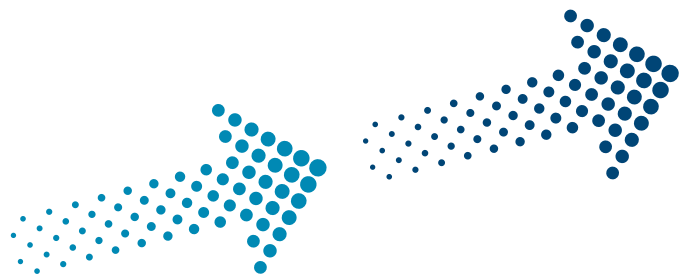


Roman BOBÁK
Felicita CHROMJAKOVÁ
David TUČEK

PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ V ÉŘE DIGITALIZACE - VÝZKUM A VÝVOJ -

**VÝSLEDKY VÝZKUMU
FAKULTY MANAGEMENTU A EKONOMIKY UTB VE ZLÍNĚ
V OBLASTI PRŮMYSLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ**



Vědecká monografie edice Ekonomie UTB ve Zlíně

**Průmyslové inženýrství v éře digitalizace – výzkum
a vývoj (Výsledky výzkumů Fakulty managementu
a ekonomiky UTB ve Zlíně v oblasti průmyslového
inženýrství)**

**Industrial engineering in the era of digitalization - research and
development**

**(Results of research by the Faculty of Management and
Economics of TBU in Zlín in the field of industrial engineering)**

Autoři: Roman Bobák, Felicita Chromjaková, David Tuček

Zlín, září 2025

KATALOGIZACE V KNIZE - NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Bobák, Roman, 1947-

Průmyslové inženýrství v éře digitalizace - výzkum a vývoj (výsledky výzkumů Fakulty managementu a ekonomiky UTB ve Zlíně v oblasti průmyslového inženýrství) = Industrial engineering in the era of digitalization - research and development (results of research by the Faculty of Management and Economics of TBU in Zlín in the field of industrial engineering) : vědecká monografie edice Ekonomie UTB ve Zlíně / autoři: Roman Bobák, Felicita Chromjaková, David Tuček. -- Pořadí vydání: první, vydáno elektronicky. -- Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2025. -- 1 online zdroj. -- (Ekonomie)

České a anglické resumé

Nad názvem: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta managementu a ekonomiky. -- Obsahuje bibliografii a rejstřík

ISBN 978-80-7678-356-0 (online ; pdf)

* 658.5:005.12 * 658:[004:316.422] * 001.89 * (437.3) * (048.8:082) * (0.034.2:08)

- průmyslové inženýrství
- digitální transformace
- výzkum a vývoj -- Česko
- kolektivní monografie
- elektronické knihy

658 - Řízení a správa podniku [4]

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici Ekonomie

Publikace byla vydána v roce 2025 s podporou projektu RO/2024/002

Modelování procesních parametrů pro digitálně řízenou výrobu a prediktivní plánování a řízení výroby

Vědecký redaktor: Prof. Ing. Boris Popesko, Ph.D.

Recenzenti: Prof. Ing. Miloš Čambal, CSc.

Doc. Ing. Jan Horejc, Ph.D.

Práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

Vydáno elektronicky.

ISBN 978-80-7678-356-0

© Roman Bobák, Felicita Chromjaková, David Tuček

Klíčová slova: *průmyslové inženýrství, digitalizace, výzkum a vývoj, Fakulta managementu a ekonomiky UTB ve Zlíně, Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů*

Key words: Industrial engineering, digitalization, research and development, Faculty of management and economics of TBU in Zlin, Department of Industrial Engineering and Information Systems

ABSTRAKT

Vědeckým cílem práce je zrekapitulovat vývoj výzkumů Ústavu průmyslového inženýrství a informačních systémů (dále jen MUPI) v oblastech souvisejících s průmyslovým inženýrstvím (aplikace metod PI v českých a slovenských podnicích, výrobní a logistická výkonnost, inovace, kolaborativní plánování výroby, ergonomie, digitalizace a Industry 4.0) a konfrontovat je se současným stavem poznání ve vědeckých člancích indexovaných v databázi WoS.

Průmyslové inženýrství chápeme jako oblast personálního, technologického a technického řešení problémů ve výrobních i nevýrobních společnostech. Bude zdůrazněna orientace na kontinuální propojení tradičních – lean – smart metod řešení procesních úkolů zaměřených na optimalizaci a flexibilitu výrobních řetězců. Důraz bude kladen na oblast produkčního a procesního inženýrství, využívající ukazatele a metriky datové analýzy pro nastavování algoritmů inženýrských řešení. Propojení s globálními výzvami v oblasti průmyslového inženýrství je důležité pro nastavení procesních standardů transformace průmyslových firem směrem k implementaci digitálních a umělou inteligencí podporovaných výrobních procesních postupů. Elektronická verze monografie bude využitelná pro výuku studentů DSP Průmyslové inženýrství.

SUMMARY

The scientific objective of the work is to recapitulate the development of research at the Institute of Industrial Engineering and Information Systems (hereinafter referred to as MUPI) in areas related to industrial engineering (application of PI methods in Czech and Slovak companies, production and logistics performance, innovation, collaborative production planning, ergonomics, digitalization and Industry 4.0) and to confront them with the current state of knowledge in scientific articles indexed in the WoS database.

We understand industrial engineering as an area of personnel, technological and technical problem solving in manufacturing and non-manufacturing companies. The orientation towards the continuous connection of traditional - lean - smart methods of solving process tasks focused on the optimization and flexibility of production chains will be emphasized. Emphasis will be placed on the area of production and process engineering, using indicators and metrics of data analysis for setting algorithms of engineering solutions. Connecting with global challenges in the field of industrial engineering is important for setting process standards for the transformation of industrial companies towards the implementation of digital and artificial intelligence-supported manufacturing process procedures. The electronic version of the monograph will be used for teaching students of the DSP Industrial Engineering.

OBSAH

ABSTRAKT.....	4
SUMMARY	4
1 ÚVOD	7
1.1 HISTORIE PRŮMYSLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ NA FAKULTĚ MANAGEMENTU A EKONOMIKY UTB VE ZLÍNĚ	7
1.2 VÝZKUMNÉ A ROZVOJOVÉ PROJEKTY, NA NICHŽ SE PRACOVNÍCI ÚSTAVU PODÍLELI.....	12
1.2.1 Externí projekty	12
1.2.2 Interní projekty	14
1.3 SHRUTÍ KLÍČOVÉHO VÝZKUMNÉHO ZAMĚŘENÍ ÚSTAVU JAKO VÝCHODISKO PRO ZPRACOVÁNÍ REŠERŠE	17
2 REŠERŠE K PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY – PREDIKTIVNÍ ANALÝZA A ROZVRHOVÁNÍ.....	22
2.1 PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY.....	22
2.1.1 Agregované integrované plánování, procesní pojetí, logistika, kolaborativní plánování, lidský faktor	23
2.1.2 Výkonnost, náklady, zákaznické zaměření, řízení zakázek, přidaná hodnota, VSM	34
2.1.3 Udržitelnost	40
2.1.4 Inteligentní výroba, Lean, Průmysl 4.0	47
2.1.5 Digitalizace, optimalizace, predikce, simulace, strojové učení.....	54
2.2 ROZVRHOVÁNÍ VÝROBY	62
2.2.1 Kapacitní plánování a rozvrhování výroby, řazení zakázek, dispečink, interní logistika 62	
2.2.2 Plánování a rozvrhování specifických výrob, modulární buňkové výrobní systémy, montážní buňky, aditivní výroba.....	63
2.2.3 Výkonnost, náklady.....	70
2.2.4 Udržitelnost, spotřeba energií, údržba, poruchy, zmetkovitost, repase, reverzní logistika 71	
2.2.5 Metody plánování a rozvrhování, lineární programování, heuristika, Markovovy řetězce, neuronové sítě, genetické algoritmy, simulace, strojové učení.....	72
2.3 PREDIKTIVNÍ ANALÝZA A SIMULACE	73
2.3.1 Prediktivní plánování a řízení výroby v reálném čase, synchronizace výrobních a logistických operací, uvolňování objednávek	73
2.3.2 Udržitelnost, účinnost zdrojů, úspora energií, poruchy, opravy	82
2.3.3 Industry 4.0 , Robotizace, Digital Factory	88
2.3.4 Digitalizace, Big Data, cloud computing, strojové učení, simulace, digitální dvojčata	89
3 Vybrané výsledky výstupů pracovníků ústavu.....	92
3.1 Plánování a řízení výroby, logistická podpora podnikových procesů, uplatnění metod průmyslového a procesního inženýrství u českých a slovenských průmyslových výrobců.....	93

3.2	Kapacitní plánování a rozvrhování výroby.....	106
3.3	Industry 4.0, digitalizace, robotizace.....	110
4	Shrnutí, komparace výsledků výzkumů ústavu se současným stavem poznání	118
6	REFERENCE	123
6.1	Zdroje z rešerše.....	123
6.2	Výstupy pracovníků ústavu průmyslového inženýrství a informačních systémů.....	140
	Seznam tabulek.....	147
	Seznam obrázků.....	148
	REJSTRÍK.....	149
	SEZNAM ZKRATEK.....	152

1 ÚVOD

1.1 HISTORIE PRŮMYSLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ NA FAKULTĚ MANAGEMENTU A EKONOMIKY UTB VE ZLÍNĚ

Historie Ústavu průmyslového inženýrství a informačních systémů a s ním souvisejících realizovaných studijních programů a vědecko-výzkumné činnosti začala již v raném období po vzniku samostatné fakulty v roce 1995 ještě na Vysokém učení technickém v Brně.

Již v roce 1996 se uskutečnila schůzka emeritního děkana FaME Aloise Glogara se zástupci Barum Continental, Pavlem Pravcem a IPI Liberec, Milanem Vytlačilem a Ivanem Mašinem k možnostem spolupráce v oblasti průmyslového inženýrství (PI). V březnu 1996 se uskutečnil odborný seminář pro studenty a akademické pracovníky k aplikacím metod PI ve společnosti Barum – Continental a začala intenzivní příprava I. Národního fóra o produktivitě, které se v aule Academia Centra UTB uskutečnilo v říjnu téhož roku.

V krátkém sledu následovaly další čtyři ročníky této konference, která se stala významnou platformou pro setkávání akademiků českých a slovenských vysokých škol a odborníků z podniků, kteří se o problematiku PI a produktivitu zajímali. Velkým magnetem byla osobní účast Tomáše Bati jr. a vystoupení významných zahraničních odborníků z Kanady, Japonska a SRN.

Do výuky v magisterském stupni studia programu Ekonomika a management byl zařazen předmět Průmyslové inženýrství a byly zahájeny přípravy na výuku specializace PI, která byla otevřena v akademickém roce 1999/2000. Její první absolventi získali titul Ing. V roce 2021 již na nově zřízené Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. V témže roce se v září v rámci organizačních změn konstituoval na fakultě samostatný Ústav výrobního managementu – průmyslového inženýrství s pracovníky Františkem Trnkou, Romanem Bubákem, Petrem Brišem, Jaromírem Černým, Ivanem Mašinem, Milanem Vytlačilem a Dobroslavem Němcem.

Prvních pět let samostatného ústavu bylo poměrně hektických a spojených s přípravou nových předmětů, studijních materiálů pro studenty a také s výzkumem v rámci dílčího úkolu výzkumného záměru „Konkurenceschopnost českých průmyslových výrobců“, který fakulta získala a který byl v rané fázi svého řešení. Tuto dobu se podařilo zvládnout zejména díky významné podpoře tehdejšího děkana FaME Františka Trnky, který stal u zrodu samotné specializace PI a pomohl s navázáním kontaktů na kolegy působící na VUT v Brně, VŠB-TU Ostrava, ZČU Plzeň, Žilinské univerzitě, TU ve Zvoleně, STU v Bratislavě a TU

Košicích, se kterými ustav potažmo jeho členové od té doby intenzivně spolupracovali. Za završení této etapy lze považovat workshop „Vysokoškolské a CŽV profesní vzdělávání v oborech PI – Setkání kateder PI českých a slovenských VŠ“ uspořádaný v listopadu roku 2001.

Období následujících 10 let vývoje ústavu bylo charakteristické rozvojem zejména kvalifikační struktury pracovníků včetně výchovy vlastních absolventů doktorského studijního programu Ekonomika a management, specializace Řízení a organizace výroby. V roce 2002 se podařilo v rámci reakreditace navazujícího magisterského studijního programu Ekonomika a Management akreditovat Průmyslové inženýrství jako samostatný studijní obor. V rámci rozvojového projektu MŠMT byl připraven pro akreditaci v rámci bakalářského studijního programu Ekonomika a management obor Management výroby – PI, který byl od roku 2008 akreditován v modifikované úpravě jako samostatný bakalářský studijní program Systémové inženýrství a informatika obor Řízení výroby a kvality.

S převodem problematiky informačních systémů podniku na ústav vzniklo Centrum pro výzkum informačních systémů jako odborná sekce České společnosti pro systémovou integraci, jejímž kolektivním členem se ústav stal. Od roku 2004 se na půdě fakulty uskutečnilo pod jeho patronací do roku 2009 šest ročníků odborné konference „Svět informačních systémů“, významné platformy pro setkávání odborníků z řad akademiků i praktiků, věnujících se problematice podnikových informačních systémů. V tomto období byly díky podpoře rozvojových projektů MŠMT a Fondu rozvoje VŠ vybudovány základy hardwarové a softwarové infrastruktury v učebnách 505 a 509 s využitím akademických licencí ERP Microsoft Dynamics Navision pro podnikové informační systémy, Witness pro potřeby počítačové simulace a také ARIS Business Modeling Platform a Delmia pro průmyslové a procesní inženýrství.

V rámci tvorby studijních opor pro předměty bakalářského a navazujícího magisterského studijního oboru došlo k výraznému nárůstu využití e-learningu v LMS EDEN a později Moodle, které byly nutné pro distanční formy výuky v kombinované, ale i prezenční formě studia s využitím podpory fakultních projektů Evropského sociálního fondu (ESF).

Tvůrčí činnost byla v tomto období orientována na dokončení dílčího úkolu řešeného v rámci výzkumného záměru fakulty, na spoluúcast na řešení fakultních projektů Grantové agentury České republiky (dále GAČR) a přípravu žádosti projektů podaných ve výzvě Operačního programu Výzkum vývoj pro inovace (OPVVI).

V souvislosti s rozvojem organizační struktury fakulty a rozšířením profilu ústavu došlo k jeho přejmenování na Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů.

V letech 2010–2019 stal ústav již na pevných základech, období jeho mladosti skončilo a nastoupilo období „reálného života“. V pedagogické oblasti kolektiv pracovníků posílil o významně osobnosti z průmyslové praxe a další absolventy doktorského studijního programu, nastoupila éra velmi těsné spolupráce s průmyslovými firmami. Cílem snažení všech bylo žít aktivně v konceptu Lean jako stěžejním systému fungování průmyslových firem této doby. Získané vědecké projekty a inovační vouchery, na kterých spolupracovali členové ústavu s představiteli průmyslových firem otevřely řadu možností pro zvyšování úrovně poznání jak pracovníků ústavu, tak studentů. Velice intenzivně probíhala také spolupráce s ještě žijícími absolventy Baťovy školy práce, kteří svými zkušenostmi obohacovali stávající poznání a ústav a jeho členy směřovali do oblasti reálného života.

Došlo také k rozvinutí výjezdových aktivit a ústavu se podařilo získat několik projektů podporujících zahraniční studijní a vědeckou spolupráci s významnými institucemi po celém světě. Právě díky projektům z Operačního programu Výzkum vývoj pro inovace se podařilo pracovníkům ústavu a studentům oboru Průmyslové inženýrství vycestovat na tři kontinenty a sdílet znalosti z oblasti lean takřka po celém světě. Tyto významné zahraniční cesty obohatily své účastníky o specifika zemi, univerzit a průmyslových firem, které měly již dávno své pevné místo na zeměkouli. Znalosti získané uvedenými pobyty se záhy staly žádoucími pro kolegy z vědeckého světa a otevřely nespočetné možnosti pro další prakticky orientované projekty v průmyslových firmách.

Od roku 2012 začala na oblast průmyslového inženýrství a lean působit nová koncepce digitalizace výrobních a administrativních procesů, známá pod označením Industry 4.0. Nastala éra přemýšlení, a hlavně získávání nově orientovaných praktických zkušeností, kdy bylo potřeba pochopit nastupující filosofii projektování výrobních systémů, zvládnout přechod z jednoduchých softwarů na sofistikované a začít budovat novou komunitu, která již nebyla složena jenom z průmyslových a procesních inženýrů, ale která silně integrovala i systémové inženýry a IT odborníky. V uvedeném období radikálně vzrostl požadavek na finanční krytí technologické podpory pro oblast vzdělávání a vědy. Řada z členů ústavu si uvědomila, jak nezbytná je týmová práce, a jak důležitou roli hraje schopnost komunikovat s odborníky na vybraná témata. Digitalizace a Průmysl 4.0 přinesly změnu v chápání a pojetí průmyslového inženýrství adaptovaného na nové technologie a nástroje, které výrazně změnily pohled na vzdělávání v této oblasti.

Vzdělávání samotné a oba obory jak na bakalářském, tak navazujícím magisterském stupni, se úzce napojily na praxi průmyslových podniků jak ve formě přednášek, tak i přímého zapojení externích vyučujících do samotné výuky. Studenti mají silnou podporu v praktických projektech cestou odborných stáží v průmyslových firmách, jejich odborná profílace začíná od prvních dní jejich studia.

Ustav rozvinul svůj potenciál řešením prakticky položených projektů zejména ve výrobních společnostech a zaměřil se i na pořádání seminářů a workshopů. V tomto období se velmi výrazně zapojily průmyslové firmy, které neváhaly pomoci členům ústavu s rozběhem praktických workshopů orientovaných na Industry 4.0 a které věnovaly svůj čas tomu, aby spojily akademiky a praktiky do jedné linie použitelné pro vzdělávací, vývojový i výzkumný proces. Potenciál kvality pracovníků Ústavu průmyslového inženýrství a informačních systémů výrazně porostl.

Úspěšným příběhem ústavu z uvedeného období je i spolupráce se zahraničními partnery orientovanými na průmyslové inženýrství. Kontinuálně pokračovala setkání kateder průmyslového inženýrství z Čech, Slovenska, Polska, postupem času se připojilo Srbsko. Tímto se začala rozvíjet na vzájemných kontaktech vybudovaná komunita průmyslových inženýrů, která připojila postupně i Německo a Rakousko. Výsledkem bylo několik zajímavých vědeckých aktivit, které se transformovaly primárně do vědeckých projektů a na ně navazujících vědeckých článků v uznávaných vědeckých periodikách.

V letech 2018-2019, které byly pro fakultu přelomové z pohledu nově získaných akreditací, ustav akreditoval vlastní profesní studijní program Průmyslové inženýrství, a to nejprve na bakalářském stupni studia, který se rozběhl v akademickém roce 2019/2020. V témže roce fakulta přivítala i první studenty doktorského studijního programu Průmyslové inženýrství a na Národní akreditační úřad pro vysoké školství byla zaslána akreditace PI profesně orientovaného navazujícího magisterského studijního programu. Samotné profesně orientované programy dnes představují moderní směr vzdělávání v úzké vazbě na průmyslově podniky a integrují znalosti z oblasti průmyslového inženýra zaměřující se na oblast ekonomických oborů, strojírenství a informatiky. Tímto krokem se také zvýšila kompatibilita studijních programů zejména v mezinárodním měřítku, což přináší ještě těsnější spolupráci s pracovišti v zahraničí.

Za dobu existence ústavu se změnilo nejen jeho personální obsazení, ale také vybavení, které mají jeho členové, ale zejména studenti, k dispozici jak ke studijním, tak k výzkumným aktivitám. Ustav nyní disponuje špičkovými učebnami vybavenými nejnovějšími softwary od 3D CADu Solidworks přes

ARIS a nástroje společnosti Siemens jmenovitě Technomatix Plant Simulation a Jack nebo softwarem Witness pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů. Studenti se také seznamují s ERP Microsoft Dynamics NAV, aby pochopili fungování podnikového informačního systému. Pro výuku jsou k dispozici simulační hry na bázi lego, programovatelní roboti a také 3D tiskárna pro tisk zkonstruovaných dílů. Rokem 2020 započala na ústavu etapa budování vědecko-výzkumné laboratoře průmyslového inženýrství, součástí se postupně stávají nejnovější automatizované a digitální technologie, propojené na kolaborativní roboty a inteligentně řízené výrobní systémy a postupy. Výzkum a vývoj, probíhající na Ústavu průmyslového inženýrství, se posouvá na vyšší úroveň znalostí a v úzké spolupráci s průmyslovými firmami se ústav podílí na vývoji nových technologií pro výrobní systémy moderních průmyslových firem.

Ústav prošel dlouhým vývojem s jediným cílem – posouvat se dopředu a neztratit krok s realitou a vývojem okolo nás. Nulová nezaměstnanost našich absolventů je toho důkazem. Dlouholetá a neustále se rozvíjející spolupráce s průmyslovými firmami je důkazem, že aktivity výzkumu a vývoje ústavu jdou správným směrem, kvalita a odbornost ústavu je garantem přínosné spolupráce pro oblast vědy i praxe.

Průmyslové inženýrství na FaME dnes

Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů zajišťuje výuku budoucích průmyslových inženýrů na všech stupních studia v oblasti, která je zpravidla doménou technicky založených fakult, jako je např. Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni, Fakulta textilní na Technické univerzitě v Liberci nebo Fakulta strojní na Vysoké škole baňské – Technické univerzitě v Ostravě. Spojení portfolia ekonomických znalostí s oblastí technologickou, strojírenství či informatiky, které ústav nabízí, poskytuje unikátní možnosti vzdělávání studentů v oboru, který je pro průmyslové podniky atraktivní, po absolventech PI je v praxi velký zájem. Tento zájem naši studenti pocítují již v průběhu svého studia, a to jak na bakalářském, tak i v navazujícím magisterském stupni, což přináší benefity v podobě kombinace studia na fakultě s praktickou aplikací znalostí a jejich dalším rozvojem.

V tomto rozvoji studentům pomáhají pracovníci ústavu formou mentorování či konzultací. Specifikem ústavu je vysoká náročnost na vstupní informace, znalosti a zkušenosti, které jsou pravidelně získávané a komunikované s průmyslovými firmami. I když se jedná o časově náročnou aktivitu, efekt z této činnosti je nesporně důležitý jak pro aktuální směřování obsahu studijních předmětů, tak i pro vědecko-výzkumnou činnost ústavu. Za uplynulých 30 let se ústav vyvinul z malého pracoviště v renomovaný ústav, který jde s dobou a reaguje na aktuální trendy a koncepty zaváděné a uplatňované v průmyslových podnicích. Ústav je velmi

významně napojen na podnikovou sféru, se kterou ve svém praktickém životě spolupracuje a tuto spolupráci dále prohlubuje a rozvíjí. Ustav průmyslového inženýrství a informačních systémů bude dále směřovat v cestě, kterou určuje celosvětový vývoj v oblasti průmyslového inženýrství a po které již kráčíme.

Za bezprostřední cíl lze považovat praktické ukotvení vzdělávání v profesních studijních programech Průmyslové inženýrství jak na bakalářském, tak navazujícím magisterském stupni studia, potažmo na stupni doktorském a také dále přibližovat našim studentům a posluchačům aktuální poznatky a trendy, které nová ekonomika s prvky digitalizace a Industry 4.0 přináší. A to jak po stránce nových technologií, se kterými musí absolventi PI umět pracovat, tak metod, které se velice rychle vyvíjejí a rozvíjí se zvyšováním automatizace a robotizace ve výrobě průmyslových firem.

V oblasti vědecko-výzkumné existuje díky nesčetným kontaktům s průmyslovými firmami potenciál pro kontinuální pokračování ve vývoji procesních schémat určených pro oblast projektování, řízení a organizaci výrobních procesů. Sofistikované metody nabírají na významu i v oblasti průmyslového inženýrství, proto je naprosto nezbytné věnovat pozornost a značné úsilí transformaci tradičních a lean metod do prostředí digitalizovaných algoritmů pro relevantní analýzy, prognózování a modelování virtuálně řízených výrobních procesů a systémů s podporou těchto digitálních algoritmů. Doufejme, že budeme i nadále úspěšní v získávání domácích i zahraničních výzkumných grantů a budeme posilovat své dobré jméno v komunitě mezinárodních průmyslových platforem výzkumného, vývojového i firemního charakteru.

1.2 VÝZKUMNÉ A ROZVOJOVÉ PROJEKTY, NA NICHŽ SE PRACOVNÍCI ÚSTAVU PODÍLELI

1.2.1 Externí projekty

Grant GAČR 402/95/0136 Transformační marketing – metodika zavádění marketingu a marketingového řízení v privatizovaných podnicích v ČR

Grant GAČR 402/95/0099 Strategie růstu inovačního potenciálu průmyslových podniků v podmínkách ekonomické transformace v ČR

Grant Evropské komise TEMPUS S JEP-09120-95 Univerzitní tréninkové centrum managementu

Grant FRVŠ FRY70652 Model finančních toků FT a FaME VUT Brno pro tvorbu rozpočtu obou fakult jako součásti informačního systému

Výzkumný záměr CEZ:J22/98:265300021(MSM 265300021) Výzkum konkurenční schopnosti českých průmyslových výrobců

Grant FRVŠ 0197 Zřízení informačního centra pro grantové programy a mobilitu

Podnikový projekt HSM 1008.28 Analýza připravenosti podnikových procesů Solar, s.r.o. na získání certifikace ISO 9000–2000

Grant GA ČR 402/03/0555 Faktory ovlivňující tvorbu ekonomické přidané hodnoty v gumárenském a plastikářském průmyslu

Grant FRVŠ (G5) Využití manažerských principů průmyslového inženýrství v podnikových procesech

Grant FRVŠ (F5) Systém managementu jakosti v praxi

Grant FRVŠ (Ab) 1786 Dovybavení počítačové učebny pro NMSP Průmyslové inženýrství FaME

Projekt OP RLZ 3.3.2 Vytvoření a pilotní ověření nového vzdělávacího programu dalšího vzdělávání na VŠ : Pracujeme chytřeji

Projekt ESF CZ 1.07/2.2.00/07.0261 Konstruktivismus v praxi VŠ

Projekt ESF CZ 1.07/2.2.00/07.0361 Inovace NMSP FaME UTB ve Zlíně se zaměřením na zvyšování uplatnitelnosti absolventů na trhu práce

Grant GAČR 402/03 Tvorba modelů pro měření a řízení výkonnosti klastrů

Grant GAČR 402/08/H051 Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem (spoluřešitelé)

Projekt ESF CZ 1.07/2.4.00/12.00.34 Consulting point pro rozvoj spolupráce v oblasti řízení inovací a transferu technologií (spoluřešitelé)

Projekt ESF CZ 1.07/2.4.00/12.0031 ININET – kolaborativní platforma pro inovační inženýrství (spoluřešitelé)

Projekt ESF CZ 1.07/2.3.00/20.0147 Rozvoj lidských zdrojů oblasti výzkumu měření a řízení výkonnosti podniků, klastrů a regionů

Projekt ESF CZ 1.07/2.4.00/31.0096 Budování partnerství a posilování spolupráce v oblasti štihlé výroby a služeb, inovací a průmyslového inženýrství s důrazem na posílení konkurenceschopnosti ČR

Projekt ESF CZ 1.07/2.2.0.0/28.0161 Komplexní projekt završení etapy inovace studijních programů zapojením odborníků z praxe a ze zahraničí a zvýšení jazykových a ICT kompetencí

Projekt ESF CZ Ergonomie drobné svalové zátěže – Zlepšování výrobních procesů

Projekt CRP VŠ CR7/C25 Strategická spolupráce VŠ pro řízení kvality technického vzdělávání dle potřeby společnosti a znalostní ekonomiky

Projekt pro Zlínský kraj D/2282/2015/STR Mapování rozvoje strojírenského klastru ve Zlínském kraji. Souhrnná výzkumná zpráva

Projekt ESF CZ 02.2.60/0.0/0.0/16-015/0002204 Strategický projekt UTB ve Zlíně

Projekt ESF 02.2.69/0.0/0.0/16-018/0002450 Zavedení DSP Průmyslové inženýrství

Projekt CEPUS III RS 101 Fostering sustainable partnership between academia and industry in improving applicability of logistics thinking

Grant TAČR FW 03010194 Vývoj systému pro monitoring a vyhodnocení vybraných rizikových faktorů fyzické zátěže pracovních operací v kontextu Průmyslu 4.0

1.2.2 Interní projekty

Grant VUT Brno FUZ 60050 Metodika zavádění a řízení transformačního marketingu

IGA/71/FAME/10/D Využití metod procesního řízení k inovaci systému řízení fakulty

IGA/72/FAME/10/A Tvorba metodiky pro realizaci kvalifikačních prací ve spolupráci s praxí

IGA/FAME/2012/024 Plánovací algoritmy informačních systémů založené na TOC a jejich uplatnění v zakázkové výrobě

IGA/FAME/2012/017 Metodika optimalizace montážních pracovišť v českých podnicích

IGA/FAME/2012/036 Štíhlé zdravotnictví (Lean Healthcare) aplikace metod filozofie KAIZEN ve zdravotnických zařízeních

IGA/FAME/2012/034 Využití diskrétních simulací u poskytovatelů zdravotnické péče ve Zlínském kraji

IGA/FAME/2013/006 Aktuální trendy v podnikové logistice a jejich vliv na kvalitu výrobního plánování

IGA/FAME/2013/011 Vliv informačních technologií na uplatnění metodiky Balanced Scorecard v českých firmách

IGA/FAME/2013/023 Optimalizace managementu a procesů zdravotnických zařízení a zařízení sociálních služeb prostřednictvím metod průmyslového inženýrství

IGA/FAME/2013/035 Parametry spotřebitelského vnímání a postojů k nákupu ekologicky šetrných výrobků s mezikulturním aspektem: srovnávací studie mezi Českou republikou a Indií

IGA/FAME/2014/008 Kompetenční model vlastníků procesů v systému procesně řízeného vzdělávání

IGA/FAME/2015/023 Analýza výsledků Lean Six Sigma aplikace pro optimalizaci procesů v byznys centrech

IGA/FAME/2015/030 Model hodnocení ergonomických zásad v českých podnicích

IGA/FAME/2015/041 Optimalizace systému řízení kvality ve zdravotnických zařízeních a nastavení kontinuálního zvyšování efektivity pomocí lean managementu

IGA/FAME/2015/043 Řízení a softwarová podpora interních procesů nemocnic v České republice

IGA/FAME/2016/004 Řízení ekonomiky kvality a její vliv na výkonnost podnikových procesů a jejich parametrů v podnicích v ČR

IGA/FAME/2017/008 Komparativní studie programů kontinuálního zlepšování v sektoru sdílených služeb v České republice a Irské republice

IGA/FAME/2017/015 Vliv vybraných metod průmyslového inženýrství na celkovou výkonnost podniku a výkonnost jeho procesů

IGA/FAME/2017/018 Řízení enviromentálních a energetických rizik s ohledem na společenskou zodpovědnost firmy (trojí odpovědnost) ve vybraném průmyslovém sektoru v České republice

IGA/FAME/2018/005 Model procesního řízení pro implementaci konceptu Průmyslu 4.0 v SMEs

IGA/FAME/2019/007 Zvyšování konkurenceschopnosti podniku uspokojováním zákaznických požadavků při řízení vztahů se zákazníky s využitím nástrojů PI

IGA/FAME/2019/013 Zvyšování kvality firmy pomocí E – Business a modelu excelence EFQM

IGA/FAME/2020/009 Optimalizace procesů a znalostní informační systémy jako podpora podniku v Industry 4.0

IGA/FAME/2021/002 Performance analysis of container yard for the dwell time and reshuffle: A smart port 4.0 perspective to monitor the hazards of logistics processes

IGA/FAME/2021/006 INDUSTRY 4.0 development of big data driven business concepts oriented on lean management transfer (governance role and SMEs s implementation model)

IGA/FAME/2022/005 Industry 4.0 and Circular Economy Adoption for Manufacturing and Logistics Processes

IGA/FAME/2022/008 Research and implementation of big data based business intelligence solutions for transformation of traditional firm into digitalized one

IGA/FAME/2023/003 Optimalizace procesů v sociálních službách

IGA/FAME/2025/004 Projekt uplatnění požadavků ESG jako nedílné součásti kvalitního řízení (TQM) v organizacích

IGA/FAME/2025/006 Modelování výrobních procesů s podporou smart technologií

RO/2015/003 Vývoj kvalitativních a kvantitativních faktorů pro optimalizaci podnikových procesů využitím principů štlých podnikových systémů a procesních a produktových inovací

RO/2016/003 Modelování parametrů efektivních výrobních a administrativních procesů v průmyslových podnicích na bázi konceptu INDUSTRY 4.0

RO/2018/003 Vývoj komplexní metodiky procesního plánování, řízení a organizace implementace a využívání konceptu Průmysl 4.0 v SMES

RO/2020/001 Výzkum parametrických závislostí vybraných parametrů výrobních procesů pro nastavení modelu digitalizace monitoringu a vyhodnocování procesních dat v reálném čase jako součást implementace konceptu INDUSTRY 4.0

RO/2022/001 Prediktivní modelování a diagnostika procesů plánování a rozvrhování výroby

RO/2024/002 Modelování procesních parametrů pro digitálně řízenou výrobu a prediktivní plánování a řízení výroby

FSR FORD 5-6 /2021–23/FAME /001 Klíčové parametry determinující vhodnou úroveň a metody digitalizace a automatizace jednotlivých fází procesu plánování a řízení výroby

FSR FORD 5-6/2022-23/FAME/003 Výzkum klíčových parametrů připravenosti organizací na digitalizaci a automatizaci v předvýrobních etapách, logistice a podpůrných procesech s vazbou na plánování a řízení výroby

1.3 SHRNU TÍ KLÍČOVÉHO VÝZKUMNÉHO ZAMĚŘENÍ ÚSTAVU JAKO VÝCHODISKO PRO ZPRACOVÁNÍ REŠERŠE

Výzkum a vývoj v oblasti průmyslového inženýrství je důležitou součástí celkové koncepce moderních průmyslových firem. Ta vychází z dlouholetého poznání zákonitostí průmyslových systémů, integrace lidí a technologií, zohledňuje znalosti a zkušenosti z oblasti flexibility a variability procesního systému a využívá kombinaci vědeckých metod pro mapování systémového myšlení a procesní inteligence. Nezbytnou a kontinuální součástí výzkumných a vývojových projektů Ústavu PI byla, je a bude i nadále znalost vývojových konceptů průmyslového inženýrství a historických milníků vývoje poznání v oblasti průmyslového inženýrství (Tab.1).

Tab.1: Historické zaměření výzkumu průmyslového inženýrství (zdroj: autoři)

VÝVOJOVÉ STADIUM	OBSAHOVÉ ZAMĚŘENÍ VÝZKUMU A VĚDECKÁ ORIENTACE V DANÉM ČASOVÉM OBDOBÍ SVĚTOVÉHO PRŮMYSL OVÉHO INŽENÝRSTVÍ
1900-1920 Průmyslová revoluce	Základy průmyslového inženýrství Frederick Taylor, Henry Ford, Henri Fayol – výzkum produktivity pracovníka pozorováním a analýzou práce, pracovního výkonu a výrobního systému.
1920-1940 Produktivita Standardizace	Systémová analýza a uvažování – matematické modelování a datová analýza rozhodovacích procesů, simulace výroby, systém dílenského plánování a rozvrhování, koordinace logistiky.
1940-1960 Ergonomie Motivace lidí	Cílené úsilí po automatizaci, produktivitě a efektivitě výroby, nástup pokročilých technologií pro vysokorychlostní montážní

	výrobní linku v propojení na první metodiky štíhlé výroby Toyota Production System (TPS).
1960-1980 Informatika a datové analýzy	Datové a simulační modely procesních toků pro podporu rozhodování o různých alternativách výrobních procesů a systémů, vizualizace tvorby hodnoty, TQM, Six Sigma.
1980-2000 Dynamická výroba	Globalizace dodavatelských řetězců a výrobců zaměřená na propojení průmyslových firem, kustomizaci, dynamiku výroby využívající fraktálovou a modulární koncept výrobního systému.
2000-2010 Štíhlé metody a udržitelnost	Výzkum integrace procesních vstupů a výstupů v propojení na minimalizaci neproduktivních parametrů výrobního systému. Koncept Toyota Production System (TPS) se transformuje do Industry 4.0 (Průmysl 4.0).
2010-dosud Inteligentní fabrika	Internet věcí (IoT) propojuje výrobní technologii s výrobní technikou do procesního konceptu on-line s podporou inteligentní databáze a inteligentní systémové komunikace.

První fáze výzkumu na Ústavu PI 1996-2010)

Výzkumné zaměření pracovníků ústavu se v prvních fázích orientovalo na integrované podnikové procesy, související s plánováním a řízením výroby, řízením kvality, logistikou a jejich informačním zabezpečením. Specifické zaměření bylo věnováno výkonnosti těchto procesů, míře uplatnění metod průmyslového inženýrství v nich (udržitelnost procesů, principy lean, zákaznické zaměření). Syntetickým vyjádřením této fáze byly výstupy řešeného výzkumného záměru v dílčí oblasti informační podpory výrobních a logistických procesů českých průmyslových výrobců směrem ke zvyšování jejich konkurenceschopnosti v období 1999–2004. Základní proměnné výzkumného snažení na Ústavu PI byly:

- procesní dělba výkonu a práce (produktivní & neproduktivní výkon, efektivní výkon, specializace a univerzalita, koncentrace člověka na výkon, optimalizace strojního výkonu),
- výrobní layout a procesní tok (pracovní postup, rozložení procesního výkonu v čase a prostoru, nastavení lidské a strojní práce s ohledem na kompetentní a kvalifikovaný výrobní výkon),

- standardizace a normotvorba pracovního postupu (organizační principy práce a výkonu, nastavení procesních a produktových kritérií kvality výkonu a pracovního systému),
- dílenské řízení výroby (stabilizace vedení pracovníka, integrace pracovníka do pracovního týmu, řízení dle cílů, delegování práce, kompetenční a kvalifikační matice pracovníků),
- kontinuální výroba a kooperace dílenských útvarů (jednotnost směřování procesního výkonu, časová a prostorová flexibilita organizace práce, optimální plánování a rozvrhování výroby),
- hodnotové nastavení zaměstnanců průmyslových firem (ochota, řád, stabilita a nápady každého zaměstnance ve vztahu ke zlepšování procesů a inovačním aktivitám).

Druhá fáze výzkumu na Ústavu PI (2010-2014)

K tomuto nosnému zaměření se v další druhé fázi přidal specifický důraz na metody kapacitního plánování a rozvrhování výroby a interní logistiky jako nedílnou součást inovačních podnikových procesů opět se zohledněním aspektů udržitelnosti (ergonomie, údržba, kvalita, výkonnost) i s přihlédnutím ke specifickým výrobám (modulární buňková, aditivní, montážní). Syntetickým vyjádřením této fáze byly výstupy projektů OPVK a GAČR z období 2009–2014. Podstatou výzkumu na Ústavu PI byl v této době zásadní rozhodovací problém výrobního procesu a průmyslové firmy: 3-dimenzionální parametrické nastavení optimálního procesního výkonu („dodavatel – výroba – zákazník“). Komplexita systémového nastavení vybraných parametrů byla ovlivněná vstupními požadavky na zaměření výzkumu:

- existence proměnných, ovlivňujících výslednou hodnotu kritéria optimality výkonu/procesu a úroveň rozhodování o plánování a řízení výrobního toku (výzkum systémových proměnných ovlivňujících komplexní procesní výstup výrobního systému),
- existence systémových omezení, které vymezují přípustné intervalové rozmezí <MAX-MIN> vybraného parametru, testování a simulace chování se vybraného procesního parametru v různých provozních režimech výrobního cyklu,
- existence alternativních proměnných, majících vliv na účinnost rozhodovacího kritéria v podmínkách flexibilní změny pracovního postupu a výrobního toku.

Výzkum prokázal, že systémové účinky proměnných mají za následek v případě nedostatečné znalosti působení individuální proměnné v systémovém celku zásadní odchylky od nastaveného procesního výkonu. Zásadním zjištěním byla

skutečnost, že čím vyšší je odchylka od nastaveného plánovaného procesního postupu, tím nižší je reakce schopnost systému na korekci výrobního toku. Uvedená skutečnost byla podstatná pro další směřování výzkumu na Ústavu PI. Ve spolupráci s průmyslovými firmami směřoval výzkum a vývoj do oblasti implementace koncepcí fraktálové fabriky, buňkové výroby a v posledním období i do analýzy a testování maticových výrobních koncepcí (OPVK projekt „Měření výkonnosti – CZ.1.07/2.3.00/20.0147).

Třetí fáze výzkumu na Ústavu PI (2014-trvá)

Třetí fáze je charakterizována důrazem na metody prediktivního plánování výroby a rozvrhování výroby s důrazem na faktory související s udržitelností (ergonomie, údržba, úspory energií, poruchy, kvalita, výkonnost) s důrazem na faktory související s filosofií Industry 4.0 (robotizace, digitalizace, big-data, cloud computing, strojové učení, simulace, digitální dvojčata). Syntetickým vyjádřením této fáze jsou výstupy projektů CEPUS III a TAČR, projektů RO a IGA za období 2015–2025.

První komplexní analýza štíhlé výroby, vyvažování linek a dynamického uspořádání zařízení otevřela propast mezi statickým a dynamickým plánováním výroby, posunula hranice znalostí o možnostech implementace moderních konceptů do stávajících výrob. Inteligentní továrny využívají chytré sítě, které propojují stroje, produkty, jednotlivce a digitalizované výrobní systémy do komplexního hodnototvorného řetězce. Základem moderních průmyslových firem jsou modulárně strukturované montážní systémy s integrovanými kyberfyzikálními systémy, propojené do komplexního schématu inteligentních výrobních buněk a inteligentního řízení výrobního systému (Kumar, 2024).

Cílem výzkumu byl vývoj digitalizovaného procesního modelu, integrujícího technologickou on-line podporu kontinuálního zlepšování procesů s technickou podporou automatizovanými a digitalizovanými výrobními technologiemi pro podporu stability výrobního plánu na denní báze. Na základě výzkumu reálných dat z výrobních procesů jsme v rámci našeho výzkumného záměru RVO „Modelování procesních parametrů pro digitálně řízenou výrobu a prediktivní plánování a řízení výroby (UTB ve Zlíně, Ústav PI, 2024) analyzovali vývoj e-dat v procesech plánování a rozvrhování výroby. Na základě kvantitativního a kvalitativního výzkumu jsme se zaměřili na analýzu datových souborů, určených pro využití v procesech plánování, rozvrhování a řízení výroby. Záměrem výzkumného projektu bylo identifikovat a navrhnout model pro datovou diagnostiku a nastavení schématu tvorby prediktivních dat pro účely stabilního plánování výroby. Výzkum potvrdil již v počátečním stadiu existenci

řady procesních abnormalit, majících vliv na stabilitu procesů plánování a řízení. Cílem výzkumu bylo detekovat systémové korelace vybraných procesních parametrů, ovlivňujících flexibilitu nastavení výrobních pracovišť při současném dodržení plánovaného výrobního výkonu na danou pracovní směnu. V první fázi výzkumu jsme se primárně zaměřili na existenci parametru stabilních procesních dat pro plánování a rozvrhování výroby. Identifikované procesní korelace mezi dostupnými informacemi v informačním systému a reálnou připraveností disponibilní výrobní kapacity na dílně byly důvodem k hloubkovému výzkumu principiálních kauzálních závislostí datových analýz v on-line prostředí. Závěry uvedeného výzkumu jsou aktuálně v etapě testování navržených prediktivních modelů plánování a rozvrhování výroby. Další směřování výzkumu bude do oblasti transformace uvedených znalostí využitím technologií strojového učení v kombinaci s umělou inteligencí. Cílem je dosažení autonomního smart modelu plánování a řízení výroby.

2 REŠERŠE K PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY – PREDIKTIVNÍ ANALÝZA A ROZVRHOVÁNÍ

Základem pro zmapování současného stavu poznání bylo provedení literární rešerše vědeckých článků indexovaných v databázi WoS s využitím klíčových slov Production / Manufacturing, Planning / Scheduling, Management / Digitalization. Tomuto výběru vyhovovalo za posledních 5 let 282 článků. Z použitých autorových klíčových slov byl proveden užší výběr zaměřený na klíčová slova Production Planning, Scheduling, Manufacturing, SCM, SMART, Lean, Digitalization a Industry 4.0, který vymezil 215 článků. Z uvedeného počtu mělo 186 identifikátor DOI s možností přístupu k plnému textu.

2.1 PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY

Paradigma procesu plánování a řízení výroby spočívá v systémové integraci „věcí“ a „objektů“ do komplexní digitálně řízené produkční sítě. Roste význam efektivního využívání disponibilních informací a dat (Zamzami, 2017). V rámci návrhu výzkumného projektu („Vývoj komplexní metodiky procesního plánování, řízení a organizace implementace a využívání konceptu Průmysl 4.0 v SMEs“, 2018) jsme si stanovili následující priority výzkumného směřování:

- Identifikace, modelování a simulace disponibility produktivních časů strojních zařízení on-line ovlivňováním doby seřizování, náběhu výroby, trvání výrobního výkonu, plánované odstávky výrobní technologie – cíl výzkumu: prokázat, že digitalizované systémy plánování a rozvrhování výroby umožňují radikálně lepší vytěžování disponibilních výrobních technologií.
- Integrace inteligentních procesních systémových funkcionalit do IT systémů pro plánování a řízení digitální výroby umožňujících detailní procesní plánování a přeplánování v reálném čase. Předpokladem je, že technologické a organizační vazby jsou identifikovány přesně v závislosti od typu výrobního toku a realizovaného produktu, digitálně řízené procesy komplexní realizace objednávky mají kompatibilní datové informace.
- Zkoumat možnosti digitální technologie – v propojení machine learning a umělé inteligence – volit on-line optimální možnosti kombinace alternativních procesních parametrů s cílem maximalizovat disponibilní výrobní tok a minimalizovat neproduktivní časovou disponibilitu rozvrhovaných operací s ohledem na optimální flexibilitu pracoviště ve výrobě.

2.1.1 Agregované integrované plánování, procesní pojetí, logistika, kolaborativní plánování, lidský faktor

Podstatou plánování a řízení výroby je integrace výrobních postupů a jednotlivých vyráběných produktů v reálném čase. Agregované plánování poskytuje možnosti, jak optimalizovat využívání disponibilních výrobních zdrojů v závislosti od:

- disponibilní výrobní kapacity závodu, dílny, pracoviště
- poptávky po konkrétním objemu realizované produkce v rámci výrobního toku
- flexibility dodavatelského a odběratelského řetězce

V rámci výzkumu na Ústavu PI se kontinuálně zaměřujeme na oblast agregovaného integrovaného plánování. Cílem výzkumu je analyzovat a následně predikovat vybrané procesní parametry, které mají přímý vliv na rozhodování o kontinuální nebo přerušované výrobě produktu, stabilním nebo flexibilním rozvrhování výroby v on-line řízené výrobě.

Hypotéza 1.

Stabilita procesu agregátního integrovaného plánování výrobní kapacity přímo ovlivňuje efektivní vytížení disponibilní výrobní kapacity (Obr. 1).

