vysílače, který je v České republice omezen na 25mW, je nutné používat velmi kvalitní a přesné antény.

4 NÁVTH MODULÁRNÍ KONSTRUKCE DRONU

V rámci práce byl proveden průzkum trhu za účelem zjištění, jaké konstrukce jsou v současné době dostupné. Protože žádné z již existujících nalezených řešení není ideální, bylo přistoupeno k vlastnímu návrhu konstrukce modulárního FPV dronu.

Bylo navrženo několik hlavních bodů, které by měly být splněny. Jedná se zejména o:

- snížení pořizovací ceny rámu,
- snadná a rychlá výměna ramen v případě deformace
- potenciál rozšíření možností rámu pro různé styly létání.

Výhodou modulární koncepce by tedy mělo být použití jediného centrálního rámu s univerzální elektronikou pro více kategorií závodění. Tím i rapidně klesnou náklady na pořízení při srovnání se stávající nutností poříditi různé drony pro různé kategorie. Vyměňovat se budou pouze ramena s jinými motory a vrtulemi. Tím by se měly snížit i náklady a čas na opravy, neboť pokud dojde k nárazu, což je u tohoto hobby sportu běžná věc, musí se u stávajících konstrukcí měnit, pájet a opravovat mnoho dílů nebo přestavovat celý rám. U nové modulární konstrukce bude oprava spočívat ve výměně poškozené části (modulu) za novou, což by mělo být možné udělat během pár minut i „na poli“.

Ramena s motory jsou u modulární konstrukce spojeny s rámem pomocí šroubů a jednoho silového konektoru pro napájení motoru. Je tedy možné nejen dron rychle opravit, ale i

rychle a snadno přeměnit pro jinou kategorii závodění. Rozdíl je potom pouze v délce ramen a v použití jiných motorů a vrtulí, které díky svým rozdílným parametrům nabízí například větší efektivitu při menším výkonu a díky tomu delší letový čas a naopak. U klasického rámu toto není možné, protože by se sedmi palcové vrtule nevešly na rám určený k závodění, který používá vrtule pěti až šesti palcové. Stejně tak motory by se musely přepájet a rychlá změna by tedy nebyla možná. [Erlebach 2019]

Elektronika, která se dnes používá, umožňuje automatickou kalibraci motorů s regulátory, tím pádem není nutné zdlouhavě upravovat a nastavovat software při změně motorů. Další výhodou je nastavování řídicí jednotky pomocí telefonu buď přes bluetooth modul nebo připojením klasického USB kabelu. Díky tomu je možné cokoliv upravit nebo přeprogramovat během pár minut i venku.

Výměnu ramen a tím změnu kompletních vlastností dronu je možné dosáhnout povolením osmi šroubů M3 (každé rameno je přiděleno dvěma). Přestavba dronu by tedy neměla trvat déle, než cca deset minut.

Z cenového hlediska pak vychází, že místo nutnosti pořízení tří dronů (pro každou kategorii jeden), postačí jeden hlavní modul s elektronikou a potom 3 x 4 ramen s motory a vrtulemi. To při dnešních cenách přinese úsporu cca 12 000,- Kč za další potřebnou elektroniku a kompletní rámy, které by bylo nutné dokoupit.

4.1 Požadavky na navrhovaný modulární rám FPV dronu

Pro úspěšné splnění výše zmíněných bodů bylo rozhodnuto rozdělit rám na dvě části.

Horní část obsahuje veškerou elektroniku, která zahrnuje řídicí jednotku, miniaturní FPV kameru o horizontálním rozlišení 700TVL (television lines) s minimální latencí, vysílač obrazového signálu na frekvenci 5,8GHz včetně antény, přijímač řídicího signálu na frekvenci 867 MHz a čtyř 30A regulátorů pro každý motor zvlášť.

Spodní část se skládá ze čtyř ramen, která budou osazena střídavým motorem s příslušnou vrtulí a tří-pinovým konektorem pro připojení k horní části. Z důvodu vysokých proudů, které musí konektory bezpečně zvládat, byl výběr vhodného typu značně omezen. Vyhovují např. konektory MT30 nebo MR30.



Obr. 18. Konektory MT30 a MR30

Oba typy disponují pozlacenými 2mm kontakty s možností proudové zátěže 30A. Vzhledem k trojúhelníkovému tvaru s výřezem v konektoru pro zamezení špatné orientace byly zvoleny konektory typu MT30.

