

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ  
KATEDRA PRŮMYSLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ A MANAGEMENTU



MEZINÁRODNÍ STUDENTSKÁ VĚDECKÁ KONFERENCE  
SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ

7. říjen 2020  
Praha

PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ 2020  
Mezinárodní studentská vědecká konference

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ

Západočeská univerzita v Plzni  
Fakulta strojní  
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

# **PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ 2020**

Mezinárodní studentská vědecká konference

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ

7. říjen 2020  
Praha

## **PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ 2020**

Sborník příspěvků

Editor:

Ing. Marek Bureš, Ph.D.

Vydala:

Západočeská univerzita v Plzni

Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

První vydání, 236 stran

Plzeň 2020

ISBN 978-80-261-0969-3

DOI <https://doi.org/10.24132/PI.2020.09693>

© autoři

Západočeská univerzita v Plzni

Publikace neprošla jazykovou korekturou. Autoři jsou odpovědní za obsah příspěvků.  
Všechny publikované příspěvky byly recenzovány.

## Obsah

*Martin Ambros, Filip Knapp, Jana Kleinová*

**Znalostní management jako nástroj pro podporu znalostí v průmyslovém podniku** 1

*Ivan Antoniuk, Martin Krajčovič, Olha Kolesnyk*

**Human-robot collaboration in assembly processes** 10

*Miroslava Barbušová, Ľuboslav Dulina, Eleonóra Bigošová, Iveta Rolinčinová*

**Innovation Performance in EU and Slovakia** 16

*Josef Basl, Milan Edl*

**Průmysl 4.0 a modifikace studijních programů na Fakultě strojní ZČU Plzeň** 24

*Miroslav Bednář, Michal Šimon*

**Návrh způsobu skladování přípravků** 31

*Kristýna Havlíková*

**Augmented Reality in Context of Industry 4.0** 44

*Ilona Kačerová, Filip Rybníkár, Pavel Vránek, Martin Kába*

**Využití ergonomických a racionalizačních metod za účelem zvýšení efektivity pracoviště** 62

<i>Marek Kliment, Miriam Pekarčíková, Ladislav Rosocha, Štefan Král, Tomáš Švantner</i>	<b>70</b>
<b>Tvorba projektu výrobné haly a overenie layoutu výroby uplatnením simulačných prostriedko</b>	
<i>Olha Kolesnyk, Peter Bubeník, Martin Gašo, Ivan Antoniuk</i>	<b>77</b>
<b>Dynamic and adaptive allocation of workers to integrate human factors into cyber production systems</b>	
<i>David Krákora, Petr Hořejší</i>	<b>84</b>
<b>Porovnaní dvou technických variant pro virtuální trénink</b>	
<i>Jan Kubr, Konstantin Novikov, Petr Hořejší, Jana Kleinová</i>	<b>93</b>
<b>Praktická implementace virtuálních návodek</b>	
<i>Alena Lochmannová</i>	<b>110</b>
<b>Adaptace a vzdělávání pracovníků v prostředí výrobních podniků - nové trendy</b>	
<i>Miroslav Malaga, Zdeněk Ulrych</i>	<b>138</b>
<b>Diskrétní simulace v konceptu Industry 4.0</b>	
<i>Milan Martinkovič, Branislav Mičieta, Vladimíra Biňasová</i>	<b>154</b>
<b>Development of enterprise information systems</b>	
<i>Štefan Mozol, Patrik Grznár, Matúš Oravec</i>	<b>163</b>
<b>Manufacturing paradigms and their change in time</b>	
<i>Miriam Pekarčíková, Peter Trebuňa, Marek Kliment, Michal Dic</i>	<b>169</b>
<b>The potential for digital and human workforce integration</b>	

<i>Filip Rybníkár, Ilona Kačerová, Pavel Vránek</i>	
<b>Návrh na úpravu pracoviště za účelem zvýšení produktivity</b>	<b>175</b>
<i>Radovan Svitek, Martin Krajčovič, Milan Martinkovič</i>	
<b>Balancing of assembly operations and detailed design of workplace in software environment</b>	<b>185</b>
<i>Peter Trebuňa, Marek Mizerák, Jozef Trojan, Ján Kopec</i>	
<b>Visualization model design of concept TestBed in Sketch up software</b>	<b>193</b>
<i>Jozef Trojan, Peter Trebuňa, Marek Mizerák, Richard Duda</i>	
<b>Process Simulate ako nástroj pre optimalizácia vybraného pracoviska v podniku</b>	<b>199</b>
<i>Pavel Vránek, Ilona Kačerová, Filip Rybníkár</i>	
<b>Posouzení návrhu výstavby výrobních hal</b>	<b>205</b>
<i>Michal Zoubek, Michal Šimon</i>	
<b>Návrh modelu připravenosti pro hodnocení interních logistických procesů v kontextu Průmyslu 4.0</b>	<b>213</b>
<i>David Ženíšek, Michal Šimon</i>	
<b>Analýza poruch pomocí Power BI</b>	<b>230</b>

# Znalostní management jako nástroj pro podporu znalostí v průmyslovém podniku

Martin Ambros <sup>1</sup>, Filip Knapp <sup>1</sup>, Jana Kleinová <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika

[ambros@kp.v.zcu.cz](mailto:ambros@kp.v.zcu.cz)

[fknapp@kp.v.zcu.cz](mailto:fknapp@kp.v.zcu.cz)

[kleinova@kp.v.zcu.cz](mailto:kleinova@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Článek pojednává o Znalostním managementu jako nástroji pro podporu znalostí – přináší definici pojmu, vysvětlení konceptu a jeho stručnou historii spolu s uvedením jednotlivých druhů znalostí. Dále se zabývá koncepty znalostního managementu, jeho oblastech a syntézou znalostí. Závěrem popisuje problematiku rozpočtu aktivit znalostního managementu spolu s definicí cílů a problematiku tvorby týmu.

## 1 Úvod

V současné vysoce konkurenční a globalizované době se společnosti více než kdy dříve musí zaměřovat na vlastní zefektivňování procesů, snižování nákladů a potřebou inovovat. To vše současně s potřebou vypořádat se s nepřehledným množstvím informací a potřebou tyto informace vhodně vytvářet, uchovávat, sdílet a poskytovat správným lidem ve správný čas. To vše vytváří tlak na tzv. znalostně řízenou organizaci. V neposlední řadě, z pohledu managementu podniku, jde o znalostní podporu pracovníků organizace, díky které jsou schopni inovovat, zlepšovat procesy či vytvářet produkty a služby efektivněji s nižšími náklady. Konceptem, který se zabývá řízením organizace na bázi znalostí, je znalostní management.

## 2 Znalostní management

Termín Znalostní management vznikl překladem anglického výrazu „knowledge management“, který přišel z anglosaských zemí. V českém prostředí je možné se setkat i s výrazem management znalostí, který se ovšem od termínu znalostní management, ač zní podobně, liší. Management znalostí je základem znalostního managementu, jeho podmnožinou. [2]

Zrod znalostního managementu, který se objevil zhruba na počátku 90.let, se vyvinul z potřeby vypořádat se s komplexitou současného informačního věku a s potřebou čelit stále rostoucí konkurenci vyvolané novými technologiemi a stále se zvyšujícími nároky zákazníků. Nejprve byla uznána důležitost informací a znalostí, následovaná hledáním způsobů, jak vytvářet, ukládat, integrovat, přizpůsobovat, sdílet a zpřístupňovat správné znalosti správným



lidem ve správný čas. To vše, spolu se všeobecně uznávanou potřebou zvyšovat úroveň znalostí pracovníků, vytváří tlak na znalostně řízenou organizaci. [1]

Z pohledu managementu organizace jde zejména o podporu znalostí zaměstnanců, díky čemuž jsou schopni vytvářet nové nápady a následně je používat, což znamená značnou konkurenční výhodu. Tito zaměstnanci jsou označováni jako znalostní pracovníci. [3]

## 2.1 Znalost jako základní součást znalostního managementu

Znalost, jako základní součást znalostního managementu, bývá uváděna v literatuře jako instinkty, ideje, pravidla a procedury, které vedou akce a rozhodnutí. S pojmem znalost úzce souvisí data, informace a moudro. Jejich celkový vztah charakterizuje následující obrázek. [2]



Obrázek 1 - základní pojmy a jejich vztah

Existují tři základní druhy znalostí, které jsou v literatuře definovány takto:

- Explicitní znalost – formalizovaná, nebo dokumentovaná znalost, která je snadno přenositelná. Převážně je zpracovávána pomocí informačních prostředků. Jedná se o dokumenty, manuály apod.
- Implicitní znalost – znalost, která je uchovávána v mysli daného jedince a je možné ji převést do explicitní formy. Jedná se např. o znalost procesu či návod na provedení určité akce.
- Tacitní znalost – znalost, která je stejně jako znalost implicitní uchovávána v mysli daného jedince. Ve většině případů je obtížné či přímo nemožné ji převést do explicitní formy a zdokumentovat ji. Jedná se o získané zkušenosti či například znalost experta v určité oblasti. [1] [2]

Znalost je možno vidět na několika úrovních. Nejčastěji se lze setkat s následujícími:

- Nadnárodní úroveň – nejširší a nejobecnější úroveň, která vytváří základní rámec pro úrovně nižší. V této úrovni je možné se setkat s široce rozšířenými pojmy, jako jsou „Znalostní ekonomika“ nebo „Znalostní společnost“. Jedná se o úroveň nad rámec dané země
- Národní úroveň – úroveň v rámci daného státu
- Organizační úroveň – tato úroveň již označuje organizace, které se snaží o znalostně orientované řízení organizace. Realizují tudíž „znalostní management“
- Úroveň managementu znalostí – nejnižší úroveň, obsahující metody, techniky, principy či postupy využívané při práci se znalostmi či jednotlivé metody, jak informace získat (data mining, shánění informací, strojové učení apod.). Výstupy z této úrovně nacházejí uplatnění na organizační úrovni. [2]

Na základě uvedených úrovní je třeba konstatovat, že čím se dostáváme na vyšší úroveň, tím je vyšší úroveň obecnosti. Na úrovni managementu znalostí se pracuje s konkrétními znalostmi, zatímco na vyšších úrovních jde spíše o vytváření prostředí či rámce pro jejich sdílení, rozvoj, využívání apod. [2]

## 2.2 Historický vývoj znalostního managementu

Znalosti a práce s nimi je lidstvu známa od nepaměti. Znalosti se předávaly ústně z člověka na člověka, z generace na generaci. Vždy se k původním znalostem či dovednostem přidaly nové. Tyto znalosti se ukládaly do rozličných forem, např. do příběhů či pohádek. Účelem bylo převážně vlastní přežití. Jednalo se o tzv. učení se ze zkušeností. [1] [2]

Postupem času, s vývojem lidské společnosti, se začala rozvíjet potřeba práce se znalostmi nejen pro vlastní přežití. Vznik Znalostního managementu, tak jak ho známe dnes, se datuje zhruba od 90. let minulého století. Poprvé termín „Knowledge Management“ použil K. Wiig v roce 1986, ve své práci o využití umělé inteligenci při řízení znalostí. V počátcích 90. let se společnosti shodly, že znalosti jsou v jejich společnostech tím nejdůležitějším aktivem. Nicméně neměli ponětí, jak je řídit. Postupně začaly vznikat na téma znalostního managementu odborné publikace a společnosti se snažily nalézt technologickou bázi pro jejich řízení, sdílení a uchovávání. Od druhé poloviny devadesátých let se pojem masivně dostává do povědomí široké veřejnosti. V roce 1996 vznikla první asociace znalostního managementu – The European Knowledge Management Association. Množství publikací se rok od roku rozrůstá včetně rozličných metodik zavádění znalostního managementu, specializujících se na různé možnosti aplikace. [1] [2]

## 2.3 Definice Znalostního managementu a jeho oblasti

Definice či vymezení pojmu znalostního managementu je velmi široké. Existuje mnoho definic či charakteristik, které ho popisují. Volně lze uvést znalostní management jako chytání kolektivní podnikové odbornosti. [3] Asi nejkompaktněji charakterizuje pojem následující definice: „*Znalostní management je způsob manažerského přístupu k vedení organizace, tvorby*

*prostředí v organizaci a dosahování podnikových cílů, spočívající ve sladění organizačních procesů s procesy znalostními, a to prostřednictvím znalostních zdrojů a pomocí vhodných metod, technik a nástrojů.“ [2]*

Dle různých průzkumů vyšlo najevo, že se znalostní management týká šesti hlavních oblastí. V závislosti na oboru podnikání a trhů se mohou lišit. Obecně je lze uvést následovně:

- Spojování lidí
- Učení se ze zkušeností
- Zlepšení přístup k datům
- Uchovávání znalostí
- Vytváření nejlepších praktik
- Inovace

Znalostní management se považuje za další manažerskou disciplínu, připodobnit se dá například k managementu řízení rizik či bezpečnostnímu managementu. Organizace, které s těmito oblastmi již mají zkušenost, mají potenciál tento koncept snadněji přijmout a implementovat. [4]

## **2.4 Syntéza znalostí**

Velmi důležitým prvkem znalostního managementu je syntéza znalostí. Jedná se o přehled různých dat a informací z nejrůznějších zdrojů, které jsou následně zdokumentovány do jednoho setu, který mohou využít ostatní pracovníci k řešení problému či jiných aktivit. Syntetizované znalosti se tak dají charakterizovat jako set strukturovaných materiálů z nejrůznějších zdrojů, za účelem jejich následného využití. Takto strukturované znalosti se skládají např. z následujících prvků:

- Procesní návodky
- Techniky a metody
- Kontrolní seznamy
- Designové návodky a principy
- Nejčastější otázky
- Šablony
- Příklady
- Tipy a rady
- Získané zkušenosti

Tyto informace jsou většinou uloženy na jednom místě v organizaci, díky čemuž poskytují snadný přístup všem pracovníkům napříč organizací. Vždy je zapotřebí, aby existoval vlastník dané položky, který dbá na její správnost a aktuálnost. Technologie, v které jsou informace uloženy a zpřístupněny, mohou být různorodé. Může se jednat o tzv. Wikis sítě či různé webové portály, jako například Sharepoint. Velmi důležité je vytvořit takový systém, který bude snadno přístupný a bude v něm možné informace rychle vyhledat. To umožní uchované informace vyvolat a znovu použít, což může přispět k řešení nejrůznějších problémů v organizaci. [4]

### 3 Koncepty znalostního managementu

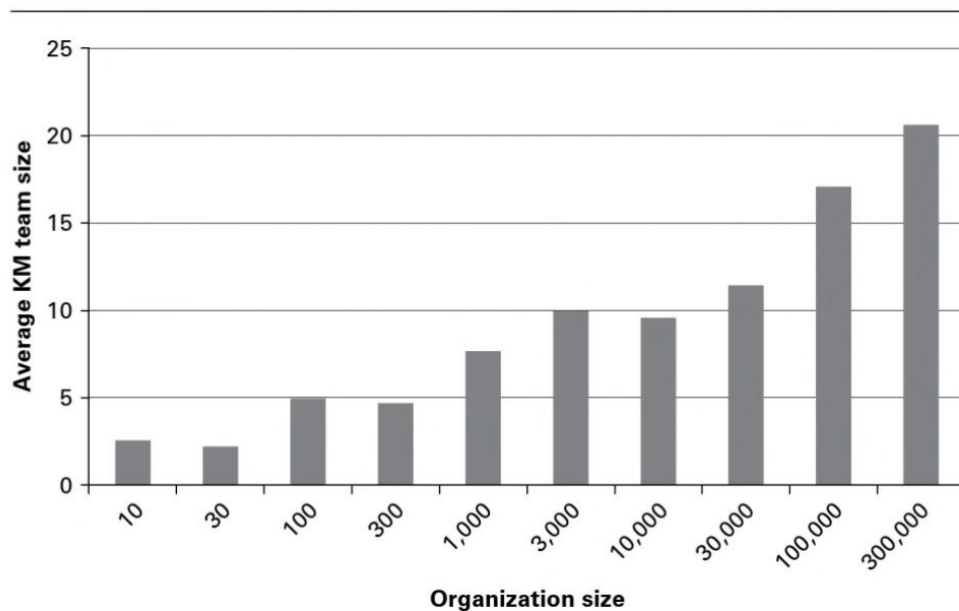
Znalostní management je poměrně složitý koncept, neboť je souhrnem poznatků z mnoha oblastí a vědních disciplín. Pro plné pochopení nabízí např. publikace Znalostní management a proces jeho zavádění, několik perspektiv, jak tento koncept vnímat a pracovat s ním. Tyto perspektivy, popsané níže, lze rozšířit i na jiné, např. ekonomické. [2]

- Konceptuální perspektiva – jedná se o teoretickou rovinu pro zkoumání znalostního managementu. Týká se samotné definice znalosti a znalostního managementu či jeho celkového rámce [2]
- Procesní perspektiva – určena pro definování a pochopení jednotlivých znalostních procesů, které zajišťují realizaci znalostních aktivit. Pro znalostní procesy existují různé modely, příkladem může být jeden z nejzákladnějších dle Di Belly:
  1. Získání znalostí
  2. Rozšíření znalostí
  3. Použití znalostí [2]
- Technologická perspektiva – v této perspektivě jsou zkoumány především způsoby, jak mohou informační, komunikační a znalostní technologie pomoci při realizaci znalostního managementu. Jedná se o různé informační technologie, brainstorming, datové sklady, data mining apod. Infrastruktura v obecném slova smyslu vytváří rámec pro jednotlivé procesy, které mají být realizovány [2]
- Organizační perspektiva – orientuje se na problematiku organizačních struktur a různých organizačních celků a jejich vazbách ke znalostnímu managementu [2]
- Implementační perspektiva – zaměřena na postupy a metody, jak zavést znalostní management do konkrétní organizace. Prostředkem jsou metodiky zavádění [2]
- Manažerská perspektiva – zabývá se manažerskými aspekty zavádění a realizací znalostního managementu ve společnostech. Součástí jsou taktéž diskuze o přínosech a benefitech konceptu [2]

### 4 Tým znalostního managementu

Pro implementaci a spuštění aktivit znalostního managementu jsou mimo jiné vyžadovány i lidské zdroje. Nejprve je třeba definovat velikost týmu, který se bude znalostním managementem zabývat. Jedná se o náročný úkol, neboť stanovení optimálního počtu pracovníků závisí na velikosti organizace a současné úrovni znalostního managementu. Potřeba vyššího počtu pracovníků pro organizaci, která s tímto konceptem teprve začíná, je zřejmá. Průzkum společnosti Knoco Limited přináší pohled na velikost týmu v závislosti na velikosti organizace. Graf je zobrazen na obrázku číslo 2. [4]

**FIGURE 6.1** A graph of KM team size for a variety of organizational size ranges



*Obrázek 2 - Velikost týmu v závislosti na velikosti organizace [4]*

Z grafu je zřejmá nelineární závislost počtu pracovníků na velikosti organizace, neboť ji ovlivňuje mnoho faktorů.

Dalším důležitým aspektem týmu jsou znalosti a dovednosti, kterými by členové měli disponovat. Obecně se specifikuje sedm hlavních oblastí: [4]

- Praxe v daném odvětví – pracovníci musí mít povědomí o oboru podnikání organizace. Příkladem může být právnická firma, v níž je zásadní, aby daný člen týmu měl právnické vzdělání a rozuměl tak veškerým aspektům podnikání v tomto oboru.
- Facilitační dovednosti – práce ve znalostním managementu obsahuje mnoho diskuzí s lidmi, organizování meetingů apod. Je důležité disponovat lidmi v týmu, kteří tyto dovednosti mají.
- Dovednosti znalostní organizace – pod tento bod spadají dovednosti týkající se explicitních znalostí. Pracovníci musí znát informační management, umět pracovat se systémem správy obsahu (CMS) a ostatními systémy pro podporu znalostí.
- Dovednosti řízení změn – znalostní management obsahuje nepřehledné množství změn, které je zapotřebí vykonat. K tomu jsou zapotřebí tzv. měkké dovednosti, neboť činnost pracovníků zahrnuje mimo jiné trénink či mentorink ostatních členů organizace.
- Písemný projev – pracovníci musí disponovat výbornými schopnostmi psaného textu a porozumění různému druhu informací. Musí být schopni zachytit znalosti, vhodně je zpracovat a uložit na vhodné místo. Následně je umět vyhledat a předat vhodnou formou dále.
- IT dovednosti – velmi zásadní dovednost, neboť téměř veškerá aktivita znalostního týmu je vykonávána prostřednictvím IT technologií. Alespoň jeden člen týmu by měl mít velmi hluboké IT schopnosti a

znalosti, zejména proto, aby mohl odborně posoudit současné technologie a případně navrhnout jejich změnu.

- Znalosti projektového managementu – implementace znalostního managementu se provádí jako projekt. Je důležité disponovat zkušenými lidmi, kteří již získali zkušenost s vedením projektu. Při implementaci je třeba definovat plán, hlavní výstupy, monitorovat pokrok či případně přizpůsobit plán změnám apod. [4]

K hlavním dovednostem je dále zapotřebí, aby měl tým správné hodnoty a chuť posouvat věci k lepšímu. Měl by být vzrušen samotnou myšlenkou něco změnit a inovovat. Zmíněné dovednosti ve většině případů nemůže pokrýt každý jednotlivý pracovník. Je zapotřebí, aby byl tým vhodně namixován tak, aby těmito dovednostmi disponoval jako celek. Volba správného týmu je velmi důležitá, neboť rozhoduje o stupni úspěšnosti znalostního managementu v organizaci. [4]

## 5 Rozpočet a definování cílů znalostního managementu

Pro implementaci znalostního managementu je nezbytný interní rozpočet, který zajistí finanční pokrytí veškerých aktivit. Rozpočet je třeba jak na samotnou implementaci, tak na následné aktivity, které jsou každodenní záležitostí. Jedná se o kontinuální potřebu financování. Rozpočet by měl být schválen ze strany vrcholového managementu a podpořen tzv. sponzorem. Jak velký rozpočet má být, záleží na velikosti organizace a ochotě managementu alokovat finanční zdroje. Ke stanovení správné výše rozpočtu lze využít benchmarking. Příklad výše rozpočtu v závislosti na velikosti organizace charakterizuje následující obrázek: [4]

**TABLE 8.1** The mean annual KM budget against staff size

Organization size (number of staff)	Annual KM budget
Tens of staff	\$110,000
Hundreds of staff	\$125,000
Thousands of staff	\$950,000
Tens of thousands of staff	\$1.6 million

SOURCE: Knoco Ltd

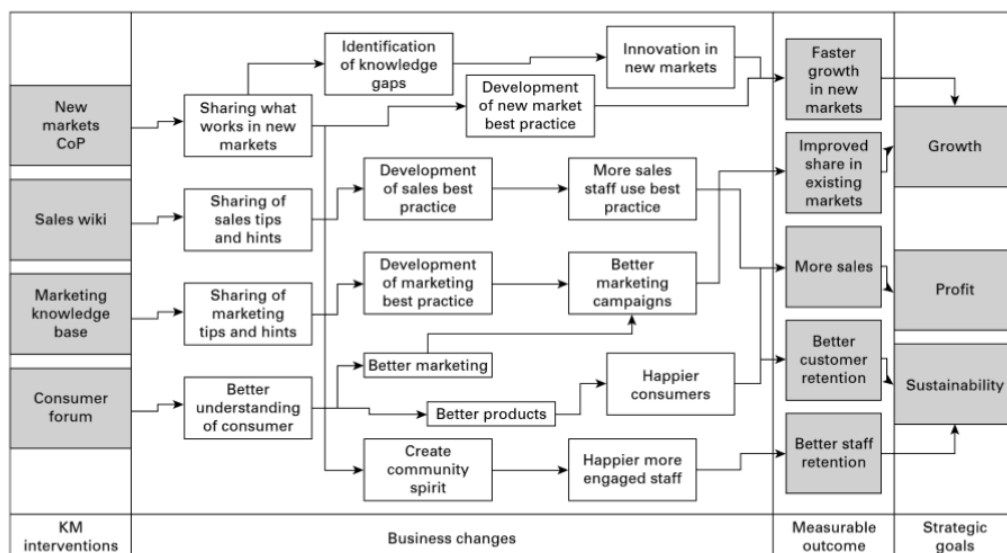
*Obrázek 3 - Velikost rozpočtu v závislosti na velikosti organizace [4]*

V momentě přiřazení rozpočtu je třeba definovat, co znalostní management přinese organizaci ve finančním vyjádření. V organizacích je zapotřebí pro obhájení aktivit přinést důkazy o přínosnosti, zejména pomocí různých finančních ukazatelů. [4]

Výstupem znalostního managementu je například lepší přístup ke znalostem, jejich uchovávání či snazší distribuce informací. Tyto výstupy vedou k hlavním

cílům organizace (vyšším ziskům, lepším službám, spokojenějším zákazníků apod.). Definování cílů znalostního managementu musí adresovat hlavní cíle organizace tak, aby každý rozuměl, že dané aktivity podporují zmíněné hlavní cíle společnosti. K definování hlavních cílů se využívá např. technika Benefits mapping. Jedná se o grafický způsob, jak zachytit aktivity znalostního managementu s hlavními cíli společnosti. Příklad mapy, spolu s popisem, je uveden na následujícím obrázku. [4]

**FIGURE 9.3** A completed benefits map



*Obrázek 4 - Definování cílů: Benefits mapping [4]*

V levém sloupci jsou definovány aktivity znalostního managementu. Pravý sloupec obsahuje hlavní strategické cíle organizace. Třetí sloupec obsahuje měřitelné výstupy vztažené ke strategickým cílům v posledním sloupci – například zvýšený prodej. Druhý sloupec je dedikován pro vytvoření vlastní mapy. Takto vytvořená mapa poskytuje přehledné zobrazení vztahů mezi aktivitami znalostního managementu a hlavními strategickými cíli společnosti. Jedná se o dlouhodobou mapu zobrazující, co znalostní management přinese společnosti do budoucna. Dále lze k definování cílů využít například široce známou metodiku SMART. [4]

## 6 Závěr

Znalostní management je koncept, který se v poslední době dostává čím dál více do povědomí jak odborné, tak širší veřejnosti. Důvodem je, jak již bylo uvedeno, snaha vyrovnat se se současnou komplexitou informačního světa a naučit se správně vytvářet, uchovávat a sdílet informace v rámci dané organizace. V současnosti existuje mnoho společností, které tento koncept již oficiálně zavedly do své firemní reality. K zavádění se využívá množství metodik, které se dělí dle oboru podnikání společnosti, míry investic, požadovaných výsledků apod. Znalostní management je vhodný nástroj, jak

podpořit efektivnost vlastní organizace, snížit náklady a zvýšit inovační potenciál organizace.