AGREGÁTNÍ INTEGROVANÉ PLÁNOVÁNÍ VÝROBY		
PRODUKTOVÁ STRUKTURA	KAPACITNÍ DISPONIBILITA	FLEXIBILITA ROZVRHU VÝROBY
Konstrukce produktu Variabilita montáže produktu Kontinuita výroby produktu	Procesní čas Výrobní čas Průtok Úzké místo procesu Produktivita procesu	Technologické kapacity výroby Technické možnosti vyrobitelnosti

Obr. 1. Podstata procesního přístupu agregátního integrovaného plánování výrobní kapacity (zdroj: autoři)

Testování uvedené hypotézy ve 100 průmyslových firmách (automotive, elektroprůmysl, plastikářská výroba) přineslo následující analytické závěry výzkumu:

- agregovaný výrobní plán se fixuje na teoreticky dané a informačním systémem integrované kapacitní časy, flexibilita plánovaného vytížení disponibilní výrobní kapacity vychází z reálné procesní dostupnosti výrobních pracovišť (57% firem). Častým omezením agregovaného integrovaného plánování je nekompatibilita odvolávek „po ukončení procesu“ na trase „pracoviště – informační systém“ (64% firem),
- úsilí firem (100%) o stabilní výrobní plán denní výroby naráží na připravenost technické výrobní kapacity (46% firem), technologická kapacita výroby je ovlivnitelná snížením % procesních konfliktů v technické výrobní kapacitě s ohledem na zvýšení disponibilní výrobní kapacity (78% firem),
- denní výrobní plán je fixován na dostupnost technické výrobní kapacity (90% firem), flexibilní přeplánování je determinované zadanými prioritami pro přeplánování denní výrobě v on-line čase (49% firem),
- prioritně se agregované plánování zaměřuje na rozvrhování výroby produktů, které na základě datové analýzy vykazují nepředvídatelný podíl nadčasů, reworku a jiných procesních abnormalit (76% firem), procesní datová statistika je významným rozhodovacím kritériem (86% firem)
- produktivita využití disponibilní výrobní kapacity je výrazně ovlivněná na denní bázi řazením výrobních zakázek od začátku pracovní směny, preference je dána náklady výrobní zakázky v čase (90% firem) a efektivním využitím disponibilní výrobní kapacity (10% firem).
- týdenní rozvrh výrobní kapacity je diskrétní algoritmus, rozvrhování denní výroby stochastický algoritmus (84% firem), u vybraných zákazníků a produktů se zvažuje on-line realizace produktu s ohledem na volnou disponibilní výrobní kapacitu (16% firem)

Hypotéza 2.

Reakceschopnost modelu agregovaného integrovaného plánování je přímo závislá od flexibilní kolaborativní spolupráce procesních útvarů (výrobní útvary, logistika, plánování a řízení výroby, údržba).

Doba reakceschopnosti na procesní konflikt v řetězci výrobních operací závisí od správné detekce konfliktu on-line systémem. Reakceschopnost výrobního systému na vznik procesního konfliktu v řetězci výrobních operací byla v rámci testování hypotézy 2 podmíněná následujícími parametry:

- Z_T – dostupná zásoba před procesem na plánovaný objem výroby v plánovaném čase [min]
- K_T – detekována ztráta náběhu procesu v plánovaném čase [min]
- ΔT_Z – reakční čas na přeplánování procesního toku [min]
- $\min P_{\check{c}}$ – minimální disponibilní čas prostoje v procesním toku [min]
- PT_C – procesní čas komplexní realizace výrobní objednávky

- PT_{ENV} – procesní čas náběhu výroby [min]
- PT_{RV} – procesní čas realizace výroby [min]
- PT_F – procesní čas ukončení výroby [min]
- N_{PT} – náklady procesního toku [Kč/min]
- N_{PTP} – náklady procesního toku včetně dosažených prostojů [Kč/min]
- $OVPLANT$ – objem výroby realizovaný v plánovaném procesním čase T [ks/min]
- K_{PTD} – použitelná časová disponibilní kapacita výroby pro pracovní směnu [min]
- O_{PROST} – objem výroby realizovaný v nadčase, ale plánovaný v procesním čase T (z důvodu nedisponibility výrobní kapacity nebylo možné realizovat) [ks/min]
- k_{pt} - koeficient štíhlosti procesního toku – poměr časového trvání plánovaného procesního času komplexní objednávky a reálného procesního času komplexní objednávky

Cíl optimalizačního modelu reakceschopnosti systému agregovaného integrovaného plánování lze nastavit následovně:

(1) detekce příčiny konfliktu v procesním toku v reálném výrobním čase

$$\min Z_T + PT_{ENV} = \min K_T \quad (1)$$

$$PT_{RV} = 0, \text{ resp. } \min \Delta T_Z \quad (2)$$

(2) analýza systémových faktorů ovlivňujících trvání reakční doby na eliminaci konfliktu

$$N_{PT} / N_{PTP} = k_{pt} \quad (3)$$

$$[\min P_{\check{C}} \Sigma(P T_C)] = k_{pt} \quad (4)$$

$$OVPLANT / O_{PROST} = k_{pt} \quad (5)$$

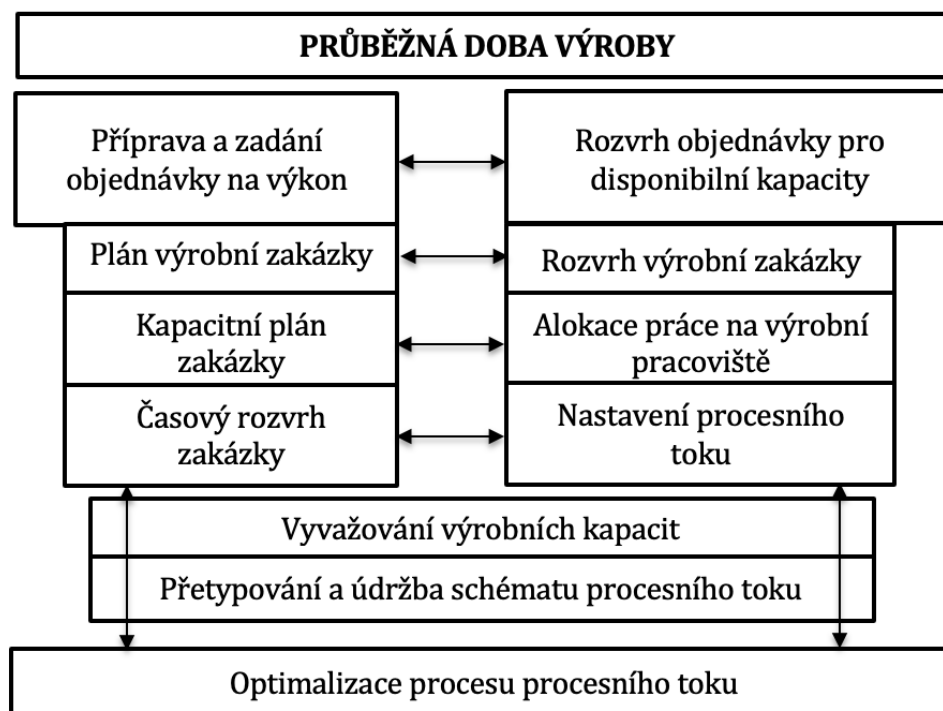
(3) definování procesního postupu pro minimalizaci časového trvání reakční doby

$$\min P T_C = \Sigma[(P T_{ENV}) + (P T_{RV})] \quad (6)$$

Koeficient štíhlosti procesního toku reflektuje blokový rámec optimalizace s ohledem na zvýšení hodnoty indexu přidané hodnoty VA_i :

$$VA_i = P T_C / \Sigma (P T_{ENV} + P T_{RV} + P T_F) \quad (7)$$

Kontinuální monitoring procesů v rámci analytického šetření prokázal, že inteligentní propojení kritických proměnných (disponibilita procesního toku, úzké místo procesu) s komplexním procesním řetězcem vyúsťuje do KAIZEN aktivit na dílenské úrovni (shop-floor management). Ze zkušeností a výzkumu je patrné (Obr. 2), že až 50 % nákladů investovaných do vývoje nového produktu se projeví jako plýtvání již ve fázi tvorby nového výrobního postupu a následně až 5 % je součástí celkové průběžné doby výroby nového produktu.



Obr. 2. Princip průběžné doby výroby – klíčová proměnná agregovaného procesně integrovaného plánování a rozvrhování výroby (zdroj: autoři)

Dle výzkumných závěrů (Mylnikov, 2018) je problematika smart prediktivních modelů optimálního řízení výkonnosti výrobního systému využívána primárně pro dosahování synchronizace interních a externích výrobních procesů. Úloha objemového plánování umožňuje verifikovat výsledky plánování a zvažovat v reálném čase vztah subsystémů výrobního systému a dopadu na produktivitu procesního toku na základě prognózovaných dat. Krajčovič (2021) navrhuje systém pro parametrické modelování a posuzování pracovního vytížení výrobního personálu za účelem snižování nákladů. Řešení je založeno na objektově-orientované analýze a metodologii plánování a hodnotového řízení výrobních procesů v průmyslovém prostředí. Vyvinuté plánovací moduly a projektový software jsou prezentovány na případové studii výroby v automotive.

Liping Zhou a kol. (2022) ve studii zmiňují problematiku vytváření hodnotového řetězce, konfigurace zdrojů a kapacitního plánování, výrobního plánování, rozvrhování výroby a logistiky jako základních oblastí inteligentní výroby. Každou rozebírají z pohledu architektury, metod modelování, významu pro inteligentní výrobu. U kapacitního plánování zdůrazňují na učení zaměřený výrobní management a multi agentovou architekturu. U výrobního plánování jsou zdůrazněny významy horizontální a vertikální integrace, flexibility a síťování, podpory autonomního a kolaborativního rozhodování. U rozvrhování výroby je kladen důraz na všech šest charakteristik inteligentní výroby, horizontální a vertikální

integraci, flexibilitu a síťování, adaptibilitu, operační management založený na učení. U logistiky jde rovněž o všech šest uvedených charakteristik.

Výrobní přístup inženýrství na zakázku (ETO) se používá ve společnostech, které vyvíjejí a vyrábějí vysoce sofistikované produkty (Strandhagen, 2018). Operace ETO zahrnují některé charakteristické procesní postupy, jako je proces prodeje a výběrového řízení, inženýrství a design komplexního systémového řízení projektů. Vlastnosti prostředí ETO umožňují v těchto procesech vysokou míru složitosti a komplexnosti, což má za následek eliminaci neproduktivních komponent plánovaného výrobního procesu již ve fázi projektování zakázky. Potenciál pro zkrácení dodací lhůty je proto vysoký i v těchto procesech, a to nejen ve výrobních a montážních. Uvedený přístup staví na štihlé výrobě a snaží se uvést do praxe principy štihlé výroby v operacích ETO. Prostřednictvím hloubkové případové studie norské společnosti energetického průmyslu charakteru ETO tento dokument zkoumá výzvy, problémy a příležitosti ke zlepšení v obchodních procesech společnosti ETO pomocí přizpůsobeného přístupu mapování toku hodnot (VSM). Studie sloužila k identifikaci hlavních zdrojů odpadu, které negativně ovlivňují dodací lhůty v provozech ETO. Dokument dále představuje konkrétní pokyny, které uvádějí do praxe principy štihlé výroby s cílem snížit plýtvání a zlepšit dodací lhůty v operacích ETO. Důležitým sdělením uvedeného přístupu je metodika eliminace neproduktivity v klíčových předvýrobních plánovacích procesech, využitelná jako standardizovaný proces i pro výrobní společnosti.

Procesně odpovědná metodika integrovaného plánování výroby (Denkena, 2019b) je dnes vysoce aktuální v každé průmyslové firmě, v dynamicky se měnícím prostředí. Zavedená metodika je aplikována na dva případy průmyslového použití s cílem identifikovat optimální procesní prvky a parametry s přihlédnutím k výrobním nákladům a času. Výsledky ukazují, že vyvinutá metodika umožňuje úspěšné modelování a optimalizaci procesního řetězce v závislosti od znalosti parametrů, ovlivňujících dynamiku dopředného plánování a zpětného on-line přeplánování procesního toku. Důležitým komponentem kompletnosti procesu kolaborativního plánování ve vazbě na agregované inteligentní plánování je dle Mikhaylova (2021) digitální dodavatelský řetězec (SCM), osobitě v souvislosti s jeho vlivem na mezinárodní dodavatelské vztahy. Je provedena SWOT analýza konceptu a testována hypotéza vlivu adopce digitálních technologií na zvýšení účinnosti SCM. Hypotéza je testována na datech z různých zemí (významní dodavatelé i pro průmyslové firmy v ČR) ve vazbě na závislosti dynamiky exportu /importu, dynamiku logistického indexu a indexu přijetí digitálních technologií. Klíčovým je prokázání absolutní závislosti na prediktivním chování nákupní logistiky, která zásadním způsobem ovlivňuje spolehlivost agregovaného plánování a rozvrhování

výroby. Z uvedeného důvodu je zajímavý přístup Gviliva a kol. (2019), který se zaměřuje na výzkum a systemizaci mezikorporátních logistických systémů, určených jako organizačně – ekonomická forma tvorby a realizace produkčně-procesních vazeb mezi mikroekonomickými systémy, citlivými ke změnám vnějšího prostředí. Metodologickým základem výzkumu jsou teorie logistického managementu, zahrnující mezifiremní a mezikorporátní vazby, formující se pod vlivem faktorů evoluce logistické integrace. Na základě dat z expertního dotazování a analýzy agregovaných ukazatelů fungování logistických mezisystémových vazeb prezentovali tzv. index digitální transformace. Jeho podstatou je závislost mezi hloubkou logistické integrace a úrovní digitalizace mezikorporátních logistických spojení.

Stabilita procesu plánování je významně ovlivňována kompatibilitou procesních vstupů a výstupů. V této souvislosti se Pan a kol. (2021) ve své přehledové literární studii zaměřují na to, jak může procesní interoperabilita pomocí propojení logistiky a dodavatelské sítě přispět k operačním řešením pro udržitelný rozvoj a zkoumají nové výzvy a příležitosti pro výzkum digitální interoperability v rámci paradigmat kyber-fyzikální podpory efektivního plánování a rozvrhování výroby. Přístup k hodnocení návrhů pro digitalizační intervence (Srai, 2019) v oblasti řízení nákupu a dodávek (PSM) identifikuje některé základní principy návrhu těchto intervencí. Pro navrhovanou síť je určen soubor pokročilých technologií pro digitalizaci a teoreticky podložený soubor sedmi hodnotových faktorů pro PSM, s cílem precizovat navrhování aplikací a intervencí pro digitalizaci PSM v závislosti od stabilizace zajišťování výrobních vstupů. Vytvořená parametrická matice propojuje digitální technologie s hodnotovými ovladači PSM maticovým způsobem, což umožňuje strukturované zvážení prostoru definovaného těmito dvěma dimenzemi. Navrhovaný přístup ke strategickému vývoji digitalizace v PSM je testován a jeho užitečnost je demonstrována v analýzách odborné literatury a v různých perspektivách digitalizace PSM založených na případových studiích. Jsou stanoveny dva základní principy návrhu týkající se využití rozvodné sítě, resp. vyplnění jejího prostoru, výzkum poskytuje nové teoretické pohledy na návrh pokročilých forem digitalizace PSM. Navrhovaný grid (maticová definice horizontálních a vertikálních procesních vazeb) může být použitý při návrhu aplikací, sdělování současných a budoucích stavů digitalizace PSM zúčastněným stranám a zejména při vývoji strategie orientované na budoucnost s prvkem digitalizace pro funkci PSM. Významnost koncentrace pozornosti na propojení PSM a SCM deklarují ve svém výzkumu i Badhotiva a kol. (2019), kteří se zabývají integrovaným problémem plánování výroby a distribuce pro dvouúrovňovou síť dodavatelského řetězce, která se skládá z více výrobců obsluhujících více produkčních míst. Nový fuzzy vícekriteriální smíšený celočíselný programovací

model je formulován s ohledem na výrobní prostředí s více produkty, obdobími a více místy. Minimalizace celkových nákladů, dodací lhůty a úrovně objednávek (zohlednění i dodatečných objednávek) jsou tři fuzzy cíle reprezentované po částech lineární funkcí. Tři důležité výrobní a distribuční aspekty, jako je kapacita heterogenní přepravy, zpětné objednávání pro nenaplněnou poptávku a náklady / čas na nastavení různých produktů ve výrobním závodě, jsou začleněny integrovaným způsobem, aby představovaly blízkost k problému reálného života. Ilustrativní příklad inspirovaný reálným případem automobilového průmyslu demonstruje analytické výsledky navrhovaného přístupu. Výsledek výzkumu naznačuje praktickou využitelnost přístupu. Analýza citlivosti na hodnoty objektivní funkce se provádí za účelem analýzy vlivu změny aspiračních úrovní hodnot objektivních funkcí na úroveň spokojenosti plánovače výroby s rozhodovací pravomocí.

Moderní technologie konceptu Průmyslu 4.0 (Yang, 2021) identifikují aktuální problémy dodavatelských řetězců pomocí aspektu sdílení znalostí s využitím technologie blockchain. K řešení těchto problémů byl vyvinut hybridní pravděpodobnostní výkonnostní a logistický rámec (HPP-LF), který definuje validitu blockchainu ve snaze procesně zjednodušit navrhování a nasazování potenciálních blockchainových řešení pro problémy sdílení informací mezi zúčastněnými stranami procesního řetězce. Adekvátní identifikace struktury Big Data, strojového učení, kalibrace kyber-fyzikálního modelu a on-line podpora umělou inteligencí zásadním způsobem ovlivňují inteligenci digitálně podporovaných metod pokročilého plánování a rozvrhování výroby. Podpůrné argumenty opodstatněnosti implementace inteligentních přístupů deklarují významný potenciál digitálních technologií a význam jejich nasazení pro dodavatelské řetězce ve čtyřech aspektech: účinnost, struktura, udržitelnost a inovační potenciál standardizace kolaborativního procesu plánování a rozvrhování výroby.

Komplexnost procesních přístupů v oblasti plánování a rozvrhování výroby směřuje k vývoji integrovaných řešení (Strljic, 2019). Vytváření řetězců přidané hodnoty u složitých dodavatelských řetězců se v procesu plánování výroby stále více prolíná. Výměna údajů mezi zúčastněnými partnery hraje klíčovou roli. Potřeby zákazníka, aktuální situace v zakázkách dodavatele i závislosti výrobního procesu výrobce musí být koordinovány symbioticky, aby bylo dosaženo efektivní výroby. Technologie cloudové výroby, kolektivní cloudové výroby, která se zaměřuje na formování mezipodnikových symbióz pro výměnu výrobních informací v prostředí izolovaném pro ochranu dat prostřednictvím modelu evolučních potřeb, je na vzestupu zejména z důvodu inteligentně řízených procesních datových toků. Na významu získávají i koncepty průmyslových strategií, které se z dlouhodobého hlediska ukazují jako velice účinné pro integraci tradičních procesních postupů

a inteligentní technické podpory výroby. Cloudová výrobní platforma (Wang, 2018) shromažďuje objednávky zákazníků a spravuje distribuované výrobní proměnné pro plnění objednávek a poté přepravuje produkty k zákazníkům. Zásadním je zde poznání, že kolaborativní plánování výroby mezi více podniky v cloudové výrobní platformě zvyšuje efektivitu sdílení omezených kapacitních zdrojů a výrazně napomáhá koordinaci omezených vstupních zdrojů s cílem jejich flexibilní alokace dle priorit zákazníka. Tento model poskytuje systémový pohled na dvě úrovně rozhodování: (1) které objednávky by měly být rozděleny v závislosti od požadavku maximalizace procesního toku a podíl každé objednávky zpracovaný v každém podniku s ohledem na minimalizaci procesních vstupů, (2) v jakém procesním čase je objednávka zpracována v podniku. Testovaným řešením problému je vyvinutý přístup založený na optimalizaci genetického algoritmu rozvrhovacího problému. Výsledkem testu je model, propojující kvalitativní a kvantitativní datovou statistiku pro generování optimálního rozvrhování on-line plánované výrobní dávky. S tím souvisí i výzkum propojený na poptávku po individualizovaných, vysoce kvalitních produktech za nízkou cenu (Zipfel, 2019). Průmyslové společnosti jsou na denní bázi v situaci, kdy se usilují využívat v procesu produktové nabídky své klíčové kompetence v sítích s přidanou hodnotou. To znamená, procesní výkon plánování, rozvrhování a řízení výroby je ve značné míře dnes limitován disponibilitou funkční kompetence „člověk – technologie“. K dosažení celkových cílů, jako je kratší doba procesního toku nebo menší zásoby v celé síti, je nutný intenzivní přenos informací relevantních pro pokrok mezi partnery sítě. Kolaborativní dodavatelsko-zákaznický přístup k síťovému systému plánování a řízení výroby (PPC) se zaměřením na technické, organizační a peněžní rozměry se stává konkurenční výhodou. Důvodem je schopnost výroby analyzovat požadavky na výrobu v reálném čase, modelování a simulace sítě s přidanou hodnotou, rozvoj systémové architektury i systému pobídek pro náhradní dodavatele, jakož i hierarchickou optimalizaci lokálních PPC systémů.

Klíčovou rolí v efektivním agregovaném plánování a rozvrhování výroby i nadále hraje člověk (Shaups, 2021). Lidské myšlení a konání má na pozici dělníka, operátora výroby, obsluhy technické/technologické osobitý vliv na adekvátní používání algoritmických systémů řízení jako výstupů digitalizačních projektů. Praktické znalosti a zkušenosti, analyzované formou strukturovaných rozhovorů a snímků práce v případových studiích 2 výrobních a 2 přepravních společností prokázali skutečnost, že intuitivní projektování procesních postupů závisí od schopnosti člověka, definovat strojovému algoritmu klíčové závislosti, ale zároveň i upozornit inteligentní technologii na abnormality, vyskytující se v běžném dílenském provozu. Dle i našich výzkumných šetření na Ústavu PI se v posledních letech ukazuje, že dotování procesních postupů strojového učení

a podpora datové základny umělé inteligence mají podstatný podíl na spolehlivém výkonu procesů plánování a rozvrhování výroby. Uvedenou skutečnost potvrzují i analytické výstupy Hallikas a kol. (2021), který prokázal souvislost digitálního nákupu v propojení se schopnostmi datové analýzy a provozní výkonnosti dodavatelských řetězců na vzorku 500 výrobních a servisních společností. Rovněž Czerniachowska a kol. (2021) uvádějí zkušenosti ze spolupráce vedoucích společností obalového průmyslu EÚ, prokazující důslednou orientaci na efektivní on-line plánování výroby s cílem minimalizace celkových nákladů v závislosti na zkušenosti plánovačů.

Jednou z možností zvýšení stabilního výkonu procesů plánování a řízení výroby je zlepšení efektivity integrovaným rozhodováním (Rosyidi, 2021), směřujícím od stabilních dodavatelů k stabilitě specifikace požadavku kupujícího. Návrh optimalizačního modelu, který současně určuje alokaci vstupních surovin, v závislosti i od procesů přetypování, seřizování a údržby je zaměřený na identifikaci klíčových vazeb mezi procesní a útvarovou strukturou produkčního modelu výroby. Model je zaměřen na maximalizaci celkového zisku (maximalizace procesního průtoku výrobou) s detekovanými významnými omezeními, jako je výrobní kapacita v každé dílčí divizi, náklady na údržbu a bilance zásob. K řešení problému využívají metodiku operačního výzkumu, začínají definicí problému, vývojem modelu, hledáním optimálního řešení a analýzou citlivosti. Model byl řešen pomocí softwaru Oracle Crystal Ball. Výsledky analýzy citlivosti ukazují, že kritériální funkce je citlivá na změny nákladů na údržbu, ceny surovin a prodejní ceny produktu. Alokace rozpracované výroby, technologicky nutných zásob a množství objednávek surovin jsou citlivé na náklady na údržbu a nákladovost produktu jako výstupu systémového celku. S uvedeným tvrzením korespondují i závěry vědeckého výzkumu (Gonzales, 2021), prokazující důležitost kvalifikovaně nastavených mechanismů koordinace a výměny informací mezi stávajícími systémy produkčních jednotek a technické podpory výrobních operací ve vazbě optimální objednávku požadovaných strojních kapacit. Zde je mimořádně důležitá účelně nastavená interoperabilita digitální podpory, od které závisí optimálně parametricky nastavený soubor procesních kroků a systémových opatření. V praxi byla testována koncepce posloupných realizačních kroků, obsahující analýzu aktuální situace, schéma procesní logiky tvorby výkonu a navazující podpora vhodným řešením informačních a komunikačních technologií (ICT). Výsledkem testování navrženého modelu byla znalost způsobu identifikace hlavní překážky v procesu výměny informací při rezervaci plánované výrobní kapacity. Zlepšený procesní model a navržená procesní logika poskytli náměty ke snížení negativních efektů produktového řetězce ve formátu zdrojového kódu s ;+otevřeným přístupem pro modifikaci plánovacího a rozvrhovacího algoritmu. Využitelnost uvedeného přístupu byla deklarována

i konceptuálním rámcem digitální technologické transformace nákupu a zadávání zakázek (Gunasekara, 2022, Lorentz, 2021) s podporou cíleně dimenzovaného blockchainu. Na příkladu zobecnění standardizovaného modelu určení ekonomického množství výroby Mokhtari (2020) prokazuje opodstatněnost zaměření blockchainu do oblasti stěžejního negativního vlivu, činnosti permanentní preventivní údržby, která zabraňuje odstávkám a přerušování výroby).

Z hlediska integrace lidského faktoru do procesů plánování a rozvrhování výroby jsou zajímavé závěry výzkumných šetření (Lucht, 2021). Na základě mapování procesu popisu, vizualizace a analýzy plánovacího chování výrobních společností prezentovali závěr, že správně definované klíčové ukazatele kvality plánování (KPQI), mají význam pro stabilitu procesu pouze za předpokladu, že jsou strukturované podle datovou analýzou podpořených hodnotících rozměrů stability a přesnosti výrobního plánu. Návrhy prezentují na případové studii poskytovatele služeb údržby, oprav a generálních oprav. Efekt zapojení lidského faktoru do hodnotícího a rozhodovacího procesu byl prokázán i ve výzkumu Ústavu PI. Až 90% průmyslových firem v ČR má hodnotící klíčové ukazatele kvality plánování, ale z nich téměř 70% připouští, že v případě procesu přeplánování výroby upouští od dodržování procesního standardu, obsahujícího uvedené ukazatele.

Prokazatelné závěry výzkumu ve vazbě na procesní modelování (Jeong, 2020) deklarují nezbytnost přesného a variantního popisu výrobního procesu plánování montáže, zejména v případě neustále měnících se instrukcí. Z procesního hlediska se jedná o pravidelně se opakující procesní situaci, delikt, který ovlivňuje výsledný procesní výkon. Metoda je založena na čtyřech modelových krocích, vytvoření modelu jednotky (produkt, procesy, informace o prostředcích pro blok), integrace síťového procesu propojení jednotek podle kusovníku, model procesů kombinací jednotkových dílců, simulační model Petriho sítí analyzující produktivitu procesů. Efektivita navrženého modelu nabádá na základě vědecky prokázáno modelování a simulace k precizní definici procesních modelů, které integrují v sobě prvky nejistoty nebo predikované změny plánovaného výrobního procesu. Zapojením tématu distribuovaného rozhodování (Frazzon, 2020) byl inicializován nový směr uvažování o digitálních a integrovaných výrobních sítích z pohledu perspektivy sociálně-kyber-fyzikálních systémů. Uvedená futuristická vize ve formátu praktické studie představuje přehled současné výzkumné literatury, následovaný výzkumným rámcovým návrhem. Výzkumné komunity v oblasti výroby a řízení by měly přijmout konvergentní vizi zabývající se:

- možnostmi, jakým způsobem lze výrobní síť v budoucnu plánovat a kontrolovat s podporou inteligentních digitálních technologií,

- správným generováním adekvátních rozhodovacích metod a přístupů, zaměřených na dosažení procesně požadovaných systémových výstupů a
- identifikací potenciálně nejvýhodnějších technologické hnacích sil pro podporu zlepšování a inovace stávajících výrobních systémů.

V posledních letech se věnuje řada výzkumných iniciativ problematice propojení tradičního lineárního programování a inteligentních smart technologií (Opritescu, 2019). Důvodem je skutečnost, že dlouhodobě prověřená aplikační praxe potvrdila správnost odborného zaměření navržených lineárních celočíselných algoritmů pro integrované plánování strojů v přímé závislosti s kapacitním plánováním logistických operací. Bylo prokázáno, že integrální přístup umožňuje optimální využití procesem požadované výrobní kapacity tím, že pro překonání nedostupnosti strojů využívá on-line podporu rozhodování manažerů při rekonfiguraci krátkodobých výrobních plánů. Uvedený holistický koncept potvrdil nezbytnost dalšího výzkumu přímých procesních korelačních závislostí vybraných parametrů účinnosti procesního toku. Důvodem je skutečnost, že řada nepřímých závislostí je v prostředí smart plánovacích a rozhodovacích technologií závislá od spolehlivosti nastavené databáze přímých procesních parametrů, které jsou v současnosti buď ve fázi vývoje nebo v testovací fázi.

V oblasti agregovaného integrovaného plánování a kolaborativního plánování je v současnosti vícero výzkumných mezer. Na základě poznatků (Ziarnetzky, 2018) je nezbytné směřovat pozornost i do sekundárních, ale systémově důležitých prvků procesního řetězce výrobních systémů. Kustomizovaná výroba, nízkonákladové procesní koncepty, zakázkové plánování a řízení výroby jsou v současnosti konfrontované s problematikou ekonomicky udržitelných bezpečnostních zásob, zásob hotových výrobků v propojení na dodací lhůty. Zkušenosti analytických šetření prokazují (i na Ústavu PI), že řada firem vnímá jako nutné zlo potřebu udržovat uvedené zásoby. Dle výsledků našich výzkumných šetření až 85% průmyslových firem je zde omezoвано vytížením procesního toku plánovanou výrobou a pracovní zátěží z titulu „nadpráce“ vnímá jako zásadní narušení procesního času. Vývoj v uvedené problematice směřuje k multiplikačnímu Modelu Martingale of Forecast Evolution (MMFE), zohledňujícímu požadavek produkce vícero produktů, začleněných do plánovacích modelů, v časových intervalech nižšího kapacitního vytížení příslušné výrobní technologie. Eliminuje tím náhodné omezení, založené na kapacitním deficitu a na základě prediktivní datové analýzy definuje množství výroby a bezpečných zásob. Pro porovnání se používá plánovací model s dodacími lhůtami závislými na pracovní zátěži, který nebere v úvahu bezpečnostní zásoby. Výkonnost plánovacích modelů se posuzuje v prostředí s pohyblivým horizontem pomocí simulačního modelu menší výrobní provozovny. Autoři studie zjistili, že model s omezenou náhodou s aktualizacemi prognózy překonává model

bez aktualizací prognózy s ohledem na očekávanou úroveň a přidanou hodnotu procesního výkonu. Oba modely s omezenou náhodou překonávají model bez bezpečnostních zásob. Tyto výsledky naznačují, že zvažování vývoje prognóz v modelech plánování výroby může vést ke zlepšení výkonu využitím předběžných informací o poptávce poskytovaných aktualizacemi prognózy.

Inteligentní systémy plánování a řízení výroby nejen optimalizují výrobní procesy, ale také přispívají k udržitelnosti a efektivnímu využívání zdrojů (Oluyisola, 2020). Využitím dat v reálném čase, technologií internetu věcí a automatizace mohou společnosti dosáhnout vyšší flexibility, přizpůsobivosti a efektivity svých výrobních operací. Implementace technologií smart ve výrobních procesech umožňuje pochopení, uvažování, plánování a řízení všech aspektů výrobních procesů v reálném čase prostřednictvím pokročilé analýzy dat na báze senzorů, modelování a simulace (Liu, 2018.). Integrace inteligentních technologií navíc umožňuje využívat dynamické systémy, které se mohou přizpůsobovat měnícím se požadavkům výroby a zlepšovat celkovou výkonnost procesů (Núñez-Merino, 2020). Chytré technologie vedou k optimalizaci výrobních procesů, zvýšení efektivity a snížení nákladů (Zhang, 2022 a Dave, 2023).

2.1.2 Výkonnost, náklady, zákaznické zaměření, řízení zakázek, přidaná hodnota, VSM

Základní premisou dnešní doby je udržitelný rozvoj, který si vyžaduje od firem kompletní přehodnocení logiky organizace firemní práce a procesů. Většina potřebných změn se objevuje právě v oblasti řízení lidí, jejich stimulace a motivace. Pokud máme opravdovou snahu o zlepšení firemních výsledků, firemních procesů – a tu nelze nemít snahu – musíme usilovat o zbourání zdi mezi vedením firmy – pracovníky a zákazníky a budovat vztahy. Podniky se usilují mapovat své procesy na denní bázi, od toho odvíjejí své operativní a strategické plány. Naplnění cílových parametrů nastavených podnikových výstupů je otázkou dobré podnikové alchymie, která zohledňuje disponibilní podnikové DNA a zároveň zákaznicko DNA (Chromjaková, 2020).

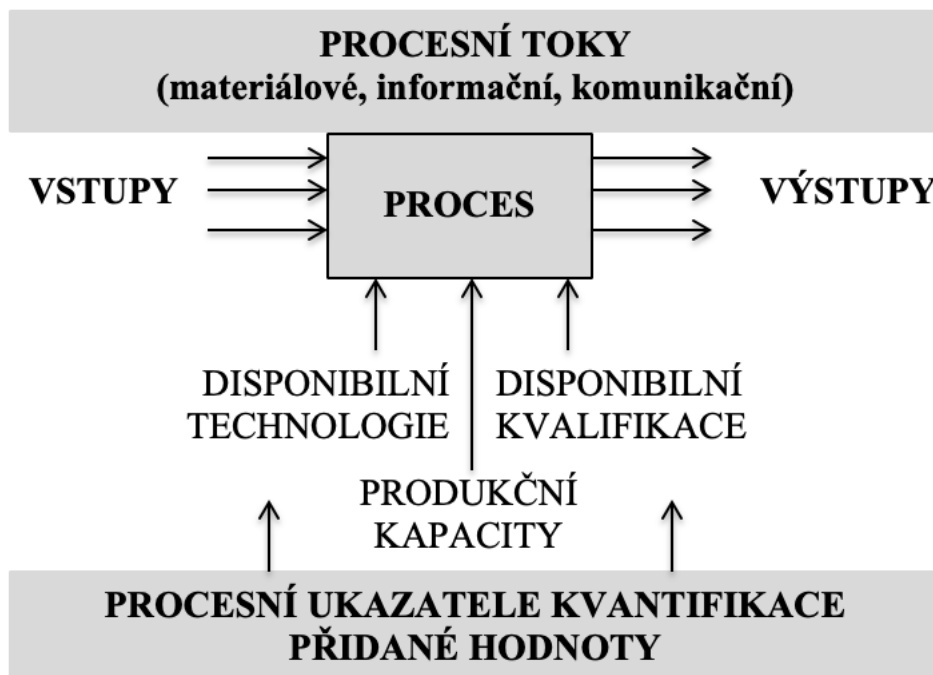
Hlavní předpoklady vědeckého projektu na Ústavu PI „Výzkum parametrických závislostí vybraných parametrů výrobních procesů pro nastavení modelu digitalizace monitoringu a vyhodnocování procesních dat v reálném čase jako součást implementace konceptu Industry 4.0 (2020)“ byly zaměřené na výzkum výkonnosti výrobních systémů. Na základě analýzy vybraných datových souborů vybraných procesních ukazatelů ze 150 průmyslových společností byl realizován výzkum obsahu a korelačních závislostí uvedených ukazatelů s ohledem na dosahovanou výkonnost výrobního systému. Cestou datové

analýzy a využitím metodiky big data byla zkoumána závislost mezi operativním a prediktivním nastavením výrobního procesu, strojního zařízení a prediktivní údržbou strojních technologií. Výzkum potvrdil, že procesní modely orientované na komparaci dat mají klíčový podíl na flexibilním projektování, organizaci a řízení výrobních procesů s podporou automatizovaných a digitalizovaných technologií. Výzkum zároveň potvrdil, že simulační experimenty vývoje vybraných klíčových ukazatelů umožňují do značné míry maximalizovat hodnotu efektivního využití výrobní technologie směrem k teoretické maximální hodnotě využití výrobní kapacity výrobní technologie/procesu/pracoviště.

Realizovaný výzkum vycházel z detailního mapování toku hodnot standardizovaných výrobních procesů (klíčový předpoklad) a přinesl následující vědecké závěry:

- soubor procesních dat, komplexně popisujících chování se výrobně-technologického prvku procesu v provozu, dále při spuštění strojního zařízení a následně při ukončení činnosti strojního zařízení (evtl. robota) má zásadní vliv na nastavení časové dotace kapacitního vytížení výrobního pracoviště,
- analyzovaná strukturovaná data poskytují zásadní informace pro realizaci operativních zásahů (přeplánování výroby on-line) a prediktivní analýzy s ohledem na produktivitu procesního toku,
- dostupnost on-line datové základny je použita pro modelování matematického regresního modelu, poskytujícího stěžejní navigaci pro flexibilní plánování a rozvrhování výroby využitím digitálně řízených procesních komponent, následně vytváří i prostor pro on-line vyhodnocování sbíraných dat a rozhodovací analýzu v reálně probíhajícím výrobním procese,
- na základě korektní datové analýzy lze následně přímo identifikovat, je-li procesní prvek schopen dále realizovat výkon bez přerušení nebo je nezbytné vykonat preventivní údržbu, v horším případě operativní údržbu,
- návrh schématu datové analytiky, opírající se o model matematické regresní funkcionality v kombinaci s parametrizací prediktivní analytiky je základem pro nastavení inteligentního smart modelu pro plánování a řízení výroby.

Nosným pilířem návrhu modelu řízení výkonnosti výrobního systému je identifikace přidané hodnoty podnikových procesů ve vztahu k internímu a externímu zákazníkovi. Je orientačním ukazatelem pro nastavení strategie podnikového procesu na maximální produkční výkon a zároveň determinuje nastavení efektivní úroveň organizace a řízení projektovaných procesů. Smyslem systému je maximalizace využití všech disponibilních aktiv, umístěných v podnikových procesech, pro maximalizaci tvorby přidané hodnoty (Obr. 3.).



Obr.3. Integrální schéma projektování modelu výkonnosti výrobního systému (zdroj: autoři)

Při formulaci dotazů na vybrané průmyslové společnosti jsme vycházeli ze tří klíčových předpokladů efektivního procesního řízení: komplexnosti, variability a adekvátního řízení procesu směrem k eliminaci vad. Zároveň jsme kladli důraz na to, že systémové procesní řízení je přímo závislé od geografického umístění firmy, velikosti firmy, nastaveného procesního layoutu a specifické formy plánování, řízení a organizování podnikových procesů. Závěry výzkumu lze shrnout následovně:

- proces je sekvence stabilně a modulově vzájemně propojených činností, které jsou cíleně orientované na dosažení konkrétně stanoveného cíle, jednotlivé moduly lze flexibilně propojovat jako systémové celky,
- struktura realizace procesních činností a výrobních postupů je determinovaná primárně požadavkem dostupné výrobní kapacity, efektivita je vymezena triangulárním principem „čas-náklady-kvalita“, ten definuje i výrobní postup a procesní podporu výrobního postupu,
- významným přístupem je mapování toku hodnot výrobním procesem, který zohledňuje aktuální procesní tok a na báze znalostí člověka a inteligentních technologií umožňuje integrovat ve větší míře vzájemnou kombinaci principu tahu a tlaku výroby, vždy ale při zohlednění modulárního nebo kontinuálního výrobního toku,

- výrobní průtok procesním řetězcem je v přímé korelaci s nastaveným výkonovým cílem procesu, vlastník (tj. realizátor) procesu má možnost v rámci procesně vymezené disponibilní časové kapacity regulovat procesní tok s ohledem na aktuální situaci v procesu,
- výrobní technologie není dogma, je to prostor, který využívá procesní inženýr k tomu, aby efektivně využil nastavený procesní potenciál pro produkci maximálního užítku pro interního i externího zákazníka,
- řada firem se potýká s neexistencí limitů pro oblast standardizace podnikových procesů, zejména v oblasti flexibilních procesních konceptů, stěžejním problémem je přehlednost a dodržování pravidel v organizaci, správě a používání velkého počtu informačních nástrojů pro podporu organizace a řízení výroby.

Dohale a kol. (2022) ve své studii vytvořili multiproduktový a periodicky různorodý agregovaný výrobní plán, naplňující požadavky zákazníků na výstupy v průběžném čase pro zvýšení tržní kompetence. Metodologický přístup využíval fuzzy analytický hierarchický proces, multiobjektové lineární programování a diskrétní simulaci s využitím SW nástroje Arena. Výsledkem uvedeného výzkumu byla deklarace potenciální integrace stochasticko-deterministického řazení výrobních objednávek. Další autoři (Olender a kol., 2019) vycházeli ze znalosti nástroje KbRS (Knightsbridge Robertson Surette), co je firemní koncept řazení výrobních objednávek), zobrazující vzorové plány pro určitou kombinaci řazení výrobních procesů. Kromě toho je koncept zaměřen nejen na dosahování maximální doby zpracování výrobní operace, ale také obsahuje modul, související s nákladovou stránkou výrobního procesu. Díky tomuto řešení získává osoba s rozhodovací pravomocí informace nejen o časech, ale i nákladech. Samozřejmě existují i specifická omezení, která tvoří soubor alternativních řešení. V závislosti na posuzované procesní situaci identifikují odpovědné osoby v procesu dle striktně nastavených metrik následný způsob řešení procesní situace. Může se jednat o verzi související s časovými nebo nákladovými parametry posuzovaného skutkového stavu. To je důležité, protože výrobci dostávají signál z trhu, který informuje o potřebě personalizovaných produktů. Uvedený přístup se stal základem procesní digitalizace v rámci čtvrté průmyslové revoluce, která je charakteristická personalizací produktu pro zákazníka. Z toho plyne potřeba integrovat systémově: stroje, lidi a počítačové systémy. Faktem je rovněž, že se cena personalizovaných produktů blíží ceně získané v hromadné výrobě. Proto je kromě integrace a bezpečnosti potřeba mít automatizované nástroje, které pomohou plánovat výrobní procesy v dynamicky se měnících potřebách. S uvedenou skutečností souvisí i metodika plánování výroby (Denkena, 2018), zaměřená na balancování využití limitovaných zdrojů využitím korelace řízených výnosů při použití algoritmu ARIMA. S ohledem na skutečnost, že

průmyslová firma je složená z vícero výrobních útvarů, které mají různá rozhodovací kritéria (Yamashita, 2019), je zcela zásadní způsob, jakým se v procesu rozhodování zapojují integrální články: útvary, zákazníci, prodejci. Cílem je maximalizovat celkový zisk při zvážení cílů každého komponentu uvedeného rozhodovacího procesu vhodným nastavením kolaborativních systém podporujících kritérií. V této studii autoři navrhuji způsob plánování objednávek s využitím důvěryhodnosti dat o prodeji. Tato navrhovaná metoda upravuje datum splatnosti mezi prodejcem a zákazníkem s ohledem na dobu marže a poté odvozuje efektivní výrobní plán řešením optimalizačního problému, který minimalizuje váženou částku zpoždění od data splatnosti a provedení. Za účelem vyhodnocení účinnosti navrhované metody je provedeno několik výpočetních experimentů. Uvedený model se stal základem metodiky optimalizace logistických toků, využívanou i v útvarech plánování a řízení průmyslových firem.

Propojení makroekonomického a mikroekonomického světa v procesech plánování a řízení výroby se stalo základem výzkumu Moser a kol. (2021), kteří ve svém výzkumu hodnotí soulad mezi tržními podmínkami, kapitálovými výdaji, pružností výroby a výrobní kapacitou. Cílem výzkumu byl požadavek efektivně analyzovat důsledky výrobních investic v krátkodobém i dlouhodobém horizontu. K tomu vyvinuli ekonometrický model propojující aktuální stav vybraných tržních podmínek a operativní rozhodování na základě optimálního výrobního plánování a rozvrhování výroby. Model testovali na vzorku 480 firem z těžebního průmyslu a 1053 firem z odvětví ropy a zemního plynu. Výsledky ukázaly, že firmy sledují trh při svém investování krátkodobém (operativní rozhodování) i dlouhodobém (růst kapacit). Následně navrhli model řízení hodnoty firmy podporující rozhodování o kapitálových výdajích. Uvedený výzkum prokázal, že přidaná hodnota procesních nákladů je do značné míry ovlivněná již v době vložení investic do procesních technologií a má zásadní vliv na ekonomiku výroby na denní bázi, což je zásadní problém operativního rozhodování o denní výrobě.

Podpůrným nástrojem rozhodovacího procesu o výrobním toku je i soubor metod, propojených na reakceschopnost výroby o přijetí objednávky. Wang a kol. (2021) ve své studii zkoumají účinnost integrovaného rámce QRM – Quick Response Manufacturing (výroba s rychlou odezvou) a POLCA rozvrhovacího systému vysoké variantnosti a nízké sériovosti (principem jsou párově se překrývající smyčky výrobních karet s autorizací výrobního pracoviště) na zkrácení dodací lhůty pro výrobu specificky definovaných výrobků. Optimalizovaným plánováním a rozvrhováním výroby dvou výrobků do výrobních buněk se prokazatelně dosáhlo zlepšení dodací lhůty a snížení zásob i snížení procentuální ztráty zisku. Daný výzkum má značný význam pro nastavování algoritmů nízkosérových, kustomizovaných produktů, u kterých ekonomika výroby není prioritním rozhodovacím kritériem, ale v případě

vyššího počtu cíleně rozvrhovaných výrobních zakázek v reálném čase je možné optimalizovat výslední nákladovost produkce. S tím úzce souvisí i přístup Wang a kol. (2022), který řeší dva cíle výrobního plánování – a to maximalizace míry plnění plánu výrobních objednávek a minimalizace celkových nákladů výrobní zakázky pomocí multikriteriálního celočíselného programování (MOIP) a následně ve druhé fázi dvoustupňovým vícekritériálním optimalizačním algoritmem (TSMOA). Jedná se o korelační algoritmus klíčových atributů pro nastavení funkcionality automatického a digitálně podporovaného rozhodovacího algoritmu optimální procesní úlohy výrobního systému. Algoritmus se stal důležitou součástí dynamického projektování výrobních systémů. Byl v něm zapracován i matematický nákladový model pro kvantifikaci různých nákladových položek výrobního postupu (Di, 2021), který na příkladu procesu přímého laserového slinování kovů ukázal, jak lze hodnotit nákladovou výkonnost dynamického rozvrhování s ohledem na podkladový procesní výrobní plán, a to využitím různých parametrů hodnocení. Výsledky případové studie naznačují, že 12,73 % celkových výrobních nákladů by mohlo být potenciálně sníženo při použití navrhovaného algoritmu dynamického plánování procesů založeného na úrovni složitosti geometrie produktu. Kromě toho výsledky analýzy citlivosti naznačují, že cena surovin a režijní náklady jsou dva klíčové nákladové faktory na současném trhu aditivní výroby.

Důležitým parametrem plánování a rozvrhování výroby je i procesní postup a jeho efektivita. Hueber a kol. (2019) se ve svém výzkumu zaměřují na proces ručního kladení materiálu s následným vytvrzováním v autoklávu při výrobě kompozitů v leteckém průmyslu. Z hlediska plánování výroby představuje tato kombinace výzvu přechodu od výroby s diskrétním vrstvením ke zpracování dávkového vytvrzování s omezením povolené doby skladování zpracovávaného materiálu před vytvrzením. Je zde představen nový přístup k optimalizaci výrobních zakázek ve spojení diskrétního a dávkového zpracování. Nástroj pojmenovaný APOLLO je navržen tak, aby zkrátil dobu zpracování, zefektivnil výrobu a zvýšil využití autoklávů v kompozitním leteckém průmyslu. Autoři zde poukázali na skutečnost, že řada výrobních operací i nadále probíhá využitím lidské práce, jedná se o sofistikované výrobní postupy, u kterých ekonomika automatizované realizace výroby zatím nepodporuje moderní přístupy. I navzdory uvedenému faktu ale procesní řízení usiluje o nalezení vhodného řešení. Důkazem je i výzkum Mahiamaki a kol. (2020), ve kterém se autoři zaměřují na vliv konfigurátorů prodeje na vnímání efektivnosti prodeje a vnímané hodnoty zákazníkem v dodavatelském řetězci. Vyvíjejí a testují model strukturních rovnic pomocí parciálního modelování nejmenších čtverců strukturních rovnic (PLS – SEM) na vzorku odpovědí 115 B2B distributorů ve Finsku. Snahou je identifikovat parametry, ovlivňující produktivitu

vysokonákladové složky procesního výkonu. Uvedené poznání rozšiřuje dimenzi nízkonákladových technologických postupů, využitelných pro ekonomickou výrobu využitím smart technologií. Podkladem pro uvedený výzkum byla i studie, využívající techniku korelačního průzkumu dat (Hataminezhad, 2019), kde byl vybrán náhodný vzorek 380 personálních a manažerských osob z výrobců spojených s modulárním průmyslem. Vstupy měření byly odpovědi z dotazníku, zaměřeného na ekonomiku modulární výroby. Data shromážděná pomocí inferenčních statistických metod a modelování strukturních rovnic byly zkoumány s ohledem na příčinné vztahy mezi vzájemně propojenými proměnnými. Výsledky ukázaly, že model může být použit pro statistickou optimalizaci modulární výroby. Další částí analýzy dat byl kauzální test. Výsledky naznačují, že sdílení informací v rámci integrovaných dodavatelských řetězců nemá pozitivní vztah k výkonu produktu a zároveň vývoj produktu nemá pozitivní vztah k výkonu produktu. Dále organizační koordinace má pozitivní vztah k výkonu produktu a sdílení informací má pozitivní vztah k modularitě produktu. Společný vývoj produktu nemá pozitivní vztah k modularitě produktu. Společný vývoj produktu má pozitivní vztah k modularitě produktu.