Motory jsou voleny podle zkušeností a osvědčených kombinací s použitými vrtulemi. Například pro závodní létání (race) je

vhodný motor Rotorama 2204 2700kv. Disponuje vysokými otáčkami na volt, nízkou hmotností a kvalitními neodymovými magnety. Vzhledem k menším rozměrům statoru je určen pro lehčí rámy a 5 palcové vrtule. Pro freestyle byl zvolen motor AOKfly 2306 2400kv. Díky většímu statoru, nabízí větší krouticí moment a větší sílu i pro větší vrtule. Zde budou voleny vrtule 5 palců 3-listé nebo 6 palců 2-listé.

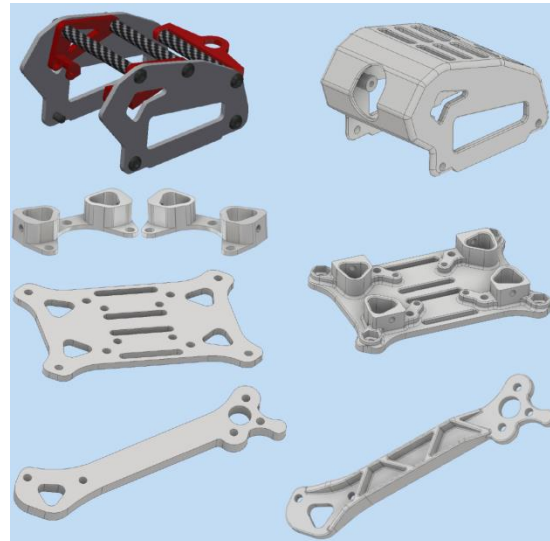
Motory, které se pro FPV drony vyrábějí, mají z 90% stejnou rozteč pro upevnění na rameno dronu. Tato rozteč je 16 mm, pro upevnění motoru k ramenu pomocí šroubů M3. Z tohoto rozměru pak vychází konstrukce ramene modulárního FPV rámu.

FPV kamera byla zvolena RunCam Micro 700TVL a to z důvodu minimálních rozměrů a váhy. Díky rozměrům 19x19mm a váze pouhých 5,9 gramů umožní zmenšení rámu a snížení váhy vyráběných součástí.

Také řídicí jednotky jsou na dnešním trhu převážně unifikované a používají nejčastěji dva rozměry uchycovacích děr – 30,5 a 20 mm. V návrhu rámu byla tato skutečnost zohledněna a rám je připraven pro obě možnosti montáže řídicích jednotek.

4.2 Konstrukce modulárního FPV rámu

Návrh konstrukce rámu byl proveden v několika variantách, lišících se od sebe zejména tvarem dle technologie výroby. První verze byla od počátku návrhu myšlena pro výrobu frézováním z materiálu jako je Sklotextit nebo deskový kompozit s uhlíkovými vlákny (obr. 5 vlevo), druhá varianta je navržena pro kompletní tisk na 3D tiskárně (obr. 5 vpravo).



Obr. 19. Varianty modulárního dronu – pro frézování a 3D tisk

Návrh rámu dronu začal konstrukcí spodního platu modulární části. Zde bylo nutné navrhout umístění montážních děr pro možnost umístění obou typů řídicích jednotek, tj. jak 30,5 mm tak 20 mm, umístit konektory a montážní otvory pro přidělení ramen a také navrhout drážky, kterými bude veden stahovací pásek pro uchycení pohonné baterie.

Dalším krokem bylo navržení držáků pro konektory MT30. Jejich funkcí bude zároveň i držení bočnic. U frézované verze jsou dva kusy těchto držáků frézovány z duralu, u verze určené pro 3D tisk jsou tyto držáky integrovány na spodní plato. Sníží se tím

celkový počet dílů, tím se zjednoduší montáž a sníží i hmotnost rámu.

Konstrukce bočnic závisí na rozměrech řídicí jednotky a další elektroniky, která se má do rámu vejít tak, aby tvořila modulární část. Jedná se o kameru, regulátory, vysílač obrazového signálu a přijímač řídicího signálu. Vše musí být však dimenzováno pro možné jiné typy a tím pádem zde musí být dostatek místa. Stále se musí myslet na váhu rámu, která by měla být co nejnižší.

FPV kamera je umístěna v přední části bočnic a vzhledem k tomu, že dopředný let je konán pod úhlem, je nutné, aby kamera mohla být naklápěna od 0° alespoň po 45°. Je také důležité, aby čočka kamery byla za úrovní bočnice a tím pádem chráněna v případě nárazu. Kamera je umístěna na držáky kamery, které budou v obou verzích rámu tisknuty technologií FLM [Gebhardt 2011] z materiálu TPU (Thermoplastic Polyurethane) o tvrdosti 95A. Jedná se o flexibilní materiál, který zajistí dostatečnou tvrdost a zároveň pohltí vibrace, které mohou způsobovat nepříjemné rozmazání obrazu přenášeného do brýlí.