### **Poděkování**

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

### **Použitá literatura**

- [1] HOLSAPPLE, C. *Handbook on Knowledge Management 1: Knowledge matters*. 2. vydání, Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2004. ISBN 3540200053.
- [2] BUREŠ, V. *Znalostní management a proces jeho zavádění: Průvodce pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1978-8.
- [3] TRUNEČEK, J. *Znalostní podnik ve znalostní společnosti*. 2. vydání, Praha: Professional publishing, 2003. ISBN 8086419673.
- [4] MILTON, N., LAMBE, P. *The Knowledge Manager's Handbook: A Step-by-Step Guide to Embedding Effective Knowledge Management in your Organization*. Philadelphia: Kogan Page, 2016. ISBN 978-0749475536.



# Human-robot collaboration in assembly processes

Ivan Antoniuk <sup>1</sup>, Martin Krajčovič <sup>1</sup>, Olha Kolesnyk <sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Industrial Engineering  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia  
[ivan.antoniuk@fstroj.uniza.sk](mailto:ivan.antoniuk@fstroj.uniza.sk)  
[martin.krajcovic@fstroj.uniza.sk](mailto:martin.krajcovic@fstroj.uniza.sk)  
[olha.kolesnyk@fstroj.uniza.sk](mailto:olha.kolesnyk@fstroj.uniza.sk)

**Annotation:** In the conditions of strong market competition and ever-increasing customer requirements, there is a need to produce more types of products in smaller batches. Robotic systems often cannot meet the demands of such flexibility, and therefore some operations can only be performed by humans. One solution to achieve the required flexibility is to combine an appropriate level of automation with human skills. The general importance and reason for cooperation with robots is related to the need and possibility of combining repeated and controlled performance of robots with the skills and reactive abilities of operators. In general, humans have an excellent ability to perform tasks in an unstructured and inaccurate environment, while robots perform tasks with precision, power, and control.

## 1 Introduction

Robots are used in repetitive and deterministic operations within production lines or at robotic stations and perform various operations - from object handling, machine operation, assembly to welding and painting processes. Typically, these systems are fully automated isolated cells and operate separately from the operators to ensure complete security. Although robots are characterized by their flexibility, they are generally not as flexible as expected. The application of automation requires adequate and consistent processes with large production volumes. In the case of product variability, the processes should be similar so that task programs and algorithms can be adapted in the case of product variability. [1]

The requirements of the current market are associated with high demands on the variability and diversity of products. As a result, the product range is expanding, and the batch sizes are lower. Traditional automated systems can no longer handle such diversity due to a lack of flexibility, and this is one of the reasons why some products are usually assembled by highly qualified workers.

As a solution to achieve the required flexibility of the assembly system is a combination of an automated system and human work. Thanks to the unique cognitive and sensorimotor capabilities of man, the operator is able to perform assembly steps that today's assembly systems cannot automate. The

experience and creative thinking of the operator allows to find a solution even for unstructured or incomplete defined tasks. In contrast, the robot can facilitate the work of the operator by, for example, carrying heavy weights or taking on monotonous activities. The effective division of activity between a human and a robot increases the productivity of the entire workplace and at the same time relieves the person of muscular and mental strain, reduces the level of stress and increases safety in the workplace. Collaborative assembly cells have high flexibility and can quickly switch between different products and produce even in smaller batches. [1]

## 2 Influencing factors of human-robot collaboration

The interaction between a human and a robot is influenced by several factors. According to Rahimi and Karwowski [3], human-robot interaction systems can be divided into various influencing factors. The authors define this type of interaction system as an n-tuple:

$$\text{HRIS} = (\text{T}, \text{U}, \text{R}, \text{E}, \text{I}) \quad (1)$$

where:

**HRIS** - human - robot interaction system,

**T** – represents the task requirements,

**U a R** – characteristics of User and Robot,

**E** – environment of interaction,

**I** – set of interactions.

The requirement for user tasks and characteristics can be divided into cognitive and physical characteristics, while the characteristics of the robot consist of software and hardware aspects. It follows that the interaction between a human and a robot can be influenced by many different factors (Fig. 1), although it depends on the type of interaction. [2]

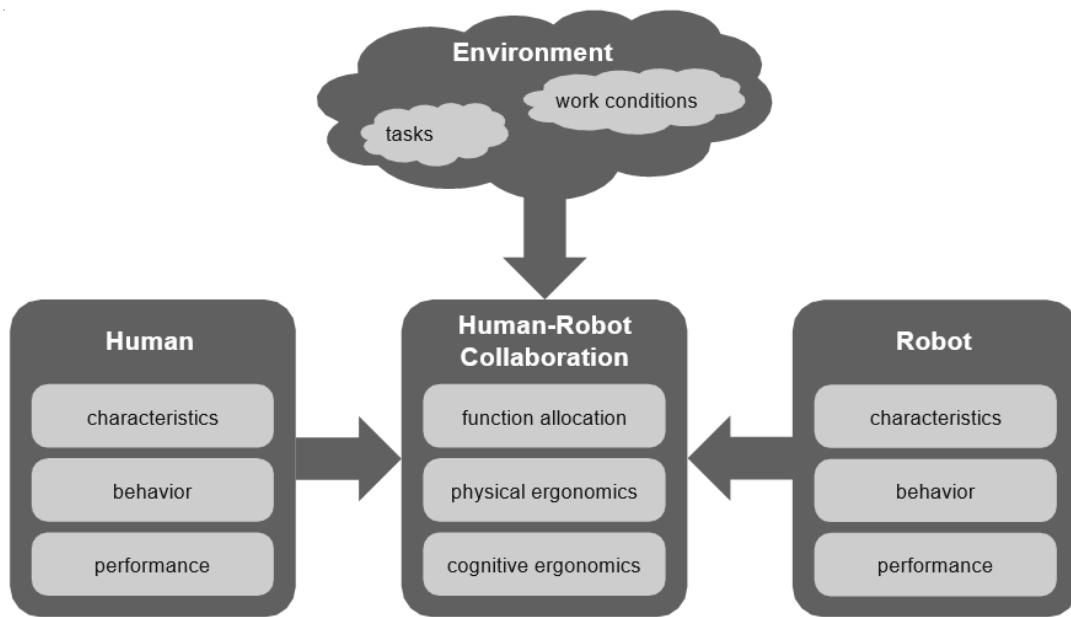


Figure 1 - Influencing factors of human - robot collaboration [2].

Depending on the influencing factors of human, robot and environment, different optimization criteria can be derived for the design and evaluation of this type of cooperation (Table 1). Therefore, the planning of the joint workplace as well as the division of tasks should be focused mainly on the mentioned optimization criteria. The optimization criteria include the division of functions, it means if the given assembly step is performed by a human or a robot. [2]

Table 1 - Optimization criteria for human-robot collaboration

Category	Human	Robot
Tasks division	Availability	Availability
	Feasibility	Feasibility
	Realization time	Mountability
		Realization time
Physical ergonomics	Ergonomic risk	-
	Substitution human-robot	
Cognitive ergonomics	-	Transparency of assembly sequence.
		Transparency of robot behavior.
Environmental ergonomics	Work conditions (e.g. noise, lightning, temperature)	-
Technical	-	Tool change

Operator availability is limited by various factors such as job rotation. The availability of the robot can be affected by e.g. the principle of shared resources, alternating service of workplaces or simply a technical outage. The basic feasibility of assembly steps by either a human or a robot is also a fundamental criterion. In relation to humans, feasibility is primarily based on experience and skills, the limitation may be e.g. heavy component weight or insufficient training. The feasibility of the robot is limited mainly by its technical specification, such as the type of gripper, etc. The last influencing factor for the division of tasks is the time of the assembly step. From an economic point of view, it seems advantageous to assign the assembly to a source that runs faster, which can optimize the overall product assembly time, but sometimes economic criteria may conflict with others, e.g. ergonomic. If the operator's workflow changes too often, there could be an increase in mental strain or a situation that could endanger human health. [2]

### **3 Ergonomic conditions**

The design of the workplace and the operation should take into account ergonomic working conditions, including physical, cognitive and environmental ergonomics. Physical ergonomics includes the assessment of ergonomic risk as well as the number of changes in workflows between man and robot. It is necessary to completely avoid assembly steps, which are associated with poor ergonomic conditions, resp. their number should be reduced to a minimum. Similarly, in the case of robot performance, the number of changes in work activity should also be minimal, as frequent changes in robot activity increase the risk of danger to the operator or there may be a misunderstanding between a human and a robot. [3]

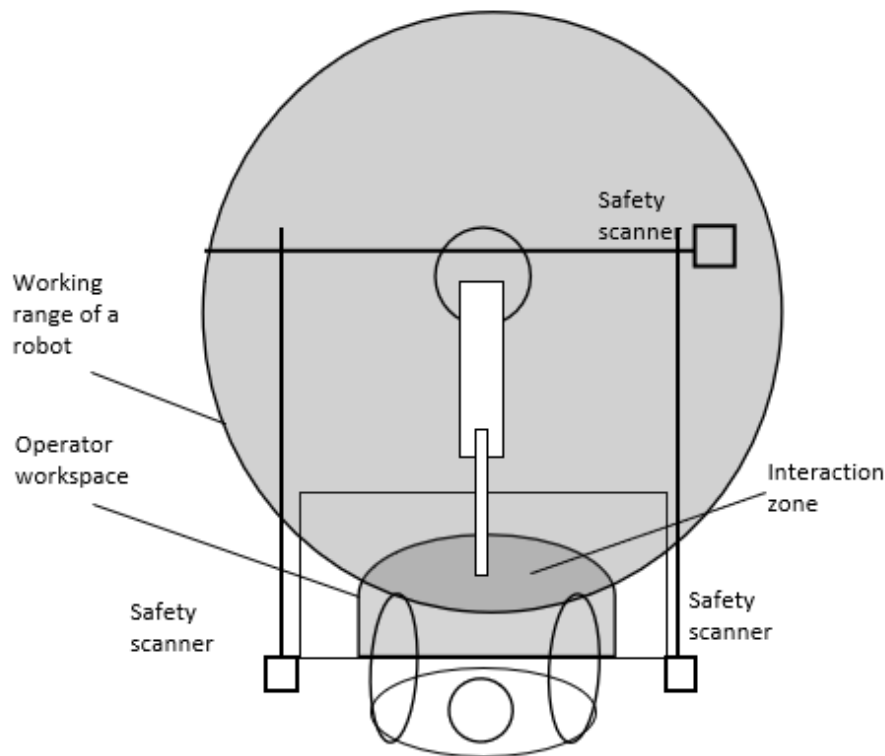
Other influencing factors of human-robot cooperation can be established in environmental conditions. For example, noise exposure or temperature stress significantly affect human performance. In addition, insufficient lighting in the workplace prevents stress-free work. Cognitive ergonomics consists of transparency of assembly steps and robot behavior, it is influenced by mental workload and predictability. The assembly procedure is chosen regarding three conditions [4]:

- Components that are mounted in close proximity to already stored components are preferred.
- The product is mounted parallel to the mounting surface.
- The product is assembled in assembly groups.

The more conditions considered during planning, the less the mental strain on the human operator interacting with the robot. The behavior of the robot itself can change in terms of speed and trajectory of its movements. Anthropomorphic velocity and trajectory profiles significantly increase the predictability of robotic actions, which is essential for interaction.[4]

## 4 Example of the collaborative workplace

Collaboration means cooperation in a shared workspace. This requires special security measures that apply not only to hardware and software, but also to other issues such as risk assessment, workstation design and tasks to be performed, documentation, training, etc. The overall arrangement of the robotic station in cooperation with the operator is shown in the figure 2. The robotic station has standard protection measures that ensure safe operation in full automation mode. In the collaboration mode, there is a specific common space where both the robot and the operator intervene, in this case the space is monitored by security scanners, which ensure that no person enters the work space that does not belong to the cooperation. During collaboration, there may be different ways of interacting - which involve direct contact or just working at close range. [1]



*Figure 2 - Schematic illustration of a collaborative workplace.*

For a collaborative workspace, the priority is to eliminate or reduce the hazards or risks that can be foreseen during the performance of shared tasks. These facts should be considered during this design process [1]:

- Set limits of space for cooperation,
- Defined approach and conditions of cooperation,
- Identification of ergonomic problems related to the human-machine interface,

- Identification of restrictions of cooperation.

Using software such as Tecnomatix Jack from Siemens or CERAA from CEIT, it is possible to correctly design a workspace and a detailed layout of the workplace regarding to ergonomic regulations and applicable legislation.

## 5 Conclusion

There are several reasons for the implementation of combined collaborative workplaces, whether it is an effort to relieve a person from excessive physical and mental stress or the inability to fully automate certain processes. Unlike in the past, when robotic workplaces had to be fenced, nowadays this kind of cooperation is feasible. The main benefits of human-robot collaboration are relieving humans of hard work, increasing production efficiency and the ability to produce a wide range of products in small batches. The kind of robot-human collaboration is interesting in many cases and opens up a new opportunity in tasks and applications that cannot otherwise be automated with robots.

## Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-19-0305.

## References

- [1] BOLMSJO, G., BENNULF, M., XIAOXIAO, Z. Safety System for Industrial Robots to Support Collaboration. In: *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future*. Florida, USA, 2016, 253 – 265. ISBN 978-3-319-19502-5.
- [2] FABER, M., KUZ, S., MERTENS, A., SCHLICK, Ch. M. Model-Based Evaluation of Cooperative Assembly Processes in Human-Robot. In: *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future*. Florida, USA, 2016, 101 – 111. ISBN 978-3-319-19502-5.
- [3] RAHIMI, M., KARWOWSKI, W. A research paradigm in human-robot interaction. *Int. J. Ind. Ergon*, 1990, 5, 59–71.
- [4] MAYER, M. P., ODENTHAL, B., FABER, M., WINKELHOLZ, C., SCHLICK, Ch. M. Cognitive engineering of automated assembly processes. *Human Factors Ergon. Manuf. Service Ind.*, 2012, 24(3), 348–368.
- [5] FUSKO, M., BUČKOVÁ, M. Smart technologies in future factories. *Technológ*, 2019, 11(2), 79-84. ISSN 1337-8996.
- [6] BARBUŠOVÁ M., BIGOŠOVÁ E., ČECHOVÁ I. Systém merania productivity v podniku. In: *Projekt interdyscyplinarny projektem XXI wieku*. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej: Bielsko-Biała, 2018. ISBN 978-83-65182-92-0.

# Innovation Performance in EU and Slovakia

Miroslava Barbušová <sup>1</sup>, Ľuboslav Dulina <sup>1</sup>, Eleonóra Bigošová <sup>1</sup>,  
Iveta Rolinčinová <sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Industrial Engineering

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia

[miroslava.barbusova@fstroj.uniza.sk](mailto:miroslava.barbusova@fstroj.uniza.sk)

[luboslav.dulina@fstroj.uniza.sk](mailto:luboslav.dulina@fstroj.uniza.sk)

[eleonora.bigosova@fstroj.uniza.sk](mailto:eleonora.bigosova@fstroj.uniza.sk)

[iveta.rolincinova@fstroj.uniza.sk](mailto:iveta.rolincinova@fstroj.uniza.sk)

**Annotation:** The article focuses on the innovative results of the European Union and Slovakia and their subsequent comparison. In developed economies, innovation is the main driver of achieving the competitiveness of society as well as countries. Achieving the economic development of society and countries requires radical innovations that change habits and have an impact on job creation and regional development. This article helps improve tracking of innovation performance issues.

## 1 Introduction

Performance is an economic category that is linked to a systemic view of its measurement and evaluation. The system whose performance is to be measured and evaluated corresponds to its internal structure. In practice, we encounter both the performance of the economy of the national economy as well as the financial performance of the company, the performance of employees, the quality management system, organization or business processes, and various other economic categories. [1]

Enterprises with innovative activity are those that:

- launched new or significantly improved products;
- introduce new or significantly improved processes within the company;
- introduce organizational or marketing innovations;
- have incomplete or suspended innovation activities.

### 1.1 Performance and structure of the economy

GDP per capita in purchasing power standards is a measure for interpreting real income differences between countries. Higher income can increase the demand for new innovative goods and services. Economic growth is captured by the average annual growth rate of GDP for 2017-2019. In economies that grow faster, increasing demand may provide more favourable conditions for enterprises to sell their goods and services. [2]

Differences in economic structures are important. In particular, differences in the share of manufacturing industry in GDP, and in the so-called high-tech activities in manufacturing and services, are important factors that explain why countries can perform better or worse on indicators like business R&D expenditures, PCT patents, and innovative enterprises. Medium-high and high-tech industries have higher technological intensities than other industries. [2]

These industries, on average, will have higher R&D expenditures, more patent applications, and higher shares of innovating enterprises. Countries with above average shares of these industries are expected to perform better on several EIS indicators. For example, for the EU27 on average, 85% of R&D expenditures in manufacturing are accounted for by medium-high and high-technology manufacturing industries. Also, the share of enterprises that introduced a product and/or process innovation is higher in medium-high and high-technology manufacturing industries compared to all core industries covered in the Community Innovation Survey. [2]

## **2 Performance of EU Member States innovation systems**

Based on their average performance scores as calculated by a composite indicator, the Summary Innovation Index, Member States fall into four different performance groups. Denmark, Finland, Luxembourg, Netherlands, and Sweden are Innovation Leaders with innovation performance well above the EU average. Austria, Belgium, Estonia, France, Germany, Ireland, and Portugal are Strong Innovators with performance above or close to the EU average. The performance of Croatia, Cyprus, Czechia, Greece, Hungary, Italy, Latvia, Lithuania, Malta, Poland, Slovakia, Slovenia, and Spain is below the EU average. These countries are Moderate Innovators. Bulgaria and Romania are Modest Innovators with performance well below the EU average. [3]

The EIS measurement framework distinguishes between four main types of activities, capturing ten innovation dimensions and in total 27 different indicators. Framework conditions capture the main drivers of innovation performance external to the firm and cover three innovation dimensions: Human resources, Attractive research systems, as well as Innovation-friendly environment. Investments capture public and private investment in research and innovation and cover two dimensions: Finance and support and Firm investments. Innovation activities capture the innovation efforts at the level of the firm, grouped in three innovation dimensions: Innovators, Linkages, and Intellectual assets. Impacts cover the effects of firm's innovation activities in two innovation dimensions: Employment impacts and Sales impacts. [2]

The performance of EU national innovation systems is measured by the Summary Innovation Index, which is a composite indicator obtained by taking an unweighted average of the 27 indicators.



Figure 1 shows the scores for the Summary Innovation Index for all EU Member States in 2019, i.e. the most recent year, 2018, and the reference year 2012. Based on this year's results, the Member States fall into four performance groups:

- The first group of Innovation Leaders includes 5 Member States where performance is above 125% of the EU average. The Innovation Leaders are Denmark, Finland, Luxembourg, the Netherlands, and Sweden.
- The second group of Strong Innovators includes 7 Member States with a performance between 95% and 125% of the EU average. Austria, Belgium, Estonia, France, Germany, Ireland, and Portugal are Strong Innovators.
- The third group of Moderate Innovators includes 13 Member States where performance is between 50% and 95% of the EU average. Croatia, Cyprus, Czechia, Greece, Hungary, Italy, Latvia, Lithuania, Malta, Poland, Slovakia, Slovenia, and Spain belong to this group.
- The fourth group of Modest Innovators includes two Member States that show a performance level below 50% of the EU average. This group includes Bulgaria and Romania. [2]

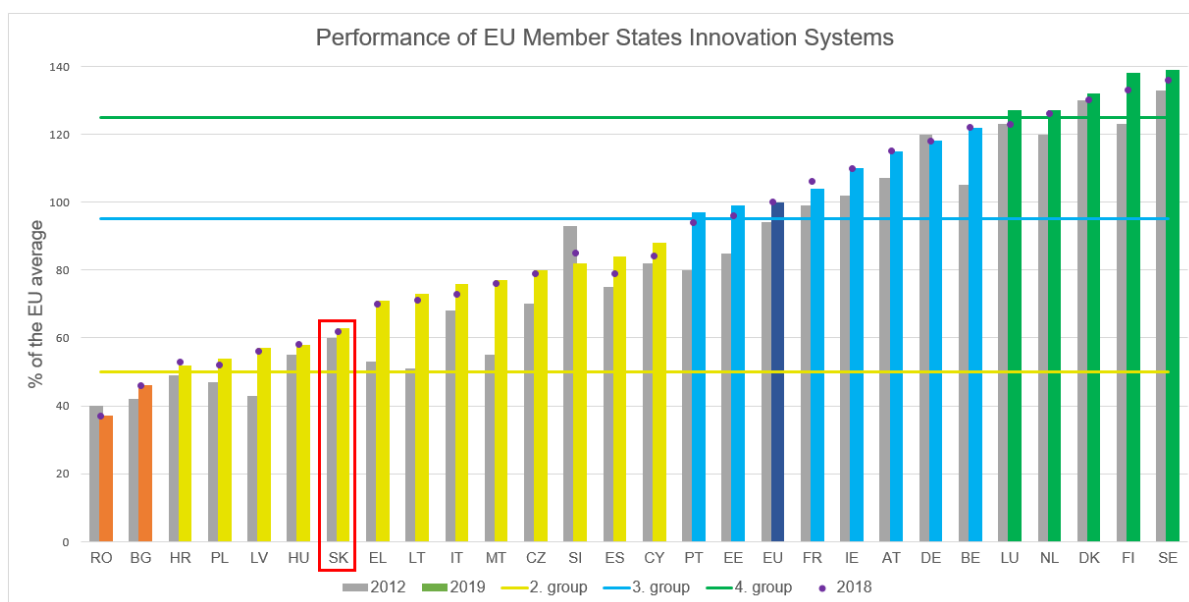


Figure 1 – Performance of EU Member States Innovation System [2]

## 2.1 Comparison of Changes in the Performance of EU Member States

This section discusses performance changes over time for each of the innovation performance groups and the Member States included in each of the groups. For the EU, performance between 2012 and 2019 improved by 8.9 percentage points. Performance improved for 24 Member States and worsened for three Member States (fig. 2). The vertical axis shows the

change in performance between 2012 and 2019 relative to that of the EU in 2012. The horizontal axis shows Member States performance in 2019.

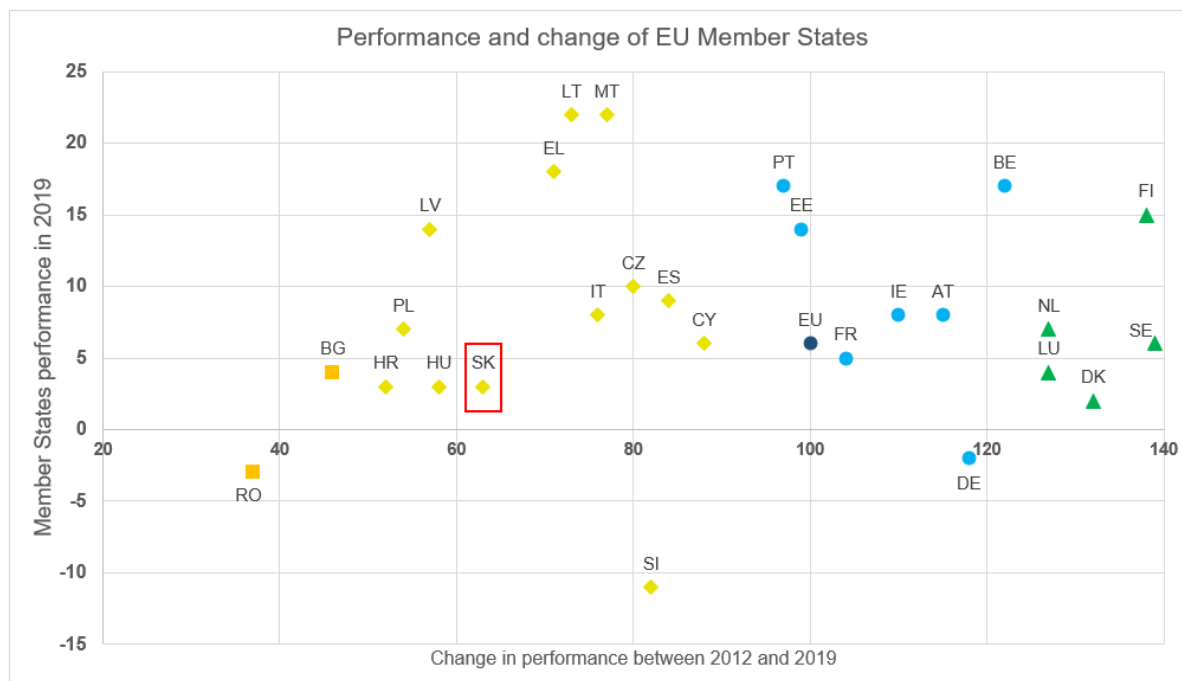


Figure 2 – Performance and change of EU Member States [author]

In past years, less innovative countries tended to improve their performance faster than more innovative countries; there was a negative link between the level of and the change in performance. Between 2012 and 2017, there has been a moderate rate of convergence in innovation performance between Member States, with lower performing countries, on average improving their level of innovation performance at a higher rate than higher performing countries. This process of convergence has accelerated in 2018 and 2019. Compared to 2018, performance in 2019 has improved for 25 Member States, most notably for Cyprus, Spain, and Finland, and performance has declined for two Member States, Slovenia, and France.

### 3 Innovation dimensions

Performance of the EU innovation system, measured as the weighted average of the performance of the innovation systems of all 27 Member States, has improved by 8.9 percentage points between 2012 and 2019. However, there are differences in performance changes for the different dimensions and indicators.