2.1.3 Udržitelnost

Pojem udržitelnost se ve vazbě na výzkumní aktivity Ústavu PI propojuje s fenoménem udržitelné výroby.

Pojem „udržitelná výroba“ označuje koncepční rámec pro výrobu, ve které producenti průmyslových výrobků usilují o eliminaci negativních dopadů výrobních systémů na výrobní prostředí, zdravotnickou bezpečnost zaměstnanců a následně na veřejné zdraví a životní prostředí. Úsilí konstruktérů, plánovačů výroby a procesních inženýrů je zaměřeno na minimalizaci negativních dopadů průmyslové výroby po celou dobu ekonomické životnosti produktu, počínaje vznikem produktového konceptu a konče ukončením životnosti produktu u zákazníka. Udržitelná výroba je charakteristická následujícími principy:

- Výroba je rezistentní vůči znečištění životního prostředí
- Výroba chrání energetické a environmentální zdroje
- Výroba je ekonomicky realizovatelná a udržitelná s ohledem na člověka i životní prostředí
- Výroba je spolehlivá, bezpečná a zdraví neškodná pro zaměstnance
- Produkt, jako výsledek výroby, je bezpečný s ohledem na životní prostředí a neškodný ve fázi jeho likvidace po ukončení životního cyklu.

Řada autorů se ve svém výzkumu věnuje problematice udržitelných výrobních technologií. Yazdani a kol. (2022) řeší ve svém výzkumu procesní a výrobní plánování udržitelných rekonfigurovatelných výrobních systémů s využitím kombinace multi objektových přístupů smíšeného lineárního modelu a heuristického přístupu využívajícího lagrangeovské diferenciální optimalizace pro hledání extrému. Výstupem modelu je výrobní množství produktu, přiřazovací matice druhu produktu k výrobní konfiguraci a účelové funkce nákladovosti, enviromentálního a sociálního zatížení. Nепreventivní problém plánování na jednom stroji (Rubalee a kol. 2019) je zaměřený na minimalizaci celkové nedochvilnosti a celkových nákladů na energii při sazbách za elektřinu v době používání, což je vícekritériální matematický programovací model se smíšenými čísly. K dosažení těchto cílů vyvíjí několik nových holistických genetických algoritmů. Navrhovaný model je řešen několika metodami, včetně metody váženého součtu a multikritériálních genetických algoritmů založených na pořadí dominance (GA-1), agregaci váženého součtu (GA-2), postupu pořadí dominance a porovnání vzdálenosti shlukování (GA-3) a heuristického přístupu (GA-H). Uvedený výzkum ilustruje, že řízení provozu, které je obvykle pozorováno jako významná procesní technologie, která umožňuje výrobě pracovat v náročném prostředí založeném na datech v ekosystému průmyslového internetu věcí, může také pečlivě optimalizovat výrobní proces, aby se zlepšily náklady na energii za účelem zvládnutí environmentálních výzev. Zjištění tak poskytují informace o tom, jakým způsobem nastavit časový a kapacitní procesní tok s ohledem na minimalizaci negativních dopadů na udržitelnost výroby. Poskytují podrobné experimentální výsledky hodnotící výkon navržených algoritmů. V případové studii ilustrují, jak by výsledky multikritériálního modelu mohly být využity při rozhodování pomocí techniky pro preferenci objednávek podobností s metodou ideálního řešení.

Výzkum Sobottka a kol. (2018) poukazuje na vývoj optimalizačního modulu pro použití v novém nástroji pro optimalizaci výroby – funkční závislosti procesního toku jsou podmíněné efektivnosti provozního režimu využitím technologie pokročilého plánování tak, aby plán a rozvrh výroby optimálně začlenil i parametry energetické účinnosti. Optimalizace spočívá v hybridní simulaci výrobních systémů jako vyhodnocovací funkce. Hybridní simulace byla vyvinuta a testována s ohledem na prokázání faktu, že umožnila dostatečné zvážení interakcí mezi tokem materiálu a tepelně-fyzikálním chováním výrobního systému. Velikost vyhledávacího prostoru pro komplexní optimalizační problém vyžaduje přizpůsobenou dvoufázovou optimalizační metodu, která je založena na genetickém algoritmu s ohledem na lineární omezení a rozšířené přizpůsobení. Výsledky získané v případové studii

zahrnující zařízení na výrobu potravin ukazují úsporu energie ve výši přibližně 20 procent spolu s významným nárůstem produktivity.

Golpira a kol. (2018) jako první představují koncept inteligentního energeticky efektivního plánování výroby (SEEPP) pro obecný výrobní systém dílenského rozvrhu práce využitím mikro sítě připojené k síti s produkcí větrné energie. Aby se vyrovnali s nepředvídatelností rychlosti větru a nejistotou plnění energetických požadavků, je matematicky formulován nový model robustního smíšeného celočíselného lineárního programování (RMILP) založený na rizicích. Posledním cílem modelu je minimalizovat celkové denní náklady systému s ohledem na poplatek za špičkovou poptávku. Výsledky ukazují schopnost navrhovaného integrovaného rámce dosáhnout konstruktivního kompromisu mezi odchylkami nákladů založenými na scénářích a nerovnováhou tepla a elektřiny s ohledem na postoj pracovníků s rozhodovací pravomocí pro posuzování rizika. Výsledky dále naznačují, že navrhovaný koncept SEEPP je schopen vyrábět produkty s nejméně o 1,95 % nižšími náklady než konvenční výrobní systémy, i když podporuje mnohem širší škálu požadavků na výrobky. Výkon modelu je analyzován a hodnocen z hlediska přesnosti, robustnosti a výpočetní efektivity.

Wu a kol. (2018) konstatují, že emise uhlíku související se spotřebou energie ze zpracovatelského průmyslu se staly podstatnou součástí ekologických zátěží. Aby snížili emise uhlíku, zavádí omezení emisí uhlíku do problému kapacitního vícepoložkového dimenzování šarží s neidentickými paralelními stroji. Cílem problému je uspokojit poptávku zákazníků po různých položkách v plánovacím horizontu s cílem minimalizovat celkové náklady bez porušení kapacitních a emisních omezení. Formulují problém se smíšeným celočíselným programovacím modelem a navrhují Lagrangeovou relaxaci s podporou metody generování sloupců pro zlepšení dolních mezí oproti relaxaci lineárního programování. Dále aplikují heuristiku nazvanou progresivní výběr k řešení problému a porovnávají heuristiku s jinými nejmodernějšími přístupy v literatuře. Výpočetní výsledky naznačují, že heuristika progresivního výběru je výpočetně traktovatelná a může získat vynikající výsledky při stejných výpočetních zdrojích. Kritický přehled některých stávajících modelovacích technik ve vazbě na spotřebu energie a tvorbu energeticky obnovitelných zdrojů (Sun, 2018) je součástí výzkumu řídicích a optimalizačních technik pro úsporu energie a snižování emisí uhlíku ve výrobních procesech. Studie o různých výrobních otázkách odhaluje různé úrovně inteligentních výrobních přístupů. Poté jsou shrnuty metody a strategie řešení otázek udržitelnosti ve výrobě. Nástroje pro modelování, jako je diskretní (dynamický) systém událostí (DES/DEDS) a multiagentní modelování/simulace (ABS), jsou přezkoumávány z hlediska plánování a řízení výroby. Tyto přístupy poskytnou určité pokyny pro

rozvoj pokročilého modelování továren, analýzu toku zdrojů a pomohou identifikovat potenciál zlepšení s cílem dosáhnout udržitelnější výroby.

Zarte a kol. (2018) představují koncept fuzzy inferenčního modelu pro vyhodnocení výrobních programů pro krátkodobé a střednědobé plánování výroby podle udržitelných ukazatelů. Uvedený přístup představuje kritéria pro výběr použitelných měření pro udržitelné plánování výroby, tři kategorie udržitelných ukazatelů pro hodnocení výrobních programů, postup pro vývoj fuzzy inferenčního modelu a možné akce pro optimalizaci výrobních programů pro zvýšení stupně udržitelnosti. V budoucích pracích bude v podnicích implementován fuzzy inferenční model, aby se ukázaly výhody udržitelného plánování výroby. S tím souvisí i přístup Avecedo-Ojeda a kol. (2020), kteří studují víceúrovňový problém dimenzování šarží s krátkou dobou životnosti surovin (znehodnocení suroviny) a objednáváním šarží. Několik druhů surovin podléhajících rychlé zkáze je pořizováno v šaržích od dodavatelů. Po přijetí se zvažují dvě různé dílčí úrovně zásob: primární speciální skladovací místo, kde může být materiál uložen tak, aby nedošlo ke znehodnocení, a sekundární místo v dílně, kde je materiál k dispozici pro výrobu a začíná se zhoršovat. Navrhli formulaci programování se smíšenými celými čísly pro daný problém a provedli výpočetní experimenty s analýzami citlivosti, čímž demonstrovali jeho potenciál pro praktické aplikace při plánování kompozitní výroby.

Podpora procesních přístupů v oblasti udržitelnosti výroby je propojená na vícero výzkumných počínů. Sarkis a kol. (2020) se ve své přehledové studii orientují na úlohu tradičních a nových digitalizačních a informačních technologií pro udržitelnost ekologicky orientovaných dodavatelských řetězců. Analyzují cca 120 přístupů, převážně z oblasti průmyslového inženýrství a datových systémů, publikovaných za posledních 50 let. Z pohledu digitalizace rozlišují úrovně strategickou, manažérskou, informačních systémů a transakční. Z pohledu funkčních oblastí udržitelných SCM pak vývoj a návrh, nákup, výrobu a zpracování, obchod a marketing, logistiku, finance, řízení lidských zdrojů. Procesní technologie je součástí i úvah o použití zpětnovazebního učení k řešení problémů plánování (Martins a kol., 2020), kde je podstatné přidělení dvou typů zdrojů s omezenou dostupností. Cílem je minimalizovat rozsah problému flexibilního plánování pracovních dílen s dvojitým omezeným zdrojem. Efektivní praktická implementace je pro průmysl velmi cenná, ale často se řeší pouze kombinací heuristiky a odborných znalostí. Je představen rámec pro školení agenta zpětnovazebního učení pro plánování různých dílen s omezenými duálními zdroji. Srovnání s jinými nejmodernějšími přístupy se provádí jak na jednodušších, tak na složitějších případech, než jsou ty, které se používají pro školení. Výsledky ukazují, že agent vytváří konkurenceschopná řešení pro malé instance, které mohou překonat implementovanou heuristiku, pokud mají

dostatek času. Před nasazením v reálném světě jsou zapotřebí další rozšíření, jako jsou termíny a omezení zdrojů na pracovní směny.

Problematika udržitelné výroby je zcela zásadním momentem i ve výzkumu Ústavu PI. Za tímto účelem byla definována metodika projektování komplexních výrobních postupů (zohledňuje i kritérium udržitelnosti) se zaměřením na projektování, modelování a simulaci kontinuálního výrobního systému pro vývoj a testování alternativních modelů výrobního procesu a na vývoj nových procesních a produktových technologií pro podporu automatizované a digitalizované výroby (Tab. 2):

Tab. 2: Metodika projektování komplexního výrobního postupu (zdroj: Chromjaková, 2024)

Návrh technologického konceptu výroby

- Návrh konceptu výrobního systému pro účely výzkumu projektování, plánování, organizování a rozvrhování výroby (layout pracovních stanic).
- Vytvoření obsahových a datových podkladů pro výzkum komplexní soustavy vzájemně propojených pracovních stanic (typově kombinace ruční výroba, automatizovaná montáž, on-line monitoring procesu atd.), datová analýza pro popis komplexního výrobního řetězce v rámci celkové průběžné doby výroby.
- Definice souboru konceptů, nástrojů a metod průmyslového inženýrství s cílem simulovat různé procesní režimy využitím flexibilního nastavení procesních a produktových parametrů výroby (např. sériová výroba, zakázková výroba, maticová výroba, modulární výroba a další), propojit uvedený soubor s definováním produktových požadavků s ohledem na konstrukci produktu, vyrobitelnost produktu, uživatelskou příručku a systémovou udržitelnost v rámci komplexního produktově-procesního řetězce.
- Nastavení schématu kvalitativního a kvantitativního výzkumu dat o výrobních procesech a propojení s partnerskými firmami s cílem získávání datových vstupů pro efektivní a udržitelnou výrobu.
- Datová analýza a výzkum parametrických závislostí datových informací a zpráv v procesních modelech, procesní modelování v tradičním, štíhlém, smart výrobním systému, konfrontace průniků a možných produktivních systémových vazeb. Orientace na preventivní, prediktivní datové analýzy s cílem získat nové znalosti o variabilitě, volatilitě, flexibilitě produktu ve výrobním procesu.

- Multiprocesní diagnostika četnosti výskytu jednoznačně definovaných hodnot vybraných procesních parametrů a ukazatelů se zaměřením na detekci, optimalizaci a verifikaci navrhovaných opatření ke zlepšení a snížení udržitelné zátěže produktu a výrobního procesu i ve vazbě na efektivní procesní výkon, procesní a časovou flexibilitu výrobního toku.
- Multifaktorová diagnostika variantního rozpětí hodnot prokazatelně dosažených v reálném výrobním procesu a konfrontace s plánovanými hodnotami, detekce analytických závěrů a konfrontačních souvislostí a závislostí procesních parametrů pro nastavení adekvátních funkcionalit datové analýzy v oblasti zlepšování a inovace výrobních postupů a procesů.

Návrh technického konceptu výroby

- Vytvoření sekvence technických zařízení (výrobní pracoviště, pomůcky pro řešení pracovního úkolu, doplnění HW pro vývoj projektové inovace a HW pro projektování a simulaci výrobního toku).
- Excel datové sestavy dle exaktně vymezených procesních parametrů, aktualizované datové sestavy pro účely kvalitativního a kvantitativního vědeckého výzkumu, následnou optimalizaci a inovaci koncepčního nastavení parametrických produktových a procesních analýz.
- Digitalizace obsahu aktuálních konceptů, nástrojů a metod průmyslového inženýrství do virtuálních návodů, digitalizovaných funkcionalit pro zadávání instrukcí, automatizovat zadávání instrukcí pro projektování a řízení výrobního procesu v 3 režimech (tradiční výroba – štíhlá výroba – smart (inteligentní) výroba).
- Instalovat SW nástroje pro podporu kvalitativní a kvantitativní statistiky, optimalizačních metod a digitálně podporovaného procesního rozhodování (simulační SW).
- Propojení informačních systémů a identifikace digitálních funkcionalit pro podporu výzkumu produktových a procesních dat, vývoj on-line aplikací pro podporu projektování a řízení výroby simulovaných produktů. Integrace pokročilých interních lokalizačních systémů (Real-Time Locating System (systém pro sledování pohybu materiálu a pracovníků v reálném čase).
- Využití scanneru pro on-line monitoring dat, propojení s SW pro vyhodnocování dat v reálném čase, vývoj digitalizovaných SW funkcionalit pro zvýšení kvality vstupů a výstupů v informačním systému pro produktové a procesní inovace

Cílem aktuálního výzkumu (2022-2026) je kontinuální propojování impulsů pro vědecký výzkum s ohledem na nejnovější technologické trendy v oblasti průmyslového inženýrství s oblastí inovací vývoje efektivních, flexibilních a bezpečných výrobních postupů a procesů, zahrnujících výzkum a aplikační

vývoj v oblasti řízení výrobních procesů, procesního a reverzního managementu, průmyslového inženýrství, logistiky, údržby, kvality, metrologie, ergonomie a implementačních technologií charakteristických pro Průmysl 4.0. Účelem výzkumu je propojit znalostní potenciál vědecko-výzkumných pracovníků FAME UTB ve Zlíně se znalostmi a zkušenostmi průmyslových firem, inovačních center, klastrů. Důvodem je vzájemné sdílení „best practices“ ze stávajících byznys modelů v oblasti vývoje produktů, projektování výrobních systémů, budování kultury inovačního ekocentra v průmyslových firmách s důrazem na udržitelnost využívaných zdrojů.

Posláním aktuálního výzkumu na Ústavu PI je identifikovat a popsat klíčové faktory implementace prvků Průmyslu 4.0 a pokročilých metod průmyslového inženýrství do hodnototvorného řetězce podniků ve Zlínském kraji za účelem maximalizace jejich vlivu na zvýšení výkonnosti výrobních procesů s dopadem i na udržitelnost výroby. Očekávané výstupy výzkumu lze formulovat do následujících kategorií:

1. Identifikovat a popsat klíčové faktory implementace moderních technologií reverzního inženýrství ve fázi výzkumu a vývoje inovovaného výrobku, konkrétně při návrhu, vývoji a výrobě individuálních balančních podložek.
2. Identifikovat a popsat klíčové faktory implementace technologií reverzního inženýrství, inovativních strategií obrábění a dalších moderních nástrojů v předvýrobních etapách, konkrétně při renovaci a výrobě tvarových částí vstřikovacích forem nebo tvarovacích vložek tvarovacích stojů.
3. Identifikovat a zhodnotit klíčové faktory implementace a využití nástrojů pro sběr provozních dat za účelem zvýšení výkonnosti výrobních a logistických procesů.
4. Zhodnotit vliv využití počítačové simulace pro zvýšení výkonnosti výrobního systému a vytvořit model pro její začlenění do každodenní provozní rutiny za účelem dlouhodobě udržitelné výkonnosti.
5. Identifikovat a zhodnotit klíčové faktory implementace moderních ergonomických pomůcek a také nových nástrojů a aplikací využívaných při hodnocení rizikových faktorů v oblasti ergonomie, konkrétně fyzické zátěže při výkonu výrobních, logistických a administrativních činností za účelem zvýšení produktivity pracovníků a tím také výkonnosti dotčených procesů.
6. Identifikovat a zhodnotit klíčové faktory implementace moderních technologií a nástrojů v oblasti BOZP za účelem eliminace negativního vlivu fyzikálních škodlivin na výkonnost výrobního procesu.
7. Identifikovat a zhodnotit klíčové faktory implementace moderních technologií v oblasti řízení kvality, zejména pro testování kvality vstupních materiálů, ale i polotovarů a výrobků vlastní výroby nebo obalových materiálů a posoudit jejich vliv na výkonnost celého výrobního systému.

2.1.4 Inteligentní výroba, Lean, Průmysl 4.0

Průmyslové společnosti v současné době investují značné prostředky a úsilí do procesu interakce člověka s kobotem (Zaatari, 2019) s důrazem na standardizované postupy na pracovišti. Návrh vzájemných interakcí, flexibilní plánování výroby a organizace realizované pomocí strojních senzorů jsou pro digitalizované výrobní rozvržení klíčové. Řada autorů poukazuje na potřebu správné regulace velikosti výroby, montážních procesů, organizace, procesů a optimalizace životního cyklu. Velikosti součástí a požadované tolerance produktů mají silný vliv na lidskou produktivitu, zejména pokud jde o čas, kdy montážní úkoly vyžadují vysokou úroveň přizpůsobení (Salmi a kol., 2008). Vícerozměrná a interdisciplinární orientace se stala klíčovými atributy digitalizovaného pracoviště v procesech (Brahma, 2019).

Stroj dokáže provést plánovanou práci na základě zadaných instrukcí. Je také schopen provádět opakující se úkoly v předvídatelném prostředí. Znalosti jsou rozhodně něco, o co musíme usilovat, a znalosti musí jít nad rámec pochopení zavedené technologie. Silné a slabé stránky procesního uvažování jsou odolné vůči změnám. Analýza pracoviště odhaluje etické otázky, které vyžadují pozornost manažerů, vlastníků a správců. Pracovní situace pro vykonávané práce jsou obvykle spojeny s relevantními lidskými a technickými kvalifikacemi, což jsou důležité předpoklady pro úkoly prováděné během výrobního procesu. Relevantní popisy práce na pracovišti znamenají, že člověk definoval požadované kroky práce, metriky pro hodnocení výkonu, motivační faktory pro zlepšení procesu a relevantní vzájemné vazby s ostatními lidmi nebo kolaborativními roboty. Podobně, když potřebujeme hodnotit, plánovat a organizovat budoucí činnosti na pracovišti, musíme identifikovat specifické problémové oblasti, které se vyskytly v minulých procesech. Procesy neustálého zlepšování mají potenciál přijímat adekvátní opatření zaměřená na zlepšení digitálně spravovaných toků materiálů a informací. Dále přispívají ke zvyšování kvalifikace lidí a vykazování aktivit kobotů v závislosti na výkonu a efektivitě procesů. Transformace tradiční štihlé výroby do prostředí konceptu Průmyslu 4.0 si vyžaduje radikální změnu paradigmatu ve způsobu uvažování o konstrukci procesního řízení v digitalizovaném prostředí.

Cílem našeho výzkumu bylo analyzovat klíčové předpoklady efektivní spolupráce člověka a kolaborativních robotů a na základě této analýzy definovat katalog předpokladů a standardů pracovních procesů pro etické pracoviště člověka a kolaborativních robotů. Logika výzkumných aktivit se zaměřila na etiku na pracovišti s cílem dosáhnout stabilní úrovně etiky na pracovišti. Ta by měla zahrnovat spokojenost lidí s realizovanými pracovními výstupy na

pracovišti, co je nezbytný předpoklad stability požadované procesní výkonnosti (Tab. 3). Nejprve jsme identifikovali vhodné parametry pro etiku na pracovišti jako základní pilíře metodologie a výzkumné orientace pro individuální rozhovory.

Tab. 3: Nastavení výzkumné metodiky analýzy kolaborativního pracoviště (zdroj: Chromjaková)

INTEGROVANÉ PRACOVIŠTĚ „ČLOVĚK – KOBOT“			
Layout výrobních operací	Procesní mapa pracoviště	Výrobní operace „člověk-kobot“	Produktivita pracoviště
Standardizované pracovní postupy a layout	Detailní definice realizovaných úkolů, stabilita nastavení procesního toku	Koordinace mapy pracoviště, rozložení a náplň pracovních postupů	Měření procesního výkonu hybridního pracoviště
Plánování a organizace kooperativního procesního toku „člověk – kobot“			

Výzkumné otázky byly rozpracovány a zaměřeny na systematickou kvalitativní a kvantitativní analýzu v 250 průmyslových společnostech. Cílem této fáze bylo identifikovat etiku pracoviště ve vazbě na produkovaný výkon mezi člověkem a kobotou. Výzkum byl realizovaný v letech 2018–2021 ve vybraných malých a středních podnicích v České a Slovenské republice. Testované průmyslové společnosti zahrnovaly čtyři průmyslové oblasti: automobilový průmysl, strojírenství, elektrotechniku a chemický průmysl.

Byla použita následující struktura výzkumných otázek (Tab. 4):

1. Etický procesní tok na pracovišti: Jaký typ procesního toku využíváte pro etickou spolupráci člověka a kolaborativního robota?

Tab. 4: Etický procesní tok na pracovišti (zdroj: Chromjaková)

Typ procesního toku	Automotive společnosti	Strojírenské společnosti	Plastikářské společnosti	Chemické společnosti
Digitálně řízený rozvrh pracoviště	87	37	46	18
Proces výkonu člověka v závislosti od kobota	92	42	47	23

Standardizace operace dle taktu člověka	94	45	46	28
Měření produktivity práce pracoviště	111	47	47	26
Počet SMEs v dané kategorii	120	50	50	30

2. Definice procesních úkolů na kolaborativním pracovišti: Ovlivňuje nastavení pracovního výkonu a s tím souvisejících pracovních úkolů etiku a efektivní spolupráci mezi člověkem a kobotem?

Závěry:

- komplexnost jednoznačné definice pracovního postupu ovlivňuje taktový čas člověka i kobota (247 společností),
- digitalizace vizuálního postupu výrazně ovlivňuje procesní výkon člověka a snižuje psychickou zátěž vyvolanou procesním časem kobota, pokud je řazený kobot před pracovištěm člověka (185 společností),
- on-line časové plánování a rozvrhování výroby se primárně řídí tahem a taktovým časem kobota (135 společností),
- řazení objednávek v procesním toku závisí od priority času ukončení objednávky pro zákazníka, rozvrh je podmíněný taktovým časem kobotů, řazených v procesním layoutu (196 společností).
- rozvrhování výroby se řídí nastaveným výrobním plánem, v dílenském provozu ale bere v potaz aktuální procesní konflikty (porucha stroje, chybějící materiál apod.) (167 společností).

Z uvedených závěrů vyplynuly požadavky na modelování typu hybridní spolupráce „člověk – kobot“ následovně: digitalizovaný procesní tok je klíčovým předpokladem pro on-line nastavené procesní řízení vybraného layoutu, přeplánování vybraného procesního úkolu je možné pouze se souhlasem vlastníka nejdelšího cyklového času v procesním toku, strojové učení je nutným předpokladem pro standardizaci kolaborativních výrobních operací a propojení s digitálním monitoringem vybraných procesních ukazatelů se ladí v závislosti od aktuální dostupnosti procesních časů. Nastavený model využívá následující ukazatele výkonnosti hybridního procesního toku:

1. Disponibilita kontinuálního výrobního toku na pracovišti „člověk – kobot“ (D_{KVT})

= plánovaný disponibilní čas výrobního toku (p_{tv}) – plánovaný čas údržby ($p_{tú}$) – plánovaný čas preventivní údržby (p_{tprev})

2. Digitální detekovaný procesní čas výrobní operace (e-lead time) (TD_{PT})

= čas zadávání procesní instrukce (t_{in}) + cyklový čas operace (c_i) + systémový reakční čas náběhu operace (st_{in}) + systémový reakční čas ukončení operace (st_{out})

3. Systémem detekovaný reakční čas procesního konfliktu ($RČPF_T$)

= čas nedisponibility pracoviště pro výkon (t_{unav}) + čas řešení konfliktu (t_{res}) + testovací čas po opravě (t_{tes}) + náběhový čas na plný výkon ($t_{náb}$)

4. Index komplexity datové podpory výrobní operace (DPO_{ind})

= celkový počet digitalizované podpory procesního toku (DP_T) / počet digitálně řízených operací v procesním toku (PT_C)

5. Faktor etické kooperace „člověk – kobota“ (F_{EC})

(1,0 – kompletní nastavení, 0 – nenastavený proces, úroveň se odvíjí od % plnění plánovaného času na konkrétní pracovní výkon)

- F_p – úroveň procesní stability pracovního výkonu $<1,0 - 0>$

- F_{pr} – úroveň produktové stability pracovního výkonu $<1,0 - 0>$

- F_{per} – úroveň stability pracovního výkonu člověka $<1,0 - 0>$

- F_{kob} – úroveň stability procesního výkonu kobota $<1,0 - 0>$

$$F_{EC} = F_p + F_{pr} + F_{per} + F_{kob}$$

Argumentace faktoru etické kooperace: hodnota $F_{EC} <1,0>$ detekuje plně eticky kompatibilní pracoviště, hodnota $F_{EC} <0>$ detekuje nepřipravenost pracoviště pro procesní výkon.

Uvedený výzkum se zaměřil i na definici stěžejních procesních parametrů, ovlivňujících kontinuální kolaborativní spolupráci „člověk – robot“:

- systémové funkcionality procesního postupu umožňují kompletní připravenost pracoviště na požadovaný výkon,
- databáze pracovního postupu je podpořená navigační mapou a digitálně podporovaným pracovním standardem,
- on-line monitoring umožňuje přerušování pracovního postupu v případě vzniku procesního konfliktu na pracovišti,
- zpětná vazba informačního systému v případě procesního konfliktu poskytuje kolaborativnímu pracovišti okamžitý feedback (např. přerušování práce, změna pracovní operace, e-návodka na eliminaci příčiny konfliktu apod.),
- IP adresy procesu, produktu, pracovníka a kobota jsou v souladu s pracovní náplní, kompetencemi a odpovědnostmi člověka i kobota,
- Integrace cloud computingu reflektuje procesní změny on-line v přepojení na strojové učení a big data specifikace daného výkonu.

Standardizace procesu kolaborativního pracoviště, která vychází již z funkčních a zavedených pilířů štíhlé výroby obsahuje následující, modelově navržené a v aplikační praxi ověřené kroky (Tab. 5).

Tab. 5: Kroky standardizace procesu kolaborativního pracoviště (zdroj: Chromjaková)

KROK	ZÁKLADNÍ OBSAHOVÁ SPECIFIKACE
Integrace plánu a rozvrhu pracoviště	Procesní ID propojené celou objednávkou a identické kódy pro celý procesní tok vybraného produktu
Digitalizace pracovního výkonu	Navigační mapa pracovního postupu a procesního toku, hybridní dělba práce, monitoring procesního výkonu
Verifikace procesního výkonu	On-line transfer dat ve formátu procesních ukazatelů v propojení na on-line výkonový feedback a nápravná opatření na pracovišti
Podpůrné procesy	Nastavení on-line flexibilní údržby, toku materiálu, řazení přetypování a plánovaných přestávek člověka i kobota.
Údržba kolaborativního pracoviště	Definice časových intervalů přerušení procesního toku s ohledem na rozvrh práce, detailní standard údržby kolaborativního pracoviště pro pracovníka údržby a správce informačního systému kolaborativního pracoviště.

Podstatnou součástí konceptu Lean je i metodika mapování toku hodnot. Dle Kaiser a kol. (2019), kteří se intenzivně věnují tvorbě koncepčního rámce z pohledu mapování toku hodnot, lze konstatovat, že se jedná o zásadní metodou štíhlé výroby a široce používanou pro efektivní plánování výrobních systémů. Soustřeďují se na stávající slabá místa mapování procesů výroby, jako je nejistota rozhodování nebo volba neoptimálních návrhů. Navrhují rámec pro systematický pokrok produktivity budoucího stavu procesního toku, který identifikuje možné varianty plánování a logistické vzájemné závislosti v rámci mapy toku hodnot. Tento přístup využívá morfologii tlakového schématu procesního toku s flexibilními proměnnými a určuje, kdy je potřeba vzít v úvahu alternativy na základě specifických požadavků na tok hodnot. Výzkum je základem pro další systematické rozvíjení metodiky mapování toku hodnot a hodnocení alternativ flexibilních výrobních a logistických systémů.

Canas a kol. (2021) ve své studii analyzují konceptuální rámce pro výrobní plánování, vycházející z 10 principů Průmyslu 4.0 a na základě 26 klíčových slov, vyskytujících se ve 130 zdrojích usilují o deklaraci faktu, že systémové

pochopení procesního toku je zásadní pro optimální plánování a rozvrhování výroby. Uvádějí 11 zdrojů, které se zabývají plánovacími modely konceptuálními, analytickými, umělé inteligence a simulačními. Řada autorů před uvedenou studií deklarovala potřebu, identifikovat stěžejní pilíře procesování výrobních aktivit v čase. Jedním z řady je metodika pro podporu návrhu, výroby a plánování montáže v kontextu strojírenských, zakázkově orientovaných společností (ETO) (Cannas a kol. 2018). Metodika kombinuje plánování požadavků projektu s nástroji štíhlého řízení a vizuálními nástroji pro kontrolu a řízení procesního toku. Úspěšně se uplatnila ve společnosti, která ukazuje svůj potenciál pro zvýšení výkonnosti plánování, flexibility společnosti a v konečném důsledku i výkonnosti dodávek.

Přechod na inteligentní procesní výrobní technologie je přímo propojený na vývoj nových inteligentních produkčních konceptů. Denkena a kol. (2021) rozšiřují koncept inteligentní výroby o biologický prvek DNA. Optimalizační problémy a predikční modely jsou v této souvislosti rozšiřovány o modely umělé inteligence využívající neuronové sítě a genetické algoritmy např. pro optimalizaci řezných parametrů nebo určení pořadí zpracování v procesní DNA. Případová studie modelu v Plant Simulation ukázala snížení průběžného času výroby až 48% v důsledku vyššího využití kapacity. Prvek DNA se stal v posledních letech klíčovou součástí smart produkčních procesních modelů, důvodem je stochastický charakter výrobních systémů, které se jako systém chovají v určitých parametrech stabilně a v určitých vykazují známky nejistoty. Právě podstata DNA umožňuje koncentrovat výzkumné úsilí na vědecké bádání v prostoru nejistoty, co umožňuje identifikovat procesní závislosti DNA v určitém procesním prostředí. Závěry jsou zcela zásadními vstupy pro tvorbu inteligentní podpory procesních IT podporovaných technologií. S uvedeným poznáním souvisí i studie, která se soustřeďuje na tvorbu procesního modelu pro integraci digitálních prvků do štíhlých výrobních systémů (Rybski a kol., 2020). Autoři využili výzkumnou metodu on-line dotazníků pro cca 300 účastníků z různých odvětví a velikostí společností. Cílem zkoumaného procesního modelu bylo podpořit průmyslové firmy při integraci prvků Průmyslu 4.0 do štíhlého výrobního systému bez ohledu na velikost organizace. Účelem uvedeného přístupu bylo popsat fáze modelu jako první základ pro další rozpracování, které by se mohlo zaměřit na detailní návrh jednotlivých fází modelu transformace štíhlého systému do smart systému výroby. Identifikované digitální prvky Průmyslu 4.0 navíc vytvářejí první základ pro výběr pilotních projektů souvisejících s existujícími výzvami transformace lean na smart koncept. V této souvislosti by měla být dále zkoumána adaptabilita štíhlého konceptu do inteligentních schémat již používaných a verifikovaných prvků Průmyslu 4.0. K dispozici jsou závěry i dalších výzkumných aktivit v uvedeném směru. Například prezentace případové studie společnosti GPV Group k efektivitě využívání různých technologií IoT, deklarace jejich pozitivních

i negativních atributů, s cílem identifikovat vhodné technologické řešení pro sledovatelnost produktů na úrovni dílny v kovoprůmyslu (Beliaty a kol., 2021). Rovněž rozbor použitelnosti generických aspektů hodnotících modelů štlhlé chytré údržby s využitím dat tří projektů z organizací s rozdílným typem výroby (Maier a kol., 2020), orientovaný na prezentaci vzájemné podpory hlavního a podpurného procesního konceptu. Výsledky ukazují, že modely mohou být vzájemně prospěšně využity pro systém zlepšení řízení výroby jako komplexního celku, a to nezávisle na typu výroby, jednoúčelové, hromadné či kontinuální. Zajímavým přístupem v této souvislosti je výzkum Alieva a kol. (2020), kteří ve svém výzkumu koncepčního rámce koncentrují pozornost na skutečnost, zda má neefektivní využívání dat negativní dopad na výkonnost výroby z hlediska rozhodovacího procesu. Polostrukturované rozhovory byly provedeny ve dvou předních výrobních společnostech ve Švédsku, které se řídí principy štlhlé výroby. Byla definována nová forma odpadu, digitální odpad. Tento článek navrhuje uvažovat o digitálním odpadu jako o novém typu muda (odpadu), což je jeho teoretický přínos. Z praktického hlediska výsledky dokumentu povzbuzují odborníky z praxe, aby věnovali zvláštní pozornost analýze dat, pracovali na snižování digitálního odpadu a vytvořili nové vstupní kanály založené na analýze dat.

Schuh a Wetzchewald (2019) ve svém koncepčně zaměřeném konferenčním příspěvku uvádějí, že v prostředí neustále rostoucí dynamiky trhu a s tím spojené rostoucí složitosti podnikových struktur a jejich výrobních procesů jsou výrobní společnosti nuceny se tomuto prostředí přizpůsobovat. Informační technologie jsou proto klíčem k tomu, aby výrobní společnosti znovu získaly suverenitu nad svými vlastními výrobními procesy. Digitální propojení prostřednictvím vlastní společnosti a také celého dodavatelského řetězce může uspět pouze tehdy, pokud digitální plánování co nejpřesněji odráží realitu a pokud řízení výroby dokáže reagovat na odchylky v reálném čase. V podstatě to vede k rozvoji řízení procesů směrem k regulaci procesů. Zatímco dlouhodobé plánování výroby a zdrojů je obvykle mapováno systémy plánování podnikových zdrojů (ERP), podrobné plánování, včetně krátkodobých odchylek a dat v reálném čase na úrovni výroby, je stále více podporováno systémy MES (Manufacturing Execution Systems) na úrovni řízení výroby. Aby však bylo možné standardizovaným způsobem sladit základní systémové koncepty s úsilím Průmyslu 4.0, má zásadní význam vzájemná funkční integrace v rámci interoperabilního plánování a řízení výroby. Za tímto účelem byly provedeny studie zejména příčinných vztahů. Zastřešujícím cílem výzkumu je tedy platný návrhový model pro zvýšení spolehlivosti a stability řízení systémů plánování a řízení výroby (PPC) v kontextu Průmyslu 4.0.

Giehl a Wiedermann(2018) zdůrazňují, že individuální zákaznický orientovaná výroba je současným trendem souvisejícím s paradigmatem Průmyslu 4.0.

Vytváření návrhových souborů produktů zákazníky je stále častější. Tyto soubory produktových návrhů jsou obvykle generovány mimo hranice společnosti a poté převedeny do průmyslové firmy, kde jsou nakonec zpracovány a naplánovány do výroby. Z hlediska bezpečnosti to představuje nové vektory kolaborace zaměřené na producentské společnosti (zákazník – projektant produktu – výrobce produktu). Jedná se o zcela inovativní koncepční rámec kolaborativní spolupráce vícero aktérů průmyslového trhu. Podstatným rizikem zatím zůstává, a to je i námět na další vědecký výzkum i na Ústavu PI, aby návrhové soubory s nedostatečně definovanými konfiguračními parametry, s ohledem na vyrobiteľnosť produktu u výrobcu, doznaly jednoznačného souladu technických produktových a technologicky vyrobiteľných specifikací u všech článků uvedeného koncepčního rámce. Lidské ověření návrhových souborů je náchylné k chybám, proto je poptávka po vývoji automatizovaných a digitálně podporovaných řešení. Jako příklad je navržen grafově-teoretický modelovací rámec pro obráběcí stroje schopný ověřit bezpečnost návrhů výrobků. Tento rámec se používá k modelování příkladného výrobního procesu implementovaného v dřevozpracujícím závodě na základě zkušeností z případové studie z reálného světa. Simulace modelovaného scénáře ukazuje proveditelnost rámce. Kromě bezpečnostního ověření lze tento přístup přijmout při rozhodování, zda lze návrh výrobku vyrobit s danou sadou obráběcích strojů. K uvedenému tématu stojí za zmínku i speciální číslo Společnosti pro výrobní inženýrství (MES), publikované v sekci "Výrobní procesy a systémy" časopisu Materiály (Rubio, 2018), které se zaměřuje především na aplikace a klíčové aspekty zpracování materiálů a shromažďuje soubor 48 původních článků zaměřených na oblast výrobního inženýrství a zpracování materiálů. Převážná část příspěvků se zaměřila na aditivní výrobu a 3D tisk, další na inovaci ve výrobních procesech obrábění, tváření a lisování a svařování, výrobní systémy, stroje, zařízení nástroje, metrologii, řízení kvality, řízení životního cyklu výrobků a rizika při řízení výroby. Jedná se o komplexní pohled na technologickou podporu kolaborativních zákaznických řešení pro specifikované výrobní systémy.

2.1.5 Digitalizace, optimalizace, predikce, simulace, strojové učení

V posledních letech se firmy intenzivně zajímají o digitalizaci procesů, internet věcí, strojové učení nebo big data nástroje. Všechny iniciativy v těchto oblastech se zaměřují na správnou kompatibilitu procesních parametrů. Implementací obou konceptů se potýkáme s klíčovým požadavkem: mít stabilní procesy ve výrobě a ve výrobě podporovat procesy maximalizací přidané hodnoty. Mnoho vědeckých prací popisuje budoucí stav, ale ve většině případů v roce 2025 hledáme možnosti, jak

postupně integrovat Průmysl 4.0 do firem – často zde hovoříme o revoluci v řízení, myšlení a životě v rámci našich tradičních procesních modelů. Denně v naší praxi můžeme sledovat důležitou změnu: počítače již nebudou nástrojem, ale v každém průmyslovém podniku budou „digitálním managementem“. A pokud tento stav inicializujeme v rámci Průmyslu 4.0, musíme mít sladěné určené interní a externí podnikové procesy. Budoucím cílem je vize odpovídající autonomní digitální funkcionalitě. Firmy mohou být úspěšné v jakémkoli odvětví, ale pouze pokud využijí svůj intelektuální kapitál k nalezení zdrojů konkurenční výhody. Inovace procesů ve výrobních a administrativních procesech se musí odrazit v systémech lidské výkonnosti, procesech a kompletně v technologiích výroby. Úspěšnost implementace konceptu Průmyslu 4.0 silně závisí na správném pochopení lidí, integrovaných do těchto nových procesů změn ve 4. průmyslové revoluci. A to je kontinuální úkol výzkumu i na Ústavu PI.

Jedním z nástrojů, které silně zasahují do výkonnosti digitálních procesů je virtuální realita (Izdebski, 2018), která poskytuje jedinečnou příležitost ke zlepšení moderních procesů plánování výroby. Použitím pohledu první osoby a těla uživatele jako zdroje realistických omezení může každý uživatel zažít problémy návrhu na dané pracovní stanici. Založením designu VR User Experience, v teoriích ztělesnění objektů a procesních vazeb, přináší tato svým způsobem revoluční technologie nové paradigma do myšlenkových procesů člověka, působícího v tvořivém cyklu plánování výroby – firmy intenzivně začínají využívat metodiku Embodied Engineering (EE). Na to navazuje řada specializovaných podpůrných nástrojů. Rozanec a kol. (2022) se ve svém výzkumu zabývají významem rozvoje SW platform pro výrobní plánování a předpovědi poptávky. Uvádějí ontologický koncept vymezení základních pojmů pro výrobní plánování a předpovědi poptávky a jejich vzájemných souvislostí. Optimalizační model pro řešení integrovaného problému výrobního plánování a řízení výroby (Toth, 2021) byl cílem výzkumu, podporujícího integraci člověka a technologie. Účelem bylo vytvořit detailní výrobní plán pro komplexní výrobní systém a simultánní rozvrhování, řízení kvalifikovaných manuálních pracovníků. Pro potvrzení významu výkonnosti lidských zdrojů pro primární výrobní operace byla vytvořena rozšířená na simulaci založená procedura multikriteriální algoritmus, řídící různou dostupnost omezení paralelních pracovních stanic, dělníkův pracovní procesní čas pro různé typy výrobků a procesního plánu. Algoritmus v prostředí Plant Simulation může využívat podpory vstupních dat z podnikových informačních systémů (ERP, MES) a prostředků podpory moderních technologií (IoT, cloud computing, big data). Numerické řešení je prezentováno v případové studii a poukazuje na nezbytnost systémové integrace různých SW produktů pro podporu digitálně řízené výroby.

Grassler a Pohler (2018) zdůrazňují, že současná témata výzkumu výroby, jako jsou kybernetické fyzikální výrobní systémy, Průmysl 4.0 a strojové učení, se zabývají vylepšením řídicích systémů strojů pro vytvoření samořídících výrobních systémů. Jejich příspěvek ukazuje přístup k přidávání doplňkových nástrojů pro získávání a zpracování informací výkonným procesním a technickým jednotkám, s cílem umožnit decentralizované rozhodování. Proto byly počítače s dalšími senzory a komunikačními zařízeními přidány do každé součásti výrobního systému. Tato změna výrobního stroje na samořídící kyberneticko-fyzikální zařízení je zásadním krokem vpřed, výrobní a logistické stanice jsou koordinované z jednoho centra a pracovní instrukce tvoří digitálně generovaný systémový celek pod dohledem inteligentního algoritmu s napojením na zaměstnance.

Počítačová podpora výroby a digitalizace procesních postupů je propojená s dalšími klíčovými technologiemi (Denkena, 2019a). Využití potenciálu existujících výrobních dat uložených v systémech MES (Manufacturing Execution Systems) vyústilo do vývoje metody pro automatizovanou zpětnou vazbu výrobních dat, která zaručuje systematickou aktualizaci dat výrobního plánu pouze na základě MES dat. Výsledky ukazují, že MES může poskytnout dostatečnou databázi pro adaptivní plánování práce a přístupy k řízení výroby. Vyvinutá metoda může být navíc použita k identifikaci vhodných pracovních stanic a kategorií měření pro další implementaci senzorů. Významným přínosem je přístup Denkena a kol. (2020), kteří představují metodu pro poskytnutí znalostí o době trvání poruchy odhadem doby trvání selhání obráběcího stroje na základě předchozích dob trvání selhání. Pomocí mezioborového standardního procesu dolování dat (CRISP-DM) a statistických metod je vložený model pro klasifikaci poruch a dobu trvání neustále zlepšován. Metoda je důkladně testována pomocí více distribučních funkcí (normální, logaritmická Weibullova), parametrů a praktického případu použití. Výsledky ukazují vysoký potenciál pro předvídání doby trvání poruch obráběcích strojů, což by následně mohlo vést ke zlepšení kvality přeplánování.

Přehledová studie Xu a kol. (2021) poskytuje celostní analýzu výzkumů týkajících se technik optimalizace operací, simulací, plánování a rozvrhování výroby, rozvrhování propojení a pomocných prostředků v metalurgické výrobě. S ohledem na různorodost procesních cílů, větší počet systémově detekovaných omezení a nahodilosti jejich výskytu většina autorů preferuje simulační modely. I na Ústavu PI se věnujeme uvedené problematice, modelování a simulace za podmínek nejistoty zohledňujeme naše datové zdroje z různých průmyslových firem a procesních podmínek. Je důležité, zkoumat vliv změny deterministického procesního parametru parametrem stochastickým, uvedená znalost výrazně determinuje strukturální nastavení datových analýz, směřujících

k definování firemně specifických big data schémat, použitelných následně pro strojové učení. To je spojeno i s výzkumem Ma a kol. (2022), kteří představují dynamický hierarchický mechanismus optimalizace spolupráce pro plánování a rozvrhování procesů podle optimálního rozhodování otevřené crowd sourcingové platformy. Je vytvořen dvouúrovňový smíšený nelineární programovací model, ve kterém působí platforma jako vůdce a výrobní podniky jako následovníci. Model se řeší vnořeným genetickým algoritmem. Postup je prezentován na případové studii výrobce automobilových dílů a otevírá prostor pro úvahy o kombinaci cloudových procesních rozhraní s crowd sourcingovým přístupem založeným na detailních datových analýzách. Strategické hledisko disponibility výrobních technologií je základem výzkumu koncepčního modelu (Engbers, 2021), integrujícího proces řešení problému ve výrobním systému (zlepšení, inovace), plánování výroby a údržby, které jsou obvykle řešeny odděleně. Po představení předpokladů pro pokročilé strategie údržby a prediktivní prognostické metody je prezentován koncepční model založený na diskretních simulacích a meta learningovém systému. K tomu ve značné míře napomáhají i inovativní přístupy, založené na studiu vícero procesních systémů (Arinez, 2020), které přezkoumávají nejmodernější aplikace AI pro reprezentativní výrobní problémy, poskytují systematický pohled na závislosti dat a procesů, které musí automatizovaný systém rozvrhování informací (ASI) správně pochopit a identifikují výzvy a příležitosti k dalšímu využití AI pro výrobu a ovlivnění budoucího vývoje AI, tak aby více vyhovoval potřebám výroby. Z uvedeného důvodu, správného pochopení informace digitalizovanou technologií, je zajímavé pojednání Coronaro-Medina a kol. (2020), kteří analyzují zprostředkující účinek absorpční kapacity na vztah mezi digitální transformací z pohledu kapacit e-business a inovací produktu. Data průzkumu vzorku firem z vysoce digitalizovaných sektorů s využitím modelování strukturálních rovnic prokázala, že znalosti získané z digitálního provozu podniku mohou vést k produktové inovaci tehdy, jestliže absorpční kapacita hraje zprostředkující roli. Vymezili tím další směr výzkumu a sice, zaměření na detekci inteligentních parametrů absorpční kapacity datových souborů pro plánování a řízení výroby.