Ze stejného materiálu je navržen i držák antény, opět z důvodu zabránění vytržení antény při nárazu.

Spojovací materiál a rozpěrky bočnic v případě frézovaného rámu jsou nakupované hotové díly. U 3D tištěné verze se bočnice mohou se všemi částmi, jako jsou rozpěrky, držák kamery a držák antény spojit dohromady. Tím vznikne kompaktní část, která opět výrazně sníží hmotnost a zjednoduší finální montáž.

Poslední a velmi důležitou částí konstrukce jsou výměnná ramena, která se na centrální část budou přidělovat každé pomocí dvou šroubů M3 s přívodem energie k motorům přes již zmiňované konektory MT30. Pro jednoduchost výroby a nahraditelnost při případné deformaci jednotlivých ramen budou u frézované verze všechna čtyři ramena stejná. Uspadní to výrobu a zlevní případné náhradní díly. Součástí konstrukce ramene je výstupek materiálu, který je orientován ve směru letu. Je to v podstatě nárazník, jehož úkolem je alespoň částečně chránit samotný motor před nárazem. To znamená, že rameno přijde do styku s překážkou dříve než vlastní motor.

Při prvních zkouškách se ale ukázalo, že tištěné rameno stejného tvaru, jako frézované, je příliš poddajné. Proto bylo doplněno žebrovaní, jehož cílem je zvýšit celkovou tuhost ramene, viz obr. 5 vpravo dole. Bohužel daní za tuto úpravu je nutnost použití dvou párů ramen, jejichž tvar je zrcadlově převrácený. Tím se částečně přišlo o výhodu univerzálnosti a při montáži ramen na centrální část je nutno na toto brát zřetel.

Pro 3D tisk jednotlivých částí rámu s výjimkou držáku kamery a antény byla použita relativně nová technologie HP Multi Jet Fusion [Materialise 2018], která zaručuje velmi kvalitní a pevnostně vyhovující výtisky z polyamidu PA12. Vzhledem k výrobě a testování obou variant rámu dronu bylo možné provést i srovnání vlastností obou konstrukcí.

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout a zhotovit modulární rám FPV dronu. Díky návrhu unikátní modulární konstrukce postačí pouze jeden základní modul s elektronikou, u kterého lze pouhou výměnou ramen změnit chování, výdrž nebo obratnost dronu. Díky tomu dochází ke značné úspoře nákladů na pořízení dronu a lze ho použít pro jakoukoli kategorii tohoto sportu.

Nakonec je uvedeno zhodnocení a porovnání 3D tisku proti frézování ze Sklotextitu G10. V této práci se ukázalo, že 3D tiskem prozatím nelze nahradit veškeré díly modulárního FPV rámu. Ramena z tištěného materiálu PA12 jsou sice velmi pevná, ale i při doplnění žebrovaní se tuhosti deskového Sklotextitu G10 nevyrovňají. Při maximálním tahu motorů (kolem 700 až 1000g) dochází k nadměrnému ohýbání polyamidových ramen a hrozí tak nebezpečí kolize vrtule s centrální částí rámu. Ostatní tisknuté části rámu jsou však plně vyhovující a jsou mnohem lehčí, což je velká výhoda. Pro srovnání, kompletně osazená centrální část rámu dronu bez akumulátoru vyrobená frézováním váží 336g, osazená vytištěná centrální část rámu potom jen 212g.



Obr. 20. Finální verze obou variant dronů [Erlebach 2019]

Technologie HP Multi Jet Fusion dokáže zajistit dostatečnou pevnost a umožňuje následně řezat závity i rozměru M3 do vytištěného dílu. Tyto závity jsou velmi kvalitní a pro danou funkci plně dostatečné. Nejlepší variantou je ale kombinace Sklotextitu G10 pro ramena a 3D tisku technologií HP Multi Jet Fusion pro spodní plato a centrální rám. Dosáhne se tak dostatečné pevnosti a snížení váhy u dalších součástí.

Dále je vhodné porovnat ceny výroby rámu za pomoci 3D tisku a frézování. Jeden kompletní 3D tištěný modulární FPV rám z materiálu Polyamid PA12 technologií HP Multi Jet Fusion vychází na cca 1450,-Kč.