The order of performance groups observed for the Summary Innovation Index also applies to most dimensions. The Innovation Leaders perform best in eight dimensions, with the Strong Innovators showing highest performance in Innovators and Sales Impacts (Fig. 3). In several innovation dimensions, performance differences vary considerably between the performance groups. The performance difference between the Innovation Leaders and the Strong

Innovators in Innovation-Friendly Environment is almost 79%-points; in Attractive Research Systems and Human Resources it is close to 50%-points. Performance differences between the Innovation Leaders and the Strong Innovators are relatively small in Firm investments, Sales Impacts and Innovators. Between the Strong and Moderate Innovators, performance differences are high (more than 50%-points) for Innovators, Linkages and Finance and Support, and performance differences are relatively small for Innovationfriendly Environment and Employment impacts. Between the Moderate and Modest Innovators, performance differences are relatively high (more than 50%-points) for Firm Investments, Innovators and Human resources, and performance differences are relatively small for Intellectual assets and Employment impacts. [2]

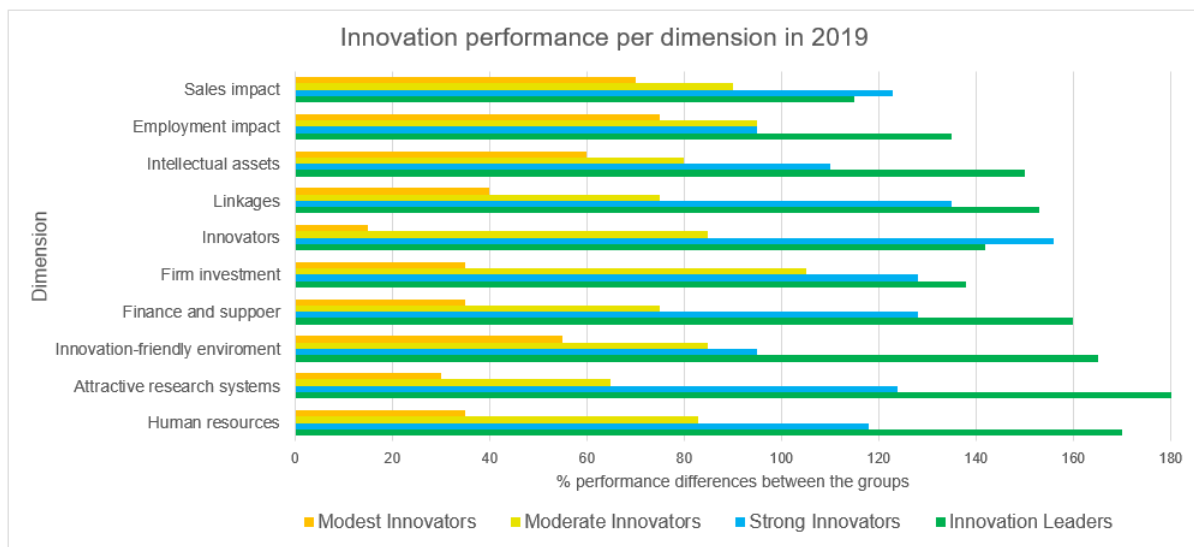


Figure 3 – Innovation performance per dimension in 2019 [2]

#### 4 Innovation performance in Slovakia

Slovakia is a Moderate Innovator. Over time, performance has increased relative to that of the EU in 2012. Employment impacts and Sales impacts are the strongest innovation dimensions, with Slovakia performing above the EU average. Slovakia scores particularly well on Employment in fast-growing enterprises of innovative sectors, Sales of new-to-market and new-to-firm product innovations, Medium and high-tech product exports, and New doctorate graduates. Finance and support, Innovators and Intellectual assets are the weakest innovation dimensions. Overall, Slovakia’s lowest indicator scores include Venture capital expenditures, R&D expenditures in the business sector, Lifelong learning, and Opportunity-driven entrepreneurship. Structural differences with the EU are shown in the table below. Slovakia shows the highest positive difference to the EU in Total Entrepreneurial Activity, Value-added share foreign-controlled enterprises and Average annual change in GDP, and the biggest negative difference in Top R&D spending enterprises, GDP per capita and Buyer sophistication. [4]

Table 1 – Comparison performance and structure of the economy between EU and Slovakia [4]

<b>Performance and structure of the economy</b>		
	<b>SK</b>	<b>EU</b>
GDP per capita (PPS)	21,800	29,100
Average annual GDP growth (%)	3.13	1.84
Employment share manufacturing (NACE C) (%)	24.6	16.6
of which High and medium high-tech (%)	45.2	37.5
Employment share services (NACE G-N) (%)	34.1	41.4
of which knowledge-intensive services (%)	29.1	34.3
Turnover share SMEs (%)	35.2	38.3
Turnover share large enterprises (%)	42.8	43.2
Foreign-controlled enterprises – share of value added (%)	19.9	11.1

The table 1 shows that GDP per capita in the Slovak Republic is lower than the average value of GDP per capita in the EU, but the average annual GDP growth is higher in Slovakia. The employment share manufacturing is higher in Slovakia than in the European Union and thus also in high and medium high-tech companies.

Table 2 – Comparison business and entrepreneurship between EU and Slovakia [4]

<b>Business and entrepreneurship</b>		
	<b>SK</b>	<b>EU</b>
Enterprise births (10+ employees) (%)	1.6	1.1
Total Entrepreneurial Activity (TEA) (%)	12.4	6.7
FDI net inflows (% GDP)	n/a	2.6
Top R&D spending enterprises per 10 million population	0.0	16.2
Buyer sophistication (1 to 7 best)	3.0	3.7

In table 2 we can see that, the Enterprise births in Slovakia is 0.5% higher than in the EU. The total entrepreneurial activity in Slovakia is up to 5.7% higher than the EU average.

## 4.1 Factors limiting innovation performance

According to [5], in the period 2016-2018 30.7% of enterprises in industry and selected services were innovatively active. However, even in these companies, they encountered problems that did not allow them to engage in further innovation. The main factors limiting innovation activities can be found in Fig. 4. The most serious factor is the lack of funding sources. [5]

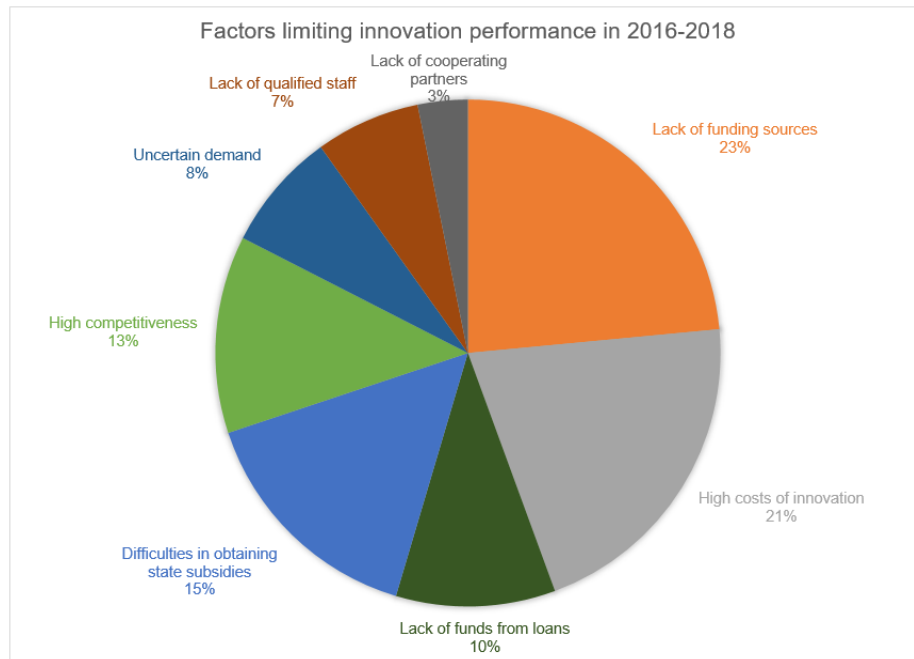


Figure 4 – Factors limiting innovation performance in 2016-2018 [5]

## 5 Conclusion

Slovakia's innovation performance is below the EU average in most of the monitored indicators. Relative strengths lie in the number of new doctorate graduates and the population with a tertiary education. Employment fast-growing enterprises is also above the EU average. Exports of medium and high technology products are also above the EU average. Innovation performance in the Slovak Republic in comparison with the economies of other European countries is lower and does not bring the expected positive result in the form of increased competitiveness of Slovak companies. Slovakia has a demonstrable innovation potential, but its growth must be stimulated and supported. There are several small and medium-sized, fast-growing companies with the potential to become a leader in a certain area of business, in which many new ideas emerge. However, without effective support, these are difficult to transform into new products, patents, competitive advantages or jobs.

## Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-14-0752.

## References

- [1] GRZNÁR P., GREGOR M. *Research into the possibilities of improving business processes*. Central European Institute of Technology, 2008.
- [2] *European Innovation Scoreboard 2020*. Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2020. ISBN 987-92-76-16366-4.
- [3] *Innovation Strategy on Slovakia in 2014-2020*. [online]. [cit. 23. 8. 2020]. Accessed from:  
[https://lt.justice.gov.sk/Attachment/Vlastn%C3%BD%20materi%C3%A1l\\_doc.pdf?instEID=1&attEID=51522&docEID=287000&matEID=5788&langEID=1&tStamp=2013010](https://lt.justice.gov.sk/Attachment/Vlastn%C3%BD%20materi%C3%A1l_doc.pdf?instEID=1&attEID=51522&docEID=287000&matEID=5788&langEID=1&tStamp=2013010)
- [4] FUSKO. M., BUČKOVÁ, M. Digital models for auxiliary and service processes. In: *InvEnt 2018*, Žilina, Slovakia, 2018. ISBN 978-80-89865-08-6.
- [5] *Overview of Innovation Results for 2019*. [online]. [cit. 23. 8. 2020]. Accessed from:  
[https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sk/newsroom/news/2019/06/17-06-2019-2019-innovation-scoreboards-the-innovation-performance-of-the-eu-and-its-regions-is-increasing](https://ec.europa.eu/regional_policy/sk/newsroom/news/2019/06/17-06-2019-2019-innovation-scoreboards-the-innovation-performance-of-the-eu-and-its-regions-is-increasing)

# Průmysl 4.0 a modifikace studijních programů na Fakultě strojní ZČU Plzeň

Josef Basl <sup>1</sup>, Milan Edl <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika  
[basljo@kp.v.zcu.cz](mailto:basljo@kp.v.zcu.cz)  
[edl@kp.v.zcu.cz](mailto:edl@kp.v.zcu.cz)

**Abstrakt:** Příspěvek se zabývá tematikou průmyslu 4.0 a jejím využitím v rámci přípravy a výuky studentů Fakulty strojní ZČU Plzeň. Představuje směry dalšího rozvoje, který se promítá do modifikace předmětů a formulaci nového studijního programu „Inteligentní výrobní systémy“. Tato aktivita fakulty využívá výstupy projektu TL 01000081 financovaného Technologickou agenturou České republiky s názvem „Proměna role vysoké školy a inovace studijních programů v rámci fenoménu 4.0 v oblastech strojních, pedagogických a zdravotnických“.

## 1 Úvod

Ve vyspělých zemích je fenoménu označovanému jako „průmyslu 4.0“ věnovaná pozornost již řadu let. V těchto zemích jsou zakládány nebo podporovány národní iniciativy, projekty či instituce, které se zabývají průmyslem 4.0. V České republice je základním dokumentem národní strategie „Národní iniciativa Průmysl 4.0“. Postup a aktivity jednotlivých zemí hodnotí řada indexů, jako např.

- Industry 4.0 Readiness Index od společnosti Roland Berger [16].

anebo

- NRI (Networked Readiness Index) [7]
- GII (Global Innovation Index) [4]
- GCI (Global Competitive Index) [15]

Z dostupných zdrojů vyplývá, že pojem průmysl 4.0 se v současnosti především používá v Evropě. Ve Spojených státech a anglicky mluvících zemích se spíše využívá označení průmyslový internet, v některých zemích pak například i pojem chytrá továrna. Německý ústav pro průmyslovou normalizaci charakterizuje Průmysl 4.0 jako sloučení skutečné výroby s virtuálním světem. Vznikne svět, ve kterém jsou informační technologie plně začleněny do výrobních procesů. Systémy ve výrobě, logistice či službách budou vzájemně komunikovat novým inteligentním způsobem. Díky Průmyslu 4.0 jsou výrobní cykly zkráceny, potřeby zákazníků jsou zpracovány v reálném čase nebo je údržba do značné míry zautomatizována. Výsledkem toto všeho jsou chytré továrny [3].

Evropskou unií (konkrétně Evropským parlamentem) je pak pojem Průmysl 4.0 chápán jako termín pro skupinu rychlých transformací v designu, výrobě, provozu a využívání systémů. Označení 4.0 znamená, že je to pro svět čtvrtá průmyslová revoluce [6].

Obecně lze koncept Průmyslu 4.0 charakterizovat jako transformaci výroby za samostatných automatizovaných továren na plně automatizovaná a optimalizovaná výrobní prostředí. Výrobní procesy jsou propojeny vertikálně a horizontálně v rámci podnikových systémů. K tomu jsou senzory, stroje a IT systémy vzájemně propojeny v rámci hodnotového řetězce přesahující hranice jednotlivých podniků. Za tímto účelem vznikají Cyber-Physical System, které jsou základním stavebním kamenem pro chytré továrny. [11]

Tématice průmyslu 4.0 je věnována pozornost nejen na národních ale i podnikových úrovních. Na měření připravenosti podniků v tomto směru vznikla pestrá škála modelů hodnocení připravenosti podniků pro přechod průmysl 4.0. Tyto modely vznikají jak na akademické půdě, u konzultačních anebo implementačních firem. Hlavní poznatky získané z dostupných maturity modelů ukazují na to, že modely jsou velmi komplexní, ale neobsahují většinou detailní pohled a věnují se celopodnikovým dimensím na úrovni vrcholového řízení podniku.

Důležité je, že v rámci zralostních modelů a modelů připravenosti není hodnocena jen technická stránka změny a přechodu podniku směrem k průmyslu 4.0. Vždy se jedná zároveň i o strategii a zdroje její realizace a důležitou roli sehrávají podniková kultura, lidské zdroje a pracovníci podniku celkově.

Právě ve změně přístupu pracovníků ke změně a novým inovacím je v případě inovací v podniku a ve snaze dosažení maxima z technické změny spatřováno jedno z hlavních úzkých míst, na které poukazuje např. E. Goldratt ve svém knize Necessary but not sufficient.

Jde o změnu chování pracovníků, kterou mohou pomoci usnadnit a urychlit inovativní kroky spojené s průmyslem 4.0. Jedná se přitom jak o stávající pracovníky v podnicích, ale rovněž o ty, kteří se na svoje zaměstnání teprve připravují – tj. studenty. Právě na ně se zaměřil projekt TL 01000081 „Proměna role vysoké školy a inovace studijních programů v rámci fenoménu 4.0 v oblastech strojních, pedagogických a zdravotnických“, jehož hlavním řešitelem byla právě Fakulta strojní ZČU Plzeň.

## **2 Cíle projektu**

Fakulta strojní je jednou ze tří fakult ZČU Plzeň, která se projektu v letech 2018 – 2020 účastnila společně s Fakultou pedagogickou, zdravotnických studií a filozofickou. Tento projekt se zaměřil na nutnost měnit a přizpůsobovat v rámci fenoménu 4.0 i vzdělávací instituce a plánovaným termínem ukončení je prosinec 2020. Fakulta při řešení projektu získala možnost detailnější a hlubší sebereflexe, možnost vnímat pohledy ostatních



fakult ale získat i důležitý „vnější“ pohled Sdružení profesního a terciárního vzdělávání, z. s. a Výzkumného ústavu podnikání a inovací, z. ú. při Hospodářské komoře ČR, kteří se řešení projektu také zúčastnili. Fakulta získala díky projektu přístup k rozsáhlému souboru dat, která umožnila relevantní posouzení potřeb jejich studentů a jejich budoucích zaměstnavatelů v oblasti vzdělávání a umožní její včasnou adaptaci na nové podmínky ve vzdělávání a pracovním trhu.

Hlavním cílem projektu bylo zvýšení připravenosti absolventů. Výzkum se zaměřil zejména na problematiku transversálních dovedností a interdisciplinárního porozumění jednotlivým oblastem, které v měnící se moderní „společnosti 4.0“ nabývají silně na významu. Potřeba změny myšlení u všech účastníků vzdělávacího procesu (škola, zaměstnavatel, student a další relevantní stakeholderi), reprezentovaná např. potřebou společného nastavování metod a výstupů z učení, je pak nezbytnou součástí cesty k úspěchu absolventa profesního terciárního oboru ve Společnosti 4.0.

### **3 Hlavní oblasti řešení projektu**

V průběhu řešení projektu byly realizovány na Fakultě strojní:

- tři kulaté stoly, jejichž realizace byla provedena v rámci Průmyslové rady Fakulty strojní ZČU, jejímiž členy jsou čelní představitelé vybraných podniků regionu, dále představitelé města Plzně a regionu a také ředitelé hlavních technických středních škol
- analýza studijních programů, která zahrnovala komparativní analýzu osnov a obsahu vybraných studijních programů na vybraných vysokých školách, které jsou svým zaměřením blízké studijním programům Fakulty strojní
- dotazníková šetření provedené mezi studenty fakulty strojní a dále mezi studenty středních škol, kteří se na studium na vysoké škole připravují a dotazníkové šetření provedené mezi podniky Plzeňského regionu

#### **3.1 Kulaté stoly**

Z kulatých stolů vyplynula potřeba promítnutí smart technologií a trendů průmyslu 4.0 do vzdělávání studentů, a to jednak jejich penetrací do vybraných stávajících předmětů a dále pak vytvoření zcela nových předmětů, zaměřených na trendy a aplikace průmyslu 4.0 ve strojírenství.

Kulaté stoly dále potvrdily zájem odborníků z praxe participovat na výuce, ale poskytnout také možnost praktické exkurze a praxe pro studenty. Zástupci podniků také přislíbili zadávat témata bakalářské, magisterské a event. dizertační práce spojené s trendy průmyslu 4.0.

Silný zájem je o vytváření profesně zaměřených studijních programů, kde se podniky podílejí jak na výuce, tak na zajištění praxe pro studenty.

Dále byla diskutována možnost vytváření „školících pracovišť“ pro studenty Fakulty strojní v prostorách jednotlivých firem, kde by docházelo k silnějšímu profesnímu propojení mezi studentem a praxí za účelem získávání dovedností i znalostí.

### **3.2 Analýza studijních programů**

Pokud budou součástí příspěvku rovnice, využijte následujícího vzoru.

Analýzou studijních programů byly zjištěny hlavní kompetence, které jsou v rámci studia poskytovány, a to:

- základní technické/odborné kompetence (např. matematika, fyzika, logika, analýza,...)
- inženýrské kompetence (např. konstrukce, technologie, materiály, systémová integrace,...)
- řídicí kompetence (např. plánování, organizování, ...)
- měkké dovednosti (např. komunikace, týmová práce, ...)

Analýza tak jasně poukázala na potřebnost řídicích a hlavně pak měkkých dovedností, a to shodně s požadavky zaměstnavatelů.

### **3.3 Dotazníková řešení**

Dotazníková šetření zahrnovala dotazování tří typů podniků podle standardního dělení při statistických šetření, a to tzv. malé podniky (do 49 zaměstnanců), střední podniky (50-249 zaměstnanců) a velké podniky (250+). S ohledem na náročnost sběru a doposud minimálně probíhající implementace P4.0 v malých podnicích bylo dohodnuto provádět výzkum jen ve středních a velkých podnicích, které jsou definovány jako strojírenské. Vlastní sběr probíhal kombinací metod CAPI a CATI v září a říjnu 2019. Pomocí CATI bylo sesbíráno 311 dotazníků s osobami z vedení středně velkých firem (z toho 184 přímo nejvyšší manažeři jako CEO, ředitel výroby apod.). Z celkových 138 středně velkých firem jsme získaly odpovědi ve vedení 114 firem (83 % návratnost). V případě velkých firem byl pomocí CAPI sebrán alespoň jeden dotazník ve vedení každé ze 45 firem, celkem 167 dotazníků ve vedení velkých firem (z toho 108 přímo s nejvyššími manažery). Celkem jsme tedy ve vedení středních a velkých firem dotázali 478 osob (z toho přímo 292 nejvyšších manažerů).

## **4 Důležité výstupy projektu – modifikace předmětů a studijních programů na Fakultě strojní**

Na základě uskutečněných kulatých stolů, analýz studijních programů a dotazníkových šetření mezi podniky bylo přistoupeno k inovacím a úpravám studijních předmětů a dále k návrhu nového studijního programu. Navržené modifikace jsou částečně již zahrnuty do stávajících studijních programů a obsahují

#### **4.1 Úpravy a modernizace stávajících předmětů:**

- a) Úpravy obsahové části stávajících předmětů fakulty, jako např. Podnikové informační systémy, Digitální podnik a virtuální realita, Základy robotiky a Moderní technologie
- b) Využití nových softwarových a technických řešení pro plánování a řízení výroby - SW nástroje APS (Advanced Planning and Scheduling) a MES (Manufacturing Execution System) a pro automatizaci administrativních a řídicích procesů strojírenství – SW nástroj RPA (Robotic Process Automation)
- c) Využití manipulačního robotu pro přípravu jeho digitálního dvojčete

#### **4.2 Vytvoření nových předmětů**

Výstupy projektu poukázaly na potřebu vytvoření nových studijních předmětů.

- a) Nově je již v tomto semestru vyučován předmět Aplikace průmyslu 4.0 ve strojírenství
- b) Pro akreditaci jsou připravovány předměty Trendy digitální transformace podniku, Specializované praxe a Specializovaná exkurze

#### **4.3 Příprava akreditace nového studijního programu**

Jedním z důležitých výstupů projektu je příprava akreditace nového studijního programu s názvem Smart manufacturing systems (Inteligentní výrobní systémy) se dvěma specializacemi:

- Manufacturing Machines and Technologies (Výrobní stroje a technologie)
- Digital Manufacturing (Digitální výroba)

Studijní program bude akreditován pro oblast strojírenství jako navazující magisterský program ve spolupráci s Fakultou aplikovaných věd ZČU Plzeň specializující se na oblast umělé inteligence, kybernetiky, zpracování dat a business analytiku.

Absolvent tohoto studijního programu bude v návaznosti na zjištěné požadavky zaměřen tak, že prokazuje odborné a teoretické poznatky v problematice metod a metodik pro digitální transformaci a inovaci podniků. Bude schopen se samostatně orientovat v nabídce a trendech na trhu. Bude schopen aktivně využívat hlavní aplikační balíky v rámci enterprise architektury strojírenského (průmyslového) podniku a bude schopen aktivního zapojení v inovačních projektech digitální transformace s následným vedením takových projektů a týmů. Předpokládané spuštění výuky nového studijního programu je plánováno na začátek akademického roku 2021/2022.

## 5 Závěr

Výsledky projektu se promítly nejen do úprav studijních programů a jednotlivých předmětů. Tématika průmyslu 4.0 a celkově fenoménu 4.0 je jedním klíčových faktorů dalšího rozvoje fakulta strojní a bude obsažena i v připravovaném pětiletém plánu, tzv. Strategickém záměru fakulty pro období 2021-2025. Fakulta se zároveň v souvislosti s průmyslem 4.0 plně zapojuje do rozvoje regionu, např. participací na tvorbě a plnění RIS3 strategie, v rámci aktivit smart regionu ale také při přípravě digitálního inovačního hubu podporujícího digitální transformaci v dalším víceletém plánovacím období EU pro roky 2021-2027.

### Poděkování

Projekt TL01000081 Proměna role vysoké školy a inovace studijních programů v rámci fenoménu 4.0 v oblastech strojních, pedagogických a zdravotnických je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Éta.

### Použitá literatura

- [1] CARTWRIGHT, P. *Manufacturing gets personal in Industry 5.0*. [online]. [cit. 2017-03-13]. Available: <https://www.raconteur.net/technology/manufacturing-gets-personal-industry-5-0>
- [2] DELOITTE. *Industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies* [online]. 2015 [cit. 2017-03-13]. Available: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>
- [3] DIN. *What is Industry 4.0?* [online]. DIN - German Institute for Standardization, 2017 [cit. 2017-03-13]. Available: <http://www.din.de/en/innovation-and-research/industry-4-0/what-is-industry-4-0>
- [4] DUTTA S., LANVIN, B., WUNSCH-VINCENT, S. *Global Innovation Index 2018 Energizing the World with Innovation*. 11<sup>th</sup> Edition, ISSN 2263-3993 ISBN 979-10-95870-09-8, Available: <https://www.globalinnovationindex.org/gii-2018-report>
- [5] EUROPEAN COMMISSION. *Coordination of European, national & regional initiatives*. In: European Commission [online]. 2016 [cit. 2017-03-13]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/cordination-european-national-regional-initiatives>
- [6] EUROPEAN UNION. *Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth*. [online]. European Parliament, 2015 [cit. 2017-03-13]. Available: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS\\_BRI\(2015\)568337\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)
- [7] GANZARAIN, J., ERRASTI, N. *Stage maturity model in SME towards Industry 4.0*. Journal of Engineering and Management, 2016.

- [8] GLOBAL TRENDS 2030: Alternative Worlds. [online]. National Intelligence Council, 2012 [cit. 2016-04-27]. Available: <https://globaltrends2030.files.wordpress.com/2012/11/global-trends-2030-november2012.pdf>
- [9] KENNEDY, S. *Made in China 2025*. [online]. Center for Strategic and International Studies, 2015 [cit. 2017-03-13]. Available: <https://www.csis.org/analysis/made-china-2025>
- [10] MACDOUGALL, W. *Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the Future*. [online]. Germany Trade and Invest, 2014 [cit. 2017-03-13]. Available: <https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf?v=8>
- [11] MAŘÍK, V. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.
- [12] OECD: *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation*. OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264268821-en>
- [13] PESSL, E., ROMINA, S., MAYER, B. *Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises*. International Journal of Science, Technology and Society, 2017.
- [14] BERGER, R. *THINK ACT: Industry 4.0 – the new industrial revolution* [online]. 2014 [cit. 2017-03-13]. Available: [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_ta\\_b\\_industry\\_4\\_0\\_20140403.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_ta_b_industry_4_0_20140403.pdf)
- [15] SCHWAB, K. *The Global Competitiveness Report 2018*. World Economic Forum, 2018, ISBN 978-92-95044-76-0. Available: <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>
- [16] SIEPEN, S. et al. *INDUSTRY 4.0 The role of Switzerland within a European manufacturing revolution*. Roland Berger Strategy consultants GmbH, 2015, Available: <https://www.rolandberger.com/en/Publications/Industry-4.0---the-new-industrial-revolution.html>



Projekt TL01000081 Proměna role vysoké školy a inovace studijních programů v rámci fenoménu 4.0 v oblastech strojních, pedagogických a zdravotnických je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Éta.

# Návrh způsobu skladování přípravků

Miroslav Bednář <sup>1</sup>, Michal Šimon <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[bednarm@kp.v.zcu.cz](mailto:bednarm@kp.v.zcu.cz)  
[simon@kp.v.zcu.cz](mailto:simon@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Článek se zabývá návrhem způsobu skladování svařovacích přípravků. Pro realizaci návrhu bylo nejprve nutné provést analýzu současného způsobu skladování přípravků, dále pak zvolit vhodného dodavatele pro vybraný skladovací systém, navrhnout parametry skladovacího systému s ohledem na skladované přípravky a navrhnout bezpečnostní opatření. Na závěr je výsledná varianta porovnávána s původním stavem.

## 1 Úvod

Článek je zaměřen na návrh vhodného způsobu skladování pro svařovací přípravky. Pro skladování přípravků je možné zvolit několik skladovacích systémů. Zavedením tohoto systému by mělo být dosaženo úspory místa na výrobní hale, které by bylo možné využít pro navýšení výroby.

Aby bylo možné navrhnout zlepšení, je nejprve potřeba poznat původní stav. Z toho důvodu byla provedena analýza původního stavu. V této části byl zanalyzován původní způsob skladování svařovacích přípravků. Při analyzování současného způsobu skladování, byly taktéž zanalyzovány prostory původního stavu. Posledním bodem analýzy současného stavu byla analýza všech svařovacích přípravků.