Cadavid a kol. (2020) prezentovali zásadní přehledovou studii s dvěma hlavními cíli: přispět k definování metodiky pro provádění strojového učení v systémech plánování a řízení výroby (ML – PPC) a navrhnout mapování pro klasifikaci vědecké literatury s cílem identifikovat další perspektivy výzkumu. K dosažení prvního cíle se přezkoumávají techniky, nástroje, činnosti a zdroje dat strojového učení, které jsou nutné k implementaci ML-PPC. Druhý cíl je rozvíjen prostřednictvím analýzy případů použití a adresovaných charakteristik I4.0. Výsledky naznačují, že 75 % možných oblastí výzkumu v oblasti ML-PPC je sotva

prozkoumáno nebo není řešeno vůbec. Tento nedostatek výzkumu má dvě možné příčiny: za prvé, vědecká literatura při propojování strojového učení s PPC zřídka bere v úvahu aspekty týkající se zákazníků, životního prostředí a člověka. Za druhé, nedávné aplikace zřídka spojují PPC s logistikou a také s návrhem produktů a procesů. V neposlední řadě jsou při implementaci ML-PPC modelů identifikována dvě klíčová úskalí: složitost využívání technologií internetu věcí ke sběru dat a obtížnost aktualizace modelu strojového učení tak, aby se přizpůsobil změnám výrobního systému.

Vzhledem ke složitosti výrobních systémů více strojů a více typů výrobků s nejistou poruchou (You, 2020) je obtížné dosáhnout dobrého řídicího efektu pouze pomocí politiky řízení zajišťovacích bodů, resp. bodů rozpojení systémové komunikace procesního modelu. Pro optimalizaci celkových výrobních nákladů při neustále se měnících požadavcích navrhují autoři matematický model integrované řídicí politiky, která kombinuje politiku řízení prioritizovaných zajišťovacích bodů (PHP) s plánováním výrobní kapacity během výroby. Rozhodovací proměnné jsou získávány genetickým algoritmem optimalizace roje částic (PSO). Simulační experimenty ukazují účinnost navrhované integrované řídicí politiky při řízení výrobních nákladů pro výrobní systém pro více strojů a více typů výrobků. S tím souvisí i přístup Chen a Wang (2021), kteří ve své studii navrhnou fuzzy střednědobý model plánování výrobních kapacit výroby založený na cloudu. Může být aplikován na výroby s různým stupněm automatizace. Je formulován fuzzy nelineární programovací celočíselný model pro vytvoření střednědobé a dlouhodobé kapacity a výrobního plánu. V navrženém modelu jsou zkoumány manažerské důsledky využití aplikace senzorů v cloudových systémech pro prediktivní údržbu a využití sběru výrobních informací v reálném čase založeném na RFID. Ve své podstatě uvedená metodika zdůrazňuje nezbytnost konceptu intuitivního rozhodování s podporou prognostického rozvrhování.

Z hlediska budoucího vývoje digitálních a simulačních technologií pro podporu smart výrobních procesů je markantní úsilí o využití modelovacích a simulačních procesů v továrnách budoucnosti (Grznár a kol. 2020). První část popisuje nové výrobní koncepty, použité v továrnách budoucnosti s popisem modelování a simulačního směřování v rámci Průmyslu 4.0. Další část popisuje, jak se simulace používá pro řízení výrobních procesů, přičemž se aktivně zaměřuje na detailní popis aplikace meta modelování, známe pod názvem ZIMS (Zilina Intelligent Manufacturing System) s příkladem aplikace meta modelování a získanými výsledky. Významným sdělením je koncentrace na vzájemné propojení lidského a strojového myšlení, kterého jednotný strukturální základ je podstatou produktivní složky procesně a objektově orientovaného smart plánování a řízení výroby.

Angizeh a kol. (2020) se zaměřují na implementaci optimalizační techniky v inteligentních výrobních aplikacích pro společnou optimalizaci provozu více výrobních linek, určených pro uspokojení požadované poptávky po více produktech. Navrhovaný model je formulován jako problém MILP (Mixed Integral Linear Programming) a v principu usiluje o minimalizaci celkových výrobních nákladů společnou optimalizací provozního plánu výrobních linek. Implementuje několik provozních omezení výrobních linek, která zahrnují jejich spotřebu energie a související náklady, produktivitu, míru zmetkovitosti, dobu přechodu a náklady na práci. Je implementován na výrobcí vzorků, kde je optimalizováno sedm výrobních linek s různými provozními omezeními pro výrobu šesti typů výrobků. Kromě toho je model využíván k optimalizaci provozu reálného závodu na výrobu potravin s pěti linkami a dvanácti různými typy produktů. Výsledky simulace ukazují, že navržený optimální model plánování umožňuje výrobcům zvýšit efektivitu výroby a ušetřit provozní náklady společnou optimalizací provozního plánu výrobních linek. Analýzy citlivosti se zde provádějí za účelem prokázání výkonu modelu v různých úrovních poptávky, kde výrobci mohou optimálně naplánovat výrobní linky s minimálními náklady vzhledem k požadavkům na výrobu.

Problém optimálního balancování výroby (Missbauer, 2020) řeší principiálně v podobě iterace mezi modelem uvolnění objednávky s pevnými dodacími lhůtami a modelem odhadu doby realizace procesní události rozvrhovacího algoritmu (obvykle simulace), který odhaduje časy toku pro dané uvolnění objednávek a poskytuje dodací lhůty pro další iteraci. Konvergence tohoto iterativního postupu je však velmi nepředvídatelná, což omezuje její praktické využití. Optimální balancování je často spojeno s nejistotou, řešení problému je možné i integrací fuzzy logic metodiky (Cunico, 2020). Potenciální řešení lze najít v modelu řešení problému plánování výroby výrobního podniku pomocí fuzzy reprezentace nejistot v poptávce. Rozšíření nahodilosti je omezeno na fuzzy prostředí a trojúhelníková čísla se používají k reprezentaci variability objednávek zákazníků. Návrh využívá tzv. fuzzy operátory, potřebné k převodu fuzzy modelu na ekvivalentní robustní ostrý model (RCM). Úrovně spolehlivosti náhodných omezení jsou navíc nastaveny jako proměnné tak, aby byly určeny modelem, což snižuje subjektivitu při výběru jejich hodnot. Problém plánování výroby je řešen jako případová studie, která ukazuje výkonnost modelu. Získané výsledky jsou porovnány se dvěma různými alternativními modely: deterministickým (DM) a fuzzy přístupem (FeM).

Liu a kol. (2019) si kladou za cíl vytvořit optimální výrobní plán pro stochastický hybridní systém výroby (HMRS) s náhradou poptávky. K dosažení výše uvedeného cíle byl nejprve vytvořen vícekriteriální periodický víceletý číselný programovací model s víceúrovňovým číslováním. Byl navržen algoritmus systému mravenčích

kolonií s metodou náhodného odběru vzorků (ACS-RSM), aby se minimalizovaly celkové očekávané náklady na stochastický HMRS (Human Management Resource Scheduling). Nakonec byl navrhovaný model a algoritmus ACS-RSM aplikován na případ automatického „rozdělovače pracovních úloh“. Byly analyzovány vlivy míry výtěžnosti použitých produktů a velikosti šarží nových a repasovaných výrobků na celkové očekávané náklady. Výsledky výzkumu ukázaly, že algoritmus ACS-RSM fungoval dobře, pokud jde o výpočetní efektivitu a kvalitu řešení. Z praktické případové studie vyplynuly dva hlavní poznatky. Prvním zjištěním bylo, že s nárůstem míry výtěžnosti použitého produktu se celkové očekávané náklady HMRS do určité doby dramaticky snížily. Když byla míra zpětného získání vyšší než 91 %, celkové očekávané náklady zůstaly téměř konstantní. Druhým zjištěním bylo, že když se velikost šarží nového výrobku a repasovaného výrobku zvýšila, celkové očekávané náklady se zjevně zvýšily a doba provozu algoritmu ACS-RSM se monotónně snížila. Studie poskytuje efektivní rozhodovací nástroj pro optimalizaci výrobního plánu stochastických HMRS s náhradou poptávky.

Důležitým vstupem i do výzkumu Ústavu PI je modelování za podmínek nedostatečné specifikace vstupních parametrů plánovacího procesu výrobního systému. Liu a Zhang (2018) prezentovali model plánování výroby za podmínek nejasné specifikace procesních parametrů. Požadavky zákazníků na množství, kvalitu, dodací lhůty a cenu byli různorodé. Z důvodu nejednoznačného počtu zákazníku bylo očekávání míry spokojenosti určeno metodou trojúhelníkového fuzzy čísla. Pro stanovení očekávání splnění dodacího termínu byla pro zákaznické ceny použita metoda lichoběžníkového fuzzy čísla. Fuzzy intervaly a čísla intervalů byly použity k popisu nejistoty parametru kvality a cenové nejistoty. Výsledkem se stal vícekriteriální plánovací model, skládající se ze čtyř cílů: uspokojení potřeby zákazníka, minimalizace nákladů, minimalizace dodací lhůty a maximalizace firemního zisku. Poté byl implementován nedominantní třídící genetický algoritmus (NSGA-II), který simuloval a vyřešil problém nejisté optimalizace. Uvedený způsob uvažování vyřešil četné nejistoty v poptávce zákazníků během procesu plánování výroby pro podniky vyrábějící technická zařízení. Výsledky simulačního výzkumu ukázali a vygenerovali řadu Paretových řešení, která jsou konzistentní s výsledky multikriteriálního plánovacího řešení. Výrobci tímto způsobem mohou získat optimální výrobní plány dle nastavených komplexních systémových pravidel prioritizace výrobního cíle společnosti.

Navazujícím impulsem pro výzkum procesních modelů na Ústavu PI byl přístup Kacar a kol. (2019), kteří se věnovali výzkumu výkonu procesně redukovaných modelů, ve kterých je pouze podmnožina potenciálně kritických skupin strojů reprezentována funkcemi využití, pokud jde o náklady a zisky. Simulační experimenty pro model velké polovodičové továrny ukazují, že i když 75 % tvoří

skupiny strojů s funkcemi využití, redukované modely fungují výrazně hůře než modely, ve kterých se funkce využití používají pro všechny skupiny strojů. Tyto výsledky ukazují, že interakce mezi skupinami strojů jsou složité a modely, které využívají pouze omezenou sadu funkcí pracovního zatížení, mohou vést k nesprávnému hodnocení výkonu produkčního systému. Pozorované chování je vysvětleno analýzou duálních proměnných, integrovaných do skupin strojů. S problematikou redukce vstupů do výrobního procesu souvisí i výzkum, orientovaný na materiálové výrobní vstupy (Talay, 2019), zaměřený na rozhodování výrobce o nákupu vstupů a rozpracovaných položkách v systému výroby s více typy výrobků a dvoufázovým výrobním systémem, u nichž panuje nejistota ohledně výnosů. Uvažuje se o výrobním prostředí na zakázku s deterministickými výrobními dodacími lhůtami. Pro tento problém je navržen diskrétní stochastický optimalizační model s binomickým výnosem v každé výrobní fázi. Optimální řešení je určeno novým algoritmem řešení vyvinutým se zobrazením konvexnosti problému. Model je použitelný nejen pro výrobu v průmyslových odvětvích, jako je chemická, elektronická a strojírenská výroba, ale také pro typy procesů, jako je doprava a repasování. Na základě komplexní analýzy citlivosti bylo zjištěno, že zlepšení výnosu v jedné fázi nemusí být účinné při zajišťování úspor nákladů, zlepšení v různých fázích by měla být posuzována společně. Ještě zajímavější je, že vyšší poptávka ne vždy vede k vyšší produkci, na rozdíl od toho může dokonce snížit objem výroby při nejistotě výnosů.

Bank a kol. (2019) srovnávají plánování výroby založené na simulaci a optimalizaci. Oba přístupy jsou porovnány v případové studii s reálnými daty z energeticky náročné výroby. Byly využity metoda smíšeného celočíselného programování (MIP) a simulační SW Technomatix Plant Simulation s rozšířeným genetickým algoritmem. Hodnotící kritéria, například výpočetní úsilí, kvalita plánování a akceptace času zpracování, se používají k měření jejich provozní schopnosti. S tím souvisí problematika optimálního rozhodování se na základě modelování a simulace, kde je záměr (Chien a kol. 2018) vyvinout nejistý rámec strategie vícekriteriálního rozhodování (UMD) při plánování výroby polovodičů, založený na teorii nejistoty pro problém rozšíření kapacity a migrace. Cílem navrhovaného modelu je minimalizovat potenciální ztrátu kapacity, přebytek nebo nedostatek v nejistém prostředí. Pro validaci byla provedena empirická studie a výsledky ukázaly praktickou životaschopnost navrhovaného přístupu. Navrhovaný model funguje lépe než stávající přístup při minimalizaci ztráty nákladů na kapacitu v důsledku nedostatku, přebytku a migrace. Proto může být tento přístup použit jako integrovaný mechanismus pro podporu rozhodování pro inteligentní výrobní řešení pro Průmysl 4.0.

Téma rizikovosti digitálních technologií je v současnosti cílem různých typů výzkumných projektů (Arlinghaus, 2021). Důvodem je snaha najít adekvátní

a univerzálně využitelnou metodu klasifikace digitálních technologií, posuzování jejich rizikových faktorů a přiřazování strategií zmírňování, specifických pro danou situaci různým digitálním výrobním aplikacím. Je provedena analýza více než 350 digitálních výrobních projektů a více než 40 hloubkových rozhovorů s akademickými a průmyslovými odborníky. Klasifikace digitálních technologií a rizikových faktorů včetně oblastí použití slouží jako základ pro webový nástroj k hodnocení a zmírňování rizik určený k hodnocení projektů digitalizace ve všech oblastech výroby a logistiky, jakož i ve všech fázích vývoje.

2.2 ROZVRHOVÁNÍ VÝROBY

2.2.1 Kapacitní plánování a rozvrhování výroby, řazení zakázek, dispečink, interní logistika

Lee a Lee (2022) zdůrazňují, že plánování musí být schopno pokrýt nejistotu v dynamickém prostředí, jako je selhání stroje nebo jiné neočekávané situace. V opačném případě je i nejlepší plán výroby k ničemu a má negativní dopad na provoz. Autoři využívají pro plánování a rozvrhování výroby u výrobce čipů modely lineárního programování a heuristické metody Markovovských řetězců a neuronových sítí. Výstupními metrikami modelů jsou výstup, spolehlivost, míra uspokojení požadavků a průběžný čas. Aktuálnost dynamického kapacitního plánování a rozvrhování výroby je markantní i v přístupu Neves a kol. (2021), kteří prezentují výsledky systému dynamického plánování výroby spojeného s výrobním harmonogramem s alokací funkčnosti, kterou proces provádí. Pro ověření návrhu použili modely a simulace výrobních toků a modely Petriho sítí.

Účel minimalizace procesních časů (Bhosale, 2019) je deklarován řešením problému integrovaného plánování a rozvrhování výroby. Návrh matematického modelu čekací doby produktu a stroje pro systém plánování v reálném čase reflektuje požadavek minimalizace omezujících podmínek procesního toku. Tento model je založen na plánovacím pravidle SPT (Shortest Processing Time). Matematický model je ověřen zvážením dvou případových studií. V první případové studii Paulo a kol. (2002) uvažovali o dvou matematických modelech, jeden pro alokaci operací a druhý pro výběr systému manipulace s materiálem. V této případové studii (Bhosale, 2019) je uvažovanou objektivní funkcí minimalizovat celkové náklady, tj. tok materiálu systému. Pro optimalizaci toku materiálu je navržen skutečný kódovaný genetický algoritmus (RCGA). Ve druhé případové studii je zkoumán matematický model (Mahdavi a kol., 2011), který se zabýval integrovaným přístupem k problému alokace provozu a výběru manipulačních zařízení. Autor však nevzal v úvahu čekací dobu v reálném čase.

Optimální procesní plán zvolený autorem proto nezůstává optimální v reálném čase.

Buergin a kol. (2019) prezentují robustní optimalizační model, který využívá scénáře představující potenciální konfigurace objednávek specifických pro zákazníka. Poskytnutím dostatečné flexibility pro zvládnutí maximálního pracovního přetížení způsobeného potenciálními konfiguracemi objednávek na místech lze zaručit robustní přiřazení objednávek, aby se zabránilo nežádoucím situacím způsobujícím zpoždění a dodatečné náklady. Úpravy limitů flexibility v polovině období jsou proto umožněny proměnlivostí nabídky pracovních sil s využitím externích pracovníků. Je představena průmyslová aplikace modelu při výrobě rodiny letadel Airbus A320. Náklady na nabízenou flexibilitu konfigurace zákazníkům jsou kvantifikovány očekávanou hodnotou dokonalých informací. Explicitní zohlednění nejistoty konfigurace pomocí scénářů je diskutováno na základě hodnoty stochastického řešení ve srovnání s výsledky dosaženými zjednodušeným použitím očekávané hodnoty.

Staruch a kol. (2021) se ve svém výzkumu motivují reálnými problémy týkajícími se zadávání úkolů pracovníkům ve středně velkých čalouněných nábytkářských závodech, řízených pomocí zákaznických požadavků na výrobu. Přestože byla metodika vyvinuta pro nábytkářské závody, lze ji aplikovat i na jiné typy výrobních závodů. Zapojuje kompetenční koeficienty, které popisují úroveň dovedností nebo schopností pracovníka provést konkrétní úkol. Kompetenční koeficienty také slouží k zablokování možnosti zadání daného úkolu pracovníkovi, který k tomu nemá žádné dovednosti. Navíc do modelu zapojují fiktivního pracovníka, který zaručuje existenci řešení problému. Prezentují celočíselné lineární programovací modely pro zveřejněný problém, které úzce souvisejí s problémem zobecněného přiřazení. Diskutují také o možném využití prezentované metodiky při řešení reálných problémů souvisejících s řízením výroby. Jako možný přínos lze zde využít přístup Deenen a kol. (2020), který řeší problém optimálního rozvrhování vstupních komponent při výrobě polovodičů, rozvrhovaného striktně na základě zákaznických objednávek právě využitím celočíselného lineárního programování a heuristických metod. Cílem je minimalizace přetížení a nadvýroby.

2.2.2 Plánování a rozvrhování specifických výrob, modulární buňkové výrobní systémy, montážní buňky, aditivní výroba

Nosným komponentem výzkumu na Ústavu PI je problematika modulárního a maticového rozvrhování výrobních kapacit v reálných výrobních systémech.

Delgoshaei a kol. (2019) představují přehled metod shlukování a matematického programování a jejich dopady na tvorbu výrobních buněk (CF) a problémy s plánováním. Hlubkovou rešerši provádí přezkoumáním 105 dominantních výzkumných prací z let 1972–2017 dostupných v literatuře. Diskutují výhody, omezení a nevýhody 11 metod shlukování vzhledem k 8 meta-heuristickým metodám. Oblasti studovaných metod zahrnují tvorbu buněk, přenos materiálu, prostoje, výjimečné prvky, stroje s úzkými hrdly a nejisté požadavky na produkty. Vzhledem k tomu, že většina dosud popsanych modelů jsou deterministické – fixní, v každé části se jedná o hlubší výzkum heuristiky a meta heuristiky proti přesným metodám, které jsou poskytovány. Výsledky této práce by mohly určit některé existující mezery ve znalostní základně a poskytnout orientaci budoucího výzkumu, který by pomohl objasnit mnoho souvisejících otázek s buňkovými výrobními systémy (CMS). Autoři jdou ve svém výzkumu dál (Delgoshaei, 2020) a prezentují ve svém dalším výzkumu multikriteriální rozhodovací model v procesu dynamického plánování buňkové výroby. Poté se používá metoda Taguchi k odhadu vhodných sad parametrů navrhovaného algoritmu optimálního rozvrhu procesního toku. Výsledky ukázaly, že navrhovaný algoritmus dokáže v rozumném čase vygenerovat nejlepší dílčí trasy produktů z hlediska času, nákladů a rozptylu zatížení. Algoritmus se pak používá pro buňkovou výrobní továrnu, která je výrobcem dílů pro těžká vozidla.

Buňkové systémy a jejich kompatibilní rozvrhování jsou přímo závislé od deterministického rozvrhování klíčových proměnných (Shafiee-Gol a kol., 2020). Zde je významná formulace nelineárního programovacího modelu se smíšenými celými čísly pro návrh buňkových výrobních systémů (CMS) ve více závodech v dynamickém stavu. Navrhovaný matematický model integruje významné výrobní charakteristiky při navrhování CMS spolu s hlavními strategiemi plánování výroby (PP) a zároveň usiluje o řešení problémů s alokací místa (LA). Cílovými funkčními podmínkami jsou: optimalizovat tržby z prodeje a celkové náklady na provoz stroje, režii stroje, manipulaci s materiálem mezi buňkami, skladování zásob, outsourcing, instalaci / odinstalaci strojů, přepravu produktů, zakládání pracovišť a vytváření buněk. Vzorový zjednodušený testovací problém prokázal dosažené výsledky odpovídající vlastnostem začleněným do modelu. Vzhledem k tomu, že navrhovaný model je deterministický, byly vyvinuty další dva meta-heuristické algoritmy: genetický algoritmus (GA) a optimalizace šedého vlka (GWO) v jazyku C+ .

Khamlichi a kol. (2020) se zabývají návrhem uspořádání skupiny propojovacích strojů (GLD) a problémem velikosti šarže (LSP) v dynamickém buňkovém výrobním systému (DCMS). Navrhují nový multi periodický model pro určení nejlepší tvorby buněk, nezbytných pro konfiguraci v každém období a optimální výrobní a skladovou politiku, která minimalizuje manipulaci s materiálem uvnitř

buněk a mezi buňkami, náklady na držení a přemístění víceúčelových strojů. Model je spojený se smíšeným celočíselným programováním (MIP), který je následně řešen pomocí komerčního softwaru Optimizer CPLEX. Kromě toho představují hybridní randomizovanou proceduru adaptivního vyhledávání (GRASP) rozšířenou o proceduru opětovného propojení cest (PR) k vyřešení problému. Výpočetní výsledky několika referenčních hodnot a náhodně generovaných instancí ukazují účinnost a relevanci navrhovaného přístupu a zdůrazňují hodnotu integrace.

Metodika MRP (Manufacturing Resource Planning) je osvědčeným rozvrhovacím nástrojem, integruje komplexní procesní řetězec tvorby hodnoty do jednoho kompaktního celku (Shafiee-Gol, 2021). Cílený výzkum probíhá kontinuálně již několik let směrem k definici rozvrhování MRP, výrobního plánování a plánování logistických tras v souběhu s návrhem systému výrobní buňky v dynamickém prostředí s využitím matematického modelu smíšeného celočíselného nelineárního programování, meta heuristických metod a genetického algoritmu. Na základě výsledků výzkumu Liu a kol. (2018) lze predikovat, že integrovaný model přenosu vstupních materiálů ve vazbě na plánování výroby v dodavatelském řetězci založeném na dynamické buněčné výrobě je klíčovým z hlediska optimalizace přepravních tras a navazujícího produkčního výkonu. Na jedné straně může přesun vstupů do dílenského provozu s velkými objednávkami usnadnit distribuci výrobků do místní zákaznické zóny a rychle reagovat na poptávku po objednávkách, ale bude generovat náklady na dopravu. Navíc, když se mnoho vstupních surovin přesune do určitého dílenského provozu, kde se vyrábí mnoho typů výrobků, výběr dodavatele (dodavatelů) s nízkými náklady na materiál bude obtížný z hlediska celého dodavatelského řetězce. Na druhé straně se kvůli omezené výrobní kapacitě a dynamice požadavků trhu často uplatňují pozdní dodávky nebo výroba předem během každého období. Tato metoda bude mít za následek náklady na doobjednávku nebo náklady na držení zásob, i když může vyhladit výrobní zatížení. S cílem minimalizovat celkové procesní náklady, je snaha definovat heuristický model rozvrhování na základě exaktní datové struktury vstupních surovin, přičemž uvedený přístup předpokládá využití pětifázové heuristiky (FPBH). Experiment je prováděn za účelem ověření výkonu komplexního logistického řetězce, operátorů logistických operací hlavního procesního řetězce. Výpočetní výsledky ukazují, že: (1) s modifikovanými operátory a standardním dílenským logistickým řetězcem funguje komplexní logistický řetězec lépe než bez nich a (2) komplexní logistický řetězec překonává heuristický genetický algoritmus využitím simulačního algoritmu v reálném čase.

Mayer a kol. (2019) konstatují, že nárůst počtu variant produktů nutí automobilový průmysl pomalu nahrazovat montážní linky flexibilnějšími

modulárními výrobními systémy. V modulárním systému si každá varianta produktu hledá cestu přes modulární stanice v závislosti na potřebných operacích. Přepravu materiálů zvládají automaticky řízená vozidla. Pro využití těchto výhod modulárních montážních systémů a pro přijímání nezbytných rozhodnutí v systému jsou nezbytné nové řídicí přístupy. Pokus o globální optimalizaci výrobního toku je složitý, a proto omezený výpočetním výkonem. Tato práce představuje nový přístup, který snižuje složitost používáním dílčích rozvrhů. Koncept algoritmu je následující: pravidelně čte aktuální stav výroby, globálně optimalizuje systém pohledem dopředu na určité časové období a rozhoduje uzavřením optimálního dílčího harmonogramu pro modulární výrobní systém. Optimalizace se provádí genetickým algoritmem. Pro účely hodnocení je použit modulární montážní systém pro elektrické pohony z německého automobilového průmyslu. Závěrem lze říci, že prezentovaný přístup plně využívá flexibilitu danou příkladem hodnocení a zároveň snižuje složitost problému řízení výroby.

Kapacitní rozvrhování využívá vícero přístupů k optimalizaci procesních časů (Pourhejazy, 2021). Pro řešení rozvrhování výroby ve dvoustupňové montážní dílně se sekvenčně závislou dobou zahájení se využívá smíšený integrovaný model lineárního programování s podporou meta heuristického algoritmu. Potřeba integrované optimalizace kapacitního plánování a řízení výroby v montážním výrobním systému je předmětem pokračujících snah o preciznější definici funkcionalit logistických informačních systémů (Chen, a kol., 2021). Navrhovaný matematický model pro několik předřazených výrobních linek a jednu navazující montážní linku má své opodstatnění v tom, že koordinuje připravenost rozvrhovaných zdrojů v daném čase a kapacitní dostatečnosti před pracovištěm. Současně vyvíjejí metodu k získání mezního rozdělení úrovně zásob v montážním systému, kterou jde využít ke kalkulaci průměrných výrobních nákladů při přibližně optimální politice řízení výroby. Protože optimální výrobní politika závisí na výrobní kapacitě (počet strojů) využívají metody celočíselného matematického programování a diskrétní simulace.

Castiglione a kol. (2018) považují za relevantní problém montážního průmyslu řízení dodávek čtených komponent pro hotové výrobky za účelem snížení nákladů na zásoby a dodací lhůty od objednání po dodání. Navrhují systém podpory rozhodování (DSS) s využitím optimalizačních metod pro podporu efektivního obstarávání a zásobování výrobních pracovišť.

Z hlediska optimalizačních procesů získává na významu výzkum aditivních technologií. Aditivní výroba (Chergui, 2018), reprezentována zejména 3D pokročilým tiskem, se vyvíjí a v současné době prochází fází industrializace. Aplikací je mnoho a některé začínají mít skutečný dopad na dodavatelský řetězec. S použitím aditivní konstrukce vrstvu po vrstvě změnila aditivní výroba

způsob navrhování a výroby dílů. Technologie aditivní výroby se mají stát jádrem příští generace výrobních systémů. Přesto je v literatuře navrženo jen málo přístupů k plánování a rozvrhování, aby bylo možné systémy aditivní výroby provozovat efektivně. Představují problém plánování, implementace technologické podpory a rozvrhování v aditivní výrobě. Cílem je uspokojit objednávky přijaté od různých distribuovaných zákazníků v termínech dodávky. Rostoucí zájem přichází s tím, jak aditivní výroba dosahuje prahové úrovně vyspělosti a stávající přístupy k plánování a rozvrhování výroby musí být přizpůsobeny a dále rozvíjeny tak, aby splňovaly technické a organizační požadavky technologií aditivní výroby. Využití technologie matematická formulace problému s podporou SW Pythonu je optimálním přístupem k návrhu a vývoji heuristického přístupu využívání aditivních technologií. Navrhované heuristické řešení je vysvětleno krok za krokem a ilustrováno pomocí numerického příkladu. Provádějí se experimentální testy s využitím navrhované heuristiky, které zdůrazňují důležitost plánování/rozvrhování pro optimalizovanou výrobu s aditivní výrobou.

Reiff a kol. (2019) konstatují, že významným omezením pro použití procesů aditivní výroby v průmyslovém kontextu je nejistota ohledně možných výrobních podmínek, nákladů a výsledných vlastností dílů souvisejících s použitými stroji a materiály. Vzhledem k tomu, že na trhu je k dispozici široká škála procesů, strojů a materiálů, je volba optimální konfigurace pro díl specifický pro uživatele často náročná. Pro zjednodušení vývojových a konstrukčních procesů a pro podporu příslušného uživatele při plánování výroby je prezentována architektura, která umožňuje odhadnout výrobní podmínky technologií aditivní výroby. Systém se skládá z databáze, která obsahuje údaje o dostupných strojích, materiálech a další informace pro zajištění kvality. Za tímto účelem jsou definované parametry strojů registrovaných v síti získávány přímo z řízení stroje prostřednictvím komunikačního standardu OPC-UA. Následně jsou v logické vrstvě shromážděné informace porovnány s požadovanou geometrií dílu a s dalšími požadavky zákazníka. Díky tomu může uživatel posoudit vlivy svých rozhodnutí týkajících se návrhu, materiálu a výběru stroje v rané fázi procesu vývoje produktu, což zajišťuje základní proveditelnost a plánovanou výrobu, jakož i odhad kvality a nákladů. V této souvislosti se řeší i problém vhodnosti portfolia dodavatelů (De Anton, 2020) kteří musí plánovat svou denní výrobu 3D tisku. Tento problém je součástí modelu řízeného trhu 3D tisku, kde jsou díly objednané zákazníky reorganizovány do nových šarží, aby dodavatelé mohli optimalizovat své výrobní kapacity. Navrhují metodu odvozenou z návrhu kombinatorických aukcí pro řešení problému vnoření ve 3D tisku. Nejprve navrhují použití heuristiky k vytvoření potenciálních výrobních šarží. Pak vypočítávají očekávaný výnos pro každou dávku. Vybraná dávka by měla generovat nejvyšší příjem. K ověření

procesu bylo testováno několik experimentů. Tato metoda je prvním přístupem k problému plánování v 3D tisku a je navržen další výzkum ke zlepšení postupu

Baumung a Fomin (2018) konstatují, že oblasti rozvrhování, detailního a sekvenčního plánování jsou zvláště důležité pro aditivní výrobu díky dlouhým tiskovým časům a flexibilnímu využití výrobní plochy. Proto jsou proměnné relevantní pro výrobu zvažovány pro plánování a řízení výroby (PPC) strojů aditivní výroby. Prezентují optimalizační model, který ukazuje časově orientované využití prostoru sestavení. V implementaci používají algoritmus vnoření ke kontrole kombinovatelnosti různých modelů pro každou jednotlivou tiskovou úlohu. Procesní časy jsou součástí i návrhu optimalizační úlohy plánování a rozvrhování výroby s technologickými omezeními (Aloui, 2021) s cílem minimalizovat celkové zpoždění dílů a maximalizovat míru využití strojů pro aditivní (3D tisk) technologie. Problém je modelován smíšeným lineárním programováním a heuristickým přístupem. Disponibilita procesního času je do značné míry ovlivněná (Stittgen, 2021) vlivem konfigurace zařízení aditivní výroby na strojový fond, dostupností operátora a distribucí pracovního obsahu na využití výrobního systému. Hodnocení se opírá o simulační model vyvinutý v Matlabu®, který umožňuje modifikaci a realizaci výrobních plánů v rámci zařízení různých konfigurací. Validace navrhovaného modelu je založena na empirických datech shromážděných v dílně společnosti GKN Additive, globálního poskytovatele služeb aditivní výroby.

Výrobci s rozhodovací pravomocí mají již nyní na výběr z celého spektra výrobních technologií (Nagulpelli a kol., 2019). Osoby s rozhodovací pravomocí jsou obeznámeny s výrobními technologiemi. Za příznivých okolností rozvíjející se technologie aditivní výroby nabízí rozsáhlejší flexibilitu pro úpravu výrobního prostředí a zlepšení efektivity výrobní logistiky, s cílem zvýšení přidané hodnoty ve formě procesního zisku oproti výrobnímu plánu. Výzkum, který v této souvislosti probíhá i na Ústavu PI směřuje k vývoji procesní metodologie modelování ekonomického rozhodování založeného na zisku pro plánování výroby ve výrobním prostředí, které je vybaveno technologiemi tradiční výroby i aditivní výroby. Výzkum identifikuje rámec pro hlavní výrobní postupy a naviguje procesní manažery směrem k implementaci opatření účinnosti a zároveň přizpůsobování nebo zdokonalování aditivní výroby ve stávajícím výrobním prostředí tradičního výrobního procesu. Ke zvážení je i zaměření dalšího výzkumu na optimalizaci přiřazení výrobních technologií v rámci výrobního prostředí se smíšenými zdroji.

Kapacitní rozvrhování v prostředí aditivní výroby je spojené i s prostorovým rozložením výrobního layoutu (Oh a kol., 2020). Limitující prostorové podmínky často narážejí za plnění funkčních kritérií technologie aditivní výroby

tím, že je nutné umístit navazující technická zařízení do omezeného prostoru a rozvržení výroby s cílem minimalizace výrobního času a nákladů v daném případě je konfrontované s požadavkem minimálního procesního času výroby. Na základě studia 103 citovaných zdrojů navrhuji 3-dimenzionální klasifikaci (díl, nastavení zařízení pro aditivní výrobu, procesní layout) se 6 třídami vzájemných kombinací těchto dimenzí pro začlenění uvedených zdrojů. Inteligentní systém kapacitního plánování a rozvrhování aditivní výroby (Wang a kol., 2019) je schopen reagovat v rámci daného procesního a produktového layoutu využitím algoritmů počítačového vidění. Nejprve třídí úkoly podle jejich výšky, ploch a zbývajících času do termínu. Poté jsou modely zařazovány do tiskové fronty a je použita vylepšená metoda založená na vidění pro efektivní nalezení vysoce kvalitních zařazovacích řešení. Realizovaná srovnávací studie s cílem ověřit výsledek rozvrhovaného layoutu prokázala efektivní účinnost za podmínky minimálních kapacitních ztrát výkonu procesu, čím deklarovala užitečnost navrhované metody.

Fera a kol. (2018) uvádějí, že plánování pro tradiční stroj může využívat konsolidované modely. Plánování aditivní strojní výroby představuje nové problémy, protože musí vzít v úvahu schopnost vyrábět různé geometrie současně. Cílem uvedeného výzkumu je poskytnout matematický model pro plánování aditivní strojní výroby. Složitost modelu je vysoká, takže možná řešení musí být nalezena metaheuristicky algoritmy, např. genetickými algoritmy. Genetické algoritmy řeší sekvenční optimalizační úlohy při manipulaci s vektory využitím maticového přístupu. Účinnost navržených algoritmů byla testována na testovacím případě tvořeném 30-ti produktovými prvky. Získaný číselný plán výroby s vysokou variabilitou a komplexností počítá s odlišnými termíny ukončení a nízkými objemy výroby. Dosažená procesní variabilita prokazatelně ovlivnila i procesní čas kompletizace zákaznické objednávky, kde na základě tabu-vyhledávacího algoritmu (Fera a kol., 2020) byla prokázána souvislost s parametrickým zlepšením rozvrhovacího problému v prostředí aditivní výroby.

Na základě výzkumu Cestana a kol. (2019) se nové přístupy rovněž zaměřují na plánování a rozvrhování aditivní výroby. V poslední době se aditivní výroba začala považovat za alternativu ke konvenční výrobě, prokazatelné je to zejména při výrobě náhradních dílů, a to kvůli zanedbatelné době nastavení, kterou má aditivní výroba s ohledem na konvenční výrobu a možnost výroby malých sérií. Doba výroby aditivní výroby je však obvykle delší než u konvenční výroby, takže volba mezi nimi není tak zřejmá, jak by se mohlo zdát. Autoři výzkumu poukázali na dopad aditivní výroby v jednoúrovňovém dodavatelském řetězci za předpokladu nekonečné výrobní kapacity výrobního zařízení a (S-1, S) skladové politiky. Výsledky jsou získány pomocí analytických modelů Markovova řetězce. Z perspektivního zaměření rozvoje technologie aditivní výroby je přínosem vývoj přímého přístupu digitální výroby (Li a kol., 2019) při výrobě dílů pro koncové uživatele. Předpokladem zde je

skutečnost, že v roce 2030 bude významný počet malých a středních podniků sdílet výrobní zdroje aditivní výroby specifické pro dané odvětví, aby se dosáhlo vyššího využití strojů, a místní produkce v blízkosti zákazníků umožněných aditivní výrobou se výrazně zvýší ve všech průmyslových odvětvích. Do té doby bude rozhodování o přijímání a rozvrhování objednávek (OAS) ve výrobě se systémy PBF (Performance Based Financing) hrát klíčovou roli při řešení výrobních zakázek na vyžádání. Zkoumaný problém OAS je řešený v konkurenčním prostředí, kde poskytovatelé produkčních služeb na vyžádání s více PBF systémy soutěží o zakázky dynamicky uváděné na trh. Na základě charakteristik výroby se systémy PBF je navržen principiální rozhodovací proces a rozhodovací strategie pro poskytovatele služeb a zákazníky.

Nově vznikající technologie aditivní výroby vyzývají společnosti (Jacob a kol., 2018), aby neustále přizpůsobovaly své procesy navrhování a výroby výrobků cestou konstrukční a procesní přípravy aditivní a konvenční výroby. Jedná se o přístup, který umožňuje společně řídit nové technologie optimalizací vzájemně závislých parametrů návrhu produktů a výrobních technologických řetězců. Produkt je modularizován a modelován pomocí sad parametrů. Výrobní technologie jsou popsány v podobném modelu. Možné výrobní technologie pro tento produkt jsou identifikovány a kombinovány do technologických řetězců. Na základě multikriteriálního hodnocení jsou identifikovány kritické parametry produktu a výrobní technologie a kvantifikován dopad adaptace těchto parametrů, což umožňuje rekurzivní optimalizaci řetězce produktů a výrobních technologií. Společnosti tak mohou řídit nové produkty a výrobní technologie tím, že vyhodnotí jejich důsledky a budoucí potenciál.

2.2.3 Výkonnost, náklady

Vazba mezi výkonností a nákladovou stránkou moderních procesních postupů vyvolává požadavek na vznik metodologie digitalizované analýzy a inteligentní podpory normování práce (Adeyemi a kol., 2021). Kombinace jednoduchého měření pohybu stopkami, štihlé analytické techniky a historická data k řešení záporného rozptylu pracovních nákladů jsou již překonané. V novém modelu rozvrhování výroby jsou zohledněny i náklady práce, nepřinášející novou hodnotu jako součást celkových nákladů. Metodologie omezující 7 druhů plýtvání ve výrobních procesech využívá mapování toku hodnot a Paretovou analýzu a je prezentována na případové studii společnosti farmaceutického průmyslu. Výkonnost procesu je podmíněná produktivitou (Jung a kol., 2021), přičemž vhodnou simulační optimalizační metodou pro maximalizaci produktivity výrobní linky v textilním průmyslu lze zásadním způsobem ovlivnit i produktivitu

procesního toku ve vazbě na datovou analytiku pracovního postupu. Simulace odráží skutečné charakteristiky procesu a úrovně operátorů a optimalizace respektuje omezení založená na expertních znalostech. Optimalizační proces odvozuje pořadí operací genetickým algoritmem a postupně odstraňuje úzká místa pomocí analýzy pracovního zatížení s využitím meta-heuristického algoritmu.

2.2.4 Udržitelnost, spotřeba energií, údržba, poruchy, zmetkovitost, repase, reverzní logistika

Úsilí řady průmyslových firem je v dnešní době zaměřeno směrem k udržitelné výrobě. Zvyšující se energetická náročnost i ceny vstupních materiálu společně s cenou práce a výslednou kvalitou produkce směřují k řešení problému s kapacitním plánováním a rozvrhováním výroby za podmínky nastavení procesního toku závislého na sekvenci pro nepřetržitou výrobní linku (Liang a kol., 2019). Náklady na spotřebu energie spojené s rozhodnutími o výběru procesních technologií jsou součástí pokročilého projektování výroby. Navrhované řešení spočívá v přístupu s využitím celočíselného smíšeného lineárním modelu (MILP) v kombinaci s heuristickým řešením „Fix and Optimize“ (F&O). Rozsáhlé výpočetní experimenty odhalují výhodu navrhovaného přístupu, který má stabilní výpočetní výkon v kvalitě řešení. Optimální výsledky také ukazují přínosy integrovaného rozhodnutí v oblasti snižování spotřeby energie s ohledem na provoz a náklady na energii. Obdobným přístupem je matematický model pro energeticky determinovanou výrobní linku (Carlucci a kol., 2021), ve kterém matematický model pro rozvrhování výroby zohledňuje nemožnost překročit energetická omezení při variabilní rychlosti nástrojů s minimalizací výrobního rozpětí. Nezbytnou podmínkou je spolehlivost procesního výkonu. Gu a kol. (2021) se zabývají tvorbou integrovaného rozvrhovacího modelu orientovaného na spolehlivost, který spojuje úroveň plánování a rozvrhování výroby s plánováním údržby. Model minimalizuje souhrnný čas operací a hledá nejlepší výrobní plán a rozvrh s využitím genetického algoritmu. Obdobným je i přístup Chiu a kol. (2020), kteří ve své studii zkoumají optimální rozhodování v krátkém čase pro řešení výrobního problému s krátkou dobou zpracování, náhodnými poruchami a zmetkovitostí. Pro výpočet celkových nákladů a průběžného času výroby je použit matematický model s optimalizačními metodami. Aplikovatelnost řešení a citlivostní analýza výstupu výzkumu je prezentována na číselném řešení.

Řada výrobních zakázek je naráží na problém koncového termínu realizace (Mokhtari, 2018). Výrobce je konfrontovaný s požadavkem kvality, přičemž vyrábí položky s konečnou rychlostí zpracování, kde v důsledku termínového

tlaku objednávky je často určité procento těchto položek nedokonalé kvality. Na konci výrobního procesu se provádí přepracování nedokonalých položek. Míra poptávky a počet vadných položek jsou považovány za nejisté parametry. Cílem je stanovení optimálního počtu reworkových výrobních cyklů a optimálního množství zakázky. Aby tento problém vyřešili, nejprve definují problém a popíší jeho charakteristiky, sestaví model pomocí odvození funkce celkových nákladů, navrhnou vhodný algoritmus řešení procesního reworku a poté ilustrují a vyhodnotí výsledky. Algoritmus řešení je založen na optimalizaci skupiny kusové nadpráce, která je rozšířena o adaptivní strategii učení. Navržený numerický model kalkulace procesního reworku je konfrontován s genetickým algoritmem produktivity procesu reworku. Výsledkem je analýza citlivosti a analýza robustnosti. Pozorované výsledky odhalují robustní výkonnost navrhovaného přístupu vůči základnímu přístupu tradiční reakceschopnosti produkčního systému na nadpráci a výslední rework. Efektivita využití genetického algoritmu je znatelná zejména v prostředí inteligentního procesního toku. Faktem, který může značně změnit efektivitu reworku je zpětný logistický tok. Problémem je totiž smíšený celočíselný programovací model pro problémy s reverzní logistikou a repasováním (Qiu a kol., 2018), tedy s uzavřeným okruhem výrobního směřování, co je zásadní problém aktuálního vědeckého bádání. Vývoj metody řešení algoritmu „branch-and-cut“ řízeného vyhledávání. Jedná se o metodu větvení procesu, obsahující nespojitě proměnné, principem je přidání nových omezení pro získání systémového řešení. Tím se vytváří spojitá procesní funkcionalita, umožňující testovat efektivní alternativy v rámci uzavřeného okruhu. Algoritmus je efektivní, když jsou požadavky na procesní tok relativně vysoké. Problém je také snazší vyřešit, když jsou výrobní nebo dopravní náklady nižší. Optimální rozhodnutí jsou ale necitlivá na umístění repasovacího skladu, co je další problém, který stojí před řadou výzkumných tažení budoucnosti.

2.2.5 Metody plánování a rozvrhování, lineární programování, heuristika, Markovovy řetězce, neuronové sítě, genetické algoritmy, simulace, strojové učení

Danishvar a kol. (2021) navrhuje rámec pro optimalizaci výrobních plánů v dávkovém výrobním systému. Vícekriteriální optimalizace v simulačním prostředí ARENA založená na dávkách využívá neuronovou síť s ohledem na kritéria spotřeby energie, nákladů a objemu výroby. Výsledky jsou prezentovány na příkladu výroby slinutých karbidů s využitím sběru dat v reálném čase kombinujícího automatický a manuální sběr dat s platformou podnikového

informačního systému SAP pro deset se pravidelně vyskytujících objednávek. Atraktivita inteligentních simulačních systémů roste úměrně vývojem nových digitálních technologií (Fera a kol., 2018). Matematický model pro plánování AM/SLM strojů vychází z předpokladu, že maticové nastavení procesního postupu umožňuje eliminovat procesní prostoje v reálném výrobním toku. Jedná se o obsahově značně složitý digitální algoritmus, z uvedeného důvodu se doporučuje doplnit ho metaheuristickými algoritmy, např. genetickými algoritmy. Genetické algoritmy řeší sekvenční optimalizaci problému při manipulaci s vektory za účelem eliminace prostojů v rozvrhovacím problému výrobního cyklu. Účinnost navržených algoritmů je testována na testovacím případě tvořeném číselným plánem výroby 3D částí s vysokou variabilitou a složitostí, zřetelnými termíny a nízkými objemy výroby.

Moderní plánovací a rozvrhovací algoritmy propojují procesní a průmyslové inženýry se softwarovými a digitálními inženýry. Báze znalostí o možnostech inteligentních technologií neustále vzrůstá, co klade zvýšené požadavky na specializované znalosti v oboru průmyslového inženýrství. Song a kol. (2019) prezentovali návrh algoritmu pro datovou podporu procesů identifikace produktových parametrů a produktových technologií výroby s cílem zvýšit úroveň poznání procesních závislostí robustního řízení výroby založeného na simulaci. Ve svém výzkumu prokázali, že multikriteriální produktové rozhodování minimalizuje očekávanou míru procesní optimality navrhovaného procesního toku, simulační experimenty jsou potenciální možností, jak ovlivnit vybrané kritické procesní faktory směrem ke zvýšení efektivity procesního toku. Panzer a Bender (2021) ve své systematické literární rešerši věnované hloubkovému strojovému učení ve výrobních systémech, v části věnované problematice rozvrhování výroby, dispečinku a interní logistice, uvádí celkem 48 zdrojů věnovaných algoritmům strojového učení v různých aplikačních oblastech. Poskytují tím základ pro integraci strojového učení do modelování procesních postupů využitím prvků umělé inteligence.