Stanovit celkové náklady na výrobu frézováním je však relativně složité. Výroba probíhala na CNC stroji, byl však od každého dílu s výjimkou ramen vyroben pouze jeden či dva kusy. Náklady na použitý materiál pro frézování Sklotextitu G10 a duralu AW 6082 potřebného pro 1 kus modulárního FPV rámu byla cca 280,-Kč. Pokud se však neplánuje sériová výroba, náklady na programování, seřízení a přípravu CNC stroje výrazně přesáhnou částku potřebnou na výrobu pomocí aditivní technologie.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen na Technické univerzitě v Liberci v rámci projektu (21278) - „Optimalizace v oblasti výrobních systémů, 3D technologií a automatizace“ s podporou Specifického vysokoškolského výzkumu, poskytovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019.



LITERATURA

[Erlebach 2019] Erlebach, J. Konstrukce modulárního závodního dronu. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. Vedoucí práce Ing. Petr Keller, Ph.D.

[FPVgurucz 2013] FPVgurucz. Co je a není FPV. FPV Guru, 2019 [online]. 2013/2019 [cit. 2019/11/04]. Dostupné z <<http://www.fpvguru.cz/co-je-a-neni-fpv.html>>

[Gebhardt 2011] Gebhardt, A. Understanding Additive Manufacturing: Rapid Prototyping – Rapid Tooling - Rapid Manufacturing. Munich: Hanser, 2011. ISBN 978-3-446-42552-1

[Materialise 2018] Materialise. Multi Jet Fusion | MJF | 3D Printing at Materialise. Materialise HQ, 2018, Belgie [online]. 2018 [cit. 2018/10/16]. Dostupné z

<<https://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/multi-jet-fusion>>.

[Rotorama 2019] Rotorama. Rotorama - Závodní drony. Rotorama s.r.o., 2019, Praha [online]. 2016/2019 [cit. 2019/11/06]. Dostupné z <<https://www.rotorama.cz>>.

LABVIEW SOFTWARE PRO EXPERIMENTÁLNÍ URČENÍ FREKVENČNÍHO SPEKTRA DÍLŮ NEBO SOUSTAV DÍLŮ.

Radek Votrubec, Lenka Šmrhová

Technická Univerzita v Liberci

Katedra výrobních systémů a automatizace

e-mail: radek.votrubec@tul.cz

Článek popisuje software vytvořený v prostředí NI LabView k experimentálnímu určení frekvenčního spektra – vlastních frekvencí dílů a soustav dílů. První částí je stručné představení grafického programovacího jazyka G a prostředí NI LabView, teoretické fyzikální základy z oblasti vlastních frekvencí, Fourierovy transformace časového průběhu vstupu a odezvy na frekvenční průběh, s tím související koherence signálů a frekvenční charakteristiky. Součástí je rovněž popis použitého hardwaru a způsobu získávání dat. Druhá část práce se zabývá popisem praktického úkolu – vytvoření softwaru včetně uživatelského rozhraní. Popsány jsou jednotlivé části softwaru: získávání dat, jejich analýza, ukládání dat na lokální disk, ukládání dat do firemní databáze a tvorba grafického vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

NI LabView, experimentální modální analýza, vlastní frekvence, Fourierova transformace

1 ÚVOD

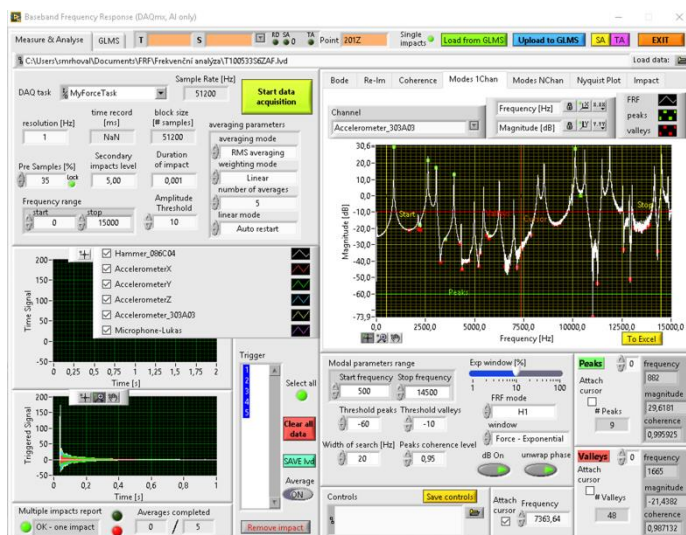
Cílem práce je vytvoření softwaru pro experimentální určení frekvenčního spektra dílů. Téma bylo zadáno firmou ZF TRW Automotive s.r.o. Software obsahuje kompletní uživatelské rozhraní s řadou nastavení pro sběr i analýzu dat. Součástí je rovněž možnost ukládání dat, a to jak na lokální disk počítače, tak přímo do firemní databáze GLMS.