Po prvotní analýze již bylo potřeba určit nejvhodnější skladovací systém. Po tomto určení bylo možné prozkoumat trh s dodavateli, kteří tento skladovací systém zavedou na halu výroby. Dále bylo nutné využít prvotní analýzu současného stavu pro analýzu rozmístění svařovacích přípravků do zvoleného skladovacího systému. Posledním krokem je návrh vhodných bezpečnostních prvků, které by zabránily poškození zvoleného systému.

V poslední části článku je vyhodnocení navržené varianty skladovacího systému oproti původnímu způsobu skladování svařovacích přípravků.

## 2 Analýza současného stavu

Tato kapitola popisuje počáteční analýzu současného stavu skladování přípravků ve společnosti. Tato analýza je základním kamenem pro návrh vhodné technologie a podmínek pro skladování svařovacích přípravků na

hale. Tyto přípravy jsou uzpůsobené ke svařování různých dílů karoserie, nebo podvozku autobusů. Svařovací přípravy slouží k ustavení a poskládání svařence před svařením. Tyto přípravy urychlují a zjednodušují výrobu svařenců.

V současném stavu se na hale výroby vyskytuje velké množství svařovacích přípravků, které mají různé tvary a rozměry. Cílem analýzy současného stavu bylo zjistit složení svařovacích přípravků a jejich současného skladování. Současný stav je možné popsat v několika bodech:

- Současný stav je takový, že veškeré přípravy jsou v regálech na pracovištích, nebo volně ložené a dochází k jejich hledání
- Přípravy se používají s různou četností
- Některé z přípravků se na začátku příštího roku odstraní z důvodu nevyužívání

Pro manipulaci s přípravy jsou určeni 3 manipulanti na každou směnu. Jejich náplň práce je velice proměnlivá v závislosti na potřebách výroby. Jako hlavní činnosti těchto manipulantů jsou zásobování svařovacích pracovišť svařovacími přípravky, zásobování pracovišť materiálem a odvážení odpadu.

V současnosti jsou svařovací přípravy umístěny v klasickém regálovém skladu, který se skládá ze tří regálů. Tyto regály se nachází přímo na hale výroby. Tyto regály zabírají poměrně velkou plochu. Pro manipulaci s přípravy se používají elektrické vysokozdvizné vozíky.



Obrázek 1 - Současný regálový sklad

## 2.1 Prostorová analýza současného skladu

Prostorová analýza byla provedena, aby byla zjištěna plocha původního regálového skladu. Tato analýza obsahuje tyto parametry:

- Velikost plochy regálů se svařovacími přípravky
- Velikost uličky mezi regály
- Celková velikost plochy regálového skladu
- Velikost ložné plochy celého regálového skladu

Pro výpočet velikosti plochy regálů se svařovacími prvky se přeměřila velikost jednoho regálu a byl spočítán počet všech regálů. Při průzkumu bylo zjištěno, že v jedné řadě před kanceláři je 9 regálů a zbylé dvě řady jsou po 10 regálech. Celkově tedy vychází, že sklad přípravků se skládá z 29 regálů. Rozměry každého regálu jsou znázorněny v následující tabulce:

Tabulka 1 - Velikost regálu

Šířka	2,8 m
Hloubka	1,1 m
Výška	5 m
Počet polic	4

Výpočet plochy jednoho regálu je následující (1):

$$P_1 = \text{Šířka} * \text{Hloubka} = 2,8 * 1,1 = 3,08 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Celková plocha regálů se spočítá vynásobením plochy jednoho regálu jejich počtem dle (2):

$$P_{reg} = P_1 * 29 = 3,08 * 29 = 89,32 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Dalším parametrem pro výpočet celkové plochy skladu je velikost plochy uličky. Ta má následující rozměry:

- Délka = 25 m
- Šířka = 3,2 m

Výpočet plochy uličky je pak následovný (3):

$$P_u = \text{Délka} * \text{Šířka} = 25 * 3,2 = 80 \text{ m}^2 \quad (3)$$

Celková plocha regálového skladu je poté součtem plochy regálů a plochy manipulační uličky dle (4):

$$P_{celk} = P_{reg} + P_u = 89,32 + 80 = 169,32 \text{ m}^2 \quad (4)$$



Dále byla vypočítána celková ložná plocha regálového skladu. Toho bylo docíleno roznásobením celkové plochy regálů a počtem polic v regále. V našem případě je tento počet 4. Výpočet celkové ložné plochy je následující (5):

$$P_{ložná} = P_{reg} * počet\ polic = 89,32 * 4 = 357,28\ m^2 \quad (5)$$

Z prostorové analýzy vyplývá, že regálový sklad se svařovacími přípravky zabírá 169,32 m<sup>2</sup> plochy ve výrobě. Velký podíl na této ploše má ulička mezi jednotlivými regály. Další vypočtenou plochou byla celková ložná plocha nynějšího skladu, který má velikost 357,28 m<sup>2</sup>. Prostorová analýza potvrdila, že prostor, který zabírá současný regálový sklad je příliš velký a bylo by vhodné jej díky skladovacímu systému minimalizovat. Zbýlý prostor, který bude ušetřen, je možné dále využívat jako nová pracoviště.

## 2.2 Analýza přípravků

Další potřebnou analýzou byla analýza svařovacích přípravků. Svařovací přípravky jsou rozděleny do třech hlavních skupin:

- Malé – budou skladovány ve skladovacím systému
- Střední – volně ložené na hale, či mimo ni
- Velké – umístěné přímo na pracovištích

Při této analýze bylo potřeba přeměřit veškeré svařovací přípravky, které se měli nacházet ve vhodném skladovacím systému. Nejprve však bylo potřeba určit, které přípravky to budou. V současné době se na hale výroby nachází přes 200 přípravků. Některé z přípravků nejsou využívány a některé budou odstraněny, či převezeny na druhou halu výroby. Po vytrídění bylo zjištěno, že uskladněno bude 94 přípravků. Právě tyto přípravky byly dále změřeny, aby bylo zjištěno, jak velký skladovací systém bude třeba uvažovat. Rozměry přípravků byly zapisovány v dimenzích: šířka, hloubka a výška. Dalším parametrem bylo uzpůsobení pro manipulaci s vysokozdvížným vozíkem. To znamená, že některé přípravky mají tzv. „uši“, za které je možné s přípravky pomocí VZV manipulovat. Některé přípravky tyto uši měli, některé ne, ale je možné je přidělat a u některých tato možnost není. Bohužel nebylo možné zakomponovat do tabulky hledisko frekvence využívání, protože to je velice různorodé. Po naměření všech přípravků, byly tyto přípravky rozděleny do několika skupin dle výšky, šířky a hloubky. V následující tabulce jsou vidět počty přípravků v daných skupinách:

Tabulka 2 - Rozdělení přípravků do skupin

Skupina dle výšky v cm			Skupina dle šířky v cm			Skupina dle hloubky v cm		
A	0-40	18	1	151-300	30	1	0-60	36
B	41-50	44	2	76-150	51	2	61-120	51
C	51-60	15	3	0-75	6			
D	61-70	8						
E	71-80	2						

Při naměrování svařovacích přípravků byly zjištěny maximální rozměry přípravku. Ty jsou následující:

Tabulka 3 - Maximální rozměry přípravků

Maximální rozměry přípravků	
Šířka	300
Hloubka	120
Výška	78

Maximální rozměry byly výchozím bodem pro výběr vhodného skladovacího systému a vhodného dodavatele.

### 3 Návrh skladovacího systému

Při výběru vhodného skladovacího systému bylo nejprve potřeba zvolit, jaký typ skladovacího systému bude pro skladování svařovacích přípravků nejvhodnější. Dále bylo potřeba zvolit dodavatele, který by tento systém dodal.

#### 3.1 Volba systému skladování

Pro uskladnění svařovacích přípravků byly uvažovány dvě varianty skladovacích systémů:

- Vertikální karuselový systém
- Vertikální výtahový systém

Při volbě skladovacího systému bylo potřeba uvažovat, že na police tohoto systému budou umístovány těžké a objemné přípravky. Karuselový systém, kde se veškeré police točí kolem osy, by takto těžké přípravky nejspíše neutáhl, nebo by to bylo velice nákladné. Taktéž nakládání a vykládání přípravků by bylo velice pomalé. Naproti tomu vertikální výtahový systém je

na těžké předměty konstruován. Po společné konzultaci s vedením společnosti, které taktéž souhlasilo s volbou, bylo zvoleno, že nejvhodnějším systémem bude vertikální výtahový systém. Jedním z důvodů zavedení tohoto systému byla zkušenost společnosti s několika dalšími vertikálními výtahovými systémy.

### 3.2 Výběr dodavatele

Mezi nejznámější společnosti, specializující se na výrobu vertikálních výtahových systémů a ze kterých bylo vybíráno, patří:

- Jungheinrich
- Modula
- Remstar

Východiskem pro základní parametry, které by měl daný vertikální výtahový systém mít, byla datová analýza, respektive výsledky této analýzy. Hlavními parametry byly rozměry největšího svařovacího přípravku. Tyto rozměry byly základem pro volbu polic základního výtahového systému, který byl uvažován pro porovnání výhodnosti dodavatelů. Pro specifikování požadavků byly zvoleny následující vlastnosti: výška, maximální rozměry polic, nosnost polic, zabraná plocha skladu, počet výdejních oken, software, cena zakladače, software a napojení, celková cena, záruka, cena za 1m<sup>2</sup> skladovací plochy, počet dovezených polic za hodinu a cena skladování jednoho kusu. Porovnání dodavatelů a vlastností jimi vyráběného výtahového systému jsou v následující tabulce:

Tabulka 4 - Volba dodavatele [1][2][3]

	MODULA		JUNGHEINRICH	REMSTAR
Typ vertikálního systému	MX 75D	ML 75D	LRK	Shuttle XP 1000
Výška [mm]	8100	8100	8150	8050
Rozměr polic [mm]	3100x1220	4100x1220	3650x1270	3050x1778
Nosnost polic [kg]	750	750	450	460
Zabraná podlahová plocha skladu [m <sup>2</sup> ]	11,13	14,3	11,6	19,09
Počet výdejních oken	1	1	1	1
Software	Vlastní WMS	Vlastní WMS	Middleware interface	Power Pick Global
Základní cena výtahového systému	53 175€	58 000€	48 370€	45 940€
Software a napojení	Neuvedeno	Neuvedeno	5 990€	2 850€
Celková cena	53 175€	58 000€	54 360€	48 790€
Záruka [měs]	12	12	12	24
Počet dovezených polic za hodinu	81	81	88	87
Cena za skladování 1 svař. Přípravku	571,77€	623,66€	584,52€	524,62€

Z tohoto porovnání je patrné, že nejvýhodnějším dodavatelem je společnost Remstar s výtahovým systémem Shuttle XP 1000. Velikost police tohoto systému je 3050x1778 mm, což je dostačující i pro největší svařovací

přípravek. Obrovskou výhodou tohoto systému jsou doplňky, které společnost Remstar nabízí. Mezi ty nejhlavnější patří například automatický stůl, který dovoluje zaskladňování i velkých palet s objemnými břemeny. Dále je to například jeřáb, který je přimontován na konstrukci před výdejním oknem a díky kterému je možné manipulovat se skladovanými břemeny.

## 4 Umístění svařovacích přípravků

Poté co byl zvolen vertikální výtahový systém Shuttle XP 1000 od společnosti Remstar, bylo potřeba zjistit, jaké atributy by měl tento systém mít. Základní atributy kardexu (jiný název pro vertikální výtahové systémy) jsou v následující tabulce:

Tabulka 5 - Vlastnosti zvoleného výtahového systému

<b>Rozměry systému</b>			
	Min	Max	
Šířka	1 580	4 380	mm
Hloubka	2 362	4 343	mm
Výška	2 550	20 050	mm
<b>Rozměry polic</b>			
	Min	Max	
Šířka	1 250	4 050	mm
Hloubka	610	1 778	mm
<b>Nosnost polic</b>			
Šířka police	Nosnost police		
1 250 mm	1 000 kg		
2 450 mm	900 kg		
4 050 mm	800 kg		
<b>Maximální nosnost systému</b>			
120 tun			
<b>Výškový rastr systému</b>			
Kroky po 100 mm			
<b>Vertikální rychlost zakladače</b>			
0,75 m/s			

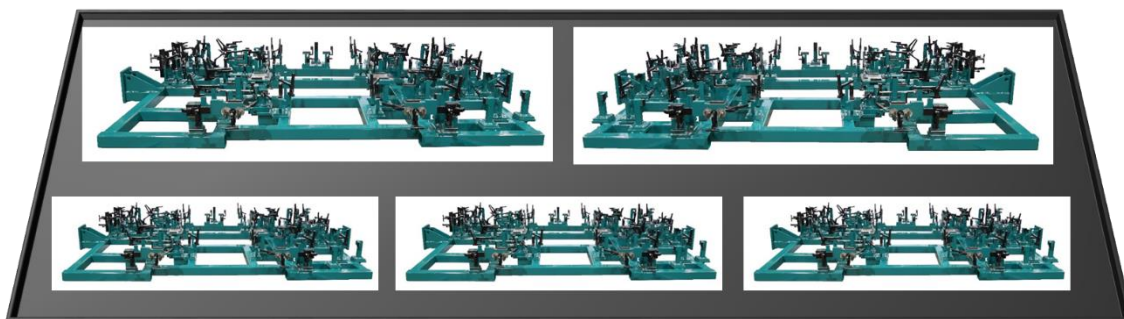
Tyto atributy byly východiskem pro experimenty s rozmístěním svařovacích přípravků na police výtahového systému. Při těchto experimentech bylo hlavním myšlenkou fixní rozmístění svařovacích přípravků, což znamená, že každý přípravek by měl přesně danou pozici a místo, kde by měl být umístěn. Je to hlavně z toho důvodu, aby bylo možné maximálně využít prostoru uvnitř výtahového systému. Zjednodušeně to znamená, že přípravky se ručně

umísťovali vedle sebe tak, aby jejich výška byla co nejvíce podobná (cca do 10 cm) a součet šířek obou přípravků nepřesáhl velikost police.

Při experimentování s umístěním přípravků byly vytvořeny dva hlavní způsoby rozmístění: přípravky skladované vedle sebe a přípravky skladované vedle sebe i za sebe. Princip je zřejmý z následujících obrázků.



*Obrázek 2 - Skladování vedle sebe*



*Obrázek 3 - Skladování vedle sebe i za sebe*

Každá z těchto variant má své výhody a nevýhody. Výhodou u skladování přípravků vedle sebe má hlavní výhodu v jednoduchosti manipulace se svařovacími přípravky. Další výhodou je menší zastavěná plocha skladovacím systémem. Nevýhodou je pak tzv. „skladování vzduchu“ a obrovská výška, kterou by skladovací systémy museli mít. U skladování přípravků vedle sebe i za sebe je maximálně využít potenciál vertikálního výtahového systému při malých výškách kardexu. Nevýhodou je pak složitá manipulace, kterou je potřeba řešit dalšími možnostmi.

#### **4.1 Experimenty s umístěním**

Při experimentování s rozmístěním svařovacích přípravků bylo vytvořeno 5 variant s různými velikostmi polic. Tři z těchto variant uvažovali skladování přípravků pouze vedle sebe a zbylé dvě skladování vedle sebe i za sebe. Jak již bylo zmíněno, veškeré přípravky bylo nutné umístit ručně na dané police, tak aby byla maximálně využita kapacita. Toto bylo zpracováno v tabulkách Excelu, kde se automaticky vyplňovali rozměry všech přípravků uložených na dané polici.

Tabulka 6 - Varianty rozmístění přípravků

	Vedle sebe			Vedle sebe + za sebe	
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4	Varianta 5
Šířka police	320 cm	395 cm	405 cm	405 cm	405 cm
Hloubka police	130 cm	130 cm	130 cm	178 cm	130 cm
Výška systému	<b>13,5 m</b>	<b>11,5 m</b>	<b>10,5 m</b>	<b>6,2 m</b>	<b>8,25 m</b>

Z tabulky výše je vidět, že pro umístění výtahového systému na halu výroby je možné uvažovat pouze varianty, ve kterých se skladují přípravky vedle sebe i za sebe. Pro volbu nejvýhodnější varianty byla vytvořena vícekritériální rozhodovací tabulka. Tato tabulka se řídí následujícími pravidly:

- Váha faktorů – 1 nejméně, 5 nejvíce
- Bodování variant – 1 nejlepší, 10 nejhorší
- Čím nižší je celkový součet, tím výhodnější je varianta

Tabulka 7 - Rozhodovací tabulka s variantami rozmístění přípravků

Faktor	Váha	Varianta vedle sebe (405x130 cm)	Varianta vedle sebe + za sebe (405x178 cm)	Varianta vedle sebe + za sebe (405x130 cm)
Náklady	5	4	8	7
Využití skladovací plochy	4	8	2	2
Zastavěná plocha	3	3	7	5
Možnost umístění dalších přípravků	3	8	2	6
Manipulace	2	2	3	3
<b>Celkem</b>		<b>89</b>	<b>81</b>	<b>82</b>

Z tabulky výše, vychází nejlépe varianta 4, s umístěním přípravků vedle sebe i za sebe a s rozměry polic 4050 x 1778 mm. Jako vítězná varianta však byla zvolena varianta 5, která splňuje veškeré požadavky na skladovací systém. Navíc je tato varianta méně nákladná a zabírá méně prostoru, což je největší výhodou. Tato varianta má následující vlastnosti:

- Skladování přípravků vedle sebe i za sebe
- Rozměry polic – 4050 x 1300 mm
- Výška kardexu – cca 8,25 m

Jak již bylo dříve zmíněno, varianty s umístěním přípravků vedle sebe i za sebe mají zásadní nevýhodu ve složitosti manipulace se svařovacími přípravky. Tato složitost je hlavně s přípravky umístěnými v zadní řadě, které není možné jednoduše vzít a vyskladnit. Z toho důvodu bylo nutné navrhnout řešení, které by tuto manipulaci zjednodušovalo.

Jedním z řešení je již dříve zmíněný jeřáb umístěný na konstrukci před výdejním oknem. Tím to jeřábem by bylo možné přemístit přípravky ze zadních řad přímo na vysokozdvizný vozík. Tato varianty však manipulaci o moc neulehčuje a časová náročnost na přemístění přípravků je vysoká. Další možností by bylo výdejní okno na druhé straně kardexu. Toto výdejní okno je však velice nákladné a s dalším výdejním oknem by se musela výška kardexu zvýšit a ten by se zřejmě již nevešel na halu výroby. Třetí možností by bylo umístění otočného stolu před stůl výdejní. Celá police by se na tento stůl umístila a pootočila o 90°, aby bylo možné nabrat přípravky z druhé řady. Tato varianta by zabírala velké množství plochy, jelikož při pootočení stolu by se zastavěla celá šířka police, která činí 4,05 m. Poslední možností by bylo umístění dopravníku vedle výdejního stolu. Na tento dopravník by se poté přesunula celá police a bylo by možné nabrat přípravky zezadu. Pro porovnání těchto variant byla vytvořena následující tabulka, která se řídí podle stejných pravidel, jako dříve zmíněná vícekriteriální tabulka.

Tabulka 8 - Vyhodnocení varianty pro zjednodušení manipulace

Faktor	Váha	Jeřáb	Druhé výdejní okno	Otočný stůl	Dopravník
Náklady	5	3	8	5	4
Potřebná plocha	3	1	1	6	3
Složitost manipulace	2	8	1	4	2
Časová náročnost	3	8	1	4	3
<b>Celkem</b>		<b>58</b>	<b>48</b>	<b>63</b>	<b>42</b>

Z této tabulky je jasně patrné, že nejuvhodnější variantou je varianta s dopravníkem umístěným vedle výdejního stolu.

## 4.2 Bezpečnostní prvky

Aby bylo možné zabránit poškození vertikálního výtahového systému, bylo potřeba vymyslet, jaké bezpečnostní prvky by bylo možné implementovat. Samozřejmostí je značení na podlaze, které vymezuje pozici výtahového systému. Dále to jsou značení vymezující prostor pro manipulaci a prostor pro údržbu výtahového systému. Pro snížení rizika najetí na kardex, by měly být před výdejním oknem, či před výše zmiňovaným dopravníkem umístěny zábrany, které by tomuto zamezili. Zábrany je vhodné umístit tak, aby bylo možné nabrat na vidlice vozíku potřebné svařovací přípravky, ale aby nebylo

možné najet celým vysokozdvížným vozíkem do míst, kde jsou tyto přípravy vychystávány. Na následujícím obrázku, je vidět možný typ zábran.



Obrázek 4 – Zábrany [4]

Další spíše vizuální bezpečnostní prvky, které je vhodné zavést, jsou majáčky, které by blikaly, pokud by byla vychystávána nějaká police.

## 5 Vyhodnocení zvolené varianty

Po závěrečném rozhodnutí finální varianty, je potřeba zhodnotit navržený stav oproti tomu současnému. Jak již bylo popsáno dříve, nejvýhodnějším dodavatelem pro zavedení vertikálního výtahového systému do firmy je společnost Remstar s výtahovým systémem Kardex Shuttle XP 1000. Při následných analýzách různých variant skladování svařovacích přípravků, se jako nejvýhodnější varianta stala ta s rozmístěním přípravků vedle sebe i za sebe a s rozměry polic 4050 x 1300 mm.

Je jasné, že nejvíce se navržený výtahový systém projeví v podobě úspory místa. Takto uspořené prostor je možné, jak již bylo dříve zmíněno, využít pro další pracoviště. V tabulce níže je poměr současné plochy regálového skladu a plochy, kterou by zabíral navržený vertikální výtahový systém.

Tabulka 9 - Porovnání uspořené plochy

	Plocha
Současný stav skladu	169,32 m <sup>2</sup>
Navržený výtahový systém	27,74 m <sup>2</sup>
<b>Uspořená plocha</b>	<b>141,58 m<sup>2</sup></b>

Do této tabulky však není započítána potřebná plocha pro dopravník a manipulační plocha pro vysokozdvížné vozíky. Je zde počítáno pouze s celkovou plochou výtahového skladovacího systému a plochou výdejního stolu umístěného před výdejní okno. Uspořená plocha by tedy byla ještě o něco nižší, avšak stále dostačující pro zavedení několika pracovišť.



Zavedením výtahového skladovacího systému je možné ušetřit velké množství času, které je způsobeno ztrátami, které jsou způsobeny ztrátami, kterých se manipulanti při manipulaci dopouští. Mezi tyto ztráty nejvíce patří hledání svařovacího přípravku, zaskladňování přípravků na své pozice a vyskladňování přípravků, například z nejvyšších pozic. Tyto činnosti, jak bylo zjištěno z časových snímků, dělají v součtu přes 16% z pracovní směny manipulantů. Tyto ztráty by se zavedením systému eliminovali.

Tabulka 10 - Redukovatelné činnosti

	Procentuální zastoupení
Zaskladňování přípravku do skladu	3,31%
Vyskladňování přípravku ze skladu	1,98%
Hledání přípravku	10,87%

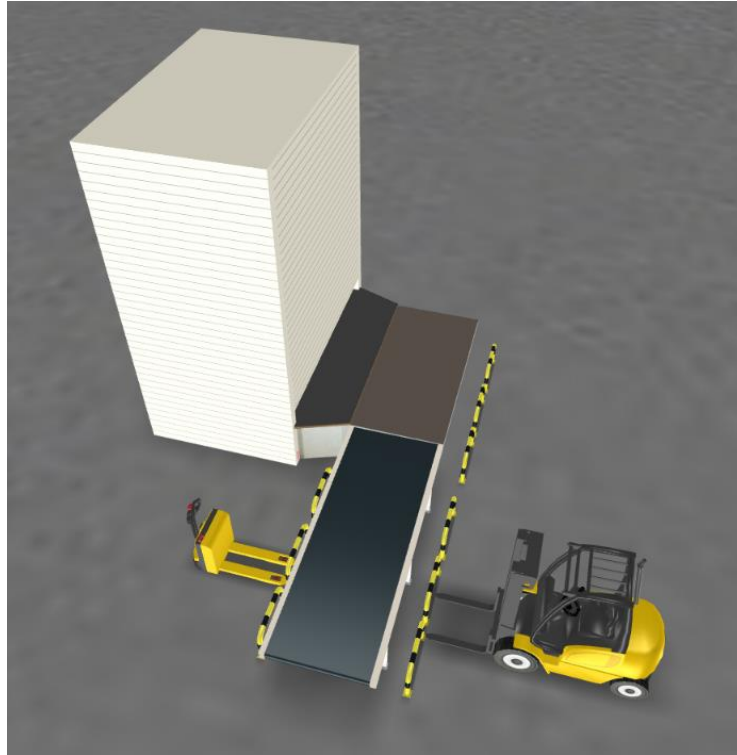
Jak již bylo několikrát zmíněno, zavedením vertikálního výtahového systému by bylo možné využít uspořenou plochu pro zavedení nových pracovišť, které by zvýšili objem výroby. Díky tomu by byla doba návratnosti investice rapidně snížena. Produkce by se zvýšila taktéž díky zrychlení zavážení pracovišť svařovacími přípravky, kdy v současné době pracovníci čekají dlouhou dobu, než jim je požadovaný přípravek dovezen.

## 6 Závěr

Tento článek popisuje postup při navrhování způsobu skladování přípravků. Návrh byl vytvořen hlavně z důvodu úspory místa na hale výroby společnosti. Aby bylo docíleno finální varianty uskladnění, byla nejprve provedena analýza současného stavu, která obsahovala prostorovou, datovou a časovou analýzu. V těchto analýzách bylo zjištěno, jakým způsobem a na jaké ploše se skladují přípravky v současné době. Další částí této analýzy bylo naměření všech svařovacích přípravků, které mají být umístěny do zvoleného skladovacího systému.

Dalším krokem byla volba vhodného skladovacího systému a vhodného dodavatele pro tento systém. Po rozhodnutí o vhodném skladovacím systému bylo provedeno několik experimentů, které měli za cíl navrhnout rozmístění všech svařovacích přípravků na police skladovacího systému. Z těchto experimentů byla vybrána jedna varianta, která byla zvolena jako nejvýhodnější. Po volbě finální varianty bylo potřeba zajistit realizovatelnost manipulačních činností se svařovacími přípravky. Posledním bodem pro návrh vhodného skladovacího systému bylo navržení bezpečnostních prvků.

Na následujícím obrázku je vizualizovaná výsledná varianta vertikálního výtahového systému i s doplňky.