2.3 PREDIKTIVNÍ ANALÝZA A SIMULACE

2.3.1 Prediktivní plánování a řízení výroby v reálném čase, synchronizace výrobních a logistických operací, uvolňování objednávek

Za klíčové změny v oblasti organizace a řízení výrobních procesů lze považovat v posledních letech vhodnost technologie, dostupibilitu, adaptabilitu a bezpečnost strojů a procesů ve spojení s limitními parametry automatizovaných

a digitalizovaných technologií (Wang, j a kol. 2018). Orientace výzkumných aktivit se v této souvislosti na Ústavu PI zaměřila na následující skutečnosti:

- datová analýza, extrakce meta dat (cyklový čas, prostoj, dostupnost pracoviště)
- definice procesních proměnných a parametrů funkcionality procesu v provozním cyklu
- monitoring úrovně pracovního výkonu, operativní efektivity, produktivity a komunikace operátorů v kooperaci s adaptivními automatizovanými a digitalizovanými technologiemi

Výstupy výzkumu poukazují na to, že cíleným využíváním kyber-fyzikálních systémů lze výraznou mírou redukovat celkový cyklový čas zapojení operátora, minimalizovat jeho pohyby, eliminovat nadpráci a rework prostřednictvím kvalitativně vyšší úrovně spolupráce člověka – stroje – řídicího systému. Metodologie výzkumu v rámci RVO projektu „Modelování procesních parametrů pro digitálně řízenou výrobu a prediktivní plánování a řízení výroby“ se zaměřila primárně na definici pozice Operátora 4.0, klíčového komponentu digitálně řízené výroby

Klíčové proměnné analytického šetření orientovaného na efektivitu prediktivní analýzy v prostředí výrobního konceptu Průmysl 4.0:

1. Transakce – vykonávat úkoly, opírající se o strukturované vstupy a standardizovaná procesní schémata. Základem je vytvoření cirkulovaného oběhu (vstupující data z jiného systému a další transfer dat do jiného systému).
2. Interakce – procesně významný komponent konverzace přes chatboty a virtuální agenty. Pochopení této interakce je stěžejním momentem podpory lidského chování a rozhodování ve výrobním procesu (používání automatizované komunikace a různorodé procesní konflikty a nesrovnalosti).
3. Analýza příčin přerušení procesu – známé jsou postupy „Jestli, pak (IF/THAN)“, analytická automatizace je kombinací strukturovaných a semi strukturovaných dat. Důležitou skutečností je identifikace adekvátní reakceschopnosti člověka v propojení „člověk – stroj“ na základě relevantního vyhodnocení aktuálních procesních dat.
4. Rozhodovací proces on-line – vliv adaptivní logiky ke zpracování velkoobjemových dat. Operátor je v pozici strategického realizátora rozhodování a má schopnost flexibilně řešit problém na základě znalosti relevantních procesních faktů o výrobním procesu

V rámci výzkumu bylo prokázáno (Obr. 4), že pilířem kooperace operátora 4.0 a automatizovaných/digitalizovaných strojních technologií jsou následující principy: systémová integrace (kombinace výrobního systému a jeho funkcionalit v řetězci tvorby hodnoty), modularita (schopnost výrobního systému adaptovat se na flexibilní změny), interoperabilita (propojování se a komunikace operátorů s technologiemi ve standardizovaném datovém schématu), produktová personalizace (rychlá reakce výrobního systému na změnu produktu), decentralizace (zjednodušené a efektivní plánování v reálném čase), environmentální přístup k výrobní technologii a virtualizace (digitální dvojče propojující fyzikální a kybernetický svět výrobní technologie). Z uvedených principů je zřejmé, že není možné mluvit o vztahu podřízenosti, ale je naprosto jednoznačný vztah vzájemné kompatibility.

Determinanty vědeckého zkoumání:

- RPA (Robotic Process Automation) software je řízený logikou efektivního procesního postupu a strukturovanými vstupy, které lze programovat pro realizaci procesů prediktivní údržby, realizovaných často v konceptu „člověk – stroj“ prostřednictvím vybraných aplikací:
 - standardizovaný systém práce
 - navigace pro reakce schopnost pracovníka v limitních situacích
 - schopnost strukturovaného sběru dat o procesech
 - produkce datových výstupů v reálném čase pro navazující procesy
- AI (Artificial Intelligence) je významným pomocníkem pro nastavení komplexity pracovních úkolů, vytvoření tokového cyklu ve výrobním procesu. AI je schopnost digitalizované technologie realizovat inteligentní úkoly ve spolupráci s člověkem:
 - detekce situace na pracovišti přes nastavení datového snímání procesu robotem
 - spolupráce se stávajícími systémy pro výrobu požadovaných produktů
 - učení se z minulých dat a adaptace těchto znalostí
 - procesní databáze strukturovaných a nestrukturovaných dat
- PROCESNÍ AUTOMATIZACE
 - skupina inteligentních technologií umožňujících realizaci a zlepšování denních rutinních úkolů, efektem je minimalizace manuálních procesů
 - strojové učení se, kdy se systém automaticky učí z korekcí realizovaných v průběhu realizace procesu, znalostní databáze se tím zvyšuje a umožňuje konfigurovat nové algoritmy pracovních postupů

Značná část výzkumu byla zaměřená na monitoring nositele vstupních datových analýz – Operátora 4.0. Účelem výzkumu bylo postihnout počáteční, klíčovou etapu nastavení digitalizovaného procesního modelu plánování a řízení výroby.

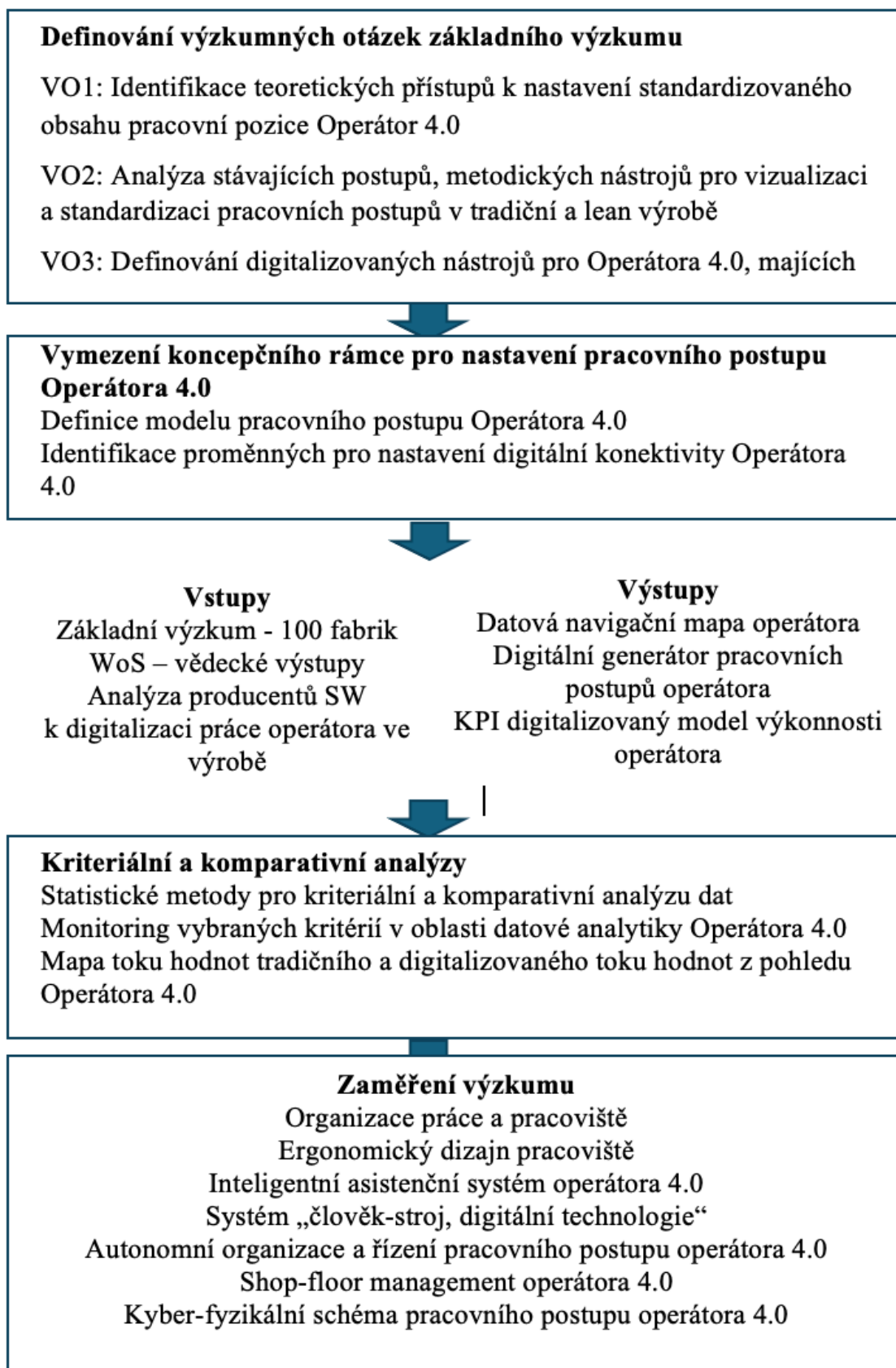
Cílem bylo prokázat, že inteligentní informační podpora lidského operátora výrazně napomáhá stabilitě procesního toku a zároveň minimalizuje ztráty, vzniklé koordinací procesů zlepšování v případech prostojů a přerušení výroby. Uvedené skutečnosti jsou i nadále cílem výzkumu s ohledem na rychlý vývoj moderních procesních technologií pro podporu výroby a jejich adaptabilitu. Technologické postupy procházejí zásadní změnou – dílenští operátoři kooperují ve stále větší míře na dílenské úrovni s kyber-fyzikálními systémy. Dochází tím k posilování role socio-technických systémů na dílenské úrovni (cílem je zlepšit komplexitu řízení procesů, zlepšování procesů, koordinaci v procesu řešení problémů). Operátor 4.0 je schopen působit v různých provozních prostředích a režimech, sdílení a kooperace informací je pro něho stěžejní v digitální formě, má ta dosah na efektivitu procesů, realizovaných na dílenské úrovni:

- zdrojová struktura – nastavení pracoviště, materiálů, rozpracovaných výrobků. Fyzické objekty mají jednoznačnou ID identifikaci, jsou řízené parametrickými daty se specifikací max/minu kritériálních funkcionalit, informacemi a znalostmi na báze digitální gramotnosti procesní struktury.
- informační systémy – orientace na podporu rozhodování s podporou socio-technických systémů a s ohledem na inteligentní zpracování informací, následně integrace zpracovaných dat do informačních systémů pro podporu rozhodování (systém HRC – human robot collaboration) a systémová konektivita sensoricky snímaných dat z virtuální reality pro nastavení odpovídajících parametrů operátora 4.0), velký důraz je kladený na digitální inteligenci člověka a stroje, rovněž i propojení etiky kolaborativního pracoviště resp. kooperaci člověka a automatizované výrobní technologie.
- organizační struktury – kompatibilita procesně řízené dílny a integrované digitální podpory on-line řízení a rozvrhování výroby v souladu s organizačním rozložením dílenských a útvarů.
- aktualizace inteligentního dílenského řízení – koncentrace výzkumu na posílení smart funkcionalit pracovních operací v členění na technickou a technologickou část.

Zdroje integrované do neustálého zlepšování jsou řízeny samostatně, tj. manažer výroby řídí výkonnost procesů, ale část zlepšování komunikuje na dílně a část chytrých operací spolupracuje s IT. Zásadním problémem jsou proto profesionální dovednosti lidí a procesní standardizace komunikace. Výrazně ovlivňují kompatibilitu štihlých a inteligentních technologií pro podporu organizace a řízení výroby v reálném čase.

Stěžejní charakteristika zde je kompatibilita člověka a informačního systému, které jsou základem pro nastavení digitální podpory procesního postupu.

Zásadní funkcionalita je tvořena systémovými požadavky na uvedenou procesní kompatibilitu.



Obr. 4: Metodologický rámec výzkumu (zdroj: Chromjaková, Hrušecká 2019)

Výzkumné otázky:

1. Jaké jsou klíčové změny v nastavení obsahu pracovní pozice Operátor 4.0 ve srovnání s klasickým obsahem pracovní pozice operátora výrobního pracoviště?

Operátor 4.0 má kvalifikaci jako součást inteligentní skupiny agentů (člověk, stroj, robot) s jednoznačně definovanými funkcionalitami procesních operací, transformace procesů, přičemž vykazuje určitou schopnost samo organizace, musí mít vymezenou kompetenci realizovat vybrané pracovní úkoly. S ohledem na zkoumanou analytiku (12 průmyslových firem) by měl mít operátor 4.0 minimálně dva kvalifikační předpoklady: fyzikální schopnost sbírat data ze zařízení a následně selektování data dle vymezených kritérií procesní analýzy.

Klíčové změny v nastavení obsahu pracovní pozice Operátor 4.0 lze vymežit následovně (Tab. 6):

Tab. 6: Analytická část řešení výzkumné otázky Operátor 4.0 (zdroj: autoři)

Tradiční obsah pracovní pozice	Obsah pracovní pozice Operátor 4.0
Realizace pracovních operací na stroji	Smart procesní výkon s podporou strojového učení a AI
Vizualizace a standardizace pracovních postupů	Automatizované pracovní postupy kombinované s digitalizovanou standardizací
Definice pracovního postupu operace	Podpora virtuální reality pro realizaci operačních postupů
Diagnostika strojního zařízení	On-line monitoring a senzorem řízená navigace pro automatické opravy stroje
Realizace pracovního postupu dle zkušeností a dle pracovních návodů	Inteligentní navigační mapa realizace pracovních operací a systémových procesních zásahů v reálném čase
Obsluha stroje a pracoviště dle digitalizovaných instrukcí	Smart inteligence procesního výkonu navigovaná IS na základě uvolněného plánu výroby

Organizace smart shop-floor managementu (díleňská inteligence)	AI podpora řešení procesních konfliktů a on-line podpora nestandardních konfliktů ve výrobě
Proces digitalizovaného sběru dat o pracovní operaci, dostupnosti stroje a výkonu pracoviště)	On-line diagnostika monitorovaných dat ve spolupráci s digitálními technologiemi pro vyhodnocování dat v reálném čase

2. Jedná se o vztah podřízenosti člověka inteligentní technologii nebo je to naopak?

Přířem kooperace operátora 4.0 a automatizovaných/digitalizovaných strojních technologií jsou následující principy:

- systémová integrace (kombinace výrobního systému a jeho funkcionalit v řetězci tvorby hodnoty) – závěr výzkumu: absolutní prioritou je kontinuální budování databáze funkcionalit výrobních technologií, procesních dat, precizní definování obsahu činnosti člověka (ve všech zkoumaných firmách prokázáno), člověk realizuje pokyny dle instrukcí informačního systému.
 - modularita (schopnost výrobního systému adaptovat se na flexibilní změny) – závěr výzkumu: průmyslové firmy aktuálně „konstruují“ relevantní portfolio funkcionalit, nezbytných pro modulární pracovní pozici operátora 4.0, v rámci procesu nastavování modularity je klíčový důraz kladený na detailní znalosti pracovních postupů, identifikovaných procesních problémů v rámci cyklů zlepšování s důrazným propojením systémově navazujících funkcionalit disponibilních informačních systémů – závěr výzkumu: člověk zde působí v pozici navrhovatele funkcionalit a kooperuje se systémovým integrátorem pro zapracování návrhů do inteligentního systému plánování a řízení výroby.
 - interoperabilita procesního výkonu, propojování se a komunikace operátorů s technologiemi ve standardizovaném datovém schématu, produktová personalizace, reakce výrobního systému na změnu produktu, smart a efektivní plánování v reálném čase, environmentální přístup, virtualizace (digitální dvojče propojující fyzikální a kybernetický svět výrobní technologie) – závěr výzkumu: jednoznačně kolaborativní spolupráce, tj. rovnocenné postavení člověka a inteligentní procesní technologie.
3. Jaké zkušenosti používá tradiční operátor k tomu, aby byl schopen delegovat část svých pravomocí, kompetencí a procesních úkolů na inteligentní procesní podporu (Tab. 7)

Tab. 7: Detekce procesních zkušeností pro nastavení smart funkcionalit Operátora 4.0 (zdroj: autoři)

ZKUŠENOSTI TRADIČNÍ OPERATOR	ZNALOSTI PRO OPERÁTORA 4.0	ZKUŠENOSTI OPERÁTORA 4.0
Nastavování, přetypování strojů	Programování stroje, monitoring a komunikace s kyber-fyzikálním systémem	Analytický operátor (big-data analýzy)
Rozhodování v případě vzniku poruchy	Datová navigace a datová analytika o poruše, znalost přestavení vstupů a výstupů na pracoviště	Virtuální operátor (3D, virtuální realita)
Sběr a analýza dat o výrobním procesu	Kolaborativní diagnostika a rozhodování o další výrobě, využití digitálního dvojčete pro projektování výrobního postupu	Kolaborativní operátor (RPA, AI)
Nastavení a regulace automatizovaných strojních operací	Diagram využití operátora a navigační mapa jeho transferů mezi pracovišti, on-line výkonový monitoring strojních zařízení, multikvalifikační profil operátora 4.0	Sociální operátor (chatbot, WhatsApp, skype,...)

Další fáze výzkumného projektu se bude věnovat s ohledem na vývoj modelu prediktivního plánování a řízení výroby na oblast:

- identifikace produktivity člověkem definované inteligentní podpory plánování a řízení výroby,
- inovaci procesních kompetencí delegováním plánovacích a rozvrhovacích činností z člověka na inteligentní technologie,
- následnou revizí kompatibility procesních kompetencí, pravomocí a výkonů člověka a inteligentní technologie z pohledu systémového celku,
- navrhování klíčových metrik pro posuzování výkonu inteligentně řízeného systému plánování a řízení výroby.

V rámci výzkumu se prokázalo, že umělá inteligence má své opodstatnění v oblastech plánování a operativního řízení výroby, rozvrhování on-line zásahů, podpoře standardizace pracovních činností operátorů, operativní flexibilitě.

Výzkum prediktivního plánování a řízení výroby využívá řadu zajímavých postřehů světových odborníků. Kategorizace (Li, a kol. 2020) postupu procesu plánování výroby v hybridní tokové dílně na paralelní procesní sadu, dávkovou sadu a neuspořádanou sadu procesů umožňuje vytvořit vícekriteriální optimalizační model, který minimalizuje maximální dobu dokončení a minimální náklady na zpracování. K vyřešení modelu byl vyvinut vylepšený algoritmus umělé inteligence. Metoda segmentovaného dekódování založená na principu vkládání a době uvolnění předchozího procesu je navržena tak, aby efektivně využívala dobu nečinnosti stroje. Schéma využívá dynamický mechanismus spouštění navazujících operací, který umožňuje místní lokalizaci volných disponibilních kapacit pro realizaci výrobního výkonu. Simulační experimenty potvrdili funkcionalitu uvedeného modelu. Princip procesního řazení objednávky mezi dvěma výrobními operacemi vhodně doplňuje přístup Grassi a kol. (2020), kteří představují novou architekturu pro plánování a řízení výroby, charakterizovanou semi hierarchickou strukturou, ve které jsou různé úrovně řízení identifikovány jak jejich fyzickou identitou, tak funkčním rozsahem. Architektura je vyvíjena ve třech úrovních řízení: plánování podnikových zdrojů založené na znalostech (procesně-produktová úroveň, která je také zodpovědná za interakci s cloudem); řídicí jednotka nastavená na maximální procesní výkon (obecná úroveň výkonnosti); nízko-úrovňový regulátor stability procesu (operativní úroveň). Navrhovaná architektura představuje vylepšenou implementaci konceptu decentralizovaného rozhodování Průmyslu 4.0, která umožňuje lepší znalost a kontrolu výkonu systému a přináší vyšší předvídatelnost zisku a doby odezvy ve vysoce zákazníkovi přizpůsobených scénářích. Důležitým pokračováním procesní stabilizace výkonu je využití decentralizovaného přístupu k plánování (Grassi a kol., 2021), který zlepšuje výkonnost výrobních systémů a zároveň minimalizuje obvykle vysoké požadavky na nedokončenou výrobu klasického centralizovaného systému plánování a řízení výroby zásob. S využitím nezávislé architektury plánování a řízení výroby a integrace inovací Průmyslu 4.0 do cloudového výrobního prostředí tato práce přispívá k návrhu nižší úrovně architektury. Výstupní výrobní dispečerský řídicí program využívá princip prioritizace: dynamicky přidělovat úlohy podle různých pravidel odesílání. Výkonnost navrhovaného přístupu byla posouzena pro různé výrobní scénáře a nastavení kontrolních parametrů prostřednictvím experimentů založených na hybridních simulačních nástrojích. Monitoring procesního výkonu (Berger, 2018) je propojený na konkrétní procesní události s cílem zlepšit dodržování harmonogramu ve výrobě využitím potenciálu kyberneticko-fyzikálních výrobních systémů (CPPS). Inteligentní řídicí smyčky v blízkosti výrobní haly poskytují rychlou identifikaci událostí. Na základě seznamu činností je řízení výroby schopno adekvátně reagovat na různé události, např. poruchy stroje nebo urgentní objednávky. Činnosti iniciované systémem MES (Manufacturing Execution System) ovlivňují celý

výrobní systém během výroby. V posledním kroku byl vyvinutý koncept řízení výroby řízeného událostmi implementován do simulace.

Potřeba optimalizace procesních časů vyúsťuje do orientace (Guo, 2021) na časovou synchronizaci logistických a výrobních operací na dílně s využitím matematického modelu minimalizace součtu čekacího a seřizovacího času výrobních operací a čekacího času operací logistických. Model využívá metody smíšeného celočíselného programování s kombinací heuristického a meta heuristického algoritmu. Postup je prezentován na případové studii vysoce automatizované výroby řezných nástrojů na CNC strojích a Interní logistikou využívající AVG a řízené s použitím nástrojů IoT a digitálních dvojčat. Výzkum vztahů mezi synchronizací (Chankov, 2018) , jejími ovlivňujícími faktory a jejím vlivem na výkonnost logistiky má zásadní dopad na nastavení inteligentního plánovacího algoritmu. Na základě důkladného přehledu literatury autoři odvodili první hypotézy o příčinných a následkových vztazích mezi strukturálními a dynamickými vlastnostmi výrobního systému a vzniku logistické a fyzikální synchronizace, jakož i logistického výkonu. Provedením simulační studie diskrétních událostí na různých typech výrobních systémů (linka, průtoková dílna a výroba v dílně) byli schopni tyto hypotézy otestovat. Dospěli k závěru, že architektura výrobní sítě jako strukturální vlastnost, stejně jako variabilita času zpracování a pracovní zatížení systému jako dynamické vlastnosti mohou být využity pro pokročilý a synchronizačně orientovaný návrh výrobního systému.

Prediktivní analýzy ve vazbě na výkonnost procesního toku se opírají o řešení vlivů závažnosti kritického bodu procesu (Chen, 2019) a monitoringu variabilních vstupů do výkonu systému a prezentují vylepšenou metodu uvolňování objednávek, která pravidelně uvolňuje pořadí na základě opraveného agregovaného zatížení a průběžně na základě zatížení vyrovnávací paměti kritického bodu. Provozní kvalita této metody s klasickou metodou uvolňování objednávek v neopakovaném dynamickém výrobním systému je porovnávána modelováním a simulací. Výsledky ukazují, že vylepšená metoda uvolňování objednávek je robustnější pro obecný průtok s vyšší ochrannou kapacitou a variabilitou zdrojů. Z toho důvodu preference pro oblast plánování a rozvrhování výroby souvisí přímo s koncentrací určitého počtu zákaznických objednávek s cílem minimalizovat procesní prostoje. Agregované zatížení procesního postupu určitým počtem objednávek je zdrojem našeho výzkumu i v zákaznické výrobě.

2.3.2 Udržitelnost, účinnost zdrojů, úspora energií, poruchy, opravy

Oluyisola a kol. (2020) zkoumají výzvy inteligentních technologií (internet věcí, strojové učení a cloud computing) a představují koncepční model, matici

případů použití a rámec pro inteligentní systém plánování a řízení výroby (smart PPC) Ilustrují použití těchto technologií prostřednictvím čtyř dotazovaných společností. Prezentovaný model zaujímá inkrementální přístup, který by společnosti s omezenými zdroji mohly uplatnit při zlepšování svého PPC procesu v kontextu průmyslu 4.0 a udržitelnosti. Výsledky ukazují, že zatímco společnosti vyrábějící na zakázku s větší pravděpodobností získají větší výhody z inteligentní produktové strategie, společnosti vyrábějící na sklad budou s větší pravděpodobností těžit z provádění inteligentní procesní strategie a následně inteligentního PPC řešení. Ma a kol. (2020) ve své studii navrhuje prediktivní plánování výroby založené na velkých datech, které má zlepšit energetickou účinnost a účinnost zdrojů pro energeticky náročná výrobní odvětví. Kromě toho jsou vytvořeny modely spotřeby energie založené na kostkách a model predikce energie založený na dlouhodobé a krátkodobé paměti pro předběžné zpracování dat a optimální vytěžování procesního toku. Je prezentována případová studie keramického průmyslu, která zpracovává velká data o energii a predikuje parametry spotřeby energie a stav výroby. Výsledky hodnocení výkonnosti naznačují, že navrhované modely dlouhodobé a krátkodobé paměti překonávají neuronovou síť tzv. zpětného šíření procesního toku, auto regresivní klouzavý průměr a podporují vektorovou regresi. Na základě předběžného zpracování dat a výsledků prognózy by bylo možné zlepšit energetickou účinnost a účinnost zdrojů během celého výrobního procesu v energeticky náročných výrobních odvětvích.

Cílem výzkumné studie (Pagone a kol. (2019) bylo vyhodnotit robustnost nízko objemové výrobní linky smíšených modelů za různých provozních podmínek. Skutečná výrobní linka, která staví šest různých leteckých výměníků tepla, je modelována, simulována a analyzována za různých provozních podmínek. Provádí se řada experimentů s cílem posoudit vliv pravidel odesílání a rušení zakázek souvisejících s přepracováním a rozptyl doby zpracování na odolnost v oblasti opožděnosti. Penalizační funkce pro kvantitativní posouzení opožděnosti je definována na základě dodací lhůty při kapacitě a používá se k měření robustnosti systému. Výsledky hodnocení jsou poté diskutovány s cílem poskytnout některé praktické pokyny plánovačům výroby při řízení linky tváří v tvář nejistotě nebo poruchám podobným těm, které byly hodnoceny ve studii.

Assid a kol. (2020) se zabývají řídicím problémem v rámci hybridních výrobně-repasovacích systémů (HMRS) vyvíjejících se v dynamickém a stochastickém prostředí. Na rozdíl od předchozích výzkumů přináší nový směr tím, že zvažují smíšená specializovaná a sdílená zařízení (MDSF). Jsou motivováni potřebou integrovat tok repasování a zároveň zvýšit schopnost systému reagovat na nejistoty (náhodné poruchy a opravy zařízení, míra vrácených výrobků atd.).

Problémem je určit rychlost výroby pro výrobní a repasovací zařízení, jakož i rozhodnutí o nastavení potřebných k přepnutí repasovacího zařízení z režimu zásobovaného vrácenými výrobky do režimu zásobovaného surovinami. Cílem je minimalizovat očekávané celkové náklady. Je navržen dynamický model a numericky řešeny rozvinuté podmínky optimality. Získaná metodika řízení procesu kombinuje zásady zajišťovacích bodů a strategii nastavení na základě zásob, podle které je přepínání založeno na zásobách hotových výrobků podle prahových pravidel. Taková řídicí politika je pak analyzována a porovnávána s literaturou s ohledem na tři různé řídicí politiky. Dvě z nich byly vyvinuty v jiných kontextech s využitím pouze specializovaných zařízení nebo sdílených zařízení v dynamickém a stochastickém prostředí, zatímco třetí je přizpůsobena. Pro efektivní srovnávací studii je pro studovaný problém přijat a implementován optimalizační přístup založený na simulaci. Rozsáhlé číselné výsledky naznačují, že použití MDSF řízeného navrhovanou řídicí politikou poskytuje nejlepší výkon z hlediska nákladů.

Obdobný výzkumný problém řízení hybridního výrobního repasovacího systému (Quaret a kol. 2019) je podstatou dalšího výzkumu, zejména s ohledem na zjišťování pravděpodobnosti výskytu náhodných poruch a oprav v hybridních výrobních systémech. Vzhledem k heterogenitě vrácených výrobků se repasovací stroj časem zhoršuje v důsledku nedokonalých oprav a je třeba jej vyměnit. Výrobní stroj přijímá homogenní suroviny a není ovlivněn tímto typem poškození. Hlavním cílem uvedeného výzkumu je najít výrobní rychlosti obou strojů a míru obnovy repasovacího stroje, která minimalizuje celkové náklady, včetně výroby, držení zásob, nevyřízených položek, nákladů na opravy a výměnu, v nekonečném plánovacím horizontu. Nový matematický model je navržen pro základní třídu problémů souvisejících s historií poruch a oprav. Tento model je charakterizován rozšířením stavového prostoru, což vede k Markovovu rozhodovacímu modelu, který umožňuje odvození podmínek optimality. V opačném případě není možné takové podmínky získat. Jsou tedy vyvinuty podmínky optimality ve formě Hamilton-Jacobi-Bellmanových (HJB) rovnic. Ukazují, že i přes zvětšenou dimenzi stavového prostoru zůstává problém řešitelný a řešení HJB rovnic je získáno numericky. Nakonec je uveden ilustrativní příklad a analýza citlivosti, které ověřují spolehlivost získaných řídicích politik.

Ve vazbě na poruchy, opravy, udržitelnost a účinnost zdrojů se zabývá i aktuální výzkum procesních modelů na Ústavu PI zejména problematikou minimalizace rizika spojeného s uvedenými parametry. Podstatou výzkumu (Chromjaková, Bobák, Tuček a kol., 2022 - trvá) jsou procesní a technologické informace o průběhu výroby konkrétního produktu. Pozorováním jsme zjišťovali soulad technologického a technického plánu výroby v rámci zvolené pracovní směny.

S ohledem na systémové propojení rozvrhovaného procesu s disponibilními výrobními vstupy a požadovanými výrobními výstupy se vyžadovalo alokovat procesní zdroje do plánovaného výrobního procesu s ohledem na jejich maximální využití a vytížení. Schopnost naplánovat požadovaný výkon byla přímo determinována dostupností výrobních pracovišť pro realizaci požadovaného výrobního výkonu v reálném čase. Výsledkem výzkumu bylo zjištění, do jaké míry odpovídá reálný výrobní tok plánovanému výrobnímu toku a do jaké míry jsou v souladu historická data o minulém výrobním procesu, aktuálně plánovaná data a prediktivní data (pro budoucí výrobní plán). Plánovač využívá k plánování e-data z minulosti, které objektivizoval s ohledem na vývoj reálné procesní situace. Cílem objektivizace e-dat bylo získat stabilní data ve formátu fixních e-dat, které garantují naplnění plánovaného výrobního výstupu. Zcela klíčovým krokem stabilizace výrobního plánu je nastavení fixního termínu specifikace objednávky zákazníka. Ten musí být zvolený v dostatečném časovém předstihu před časovým začátkem plánování výroby uvedené zakázky. E-reporting identifikuje procesní tok v daném procesním řetězci a detekuje neproduktivní složky výrobního procesu. Možnosti eliminace úzkých míst ve spojení s minimalizací neproduktivních částí výrobního řetězce přímo ovlivňují budoucí úroveň výkonu, kvality, výrobních nákladů. Pro účely nastavení algoritmu stabilního plánu využíváme statistické analýzy a na jejich základě predikujeme hodnoty fixních e-dat pro budoucí plánování výroby.

Příčina vzniku abnormality byla základním předpokladem pro identifikaci pravděpodobnosti výskytu prostoje v reálné výrobě. Zde výzkumný tým řešil otázku:

Výzkumná otázka:

Obsahuje výrobní plán i prediktivní časovou rezervu, která je nezbytná pro adekvátní časové trvání reálného výrobního času?

Odpověď souvisí s požadavkem na plánované odstávky, přetypování stroje, výměnu výrobního a pracovního postupu. Zároveň jsme věnovali pozornost i kompatibilitě výrobního postupu, který probíhá simultánně na vedlejších pracovištích. Objektivní posouzení reálného výrobního toku totiž vychází z předpokladu nahodilé nedisponibility výrobního pracoviště pro výrobní výkon. Zde jsme hledali souvislost mezi příčinou výpadku disponibilního výrobního času a dostupností procesu pro výkon. Výzkum korelačních závislostí ukázal, že plánovač výroby musí vycházet ze statistické analýzy výrobních dat, která se primárně zaměřuje na kontinuální výrobní výkon reálného procesu. Vznik abnormality lze tudíž predikovat na základě zkušeností s konkrétním typem výrobního procesu (Tab. 8).

Tab. 8: Simulace procesních časů abnormality procesu (zdroj: autoři)

Výrobní zakázka	Plánovaný procesní čas	Disponibilní (reálný) výrobní čas	Časové trvání abnormality	Příčina abnormality (P – predikovatelná abnormalita) (N – nepredikovatelná abnormalita)
1	120 min	148 min	28 min	12 min – absence pracovníka (P) 5 min – zaseknutí materiálu ve stroji (N) 11 min – náběh stroje po opravě (N)
	120 min = 148 min – 28 min = 120 min			Plánovaný čas výroby na báze fixních e-dat (v daném případě činí stabilní čas výroby 136 min, nikoliv 120 min dle normočasů)

U pozorovaných procesů byla prokázána predikovatelná hodnota stability procesního času v intervalu (15–25%). Navíc výzkum prokázal, že abnormality se vyskytovaly primárně na kritických výrobních procesech a přímo tak ovlivňovaly celkový procesní čas výrobního procesu. Proto byl přijatý závěr, že prediktivní výrobní plán musí zohledňovat stabilizační procesní proměnné primárně u kritických výrobních procesů. Hodnoty, které nelze objektivně predikovat (nahodilá porucha, neplánovaný prostoj pracovníka) nastavujeme ve výrobním plánu jako objektivně definovanou časovou rezervu před kritickým pracovištěm. Na základě realizovaného výzkumu předpokládáme zde časový interval rezervního času, který odpovídá střední hodnotě nahodilé abnormality. Tato hodnota je kvantifikovaná na základě statistického pozorování stability procesu s minimálním počtem pozorování 30 po sobě se opakujících lead time vybraného procesu. U nepredikovatelných dat preferujeme na základě výzkumu vycházet z četnosti výskytu neplánované abnormality. Výzkum rovněž prokázal, že poměr predikovatelných a nepredikovatelných proměnných závisí na stabilitě výrobních postupů a flexibilitě pracovníků. Nedostatečná kompatibilita procesního a technologického postupu má za následek vznik technicky podmíněných abnormalit a destabilizaci fixních e-dat.

Prezentovaný model prediktivního plánování a rozvrhování výroby využívá fixní e-data. Proces tvorby modelu začíná definováním parametrů pro monitorování výrobního toku v standardizovaném režimu výroby. Popis systému diagnostiky procesu plánování a rozvrhování výroby vymezuje obsah vybraného výrobního procesu a klíčové parametry pro monitoring výrobního procesu. Hrubý model se dále dělí na dílčí operace a procesní kroky, jež jsou nezbytné pro postihu veškerých procesních souvislostí. Výsledkem úvodního kroku je detekce příčin nestability výrobního plánu (např. absence termínu ukončení specifikace objednávky, chybějící materiál u stroje, nedisponibilita operátora na pracovišti atd.).

Plánovaný objem výroby je kontrahovaný objem výroby na základě požadavků zákazníka. Realizace plánovaného objemu výroby je závislá od disponibilního výrobního času, v rámci kterého se požadavky zákazníka rozvrhují. Výroba začíná předstihem před zahájením výroby, což je časový úsek určený pro přípravu výroby technologickou (nastavení výrobního postupu) i technickou (příprava technologie výroby). Důležitým milníkem pro spuštění výroby je stop-time pro specifikaci objednávky před zahájením výroby. Je to časový bod, který stabilizuje zahájení výroby v rámci výrobního rozvrhu. Z pohledu prediktivního plánování výroby představuje tento milník zásadní fixní e-data. Od nich závisí následné rozvrhování výroby. Zde je důležité jednoznačné stanovisko ke způsobu rozvrhování výroby. Ta může být rozvrhována ve formátu od konce výrobního procesu na začátek (požadavek daný zákazníkem) nebo ve formátu od začátku výrobního procesu (požadavek výrobní společnosti). Uvedená skutečnost determinuje nastavení procesního modelu pro projektování výroby.

Na základě datové diagnostiky jsme pro jednotlivé proměnné statisticky stanovili tzv. rizikový index disponibility pracoviště (RIWA – risk index workplace availability). Uvedený index vyjadřuje statistickou pravděpodobnost nedisponibility výrobního času pro výkon, který je nutné započítat do průběžné doby výroby. V případě detailní datové diagnostiky lze tímto způsobem identifikovat cyklové časy, které je nutné stabilizovat do formátu fixních e-dat započítáním relevantního RIWA. Tímto způsobem získáváme klíčovou hodnotu průběžné doby výroby pro prediktivní plánování a rozvrhování výroby.

$$PDV_1 = (POV_1 \sum_{i=1}^x (RIVA_i)) + DFT_1 + \sum_{i=1}^n WP_i \quad (8)$$

Stabilita výrobního plánu vypovídá o realitě výkonnosti výroby. Z pohledu průmyslového / procesního inženýra je nutné zabývat se příčinami identifikovaných abnormalit ve výrobním toku (tabulka 8). Disponibilní kapacita výkonnosti výroby je obvykle 480 min/směna (TEEP – Total Effective Equipment Performance). V rámci datové analýzy jsme zkoumali hodnoty ukazatelů OEE (Overall Equipment Effectiveness) a OOE (Overall Operations Effectiveness). Monitoring klíčových

ukazatelů poskytnul relevantní data o reálném %-ním vytížení výrobní kapacity. Kalkulovaná cena 1 minuty výrobního času zahrnovala celkové náklady na dané výrobní pracoviště v rámci 1 minuty (výrobní náklady + náklady na zmetky, prostoje a další identifikované abnormality, mající vliv na výkon výrobního systému v dané minutě). Zásadním výstupem uvedené datové analýzy byla znalost variantního rozpětí ceny 1 minuty reálného výrobního času. Rozdíl ceny plánované a reálné minuty výrobního času byl a je důležitým indikátorem nastavení procesu projektování výrobního času.

2.3.3 Industry 4.0 , Robotizace, Digital Factory

Výrobní systémy Průmyslu 4.0 musí umožňovat flexibilitu produktů, procesů a dostupných výrobních zdrojů (Novak a kol., 2019).. Typy výrobních zdrojů se mohou lišit nejen během procesu údržby výrobních systémů, ale také za běhu. Výrobní receptury a přiřazení k výrobním zdrojům již nelze pevně zakódovat v automatizačních a řídicích systémech, ale výrobu je třeba plánovat a plánovat dynamicky s ohledem na aktuální stav výrobních systémů a potřeb zákazníků. Návrh architektury pro novou generaci výrobních informačních systémů, které jsou úzce propojeny s plánovači se koncentruje na maticové propojení parametrů procesů, informačního systému a digitálního schématu. S tím souvisí i rozšíření funkcionalit kyber-fyzikálních systémů (Berger a kol., 2019), která spočívá v decentralizované organizaci propojené na schopnost v reálném čase a inteligentním zpracováním dat poskytnout flexibilní možnosti PPS. Přístup je založen na řízení podle událostí. Kontrolní smyčky v blízkosti výrobní haly umožňují rychlou identifikaci událostí. Na základě seznamu činností je řízení výroby schopno adekvátně reagovat na různé události, jako jsou poruchy stroje. Metodika byla testována v simulačním prostředí Technomatix Plant Simulation. Významným doplňkem systému je návrh predikčního modelu pro pohyby robotů v hybridních montážních stanicích (Mouritz a kol., 2020), založený na digitálním dvojčeti robota a statistickém regresním modelu. Kromě toho jsou respektovány bezpečnostní normy a schopnosti robotů, ovlivňující efektivitu procesního toku zejména v kolaboraci s člověkem. Výsledný model je ověřen proti simulačnímu softwaru a dále implementován v pilotním případě odvozeném z automobilového průmyslu.

Luh a kol. (2020) navrhuje inteligentní výrobní řešení pro lepení podešví obuvi ve smíšeném výrobním prostředí. Řešení automaticky vede 5-osý CNC dávkovací stroj k provádění lepení podešve náhodně umístěné na pracovním stole bez použití upínání. Jediná kamera RGB-D se používá k zachycení hloubkových dat pracovního prostředí. Je implementován dvoustupňový

algoritmus, který poskytuje inteligenci pomocí on-line monitorovaných dat jako vstupu. Metoda LINEMOD nejprve určí hrubou pozici z tréninkových dat všech podrážek bot v předem definovaných orientacích. Metoda oříznutého interaktivního nejbližšího bodu (ICP) pak zpřesní pozici pomocí hrubé pozice jako počátečního řešení. Předem určené pracovní dráhy jsou přeměněny na správné místo kolem podrážky. Odpovídající pohybové příkazy pohánějí řídicí jednotku dávkovače tak, aby dokončila lepení bez kolize. Výsledky testů skutečných podrážek bot potvrzují účinnost navrhovaného řešení.

Z hlediska organizace práce má svůj význam orientace na řešení Digital Factory, schopné orchestrovat různé typy zdrojů – lidi, stroje, roboty – podle jejich schopností (Pisaric a kol., 2020). Základní součástí řešení je nástroj Orchestrator v reálném čase, který orchestruje (organizuje, koordinuje a eliminuje konflikty v reálném čase) dílenské výrobní kapacity za účelem výroby požadovaného produktu. Orchestrator je komplexní, modulární, vysoce škálovatelný a připojitelný software, který je zodpovědný za dynamické párování, plánování a provádění produkčních kroků, což umožňuje vysoké přizpůsobení a výrobu velikosti šarže.

2.3.4 Digitalizace, Big Data, cloud computing, strojové učení, simulace, digitální dvojčata

V dnešní době jsou výrobní systémy vybaveny velkým množstvím digitálních komponent (Bartelt a kol., 2018). Spolu s rostoucím výpočetním výkonem a konektivitou se stávají inteligentnějšími a mohou se rozhodovat sami. Mezi uvedené kompetence patří mimo jiné vlastní optimalizace a vlastní konfigurace výrobního systému. Kromě toho mohou tyto kyberneticko-fyzické výrobní systémy přispívat k plánovací fázi výrobního systému, např. když musí být výrobní proces přizpůsoben novému výrobku. Zatím však nejsou k dispozici vhodné prostředky ani praktický způsob fungování digitálního procesního modelu, zohledňující okamžitou flexibilitu člověka a technologie. Proto není jasné, jak mohou výrobní systémy fungovat souběžně s lidmi v této fázi plánování. Autoři zde diskutují metodu simultánního inženýrství, která umožňuje výrobním systémům podílet se na plánování výrobních systémů využitím tzv. konfrontační systémové logiky.

Cappurro a kol. (2021) ve své studii analyzují z pohledu dynamické perspektivy kapacit roli big-data analytiky ve firemní podpoře inovačních procesů. Použitá metodologie je kritická literární rešerše a analýza empirických dat ze strukturovaných dotazníků od 25 datových analytiků z firem v souvisejícím digitálním sektoru. Z předložené studie vyplývá, že precizní datová analýza

musí inicializovat komplexní procesní řetězec hodnotového toku v propojení produkt – procesní technologie – výstup realizovaného procesu. Umožňuje tím revizi informačního toku, který se následně stává standardizovanou součástí big data schématu. Do uvedeného konceptu zapadá i metodika víceúrovňového agregovaného plánování služeb (MASP) (Yu a kol., 2018), která pojednává o možnostech tvorby hierarchie služeb MASP za účelem integrace služby různých členitostí do vrstvené struktury produkčního schématu. Na základě této struktury je zavedena jedna z technologií dolování dat s názvem časové řady, která poskytuje dynamickou prognózu pro každou vrstvu. Tímto způsobem může MASP nejen řešit služby složité procesní struktury, ale také plnit požadavky všech souvisejících poskytovatelů služeb bez ohledu na jejich výrobní schopnosti. Součástí výzkumu je i případová studie, která ukazuje, jak lze MASP aplikovat v prostředí cloudové výroby. Výsledky předpovědi jsou považovány za spolehlivé, protože řádový rozsah výroby pro každou servisní vrstvu je mnohem větší než velikost odpovídající střední chyby prognózy.

Oluyisola a kol. (2022) ve své studii předkládají metodologii pro návrh a vývoj smart PPC systému, využívajícího pokročilé technologie internetu věcí, big-data analytických nástrojů a strojového učení běžícího na cloudu nebo distribuovaných zdrojích ke zlepšení výkonnosti PPC procesů. Komplexnost datově-procesního schématu je dána širším rozsahem datových zdrojů z výrobního systému, systémovým monitoringem a využitím zkušenosti plánovačů z poznatků z dat. Princip podporuje dynamické akce v reálném čase ke kontinuálním změnám výrobního systému, závislé od nastavené reakce na změny procesních parametrů. V propojení na kinematické modely a simulaci diskrétních událostí lze ve značném rozsahu ovlivnit i možnosti rozšiřování výrobní kapacity, zejména v montážních dílnách (Chinnathai a kol. 2021). Modely jsou vylepšeny historickými výrobními daty a mapováním znalostí. Nástroje diskrétních simulací a víceúčelového genetického algoritmu se používají k podpoře identifikací potenciálních konfigurací systému, poskytujících optimální škálování vybraných ukazatelů výkonnosti výrobního procesu se zaměřením na náklady na škálování a výrobní kapacitu. Evropský projekt ASSISSTANT (Beldiceanu a kol., 2021) navazuje na úroveň poznání v tomto směru výzkumem technologie digitálních dvojčat. Využitím umělé inteligenci usilují o podporu provozu kolaborativní montážní linky fixně nastavenými modely databázově řízeného internetu věcí (IoT) a externích zdrojů dat. Nástroj umožňuje plánovačům navrhovat montážní linku, naplánovat výrobní disponibilitu, provozovat efektivně nastavenou výrobní linku a zlepšit systém ladění procesů, monitorováním linky v reálném čase, a zejména zajistit dispozici všech potřebných zdrojů a v případě potřeby rychlé přeplánování. Aktuálním příspěvkem k uvedenému tématu je i koncepce řízení výrobního systému, založená na uzavření zpětné vazby mezi systémem plánování

výroby a digitálním dvojčtem fyzického výrobního systému (Novak, a kol., 2020). Digitální dvojče udržuje aktuální informace o aktuálním stavu fyzického výrobního systému a je kombinací plánovače výroby a využití metod umělé inteligence. Výrobní receptury a konkrétní instance procesů jsou plánovány pro každou výrobní zakázku za běhu na základě stavu výrobního systému načteného z digitálního dvojčete. Tento přístup poskytuje vysokou flexibilitu, pokud jde o schopnost přidávat a odebírat produkty i výrobní prostředky. Umožňuje také zotavení po chybě opětovným přeplánováním výroby, pokud dojde k poruše. Navrhovaný přístup je testován a vyhodnocován na interně hostovaném testbedu Průmyslu 4.0, což potvrzuje jeho efektivitu a flexibilitu aplikací navrhovaného řešení v alternativních simulačních procedurách.

3 VYBRANÉ VÝSLEDKY VÝSTUPŮ PRACOVNÍKŮ ÚSTAVU

Výzkumné oblasti Ústavu průmyslového inženýrství a informačních systémů se v posledním období soustřeďují do tří oblastí:

1. Modelování procesních parametrů a vývoj metodiky pro optimalizace komplexních systémů řízení firemních procesů v globální ekonomice
Cílem výzkumného záměru je formulovat klíčové parametry vybraných podnikových procesů ve vybrané oblasti (průmyslová výroba, administrativa, veřejná správa, zdravotnictví), které jsou rozhodující pro oblast zvyšování jejich výkonnosti, efektivnosti. Následně jsou zkoumané klíčové korelace uvedených parametrů, což následně umožňuje modelovat a testovat flexibilní procesní schémata pro kontinuální optimalizaci procesního systému jako kompaktního celku. Součástí vyvíjené metodiky bude propojení dosavadních znalostí a zkušeností z různých typů procesů (kombinace evropských, japonských, amerických procesů), aby bylo možné uvedenou metodiku využít pro adekvátní plánování a rozvrhování podnikových procesů v různých typech firem na globální úrovni, které jsou zastoupené zejména v ČR.

2. Zvyšování výkonnosti a produktivity podnikových procesů využitím business intelligence a informačních technologií v propojení na tvorbu štihlých podnikových informačních systémů

Základem výzkumného záměru je detailní analýza pojmu business intelligence, vymezení oblasti působnosti a klíčových parametrů z hlediska komplexního zvyšování výkonnosti a produktivity podnikových procesů. Následuje identifikace procesního modelu business intelligence, komparativní analýza stávajících informačních technologií a možností jejich využití v oblasti tvorby návrhu štihlého podnikového informačního systému. Výsledkem je vyvinutý model business intelligence pro oblasti výrobních a administrativních procesů v průmyslové firmě, propojený na strategické a operativní řízení podnikových procesů jako celku.