V začátku práce je nutné se seznámit s problematikou měření frekvencí z fyzikálního hlediska. Základem je převod časového průběhu vstupu a odezvy na frekvenční průběh pomocí Fourierovy transformace. Dále budou v teoretické části popsány například vztahy mezi vzorkovací frekvencí, rozlišením a počtem naměřených vzorků, tedy délkou trvání sběru dat.

V neposlední řadě je rovněž třeba zvolit vhodný hardware pro konkrétní účely firmy. Součástí použitého hardwaru je DAQ a modul pro měření analogového signálu, modální kladívko s akcelerometrem a snímač pro zaznamenání odezvy dílu nebo soustavy dílů. Odezva může být zaznamenána například jednoosým nebo tříosým akcelerometrem, nebo směrovým mikrofonom.

2 HARDWARE

Experimentální měření frekvenčního spektra se provádí pomocí modálního kladívka, kterým se vybudí odezva systému. Pro kompletní určení spektra a jeho vlastností je potřeba zaznamenat jak vstupní budící signál, tak výstup.



Obrázek 21. Uživatelské rozhraní softwaru



Obrázek 2. Modální kladívko

Modální kladívko (na obrázku 2) od výrobce snímačů PCB Piezotronics model 086C04. Rezonanční frekvence kladívka je 22 kHz a rozsah ± 4448 N, snímač musí být napájen proudem 2 až 20mA. Konektor kladívka je umístěn ve spodní části rukojeti a je typu BNC.

• Jednoosý akcelerometr (na obrázku 3) PCB 303A03 s rezonanční frekvencí 70 kHz při připevnění šroubem (při lepení voskem bude rezonanční frekvence nižší), snímač musí být napájen proudem 2 až 20mA. Konektor na snímači je 5-44 micro coaxial.

• Mikrofon (na obrázku 4) od výrobce ROGA Instruments model MI17 s maximální hladinou akustického tlaku 130 dB, napájen proudem 2 až 6mA. Mikrofon má konektor BNC.



Obrázek 3. Akcelerometr



Obrázek 4. Mikrofon

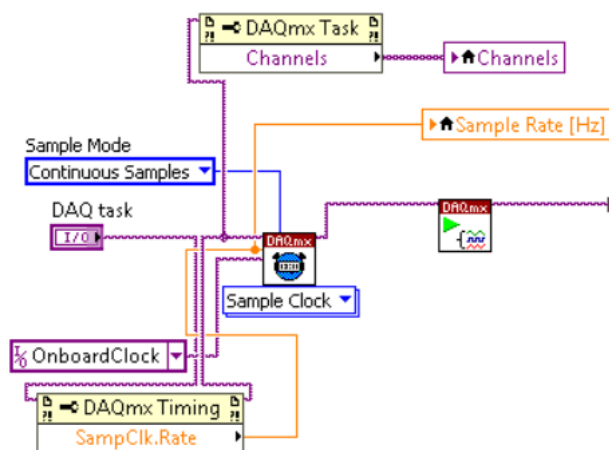
3 SBĚR DAT

Ke konfiguraci sběru dat je od firmy National Instruments vytvořen software Measurement & Automation Explorer, zkráceně NI MAX. Software automaticky rozpozná, je-li k počítači připojen hardware pro sběr dat od výrobce NI, rozpozná typ zařízení, sériové číslo a například slot šasi, ve kterém je vložen modul.

Software umožňuje pracovat přímo s fyzickými kanály zařízení, ale také nabízí flexibilnější řešení, a to vytvoření virtuálních kanálů. Při vytváření virtuálního kanálu uživatel volí, zda bude kanál vstupní (sběr dat) nebo výstupní (generování signálu), analogový, digitální, nebo bude plnit funkci čítače. Dále je třeba zvolit, jaká veličina bude na kanále měřena (např. napětí, zrychlení, akustický tlak,...). Pro měření zrychlení je možné zvolit i typ snímače IEPE.

Po vytvoření virtuálního kanálu následuje konfigurace konkrétního snímače. V závislosti na typu snímače jsou nastavovány hodnoty jako rozsah vstupního signálu, citlivost snímače, hodnota napájecího proudu, atd. Na obrázku 5 je ukázka konfigurace použitého akcelerometru PCB 303A03. Potřebné hodnoty jsou uvedeny v datasheetu, citlivost snímače by měla být stanovena pro konkrétní kus na základě kalibrace snímače před předáním zákazníkovi.