Obrázek 5 - Finální varianta

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] MODULA. Modula Lift. [Online] [Citace: 22. 6. 2020.] <https://www.modula.eu/ces/produkty/modula-lift.html>.
- [2] Jungheinrich. Výtahový regál - LRK. [Online] [Citace: 22. 6. 2020.] <https://www.jungheinrich.cz/produkty/regaly/dynamicke-skladovani-drobnych-dilu/vytahovy-regal-492410>.
- [3] Kardex Remstar. Kardex Remstar Shuttle XP 1000. [Online] [Citace: 29. 6. 2020.] <https://www.kardex-remstar.cz/cz/automatizovane-skladove-systemy/vertikalni-vytahove-systemy/shuttle-xp-1000.html>.
- [4] A-SAFE. Bezpečnostní zábrany pro oddělení manipulační techniky. [Online] [Citace: 3. 7. 2020.] <http://bezpecnostnizabranyasafe.cz/bezpecnostni-zabrany/bezpecnostni-zabrany-oddeleni-manipulacni-techniky/>.

# Augmented Reality in Context of Industry 4.0

Kristýna Havlíková

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika  
[khavliko@kpv.zcu.cz](mailto:khavliko@kpv.zcu.cz)

**Annotation:** Augmented Reality systems represent technological solutions allowing integration of virtual and real worlds. As the importance of information in technology rises, AR has become a great contribution to many applications. Already since the origins of AR, industry has always belonged among the key application areas. The recent advances in both wearable and portable devices supporting AR significantly increase the applicability of AR. In connection with the new challenges arising with the development of Industry 4.0, AR systems present a great tool to productivity improvement and user experience enhancement. This is a reason, why Industrial augmented reality is considered to be one of the key parts of Industry 4.0 concepts. The principal aim of this study is to describe AR technology with emphasis put on manufacturing industry and its role in Industry 4.0 initiatives.

## 1 Introduction

The fourth industrial revolution creates new challenges for industries and manufacturing companies to improve and change their business. The products must be more personalized, the processes more flexible, faster and at lower costs. In order to meet these expectations, the companies invest in new emerging technologies that help to increase the flexibility of the manufacturing processes and support the decision-making procedures. One of the essential technologies supporting the challenges of the quickly developing Industry 4.0 is AR. In manufacturing application AR is discussed as a potentially powerful tool in order to improve productivity, process efficiency and flexibility. On the other hand, AR is still not widely spread in manufacturing and offers great potential for use and improvement.

## 2 Augmented Reality

The rapid growth of the computing power, increasing storage possibilities and still lower mobile device costs are opening new opportunities for usage of AR. One of the fields that has been exploiting the expanding functions offered by the mobile devices is AR which can be defined as a branch of computer research that focuses on the possibilities of combining the real world with data generated by computer. The mobile phones, smartphones, PDAs and others are cheap and light hardware platforms with a simple and well-known user

interface which are nowadays widespread. Moreover, practically all of them are equipped with camera and display with high resolution which allows the user the see-through way of interaction, which makes them an interesting alternative to classic hardware solutions.

## 2.1 Definition of Augmented Reality

Although the core technology described in this study is AR, it is also appropriate to determine the difference between AR, VR and MR. Whereas AR is a technology which enables the access to digital information and overlays that information with the physical world, VR allows users to take part in a simulated reality experience. MR (Mixed Reality) compared to AR offers the user the interaction with digital objects placed in the real surroundings. The above-mentioned terms were set into context by Paul Milgram, who defined the Reality-Virtuality Continuum as shown in Figure 1 [1]. In Milgram's definition of AR, the whole area of real-to-virtual environment is described. Milgram introduces 4 main sections:[1]

- Real environment
- Augmented Reality
- Augmented Virtuality
- Virtual Environment (VR)

Augmented Virtuality was here defined as part of mixed reality continuum, in which the real objects are added to virtual ones. As well as VR these both work in the virtual environment compared to AR which is based on the real environment. [1]

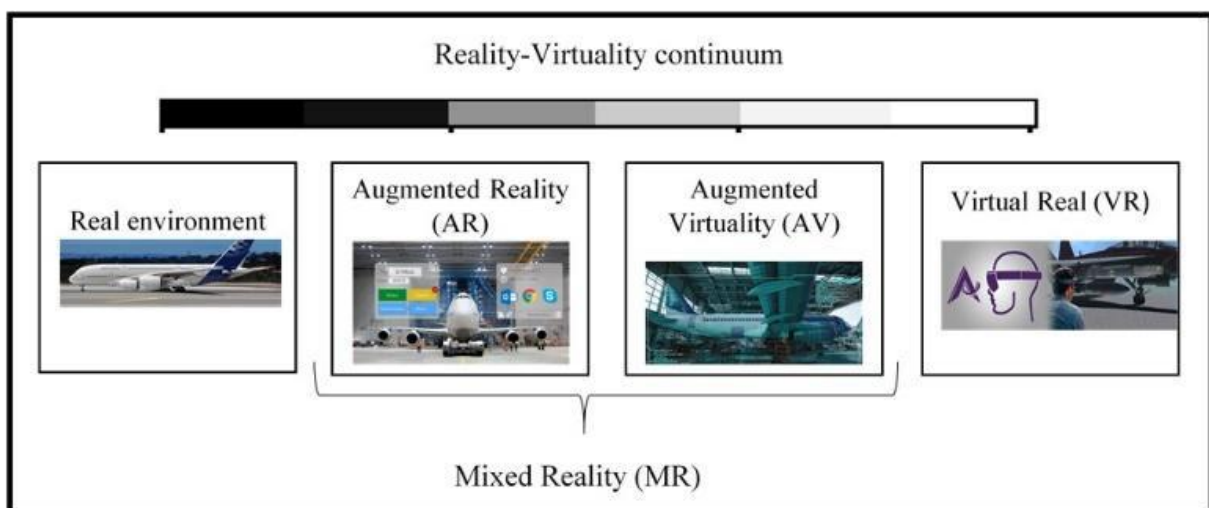


Figure 1 - Reality-Virtuality continuum

Although AR has been a popular and quickly developing concept mainly in the last years, its origins are dated back to the 1960s. Authors assign the first

reference to a Harvard Professor Sutherland who invented the first AR prototype device in 1968. It was the first Head Mounted Display (HMD), which was worn on head and had inbuilt a display optic. This optic enabled the user the immersion into a visually simulated 3D surroundings. [2]

However, this innovation stayed unexplored for many years after its first appearance. It was not until 1990s when the popularity of AR began to rise when scientists Tom Caudell and David Mizell developed first AR system by using an HMD. The main goal of this experimental AR system was to simplify the manufacturing process in aviation. [2]

In the upcoming years, many researchers were developing prototypes to simulate various industrial applications of AR.

AR technology was expanding and so was the interest in it not only of the scholars and scientists but also the companies in many areas of application, such as Military, Medicine, Aviation, Engineering or Manufacturing.

The rapid growth of the computing power, increasing storage possibilities and still lower mobile device costs have been opening more and more new opportunities for AR technology usage. Significant hardware progress as well as development of software like AR Toolkit considerably conducted to the progress of AR systems. [3]

Mobile devices and smartphones have become a necessity and fundamental component of modern consumption and life. As the technology improved, its application by companies started to be more common. Some examples of practical usage of AR can be mentioned, such as Volkswagen's app MARTA specialized in car manuals, instructions for mechanics but also in cosmetic purposes of car design. Another well-known practical application was Google Glass, revealed by Google in 2014. Although the success of Google Glass did not live up to initial expectations it was a very important step in AR development.

Much more successful application of wearable AR system were HoloLens introduced by Microsoft in 2016. Tests showed that confirmed that this technology contributes to error decrease alongside the boosting of productivity and efficiency. [3]

According to the recent development suggestions, future with importance of augmented reality should be increasing significantly. It is expected that the customers in general will be working with a reality enriched with virtual content. AR is therefore a very promising field which is constantly growing and has high impact on a lot of fields of usage.

There is a vast array of definitions of AR and authors differentiate in defining AR. In general AR can be defined as a technology which is based on real-time data visualisation.

Rauschnabel [5] defines AR as an innovative media format that integrates virtual information into a user's perception of the real-world. Milgram and

Kishinott [2] defined AR in short to be a way in which the real-world is augmented with virtual objects.

Craig [6] specified AR as „medium in which digital information is overlaid in the physical world that is in both spatial and temporal registration with the physical world and that is interactive in time to create the visual alignment of virtual content with real- world contexts”.

Azuma et al. [7] describe Augmented Reality as a system that supplements the real world with virtual (computer-generated) objects that appear to coexist in the same space as the real world. These systems combine virtual and real objects in a real environment, also they are running interactively and in real time and align real objects and virtual ones geometrically in the real world.

The definitions are therefore similar to the definition of Virtual Reality (VR). The main difference is the fact that whereas in VR the user is usually completely separated from the reality by using of special goggles and moves constantly in a completely virtual world, the user in AR is never disconnected from reality.

AR applications typically combine a real-world image with graphics and text, updating in real time.

Azuma points out that the use of AR does not have to be eliminated only to sight, AR can apply to other senses including hearing, touch and smell. Azuma also discusses a subset of AR in so called mediated or diminished reality. This subset represents the alternative option explaining that the core of AR is not always based on adding or placing a virtual object over a real-world scene. On contrary, the AR application sometimes requires the removal of an existing object in the real-world scene in order to be replaced. [7]

## **2.2 Supportive technologies**

AR application requires the usage of relatively complex and advanced technologies which have been a significant obstacle to more advanced application of AR. With the rapid evolution of these technologies, AR is becoming more accessible and affordable. In the following section the key information regarding the supportive technology with focus on displaying and tracking is summarized.

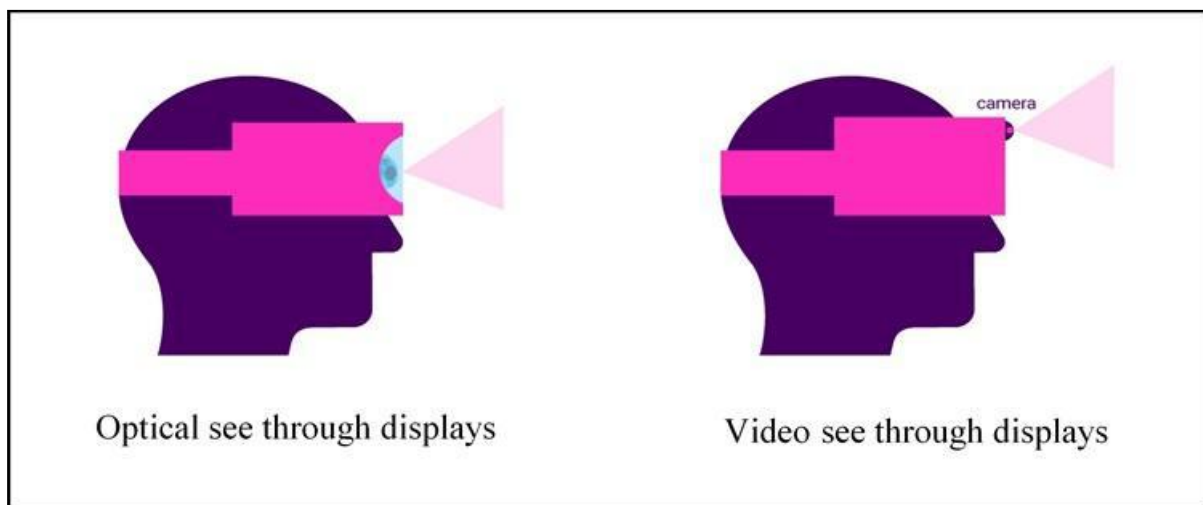
### **2.2.1 Displays**

There are several main categories which can be used to view the merged real and virtual environments: [4]

- Head-mounted Displays
- Handheld Displays
- Spatial Displays

HMD are mounted on the head of the user. HMD therefore enable the aerial view of real and virtual environment. These displays can work in two different

ways, optical see-through (OST) and video see through displays (VST) as shown in Figure 2 [8].



*Figure 2 - Optical see through display, Video see through display*

VST are equipped with 2 cameras which capture real surroundings and transfer these surroundings in real-time into the graphics processors. The audio-visual is processed and projected on the screen. Advantages and disadvantages of VST can be described. The user can for instance control the light intensity or contrast of the real-surroundings and virtual elements. To the main disadvantages of VST belong narrow field of vision caused by the positioning of the camera, eye-offset and low resolution.[8]

OST on the contrary uses optical elements which are partially reflective and partially transmissive. Due to the mirrors which transmit light it is possible to see the real-world environment. At the same time, the computer-created content is projected on the display which is positioned sideways or in front of the mirror. [8]

The advantages of OST are for example better natural resolution or their ability to work without access to power. On the other hand, OST cannot control contrast or brightness.

HHDs are systems held by the user's hand, typically tablets or smartphones. HHDs use VST technology. The principal benefit of HHD is its portability. Also, due to the fast evolution of smartphones all over the world the accessibility of the technology is quickly rising. The vast majority of these devices are equipped with cameras and Global Positioning Systems (GPS) being therefore an excellent platform for AR application.

The disadvantages of HHDs are for example high power consumption and relatively small display.

Spatial displays are not connected with the user's body compared to HMD and HHD. The technologies used in spatial displaying to display information are projectors, VST, OST.

Among the most general problematic areas of use concerning the optimal characteristics of the displays belong insufficient resolution, brightness, contrast and limited field of view.

Regarding the practical use of these AR displays the weight, size, costs and power consumption are the main concerns.

### **2.2.2 Tracking**

The key goal of the AR registration is the correct tracking of viewing orientation of the user. To make the system of augmented reality work correctly, it is necessary to determine the relative position and orientation of users who move in it. Some technologies allow multiple users to be tracked, however, this functionality is not always easy to achieve.

The visual tracking usually needs to modify the environment by placing the markers. A marker is a physical object placed in the scene which is picked up by a sensor and used for quick detection and registration. Markers are often symbols or pictures. [10]

Another important factor is positioning. It is necessary to decide whether it works only in a limited, pre-prepared one space (for example in a closed room) or if it is possible to determine the position even in an unbounded space, e.g. outside the building.

### **2.2.3 Active technologies**

Active technology is characterized by the use of transmitters that are located in known positions in a real environment. A receiver is used to determine the position, which measures the distance relative to several other transmitters and by triangulation determines the position. To determine the orientation more receivers are needed in a constant relative position. The signal can be radio waves, light or ultrasound. The distance can be determined, for example, based on the flight time of the signal or its strength.

According to Yokokohji [11] the well-prepared indoor environment can support a very good registration. The advantage of this method is accuracy and reliability. The disadvantage is that the system works only to a limited extent and a pre-prepared space, which must be provided with a large number of systematically deployed transmitters. Another disadvantage of active transmitters is that they require for their operation constant supply of energy. [12]

Also, advantages of hybrid-tracking are often used. An example of such hybrid tracking can be Spatial Mapping.

Spatial mapping describes the process of an AR device literally mapping the space. This is done through computational geometry and computer-aided engineering that create a mesh that lays over the environment. All devices generate this mesh, which looks like a series of triangles placed together like a fishing net. Spatial mapping makes it possible to place objects on real



surfaces. This helps anchor objects in the user's world and takes advantage of real-world depth cues. [13]

When combining e.g. magnetic and video sensors the individual weaknesses of the technologies can be compensated while exploiting the strengths of both sensors. A system combining accelerometers and video tracking demonstrates accurate registration even during rapid head motion.[11]

#### **2.2.4 Passive technologies**

Passive technology does not require transmitters, but uses existing environmental signals, e.g. the magnetic field of the Earth. Artificial passive signals can be added to the environment, too. The advantage is the simplicity of the system and the implicit support of multiple devices. The disadvantage is poor accuracy and, in the case of optical localization, the dependence on the quality of the lighting.[12]

### **3 Field of application**

As mentioned before, AR can be used in many fields, such as medicine, military, marketing, navigation, aviation, maintenance, assembly, repair and others.

In medical sector AR has considerably contributed to risk reduction. For instance, scanning of the patient in real-time and sharing this information with specialists not present during the surgery can cause significant efficiency improvement.

Combination of AR principle and GPS in the smartphones greatly raises the comfort of the user experience in navigation.

Relatively well-known military application of AR is so called Tactical Augmented Reality (TAR). TAR is supposedly going to radically transform military operations and information access from military training and information sharing among the squads to segmented vision in operation. [14]

Marketing is a very important field of use. As it appeals to different senses of the customer and creates emotional attachment it is a very important marketing tool with big potential. That is why currently clothing, cosmetics and furniture companies make use of AR opportunities. Example of marketing application is shown in the Figure 3. [15]



*Figure 3 - Example of AR Marketing Applications*

In the following section industrial AR and its application in manufacturing will be defined more deeply.

### **3.1 Manufacturing**

New product development and implementation is an extremely complex process greatly dependent on proper exploitation of Computer-aided systems (CAD). In addition, companies in manufacturing industry also use Computer-aided manufacturing systems (CAM). It is necessary for companies aiming to achieve the maximal profit to utilize modern technologies. The pressure on manufacturing plants and their production processes increases to produce new innovative products with great productivity and efficiency, with excellent quality and at the same time at the lowest costs and lead time as possible. Moreover, environmental regulation and corporate social responsibility are becoming more limiting. In order to maintain competitiveness, it is needed to constantly innovate processes to minimize costs, maximize profits and satisfy customers' needs. AR presents a tool which can be used by manufacturing companies to keep up with the demanding trend.

Main fields of application of AR in manufacturing are Assembly, Quality Control, Automation or Repair and Automation.

### **3.2 Assembly**

Complex assembly is an essential process in modern manufacturing. The number of components which need to be assembled together in often very complicated and precise sequence of operations within a very short time can be very challenging. Implementation of AR system in this area can reduce the

need to study pdf or video manual and can replace it by interactive instructions, example shown in Figure 4. [16]

Three main features used in assembly process support can be described: audio support, enhanced text and interactivity. Since the quality of the assembly operations strongly depends on the quality of the information in the AR system it is necessary to correctly select and set the AR system.

Text and its integration are very often an essential part of the AR supporting system. It contains important additional information needed to correctly perform the task.

Audio support eliminates mistakes caused by poor vision. Audio signals are very helpful especially during training of new operators.

Interactive AR support when performing assembly tasks is very comfortable for the users as they can interact with the 3D features placed over real environment in real time. [17]



*Figure 4 - Assembly and Maintenance Workflow with AR*

### **3.3 Maintenance**

Maintenance support through AR system in manufacturing is relatively well developed. First reference to first AR maintenance operation was described by Feiner [18]. Because of the AR maintenance support, it is often no more needed to call a service technician when a machine fails. Through AR technology the machine can be scanned and the defect detected. Moreover, the repair instructions can be projected in real-time into the real-surroundings without the need to study long and detailed documents. [16]

In case of complicated machine failure, the needed external expert does not have to travel to the plant to examine the machine. The expert can assist the worker through AR system to perform the maintenance tasks. This fact should presumably increase the efficiency of the experts as they can support more issues at the same time without the need to travel to the site. The costs and the time consumption connected with the travelling of the experts are therefore eliminated. [19]

### 3.4 Automation

Automation is an AR technology of great importance. With the recent progress in smart manufacturing more jobs are being automated. A big influence has AR systems mainly in robot programming (see Figure 5). In order to correctly programme industrial robot, it is needed to respect faultlessly the working space both in real and virtual environment. AR technology contributes to increase safety of the operators. Also, it helps to improve the skills of the workers. Correctly set AR system in robot collaboration can significantly enhance productivity in manufacturing industry. [5]



*Figure 5 - Automation with AR*

### 3.5 Quality control

Development and production of the product is a very complex process from conception and designing to realisation. Although improvement in productivity or efficiency is a big topic in manufacturing industry, quality of the final product is a must which cannot be jeopardized. Any correction of defect at any stage of the production is very uneconomical. When a defect occurs, it must be detected as soon as possible. Any lag between the creation and detection of the defect raises extremely the costs concerned. In the worst scenario when the defect gets through to the customer, not only are the costs extremely high, but also the customers' confidence in the company and its products is threatened. Quality control procedures are therefore a huge priority in manufacturing industry. AR presents an effective solution to manage quality at various levels of production process.

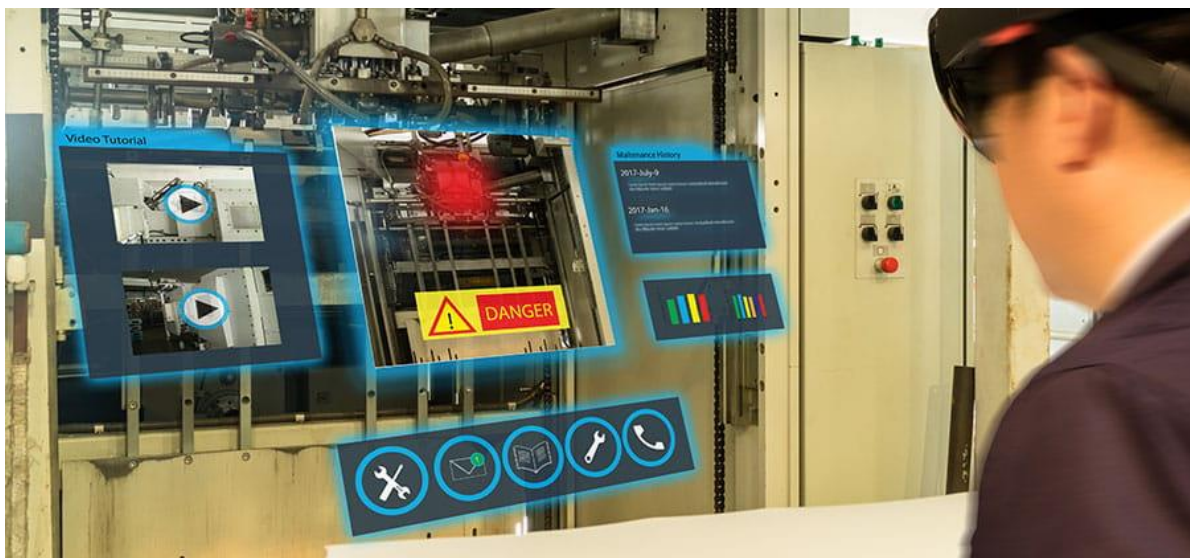
As the variety and complexity of the products increases, the quality control is much more demanding and concerning limitations of human inspectors it can become less effective. AR technology provides an interesting solution as the inspectors are enabled to directly compare real product with its ideal visual

model. AR systems in quality inspection are used for instance in companies Bosch or Porsche. [21]

### 3.5.1 Training

One of the most expanded areas of implementation of IAR is Training. Augmented and virtual reality technologies increase the level of training programmes in plants and supplement the missing qualifications through more effective training of the new workforce. Training of new employees is 30 to 40% more efficient and contributes to shortening the assembly time.[27]

Companies that were the first to use augmented and virtual reality in manufacturing are proving the usefulness of these technologies in supplementing skills and in changing the way management technicians are trained and evaluated as older workers retire in order to retain and share professional knowledge and intellectual property.[26] Augmented and virtual reality also prove their usefulness in increasing employee productivity and safety (see Figure 6).[28]



*Figure 6 - Safety Improvement with AR*

Manufacturers have been facing a shortage of skilled workers for years, even before a period of record low unemployment. The reasons are workers' retirement, business expansion and deepening skills shortages.

The most difficult positions to fill are usually those that have the greatest impact on the operation of the company. Technical positions such as management technicians, skilled operators, mechanics and engineers are critical to expanding operations, implementing digital transformation initiatives and increasing productivity. These are also the positions that require the most training and investment.

Internal training programs are the key to attracting and developing the workers that manufacturers need. However, traditional methods, such as training manuals, imitation learning, or assessment and certification

processes, are often considered to be obsolete, inefficient, and time consuming. These methods also address the need to take into account different learning styles - visual, listening, verbal, etc.[7]

## **4 Augmented Reality in Industry 4.0**

Industrial AR is considered a central part of the fourth industrial revolution initiatives. Generally, its main contribution is the fact, that the operators can relatively easily access the relevant digital information and compare this information with the real product in real environment and in real time. Therefore, AR allow the workers to eliminate the difference between the real and virtual world.

### **4.1 Augmented Reality Trends in Industry 4.0**

At the moment, the estimated annual growth rate of IAR market is projected of around 74 % in the period 2018-2025. [23] The aggregated market of industrial AR is projected to reach 76 billion USD in 2025 [23]. The precise development is dependent on the speed of growth and progress of AR systems.

In general, it is agreed that importance and potential of AR are very high. However, the authors agree that the implementation in practical applications in manufacturing is relatively very challenging. Most of the research confirm the improvement of features connected with the application of AR in industrial task (example of application is shown in Figure 7) [24]. That means that when an industrial operation is supported with AR technology, the task is most likely completed in shorter time and with lower error risk. Studies show the importance of the correct task and worker selection. Generally, experts show that the positive impact of AR systems are lower by specialists, on the other hand it is relatively higher with untrained operators.



*Figure 7 - Example of smart factory*

However, there are still aspects preventing the widespread adoption of AR, mostly concerning acceptance tasks and usability. Even though the operation supported by AR technology have supposedly higher rate of efficiency both regarding time and quality the influence of AR on performance is strongly connected with the complexity and nature of the operation performed. Moreover, the studies confirm that the level of expertise and experience of the workers have also a significant impact. Generally, the lack of methodology to measure impact of AR on workers' performance in manufacturing industry is considered one of the biggest limitations of widespread AR application.

Industrial AR belongs to key pillars of the Industry 4.0. It enables the connection of workers with the physical world while overlaying the real-world scene with the digital information.

Even though the AR market is quickly rising, the wide adoption in industry is still relatively low. The industrial digitalisation and Industry 4.0 in general exploit the opportunities of new emerging technologies. In spite of increasing importance of intelligent automation, the workers are still the crucial part of the manufacturing operations.

Even though, one of the key principles of the Industry 4.0 is to enable the automation and digitalisation of the manufacturing processes, the importance of the workers, their knowledge and the possibility of working in smart factories with intelligent manufacturing environments is strongly emphasised.[25]

The EU classified already in 2015 Industrial Augmented Reality as one of the main technologies which will drive the smart factories development.

Longo [26] sees the main opportunity of IAR in the human-machine interactions enabled through visualising interactive and contextual information.

Many companies nowadays consider AR to be important opportunity to provide new services to their customers related to their products.

According to Wang IAR enables a substantial efficiency benefit by providing flexible real-time information and the possibility of obtaining information hands-free. IAR at the same time contributes to error rate decrease. Moreover, it offers an easy way to communicate with experts regarding technical support. [27]

## **4.2 Benefits**

Augmented reality addresses the needs of diverse learning styles and has many benefits. Augmented reality:[25]

- helps workers to orient themselves more effectively when navigating the plant and warehouse;
- provides step-by-step instructions;
- identifies the appropriate tools and parts needed for the task;
- projects an overlay of key performance indicators and operational data directly onto the device to show how the plant is responding to change.
- ensures the visual, listening and kinaesthetic nature of teaching;
- provides real-time visual and oral instructions;
- during work, warns of corrective actions and corrects them, provides real-time feedback;

Augmented reality provides the means to combine the best of both assessment methods. Students are subjected to practical tests and at the same time valuable data necessary for improving training are captured. Augmented reality can detect if the wrong part was used, if the assembly steps were performed in the wrong order, if the operation takes too long, and even if the incorrect step caused a safety risk.[10]

With the use of augmented reality, the effectivity of the transfer of expertise can be increased. Instead of performing the process and devoting hours of work to documenting it, skilled technicians can create an augmented reality experience in a passive way. Augmented reality uses advanced sensors and computer vision technology to capture image and sound, while allowing to document the plant's place and work processes. Management technicians can perform the action with the headset on and comment on their actions as if they were training someone else. At the same time, augmented reality documents and transmits information into training materials for future use,



which can be published either as an augmented reality experience or in more traditional formats such as video, photographs and text documents.