3. Produktové a procesní inovace podporující zvyšování přidané hodnoty podnikových procesů s dopadem na kontinuální zvyšování konkurenceschopnosti firmy

Podstatou výzkumného záměru je identifikace potenciálů vybraných podnikových procesů v propojení na stávající znalosti a zkušenosti z implementace metod a nástrojů průmyslového inženýrství pro vytvoření metodiky, orientované na kontinuální inovační proces v oblasti výrobních a administrativních procesů, přičemž tyto inovace mají zásadní vliv i na

inovace produktů, procházejících vybranými výrobními a administrativními procesy. Cílem výzkumného záměru je vytvoření metodiky pro plynulé dosahování optimální přidané hodnoty disponibilních podnikových procesů.

V těchto souvislostech vybíráme významné publikované výstupy pracovníků ústavu a porovnáváme je se současným stavem poznání v provedené rešerši.

3.1 PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY, LOGISTICKÁ PODPORA PODNIKOVÝCH PROCESŮ, UPLATNĚNÍ METOD PRŮMYSLOVÉHO A PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ U ČESKÝCH A SLOVENSKÝCH PRŮMYSLOVÝCH VÝROBCŮ

Poláková a Bobák (2013) v monografii Průmyslové inženýrství jako faktor konkurenceschopnosti výrobních podniků řeší problematiku zavádění metod průmyslového inženýrství ve slovenských a českých výrobních podnicích z několika úhlů pohledu. Cílem je zjistit vzájemnou závislost snižování nákladů, zjednodušení a zrychlení výrobních procesů a konkurenčních výhod. Nejprve je zpracována literární rešerše domácích i zahraničních zdrojů vztahujících se k dané problematice. Následně jsou formulována teoretická východiska pro výzkumnou část, která jsou ověřována vlastním výzkumem. V závěru jsou výsledky výzkumu porovnány s teoretickými poznatky získanými z literární rešerše a jsou formulovány závěry a doporučení pro výrobní podniky. Výstupem je metodika pro zavádění metod průmyslového inženýrství do výrobních podniků a zvyšování výkonnosti jejich výroby a logistiky. Monografie je určena zájemcům o zlepšování výrobních procesů z řad akademických pracovníků a studentů vysokých škol a odborných škol, dále pracovníkům odborných útvarů ve výrobních a poradenských organizacích.

Ondra (2022) ve svém článku “Dopad SMED a TOM na operativní výkonnost zařízení“ zkoumá souvislosti mezi využitím nástrojů průmyslového inženýrství, konkrétně SMED, TPM a vyhodnocováním celkové efektivity zařízení (OEE) v průmyslových podnicích v České republice. Od třetího čtvrtletí roku 2019 do třetího čtvrtletí roku 2020 bylo provedeno komplexní dotazníkové šetření mezi 200 společnostmi a podrobné vyhodnocení provozní výkonnosti 92 společností. Bylo zjištěno, že 20,5 % firem implementovalo SMED, 26,5 % firem implementovalo TPM a 54,0 % firem nesledovalo a nevyhodnocovalo OEE. Výzkum potvrzuje teoretickou souvislost mezi SMED a OEE a mezi OEE a TPM. Statistická významnost použití SMED a TPM odděleně nebyla prokázána. Byla však prokázána vzájemná interakce používání TPM a SMED na úrovni OEE.

Ondra (2018) v příspěvku „Aplikace indexu mapování toku hodnot pro verifikaci příležitostí ke zlepšení procesů a zlepšení procesního výkonu“ poukazuje případovou

studii, realizovanou v českých průmyslových firmách na užitečnost a praktickou použitelnost uvedené metodiky jako podpůrného nástroje průmyslového inženýrství pro zvýšení výkonnosti podnikových procesů. Z výsledků vyplývá, že mapování toku hodnot je vhodným nástrojem pro podporu zlepšovacích projektů ve výrobních podnicích. Díky jejímu využití mohou společnosti dosahovat vyšší výkonnosti podnikových procesů a tím zvyšovat konkurenceschopnost společnosti. zlepšovacemi projekty ve výrobních podnicích.

Galová, Rajnoha, Ondra (2018) v článku „Využití průmyslového štihlého managementu v ekonomické praxi – empirická studie výrobní společnosti v ČR“ identifikují nejčastěji používané metody průmyslového inženýrství v českých výrobních podnicích. Sekundárním cílem je porovnání využití jednotlivých metod průmyslového inženýrství ve vybraných průmyslových oblastech. Sběr potřebných dat probíhal prostřednictvím online dotazníku (N=118). Z výsledků vyplývá, že nejčastěji používanými metodami průmyslového inženýrství jsou standardizace, plánování materiálových požadavků (MRP I), plánování výrobních zdrojů (MRP II), 5S a Kaizen. Tato studie potvrzuje, že použití standardizace, 5S, Kaizen a MRP I závisí na typu odvětví, ve kterém společnost působí, dále zaměření na průmysl nemá vliv na to, zda se použije TQM nebo MRP II.

Pivodová, Juříčková, Bobák (2014) v článku „Návrh procesu a organizace inovační aplikační metodiky“ informují o současné situaci v mnoha společnostech, které se zabývají zlepšováním svých procesů pomocí metod průmyslového inženýrství. Prostor pro jejich použití se však stále zmenšuje. Pro konkurenceschopnost podniků je třeba uplatňovat inovativní přístupy v oblasti procesů a organizace. To však ovlivňuje metody a přístupy řízení, které mohou být důvodem selhání, jak je popsáno v tomto článku. Názory jsou podpořeny zjištěními dvou druhů výzkumů. Kvantitativní výzkum se zaměřuje na váhy vlivů na výkonnost podniku a aplikace vybraných metod v průmyslových strojírenských podnicích. Druhý výzkum informuje o výsledcích charakteristik zlepšovacích projektů a přístupech ke zlepšování z realizovaných případových studií ve výrobních podnicích. Výsledky ukazují na potřebu aplikací, které nemohou být náhodné, ale spíše systémové. Závěrem tohoto příspěvku je proveden návrh metodiky pro aplikaci procesních a organizačních inovací.

Juříčková, Hrušecká (2015) se v příspěvku „Ekonomický růst a inovace – měřitelné indikátory ekonomického výkonu“ se zabývají srovnáním národní inovační výkonnosti vybraných zemí světa, které jsou považovány za nejpokročilejší z hlediska počtu patentů a vztahů výše uvedených ukazatelů. Diskusní část této práce obsahuje shrnutí získaných výsledků na základě předchozích výzkumných aktivit. V závěru článku je nastíněn rozsah budoucího

výzkumu zaměřeného na následné faktory inovační výkonnosti ovlivňující ekonomický růst.

Juříčková, Pilík, Kwarteng (2019) se ve svém článku „Efektivnost měření národních inovačních systémů v zemích EÚ, DEA model aplikace“ zaměřují na měření technické efektivity Národního inovačního systému ve vzorku zemí Evropské unie (EU) pomocí analýzy obalu dat. Pro výpočet efektivity jednotek reprezentovaných zeměmi Evropské unie použili model konstantní návratnosti měřítko orientovaný na výstup. Tato neparametrická metoda měří efektivitu využití vstupů ve srovnání s dosaženými výstupy v průběhu spotřebního procesu. V návaznosti na předchozí studie na toto téma jako vstupy použili počet výzkumných pracovníků a výdaje na výzkum a vývoj (R&D) a jako výstupy modelu publikovali články ve vědeckých časopisech a aplikované patenty. Na základě dostupných dat pokryli období let 2005–2016. Toto období pokrývá ekonomické období před finanční krizí a ekonomickou recesí, ve kterém bylo nutné efektivně využívat zdroje pro maximalizaci finální produkce. Studie také prezentuje data reprezentující éru růstového trendu v evropské ekonomice. Jedinými efektivními zeměmi ve studii z roku 2016 byly Kypr, Lucembursko, Malta a Rumunsko. Počet efektivních jednotek se snížil ze šesti zemí měřených v roce 2005, z osmi zemí vypočítaných v letech hospodářské krize na čtyři efektivní rozhodovací jednotky (DMU) v roce 2015. Německo, které si v Evropské unii vedlo nejlépe v žebříčku patentů, bylo klasifikováno jako neefektivní jednotka se stupnicí efektivity 0,50. Výsledky naznačují rozdíly mezi inovační výkonností zkoumanou různými indexy dostupnými ve veřejných databázích a technickou efektivitou DEA. Společnosti s nejlepšími výsledky mohou být považovány za neefektivní při využívání zdrojů vstupujících do národního inovačního systému (NIS), pro který je technická efektivita zkoumána v této studii.

Kwarteng, Pilík, Juříčková (2018) v článku „Princip nákladové úspory – omezující faktory on-line objednávky v elektro obchodě – analytický přístup výzkumu“ zkoumají další přitažlivé faktory kromě cenové dostupnosti (úspory nákladů) při výběru typu použitelného procesu prodeje elektronického zboží. Za tímto účelem byl navržen model preferencí spotřebitelů, který odhalil klíčové faktory, které řídí spotřebitelská rozhodnutí na trhu s použitým elektronickým zbožím. Případová studie využívající rozvíjející se ekonomiku (Česká republika), kde jsou prodejny použitého zboží na denním pořádku spojené se sklonem k používání použitých elektronických přístrojů. Studie použila jednoduchou náhodnou techniku zaměřenou na všechny regiony v České republice. Metoda agregované společné analýzy byla použita k modelování preferencí spotřebitelů s cílem určit význam, který přiřkládají atributům, které spotřebitelé nejvíce zvažují při online transakcích s použitým zbožím. Z výsledku vyplývá, že pokud jde o online nákupy použitých elektronických

zařízení, je "počet let používání" produktu druhým nejdůležitějším motivačním faktorem po úspoře nákladů (cenová dostupnost). Studie by pomohla poskytnout obecný přehled o preferencích spotřebitelů na trhu s použitým elektronickým zbožím. Počet let používání produktu je druhým nejdůležitějším motivačním faktorem po úspoře nákladů (cenová dostupnost). Studie by pomohla poskytnout obecný přehled o preferencích spotřebitelů na trhu s použitým elektronickým zbožím.

Pivnička (2011) se v příspěvku „Balanced Scorecard, praktické aplikace Oracle BSC“ zabývá aplikací metodiky Balanced Scorecard v podnikových informačních systémech se zaměřením na využitelné praktické aplikace. Začíná stručným přehledem současných poznatků o Balanced Scorecard, zahrnuje pojednání o základní logice této metodiky a představení jejich jednotlivých složek. Pozornost je věnována také roli Balanced Scorecard ve strategickém řízení. V návaznosti na to se pozornost přesouvá na podporu Balanced Scorecard v informačních systémech. V této části příspěvku je kladen důraz na Business Intelligence a výkonnostní systém podniku a jejich vztah k výše uvedené metodologii. V hlavní části této studie jsou řešena praktická řešení, která podporují tuto metodiku v rámci informačního systému společnosti Oracle. Tato část je rozdělena do dvou kapitol. Nejprve je téma řešeno z pohledu diváků (koncových uživatelů). Jsou zdůrazněny hlavní přínosy pro zaměstnance společnosti a vliv na efektivitu jejich práce. Druhá část je věnována povinnostem systémových dizajnerů – lidí transponujících Balanced Scorecard do informačního systému. Jedná se tedy o způsob, jak nastavit a přizpůsobit Balanced Scorecard v rámci informačního systému. Na závěr tento článek shrnuje hlavní přínosy integrace Balanced Scorecard a informačního systému, jako je sladění firemních cílů s cíli zaměstnanců, zlepšení komunikace a lepší zpětná vazba.

Hrabal, Tuček, Molnár, Fedorko (2021) v článku „Human factory v podnikovém procesním managementu: modelování kompetencí BDM role“ na základě kvalitativního výzkumu navrhuje kompetenční modely pro role vlastníků procesů, procesních analytiků a průmyslových inženýrů. Metodologie výzkumu je kombinací dotazníkového šetření a dotazování v českých firmách, které rozvíjejí procesní přístup. Navržené kompetenční modely mohou být využity při implementaci řízení podnikových procesů (BPM) při jmenování vlastníků procesů, analytiků a průmyslových inženýrů a jejich dalším rozvoji. Tento článek zdůrazňuje roli lidského faktoru a prezentuje výsledky výzkumu týkajícího se nejdůležitějších rolí BPM a jejich kompetencí. Dosud chyběl výzkum (mezera ve výzkumu) v oblasti rolí BPM, toho, co dělají a co by měly dělat. Systém kompetenčních modelů je tedy nástrojem pro řízení lidských zdrojů a měl by zvýšit úspěšnost BPM projektů. Další možné využití je ve vysokoškolském vzdělávání v podnikové administrativě. Na základě kvalitativního

výzkumu jsou navrženy kompetenční modely pro role vlastníků procesů, procesních analytiků a průmyslových inženýrů.

Tuček, Gavurová (2023) v článku „Dosahování tržního výkonu s Průmyslem 4.0 využitím dynamické marketingové schopnosti managementem udržitelných lidských zdrojů a cirkulárního produktového dizajnu“ empiricky zkoumají, zda dynamické marketingové schopnosti s podporou Průmyslu 4.0 a udržitelné řízení lidských zdrojů (SHRM) mohou firmám umožnit implementovat strategie oběhového designu produktů a dále zlepšovat výkonnost trhu. Navrhovaný rámec je založen na dynamickém pohledu na schopnosti (DCV) a testován modelováním strukturálních rovnic s využitím dat z průzkumu od 424 indických B2B výrobních firem. Zjištění ukazují, že SHRM podporuje dynamické marketingové schopnosti (IDMC) s podporou Průmyslu 4.0; Systémy IDMC i SHRM podporují implementaci strategií návrhu cirkulárních výrobků. Cirkulární design produktů má společnosti IDMC usnadnit rozšíření výkonnosti na trhu. IDMC však samo o sobě také stačí k výraznému zvýšení výkonnosti trhu, a to navzdory kombinovanému pozitivnímu vlivu cirkulárního designu výrobků a systému SHRM na výkonnost trhu. Tato zjištění přispívají k lepšímu pochopení toho, jaký typ dynamických schopností organizačních zdrojů by měl být vyvinut a využit ke zlepšení výkonnosti trhu. Studie pomáhá firmám rozvíjet dynamické marketingové schopnosti, jako jsou strategie cirkulárního designu produktů, SHRM a IDMC, které jim pomáhají zlepšovat výkonnost trhu a zároveň udržitelně růst.

Hrbáčková, Stojanovič, Tuček, Hrušecká (2019) se v článku „Environmentální aspekty životního cyklu produktu v manažerské a nákupní logistice – aktuální situace v českých průmyslových SMEs“ se zaměřují na současné přístupy k environmentálnímu chování velkých a středních českých výrobních podniků, a to ve vztahu k řízení environmentálních aspektů v průběhu celého životního cyklu výrobku a řízení environmentálních rizik v jednotlivých fázích životního cyklu výrobku. Na základě kvalitativního a kvantitativního výzkumu provedeného prostřednictvím strukturovaných rozhovorů v kombinaci s dotazníkovým šetřením autoři poskytují analýzu skutečného vzhledu do řízení environmentálních rizik a aspektů v průběhu celého životního cyklu výrobku v českých výrobních podnicích. Výsledky jsou posuzovány také z hlediska jednotlivých prvků environmentálního systému a vztahu environmentálních aktivit k legislativním požadavkům státu a dalším systémovým standardům napříč podnikatelským prostředím. Na základě výzkumných aktivit autoři zjistili, že konečný zákazník je nejdůležitější stakeholderem ovlivňujícím řízení rizik v jednotlivých fázích životního cyklu produktu. Další výzkumné kroky budou směřovat ke komparativní studii environmentální výkonnosti středních a velkých výrobních podniků v jiných zemích. Praktické využití výsledků výzkumu je

zaměřeno zejména na novou shodu environmentálních požadavků se zákazníky v celém logistickém řetězci.

Bobák, Pivodová, Poláková (2013) v článku „Výkon výroby a logistiky českých a slovenských firem“ popisují příčiny výrobní a logistické výkonnosti, analyzují logistické procesy, používané vybrané metody průmyslového inženýrství, metody plánování a řízení výroby a softwarové nástroje, využívané pro měření a řízení výkonnosti, které jsou v současné době aplikovány ve výrobních podnicích v České a Slovenské republice. Tato analýza byla provedena s využitím kvalitativního výzkumu provedeného v 80 vybraných výrobních podnicích v roce 2009. Výsledky jsou porovnány se závěry z předchozích výzkumů výrobních a logistických faktorů konkurenceschopnosti českých průmyslových výrobců realizovaných v období 2000-2001 v rámci výzkumného záměru fakulty ukončeného v roce 2004.

Bobák, Pivodová, Fila (2015) se v příspěvku „Benchmarking výrobního výkonu plastikářských a gumárenských producentů v regionu Zlín“ zaměřují na výzkum výrobní a logistické výkonnosti výrobců plastů a pryže ve Zlínském kraji. V této oblasti je největší koncentrace těchto oborů v České republice. V příspěvku jsou vyhodnoceny charakteristiky zahrnutých organizací z hlediska právní formy, počtu zaměstnanců, obratu, zapojení do dodavatelských sítí (automotive, elektronika, nábytek, stavebnictví, potravinářství) a výsledný plastikářský klastr. Je proveden export vybraných ekonomických ukazatelů, charakterizujících výrobní a logistickou výkonnost z účetních výkazů z databáze Albertina CZ Gold Edition a zkontrolována jejich vypovídací schopnost a správnost výročních výkazů organizací. Dosavadní výsledky jsou v závěru porovnány s průměry relativních benchmarkingových metrik klastrových organizací a organizací zkoumaných oborů ve Zlínském kraji.

Bobák (2011) předkládá monografii „Výrobní a logistická výkonnost podniků gumárenského a plastikářského průmyslu v České republice, která se snaží orientovat na základní výrobní a logistické procesy v podnicích gumárenského a plastikářského průmyslu, přinášející hodnotu zákazníkovi a usiluje o zvyšování procesní výkonnosti. Charakterizuje soubor podniků gumárenského a plastikářského podniku v České republice z různých hledisek. Navazuje teoretickým vymezením problematiky výrobních systémů a plánování a řízení výroby, doplněním o případové studie z organizací gumárenského a plastikářského průmyslu. Jako základ pro zvyšování výkonnosti hlavních podnikových procesů jsou prezentovány základní metodické přístupy hospodářské logistiky a průmyslového inženýrství opět doložené případovými studiemi aplikací ve zkoumaném odvětví. Výkonnost výrobních a logistických procesů je zasazena do rámce obecných přístupů řízení a měření výkonnosti. Jsou prezentovány výsledky

benchmarkingového porovnání metrik výrobní a logistické výkonnosti plastikářského klastru vzhledem k souboru zpracovatelů plastů a gumárenských podniků Zlínského kraje.

Saini, Hrušecká (2021a) v článku „Komparativní dopad indexu logistické výkonnosti na výkon podniku a logistické náklady v ekonomickém pohledu: Fuzzy QCA analýzy“ si kladou za cíl vyhodnotit dopad dvou hlavních institucionálních indexů indexu logistické výkonnosti (LPI) a snadnosti podnikání (EODB) spolu s logistickými náklady (LC) na ekonomický rozvoj (hrubý domácí produkt – HDP na obyvatele). Proměnné vybrané pro výzkumnou studii poskytují komplexní dopad a tvoří jádro ekonomiky pro každou zemi. Pro tuto analýzu bylo vybráno sedm největších ekonomik světa (Čína, Francie, Německo, Indie, Japonsko, Velká Británie a USA) spolu s Českou republikou, Singapurem a Slovinskem. Středně velké ekonomiky Česká republika, Singapur, Slovinsko byly vybrány pro regionální vyváženost Asie a Evropy a pro výsledky spolupráce. Pro studii byla zvolena předběžná analýza ve formě Pearsonovy korelační analýzy a podrobná fuzzy kvalitativní komparativní analýza. Výsledky ilustrují, že LPI je klíčovou složkou pro zobrazení pozitivních výsledků na ekonomický vývoj. LC a EODB vykazují smíšené výsledky a budou studovány v budoucím výzkumu za účelem identifikace jejich dopadu na ekonomický rozvoj. Výzkum zahrnuje i další indexy, jako je globální index konkurenceschopnosti, index inovací pro hodnocení kombinovaného dopadu na ekonomický rozvoj.

Saini, Hrušecká (2021) v článku „Vliv logistické konkurenceschopnosti a logistických nákladů na ekonomický vývoj: FSQCA kvalitativní přístup“ ilustrují vliv logistických nákladů (LC) a logistických kompetenčních parametrů (LPI) na ekonomický vývoj. Metodologie kvalitativní komparativní analýzy fuzzy množin (fsQCA) je aplikována k identifikaci kauzálních konfiguračních vztahů pro vyšší hodnoty ekonomického rozvoje (HDP na obyvatele). Pro analýzu bylo studováno osm hlavních ekonomik v Asii (Čína, Indie, Japonsko, Singapur), Evropě (Německo, Francie), Velké Británii a USA. Česká republika a Slovinsko jsou také zařazeny na seznam zemí s perspektivou středně velkých ekonomik. Tyto středně velké ekonomiky jsou pro logistiku vnitrozemskými zeměmi (Česká republika) a menším přístavním sektorem (Slovinsko). Výsledky naznačují dvě konfigurace LPI a LC, které vedou k vyšším hodnotám HDP na obyvatele. Zásadní přínos k existující literatuře spočívá v identifikaci vlivu parametrů indexu LPI spolu s LC na ekonomický vývoj. Související výsledky ilustrují, že logistické kompetence, infrastruktura a sledování a dohledávání indexu LPI jsou identifikovány jako klíčové parametry, což vede k vyšším hodnotám HDP na obyvatele. Výsledky nabízejí různé pohledy do budoucí oblasti výzkumu pro hodnocení nových parametrů, jako je LC, který má být uveden do LPI pro hodnocení logistické výkonnosti.

Novák, Hrušecká, Macurová (2018) v článku „Prognóza chování nákladů s důrazem na logistiku a její náklady“ prezentují výsledky kvantitativního výzkumu v rámci projektu týkajícího se variability nákladů a systémů řízení nákladů. Hlavním cílem bylo analyzovat poznatky vyplývající z určení vnímání nákladového chování v praxi průmyslových podniků. Zvláštní pozornost byla věnována vybraným nákladovým skupinám, zejména nákladům na logistiku. V hlavní části jsou prezentovány výsledky ověřené pomocí statistického sledování závislostních vztahů. Mezi klíčové objevy patří významné nedostatky pro výrobní podniky a výhrady, které mají k řízení režijních nákladů. Dále bylo zjištěno, že podíl režijních nákladů zůstává relativně vysoký. Byly potvrzeny velké rozdíly mezi velikostí společnosti a pečlivostí věnovanou řízení variabilních a fixních nákladů. Potvrdilo se také, že vrcholoví manažeři nebyli informováni o asymetrickém nákladovém chování ani o vlivu faktorů nad rámec výrobní kapacity. Náklady na logistiku byly identifikovány z pohledu problému nákladového chování. Zásadní zjištění jsou diskutována v závěrečné části článku.

Hrušecká, Pivnička, Borges–Lopez (2017) v článku „Management logistiky jako systémové omezení“ představují srovnávací simulační model několika logistických systémů a jejich vliv na provozní výkonnost. Zdůrazňují význam logistických procesů a jejich řízení v kontextu štíhlé výroby a teorie omezení. Hlavním cílem experimentální studie bylo prokázat, jak významně mohou podpůrné logistické procesy ovlivnit výkonnost výrobního procesu v situacích, kdy logistické řízení představuje systémové omezení. Přesněji řečeno, studie se zabývala kapacitou manipulačních jednotek a jejich dopadem na kontinuitu a efektivitu toku materiálu. Experimentální model byl založen na reálných datech, která autoři získali v průběhu několika posledních let během svého výzkumu a praktických zkušeností. Výsledky jsou prezentovány ve formě softwarových statistik, které byly poskytnuty po experimentu a porovnány se stanovenými hypotézami. Experimentální studie ukázala, že manažerské rozhodnutí o navýšení kapacity manipulačních jednotek ne vždy vede k očekávanému vzorci chování.

Pivnička (2012) se v příspěvku „Management logistických procesů v ERP systémech“ zabývá řízením logistických procesů v informačním systému, konkrétně ERP systémech. Dilema efektivního řízení logistických procesů nabývá v dnešní době na významu. První část tohoto příspěvku se zabývá teoretickým rámcem logistických procesů a jejich řízení pomocí informačních technologií. V závěru první části jsou shrnuty výhody ERP systémů. Druhá část je věnována praktickému řízení těchto procesů v prostředí Microsoft Dynamics NAV. V této části je ukázáno, jak lze přínosy vytvářet pomocí informačního systému.

Hrušecká, Macurová, Juříčková, Kozáková (2015) v článku „Analýza využívání outsourcingu služeb v logistice českých výrobních společností“ analyzují outsourcing logistických služeb z pohledu klientských společností (výrobních společností). Hlavním cílem je ukázat, jak intenzivně jsou různé služby outsourcingu logistiky využívány českými výrobními podniky ve srovnání s ostatními světovými regiony a které oblasti outsourcingu logistiky by měly být vážněji brány v úvahu pro zvýšení efektivity logistiky. Studie je založena na kvantitativním a kvalitativním šetření českých výrobních podniků. Nejprve je uveden stručný přehled současné situace na českém trhu. Je založen na údajích z průzkumu. Výsledky této kvantitativní studie jsou porovnány s globálními výzkumnými aktivitami, zejména se studií logistiky třetích stran z roku 2013, kterou provedla společnost Capgemini Consulting Company. Dále jsou diskutovány výsledky kvalitativního šetření. Tato část popisuje zkušenosti čtyř vybraných českých výrobních společností s outsourcingem logistiky, hlavní problémy, kterým v této oblasti čelí a jejich plány a očekávání do budoucna.

Nguyen Thi Anh, Tuček (2024) v článku „Kvalita 4.0 výroby ve vztahu k udržitelné excelenci ve výrobním sektoru“ prozkoumávají vztah mezi postupy kvality 4.0 a udržitelné excelence (SE) a také roli digitální transformace (DT) a digitálního vedení v této souvislosti. Opírají se o teorii zúčastněných stran, teorii pohledu založeného na přírodních zdrojích (NRBR) a teorii sociotechnického systému (STS). Výzkum využívá kvantitativní metodu modelování strukturálních vazeb. Model je zaměřený na analýzu empirických dat ve zpracovatelském průmyslu ve Vietnamu. Zjištění ukazují, že postupy kvality 4.0 pozitivně ovlivňují digitální transformaci i SE. Tato studie potvrdila zprostředkující roli digitální transformace a moderující roli digitálního vedení ve vztahu mezi postupy Kvality 4.0 a SE. Zjištění této studie přispěla k aplikacím postupů kvality 4.0 a digitální transformace ke zlepšení SE ve výrobním sektoru.

Ondra (2021) v článku „Řízení kvality v průmyslové společnosti – empirické manažerské systémy v ČR“ shrnuje výsledky online dotazníkového šetření mezi dubnem 2017 a červencem 2017. Výsledný vzorek se skládal z odpovědí od 200 společností. Bylo zjištěno, že 46 % dotázaných společností sleduje a vyhodnocuje kvalitu svých firemních procesů. Dále bylo zjištěno, že 59 % dotázaných společností má certifikaci ISO 9001. Větší společnosti mají tendenci sledovat a vyhodnocovat kvalitu svých obchodních procesů a mít certifikaci ISO 9001. Vztahy mezi používáním nástrojů řízení kvality (QMT), monitorováním a hodnocením kvality podnikových procesů (MQABP) a certifikací ISO 9001 byly zjištěny na základě Pearsonova chí-kvadrát testu nezávislosti, Fisherova exaktního testu nezávislosti a Z-testu proporcí sloupců. Výzkum byl důležitým podkladem pro modelování procesů kvality v digitálním prostředí průmyslových firem.

Ondra, Tuček, Rajnoha (2018) v článku „Praktiky empirického managementu kvality – studie v průmyslových firmách ČR“ identifikují využití vybraných nástrojů a technik řízení kvality v průmyslových podnicích v České republice. Tato studie shrnuje výsledky online dotazníkového šetření (výzkumný vzorek 200 společností). Bylo zjištěno, že nejčastěji používanými nástroji a technikami řízení kvality jsou dotazník kvality, model Total Quality Management a Paretův diagram. Total Quality Management je v současné době nejčastěji používanou technikou řízení kvality. Výsledky výzkumu také poskytují informace o používání nástrojů kvality. Z průzkumu vyplývá, že základní (klasické) nástroje řízení kvality jsou využívány více než nové nástroje řízení kvality. Je zjišťován vztah mezi průmyslovou specializací podniků a používanými nástroji a technikami managementu kvality (byl použit Pearsonův chí-kvadrát test nezávislosti a G-test nezávislosti). Byly identifikovány další vztahy mezi typem výroby a nástroji a technikami řízení kvality.

Kovařík, Briš (2021) se v článku „Efekty autokorelace na kontrolní snímek výkonu a procesní disponibility – model kalkulace“ zabývají problémem monitorování procesu, ve kterém mohou být pozorování reprezentována jako autoregresní model prvního řádu. Prezентují také praktické využití časových řad regulačních diagramů na chemickém procesu sledování koncentrací. Druhá část pojednává o vlivu autokorelace na analýzu schopností procesu, když jsou pozorování prováděna autoregresním modelem prvního řádu. Indexy způsobilosti procesu poskytují měřítko toho, jak proces zapadá do limitů specifikace. Při výpočtu indexů se obvykle předpokládá, že procesní data jsou nezávislá. Simulační studie v této části pojednává o vlivu vyššího řádu autokorelace na indexy způsobilosti procesu.

Yousaf, Briš (2021) v článku „Vlivy managementu pracovního kapitálu na firemní výkonnosti – analýzy EFQM certifikovaných firem“ prozkoumávají vztah mezi pracovním kapitálem (WC) a výkonností firmy. Vybrali vzorek 326 českých firem, včetně 20 certifikovaných firem z EFQM (European Foundation for Quality Management) Excellence Model z databáze Albertina. Vzorek českých firem byl vybrán ze tří sektorů: zpracovatelský průmysl, automobilový průmysl a stavebnictví. K určení výsledků použili dvoustupňovou systémovou zobecněnou metodu momentu (GMM). Výsledky studie odhalily negativní vliv WC na výkonnost firmy; navíc firmy s certifikátem kvality z modelu excelence EFQM dosahují lepších výsledků. Výsledky předchozích výzkumů, které probíhaly po celém světě, a aktuální výsledky studie by měly povzbudit ředitele, manažery a lídry českých firem k účasti na ocenění kvality.

Briš, Hýža, Sedláček, Kramná (2021) se v článku „Využití managementu kvality pro optimalizaci procesu transformačního toku“ zabývají zlepšováním vybraných

výrobních procesů v dokončovacích činnostech slévárny a řešením konkrétního problému týkajícího se úzkého hrdla v oblasti tryskání. Cílem tohoto článku je zdokonalit vybrané procesy tryskání a manipulace. V praktické části je pomocí procesní analýzy zjišťován současný stav dokončovací operace a zde je navržen postup ke zlepšení procesu. V projektové části byly využity průmyslové metody, jako jsou workshopy a brainstorming. Syntézou výstupů z analýz a workshopů vypracovali katalog pro zdokonalení procesu tryskání v následujících sekcích, včetně procesu manipulace. Součástí této práce je návrh technického nastavení tryskacího zařízení, které vede ke zvýšení efektivity celého výrobního procesu.

Hrbáčková, Tuček (2019) se v článku „Analýza 2 nových procesních přístupů – navazujících termínů ISO 9001–2015 – uvažování zaměřené na posuzování rizika v organizaci“ zaměřují na pochopení "myšlení založeného na rizicích" a "kontextu organizace" v procesním přístupu podle požadavků aktualizované normy ISO 9001: 2015 Systémy managementu kvality – Požadavky. Tyto nové trendy by měly zvýšit efektivitu systému managementu kvality, měly by zlepšit výsledky společnosti a měly by předcházet negativním dopadům procesů. Tento článek vysvětluje, jak porozumět kontextu organizace, aby bylo možné činit správná strategická rozhodnutí. Autoři popisují postup integrace myšlení založeného na rizicích do několika organizací v České republice. Tento článek může pomoci organizacím při implementaci osvědčených postupů nových požadavků normy ISO 9001:2015. Je zaměřen na několik výrobních organizací z různých průmyslových oblastí v České republice. Výzkum je založen na aktuálních výzkumných datech světových databází. Autoři použili kvalitativní metodu ve formě strukturovaného rozhovoru.

Tuček, Hrbáčková (2019) v článku „Trendy ve způsobu uvažování a management rizika v českých firmách plastikářského klastru“ prezentují výsledky úvodní studie výrobních podniků z českého plastikářského klastru. Pojednávají o nízké úrovni integrace myšlení založeného na rizicích a metod řízení rizik do procesů těchto společností. Hlavními důvody pro tuto činnost je požadavek systému řízení kvality Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) 9001:2015. Společnosti certifikované podle předchozí normy ISO 9001:2008 musely po vytvoření pravidel z roku 2015 řešit interní a externí neshody. Nové uvažování založené na rizicích musí být naplánováno a realizováno dříve, než dojde k neshodě systému nebo procesu (ISO 9001:2015). Výzkum se zaměřil na dvě hlavní otázky: Jak společnosti v Českém plastikářském klastru reagují na nový požadavek, jak postupovat při řešení rizik a příležitostí a zda navrhované řešení překračuje požadavky normy ISO 9001:2015. Autoři také provedli rozsáhlý výzkum zaměřený na úroveň využití podnikových procesů v českých výrobních podnicích v letech 2006 a 2012. Výzkum se týkal cílů, faktorů, složek, podpory, přínosů a bariér procesního řízení a řízení rizik. E-mailem bylo kontaktováno třicet pět

středně velkých výrobních podniků českého plastikářského klastru a 30 (86 %) respondentů odpovědělo na všech 19 otevřených i uzavřených dotazů. Dotazník byl navržen tak, aby měřil úroveň a metody implementace myšlení založeného na rizicích, stejně jako metody řízení rizik, které byly použity.

Ferenčíková (2014) v příspěvku „Ergonomické aspekty vývoje produktu a inovací“ prozkoumává, jak vážně berou ergonomické parametry designéři a průmysloví inovátoři vyvíjející nové produkty. Tato studie se zaměřuje především na české průmyslové podniky s doplněním o několik srovnání s ostatními zeměmi Evropské unie. K získání požadovaných výstupů studie jsou využity oficiální statistické údaje o aktuálním stavu inovací a aspektech vývoje produktů, které jsou v České republice a dalších zemích Evropské unie nejčastěji diskutované, a také výsledky z původního kvalitativního šetření v rámci několika vybraných českých výrobních podniků. První výsledky prokázaly, že ergonomická analýza není automaticky součástí každého inovačního projektu pro vývoj nového produktu. S ohledem na tuto skutečnost byli respondenti požádáni, aby vysvětlili, proč je otázka respektování ergonomických kritérií ve fázi návrhu výrobku tak často podceňována nebo dokonce opomíjena. Příspěvek také reflektuje nejdůležitější standardy, normy a vládní nařízení v oblasti ergonomie, které jsou platné ve všech zemích Evropské unie.

Prycl, Zaatar, Tuček, Chmelík, Macurová, Urbánek (2024) se v článku „Musculární aktivita v kontextu ergonomické optimalizace pracoviště pro administrativní pracovníky, využívající práci na počítači“ ponořili do dynamiky svalové aktivity a pracovních pozic u administrativních pracovníků. Primárním cílem bylo porovnat elektromyografickou (EMG) svalovou aktivitu při nekorigovaném sezení, korigovaném sezení a korigovaném postoji ve stoje. Zkoumali také rozdíly v aktivitě EMG mezi administrativními pracovníky a kontrolní skupinou v různých podmínkách vsedě a vestoje. Nakonec zkoumali rozdíly ve vnímaném nepohodlí mezi administrativními pracovníky a kontrolní skupinou. Tyto klíčové otázky tvořily jádro výzkumu a nabízejí cenné poznatky o spletí vztazích mezi pracovními pozicemi, svalovou aktivitou a vnímaným nepohodlím na pracovišti. Je obtížné objasnit korelaci mezi specifickým držetím těla a bolestí <https://www.termedia.pl/MUSCLE-ACTIVITY-IN-THE-CONTEXT-OF-ERGONOMIC-WORKSPACE-OPTIMALIZATION-FOR-ADMINISTRATIVE-STAFF-DURING-COMPUTER-USE,99,52700,1,1.html>. Proto měřili EMG v různých pozicích s hypotézou, že s předsunutým držetím hlavy a extenzí pákového ramene, které musí krční svalstvo neutralizovat, jsou kladeny vyšší nároky na svalový systém a zároveň interkostální spojení krku čelí vyššímu zatížení, což může vést k poškození z opakovaného namáhání. S ohledem na potřeby studie se zabývali především lokálním svalovým napětím na horních končetinách, s hypotézou, zda EMG může mít vliv na vznikající

bolestivé stavy horních končetin nebo zda jsou problémy způsobeny jinými vlivy.

Holočí, Chromjakova (2022) v článku „Procesní management ergonomického pracoviště využívající princip přenesené reality“ zdůrazňují souvislost mezi virtuální realitou (VR) a rozšířenou realitou (AR) v kombinaci s tradičním ergonomickým postupem. Automatizace a digitalizace se významnou měrou podílí na vzniku ergonomických pracovišť a eliminaci negativních dopadů neergonomických pracovišť na člověka. Cílem příspěvku bylo určit základní prvky systémového procesního přístupu k řízení ergonomie. Toho je dosaženo analýzou současných přístupů z oblasti Průmyslu 4.0 a zaměřením se na přístup rozšířené reality. Páteř trojkombinace "člověk-stroj-prostředí" určuje ergonomické nastavení práce a pracoviště. Následně prezentovaná případová studie zkoumá souvislost mezi ergonomickými principy pracoviště a datovou analytikou pro technologii VR/AR. Vědecký přínos příspěvku spočívá v diskuzi nad výsledky případové studie, která je přínosná pro ergonomický návrh pracovišť.

Chromjaková (2022) se v článku „Proces plánování výroby založený na psychologii práce v kolaborativním pracovišti člověka a robota“ zaměřuje na rozpoznání, jak pracovnímu toku, pokud jde o psychologii práce, propůjčuje novou perspektivu kompatibilita lidí a robotů spolupracujících ve výrobním sektoru. Stabilita výrobních plánů, flexibilita organizací a řízení výroby jsou základem pro takovou analýzu. V této souvislosti počáteční zjištění odhalila, že stabilní výkon jednotlivce byl významně ovlivněn výrobním plánem, zatímco cyklus a dodací lhůty zásadně ovlivnily chování zaměstnanců. V průběhu pěti let byla provedena pozorování u 200 pracovníků ve 100 továrnách. Časy přidávané operacím, cyklům a propustnosti byly primárně definovány technickým cyklem robota. Sekundárním prvkem plánování výroby byl zaměstnanec, jehož doba cyklu obsluhy byla informována o době cyklu robota. Autorka se rozhodla odvodit, které klíčové faktory změnily psychologii práce ve výrobním prostředí, kde docházelo ke spolupráci mezi lidmi a roboty. Byly identifikovány předpoklady pro optimální psychologické podmínky (spolupracující člověk, plánovač výroby, kolaborativní pracoviště, standardizovaná doba trvání dokončených úkolů, vzdálenost mezi pracovníkem a robotem a datová analytika výrobního toku). Zajištění optimálních podmínek z hlediska psychologie práce je zásadní pro zvýšení produktivity a výkonnosti zaměstnanců. Výsledky ukázaly, že operátor byl přímo závislý na robotu ve vztahu ke vzájemnému, nepřetržitému výrobnímu toku. Byl navržen model stability výrobního plánu, který vychází ze závislosti konkrétních parametrů plánovacího modelu. Výzkum byl proveden na základě spolehlivosti vybraných parametrů, což vedlo ke

stanovení předpokladů pro optimální nastavení psychologie práce v podnicích s takto spolupracující strukturou.

Pechancová, Hrbáčková, Dvorský, Chromjaková, Stojanovič (2019) se v článku „Environmentální systém managementu – efektivní nástroj podnikové udržitelnosti“ zabývají environmentální politikou podniků se zaměřením na současný vztah podnikatelských aktivit k environmentálnímu managementu v České republice. Tlak na ekologicky odpovědné chování motivuje firmy k zavádění ekologických postupů, jako jsou systémy environmentálního a energetického managementu, green balanced scorecard nebo green supply chain management. Snahy nad rámec legislativních požadavků, které jsou odůvodněny potenciálním snížením nákladů spolu s potřebou myšlení založeného na rizicích, podporují investice do udržitelných projektů. Příspěvek se pokouší poskytnout hloubkový pohled na současné podnikové postupy a chování v environmentálním managementu ve vybraném průmyslovém sektoru v regionu České republiky. Na základě kombinace kvalitativních a kvantitativních přístupů autoři realizovali strukturované hloubkové rozhovory kombinované s dotazníkovým šetřením s cílem analyzovat praxi české politiky životního prostředí. Pro průzkum byl použit vzorek 247 středních a velkých českých výrobních podniků. Byly identifikovány tři úrovně systému environmentálního managementu: právní, základní a zralý. Zjištění podtrhují kritickou roli přístupu ke strategii řízení a monitorování požadavků zainteresovaných stran. Z výzkumu vyplynulo, že důležitým atributem environmentálních aktivit v oblasti podnikání je vlastnická struktura. Zahraniční vlastnictví má pozitivní vliv na úroveň přijetí systému environmentálního managementu. Studie je praktickým přínosem v tom, že vysvětluje koncept vyspělého systému environmentálního managementu a ukazuje možnou cestu v environmentálním chování pro společnosti, které nesplňují požadavky vyspělého systému. Autoři také zdůrazňují potřebu osvěty majitelů firem a vrcholového managementu, aby se zvýšil jejich zájem o větší zapojení do environmentálních aktivit.

3.2 KAPACITNÍ PLÁNOVÁNÍ A ROZVRHOVÁNÍ VÝROBY

Luu Van Thanh, Chromjaková, Bobák (2023) v článku „Optimalizační přístup ke řízení skladových objednávek – empirická studie“ vylepšují operace vychystávání objednávek využitím kombinatorické optimalizace jako problému obchodního cestujícího a modelů vyhrazených úložišť založených na třídách pro vietnamskou společnost ATP. Originalita a novost příspěvku spočívá v překlenutí propasti mezi akademickou sférou a managementem, představuje

snahu o propojení teoretických konceptů s praktickou optimalizací při vychystávání skladových operací v prostředí konkurenceschopnosti. Byla použita realistická data a software LINGO, které odhalily podstatná zlepšení ve skladových operacích ATP prostřednictvím optimalizovaných rozhodnutí o cestě vychystávání zabudovaných do rozvržení skladu. Tento dokument poskytuje manažerské nástroje pro optimalizaci ujeté vzdálenosti ve skladu, které přinášejí konkurenční výhody, zvýšenou efektivitu a efektivitu dodavatelského řetězce, jakož i další pozitivní dopady na sociální a environmentální otázky, jako je bezpečnost práce, spokojenost zákazníků, spotřeba energie a emise CO₂. Dokument také nastiňuje budoucí směry výzkumu pro pokrok v řízení skladů a řešení výzev udržitelné konkurenceschopnosti, čímž přidává nový rozměr původnímu výzkumu.

Pivnička, Hrušecká, Hrbáčková (2022) v článku „Úvod do nového flexibilního plánování lidských zdrojů – systém založený na digitálním přístupu“ prozkoumávají roli dvojčete digitální továrny v pokročilém plánování lidských zdrojů. Pomocí metody případové studie je prezentováno řešení pro lepší koordinaci interních logistických procesů a využití logistických pracovníků na základě diskretní simulace. Bylo testováno několik scénářů a výsledky ukázaly nevyhnutelnost využití flexibilních pracovních úvazků pro maximální vytížení logistických pracovníků. Smyslem této studie není pouze ukázat speciální případ jediné společnosti, ale také zdůraznit potenciál těchto softwarových nástrojů pro dosažení dlouhodobých synergií při koordinaci činností v oblasti logistiky, výroby a řízení lidských zdrojů. Výsledkem této studie je rozšířený model fyzicko-digitální-fyzické smyčky. Toto rozšíření spočívá v přidání druhé smyčky včetně komunikace s HR portálem.

Hrušecká (2014) se v příspěvku „Procesní inovace jako nutná podmínka úspěšné implementace nového systému plánování“ zabývá pokročilými plánovacími systémy a procesními inovacemi potřebnými pro jejich úspěšnou implementaci. Celá výzkumná část je založena na studii provedené v českých výrobních společnostech, které v posledních pěti letech implementovaly a používaly jakýkoliv typ pokročilé softwarové podpory pro plánování výroby. Dotazníkové šetření bylo využito pouze pro získání základního přehledu o skutečném stavu této oblasti. K nejrelevantnějším výsledkům však bylo dosaženo prostřednictvím rozhovorů s výrobními manažery či plánovači z vybraných firem, vlastních zkušeností, případových studií a dalších osobních kontaktů s respondenty. Konkrétně byli dotazováni na nejvýznamnější přínosy, kterých bylo dosaženo v souvislosti s novým plánovacím softwarem a inovací procesů, které byly přijaty před dokončením celého procesu implementace. Jak ukazují výsledky, procesní inovace nejsou v průběhu celého procesu implementace vždy brány tak vážně, což může vést k selhání celé implementace. Hlavním cílem tohoto článku je proto poukázat na důležitost procesní inovace pro úspěšnou implementaci

pokročilých plánovacích systémů a zjistit, jak silná je vzájemná závislost existující mezi těmito dvěma proměnnými. Výstupem celé výzkumné aktivity v této oblasti by měla být jakási metodika obsahující důležité požadavky na úspěšnou implementaci pokročilých systémů plánování výroby a všech potřebných procesních inovací, které by mohly významně ovlivnit celý proces implementace.

Ferenčíková (2012a) se v příspěvku „Teorie omezení využitím informačních systémů v řízení výroby“ zabývá plánováním výroby, které je jednou z nejdůležitějších činností řízení výroby. Některé problémy plánování jsou příliš složité na to, aby je bylo možné vyřešit bez použití vhodného softwarového nástroje. Představuje několik plánovacích metod používaných v podnikových informačních systémech. Všechny uvedené metody jsou založeny na principech TOC (Theory of Constraints) a všechny by měly pomoci zjednodušit rozhodovací procesy na úrovni řízení výroby. Cílem článku bylo prozkoumat vliv plánovacích informačních systémů založených na TOC na výkonnost a výsledky společnosti. Ve druhé fázi se výzkum zaměřil na české poskytovatele informačních systémů a pokusil se identifikovat všechny plánovací systémy založené na TOC, které jsou nabízeny na českém trhu. Zjistila, že nejčastěji používanou pokročilou metodou pro plánování výroby je Advanced Planning and Scheduling, ale ne všechny nabízené systémy obsahují všechny čtyři jeho plánovací algoritmy.

Ferenčíková (2012b) se v článku „Úzké místo diskrétní dávkové výroby“ zabývá plánováním a rozvrhováním výroby v diskrétní sériové výrobě, která je pouze příkladem velmi komplikovaného výrobního systému. Tento typ výrobního procesu je náchylný ke kolísání poptávky a výjimkám zařízení, což znamená přesun úzkých hrdel. Proto je poměrně obtížné implementovat metody jako je teorie omezení (TOC) pro zlepšení plánování výroby standardním způsobem. Součástí tohoto článku je případová studie, kde je současné plánování a rozvrhování výroby v reálné továrně vylepšeno právě díky použití principů TOC.