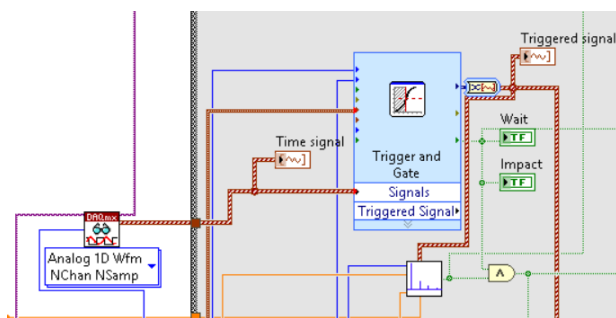
Sběr dat ve vytvořeném softwaru v LabView je realizován pomocí MAX. Uživatel nejprve vybere měřicí task z nabídky všech existujících tasků – z MAX jsou vyčteny informace o obsažených kanálech a vzorkovací frekvenci. Následně je spuštěn vybraný task a začíná sběr dat – od snímače přes modul do cDAQ a USB portu počítače.



Obrázek 5. Blokové schéma sběru dat

Po spuštění tasku následuje blok DAQmx Read, ze kterého již vystupují naměřené signály. V tuto chvíli měříme kontinuální časová data z připojených snímačů. K vyhodnocení frekvenčního spektra je ale potřeba zaznamenat a uložit pouze úsek s úderem a odezvou. K tomu slouží blok Trigger and Gate. Blok je z řady Express Vis, která jsou speciálně připravená včetně dialogového okna umožňujícího jejich konfiguraci vždy pro daný účel, takže je jejich použití velice snadné, nevýhodou ale je to, že nejsou transparentní, nelze tedy přesně zjistit, jak bloky pracují.

Po zaznamenání úseku dat je kontrolováno, zda byl úder kladívkem proveden správně. Jelikož je doba trvání úderu velmi krátká (tisíce vteřiny), není vždy možné zaznamenat sluchem, zda po odrazu hrotu kladívka nedošlo k dalšímu kontaktu kladívka s měřeným vzorkem. Proto software kontroluje, aby po uplynutí 0,001 sekundy od úderu již v signálu nebyla překročena hodnota 5 m/s² (hodnoty může uživatel změnit).



Obrázek 6. Blokové schéma triggerování dat

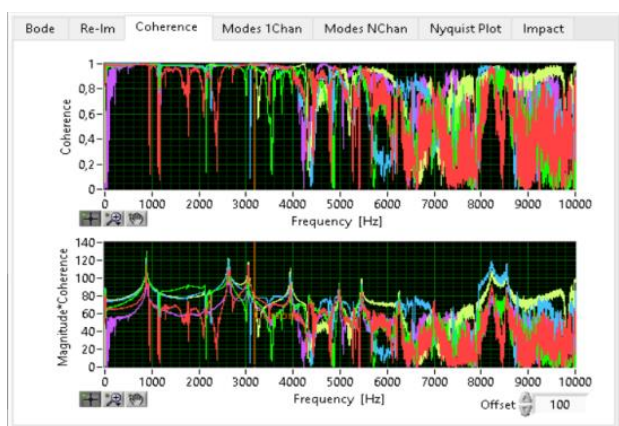
Je-li zaznamenaný úder v pořádku, data jsou přivedena do Clusteru, kde je jim přiřazena informace o měřeném vzorku – identifikace vzorků je prováděna v databázi GLMS, kde je každému vzorku přidělen unikátní kód a každé sadě měřených vzorků číslo daného měření; a označení bodu, ve kterém bylo měření provedeno – umístění akcelerometru a bod pro úder kladívkem (vychází z firemní specifikace měření frekvencí).

4 VYHODNOCENÍ

V pravé horní části uživatelského rozhraní (na obrázku 1) se nacházejí na jednotlivých záložkách grafy s vyhodnocením dat. Defaultně je vybrán graf Modes 1Chan, který zobrazuje průběh frekvenčního spektra pro jeden kanál. Zobrazovaný kanál se vybírá v menu Channel, kde jsou automaticky vypsané všechny měřené kanály. U grafu je žluté tlačítko To Excel, které exportuje veškerý obsah grafu do MS Excel – hodnoty X a Y pro vykreslení průběhu a frekvence a amplitudy nalezených vrchů a důlů.