In addition to an effective departure process, augmented reality can address skills shortages by creating connections between remote professionals and manufacturing plants. It also provides more flexibility for workers who are entitled to retire but may wish to continue working part-time or remotely.[10]

### **4.3 Challenges and limitations of AR**

While the potential of the IAR is great and eventually very beneficial for manufacturing companies, there are many limiting factors that cause still a relatively low portion of projects and prototype which successfully work in the industry processes.

The main challenge of the AR application is to increase the portion of the prototypes matured successfully into the practical world.

Azuma divides the limitations into three following groups:[7]

- Technological
- User interface
- Social acceptance

As the biggest limit to wider expansion of the AR the technological limitations are seen. In order to enable the wide deployment of AR, the systems must be as light, cheap, accurate and little power consuming as possible.

One of these limits is also processing speed. In order to support the complex tracking solutions, the processing power must be increased.

The user interface is also being stressed out since the representation of the data and optimal interaction of the user with the data acquired by AR systems is essential.

Another crucial challenge of the tracking is the low latency. The system delay is the root cause of the most registration errors.

Another big issue is ergonomics. Especially hands-free systems, typically head-mounted displays need their ergonomics to be improved. Despite the effort to optimise these devices, the weight is still a limiting factor which must be resolved. Moreover, the visibility of the content also needs improvements as well as the very high-power consumption, insufficient field of view or options of working outside of the lab conditions.

For widespread adoption, AR systems should be integrated into the existing IT infrastructure seamlessly.

In connection with aspirations of wide acceptance of AR applications there are social issues to be solved. A very sensitive and crucial issue are the privacy concerns. However, some authors also point out for instance concerns connected with fashion aspects and willingness of the users to wear the device.

One of the most crucial questions is the user acceptance when implementing the new technology. The privacy concern when using AR is of great importance. It is still relatively unclear which measures should be taken to counteract the privacy concerns from the user perspective. [25]

## 5 Summary

The Industry 4.0 is most certainly lead to relatively major changes in society, trade, economy, education as well as in manufacturing. While industry keeps moving and changing towards increased digitalisation and development of smart factories, the intelligent manufacturing tools, concepts and technologies must support this progress. A very promising technology which could in the future help with interaction of workers with the digital world of the smart factories is Augmented Reality. However, there are still some limits and obstacles in wide use of AR in manufacturing processes and it has not yet been prepared for deployment in some industrial areas, it is already used in other areas with good success. Nevertheless, the research context regarding AR concepts is increasing and the current obstacles and limits might be in the upcoming years overcome.

## Acknowledgment

This paper was created with the support of an internal grant from the University of West Bohemia project number SGS-2018-031 entitled Optimization of the sustainable production system parameters.

## References

- [1] MILGRAM, P., COLQUHOUN, H. *A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration*. University of Toronto, Canada, 2001.
- [2] MILGRAM, P., KISHINOTT, F. Special issue on networked reality. *IEICE Trans. Inf. Syst.* 1994, 77(12), 1321–1329.
- [3] HOOVER, M. *An evaluation of the Microsoft HoloLens for a manufacturing-guided assembly task*. Iowa, 2018. Graduate Theses and Dissertations. Iowa State University.
- [4] CARMIGNIANI, J., FURHT, B., ANISETTI, M., CERAVOLO, P., DAMIANI, E., IVKOVIC, M. Augmented reality technologies, systems, and applications. *Multimedia tools and applications*, 2011, 51(1), 341-377.
- [5] RAUSCHNABEL, P. A., He, J., Ro, Y. K. Antecedents to the adoption of augmented reality smart glasses: a closer look at privacy risks. *J. Bus. Res.*, 2018, 92, 374–384.
- [6] CRAIG, A. B. *Understanding Augmented Reality: concepts and applications*. Amsterdam: Elsevier, 2013.
- [7] AZUMA, R., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S., MACINTYRE, B. Recent advances in augmented reality. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 2001, December, 34–47 .

- [8] ROLLAND, J. P., FUCHS, H. Optical versus video see-through head-mounted displays in medical visualization. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 2000, 9(3), 287-309.
- [9] PALMARINI, R., ERKOYUNCU, J.A., ROY, R., TORABMOSTAEDI, H. A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 2018, 49, 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>.
- [10] BHATTACHARYA, B., WINER, E. A method for real-time generation of augmented reality work instructions via expert movements. In: M. Dolinsky, I.E. McDowall (Eds.), *The Engineering Reality of Virtual Reality*, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2081214>.
- [11] YOKOKOHI, Y., SUGAWARA, Y., YOSHIKAWA, T. Accurate Image Overlay on Video See-through HMDs Using Vision and Accelerometers. *Proc. IEEE Virtual Reality*, 2000, 247-254.
- [12] KIYOKAWA, K., KURATA, Y., OHNO, H. An Optical Seethrough Display for Mutual Occlusion of Real and Virtual Environments. *Proc. Int'l Symp. Augmented Reality 2000 (ISAR 00)*, 2000, 60-67.
- [13] Spatial Mapping. *Unity* [online]. 2020 [cit. 2020-09-07]. Available: <https://docs.unity3d.com/2018.3/Documentation/Manual/SpatialMappingComponents.html>
- [14] RUBLOWSKY, S. J., CRYE, C. C. *U.S. Patent No. 9,677,840*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2017.
- [15] Augmented Reality: *Eight AR Marketing Applications For Brands In 2019*. Forbes [online]. 2019 [cit. 2020-09-07]. Available: <https://www.forbes.com/sites/theyec/2019/09/17/augmented-reality-eight-ar-marketing-applications-for-brands-in-2019/#1a8ff66e1b3b>
- [16] WEBEL, S. et al. *Augmented Reality Training for Assembly and Maintenance Skills*. BIO Web of Conferences, 2011. doi: 10.1051/bioconf/20110100097
- [17] WANG, Y., ZHANG, S., YANG, S. et al. Mechanical assembly assistance using marker-less augmented reality system. *Assembly Automation*, 2018, 38, 77-87.
- [18] FEINER, S., MACINTYRE, B., SELIGMANN, D. Knowledge-based augmented reality. *Communications of the ACM*, 1993, 36(7), 53-62.
- [19] MOURTZIS, D., ZOGOPOULOS, V., VLACHOU, E. Augmented Reality Application to Support Remote Maintenance as a Service in the Robotics Industry. *Procedia CIRP*, 2017, 63, 46-51.
- [20] KYJÁNEK, O. et al. Implementation of an Augmented Reality AR Workflow for Human Robot Collaboration in Timber Prefabrication. *Proceedings of the 36th ISARC*, 2019, 1223-1230. doi: <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0164>
- [21] BOSCH, T., KÖNEMANN, R., de COCK, H., van RHIJN, G. The effects of projected versus display instructions on productivity, quality and workload in a simulated assembly task. *Proceedings of the 10th International*

- Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 2017, 412-415.
- [22] YOU, S., NEUMANN, U., AZUMA, R. Hybrid Inertial and Vision Tracking for Augmented Reality Registration. *Proc. IEEE Virtual Reality*, 1999, 260-267.
- [23] BIS Research. *Global Augmented Reality and Mixed Reality Market: Analysis Forecast 2018-2025*, 2018.
- [24] Augmented Reality: Exponential Technologies in the Smart Factory [online]. [cit. 2020-09-07]. Available: <http://strategy4.org/my-blog/augmented-reality-exponential-technologies-in-the-smart-factory>
- [25] MASOOD, T., EGGER, J. Augmented reality in support of Industry 4.0: Implementation challenges and success factors. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2019, 58, 181–195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003>.
- [26] LONGO, F., NICOLETTI, L., PADOVANO, A. Smart operators in Industry 4.0: A human centred approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 113, 144–159.
- [27] WANG, X., ONG, S. K., NEE, A. Y. C. A comprehensive survey of augmented reality assembly research. *Advances in Manufacturing*, 2016, 4(1), 1–22.
- [28] Four ways Industry 4.0 technology can improve Safety. PTC [online]. [cit. 2020-09-07]. Available: <https://www.ptc.com/en/thingworx-blog/4-ways-technology-can-improve-worker-safety>

# Využití ergonomických a racionalizačních metod za účelem zvýšení efektivity pracoviště

Ilona Kačerová <sup>1</sup>, Filip Rybníkář <sup>1</sup>, Pavel Vránek <sup>1</sup>, Martin Kába <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika

[ikacerov@kp.v.zcu.cz](mailto:ikacerov@kp.v.zcu.cz)

[rybnikar@kp.v.zcu.cz](mailto:rybnikar@kp.v.zcu.cz)

[vranek@kp.v.zcu.cz](mailto:vranek@kp.v.zcu.cz)

[kaba@kp.v.zcu.cz](mailto:kaba@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Článek se zabývá ergonomickými metodami pro hodnocení určitých faktorů fyzické zátěže pracovníků manuálního pracoviště. Výzkum byl detailně zaměřen na měření lokální svalové zátěže a hodnocení ergonomie pracovního místa. S ohledem na výsledky ergonomického auditu byly poté navrženy racionalizační opatření pro zmírnění únavy pracovníků a zvýšení efektivity posuzovaného pracoviště.

## 1 Úvod

Počátky ergonomie lze nalézt již v raných fázích vývoje lidstva, nejednalo se však o pojetí ergonomie jako známe dnes, nýbrž o jednoduché uzpůsobování pracovních nástrojů potřebám jejich uživatele. Za první primitivní ergonomické operace lze považovat úpravu lidských obydlí pro zvýšení jejich pohodlí. Největší progres proběhl v meziválečném a válečném období 20. století. Pohled na ergonomii se v průběhu jejího vývoje velmi změnil, na přelomu 20. a 21. století dominoval především rozvoj pokročilých systémů automatického řízení, automatika a výpočetní technika, v dnešní době je však kladen důraz na pracovní rizika, bezpečnost práce, a především pracovní pohodu. [6]

V dnešní době je na průmyslové podniky v oblasti ergonomie kladen velký důraz. Zaměstnavatelé si pomalu začínají uvědomovat, že ergonomické programy mají ve významných zahraničních podnicích výrazný podíl nejenom na jejich konkurenceschopnosti a prosperitě, ale také na dlouhodobé stabilitě. Ergonomie je považována za prostředek, který vede ke zvyšování efektivnosti lidské práce. Odprostit se od mechanocentrického přístupu nutí podniky především legislativní omezení, které obvykle vychází z ergonomických zásad, ale také národní a mezinárodní standardy společností. Je třeba si uvědomit, že ergonomické programy přináší podniku nejenom zvýšení kvality výroby, ale zajišťují také efektivitu jednotlivých provozů, snížení výrobních nákladů, snížení fluktuace zaměstnanců a také přispívají ke snížení nákladů na péči o zdraví pracovníků. [1]

Zajištění ergonomie v podniku je jedním z hlavních pilířů dobře fungující společnosti, a to především díky tomu, že udržuje zaměstnance v dobrém

zdravotním stavu. Při návrhu či uspořádání pracoviště je třeba si položit několik otázek, od těch nejjednodušších až po ty složitější. Jsou polohy pracovníka při vykonávání činnosti přijatelné? Jaké jsou dosahové zóny pracovníka v rámci pracovního procesu? Jakým způsobem manipuluje pracovník s břemeny? Využívá pracovník při výkonu práce nadbytečnou sílu? Kolik pohybů rukou pracovník během směny vykoná? Nejenom na tyto otázky je třeba si při navrhování pracoviště odpovědět a vše přizpůsobit především lidem, protože právě ti jsou srdcem společnosti. V České republice je ergonomie zakotvena v legislativě a měla by být striktně dodržována. Pokud podnik nesplňuje požadavky státu, hrozí mu velmi vysoké pokuty.

Článek popisuje řešení ergonomie v rámci projektu na optimalizaci výrobních pracovišť. Projekt byl zpracován v průmyslovém podniku, kde probíhá výroba dílů do leteckého průmyslu. Hlavní činností operátorů v této výrobě je manuální nanášení lepidla na díly pomocí lepicí pistole, díly jsou po slepení k sobě a oschnutí u pracovního stolu přebroušeny ruční bruskou do výsledné podoby. Práce je vykonávána vstoje s občasným přecházením k pracovnímu stolu s manuální bruskou. Výška pracovního stolu je standardizována pro všechny pracovníky (80 cm). Norma se liší dle typu výrobku. Práce je vykonávána ve dvousměnném provozu v 7,5hodinových směnách + 30 minut přestávka na jídlo a odpočinek. Pracoviště je vyobrazeno na obrázku 2, který je v kapitole níže.

## 2 Posouzení ergonomičnosti pracoviště

Česká legislativa nařizuje podmínky ochrany zdraví při práci ve všech sledovaných faktorech práce. Článek je zaměřen na zátěž fyzickou, proto nejsou v potaz brány ostatní aspekty pracoviště (hluk, biologičtí činitelé, světlo apod.). Obecně lze říci, že fyzická zátěž pracovníka lze rozdělit do tří kategorií:

- celková fyzická zátěž a ruční manipulace s břemeny,
- pracovní poloha,
- lokální svalová zátěž. [3]

Jednou z využívaných metod pro hodnocení pracovních poloh je metoda RULA, která není v legislativě ČR zakotvena, je však velmi často používána v rámci ergonomických auditů především kvůli její jednoduchosti.

Metoda RULA vznikla již roku 1993 na univerzitě v Nottinghamu. Je celosvětově známá a uznávána pro hodnocení ergonomických rizik při pracovním postoji a při manipulaci s břemeny. RULA se používá především pro hodnocení poškození horních končetin vznikajících v souvislosti s pracovní činností. V rámci RULA hodnocení je hodnocena poloha horních končetin (paže, předloktím zápěstí), krk, trup a nohy. Každé části těla je přiřazena bodové hodnocení. Body následně projdou korekcí s ohledem na svalové a silové působení a následně je vypočteno celkové skóre viz grafické vyobrazení níže. [2]



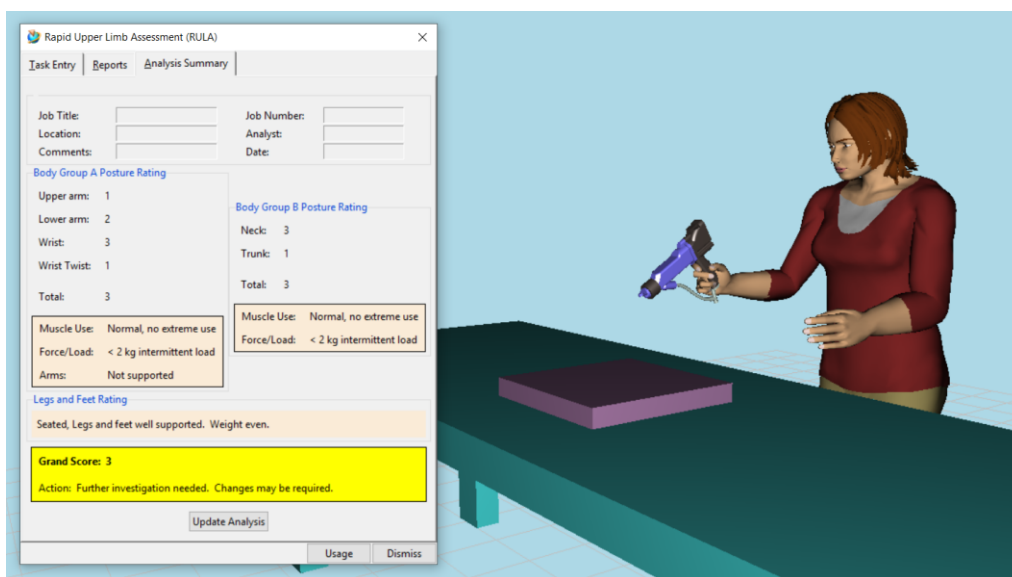
Obrázek 1 - Postup hodnocení pomocí metody RULA [2]

Celkové skóre je rozčleněno do 4 kategorií rizikovosti:

1. **kategorie** – práce přijatelná, není potřeba změn na pracovišti,
2. **kategorie** – práce je lehce riziková, je vhodné provedení určitých změn,
3. **kategorie** – práce riziková, je velmi žádoucí provést změny pro zlepšení pracoviště,
4. **kategorie** – extrémně riziková práce, jsou urgentní požadavky na změny pracoviště. [2]

Vzhledem k povaze genderového rozdělení pracovníků na pracovišti byl pro analýzu pomocí softwaru Tecnomatix Jack použit model člověka, který odpovídá průměrné postavě dle německé databáze (žena, 162,5 cm, 66 kg).

Nejprve byla metodou RULA zkoumána pozice pracovnice stojící u pracovního stolu a držícího lepicí pistoli, tato pozice byla ohodnocena 3 body, spadá tedy do 2. kategorie, tato práce se dá označit za lehce rizikovou, je zde doporučeno provádět další změny pro racionalizaci pracoviště.



Obrázek 2 - Hodnocení pracoviště pomocí metody RULA

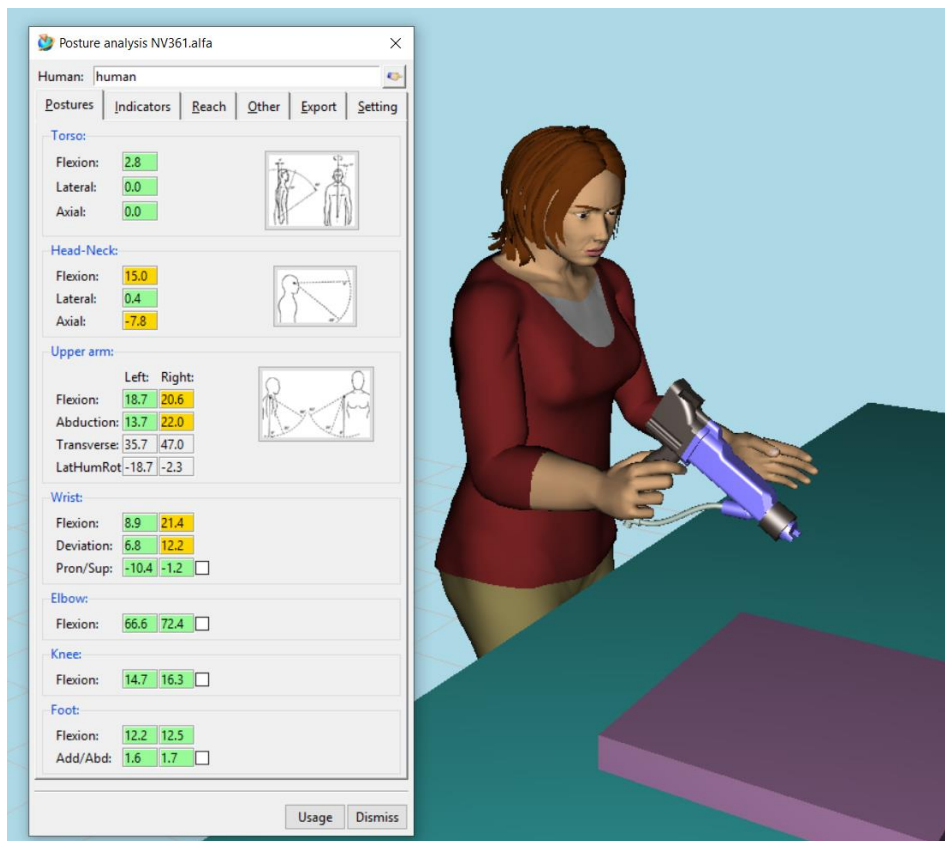
Rozdělení prací do kategorií RULA analýzy není korespondující s rozdělením kategorií prací v rámci kategorizace prací v České republice. Povinnost kategorizace prací je dána §37, ze zákona č. 258/2006 Sb., o ochraně veřejného zdraví, vč. vyhlášky č. 432/2003 Sb., které rozdělují práce na 4 kategorie podle stanovených pravidel. Toto rozdělení je základním prostředkem, který se podílí na hodnocení vlivu práce na zdraví zaměstnance. Jednotlivé kategorie jsou definovány mírou překročení hygienických limitů a rizikem ohrožení zdraví. V rámci kategorizace fyzických faktorů jsou pracoviště dělena do tří pracovních kategorií:

1. **Kategorie** – není pravděpodobnost nepříznivého vlivu na zdraví pracovníků.
2. **Kategorie** – vliv na zdraví pracovníků je výjimečný, zejména u vnímavých jedinců. Hygienické limity nejsou překračovány.
3. **Kategorie** – hygienické limity jsou překračovány, je potřeba používat osobní ochranné pracovní pomůcky, statisticky je také častější výskyt nemoci z povolání. [7]

Z tohoto důvodu byla pracovní pozice analyzována dle NV č. 361/2007 Sb. Toto nařízení vlády stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci. Legislativní nařízení rozděluje pracovní polohy dle jejich přijatelnosti na přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné. Dále definuje průměrný hygienický limit pro dobu práce v jednotlivých podmíněně přijatelných pracovních polohách v průměrné 8 hod. směně na 160 minut. Průměrný hygienický limit pro polohy v nepřijatelné poloze na 30 minut v průměrné 8 hod. směně. [3]

V rámci pozorování pracovního postupu byl pořízen videozáznam pro detailnější zachycení pracovních úkonů a pracovních poloh. Videozáznam byl následně podroben detailnímu rozboru jednotlivých činností a pracovních poloh úhlů posuzovaných částí těla. V případě pracovníce na pracovišti lepení byla práce přijatelná s několika částmi v podmíněně přijatelné poloze. Za problematickou oblast byla označena pravá horní končetina, a to od ramene až po zápěstí. Poloha lokte není specificky v rámci české legislativy prozatím definována. Problém nastal v držení pistole, která není ergonomicky vhodná. V podmíněně přijatelné poloze byl také krk.





Obrázek 3 - Hodnocení pracoviště podle NV 361/2007 Sb.

Za nejproblematictější oblasti byla označena pravá horní končetina pracovnice, která vzhledem k její poloze není vhodná a pracovníkům může způsobovat pracovní komplikace jako je například syndrom karpálního tunelu. Vzhledem k negativním indikacím analýzy RULA a z hodnocení pracovních poloh dle české legislativy bylo rozhodnuto, že pracoviště bude přeměřeno z hlediska lokální svalové zátěže pomocí integrované elektromyografie.

Lokální svalová zátěž je zátěž malých svalových skupin při výkonu práce horními končetinami. V rámci měření lokální svalové zátěže se zjišťují a posuzují vynakládané svalové síly, počty pohybů a pracovní polohy v závislosti na rozsahu statické a dynamické složky práce. Měření proběhlo pomocí integrované elektromyografie, pomocí přístroje EMG Holter, který je legislativou jediný uznávaný přístroj v České republice. [5]

Pracovní činnost byla přeměřena na dvou standardních pracovnicích.

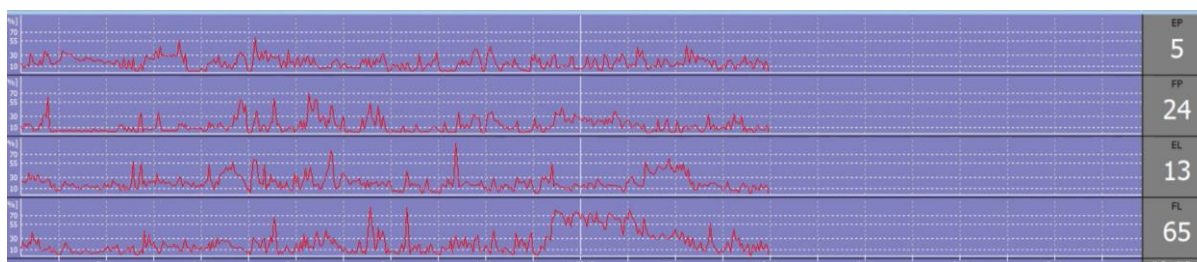
Pracovnice 1:

- Věk: 40 let
- Výška: 167 cm
- Váha: 62 kg
- Dominantní horní končetina: levá,
- Maximální síla stisku: PHK 29,3 kg
- Maximální síla stisku: LHK 24,6 kg

Pracovnice 2:

- Věk: 34 let
- Výška: 167 cm
- Váha: 59 kg
- Dominantní horní končetina: pravá
- Maximální síla stisku PHK: 23,7 kg
- Maximální síla stisku LHK: 25,4 kg

V průběhu měření integrovanou elektromyografií dochází ke snímání elektrofyziologických biopotenciálů z vyšetřovaných svalových skupin ruky a předloktí – extensorů a flexorů. Výsledné údaje jsou následně zpracovány pomocí speciálního softwaru EMG Analyzer. Výsledkem měření jsou relativní hodnoty vynakládaných svalových sil v tzv. % Fmax. [4] V rámci výzkumu byla provedena synchronizace výsledků EMG měření s videem pracovního procesu, díky synchronizaci byly zjištěny úkony, při nichž byly vykonávány nadlimitní síly (nad 70 % Fmax, 55 – 70 % Fmax).

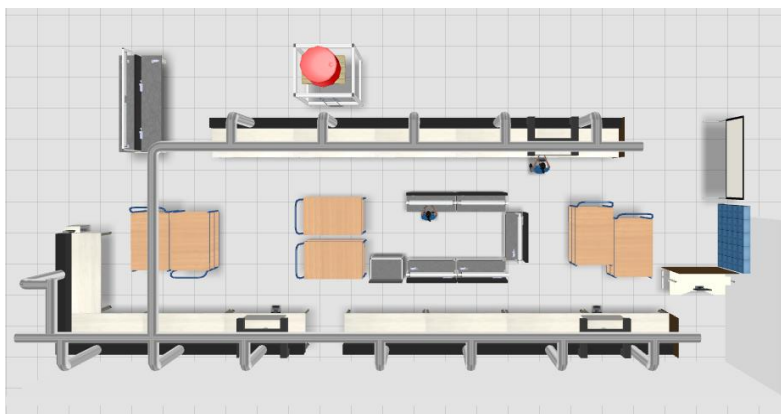


Obrázek 4 - Křivky EMG signálů – držení brusky

Vzhledem k citlivosti údajů nelze výsledky měření zveřejnit. Z měření však vyplynulo potvrzení dosavadních obav, poloha pravé končetiny byla označena za nepříjemnou a bylo třeba vykonat urgentní nápravná opatření. Dalším ze zjištění bylo, že za problematickou oblast lze z hlediska lokální svalové zátěže označit také broušení dílů, bruska byla značně těžká a pracovníci drželi horní končetinu v nepříjemné poloze po dlouhou dobu, čímž se zvýšil i výsledek EMG měření.