Ferenčíková (2011) v příspěvku „Informační systémy pro plánování a rozvrhování výroby a jejich dopad na podnikovou výkonnost“ zabývá skutečností, že jednou z klíčových činností plánování a rozvrhování výroby je integrované řízení výroby. Zejména diskrétní nebo částečně složitá výroba má dopad na mnoho problémů, které by jinak bylo obtížné vyřešit bez použití adekvátního softwarového podpůrného nástroje. Programování pokročilých plánovacích algoritmů klade široký důraz na optimální využití výrobních zdrojů a kapacit, což vede ke zkrácení průběžných časů výroby a úspoře výrobních nákladů (např. snížení potřeby přesčasů a spolupráce, eliminace nedodržování termínů dodávek apod.). Zkostnatělé výrobní systémy (většinou push systémy) se již pro většinu výrobních společností ukazují jako zbytečné a nedostatečné. Vzhledem k rychle se měnícím podmínkám na trhu nabývá na důležitosti dynamické

přizpůsobování výrobních plánů. Implementace nového informačního systému v oblasti plánování a rozvrhování výroby není vždy pro firmu přínosem. Proto je nutné vědět, jak měřit přínosy těchto aplikací ve vztahu k výkonu výrobního procesu. Definování indikátorů hodnocení efektivity implementovaného softwaru (nejen ve výrobním procesu) je často komplikovaný proces. Největší překážkou je neschopnost jasně definovat přínosy nasazeného řešení a oddělit problémy ovlivněné případnými dalšími inovacemi a vylepšeními výrobního procesu. V rámci hodnocení implementace informačního systému je nutné se podívat na změny ve skutečných procesech řízení výroby a plánování výroby jako celku. Dobrý konzultant nebo systémový integrátor nejen nastavuje software, ale také se ujímá role dobrého učitele – takového, který pomáhá vytvářet know-how ve firmě ve vybrané aplikační oblasti nebo napomáhá zavádění osvědčených postupů z jiných podobných projektů. Úspěšnost implementace systému závisí na mnoha faktorech. Jednou z nejdůležitějších z nich, ve vztahu k pokročilým aplikacím pro plánování a rozvrhování, je forma výroby podle diferenciací různých typů. Tento článek také diskutuje základní závislosti mezi vybranými plánovacími algoritmy a klasifikací z hlediska návaznosti výrobního procesu a analýzy přidané hodnoty.

Benyaha, Macurová (2021) v článku „Využití shop floor managementu jako nástroje pro komunikaci a sdílení štihlé logistiky – případová studie“ zjišťují, zda je zavedení dílenského managementu ve společnosti přínosné či nikoliv i ve ztížených podmínkách (potravinářská výroba s BRC standardy výroby, přítomnost cizinců, agenturní zaměstnanci). Využívají kvalitativní výzkum založený na detailním dlouhodobém pozorování reálného procesu plánování a zavádění dílenského managementu ve firmě, dále rozhovory s průmyslovými inženýry, manažery první linie, dělníky a odborníky z praxe v shop floor managementu. Společnost byla pro tuto případovou studii vybrána záměrně. Zjištění říkají, že bylo dobré zavést SFM ve společnosti. Navzdory překážkám se vyřízení strojů zvýšilo o 20 % a jeden stroj (z 12) mohl být prodán z důvodu propouštění. Snížila se potřeba lidského kapitálu, snížil se počet zmetků a zlepšila se spolupráce.

Chromjaková, Bobák, Hrbáčková (2023) se v příspěvku „Plánování výroby vycházející z relevantní datové analytiky“ zaměřují na podstatu datové analýzy – obsah výrobních dat směrem k nastavení spolehlivých fixních e-dat, která jsou základem efektivního plánování a rozvrhování výroby. Na základě teoretických výzkumů a výzkumů ve vybraných průmyslových podnicích se soustředí na pravděpodobnost abnormality v reálném výrobním plánu a zároveň na spolehlivost dosažení plánovaného výrobního výkonu pro zákazníka. Výzkumné otázky a vědecké hypotézy prokázaly platnost detailní analýzy dat z procesního reportingu jako standardizovaného základu pro reporting dat o výrobních procesech.

Hrušecká (2016) v článku „Důkaz reakceschopnosti jako podporný nástroj efektivního procesního řízení v oblasti plánování a rozvrhování výroby“ označuje plánování a rozvrhování výroby jako jeden z nejdůležitějších podnikových procesů, které významně ovlivňují výkonnost výrobních podniků. Informačních systémů podporujících plánování a rozvrhování výroby je celá řada a některé z nich jsou založeny na velmi sofistikovaných plánovacích algoritmech. I přes tuto skutečnost se mnoho firem stále potýká se závažnými problémy i při používání profesionálních softwarových nástrojů pro plánování a rozvrhování výroby. Je zřejmé, že je zapotřebí mnoho dalších změn v podobě inovací procesů. Příspěvek se proto zabývá problematikou procesního řízení v oblasti plánování a rozvrhování výroby. Studie vysvětluje důvody nízké výkonnosti pokročilých technologií a poskytuje řešení v podobě systémového modelu klíčových faktorů ovlivňujících efektivitu plánovacího softwaru. Výzkumná část je založena na studii provedené v českých výrobních podnicích formou dotazníkového šetření kombinovaného s rozhovory. Navržené řešení je rozšířeno o abstraktní matematický model založený na důkazních povinnostech, které dokazují nebo vyvracejí správnost zamýšlených algoritmů. Studie poskytuje základní příklad takového abstraktního modelu a popisuje jeho funkčnost a vliv na správné plánování a rozvrhování výroby. V budoucnu bude zpracována do podoby komplexního expertního systému založeného na metodě Event B.

3.3 INDUSTRY 4.0, DIGITALIZACE, ROBOTIZACE

Sedlák, Hrušecká, Chromjaková, Majerčík, Barenyi (2021) v článku „Analýza vlivu opotřebení stroje využitím technologie reverzního inženýrství“ považují za jednu z klíčových komponent pro realizaci Průmyslu 4.0 stroje, které jsou schopny vyrábět požadované výrobky a komponenty rychleji, přesněji a flexibilněji než kdykoli předtím na základě technologie tzv. reverzního inženýrství. Reverzní inženýrství je technologie, která umožňuje rychlý sběr dat pro CAD, CAM, CAE, a tím výrazně zkracuje vývoj, konstrukci a výrobu dílů. Obecně platí, že analogová data se převádějí na digitální data, která se dále zpracovávají. Příspěvek se zabývá analýzou prototypových modelů kotoučových fréz s různými profily čepelí. Kontrola tvaru prototypů diskového typu je založena na načtení digitalizovaného referenčního CAD modelu (obrobek s obrobenými drážkami), následném polohování digitalizovaných výstupků diskových fréz (fréza s okrajovým profilem 1, fréza s okrajovým profilem 8) s ohledem na tento referenční CAD model, čímž vzniká barevná mapa odchylek ve vybraných bodech. Cílem příspěvku bylo analyzovat výsledné opotřebení (odchylku rozměrů ve vybraných bodech) na prototypu kotoučových fréz

s profily nožů 1 a 8, které bylo zjednodušeno na obrobku s obráběnými profily drážek.

Olaniyi, Chromjaková (2024) se v příspěvku „Aditivní výroba a 3D technologie tisku“ zabývají různými procesy aditivní výroby a potenciálem aditivní výroby a technologie 3D tisku ve zpracovatelském průmyslu 21. století. Aditivní výroba a technologie 3D tisku existují již desítky let, ale jejich aplikace a možnosti se rychle rozšiřují. Je přezkoumána důkladná analýza aditivní výroby a technologie 3D tisku, která se zaměřuje na nedávné pokroky několika výzkumníků a průmyslových odvětví. Příspěvek zkoumá současný stav této technologie a její potenciální aplikace v budoucnu, protože Průmysl 4.0 se neustále vyvíjí. Diskutuje se také o výzvách, které mohou bránit tomu, aby technologie dosáhla svého plného potenciálu.

Varhaník, Sedlák Studený, Janigová, Chromjaková, (2024) se v článku „Tribologické perspektivy 3D tištěných materiálů totálních endoprotéz“ zabývají biotribologickým kontaktem při totální endoprotéze kolenního kloubu. Cílem bylo vyhodnotit vliv technologie výroby kovových součástí na tribologické parametry v definovaných prostředích. Referenčním vzorkem byla standardně dostupná zkušební koule vyrobená z předmětného materiálu, která se používala při testování tribologických vlastností metodou "Ball on Pin". Příprava experimentu spočívala ve výrobě zkušebních disků z materiálu UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) a výrobě kovového zkušebního dílu s kulovým povrchem. Podmínkou experimentu a základem tohoto příspěvku je porovnání vlastností konvenčně vyráběného kovového materiálu s 3D tiskem. Pomocí metody SLM byl vyroben vzorek s polokulovým povrchem na válcovém dřívku, který byl následně vybroušen a vyleštěn tak, aby odrazil vlastnosti standardně dodávané zkušební koule. Posledním krokem byla výroba vhodného přípravku pro umístění vzorku do tribometru. Bylo hodnoceno tzv. suché tření heterogenního páru Ti6Al4V-UHMWPE a tření v biologickém mazacím prostředí reprezentovaném hovězím sérem. Hodnocení kontaktních ploch probíhalo pomocí profilometru a elektronového mikroskopu. Koeficient tření byl stanoven přímo z testovacího zařízení – tribometru.

Sedlák, Joska, Hrbáčková, Juříčková, Hrušecká, Horák (2022) se v článku „Determinace mechanických vlastností plastových komponent realizovaných 3D tiskem“ zabývají stanovením vybraných mechanických vlastností aditivních materiálů používaných pro 3D tisk (PETG, PLA, ABS, ABS +, PLA ESD, ASA, PC/ABS). Vzhledem k tomu, že 3D tisk v posledních letech explodoval a aditivní výroba se stala populární v některých průmyslových odvětvích, je kvalita vstupních materiálů a jejich mechanické vlastnosti nesmírně důležitá. Použili 3D tiskárnu Original Prusa MK3 k přípravě vzorků pro testování. Jednotlivé vzorky

vytištěné ze všech výše uvedených materiálů byly analyzovány pomocí vybraných mechanických zkoušek (statická zkouška tahem, zkouška tvrdostí). Při statické tahové zkoušce byly pro všechny vzorky aditiv stanoveny vybrané parametry (mez pevnosti v tahu, modul pružnosti, prodloužení), které byly statisticky zpracovány. Statisticky byly vyhodnoceny parametry pro dvě metody měření tvrdosti, a to Shore a Kuličkovou intendanci. Všechny testované aditivní materiály byly porovnány s cílem získat výsledné pořadí (bodové hodnocení testovaných materiálů s vyčíslením cenových nákladů). Nejlepších vlastností po provedených testech dosáhl aditivní materiál PLA Filament Plasty Mladeč.

Hrušecká, Borges, Juříčková (2019) v článku „Změny v zavedení AGV vozíků na výrobní linky – případová studie v automotive průmyslu“ konstatují, že zvyšující se požadavky zákazníků spolu se současným trendem digitalizace v duchu Průmyslu 4.0 vyvíjejí tlak na výrobní podniky, aby zvyšovaly jak flexibilitu, tak výkonnost svých výrobních a logistických procesů. Jejich práce představuje výzvy při zavádění technologie AGV (Automatically Guided Vehicles) na výrobních linkách prostřednictvím dvou případových studií ze dvou různých zemí, Portugalska a České republiky. Obě společnosti jsou z automobilového průmyslu. Výzkum případových studií si klade za cíl prozkoumat a pochopit složité jevy. Hlavním cílem studie je prozkoumat omezení a nutné podmínky, které je třeba vzít v úvahu při implementaci AGV technologie pro automatizaci vybraných logistických procesů. Na základě dat získaných prostřednictvím vícenásobných pozorování je jako hlavní výstup navržena třífázová metodika zohledňující technologické, organizační a bezpečnostní aspekty. Součástí základního schématu je také návrh některých kritických faktorů úspěchu a klíčových ukazatelů výkonnosti, které by měly být sledovány za účelem vyhodnocení efektivity implementace této technologie v budoucích projektech.

Luu Van Thanh, Chromjaková, Hong Quan Nguyen (2023) v článku „Model Průmyslu 4.0 a cirkulární ekonomika pro zelenou logistiku a udržitelný dodavatelský řetězec“ prozkoumávají hybridní rámec pro Průmysl 4.0 a cirkulární ekonomiku pro logistiku a dodavatelské řetězce na ekologickém a udržitelném základě. Data byla shromažďována z univerzit, firem a ministerstev státní správy ve Vietnamu. K vyhodnocení a ověření hypotéz bylo použito částečné modelování strukturálních rovnic nejmenších čtverců. Mezi klíčová zjištění patří (a) potvrzení převládajícího přímého vztahu mezi Průmyslem 4.0 a přijetím oběhového hospodářství pro zelenou logistiku a udržitelný dodavatelský řetězec, který stimuluje strategické změny; a (b) dochází k úvahám o současném strategickém povědomí a operacích, které vedou k vyhlášení a implementaci politik státní autority a pokroku v moderní logistice a programech dodavatelského řetězce na univerzitách. Vzhledem k tomu, že se analýza soustředila na logistické záležitosti a záležitosti dodavatelského řetězce,

bylo by vyžadováno zkoumání dalších proměnných pro další průmyslové činnosti, jako je výroba.

Zia Najam Ul, Chromjaková, Buřita (2021) v příspěvku „Sociální kapitál a Průmysl 4.0 připravenost rozvojových zemí – role potenciálu a realizované absorpční kapacity“ zkoumají vztahy dimenzí sociálního kapitálu a roli sociálního kapitálu na připravenost Průmyslu 4.0 v rozvojových ekonomikách. Věnují se zprostředkující roli dynamických schopností založených na znalostech ve vztahu sociálního kapitálu a připravenosti na Průmysl 4.0. Dále je zkoumána moderující role potenciální absorpční kapacity a realizované absorpční kapacity. Modelování strukturálních rovnic je použito na datech shromážděných od 320 manažerů v 81 exportních výrobních firmách v Pákistánu. Výsledky ukazují, že strukturální sociální kapitál je pozitivně spojen s relačním sociálním kapitálem a relační kapitál je pozitivně spojen s kognitivním sociálním kapitálem. Navíc existuje pozitivní vztah mezi sociálním kapitálem a připraveností na Průmysl 4.0 a dynamické schopnosti založené na znalostech tento vztah zprostředkovávají. Výsledky potvrzují, že realizovaná absorpční kapacita zmírňuje vztah mezi dynamickou schopností založenou na znalostech a připraveností na Průmysl 4.0. Přispívají tím, že nasměřovávají rozvojové ekonomiky k implementaci technologie Průmyslu 4.0 a usilují o tuto epochu digitální transformace.

Nwaiou Fortune, Deduci, Chromjaková, Otekhile (2020) v článku „Koncept Průmyslu v českých SMEs výrobního sektoru – empirická studie kritického faktoru výsledku“ analyzují faktory, které mají největší vliv na dosažení udržitelného modelu procesního řízení při implementaci konceptů Průmyslu 4.0 v rámci českého sektoru malých a středních podniků. Bylo identifikováno několik faktorů a analyzovány jejich interakce s digitálními technologiemi v rámci produkčního prostředí. Tyto faktory byly z organizačního hlediska identifikovány jako rozhodující pro úspěch ve snaze dosáhnout souladu s Průmyslem 4.0 a digitální transformací výrobních operací společností. Patří mezi ně: strategie, organizační vhodnost, konkurenceschopnost, provoz a lidské zdroje. Pro výzkum byl zvolen přístup smíšených metod. Jednalo se jak o kvalitativní, tak o kvantitativní metodologické přístupy. Kvalitativní aspekt zahrnoval rozsáhlý systematický přehled relevantní literatury, který byl užitečný při vývoji koncepčního rámce a identifikaci relevantních faktorů, které umožňují implementaci efektivního modelu řízení procesů Průmyslu 4.0 v malých a středních podnicích; Kvantitativní aspekt zahrnoval použití dotazníku průzkumu ke sběru dat, která byla analyzována pomocí konfirmační faktorové analýzy statistického přístupu k testování opatření konstruktů v navrhovaném koncepčním rámci. Výsledek statistické analýzy ukazuje faktory, které byly v koncepčním modelu podpořeny jako relevantní pro dosažení efektivního modelu procesního řízení pro úspěšnou implementaci konceptů Průmyslu 4.0 v českých

výrobních MSP. Omezení výzkumu je založeno na skutečnosti, že malé a střední podniky pokryté kvantitativním aspektem výzkumu jsou omezeny na konkrétní geografickou lokalitu – Českou republiku. Bylo by zajímavé mít podobné studie provedené v jiných geografických oblastech pro srovnávací perspektivu. Studie přispívá k vědeckému a praktickému diskurzu o implementaci modelu procesního řízení Průmyslu 4.0 v malých a středních podnicích tím, že zkoumá tento jev prostřednictvím produkce důvěryhodných vědeckých důkazů.

Chromjaková, Bobák, Hrušecká (2017) v příspěvku „Stabilita výrobního procesu – klíčový předpoklad konceptu Průmyslu 4.0“ konstatují, že dnešní průmyslové podniky jsou konfrontovány se zaváděním konceptu INDUSTRY 4.0 se základním problémem – stabilizací výrobních a podpůrných procesů. Díky tomuto fenoménu stabilizace dosáhnou pozitivního digitálního řízení obou procesů a kontinuální propustnosti. Je požadována strukturální stabilita horizontálních (obchodních) a vertikálních (digitalizovaných) výrobních procesů, podporovaná digitalizovanými technologiemi konceptu INDUSTRY 4.0. Výsledky prezentované v tomto příspěvku vycházejí z výsledků výzkumu a průzkumu realizovaného ve více průmyslových podnicích. Následuje popis základního modelu pro stabilizaci strukturálních procesů ve výrobním prostředí

Bobák, Juříčková (2016) v příspěvku „Inovační kapacita strojírenských firem ve Zlínském regionu ve vazbě na koncept Průmyslu 4.0“ prezentují výsledky komplexní pilotní studie projektu. Návrh tohoto projektu je orientován na prediktivní modely měření a regulace používané jako indikátor výkonnosti výroby a logistiky v českých podnicích v závislosti na inovativních faktorech definovaných v konceptu Průmysl 4.0. Analýza projektu byla zaměřena na inovační aktivity 36 strojírenských firem se sídlem ve Zlínském kraji. Hlavním cílem článku bylo představit část výzkumu, který byl realizován v období let 2011–2013. Průměrný počet pracovníků ve výzkumu a vývoji byl požit jako kritérium inovační kapacity a dalších podpůrných parametrů popsanych v konceptu Průmysl 4.0.

Efimova, Briš (2022) v článku „Implementace napojení Lean Six Sigma and Průmyslu 4.0 – případová studie v ČR“ konstatují, že vzhledem k tomu, že se pokročilé technologie stávají přirozenou součástí průmyslového prostředí, vliv těchto technologií na organizační postupy se stále rozšiřuje. V článku se pokouší pochopit spojení Lean Six Sigma a Průmyslu 4.0. Studie byla realizována v České republice a kvalitativní data byla získána od 10 společností. Byly shrnuty informace o výhodách, slabinách a výzvách této konjunkce. Pro výzkumné účely byla provedena literární rešerše a kvalitativní analýza. Bylo zjištěno, že i když je spojení spojeno s výzvami, perspektivy jsou přínosné pro průmyslové podniky. Získaná data také umožnila zavést model hodnocení

připravenosti pro realizaci spojení na základě 4 kategorií: technologické, manažerské, finanční a lidské. Tyto informace by mohly být využity pro teoretické i praktické účely pro vytvoření úspěšného začlenění Lean Six Sigma v Průmyslu 4.0.

Efimova, Briš, Efimov (2021) v článku „Bibliometrická analýza evoluce Six Sigma v kontextu Průmyslu 4.0“ konstatují, že současný svět s neustále se zvyšující rychlostí změn a rychlým rozvojem technologií je výzvou pro firmy, aby si zvykly na stávající složitost. To vedlo k tomu, že se podle toho mění různé metodiky. Praktici a výzkumníci hledají způsoby, jak zlepšit procesy pomocí nových technologií. Jednou z metodik je Six Sigma, která byla vždy propojena s technologiemi nezbytnými pro sběr a analýzu dat. Vznik nových technologií může být pro Six Sigma přínosem nebo výzvou. V příspěvku provádí pokus, analyzovat trendy ve výstupech výzkumu spojení technologií Průmyslu 4.0 a metodologie Six Sigma. Článek je založen na bibliometrické analýze. V průběhu analýzy bylo zjištěno, že kombinace metodiky Six Sigma a technologie Průmyslu 4.0 má pozitivní potenciál, nicméně ne všechny technologie byly zatím analyzovány.

Pilík, Juříčková, Kwarteng, (2017) se v článku „On – line shopping prostředí v ČR v ekonomice digitální transformace“ zabývají vybranými aspekty nákupního chování se zaměřením na hlavní důvody pro on-line nakupování. Na základě výsledků rozsáhlého výzkumu zjistili, že hlavními důvody pro nakupování on-line jsou cena, následovaná komfortem při nakupování on-line. Platí to pro všechny sledované věkové skupiny. Zvýšení věku nutí nakupující věnovat větší pozornost pohodlí nakupování, a proto jej lze považovat za zásadní faktor pro uskutečnění on-line nákupu. Další statistická analýza potvrdila fakt, že Česká republika dohnala zbytek Evropy i světa v oblasti používání internetu a on-line nakupování a komerční síla internetu bude i nadále růst. Příspěvek se zaměřuje na spotřebitelské chování v rámci digitální ekonomiky na trzích e-commerce v České republice a zkoumá nákupy zákazníků a jejich motivy k on-line nakupování. Průzkum byl rozdělen do dvou částí. Kvalitativní část výzkumu byla založena na strukturovaných rozhovorech v letech 2015-2016 s firmami v České republice. Tyto rozhovory byly důležité pro vymezení výzkumných otázek a další kvantitativní výzkum, zaměřený na zákazníky e-shopů a uživatele internetu. Kvantitativní výzkum se skládal ze 41 otázek a byl proveden mezi e-nakupujícími, kteří vyplnili dotazník. Výzkumu se zúčastnilo 2 432 respondentů a 1 601 z nich vyplnilo všechny otázky v dotazníku. Z výsledků, které získali, vyplývá, že cena zboží je hlavním důvodem pro nakupování na internetu v České republice. Tato skutečnost vyvrátila hypotézu o dominantní roli pohodlí při nakupování a očekávaných preferencích zákazníků. Pohodlí a cena mají vliv na chování těch českých zákazníků, kteří dávají přednost kamenným obchodům a stále nakupují on-line nepravidelně.

Chromjaková, Hrušecká (2019) v příspěvku „Znalosti pracovníků výroby v digitálním prostředí“ analyzují důležité parametry digitální gramotnosti zaměstnanců ve výrobních procesech a konfrontují výsledky se současnými požadavky na zaměstnance výroby v prostředí digitalizovaných technologií. Prezentují zásadní závěry výzkumu realizovaného v průmyslových podnicích. Potvrzují orientace pracovníků výroby na standardizaci digitalizovaných znalostí a dovedností jako klíčového bodu digitalizovaných výrobních procesů jako celku.

Hrušecká, Rawa Adia, Krayen Said, Pivnička (2018) v článku „Event – B model zvyšování efektivnosti skladového managementu“ konstatují, že s rostoucími požadavky zákazníků a konkurencí čelí společnosti tlaku na zvyšování efektivity a flexibility výrobních a logistických procesů, které přímo ovlivňují jejich řídicí činnost. Článek se zabývá zejména procesy souvisejícími s chaotickými skladovacími systémy využívajícími automatizované skladové technologie s vysokými regály provozované tradičními automatizovanými regálovými systémy, které se v posledních letech staly populárními jako systémy podporující filozofii štíhlého řízení v souladu s rostoucími požadavky čtvrté průmyslové revoluce. Prezentovaný model prokazování povinnosti Event-B obsahuje pokročilé algoritmy pro automatizované skladové činnosti, které by měly zajistit vyšší efektivitu a flexibilitu jak logistických, tak všech navazujících procesů. Algoritmy jsou založeny na myšlence nepřetržitého přemísťování skladovaných položek během doby nečinnosti automatizovaného zakladače, aby bylo zajištěno rychlejší dodání budoucích objednávek z lépe dostupných pozic. Podporuje automatizované rozhodování v systémech řízení skladu v souladu s principy štíhlé výroby. Navržené řešení bylo ověřeno experimentálním modelem zpracovaným diskretním i simulačním softwarem, který potvrdil jeho pozitivní vliv na flexibilitu skladovacích a recentních činností. Jeho implementace do reálné praxe zvyšuje přesnost procesů skladového hospodářství, které přímo ovlivňují řízení výroby a další rozhodovací činnosti.

Buřita, Hrušecká, Pivnička, Rosman (2018) v článku „Využití systému znalostního managementu a Event-B modelování v štíhlém podniku“ poskytují případovou studii popisující přístup ke zlepšení efektivity informačního systému (IS) podporou procesů mimo IS, s využitím ontologií řízených systémů řízení znalostí (KMS) jako miniaplikace v oblasti tzv. štíhlého podnikání. Štíhlý podnik je zaměřen na vytváření maximální hodnoty pro konečné zákazníky a zároveň eliminuje všechny druhy plýtvání a zbytečných nákladů, což významně pomáhá zvyšovat úroveň jeho konkurenceschopnosti. Jde o manažerské rozhodování, které může být v některých případech protichůdné (řešení lokálního problému může způsobit problém na jiném místě). V tomto článku popisují KMS ATOM, který podporuje inovační proces v štíhlém podniku. Ukazují, jak lze riziko chybných rozhodnutí v důsledku protichůdných efektů eliminovat

implementací bezpečnostně kritického systému do tradičního IS. Model je podporován modelováním Event-B, metodou formálního modelování založenou na zdokonalení, která se úspěšně používá v důležitých oblastech, jako je infrastruktura, medicína, jaderné inženýrství a doprava (požární signalizační systémy, robotické chirurgické stroje, brzdové systémy v dopravě atd.). V dnešní době se Event-B modelování začíná využívat pro různé rozhodovací činnosti managementu a stává se silným nástrojem konkurenceschopnosti. Článek představuje jednoduchý příklad toho, jak může modelování Event-B a jeho důkazové povinnosti pomoci zlepšit a automatizovat rozhodovací proces tím, že eliminují potenciální hrozby neefektivních rozhodnutí.

Ferenčíková, Novák (2012) se v příspěvku „Datová výměna mezi různými simulačními SW aplikacemi“ zabývají přístupem k výměně dat mezi simulačními modely vytvořenými různými softwarovými aplikacemi. Popisují výměnu dat mezi simulačním softwarem a podnikovým informačním systémem, konkrétně Microsoft Dynamics NAV. Cílem článku je představit a velmi jednoduše popsat způsob, jak lze vyměňovat data mezi různými aplikacemi bez použití speciálního programovacího rámce. Bylo prokázáno, že tato výměna dat může být zpracována pomocí libovolného tabulkového procesoru. V tomto případě byl vybrán Microsoft Office Excel, protože se jedná o nejoblíbenější program v této kategorii. Tento příspěvek popisuje závěrečnou fázi výzkumu, ve které byla představena nová metodika výměny dat.

4 SHRnutí, KOMPARACE VÝSLEDKŮ VÝZKUMŮ ÚSTAVU SE SOUČASNÝM STAVEM POZNÁNÍ

Analýzou obsahu článků rešerše byly vytypovány následující oblasti a podoblasti výzkumného zaměření

- Plánování a řízení výroby
 - Agregované plánování, procesní pojetí, logistika kolaborativní plánování
 - Výkonnost, náklady, zákaznické zaměření, řízení zakázek, , přidaná hodnota, VSM
 - Udržitelnost
 - Inteligentní výroba, Lean, Industry 4.0
 - Digitalizace, optimalizace, predikce, simulace, strojové učení
- Rozvrhování výroby
 - Kapacitní plánování a rozvrhování, řízení zakázek, dispečink, interní logistika
 - Plánování a rozvrhování specifických výrob, modulární buňkové systémy, montážní buňky,
 - Výkonnost, náklady
 - Udržitelnost spotřeba energií, údržba, poruchy, zmetkovitost, repase, reverzní logistika
 - Metody plánování a rozvrhování , lineární programování, heuristika, Markovovy řetězce, genetické algoritmy, simulace, strojové učení
- Prediktivní analýza a simulace
 - Prediktivní plánování a řízení výroby v reálném čase, synchronizace výrobních a logistických operací, uvolňování objednávek
 - Udržitelnost, účinnost zdrojů, úspora energií, opravy
 - Industry 4.0, Robotizace, Digitální fabrika, aditivní výroba
 - Digitalizace, Big-Data, cloud computing, strojové učení, simulace, digitální dvojčata

Přiřazení výstupů pracovníků ústavu k vytypovaným oblastem je v následující tabulce (Tab. 9). Jedná se o vymezení konkrétních oblastí, v rámci kterých probíhalo řešení výzkumných projektů.

Řada projektových záměrů byla řešena formou vědeckého výzkumu na Ústavu PI, vícero projektů probíhalo ve spolupráci s průmyslovou sférou, což přineslo zásadní kombinaci teoretického a praktického výzkumu.

Tab. 9: Výstupy v oblastech (zdroj: Bobák)

Plánování a řízení výroby	Agregované plánování, procesní pojetí, logistika kolaborativní plánování	Hrabal,M., Tuček,D.,Molnár, V.,Fedorko, G.(2021), Hrušecká, Macurová, Juříčková, Kozáková (2015), Ondra (2021), Kovařík, Briš (2021), Briš, Hýža, Sedláček, Kramná (2021), Hrbáčková, Tuček (2019), Tuček ,Hrbáčková,(2019)
	Výkonnost, náklady, zákaznické zaměření, řízení zakázek, , přidaná hodnota, VSM	Ondra (2018), Juříčková, Hrušecká (2015), Juříčková, Pilík, Kwarteng (2019), Kwarteng, Pilík, Juříčková (2018), Pivnička (2011), Bobák, Pivodová, Poláková (2013), Bobák, Pivodová, Fila (2015), Bobák (2011), Saini, Hrušecká (2021a), Saini, Hrušecká(2021b), Novák, Hrušecká, Macurová (2018), Yousaf, Briš (2021)
	Udržitelnost	Tuček, Gavurová (2023), Hrbáčková, Stojanovič , Tuček, Hrušecká (2019), Nguyen Thi Anh, Tuček at al .(2024), Ondra, Tuček, Rajnoha (2018), Ferenčíková (2014), Prycl , Zaatar , Tuček , Chmelík , Macurová , Urbánek , et al.(2024), Holoči, Chromjakova (2022). Pechancová, Hrbáčková, Dvorský, Chromjaková, Stojanovič (2019)

	Inteligentní výroba, Lean, Industry 4.0	Poláková. Bobák (2013). Galová, Rajnoha, Ondra (2018), Pivodová, Juříčková, Bobák (2014), Chromjaková (2022)
	Digitalizace, optimalizace, predikce, simulace, strojové učení	Hrušecká, Pivnička, Borges – Lopez (2017), Pivnička (2012)
Rozvrhování výroby	Kapacitní plánování a rozvrhování, řízení zakázek, dispečink, interní logistika	Luu Van Thanh, Chromjaková, Bobák (2023), Hrušecká (2014), Benyaha, Macurová (2021),
	Plánování a rozvrhování specifických výrob, modulární buňkové systémy, montážní buňky	Chromjaková, Bobák, Hrbáčková (2023)
	Výkonnost, náklady	Ferenčíková(2011)
	Udržitelnost spotřeba energií, údržba, poruchy, zmetkovitost, repase, reverzní logistika	Ondra (2022),
	Metody plánování a rozvrhování , lineární programování, heuristika, markovovy řetězce, genetické algoritmy, simulace, strojové učení	Pivnička, Hrušecká, Hrbáčková (2022), Ferenčíková (2012a), Ferenčíková (2012b), , Hrušecká (2016)
Prediktivní analýza a simulace	Prediktivní plánování a řízení výroby	Hrušecká, Borges, Juříčková (2019),

	v reálném čase, synchronizace výrobních a logistických operací, uvolňování objednávek	
	Udržitelnost, účinnost zdrojů, úspora energií, opravy	Luu Van Thanh, Chromjaková, Hong Quan Nguyen (2023)
	Industry 4.0, Robotizace, Digital factory, aditivní výroba	Sedlák, Hrušecká, Chromjaková, Majerčík, Barenyi (2021), Olaniyi, Chromjaková (2024), Varhaník, Sedlák Studený, Janigová, Chromjaková, (2024), Sedlák, Joska, Hrbáčková, Juříčková, Hrušecká, Horák (2022), Chromjaková, Bobák, Hrušecká (2017), Bobák, Juříčková (2016), Efimova, Briš (2022), Efimova, Briš, Efimov (2021)
	Digitalizace, Big-Data, cloud computing, strojové učení, simulace, digitální dvojčata	Zia Najam Uli, Chromjaková, Buřita (2021), Pilík, Juříčková , Kwarteng, (2017), Chromjaková, Hrušecká (2019), Hrušecká, Rawa Adia, Krayen Said, Pivnička (2018), Ferenčíková, Novák (2012)

5 ZÁVĚR

Předložená témata průmyslového inženýrství v éře digitalizace mapují několik let vývoje výzkumu uvedeného tématu na Ústavu průmyslového inženýrství a informačních systémů Fakulty managementu a ekonomiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Publikované poznatky v komprimované formě sdělují využitou bázi znalostí, uvádějí některé výstupy výzkumu a predikují další směřování výzkumu na Ústavu PI.

V průběhu jednotlivých let se zásadně vyvíjely zkušenosti výzkumných pracovníků ve vazbě na vývojové trendy v oblasti projektování, plánování a rozvrhování, řízení výroby. Klíčový význam měla vědecko-výzkumná témata, řešená ve spolupráci s průmyslovými firmami. Konfrontace výsledků výzkumu se zahraničními kolegy v okolních zemích EÚ umožnila pochopit souvislosti různorodých výrobních konceptů (evropský, japonský, americký) a zkoumat potenciální procesní příležitosti pro nové koncepční výzvy typu Průmysl 4.0.

Výrobní firmy vyvíjejí neustále nové digitalizované přístupy k řízení procesů, protože výrobní procesy se stávají automatizovanějšími, digitalizovanějšími a vizuálněji, a využívají štihlé systémy ke zvýšení výkonnosti procesů. S tím souvisí i kontinuální rozsáhlý výzkum vztahů mezi štihlou výrobou a Průmyslem 4.0.

Digitalizovaná výroba je systém, ve kterém lidé zahajují akce pro plánování a řízení výroby, které jsou poté převedeny do digitálních instrukcí, které automatizují a standardizují plánování a rozvrhování. Nástroje štihlé výroby zlepšují funkčnost a efektivitu výrobních systémů. Digitalizované výrobní procesy v štihlé továrně mají potenciál konzistentně optimalizovat stabilitu a přehlednost výrobního toku. Klíčovými výhodami digitalizace výroby jsou zvýšená flexibilita procesů, efektivnější přizpůsobení a lepší optimalizace výrobních zdrojů.

Budoucí směřování výzkumu je do oblasti vývoje konceptů inteligentní výroby založených na principech inteligentního pracovního postupu v multi parametrických výrobních systémech. Významnou složkou bude i nadále způsob myšlení člověka v komplexních procesních systémech. Je zřejmé, že digitální gramotnost ve spolupráci s nástroji umělé inteligence bude v nadcházejících letech zásadně ovlivňovat konfiguraci modelů štihlých a inteligentních procesů.

Autoři

6 REFERENCE

6.1 ZDROJE Z REŠERŠE

Adeyemi, B., Ogbeyemi, A., Zhang, WJ. (2021). Combining simple motion measurement, lean analysis technique and historical data review for countering negative labor cost variance: A case study. *International Journal of Engineering Business Management*. Vol. 13. <https://doi.org/10.1177/18479790211023617>

Alieva, J., von Haartman, R. (2020). Digital Muda – The New Form of Waste by Industry 4.0. *Operations and Supply Chain Management – an International Journal* Vol. 13 (3) <https://doi.org/10.31387/oscm0420268>

Aloui, A., Hadj-Hamou, K. (2021). A heuristic approach for a scheduling problem in additive manufacturing under technological constraints. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 154, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107115>

Angizeh, F., Montero, H., Vedpathak, A. Parvania, M. (2020). Optimal production scheduling for smart manufacturers with application to food production planning. *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 84 <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106609>

Arinez, JF., Chang, Q., Gao, RX., Xu, CY, Zhang, JJ. (2020). Artificial Intelligence in Advanced Manufacturing: Current Status and Future Outlook. *Journal of Manufacturing Science and Engineering – Transactions of the ASME* Vol. 142(11) <https://doi.org/10.1115/1.4047855>

Arlinghaus, J.C., Bendik, F. (2021). Risk Assessment and Mitigation for Industry 4.0: Implementation of a Digital Risk Quick Check. In: Dolgui, A., Bernard, A., Lemoine, D., von Cieminski, G., Romero, D. (eds) *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems. APMS 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol. 630. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2_22

Assid, M., Gharbi, A., Hajji, A. (2020). Production control of failure-prone manufacturing – remanufacturing systems using mixed dedicated and shared facilities. *International Journal of Production Economics*. Vol. 224 <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107549>

Avecedo-Ojeda, A. Chen, MY. (2020). Multi-level lot-sizing with raw-material perishability, deterioration, and batch ordering: an application of production planning in advanced composite manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 145 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106484>

- Badhotiya, GK., Soni, G., Mittal, ML. (2019). Fuzzy multi-objective optimization for multi-site integrated production and distribution planning in two echelon supply chain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol. 102 (1-4) <https://doi.org/10.1007/s00170-018-3204-2>
- Bank, L., Rosch, Unterberger, M., E., Roth, S., Rohrer, A. (2019). Comparison of Simulation – Based and Optimization-Based Energy Flexible Production Planning. In: Butala, P., Govekar, E., Vrabic, R. (eds) *Procedia CRP. 52 nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS)*, Ljubljana 12-14.6.2019 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.051>
- Bartelt, M., Kuhlenkotter, B. (2018). Involving the Manufacturing System within its Planning Phase. *IEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Bangkok, Thajsko, 2018, pp. 1120-1124. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607579>
- Baumung, W., Fomin, VV. (2018). Optimization Model to Extend Existing Production Planning and Control System for the Use of Additive Manufacturing. In: Denkena, B., Thoben, KD., Trachtler, A. (eds) *4.th International Conference on System Integrated Intelligence: Intelligent, Flexible and Connected Systems in Product and Production. Procedia Manufacturing. Vol.24.* <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.035>
- Beldiceanu, N., Dolgui, A., Gonnermann, C., Gonzales – Castane, G., Kousi, N., Meyers, B., Prud, J., Thevenin, S., Vyhmeister, E.,OE., Ostberg.(2021). ASSISTANT: Learning and Robust Decision Support System for Agile Manufacturing Environments. *IFAC PAPERSONLINE*, Vol. 54 (1) <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.074>
- Beliatis, MJ., Jensen, K., Ellegaard, L., Aagaard, A., Presser, M. (2021). Next Generation Industrial IoT Digitalization for Traceability in Metal Manufacturing Industry: A Case Study of Industry 4.0. *Electronics*, Vol. 10(5) <https://doi.org/10.3390/electronics10050628>
- Berger, C., Zipfel, A.,Braunreuther, S., Reinhart, G.(2019). Approach for a event. Driven production control for cyber-physical production systems. In: Teti, R., Daddona, DM. (eds) *Procedia CIRP. 12 th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. Naples*, 18-20.6.2018 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.085>
- Berger,C., Hoffmann, U., Braunreuther,S., Reinhart, G. (2018). Modeling, simulation and control of production resourceč with a control theoretic approach. In: TETI,R., DFAddona,DM.(eds) *Procedia CIRP, 11 th CIRP*

Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Vol. 67. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.187>

Bhosale, K.C., Pawar, P.J. (2019). Material flow optimisation of production planning and scheduling problem in flexible manufacturing system by real coded genetic algorithm (RCGA). *Flexible Services and Manufacturing Journal*, Vol. 31(2). <https://doi.org/10.1007/s10696-018-9310-5>

Brahma, M., Tripathi, S. S., Sahay, A. (2021). Developing curriculum for Industry 4.0: digital workplaces. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 11, (1), 144-163. <https://doi.org/10.1108/HESWBL-08-2019-0103>

Buergin, J., Blaettchen, P., Kronenbitter, J., Molzahn, K., Schweizer, Y., Strunz, C., Almagro, M., Bitte, F., Ruehr, S., Urgo, M., Lanza, G. (2019). Robust assignment of customer order with uncertain configurations in a production network for aircraft manufacturing. *International Journal of Production Research*, Vol. 57(3). <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1482018>

Cadavid, J.P.U., Lamouri, S., Grabot, B., Pellerin, R., Fortin, A. (2020). Machine learning applied in production planning and control: a state-of-the-art in the era of industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 31 (6). <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01531-7>

Canas, H., Mula, J., Diaz-Madronero M., Campuzano-Bolarin, F.(2021). Implementing Industry 4.0 principles. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 158. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107379>

Cannas, V.G., Pero, M., Pozzi, R., Rossi, T. (2018). An empirical application of lean management techniques to support ETO design and production planning. *IFAC Papersonline*, .Vol.51 (11). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.247>

Cappurro, R., Fiorentino, R., Garzella, S., Giudici, A. (2021). Big data analytics in innovation processes: which forms of dynamic capabilities should be developed and how to embrace digitization ?. *European Journal of Innovation management*, Vol. 25(6). <https://doi.org/10.1108/EJIM-05-2021-0256>

Carlucci, D., Renna, P., Materi, S. (2021). A Job-Shop Scheduling Decision Making Model for Sustainable Production Planning with Power Constraint“ *IEEE Transaction on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3103108> 51

Castiglione, C., Alfieri, A., Pastore, E.(2018). Decision Support System to balance inventory in customer – driven demand. *IFAC Papersonline*, Vol. 51(11). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.288>

Cestana, A., Pastore, E., Alfieri, A., Matta, A.(2019). Reducing resupply time with additive manufacturing in spare part supply chain. *IFAC PAPERSONLINE*, Vol. 52(13). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.220>

Coronaro-Medina, A., Ariaz-Perez, J., Perdomo-Charry, G.(2020). Fostering Product Innovation Thought Digital Transformation and Absorbitive Capacity. *International Journal of Innovation and Technology Management*, Vol. 17 (6). <https://doi.org/10.1142/S0219877020500406>

Cunico. ML., Vecchieti, A. (2020). A possibilistic model for production planning with uncertain demand. *European Journal of Industrial Engineering*, Vol. 14 (6). <https://doi.org/10.1504/EJIE.2020.112480>

Czerniachowska, K., Zywicki, K., Wichniarek, R. (2021). A Method to Improve Planning of Product Placement on a Printing Sheet. *Management and Production Engineering Review*, Vol. 12(1). <https://doi.org/10.24425/mper.2021.136877>

Danishvar, M., Danishvar, S., Katsou, E., Mansouri, SA., Mousavi, A. (2021). Energy – Aware Flowshop Sheduling: A Case for AI-Driven Sustainable Manufacturing. *IEEE ACCESS*, Vol. 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3120126>

Dave, S. (2023). Smart factories -an important component of industry 4.0. <https://doi.org/10.46254/na8.20230198>

Deenen, PC., Adan,J., Akcay, A.(2020) ,, Optimizing class-constrained wafer-to-order allocation in semiconductor back-end production“ *Journal of Manufacturing Systems* . Vol 57. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.07.022>

Delgoshaei, A., Delgoshaei, A., Ali, A. (2019). Evolution of clustering techniques in designing cellular manufacturing systems: A state-of-art review. *International Journal of Industrial engineering Computation*, Vol. 10 (2). <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2018.8.002>

Delgoshaei, A., Ali, A. (2020). A Hybrid Ant Colony Optimization and Simulated Annealing Algorithm for Multi-Objective Sheduling of Cellural Manufacturing Systems. *International Journal of Applied Metaheuristic Computing*, Vol. 11 (3). <https://doi.org/10.4018/IJAMC.2020070101>

Denkena, B., Dittrich, MA., Wilmsmaier, S. (2019a). Automated production data feedback for adaptive work planning and production control. *Procedia Manufacturing*, Vol. 28. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.12.004>

Denkena, B., Dittrich, MA, Jacob, S. (2019b). Methodology for integrative production planning in highly dynamic environments. *Production Engineering –*

Research and Development , Vol.13 (3-4). <https://doi.org/10.1007/s11740-019-00889-0>

Denkena, B., Dittrich, MA., Keunecke, L., Wilmsmeier, S.(2020). Continuous modelling of machine tool failure durations for improved production scheduling. *Production Engineering – Research and Development*, Vol. 14 (2). <https://doi.org/10.1007/s11740-020-00955-y>

Denkena,B., Dittrich,MA., Stamm, S.,Wichmann, M., Wilmsmeier,S.(2021). Reprint of: Gentelligent processes in biologically inspired manufacturing (Reprinted of CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol 32,pg 1-15). *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 34. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.06.006>

Denkena, B., Dittrich, MA., Stamm, S. (2018). Dynamic Bid pricing for an optimized resource utilization in small and medium sized enterprises. *Procedia CIRP*, Vol. 67. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.254>

De Anton, J. , Senovilla, J., Gonzales, JM.,Acebes, F.,Pajares, J.(2020). Production planning in 3D Printing factories. *International Journal of Production Management and Engineering*. Vol. 8(2). <https://doi.org/10.4995/ijpme.2020.12944>

Di, L., Yang, YR. (2021). Cost Modeling and Evaluation of Direct Metal Laser Sintering with Integrated Dynamic Process Planning. *Sustainability*, Vol. 13(1). <https://doi.org/10.3390/su13010319>

Dohale, V., Ambilkar, P., Gunasekaran, A ., Bilolikar, V.(2022). A multiproduct and multi-period aggregate production plan: a case of automobile component manufacturing firm. *Benchmarking: An International Journal*, Vol. ahead of print. No. ahead – of – print. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2021-0425>

Engbers, H., Braghirolli, LF., Lehold, S., Triska, Y., Frazzon, EM., Enzo, M., Freitag, M.(2021). Conceptual Model for Integrated Production and Maintenance Planning with Automated Prognostic Method Selection. *IFAC PAPERSONLINE*, Vol. 54(1). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.174>

Fera, M., Fruggiero, F., Lambiase, A., Macchiaroli, R., Todisco, V. (2018). A modified genetic algorithm for time and cost optimization of an additive manufacturing single machine sheduling. *International Journal of Industrial Engineering Computations*.Vol. 9 (4). <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2018.1.001>

Fera, M., Macchiaroli, R., Fruggiero, F, Lambiase, A. (2020). A modified tabu search algorithm for the single-machine scheduling problem using additive manufacturing technology. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 11(3). <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2020.1.001>

Frazzon, EM., Agostino, IRS., Broda, E., Freitag, M. (2020). Manufacturing networks in the era of digital production and operations: A socio-cyber-physical perspective. *Annual Reviews in Control*, Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.04.008>

Giehl, A., Wiedermann, N. (2018). Security Verification of Third Party Design Files in Manufacturing. In. *Proceedings of 2018 10th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE 2018)*. <https://doi.org/10.1145/3192975.3192984>

Ghaleb, M., Taghipour, S., Zolfagharinia, H. (2021). Real time integrated production scheduling and maintenance-planning in a flexible job shop with machine deterioration and condition-based maintenance. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 61. <https://doi.org/10.1016/j.jmmsy.2021.09.018>

Golpira, H., Khan, SAR., Zhang, Y. (2018). Robust Smart Energy Efficient Production Planning for a general Job-Shop Manufacturing System under combined demand and supply uncertainty in the presence of grid-connected microgrid. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.151>

Gonzales, OD., Koivisto, H., Mustonen, JM, Keinanen-Toivola, MM. (2021). Digitalization in Just-In-Time Approach as a Sustainable Solution for Maritime Logistics in the Baltic Sea Region. *Sustainability*, Vol. 13(3). <https://doi.org/10.3390/su13031173>

Grassi, A., Guizzi, G., Santillo, LC., Vespoli, S. (2020). A semi-hierarchical production control architecture for Industry 4.0 – based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, Vol. 24. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.03.007>

Grassi, A., Guizzi, G., Santillo, LC., Vespoli, S. (2021). Assessing the performances of a novel decentralised scheduling approach in Industry 4.0 and cloud manufacturing contexts. *International Journal of Production Research*, Vol. 59 (20). <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1799105>

Grassler, I., Pohler, A. (2018). Intelligent devices in a decentralized production system concept“ *Procedia CIRP*, Vol. 67. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.186>