Dalším grafem je Bodeho diagram, který zobrazuje dvě složky – spektrum a fázi. Graf zobrazuje průběhy pro všechny kanály, ale pomocí legendy u grafu s časovým průběhem lze kanály skrýt nebo zobrazit. Legenda také popisuje barevné rozlišení kanálů. Při analýze dat je dále vyhodnocena reálná a imaginární složka frekvenčního spektra a z nich vycházející Nyquistův diagram.

Další vyhodnocenou veličinou je koherence měření. V záložce Coherence jsou dva grafy, první pouze s průběhem koherence, druhý zobrazuje frekvenční spektrum násobené hodnotou koherence. Jelikož koherence udává vlastně kvalitu měření, měla by v oblastech, kde se nacházejí vlastní frekvence, mít hodnotu co nejbližší k 1. Blíží-li se hodnota k 0, měření nelze považovat za směrodatné. Při přenásobení frekvenčního spektra koherencí jsou pak hodnoty s nízkou koherencí potlačeny. Navíc je u grafu pole pro vyplnění hodnoty Offset, jelikož amplituda frekvenčního spektra může jít do záporných hodnot, je vhodné celý průběh posunout nad osu x.



Obrázek 7. Graf koherence

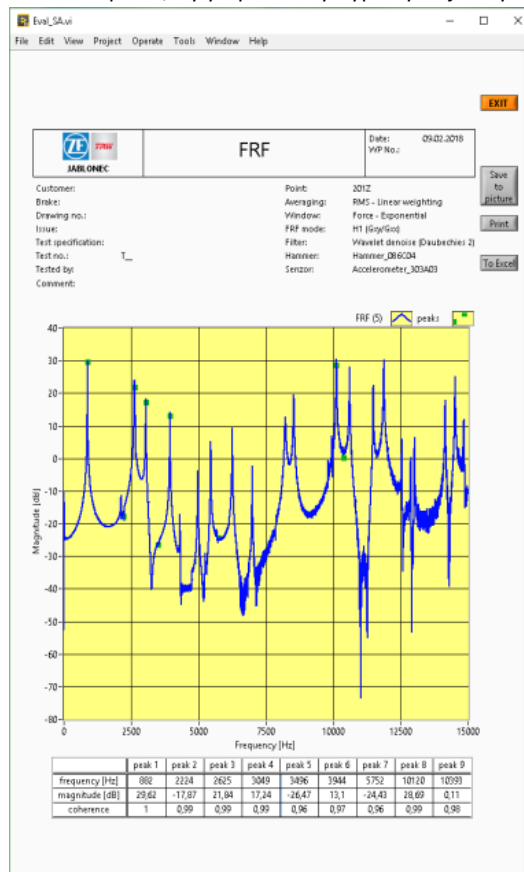
Posledním grafem ve vyhodnocení je frekvenční charakteristika úderu v záložce Impact. Ideálně by měla frekvenční charakteristika být přes celou frekvenční oblast co nejvíce konstantní, snížení amplitudy způsobuje šum ve výsledném frekvenčním spektru. Tento výsledek velmi záleží na hodnotě Pre Samples a počtu průměrovaných měření.

Software umožňuje vytvoření obrázku a .csv dokumentu s vyhodnocením buď pro jeden vzorek, nebo pro soubor vzorků v jednom měření. V případě že je měření definováno v databázi firmy, je možné uložit vyhodnocení přímo do databáze, jinak lze uložit na lokální disk. Další možností je obrázek vytisknout přímo z okna s vyhodnocením, a to na tiskárně, která je na počítači nastavena jako výchozí. Formát vyhodnocení vychází ze standardů firmy

Obrázek 8. Vyhodnocení

5 MSA A EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Na výsledky měření získané pomocí softwaru, který je předmětem práce, byly aplikovány výpočty nejistoty měření a



robustnosti softwaru dle MSA. Výpočet provedl externí odborník na daný obor, software mu byl představen a předveden a poté mu byly poskytnuty výsledky na základě jeho požadavků – dvě série dat.

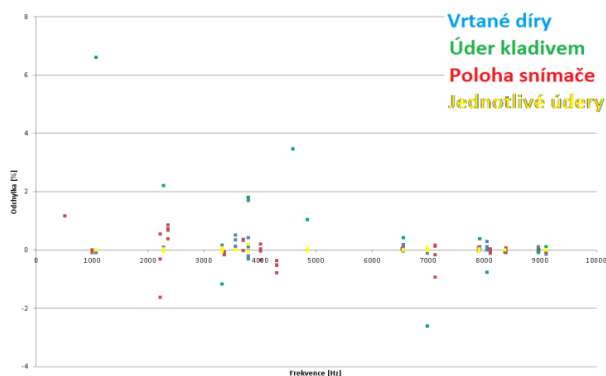
První série dat byla měřena na jediném vzorku, dvěma lidmi a vyhodnocovány byly jednotlivé úderu. Měření bylo provedeno s akcelerometrem i mikrofonem.