### 3 Racionalizace výrobní linky

V rámci nápravných opatření bylo nutné pracovat s problematickým rozmístěním stolů, které musí kvůli instalaci odvětrávacího systému zůstat v dosavadním rozložení. Uspořádání stolů na lepení zůstalo stejné. Na pracovišti však vznikly 2 pracovní linky po každé straně. Linka pro složitější kusy a linka pro jednodušší kusy. Změnu pozice na pracovišti mělo pouze pracoviště broušení, které bylo přesunuto mezi pracovní linky. Dříve bylo až za rohem pracoviště lepení a pracovníci museli své slepené díly nosit velmi daleko.



*Obrázek 5 - Nové uspořádání linky*

Nápravná opatření však neskončila u změny layoutu pracoviště. Zároveň se změnila technologie nanášení lepidla na pěnové díly. Vzhledem k nepříznivým výsledkům EMG bylo v rámci návrhu této varianty pracováno se sprchou/tryskou nanášející lepidlo svrchu – vždy při stlačení nožního pedálu, čímž by se odbouralo držení lepicí pistole. Lepicí sprchy jsou schovány za plexisklo, aby lepidlo nestříkalo mimo. Pracoviště broušení bylo, jak již bylo zmíněno výše, umístěno mezi linky. Brusky byly zakomponovány do stolů – jedna bruska horizontálně, druhá vertikálně a případně jedna bruska pro manuální broušení, kterému je ale třeba se v nejlepším případě úplně vyvarovat.



*Obrázek 6 - Návrh nožního pedálu a nanášení lepidla pomocí trysky*

## **4 Závěr**

Ergonomie pracovního místa je dlouhodobě používána a v současné době inovována tak, že využívá kombinaci mnohých ergonomických nástrojů. Jejím hlavním přínosem je nalezení úspor pomocí snížení celkových nákladů na realizaci výroby, snížení výskytu nemocí z povolání a snížení fluktuace zaměstnanců.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] BUREŠ, M. *Tvorba a optimalizace pracoviště*. 1. vyd., SmartMotion s.r.o., Plzeň, 2013. ISBN 978-80-87539-32-3
- [2] A step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool. In: ergo-plus.com [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://ergo-plus.com/rula-assessment-tool-guide/>
- [3] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. In: zakonyprolidi.cz [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>
- [4] Elektromyografie (EMG) - Moje zdraví. Moje zdraví - péče o psychickou i fyzickou pohodu [online]. 2001 [cit. 5.7.2019]. Dostupné z: <https://www.mojezdravi.cz/vysetreni/elektromyografie-emg-1922.html>
- [5] EMG Holter - Fyziologie práce. Uživatelský manuál [online]. 2018 [cit. 14.7.2019]. Dostupné z: <http://fyziologie.getacentrum.cz/ke-stazeni/>
- [6] MAREK, J., SKŘEHOT, P. *Základy aplikované ergonomie*. VÚBP, v.v.i., Praha, 2009, 118 s. ISBN 978-80-86973-58-6.
- [7] Kategorizace prací - BezpečnostPráce.info [online]. 2013 [cit. 04.12.2019]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostprace.info/dokumentace/kategorizace-praci/>

# Tvorba projektu výrobnéj haly a overenie layoutu výroby uplatnením simulačných prostriedkov

Marek Kliment <sup>1</sup>, Miriam Pekarčíkova <sup>1</sup>, Ladislav Rosocha <sup>1</sup>, Štefan Král <sup>2</sup>,  
Tomáš Švantner <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Management, Industrial and Digital Engineering  
Park Komenskeho 9, Košice, Slovakia

[marek.kliment@tuke.sk](mailto:marek.kliment@tuke.sk)  
[miriam.pekarcikova@tuke.sk](mailto:miriam.pekarcikova@tuke.sk)  
[ladislav.rosocha@tuke.sk](mailto:ladislav.rosocha@tuke.sk)

<sup>2</sup> Slovak legal metrology  
Hviezdoslavova 1124/31, Banská Bystrica, Slovakia

[kral@slm.sk](mailto:kral@slm.sk)  
[svantner@slm.sk](mailto:svantner@slm.sk)

**Anotácia:** Mnoho podnikov rieši oblasť rozmiestnenia a umiestnenia výroby. Príspevok je zameraný na činnosť výrobnéj spoločnosti, ktorá sa rozhodla vybudovať nové výrobné priestory. V týchto priestoroch chce zjednotiť výrobu, ktorá bola doposiaľ rozdelená na dve samostatné funkčné jednotky. Ide o strojársku spoločnosť pôsobiacu v kusovej a malosériovej výrobe. Umiestnenie strojov je preto potrebné starostlivo zvážiť a výrobu sa snažiť urobiť čo najviac plynulou, ako pre zákazky malého aj väčšieho objemu. V príspevku je spracovaný postup jednotlivých činností, ktoré budú zahŕňať realizáciu myšlienky výstavby novej výrobnéj haly od jej začiatku až po zahájenie výroby. V stručnosti popisuje aj prostriedky ktoré boli využité pri projektovaní tejto haly.

## 1 Úvod

Cieľom príspevku je vypracovať návrh layoutu pre výrobný proces spoločnosti, ktorá plánuje výstavbu novej výrobnéj haly. Spoločnosť touto investíciou plánuje optimalizovať logistické procesy a náklady spojené s transportom výrobkov medzi viacerými prevádzkami. Pri spracovaní projektu a jeho postupností sme využili viacero softvérov. Postup realizácie projektu harmonogram postupnosti operácii bol spracovaný v MS Project. Následne v rámci riešenia pôdorysu a spôsobu výstavby haly boli uplatnené CAD programy a pre vypracovanie rozmiestnenia strojov v už navrhnutéj hale bol využitý simulačný softvér, ktorý nám zároveň umožnil aj prvýkrát vidieť výrobný proces v pohybe. Výroba vo výrobnéj hale je zameraná na trieskové obrábanie strojárskych dielov. V hale sa budú nachádzať obrábacie CNC stroje, zariadenia na prípravu delenie a vŕtanie materiálu. Pri súčiastkach kde sa vyžaduje povrchová úprava termochémickými procesmi ako sú alkalické čistenie za tepla a zinočnaté fosfátovanie, bude súčasťou výrobnéj haly aj linka na tieto procesy. Spoločnosť sa podľa požiadaviek zákazníkov a

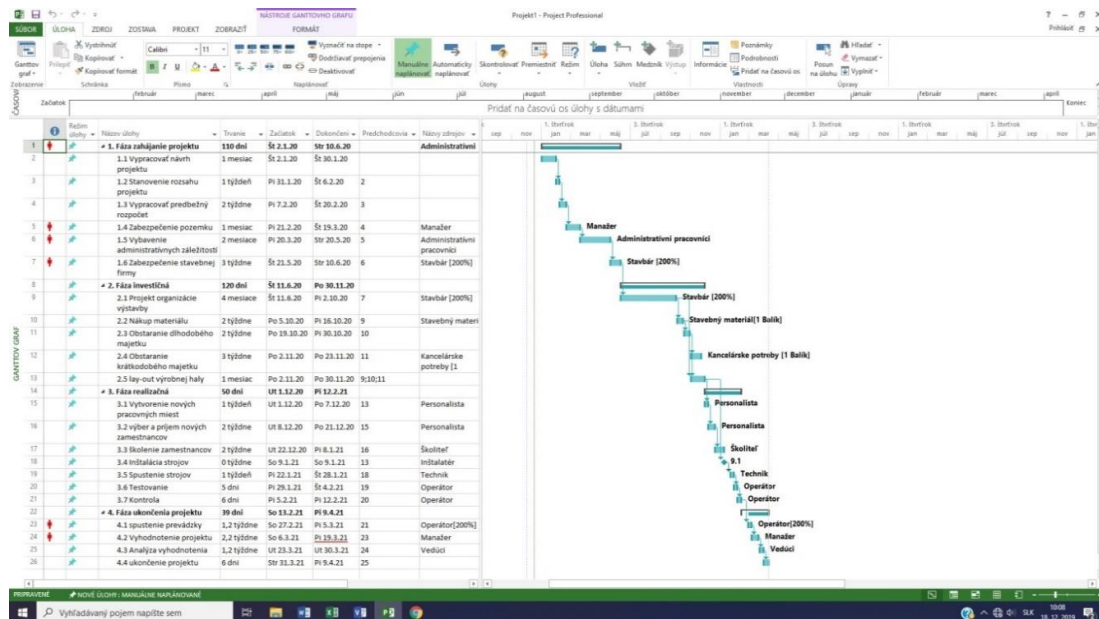
objednávok zaoberá aj klampiarskou činnosťou a taktiež zváraním rôzneho druhu. Všetky tieto procesy budú súčasťou jednej výrobnéj jednotky zastrešenej v jednom výrobnom komplexe.

## 2 Fázy projektu a postup jeho realizácie

Využili sme softvér MS Project pre spracovania potrebných krokov pre spracovanie celého projektu. Výstupom z tohto softvéru bol Gantov diagram postupnosti a náväznosti jednotlivých krokov realizácii. Jednotlivé kroky postupu, môžeme vidieť v tabuľke č. 1 a gantov diagram na obrázku č. 1.

Tabuľka 1 - Vstupné údaje pre realizáciu projektu v MS Project

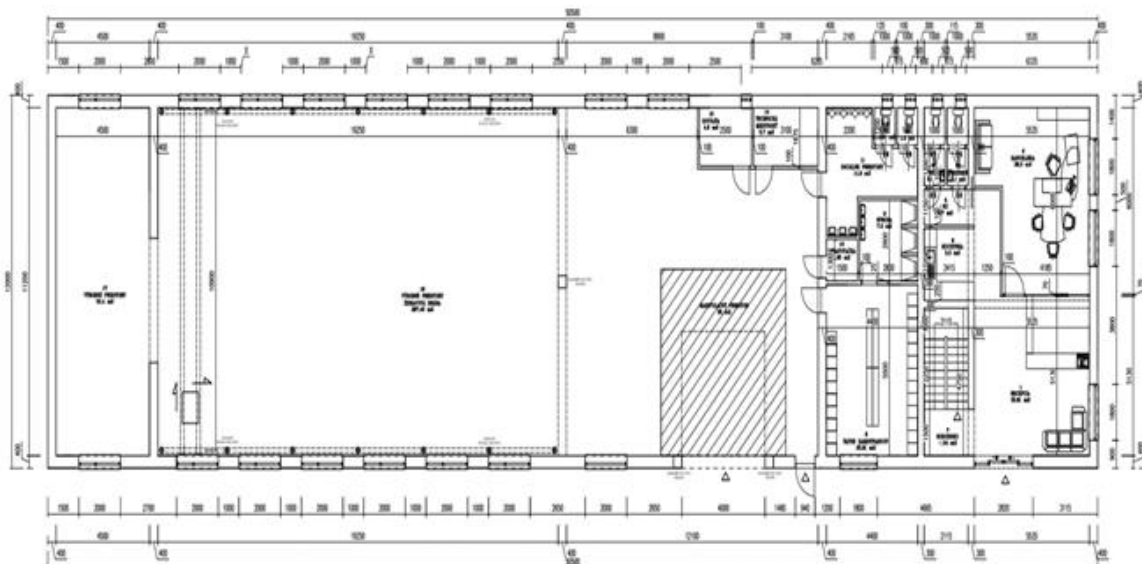
Úloha	Názov úlohy	Bezprostredne predch. činnosť	Odhad doby trvania
1.	Fáza zahájenia projektu	-	-
1.1	Vypracovať návrh projektu	-	1 mesiac
1.2	Stanovenie rozsahu projektu	1.1	1 týždeň
1.3	Vypracovať predbežný rozpočet	1.2	2 týždne
1.4	Zabezpečenie pozemku	1.3	1 mesiac
1.5	Vybavenie administratívnych záležitostí	1.4	2 mesiace
1.6	Zabezpečenie stavebnej firmy	1.5	3 týždne
2.	Fáza investičná	-	-
2.1	Projekt organizácie výstavby	1.6	4 mesiace
2.2	Nákup materiálu	2.1	2 týždne
2.3	Obstaranie dlhodobého majetku	2.2	2 týždne
2.4	Obstaranie krátkodobého majetku	2.3	3 týždne
2.5	Lay –out výrobnéj haly	2,1,2.2,2.3	1 mesiac
3.	Fáza realizačná	-	-
3.1	Vytvorenie nových pracovných miest	2.5	1 týždeň
3.2	Výber a príjem nových zamestnancov	3.1	2 týždne
3.3	Školenie zamestnancov	3.2	2 týždne
3.4	Inštalácia strojov	2.5	1 týždeň
3.5	Spustenie strojov	3.4	1 týždeň
3.6	Testovanie	3.5	5 dní
3.7	Kontrola	3.6	6 dní
4.	Fáza ukončenia projektu	-	-
4.1	Spustenie prevádzky	3.7	1,2 týždne
4.2	Vyhodnotenie projektu	4.1	2,2 týždne
4.3	Analýza vyhodnotenia	4.2	1,2 týždne
4.4	Ukončenie projektu	4.3	6 dní



Obrázok 1 - Gantov diagram realizácie a nadväznosti v projekte

## 2.1 Pôdorys výrobnjej haly

Ako je možné vidieť v tab.1 bod 2.5 je posledným bodom v investičnej fáze rozpracovaného projektu a pozostáva z vytvorenia layoutu výrobnjej haly. Pre optimálne vytvorenie layoutu výrobnjej haly, bol prevzatý pôdorys celej haly s vypracovaného stavebného projektu. Pôdorys celej výrobnjej haly môžeme vidieť na obrázku č. 2.



Obrázok 2 - Pôdorys výrobnjej haly

Vo výrobnjej hale sa budú nachádzať tieto priestory: manipulačný priestor, výrobné priestory, recepcia, šatne pre zamestnancov, jedáleň, sociálne

priestory, kancelárie, kuchynka, technická miestnosť a sprchy. Ako je vidno spoločnosť v tomto priestore neplánuje mať len výrobné priestory, ale aj priestory sociálneho zabezpečenia taktiež reprezentatívneho a administratívneho charakteru. Po výstavbe tejto haly by sa mala stať novým kľúčovým sídlom celej spoločnosti a súčasné výrobné priestory by sa mali využívať len okrajovo, prípadne sa prenajať na iné účely.

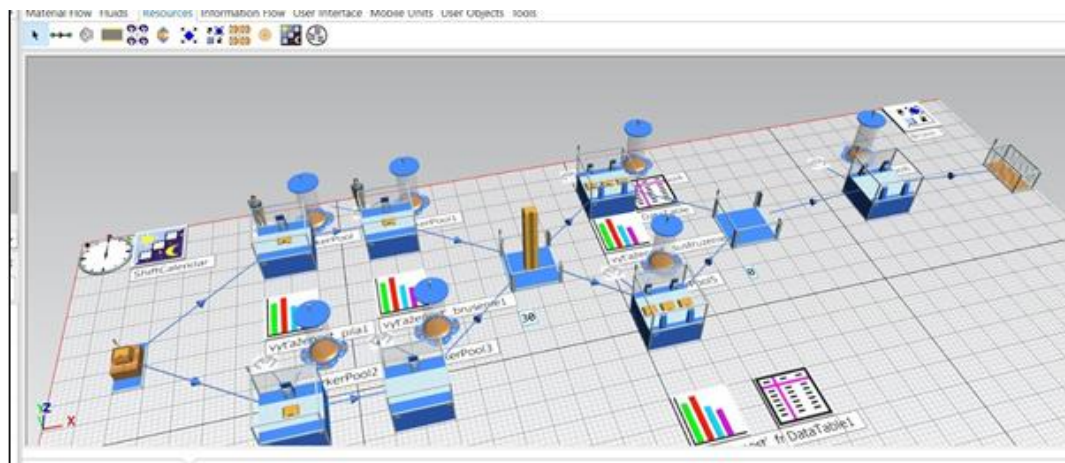
## **2.2 Návrh rozmiestnenia zariadení**

Po vypracovaní a návrhu dizajnu celej haly sa pristúpilo k riešeniu rozmiestnenia zariadení, ktoré spoločnosť potrebuje pre svoju výrobnú činnosť. Keďže produkcia je zameraná vo väčšej miere na malosériovú a kusovú výrobu bolo možné vypracovať najprv model haly a následne do neho vkladať zariadenia. Pri spracovaní modelu a pôdorysu haly sa dbalo nato aby boli priestorové možnosti predimenzované. Spoločnosť počíta do budúca s rozširovaním a inovovaním strojového zariadenia a preto v súčasnej dobe priestorové možnosti radšej nadhodnotí a zariadenia bude podľa svojich možností postupne dopĺňať a vymieňať. Treba však pri riešení rozmiestnenia strojov vychádzať aspoň z výrobného programu, ktorý v súčasnosti zastrešuje. Pre rozmiestnenie jednotlivých pracovísk sme si vybrali niekoľko modelových a typových dielov, ktoré sa vyrábajú vo väčšom objeme, prípadne sa častejšie opakujú, či už rozmerovo ako aj typovo. Tento výber nám umožnil vytvoriť modelové situácie ako by bolo možné stroje usporiadať pri ich osadzovaní. Pre overenie efektívnosti rozmiestnenia strojov sme využili simulačný model Tecnomatix Plant Simulation. Do tohto modulu sme si vložili pripravený pôdorysný model projektovanej haly a skúšali sme viaceré možné varianty ich rozmiestnenia a softvér nám pomohol vyhodnotiť ich viaceré varianty.

### **2.2.1 Variant 1**

Na obrázku 3 môžeme vidieť 3D spracovanie simulácie variantu 1 aj s celkovou štatistikou výrobného procesu. Výrobný proces prebieha v dvoch pracovných zmenách. Na štatistickom vyhodnotení vidíme, že celková produkcia tohto variantu výroby je na hodnote 17,03% čo je pomerne nízka hodnota. Preto sme sa rozhodli vypracovať ďalší variant rozmiestnenia tých istých zariadení v tom istom priestore.





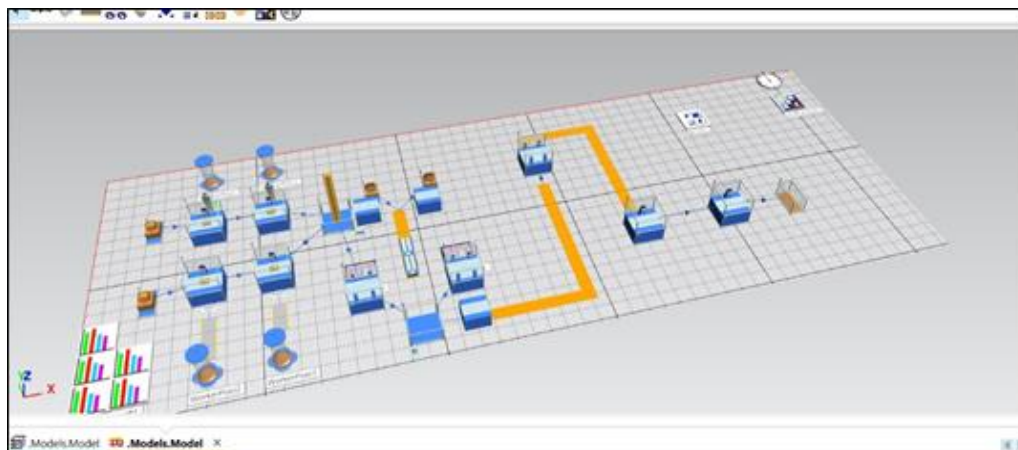
Simulation time: 14:00:00.0000

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted									
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
výstup	Komponent_1	7:33:14.4375	80	6	17.03%	0.00%	82.97%	12.35%	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green, yellow, red);"></div>

Obrázok 3 - 3D layout pre variantu 1 a štatistické zhodotenie

## 2.2.2 Variant 2

Pri spracovaní variantu č. 2 boli pracoviská usporiadané iným spôsobom, ako v prvom návrhu. V tomto návrhu sme brali do úvahy aj možnosť uplatniť na medzi objektovú dopravu vozíky, ktoré by medzi niektorými pracoviskami uľahčovali pohyb materiálu (obrázok č. 4). Pre vypracovanie návrhov na rozmiestnenie zariadení sme brali do úvahy výroby, ktoré sa vo výrobnom procese najviac opakujú za posledných 5 rokov a ich výrobný proces je veľmi podobný. Aj z tohto hľadiska sa pri rozmiestňovaní pracoviská usporiadali, tak aby sa v čo najväčšej možnej miere eliminovala zbytočná doprava materiálu, medzi jednotlivými výrobnými stanicami.



Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted									
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
vystup	Part	4:41.2821	39	146	63.81%	0.00%	36.19%	35.55%	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, green, yellow, red);"></div>

Obrázok 4 - 3D layout pre variantu 2 a štatistické zhodotenie

### 3 Záver

Pri pohľade na štatistické vyhodnotenie Variantu č. 2 vidíme zlepšenie efektívnosti výrobného procesu. Jednotlivo sme vyhodnotili aj všetky stroje a zariadenia, ktoré vo výrobnom procese pracujú a navzájom sme ich porovnali, aby bolo názorne viditeľné, na ktorých pracoviskách došlo k zvýšeniu efektívnosti a kde sa parametre naopak zhoršili (tabuľka č. 2)

Tabuľka 2 - Porovnanie efektívnosti strojov v jednotlivých variantoch

Účinnosť strojov			
	Variant 1	Variant 2	
Píla 1	2,38 %	58,33 %	55,95 % ↗
Píla 2	1,47 %	75,52 %	74,05 % ↗
Brúsenie 1	1,57%	85,94 %	84,37 % ↗
Brúsenie 2	2,90 %	98,44 %	95,54 % ↗
Sústruženie	92,12 %	59,54 %	35,58 % ↘
Frézovanie	92,12 %	61,46%	30,66 % ↘
Povrchová úprava	24,27 %	34,38 %	10,11 % ↗

Celková produkcia sa vo variante 2 zlepšila zo 17,03% na 63,81%. pri operáciách sústruženie a frézovania však pri tomto variante produkcia klesla. Pokiaľ však prihliadame aj na plynulosť výrobného procesu, tak vidíme, že variant 2 sa javí ako výhodnejší. Na danom príklade je viditeľné, že uplatnenie simulácie, môžeme nájsť v rôznych oblastiach životného cyklu výrobku

### PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory grantových projektov APVV-17-0258, APVV-19-0418, VEGA 1/0438/20 a KEGA 001TUKE-4/2020

### Použitá literatúra

- [1] EDL, M., LERHER, T., ROSI, B. Energy efficiency model for the mini-load automated storage and retrieval systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, 1-19. ISSN: 0268-3768.
- [2] STRAKA, M., KHOURI, S., ROSOVA, A., CAGANOVA, D., CULKOVA, K. Utilization of computer simulation for waste separation design as a logistics system. *International Journal of Simulation Modelling*, 2018, 17(4), 583-596.
- [3] KŁOS, S. Implementation of the AHP method in ERP-based decision support systems for a new product development. *Communications in Computer and Information Science*, 2015. ISSN 1865-0929.
- [4] CHROMJAKOVA, F., BOBAK, R., HRUSECKA, D. Production process stability – core assumption of Industry 4.0 concept. In: *5th International Conference on Manufacturing, Optimization, Industrial and Material Engineering*, 2017, 143-154.

- [5] BUCKOVA, M., KRAJCOVIC, M., EDL, M. Computer simulation and optimization of transport distances of order picking processes. *Procedia Engineering*, 2017, 192, 69-74. doi: 10.1016/j.proeng.2017.06.012.
- [6] FUSKO, M., BUCKOVA, M., GASO, M., KRAJCOVIC, M., DULINA, L., SKOKAN, R. Concept of Long-Term Sustainable Intralogistics in Plastic Recycling Factory. *Sustainability*, 2019, 11(23), 6750. doi: 10.3390/su11236750.
- [7] FUSKO, M., RAKYTA, M., KRAJCOVIC, M., DULINA, L., GASO, M., GRZNAR, P. Basics of Designing Maintenance Processes in Industry 4.0. *MM Science Journal*, 2018, March, 2252-2259. ISSN 1803-1269.
- [8] FEDORKO, G., MOLNÁR, V., HONUS, S., NERADILOVÁ, H., KAMPF, R. The application of simulation model of a milk run to identify the occurrence of failures. *International Journal of Simulation Modelling*, 2018, 17(3), 444-457.
- [9] MANLIG, F., SLAICHOVA, E., KOBLASA, F., VAVRUSKA, J. Innovation of business processes by means of computer-aided simulation. *Novel Trends In Production Devices And Systems, Applied Mechanics and Materials*, 2014, 474, 67-72. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.474.67.
- [10] MILLER, A., BUREŠ, M. New Approach to Industrial Engineering Education with the Help of Interactive Tools. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, 174, 3413-3419. doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.1012.
- [11] CMOREJ, T., PANDA, A., BARON, P., POOR, P., POLLAK, M. Surface finishing of 3d printed sample manufactured by fused deposition modeling. *MM Science Journal*, 2017, 5, 1981-1985. doi: 10.17973/mmsj.2017\_12\_201753.

# Dynamic and adaptive allocation of workers to integrate human factors into cyber production systems

Olha Kolesnyk <sup>1</sup>, Peter Bubeník <sup>1</sup>, Martin Gašo <sup>1</sup>, Ivan Antoniuk <sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Industrial Engineering

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia

[olha.kolesnyk@fstroj.uniza.sk](mailto:olha.kolesnyk@fstroj.uniza.sk)

[peter.bubenik@fstroj.uniza.sk](mailto:peter.bubenik@fstroj.uniza.sk)

[martin.gaso@fstroj.uniza.sk](mailto:martin.gaso@fstroj.uniza.sk)

[ivan.antoniuk@fstroj.uniza.sk](mailto:ivan.antoniuk@fstroj.uniza.sk)

**Annotation:** This article presents an adaptive, dynamic, and individualized method of staff allocation. The developed method is based on information about individual workers, a new flexible system of cyber-physical production, and communication between the participants of such a production system. According to the communication scenario, the requirements of the production flow and the production station are compared with the information about the employees. This provides the basis for the decision to assign staff. Workers are only assigned to production stations that match their qualifications and personal characteristics. For better integration of human factors into the CPPS, satisfaction with the work of each worker must also be taken into account. Therefore, a satisfaction value is defined for each production operation and production station and part of the employee information. The goal is to increase productivity in the production system and the satisfaction of each worker.