Grznar, P., Gregor, M., Krajcovic, M., Mozol, S., Schickerle, Vavrik, M., Durica, V., Marschall, L., Bielik, T. (2020). Modeling and Simulation of Processes in a Factory of the Future. *Applied Sciences – Basel*, Vol. 10 (13) <https://doi.org/10.3390/app10134503>

Gu, CC., He, YH., Chen, ZX., Han, X., Zhou, D., Zhang, AQ. (2021). Mission reliability – oriented integrated scheduling optimization model by combining

- production planning and maintenance. *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers Part B – Journal of Engineering Manufacture*, Vol .235(3). <https://doi.org/10.1177/0954405420971080>
- Gviliya, NA, Parfyonov, AV, Shulzenko,TG. (2019). Managing integrated interorganizational logistic system in the digital economy. *The Manager*, Vol. 10 (1). <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2019-10-1-4>
- Gunasekara, HG., Sridarran, P., Rajaratnam,D.(2022). Effective use of blockchain technology for facilities management procurement process. *Journal of Facilities Management*, Vol. 20 (3). <https://doi.org/10.1108/JFM-10-2020-0077>
- Guo, DQ.,Zhong, RY, Rong, YM.,Huang, GGQ.(2021). Synchroziations of Shop-Floor Logistics and Manufacturing Under IIoT and Digital Twin – Enabled Graduation Intelligent Manufacturing Systems. *IEEE Transaction on Cybernetics*. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2021.3108546>
- Hallikas, J.,Immonen, M. , Brax,S.(2021). Digitalizing procurement: the impact of data analytics on supply chain performance. *Supply chain management International Journal*, Vol 26(5). <https://doi.org/10.1108/SCM-05-2020-0201>
- Hataminezhad, M.(2019). Examine the relationship between supply chain integration (sci) and modular product design and their impact on product. *Revista Gestao & Tecnologia – Journal of Management and Technology*, Vol. 19. <https://doi.org/10.20397/2177-6652/0.v0i0.1603>
- Hueber, C., Fischer, G., Schwingshandel, N., Schledjewski, R. (2019). Production planning optimization for composite aerospace manufacturing. *International Journal of Production Research*, Vol.57 (18). <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1554918>
- Chankov, S.,Hutt, MT.,Bendul, J.(2018). Influencing factors of synchronization in manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, Vol.56 (14). <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1400707>
- Chen, TCT., Wang, YC. (2021). A fuzzy mid-term capacity and production planning model for a manufacturing system with cloud – based capacity. *Complex & Intelligent Systems*, Vol 7 (1). <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00177-w>
- Chen, WL., Wang,Z. (2021). Integrated Capacity Planning and Production Control of an Assembly Manufacturing Systems. *IEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 68 (3). <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2915055>

- Chen, YR., Zhou, HM., Huang, PY., Chou, FD., Huang, SQ.(2019). A refined order release method for achieving robustness of non repetitive dynamic manufacturing system performance. *Annals of Operations Research*, Vol. 311 (1). <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03484-9>
- Chergui, A., Hadj-Hamou, K., Vignar, F. (2018). Production scheduling and nesting in additive manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 126. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.09.048>
- Chien, CF., Dou, RL., Fu, WH. (2018). Strategic capacity planning for smart production: Decision modeling under demand uncertainty. *Applied Soft Computing*, Vol.08. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.06.001>
- Chinnathai, MK., Alkan, B., Harrison,R.(2021). A novel data-driven approach to support decision-making during production scale-up of assembly systems. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.59. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.018>
- Chiu, SW., Huang, YJ.,Chou, CL., Chiu, YSP.(2020). Manufacturing runtime problem with an expedited fabrication rate, random failures and scrap. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol.11 (1). <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2019.6.006>
- Izdebski, K., Schuler, T.(2018). Embodied Engineering – the use of embodiment theories in Production Planning with VR. In. *WEB3D 2018: The 23rd International ACM conference on 3D Web Technology*. <https://doi.org/10.1145/3208806.3219743>
- Jacob, A., Windhuber, K.,Ranke, D., Lanza, G. (2018). Planning, Evaluation and Optimization of Product Design and Manufacturing Technology Chains for New Product and Production Technologies on the Example of Additive Manufacturing. *Procedia CIRP*, Vol. 70. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.049>
- Jeong, D., Kim, D., Choi, T., Seo, Y.(2020). A Process-Based Modeling Method for Describing Production Processes of Ship Block Assembly Planning. *Processes*, Vol. 8 (7). <https://doi.org/10.3390/pr8070880>
- Jung, WK., Park, YC.,Lee, JW., Suh, ES. (2021). Simulation-Based Hybrid Optimization Method for the Digital Twin of Garment Production Lines. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 21(3 SI). <https://doi.org/10.1115/1.4050245>
- Kacar, NB., Moench, L., Uzsoy, R. (2019). A problem reduction approach for production planning using clearing functions. *AT-Automatisierungstechnik*, Vol. 67 (6). <https://doi.org/10.1515/auto-2018-0109>

- Kaiser, J., Urnauer, C., Metternich, J.(2019). A framework for planning logistical alternatives in value stream design. *52nd CIRP CONFERENCE ON MANUFACTURING SYSTEMS (CMS) Procedia CIRP*. Vol. 81. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.032>
- Khamlichi, H., Oufaska, K., Zouadi, T., Dkiouak, R. (2020). A Hybrid GRASP Algorithm for a Integrated Production Planning and a Group Layout Design in a Dynamic Cellular Manufacturing System. *IEE Access*, Vol.8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3018505>
- Krajcovic, M., Furmannova, B.,Grznar, P.,Furmann, R., Plinta, D.,Svitek, R., Antoniuk,A. (2021). System of Parametric Modelling and Assesing the Production Staff Utilisation as a Basis for Aggregate Production Planning. *Applied Sciences-Basel*, Vol. 11(19). <https://doi.org/10.3390/app11199347>
- Kumar,K. (2024). *Advances in Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era*. CRC Press, ISBN 978-1-032-53782
- Lee, Y.H and Lee S. (2022). Deep reinforcement learning based scheduling within production plan in semiconductor fabrication. *Expert Systems With Applications*, Vol. 191. (2022) 116222. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116222>
- Liang, JR., Wang, YY., Zhang, ZH, Sun, YQ.(2019). Energy efficient production planning and sheduling problem with processing technology selection. *Computers & Industrial Enginnering*, Vol. 132. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.04.042>
- Li, Q., Zhang, D., Kucukkoc, I. (2019). Order acceptance and sheduling in direct digital manufacturing with additive manufacturing. *IFAC Papersonline*, Vol. 52 (13). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.328>
- LI, XX., Tang, HT., Yang, ZP., Wu,R.,Luo, YB. (2020). Integrated Optimization Approach of Hybrid Flow-shop Sheduling Based on Process Set. *IEE Access*, Vol.8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3044606>
- Zhou, L., Jiang, Z., Geng, N., Niu, Y., Cui, F., Liu, K., Qi, N. (2022). Production and operations management for intelligent manufacturing: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, Vol. 60(2). <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2017055>
- Liu, Ch., Wang, J., Leung, J.Y.T. (2018). Integrated baterie foraging algorithm for cellular manufacturing in supply chain considering facility transfer and production planning“ *Applied Soft Computing*, Vol.62. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.10.034>

- Liu, WJ., Ma, WY., Hu, Y., Jin, MZ., Li, K., Chang, XY., Yu, XY. (2019). Production planning for stochastic manufacturing/remanufacturing system with demand substitution using a hybrid ant colony system algorithm. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.205>
- Liu, YF., Zhang, QS. (2018). Multi-objective production planning model for equipment manufacturing enterprises with multiple uncertainties in demand. *Advances in Production Engineering & Management*, Vol. 13 (4). <https://doi.org/10.14743/apem2018.4.301>
- Lorentz, H., Aminoff, A., Kaipia, R., Srai, JS. (2021). Structuring the phenomenon of procurement digitalization: contexts, interventions and mechanisms. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 41(2). <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2020-0150>
- Lucht T., Mutze, A., Kampfer, T., Nyhuis, P. (2021). Model-Based Approach for Assessing Planning Quality in Production Logistics. *IEEE Access*, Vol. 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3104717>
- Luh, YP., Huang, LC., LU, HJ., CHU, CH. (2020). A Smart Manufacturing Solution for Multi-Axis Dispenser Motion Planning in Mixed Production of Shoe Soles. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Green Technology*, Vol. 7 (3). <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00211-9>
- Mahiamaki, T., Storbacka, K., Pylkkonen, S., Ojala, M. (2020). Adoption of digital sales force automation tools in supply chain: Customer's acceptance of sales configurators. *Industrial Marketing Management*, Vol. 91. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.08.024>
- Maier, HT., Schmiedbauer, O., Biedermann, H. (2020). Validation of a Lean Smart Maintenance Maturity Model. *Technicki Glasnik-Technical Journal*, Vol. 14 (3). <https://doi.org/10.31803/tg-20200706131623>
- Martins, MSE., Viegas, JL., Coito, T., Firme, BM, Sousa, JMC., Figueiredo, J., Vieira, SM. (2020). Reinforcement Learning for Dual – Resource Constrained Scheduling. *IFAC Paperonline*, Vol. 53 (2). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2866>
- MA, SY., Zhang, YF., Lv, JX., Ge, YT., Yang, HD., Li, L. (2020). Big data driven predictive production planning for energy – intensive manufacturing industries. *Energy*, Vol. 211. <https://doi.org/j.energy.2020.118320>
- Mayer, S., Endisch, C. (2019). Adaptive Production Control in a Modular Assembly System Based on Partial Look-ahead Scheduling. *2019 IEE International Conference on Mechatronic (ICM)*. <https://doi.org/10.1109/ICMECH.2019.8722904>

- MA, YJ., Du, G., Zhang, YY. (2022). Dynamic hierarchical collaborative optimisation for process planning and scheduling using crowdsourcing strategies. *International Journal of Production Research*, Vol. 60(8). <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1892230>
- Mikhaylova, A., Sakulyeva, T., Shcherbina, T., Levoschich, N., Truntsessky, Y. (2021). Impact of Digitalization on the Efficiency of Supply Chain Management in the Digital Economy. *Quality – Access to Success*, Vol. 22 (183), pp.148–154. ISSN 1582-2559
- Mikhaylova, A., Sakulyeva, T., Shcherbina, T., Levoschich, N., Truntsessky, Y. (2021). Impact of Digitalization on the Efficiency of Supply Chain Management in the Digital Economy. *International Journal of Enterprise Information Systems*, Vol. 17(3). <https://doi.org/10.4018/IJEIS.2021070103>
- Missbauer, H. (2020). Order release planning by iterative simulation and linear programming: Theoretical foundation and analysis of its shortcomings. *European Journal of Operational Research*, Vol. 280 (2). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.07.030>
- Mokhtari, H., Asadkhani, J. (2020). Extended economic production quantity models with preventive maintenance. *Scientica Iranica*, Vol. 27(6). <https://doi.org/10.24200/sci.2019.51199.2055>
- Mokhtari, H. (2018). A joint internal production and external supplier order lot size optimization under defective manufacturing and rework. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 99 (1-4). <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1290-1>
- Moser, P., Isaksson, O., Okwir, S., Seifert, RW. (2021). Manufacturing Management in Process Industries: The Impact of Market Conditions and Capital Expenditure on Firm. *IEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 68(3). <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2914995>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Siatras, V. (2020). Cycle Time Estimation Model for Hybrid Assembly Stations Based on Digital Twin. In: Lalic, B., Majstorovic, V., Marjanovic, U., von Cieminski, G., Romero, D. (eds) *Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems. APMS 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol. 591. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_20
- Mylnikov, L., Vershinin, D., Fatkhulin, D. (2018). The Use of Optimal Management Tasks for Verification and Adjustment of New Product Release

Planning in Discrete Production System. *Proceedings of the ICAIT*, Vol. 6(1). <https://doi.org/10.13142/kt10006.27>

NagulPELLI, KS., King, RE., Warsing, D.(2019). Integrated traditional and additive manufacturing production profitability model. *Procedia Manufacturing*, Vol. 34. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.121>

Neves, CCB., Oliveira, DD., Asato, OL., Kaneshiro, PJI., Nakamoto, FY.(2021). Dynamic Production Planning and the Functional Capacity of the Production System. <https://doi.org/10.1109/INDUSCON51756.2021.9529713>

Novak, P., Vyskocil, J., Kadera, P. (2019). Plan Executor MES: Manufacturing Execution System Combined with a Planner for Industry 4.0 Production System. In: Industrial Application of Holonic and Multi-Agent Systems. HoloMAS 2019. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 11710, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27878-6_6

Novak, P., Vyskocil, J., Wally, B. (2020). The Digital Twin as a Core Component for Industry 4.0 Smart Production Planning. *IAFC Paperonline*, Vol. 53 (2). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2865>

Núñez-Merino, M., Marín, J., Fuentes, J., Martínez-Jurado, P. (2020). Information and digital technologies of industry 4.0 and lean supply chain management: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(16), 5034-5061, <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1743896>

Oh, Y., Witherell, P., Lu, Y., Sprock, T. (2020). Nesting and scheduling problems for additive manufacturing: A taxonomy and review. *Additive Manufacturing*, Vol.36. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101492>

Olender, M., Kalinowski, K., Grabowik, C. (2019). Practical Approach of Flexible Job Shop Scheduling Using Costs and Finishing Times of Operations. In: Burduk, A., Chlebus, E., Nowakowski, T., Tubis, A. (eds) *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance. ISPEM 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 835, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_38

Oluyisola, OE., Sgarbossa, F., Stranghaden, JO. (2020). Smart Production Planning and Control: Concept, Use – Cases and Sustainability Implications. *Sustainability*, Vol. 12 (9) <https://doi.org/10.3390/su12093791>

Oluyisola, OE., Bhalla, S., Sgarbossa, F., Strandhagen, JO.(2022). Designing and developing smart production Planning and control systems in Industry 4.0 era: a methodology and case study. *Journal of intelligent manufacturing*, Vol. 33(1). <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01808-w>

- Opritescu, D., Hartmann, C., Riedl, W., Ritter, M., Volk, W. (2019). Low-risk bypassing of machine failure scenarios in automotive industry press shops by releasing overall capacity of the production networks. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.52. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.007>
- Pagone, E., Efthymiou, K., Mahoney, B., Salonitis, K. (2019). The effect of operational policies on production systems robustness : an aerospace case study. In: Butala,P., Govekar,E.,Vrabic,P.,(eds) 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS) *Procedia CIRP*, Vol.81. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.023>
- Pan, SL., Trentesaux, D., McFarlan, D., Montreuil, B., Ballot, E., Huang, GQ.(2021). Digital interoperability in logistics and supply chain management: state-of-the-art and research avenues towards Physical Internet. *Computers in Industry*, Vol. 128. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103435>
- Panzer,M., Bender, B. (2021). Deep reinforcement learning in production systems: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, Vol. 60(13). <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1973138>
- Pisaric, M., Dimitrievski, V.,Vjestica, M., Krajovski, G. (2020). Towards a Non-disruptive System for Dynamic Orchestration of the Shop Floor. In: Lalic,b. Majstorovic, V., Marjanovic, V.,Marjanovic, U., von Ciemienski, G., Romero, D.(eds) *Advances in Production Management Systems. Towards Smart and Digital Manufacturing APMS 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol. 592. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5_54
- Pourhejazy, P., Cheng, CY., Zing, KC., Lin, SY. (2021). Supply chain – oriented two-stage assembly flowshops with sequence – dependent setup times. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.61. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.08.014>
- Qiu, SQ., Ming, XG., Sallak, M., Lu, JL. (2021). Joint optimization of production and condition – based maintenance scheduling for make-to-order manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 162. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107753>
- Qiu, YZ., Ni, M., Wang, L., Li, QQ. Fang, XJ., Pardalos, PM.(2018). Production routing problems whit reverse logistics and remanufacturing. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, Vol.111. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.01.009>

- Quaret, S., Kenne, JP., Gharbi, A. (2019). Production and replacement planning of a deteriorating remanufacturing system in a closed-loop configuration. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 53. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.09.006>
- Reiff, C., Wulle, F., Strieg, F., Riedel, O. (2019). Model for the Client – Oriented Selection of Additive Manufacturing Infrastructure based on Information gathered from Production Networks. In: Putnik, GD. (ed) 29 th CIRP DESIGN CONFERENCE 2019. *Procedia CIRP*, Vol. 84. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.208>
- Rozanec, J.M., Lu, JZ.,Rupnik, J., Skrjanc, M., Mladenic, D., Fortuna, B., Zheng, XC., Kiritsis, D. (2022). Actionable cognitive twins for decision making in manufacturing. *International Journal of Production Research*, Vol. 60 (2). <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2002967>
- Rosyidi, CN., Hapsari, SN., Jauhari, WA. (2021). An integrated optimization model of production plan in a large steel manufacturing company. *Journal of Industrial and Production Engineering*, Vol. 38(3). <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1882592>
- Rubalee, S., Cinar, S., Yildirim, MB. (2019). An Energy – Aware Multiobjective Optimization Framework to Minimize Total Tardiness and Energy Cost on a Single-Machine Nonpreemptive Scheduling. *IEE Transactions on Engineering Management* Vol. 66 (4) <https://doi.org/10.1109/TEM.2018.2846627>
- Rubio,E.M., Camacho, A.M. (2018). Special Issue of the Manuáfacturing Engineering Society (MES)“ *Materials*, Vol. 11 (11). <https://doi.org/10.3390/ma11112149>
- Rybski, C., Jochem, R. (2020). Procedure model to integrate digital elements into lean production systems. *International Journal of Quality and Service Sciences*, Vol. 13(1). <https://doi.org/10.1108/IJQSS-03-2020-0047>
- Salmi, T., Marstio, I., Malm, T., Laine, E. (2008). Man-Robot Cooperation – New Technologies and New Solutions. Conference Micro-Assembly Technologies and Applications, IFIP TC5 WG5.5 Fourth International Precision Assembly Seminar (IPAS’2008), Chamonix. https://doi.org/10-1007/978-0-387-77405-3_38
- Sarkis,J., Kouhizadeh, M., Zhu, QS.(2020). Digitalization and the greening of supply chains. *Industrial Management &Data Systems*, Vol. 121(1). <https://doi.org/10.1108/IMDS-08-2020-0450>
- Shafiee-Gol, S., Kia, R., Kazemi, M., Tavakolli-Moghaddam, R., Darmian,SM. (2020). A mathematical model to design dynamic cellular manufacturing systems in

- multiple plants with production planning and location-allocation decisions. *SOFT COMPUTING*, Vol. 25(5). <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05417-2>
- Shafiee-Gol, S., Kia, R., Tavakkoli – Moghaddam, R., Kazemi, M., Kamran, MA. (2021). Integration of parts Sheduling, MRP, production planning and generalized fixed – charge transportation planning in the design of a dynamic cellular manufacturing system. *RAIRO – Operations Research*, Vol. 55. <https://doi.org/10.1051/ro/2020062>
- Shaups,S. (2021). Technopolitics from Below: A Framework for the Analysis of Digital Politics of Production. *Nanoethics*, Vol. 15(1). <https://doi.org/10.1007/s11569-021-00386-8>
- Shin, M., Lee, H.,Ryu, K., Cho, Y., Son, YJ. (2019). A two-phased perishable inventory model for production planning in a food industry. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 133. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.010>
- Schuh, G., Wetzchewald, P. (2019). Increasing the Regulability of Production Planning and Control Systems. In: Ameri,F., Stecke,KE, VonClemenski, G., Kiritsis,D.(eds) *Advances in Production Managements Systems: Towards Smart Production Management Systema*, APMS 2019, PT II. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_27
- Sobottka, T., Kamhuber, F., Rossler, M., Sihn, W. (2018). Hybrid simulation – based optimization of discrete parts manufacturing to increase energy efficiency and productivity. *Procedia Manufacturing*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.139>
- Song, J.,Qiu,YZ., Xu,J.,Yang,F. (2019). Multi-fidelity sampling for efficient simulation-based decision making in manufacturing management. *IIE Transactions*, Vol. 51(7). <https://doi.org/10.1080/24725854.2019.1576951>
- Srai, JS., Lorentz, H.(2019). Developing design principles for the digitalisation of purchasing and supply management. *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 25 (1). <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2018.07.001>
- Staruch, B., Staruch, B. (2021). Competence – based assignment of task to workers in factories with demand-driven manufacturing. *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 29(2). <https://doi.org/10.1007/s10100-021-00739-4>
- Stittgen, T., Schleifenbau, JH. (2021). Simulation of utilization for LPBF manufacturing systems. *Production Engineering Research and Development*, Vol. 15 (1). <https://doi.org/10.1007/s11740-020-00998-1>

Strandhagen, JW., Wallandingham, LR., Alfne, E., Strandhagen, JO. (2018). Operationalizing lean principles for lead time reduction in engineer – to – order (ETO) operations: A case study. *IFAC PAPERSONLINE*, Vol. 51 (11). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.246>

Strljic, MM., Riedel, O., Lechler, A. (2019). Collective Cloud Manufacturing for maintaining Diversity in Production through digital Transformation. In: Becker, J., Novikov, D. 2019 IEEE 21st Conference on Business Informatics (CBI), Vol.1, *Conference on Business Informatics*. <https://doi.org/10.1109/CBI.2019.00075>

Sun, PL., Li, K. (2018). Methodology – A Review of Intelligent Manufacturing: Scope, Strategy and Simulation. *Recent Advances in Intelligent Manufacturing, PT 1*, Vol. 923. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2396-6-33>

Talay, I., Ozdemir-Akyildirim, O. (2019). Optimal procurement and production planning for multi-product multi-stage production under yield uncertainty. *European Journal of Operational Research*, Vol. 275 (2). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.069>

Toth, N., Kulcsar, G. (2021). New models and algorithms to solve integrated problems of production planning and control taking into account worker skills in flexible manufacturing systems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 12(4). <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2021.5.004>

Wang, J., Pan, KL., Guo, YC. (2018). Collaborative Production Planning with Order Splitting in Cloud Manufacturing Platform. In: 17th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES) Wuxi, China, 2018, s. 52-55. <https://doi.org/10.1109/DCABES.2018.00023>

Wang, WZ., Khalid, QS., Abas M., Li, H., Azim, S., Babar, AR., Saleem, W., Khan, R. (2021). Implementation of POLCA Integrated QRM Framework for Optimized Production Performance – A Case Study. *Sustainability*, Vol. 13 (6). <https://doi.org/10.3390/su13063452>

Wang, YB., Pai, Z., Xun, X., Yang, HY, Jun, Z. (2019). Production planning for cloud-based additive manufacturing – A computer vision-based approach. *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*. Vol. 58 <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.03.003>

Wang, ZK., Zhen, ZL., Deng, JD., Zhang, QF, Li XJ., Yuan, MX., Zeng, J. (2022) Multiobjective Optimization-Aided Decision – Making System for Large – Scale Manufacturing Planning. *IEEE Transaction on Cybernetics*, Vol.52(8). <https://doi.org/10.1109/TCYB.2021.3049712>

- Wu, T., Xiao, F., Zhang, CR., He, Y., Liang, Z. (2018). The green capacitated multi-item lot sizing problem with parallel machines. *Computers & Operations Research*, Vol.98. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.05.024>
- Xu, ZJ., Zheng, Z., Cao, XQ.(2021). Operation optimization of the steel manufacturing process: A brief review. *International Journal of Minerals Metallurgy and Materials*, Vol. 28(8). <https://doi.org/10.1007/s12613-021-2273-7>
- Yamashita, K., Kaihara, T. Fujii, N., Kokuryo, D., Umeda, T., Izutsu, R.(2019). A Proposal of Order Planning Method with Consideration of Multiple Organizations in Manufacturing System. In: Ameri,F., Stecke, KE VonCieminski, G., Kiritsis,D.(eds) *Advances in Production Management Systems: Towards Smart Production Management Systems*, APMS 2019, PT II, *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol. 567, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_21
- Yang, JJ., Ma, XM., Crespo, RG., Martinez, OS.(2021). Blockchain for supply chain performance and logistics management. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, Vol. 37 (3). <https://doi.org/10.1002/asmb.2577>
- Yang, MY., Fu, MT., Zhang, ZH.(2021). The adoption of digital technologies in supply chains: Drivers, process and impact. *Technological forecasting and social change*, Vol. 169. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120795>
- Yazdani, MA., Khezri,M., Benyoucef, L. (2022). Process and production planning for sustainable reconfigurable manufacturing systems (SRMSs): multi-objective exact and heuristic – based approaches. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 119 (7-8). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08409-0>
- You, J., Li, M., Guo, K., Li, H. (2020). Integrated Control Policy for a Multiple Machines and Multiple Product Types Manufacturing System Production Process. *Processes*, Vol. 8 (8). <https://doi.org/10.3390/pr8080952>
- Yu, CY.,Zhang, W., Xu, X., Ji, ZJ., Yu, SQ.(2018). Data mining based multi-level aggregate service planning for cloud manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 29 (6). <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1184-8>
- Zamzami, N., Schiffauerova, A.(2017). The impact of individual collaborative activities on knowledge creation and transmission. *Scientometrics 2017*, Vol. 111(3). <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2350-x>
- Zarte, M., Pechmann, A., Nunes IL. (2018). Sustainable Evaluation of Production Programs Using a Fuzzy Interference Model – A Concept. *Procedia CIRP*, Vol. 73. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.012>

Ziarnetzky, T., Monch, L., Uzsoy, R. (2018). Rolling horizon, multi – product production planning with change constraints and forecast evolution for wafer fab. *International Journal of Production Research*, Vol. 56 (18). <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1478461>

Zipfel, A., Braunreuther, S., Reinhart, G. (2019). Approach for a Production Planning and Control System in Value-Adding Networks. In: Butala, P. Govekar, E., Vrabic, R.(eds) 52 nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS). *Procedia CIRP*, Vol.81. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.291>

Zhang, Q., Wu, D., Fu, C., Baron, C., Peng, Z. (2016). A new method for measuring process flexibility of product design. *International Transactions in Operational Research*, 24(4), pp. 821-838, <https://doi.org/10.1111/itor.1229>

6.2 VÝSTUPY PRACOVNÍKŮ ÚSTAVU PRŮMYSLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ A INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

Benyaha, P., Macurová, L. (2021). Utilization of shop-floor management as a tool for communication and knowledge sharing of lean logistics – A case study. *Serbian Journal of Management*, 2021, Vol. 16 (1), pp.267-276. <https://doi.org/10.5937/sjm16-25783>

Bobák, R. (2011). Výrobní a logistická výkonnost podniků gumárenského a plastikářského průmyslu v České republice. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, Gumárenská skupina Zlín.2011, s.159. ISBN 978-80-020-2354-8

Bobák, R., Pivodová, P., Poláková, V. (2013). Production and logistics performance of Czech and Slovacs companies. In. *Journal of Competitiveness*, vol 5(3), ISSN 1804-1728, pp. 97-107. <https://doi.org/107441/joc.2013.01.07>

Bobák, R., Pivodová, P., Fila, J. (2015). Benchmarking of production performance of plastics and rubber producents in Zlin region In. Taylor & Francis: Production management and engineering sciences: Scientific publication of the International Conference on Engineering Science and Production Management (ESPM 2015) pp 27–32, e-ISBN 1315673797, 978 1315673790. <https://doi.org/10.1201/b19259-7>

Bobák, R., Juříčková, E. (2016). The innovative capacity of the machinery firms in the Zlin region in relations to concept of Industry 4.0. In. Proceedings of the 3rd International Conference on Finance and Economic 2016. Zlín: Tomas Bata University. Conference Proceedings Citation Index – Social Science & Humanities (CPCI-SSH),pp. 64–77, e-ISBN 9788074545993-8074545007

Briš, P., Hýža, J., Sedláček, M., Kramná E, (2021). Use of Quality management to optimize foundry industry processes. *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 18 (6), pp. 212–232, <https://doi.org/10.12700/APH.18.6.12>

- Buřita, L., Hrušecká, D., Pivnička, M., Rosman, P. (2018). The use of knowledge management systems and Event. B modelling in a lean enterprise. *Journal of Competitiveness*, 2018, Vol. 10(1), pp.40-53. <https://doi.org/10.7441/joc.2018.01.03>
- Efimova, A., Briš, P., Efimov, A. (2021). A bibliometrics analysis of the evolution of Six Sigma in the context of Industry 4.0. *Inzenerine Ekonomika – Engineering Economics*. 2021, Vol. 32 (4), pp.338-349. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.32.4.28536>
- Efimova, A., Briš, P. (2022). The implementation of the conjunction of Lean Six Sigma and Industry 4.0. A case study in the Czech republic. *Managements Systems in Production Engineering 2022*, Vol. 30 (3), pp. 223–229. <https://doi.org/10.2478/mspe-2022-0028>
- Ferenčíková, D. (2011). Information systems for Production Planning and Sheduling and their impact for Business Performance. In Proceedings of the 5th European Conference on Information Management and Evaluation. *Academic Conferences International Limited*, 2011, pp. 503–509, e-ISBN 1908272120, 9781908272126
- Ferenčíková, D. (2012). Theory of constraints based information systems in production management In. Proceedings of the European Conference on Management, Leadership & Governance. *Academic Conferences International Limited*, 2012, pp.474-480. e-ISSN 2048903X
- Ferenčíková, D. (2012). Bottleneck Management in Discrete Batch Production. *Journal of Competitiveness*, 4 (2), 161-171. <https://doi.org/10.7441/joc.2012.02.11>
- Ferenčíková, D., Novák, I. (2012). Data interchange between different simulation software aplication. In. *Innovation and Sustainable Competitive Advantage from Regional Development to World Economies*, Vol. 1-5, Conference Proceedings Citation Index – Social Science & Humanities (CPCI-SSH), pp.754–784. ISBN 0982148976–9780982148976
- Ferenčíková, D. (2014). Ergonomic aspects of product development and Innovation. In. *Proceedings of the 2nd International Conference on Innovation and Entrepreneurship*. Conference Proceedings Citation Index – Social Science & Humanities (CPCI-SSH), pp.283-288, e-ISBN 1909507938-9781909507937
- Gálová, K., Rajnoha, R., Ondra, P.(2018). The use of industrial lean management methods in the economic practice. An empirical study the production company in Czech republic. *Polish Journal of Management Studies*, Częstochowa, Vol. 17, Nr. 1, pp. 93-104. <https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.1.08>

Holoči, J., Chromjaková, F. (2022). Process management of ergonomic workplace based on augmented reality principles. *Human Technology*, 18(1), 66–91. <https://doi.org/10.14254/1795-6889.2022.18-1.5>

Hrabal, M., Tuček, D., Molnár, V., Fedorko, G. (2021). Human factory in business process management: Modeling competencies of BDM role. *Business Process Management Journal* (2021) 27 (1): 275–305. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-04-2020-016>

Hrbáčková, L., Stojanovič, A., Tuček, D., Hrušecká, D. (2019). Environmental aspects of product life cycle managerial and purchasing logistics. Current situation in large and medium – sized Czech manufacturing companies. In. *Acta Hungaria Polytechnica*, Vol. 16 (7), pp. 79-94. ISSN 1785-8860

Hrbáčková, L., Tuček, D. (2019). An analysis of two new processes approach – related terms in ISO 9001-2015. Risk based thinking and context of the organizations. In: *Scientific Papers of the University of Pardubice*. Series D. Faculty of Economics and Administration, Vol. 27 (1), 2019, e-ISSN 1804-8048

Hrušecká, D. (2014). Process innovation as a necessary condition for successful implementation of a new production planning system In: *Proceedings of European conference on Innovation and Entrepreneurship*. Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH), pp.514-521, e-ISBN -9781910309476-1910309478

Hrušecká, D., Macurová, L., Juříčková, E., Kozáková, L. (2015). The analysis of the use of outsourcing services in logistics by czech manufacturing companies, In: *Journal of Competitiveness*, Vol. 7 (3), pp. 50 – 61. <https://doi.org/10.7441/joc.2015.03.04>

Hrušecká, D. (2016). Proof obligations as support tool for efficient process management in the field of production planning and scheduling. *Serbian Journal of Management 2016*, Vol. 11 (2), pp. 235 – 243. <https://doi.org/10.5937/sjm11-11135>

Hrušecká, D., Pivnička, M., Borges Lopez, R. (2017). Logistics management as a system constrains. *Polish Journal of Management Studies*, Vol 15 (1), pp 67 – 87. <https://doi.org/10.17512/pjms.2017.15.1.08>

Hrušecká, D., Rawa A., Said, K., Pivnička, M. (2018). Event – B model for increasing the efficiency of warehouse management. *Polish Journal of Management Studies 2018*, Vol.17 (2), pp. 63-74. <https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.2.06>

Hrušecká, D., Borges Lopez, R., Juříčková, E. (2019). Challenges in the introduction of AGVs in production lines. *Serbian Journal of Management* 2019, Vol. 14(1), pp. 233 -247. <https://doi.org/10.5937/sjm14-18064>

Chromjaková, F., Bobák, R., Hrušecká, D. (2017). Production process stability - Core assumption of Industry 4.0 concept. *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*, Vol. 215. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/215/1/012024>

Chromjaková, F., Hrušecká, D. (2019). Production employees knowledge in digitized production environment. In: *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operation Management*, pp. 1349-1356. e-ISSN 2169 -8767

Chromjaková, F. (2022). Production planning proces based on the work psychology of a colaborative workplace with humans and robots. *Journal Machines*, Vol. 11(2). <https://doi.org/10.3390/machines11020160>

Chromjaková, F., Bobák, R., Hrbáčková, L. (2023). Production planning based relevant data analytics. In: *ICISS '23: Proceedings of the 2023 6th International Conference on Information Science and Systems*. pp 77 – 82. <https://doi.org/10.1145/3625156.3625168>

Juříčková, E., Hrušecká, D. (2015). Economic growth and innovation: measurable indicators of economic performance, In: *Finance and performance of firms in science, education, and practice*. Tomas Bata Univ Zlin, ZLIN, 2015,Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH), 522 – 532.e-ISBN 9788074544828, 8074544826

Juříčková, E., Pilík, M., & Kwarteng, M. A. (2019). Efficiency measurement of National Innovation Systems of the European Union countries: DEA Model Application. *Journal of International Studies*, 12(4), pp. 286-299. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2019/12-4/19>

Kovařík, M., Briš, P. (2021). The effects of autocorrelation on control chart performance and process capability indices calculation. *International Journal of Quality Engineering and Technology (IJQET)*, Vol. 8 (3), pp. 283 – 305. <https://doi.org/10.1504/IJQET.2021.116753>

Kwarteng, M., Pilík, M., Juříčková, E. (2018). Beyond cost saving other factor consideration in online purchases of used electronic goods: A conjoint analysis approach. *Management SI Marketing*, 13 (2), 1051 – 1063. <https://doi.org/10.2478/mmcks-2018-0022>

Luu, VT., Chromjaková, F., Bobák, R. (2023). An optimalization approach for a order picking warehouses. An empirical case. *Journal of*

Competitiveness, Vol.15 (4), pp. 154-178.
<https://doi.org/10.7441/joc.2023.04.09>

Luu, V.T., Chromjaková, F., Hong, Q.N. (2023). A model Industry 4.0 and a circular economy for green logistics and a sustainable supply chain. *Business Strategy and Development* 2023, Vol. 6(4), pp. 897 – 920.
<https://doi.org/10.1002/bsd2.286>

Nguyen, T. A. V., Tucek, D., Pham, N. T., Nguyen, K. H. (2024). Quality 4.0 practices toward sustainable excellence in the manufacturing sector. *Total Quality Management & Business Excellence*, 35(13–14), 1593–1610.
<https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2383616>

Novák, P., Hrušecká, D., Macurová, L. (2018). Perception of cost behaviour in industrial firms with emphases on logistics and its cost. In *FME Transaction*, Vol .46 (4), pp. 658 – 668. ISSN 1451-2092m 2406-125 (on – line)

Nwaiwu, F., Duduci, M., Chromjakova, F., & Otekhile, C.-A. F. (2020). Industry 4.0 concepts within the Czech SME manufacturing sector: an empirical assessment of critical success factors. *Business: Theory and Practice*, 21(1), 58-70.
<https://doi.org/10.3846/btp.2020.10712>

Olaniyi, R., Chromjakova, F. (2024). Additive Manufacturing and 3D Printing Technology. In: Burduk, A., Batako, A.D.L., Machado, J., Wyczółkowski, R., Dostatni, E., Rojek, I. (eds) *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance III*. ISPEM 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44282-7_4

Ondra, P. (2018). Application of value stream mapping to recognize opportunities to improve processes and increase business process performance: a case study from manufacturing company in the czech republic. In: *14TH Annual international Baťa conference for PhD. students and young researchers (DOKBAT)*. Tomas Bata Univ Zlin,2018, Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH), pp. 199–210, e-ISBN 9788074547300, 8074547302, <https://doi.org/10.7441/dokbat.2018.18>

Ondra, P., Tuček, D., Rajnoha, R. (2018). The empirical quality management practises. Study of industrial companies in the Czech Republic. In. *Polish Journal of Management Studies*, Vol. 17(2), pp. 180-196.
<https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.2.16>

Ondra, P. (2021). Managing quality in industrial company. The empirical management systems in the Czech Republic. In. *Serbian Journal of Management* Vol 16 (1). pp. 251-266. ISSN 1452-4864, 2217-7159 (online).
<https://doi.org/10.5937/sjm16-24507>

- Ondra, P. (2022). The Impact of Single Minute Exchange of Die and Total Productive Maintenance on Overall Equipment Effectiveness. *Journal of Competitiveness*, 14(2), 113–132. <https://doi.org/10.7441/joc.2022.03.07>
- Pechancová, V.; Hrbáčková, L.; Dvorský, J.; Chromjaková, F.; Stojanovic, A. 2019. Environmental management systems: an effective tool of corporate sustainability, *Entrepreneurship and Sustainability Issues* 7(2): 825-841. [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2\(3\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2(3))
- Pilik, M., Juříčková, E., & Kwarteng, M. A. (2017). On-line shopping behaviour in the Czech Republic under the digital transformation of economy. *Economic Annals-XXI*, 165(5-6), 119-123. <https://doi.org/10.21003/ea.V165-24>
- Pivnička, M. (2011). The balanced scorecard, its practical application in Oracle balanced scorecard. In: *5th European Conference On Information Management and Evaluation*. Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH), 540-552. e-ISBN 1908272120-9781908272128
- Pivnička, M. (2012). Management of Logistics Processes in ERP Systems. In: *Innovation Vision 2020: Sustainable growth entrepreneurship ends economic development*. Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH), Vol. 51, pp 822 – 828. ISBN 9780982148903, 0982148984
- Pivnička, M., Hrušecká, D., Hrbáčková, L. (2022). Introduction of a new flexible human resources planning system based on digital approach: A case study. *Serbian Journal of Management*, Vol. 17 (2), pp. 361 – 373. <https://doi.org/10.5937/sjm17-37281>
- Pivodová, P., Juričková, E., Bobák, R.(2014). Design of Process and Organizational Innovation Application Methodology. In: *European Conference on Innovation and Entrepreneurship; Reading : Academic Conferences International Limited*, pp. 547-555. ISSN 2049-1050, e-ISSN 2049-1069
- Poláková.V., Bobák R. (2013). *Průmyslové inženýrství jako faktor konkurenceschopnosti výrobních podniků*. Georg, Žilina, 2013, ISBN 978-80-8154-051-6
- Prycl D., Zaatar A., Tuček D., Chmelík R., Macurová L., Urbánek T. (2024). Muscle activity in the context of ergonomic workspace optimalization for administrative staff during computer use. *Health Prob Civil.*, 18(4): 440-452. <https://doi.org/10.5114/hpc.2024.136912>
- Saini, M., Hrušecká, D. (2021a). Comparative impact of Logistics performance index case of doing business and logistics cost on economies development: A fuzzy QCA analysis. In. *Journal of Business Economics and Management*,

Vol. 22 (6). pp. 1577-1592. e-ISSN 2029-4433.
<https://doi.org/10.3846/jbem.2021.15586>

Saini, M., Hrušecká, D. (2021b). Influence of Logistics Competitiveness and Logistics Cost on Economic Development: An FsQCA Qualitative Approach. *E&M Economics and Management*, 24(2), 51–65.
<https://doi.org/10.15240/tul/001/2021-2-004>

Sedlák, J., Hrušecká, D., Chromjaková, F., Majerčík, J., Barenyi, I. (2021). Analysis of the wear of machined grow profiles using reverse engineering technology. *Manufacturing Technology 2021*, Vol. 21(4), pp. 529-538.
<https://doi.org/10.21062/mft.2021.062>

Sedlák, J., Joska, J. Z., Hrbáčková, L., Juříčková, E., Hrušecká, D., Horák, O. (2022). Determination of mechanical properties of plastic components made 3D printing. *Manufacturing Technology*, Vol. 22(6), pp. 733-746.
<https://doi.org/10.21062/mft.2022.082>

Tucek, D., Hrbáková, L. (2019). Trends in Risk-Based Thinking and Risk Management Methods in Czech Plastic Cluster Production Companies. *Int Adv Econ Res* 25, 245–246 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11294-019-09729-4>

Tuček, D., Gavurová, B., at al. (2023). Achieving market performance with Industry 4.0 enabled dynamic marketing capability sustainable human resources management and circular product design. In. *Industrial Marketing Management*, Vol. 115, pp. 86-98.
<https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2023.09.010>

Varhaník, M., Sedlák, J., Studený, Z., Janigová, P., Chromjaková, F. (2024). Tribological properties of 3D printed materials in total knee endoprosthesis. *Manufacturing Technology 2024*, Vol. 24(2), pp. 294 – 306.
<https://doi.org/10.21062/mft.2024.032>

Yousaf, M., Bris, P. (2021). Effects of working capital management on firm performance: Evidence from the EFQM certified firms. *Cogent Economics & Finance*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.1958504>

Zanzami, N., Sciffauerova, A. (2023). The impact of individual collaborative activities on knowledge creation and transmission. *Scient metrics*, Vol. 111, Issue 3, pp. 1385-1413, 2017, ISSN 0138-9130

Zia N.U., Chromjaková, F., Buřita, L. (2021). Social capital and Industry 4.0 readiness in developing countries. Role of potential and realized absorption capacity. In. *Proceedings International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Scopus*, pp. 1328 -1329. e-ISSN 2169-87-87.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Historické zaměření výzkumu průmyslového inženýrství	17
Tab. 2	Metodika projektování komplexního výrobního postupu	44
Tab. 3	Nastavení výzkumné metodiky analýzy kolaborativního pracoviště	48
Tab. 4	Etický procesní tok na pracovišti	48
Tab. 5	Kroky standardizace procesu kolaborativního pracoviště	51
Tab. 6	Analytická část řešení výzkumné otázky Operátor 4.0	78
Tab. 7	Detekce procesních zkušeností pro nastavení smart funkcionalit Operátora 4.0	80
Tab. 8	Simulace procesních časů abnormality procesu	86
Tab. 9	Výstupy v oblastech průmyslového inženýrství	119

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Podstata procesního přístupu agregátního integrovaného plánování výrobní kapacity	23
Obr. 2	Princip průběžné doby výroby – klíčová proměnná agregovaného procesně integrovaného plánování a rozvrhování výroby	26
Obr. 3	Integrální schéma projektování modelu výkonnosti výrobního systému	36
Obr. 4	Metodologický rámec výzkumu	77

REJSTŘÍK

A

Agregované integrované plánování 23

Automatizované technologie 11

Autonomní digitální funkcionalita 55

B

Big data 16, 29, 35, 50, 54, 55, 57, 80, 89, 90

C

Cloudová výrobní platforma 30

Cloud computing 20, 50, 55, 83, 89, 118, 121

D

Datová analýza 17, 44, 45, 89

Digitální dvojče 75, 79, 91

Digitalizace 3, 4, 9, 12, 16, 17, 20, 28, 34, 37, 43, 45, 49, 51, 54, 56, 62, 89, 105, 110, 112, 118, 120, 121, 122

E

E-data 85, 87

F

Fixní e-data 87

Flexibilita 19, 23, 24, 105, 122

G

Globalizace 18

H

Hospodářská krize 95

I

Industry 4.0 4, 9, 10, 12, 16, 18, 20, 22, 34, 88, 110, 114, 118, 120, 121

Inteligentní výroba 45, 47, 118, 120

Internet věcí 18, 54, 83

Implementace konceptu 16, 34, 55

J

Jednoznačná definice pracovního postupu 49

K

Kapacitní plánování 62, 106, 118, 120

Kolaborativní pracoviště 105

Komplexní výrobní systém 55

Komparace výsledků výzkumu 118

L

Layout 18, 36, 44, 48, 49, 68, 69

Lead Time 50, 86

Logistika 23, 24, 62, 71, 118, 119, 120

M

Maticové propojení parametrů 88

Modulární buňkové systémy 19, 63, 118, 120

N

Náklady 24, 25, 29, 31, 34, 36, 39, 41, 42, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 72, 81, 84, 88, 90, 99, 100, 118, 119, 120

Normování práce 70

O

Operátor 4.0 76, 78

Optimalizace 13, 14, 15, 16, 18, 25, 38, 41, 47, 54, 56, 57, 58, 60, 64, 65, 66, 71, 72, 82, 89, 92, 104, 106, 118, 120, 122,

Optimalizační model 55, 61, 63, 68, 81

P

Predikční model 52

Procesní automatizace 75

Průmysl 4.0 9, 16, 18, 22, 46, 47, 55, 56, 61, 74, 111, 112, 113, 114, 122

R

Rozvrhování výroby 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 38, 39, 44, 49, 52, 56, 62, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 76, 82, 87, 106, 108, 109, 110, 118, 120

S

Simulace procesních časů 86

Standardizace 17, 19, 29, 37, 49, 51, 76, 78, 80, 94,

Strojové učení 20, 49, 50, 54, 56, 57, 72, 75, 83, 89, 118, 120, 121

Simulace 8, 17, 19, 20, 22, 30, 32, 34, 41, 42, 46, 54, 56, 58, 59, 61, 62, 66, 71, 72, 73, 82, 86, 89, 107, 118, 120, 121

Synchronizace výroby 26, 73, 118, 121

T

Taktový čas 49

U

Udržitelnost 18, 19, 20, 29, 34, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 71, 82, 83, 84, 106, 118, 119, 120, 121

Uvolňování objednávek 73, 82, 118, 121

V

Výkonnost procesu 34, 70, 76

Z

Zdroje výrobní 40, 55, 70, 85, 95

Zlepšování procesů 19, 20, 76

SEZNAM ZKRATEK

AM	Additive Manufacturing
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
BSP	Bakalářský studijní program
DSS	Decision Supporting System
ERP	Enterprise Resource Planning
FaME	Fakulta managementu a ekonomiky
FPBH	Feasibility Pump Based Heuristic
IPI	Institut průmyslového inženýrství
IoT	Internet of Things
ICT	Information and Communication Technology
ML	Machine Learning
MILP	Mixed-Integer Linear Programming Model
NMSP	Navazující magisterský studijní program
PSM	Processing of Supply Management
PI	Průmyslové inženýrství
PBF	Powder Bed Fusion
PPC	Production Planning and Control
SCM	Supply Chain management
SLM	Selective Laser Melting
UTB	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Ústav PI	Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů
VSM	Value Stream Mapping
TPS	Toyota Production System
TQM	Total Quality Management

**Průmyslové inženýrství v éře digitalizace – výzkum
a vývoj (Výsledky výzkumů Fakulty managementu
a ekonomiky UTB ve Zlíně v oblasti průmyslového
inženýrství)**

**Industrial engineering in the era of digitalization - research and
development (Results of research by the Faculty of Management
and Economics of TBU in Zlín in the field of industrial
engineering)**

Vědecká monografie edice ekonomie UTB ve Zlíně

Autoři: Roman Bobák, Felicita Chromjaková, David Tuček

Vydavatel: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Pořadí vydání: První

Rok vydání: 2025

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Vydáno elektronicky.

ISBN 978-80-7678-356-0

Průmyslové inženýrství je pevnou součástí konceptu Průmysl 4.0, nedělitelnou součástí inteligentních procesních konceptů zlepšování a inovací v průmyslových firmách.

Kontinuální výzkumná činnost Ústavu průmyslového inženýrství a informačních systémů na Fakultě managementu a ekonomiky UTB ve Zlíně přináší přehled klíčových znalostí a výzkumných závěrů, které se stali základem poznání pro vědeckou komunitu a aplikační praxi ve spolupráci s průmyslovými firmami, výzkumně-vývojovými institucemi a zahraniční vědeckou komunitou.