Druhá série dat pocházela z měření pěti dílů, dvěma lidmi s akcelerometrem i mikrofonem. Vyhodnocovány byly průměry pěti úderů u každého měření.

Po dokončení softwaru před jeho zavedením do provozu byla provedena řada měření na určení vlivů okolí. Příklady provedených měření:

- úderu provedené různými lidmi bez demontáže akcelerometru
- montáž akcelerometru provedena různými lidmi a úderu jednou osobou
- akcelerometr připevněn tenkou nebo tlustou vrstvou vosku
- umístění akcelerometru záměrně s odchylkou cca 1cm do různých směrů
- umístění akcelerometru záměrně nesousose
- umístění mikrofonu do vzdálenosti cca 5cm a pod úhlem
- zvýšený hluk (hlasitý hovor) okolí při měření mikrofonem

Další série pokusů se týkala destrukce vzorku. Jednalo se o brzdový třmen, který byl nejprve změřen v původním stavu, poté do něj byla vyvrtána díra o průměru 1mm a následně zvětšován její průměr v šesti krocích až na hodnotu 10mm. Dalším krokem destrukce byla silná rána kladivem do válce brzdového třmenu, takže byla deformace viditelná.



Obrázek 9. Srovnání pokusných měření včetně destrukčních zásahů do vzorku

6 ZÁVĚR

Na základě požadavku firmy ZF TRW Automotive s.r.o. byl vytvořen software na experimentální určení vlastních frekvencí dílů. Software byl vytvořen v prostředí NI LabView včetně uživatelského rozhraní. Pro měření byl navržen vhodný hardware – modální kladívko, akcelerometr a mikrofon a měřicí karta včetně modulu pro sběr dat.

Jedním z požadavků bylo propojení softwaru s firemní databází GLMS tak, aby naměřené výsledky bylo možné ukládat přímo na určené místo na serveru. Tento požadavek byl splněn, navíc je možné automaticky vytvořit vyhodnocení a rovněž jej uložit do příslušného adresáře v databázi.

Sérií měření a jejich analýzou odborníkem na MSA bylo prokázáno, že software pracuje správně, je robustní a odchylka měření je v rámci stanoveného limitu 3%. Z měření také vyplynulo doporučení, aby měření s mikrofonem bylo prováděno pouze v prostředí, kde je nízká hladina hluku.

Software je ve firmě již používán, v začátcích jeho provozu bylo od zaměstnanců, kteří se softwarem pracují, podáno několik návrhů na zlepšení, převážně se jednalo o návrhy, které usnadní práci se softwarem. Všechny návrhy byly úspěšně realizovány.

7 PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen na Technické univerzitě jako součást projektu (21278) – „Optimalizace výrobních systémů, 3D technologií a automatizace“ podpořeného specifickým vysokoškolským výzkumem v rámci studentské grantové soutěže vyhlášené Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2019.

8 LITERATURA

[Balátě 2003] [3] BALÁTĚ, Jaroslav. Automatické řízení. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 663 s. ISBN 978-80-247-4116-1.

[Gayakwad 1988] Gayakwad, R., Sokoloff, L, Analog and Digital Control Systems, Prentice Hall, GB, 1988, ISBN 978-01-303-3028-4

[LabVIEW 2004] LabVIEW Sound and Vibration Toolkit User Manual; April 2004 Edition. Part Number 322194C-01

[Olehla 2013] MIROSLAV OLEHLA, Slavomír Němeček. Automatické řízení. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. ISBN 978-807-3729-721.

[NI 2018]] Portál na podporu k produktům National Instruments; <http://www.ni.com/en-us/support.html>

Název: Proceedings of 11th Annual International Scientific Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2019
Autor: kolektiv autorů
Vydavatel: Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, Liberec 1
Schváleno: čj.RE 56/19, schváleno rektorátem TUL dne 5.11.2019
Vyšlo: listopad 2019
Počet stran: 106
Vydání: první
Číslo publikace: 55-056-19

Všechny příspěvky byly recenzovány programovým a vědeckým výborem.
Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.
Za obsah příspěvků jsou zodpovědní autoři.

All articles were reviewed in the proceedings of the workshop scientific committee.
The articles have not undergone editorial, graphic or language treatment.
For the content of articles are responsible their authors.

ISBN 978-80-7494-506-9