## 1 Introduction

In order to meet the challenges of globalized markets, shortened product life cycles and the growing demand for individualized products, the German federal government has launched the Industrie 4.0 initiative. The aim of this initiative is to achieve extremely flexible sectors, especially in high-wage countries. To this extent, research is carried out in cyber physical production systems (CPPS), in which cyber physics systems (CPS) consisting of sensors, actors and communication interfaces are implemented in production systems.

The main focus of CPPS is to enable the production of a large number of products in small sizes. A combination of automated and manual manufacturing operations is required to facilitate a highly flexible manufacturing process. However, manual production operations are strongly influenced by the individual professional knowledge and qualifications of each worker.

Workforce management needs to be more flexible in order to predict order slippage and a wide variety of products. Instead of static prepayment, a dynamic allocation of workers is required, which takes into account several different factors, such as the individual qualifications and personal characteristics of each worker. For better integration of human factors into the CPPS, satisfaction with the work of each worker must also be taken into account.

## **2 Cyber physical production system (CPPS)**

The basis of modern production systems are cybernetic systems. The principles of cyber physical systems defined by LEE are cyberization of physics and physicization of cybernetics. Everything that exists is physically represented in the virtual world, and everything that is represented practically exists in the physical world. [1]

Cybernetic systems are systems with embedded software. They are therefore an advancement in embedded systems. These computer systems use sensors to record data and influence physical processes by participants, evaluate and store data, interact with the physical and virtual worlds, interconnect, communicate through interfaces, use global data, and use human-machine interfaces.

Cyber physical production systems are used to equip production participants to acquire intelligent machines, storage systems and production facilities that are able to exchange information with each other, trigger actions and control each other. The Internet of Things and big data are two research areas in this context that are the result of the development of cyber systems. The Internet of Things is a network of all objects in an intelligent factory based on cybernetic systems. [1]

In ideal cyber production systems, all participants carry their own information. All production stations, workers and components in the production system are equipped with structured information storage. Each participant's information can be exchanged through the communication interfaces of cybernetic systems and can be used for autonomous decisions in the production process. Communication in a cyber physical production system can take place via a central server or directly between participants [2].

## **3 Architecture of cyber physical production system**

Based on CPS technologies, there is a framework for a unified Cyber Physical e-commerce Logistics System (CPeLS) from real-time field data collection, through heterogeneous resource coordination and planning, to optimal supply chain synchronization decisions. [2]

The overall platform is built on a cloud architecture that enables three levels of cloud service: Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service

(PaaS), and Software as a Service (SaaS) Architecture of cyber physical production system is shown in Figure 1. Which enables the systematic integration, deployment and sharing of multiple technologies in logical layers. The implementation of enterprise information systems that comply with this standard hierarchy will ensure that the system is usable and extensible for companies. Seamless two-way connectivity and real-time interoperability can be achieved between enterprise, on-floor, work-cell, and IoT application systems. The approach to creating a CPS-enabled business logistics platform is generally applicable when other management standards, strategies or facilities are adopted, whether or not they replace or complement existing solutions. [2]

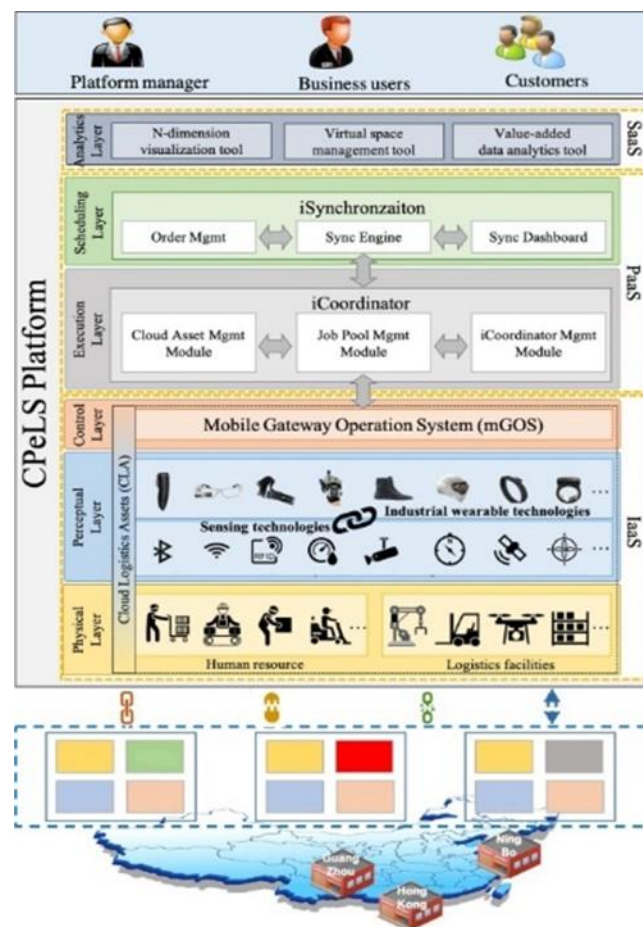


Figure 1 – The overall architecture of the logistics platform with CPS enabled [3]

At the IaaS level, cloud logistics assets (CLAs) are the core technology for transforming physical logistics assets into virtualized cloud agendas. The basic element of the CLA is the Industrial Wearable Object (IWO), which combines sensing technologies with industrial wearable devices. MGOS (Mobile Gateway Operating System) is another basic technology for achieving virtualization of physical resources and for implementing intelligent management in the software aspect. [2]

At the PaaS level, the following two key components are included: 1 – the intelligent coordination system (iCoordinator), as the main technology in the implementation layer, facilitates the execution of a synchronized order

fulfillment process; 2 - an intelligent synchronization system (iSync), which works in the planning layer, is designed to solve synchronization problems in the logistics parks of the store. [3]

At the SaaS level, three services are included: 1 - different stakeholders provide a multi-dimensional visualization tool to control their related synchronization information; 2 - the virtual space management tool includes the concept of a "virtual enterprise" and coordinates different business logistics scenarios in distributed geographic locations with different business goals. CPeLS using standardized and open application programming interfaces. CPeLS also separates the operating environment for deploying prepaid services and provides a secure cloud for enterprise users. Third, the value-added data analysis tool stores theoretical and empirical models to optimize supply-side to demand-side processes. [3]

To ensure data security, all application program interface (API) calls in the proposed system are required to handle authentication. It can dynamically issue certificates to users, allowing them to log in to an active directory environment as if they had a smart card. In addition, information labels should be used so that the system can recognize the level of sensitivity of the data when used as output messages. [3]

#### **4 Dynamic and adaptive worker allocation**

Cyber production systems enable a new automatic form of staff allocation that is dynamic and adaptable. Dynamic allocation of staff is based on demand. This means that the production station requires a worker only when needed. The dynamic nature of the division of workers means that not all workers remain at one production station during one change, but are dynamically redistributed according to the requirements of production operations. [4]

A communication scenario is being developed to explain the concept of dynamic staff allocation in the CPPS. This communication scenario is shown in Figure 2. It is developed with a UML sequence diagram that defines the participants, communication and sequence of activities of each participant. In CPPS, components and production stations negotiate the execution of a production operation based on the individual information of the participants. Components carry a process plan that specifies all manufacturing operations. Each production operation has different requirements for the production station. Based on these requirements and the agreement between the components and the production stations, the corresponding station is automatically selected. [4]

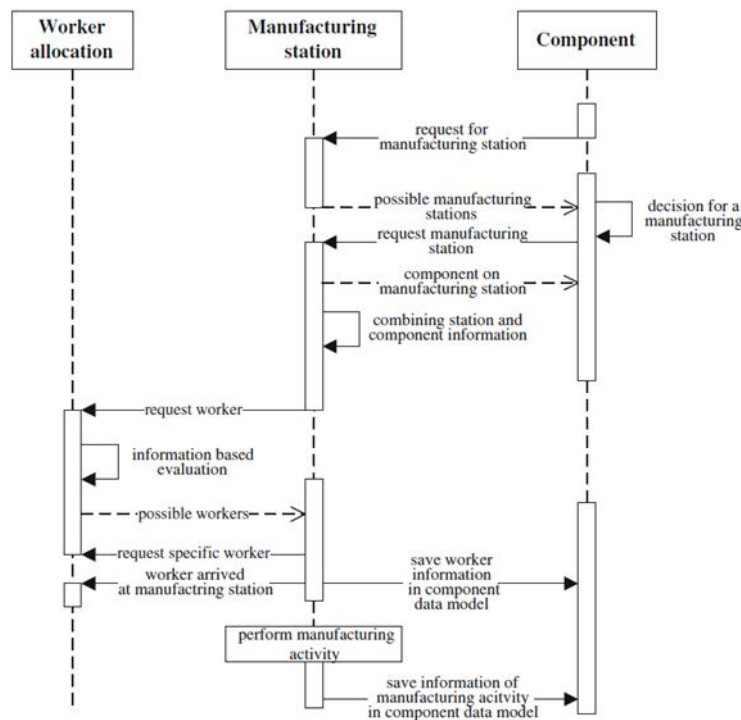


Figure 2 – Communication scenario for dynamic staff allocation [4]

Component and production station information is combined to specify requirements for the worker at the production station. The requirements are derived from this information. The production station requires a worker who meets the requirements. In the dynamic allocation of workers, the requirements are evaluated and potential workers are selected and the production station is informed about them. The production station selects one of the suitable workers. As soon as the required worker arrives at the production station, the production operation is performed. [4]

All communication activities in the communication scenario in Figure 2 must be represented in the data model. This is important to identify the reasons for the autonomous decision, to optimize the communication process, to update the information of each employee, production station and component, and to provide detailed service and customer documentation. [4]

The stored data of the component data model can be completely presented for internal problems and can be displayed with a limited amount of information for users. In order to preserve the privacy of CPPS employees, it is necessary to limit information. [4].

## 5 Fixed and dynamic allocation of staff

When using simulation, a number of workers with different qualifications are taken into account. Four use cases are defined for the implementation and validation of dynamic and adaptable staff allocation. The first use case is a fixed division of workers. Other use cases are defined to demonstrate



the dynamic distribution of workers with different objectives. The principles of fixed and dynamic staff allocation are shown in Figure 3. [5].

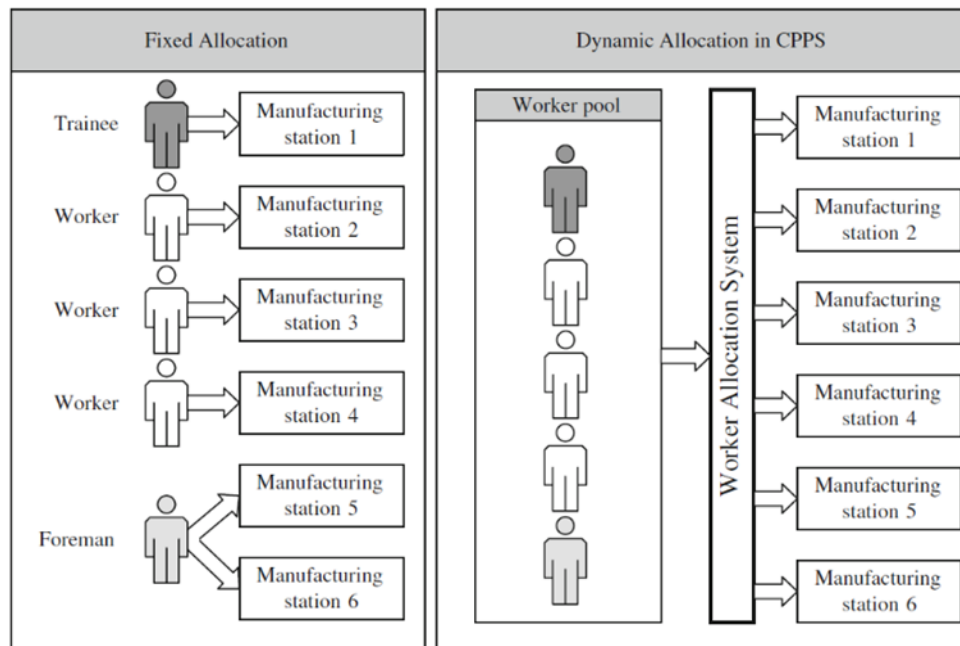


Figure 3 – Fixed and dynamic staff allocation [5]

Workers in the production system in Figure 3 are classified according to their qualifications. Trainee is a new employee at CPPS. He is not used to any of the production stations. Workers are average workers who have worked at CPPS for some time. They are familiar with some production stations and operations. Foreman is the person responsible for the assembly line. He therefore has a good knowledge of all production stations and production operations. [5]

## 6 Conclusion

Dynamic staff allocation for CPPS provides an approach to increase employee productivity and satisfaction through an individual profile model. By taking into account individual profile data, it is possible to optimize production time and the level of satisfaction. The ideal solution depends on the manufacturing company and lies somewhere between maximum productivity and maximum satisfaction.

Finally, the dynamic distribution of workers must be tested in a productive environment. The provision of individual profile data for each worker is currently not yet part of any production facility, but is the basis for the dynamic allocation of workers. Therefore, the dynamic distribution of staff can currently only be tested in research environments.

## Acknowledgments

This work was supported by the KEGA Agency under the contract no.: 022ŽU-4/2018.

## References

- [1] LEE, E. A. CPS foundations. In: *Design Automation Conference (ACM)*, 2010, 737–742.
- [2] GEISBERGER, E. M., BROY, M. *Agenda CPS, Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. Springer: Berlin, 2012.
- [3] KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Securing the future of German manufacturing industry*. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Forschungsunion, 2013.
- [4] KOPETZ, H. Internet of things. In: *Real-time systems*, Springer: Boston, 2011, 307–323.
- [5] GELENBE, E., WU, F. J. Future research on cyber-physical emergency management systems. *Future Internet*, 2013, 5(3), 336-354.
- [6] VAVRÍK, V. *Projektovanie produkčných liniek s využitím princípov rekonfigurácie*. Žilina, 2019. Disertation thesis. University of Žilina. Faculty of Mechanical Engineering.
- [7] FUSKO, M., BUČKOVÁ, M. Smart technologies in future factories. *Technológ*, 2019, 11(2), 79-84. ISSN 1337-8996.

# Porovnání dvou technických variant pro virtuální trénink

David Krákora<sup>1</sup>, Petr Hořejší<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[krakorad@kpv.zcu.cz](mailto:krakorad@kpv.zcu.cz)  
[tucnak@kpv.zcu.cz](mailto:tucnak@kpv.zcu.cz)

**Anotace:** Tento článek se zabývá srovnáním dvou technologií z hlediska využití pro virtuální trénink. Vychází z konceptu digitalizace podnikových dat, které jsou zaměřené na školení a výrobní postupy. Cílem je porovnat dvě technologie, které je možné využívat pro školení a trénování nových zaměstnanců. Pro objektivní porovnání byla vytvořena pilotní studie, ve které se obě varianty testovaly na vybrané skupině. Výsledkem je vizualizace porovnání a výběr efektivnější varianty pro virtuální tréninky.

## 1 Úvod

Vlivem čtvrté průmyslové revoluce se podniky čím dál více zaměřují na digitalizaci svých interních dat. Důvod je zvýšení konkurenceschopnosti, optimalizace podnikových procesů a technické vybavenosti podniku. Jednou z možností převodu dat je jejich virtualizace, konkrétně převedení výrobních postupů na virtuální trénink. Smyslem takového tréninku je simulování reálného procesu do virtuální reality. Jednou z možných využití těchto aplikací je školení nových zaměstnanců. Takto vytvořené aplikace můžeme využít jako školící nástroj pro nové zaměstnance. Mezi hlavní výhody virtuálních tréninků patří podobnost s realitou, zvýšení kvality předávaných znalostí, úspora podnikových zdrojů a bezpečnost nezkušených zaměstnanců. Zásadní nevýhodou je cena technologie.

Článek se zabývá porovnáním dostupných technologií, které se liší v mnoha vlastnostech. Jedním rozdílem je např. pořizovací cena. Jedná se o virtuální brýle společnosti HTC Vive a Leap motion. Součástí porovnání je pilotní studie, díky které se získaly data pro objektivní porovnání. Z naměřených dat byly stanoveny základní statistické hodnoty pro vizualizaci srovnání. Aby bylo možné pilotní studii provést, byl vytvořen virtuální trénink, který se následně implementoval na obě technologie dle jejich specifikací.

## 2 Metodika

Práce byla prováděna dle klasických metodik pro práci s oběma technologiemi a výpočtu základních statistických hodnot. V první části byla provedena analýza variant z hlediska jejich odlišných vlastností a vytvoření vstupních dat pro provedení studie.

## 2.1 Důvody porovnání

Pro většinu průmyslových podniků jsou náklady důležitým faktorem při rozhodování investice pro virtualizaci výrobních procesů. Jedná se o pořizovací cenu, nároky na vybavenost podniku a náklady spojené se skladováním. Některé podniky upřednostňují nižší náklady před kvalitou. Z hlediska vybraných variant by se dalo říct, že se jedná o dvě naprosto rozdílné technologie, které se v těchto variantách liší.

Brýle HTC Vive jsou typickým zástupcem principu Head mounted display. Jedná se o kompletní ponoření uživatele do virtuálního prostředí. Interakce s virtuálními modely je řešena pomocí ovladačů. Senzory zaznamenávají pohyb uživatele (respektive brýlí a ovladačů), který přenáší do virtuální reality. Je důležité mít výkonné externí zařízení, které dokáže vykreslovat grafické části. Celou sestavu můžeme vidět na Obrázku 1 [1].



Obrázek 1 – sestava HTC Vive

Druhou variantou je zařízení Leap motion. Jedná se o technologie, které spadají do principu Haptics, tedy jsou zaměřené na ruce. Princip používání tohoto zařízení je založen na snímání polohy a pohybu rukou. Pomocí určitých pohybů dlaně a provedení gesta jsme schopni provádět různé akce ve virtuální realitě. Tento princip snímání je vidět na obrázku 2 [2].



Obrázek 2 – Leap motion

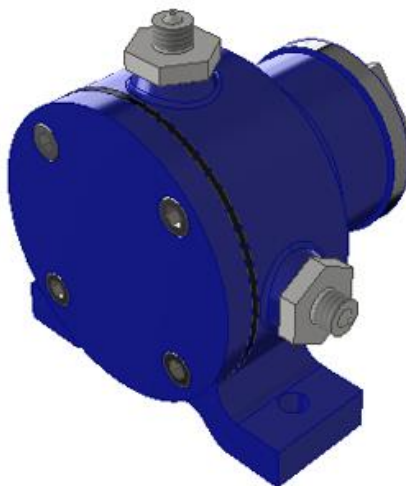
Zvolené technologie mají odlišný přístup z hlediska ovladatelnosti. Liší se z mnoha pohledů. Pro většinu podniků jsou důležité náklady, především pořizovací cena technologie. Leap motion má výrazně nižší pořizovací cenu, také jeho ostatní náklady spojené s jeho údržbou, skladováním nebo nároky na vybavení podniku jsou nižší. Oproti tomu varianta HTC Vive je více uživatelsky přívětivá ať už z pohledu vývoje, interakce s virtuálním prostředím nebo dojmem na uživatele. V tabulce 1 jsou zmíněné nejzásadnější výhody, které technologie proti sobě mají [3].

Tabulka 1 – Rozdíly mezi variantami

HTC VIVE	LEAP MOTION
Snímání pohybu	Pořizovací cena
Vizuální dojem	Náklady na skladování
Komunita	Nároky na HW PC
Interakce s objekty	Přenositelnost

## 2.2 Realizace virtuálního tréninku

Pro možnost samotného srovnání musela být vytvořena aplikace virtuálního tréninku, která se následně implementovala na obě varianty. Navržený trénink byl na obě varianty stejný, aby porovnání mělo co nejvíce podobné výsledky. Virtuální trénink byl zaměřen na montáž rotačního lopatkového kompresoru (viz Obrázek 3). Montáž se skládala celkem ze 14 kroků, při kterých půjde o interaktivní umístění do finální polohy v modelu.



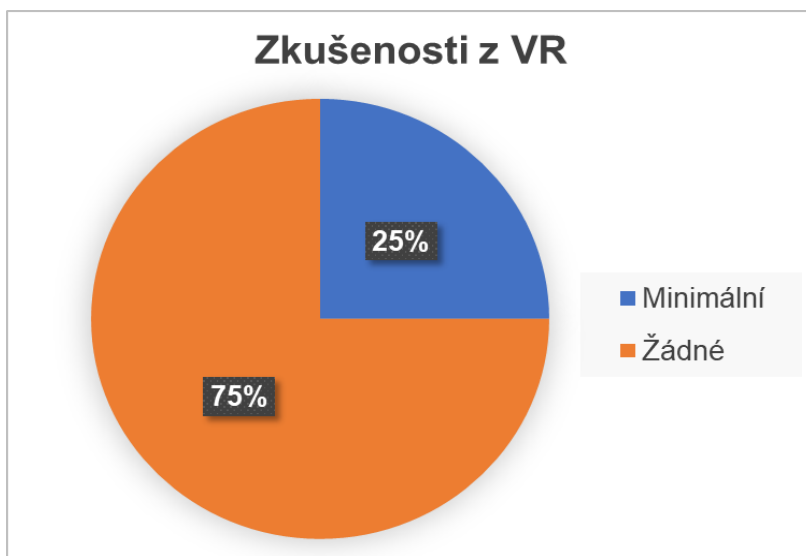
Obrázek 3 – Lopatkový rotační kompresor

Virtuální trénink byl vytvořen v programu Unity, který dokáže vytvářet aplikace na obě varianty. Ke správnému nastavení virtuální montáže byly využity knihovny obou technologií, které mají různé prefaby (před vytvořené moduly) a dokumentace pro správné nastavení ovládání. Díky těmto modulům byl vytvořen stejný montážní postup na obě varianty, který měl pouze jednu

podobu. Jedinou podmínkou je správná verze programu, která musí být minimálně z roku 2017, aby bylo možné vyvíjet na obě technologie.

### 2.3 Návrh pilotní studie

Z důvodu získání potřebných dat pro objektivní porovnání byla navržena pilotní studie, která měla za úkol pomoci zhodnotit obě varianty a zajistit jejich porovnání podle základních kritérií, které jsou uvedené v tabulce 1 (základní rozdíly). Je tedy možné na tento článek navázat detailnější studií, při které se bude zkoumat více pohledů, jako jsou např. chybovost, modularita atd.. Této studii se celkem zúčastnilo 20 lidí, kteří byli rozděleni do dvou kategorií. Každá kategorie testovala pouze jednu variantu. Testující byli ve věku od 19 do 26 let, jednalo se tedy o studenty vysoké školy, kteří nemají problém s adaptací na nové technologie. Podmínkou výběru byly také zkušenosti s virtuální realitou. V ideálním případě jsem vybíral účastníky bez zkušeností, povolenou tolerancí byly minimální zkušenosti na jednu alternativu. Tento stav je zaznamenán na Obrázku 3, kde vidíme, že celkem 75 % testujících bylo bez zkušeností.



Obrázek 4 – Zkušenosti testujících s virtuální realitou

Mezi další požadavky testování patřilo zajištění příjemných podmínek, jako je vnitřní teplota, čerstvý vzduch a dostatečné osvětlení. Z hlediska technologií byly splněny předpoklady na HW vybavení PC, prostor a dostupnost energie. Výstupem studie byla získaná data pomocí online dotazníku, který testující vyplnili ihned po měření. Dotazník byl rozdělen na tři části z hlediska výstupu jednotlivých dat:

1. Časové měření: Zde byly naměřeny doby jednotlivých montáží, které začínaly úvodní polohou ve virtuálním prostředí a končily umístěním posledního dílu do součásti. Každý testující měl pouze jeden pokus, aby bylo zajištěno, že účastník nebyl dříve s montážním postupem seznámen.

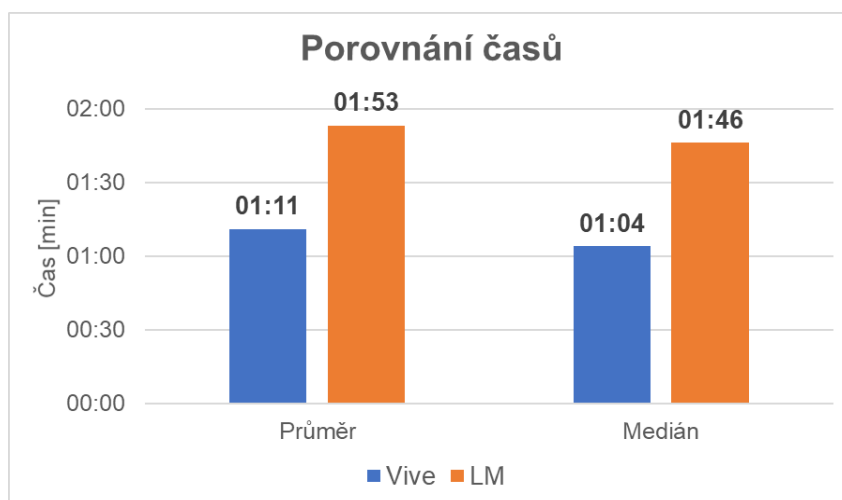
2. Pořadové otázky: Jednalo se o způsob známkování aplikace z hlediska tří pohledů. První se zaměřoval na to, jaký dojem virtuální trénink zanechal. Druhý se zabýval jednoduchostí jednotlivých kroků. Tyto pohledy byly zvoleny z důvodu získání přehledu o jeho využitelnosti pro školení a jednoduchosti z hlediska předávaných znalostí. Poslední pohled se zabýval interakcí s jednotlivými modely.
3. Otevřené otázky: Jedná se o dobrovolnou část, ve které měli testující možnost vyjádřit se ke dvěma otázkám. První se zaměřila na možnost vzniklého problému při testování. Druhá byly nápady týkající se možného vylepšení.

### 3 Porovnání naměřených hodnot

Testování proběhlo v rozmezí měsíce, protože nebylo jednoduché najít společné termíny s testujícími a dostupnou technologií. Celkově bych nazval provedení studie za úspěšné, protože byla získána díky ochotě testujících data potřebná pro následné zhodnocení. Z naměřených hodnot jsem stanovil základní statistické údaje. Nejedná se o statistickou analýzu, byly využity pouze základní statistické výpočty pro lepší vizualizaci výsledků měření. Rozdělení této kapitoly je podle získaných dat z dotazníku. Celkem se skládá ze tří částí.

#### 3.1 Časové měření

V této části byly z naměřených časů vypočteny aritmetické průměry a střední hodnoty (medián) jednotlivých variant. Před zahájením testování měl účastník možnost vyzkoušet si ovládání technologie a seznámit se s jejími parametry, aby během měření nevznikaly prostoje z nedostatku zkušeností. Obrázek 5 znázorňuje získané časy. Modrou barvou jsou reprezentovány hodnoty pro variantu HTC Vive a oranžová zastupuje Leap motion. Rozptyl mezi průměry obou variant je 42 vteřin.



Obrázek 5 – Porovnání časů variant

Důvod, proč je Leap motion pomalejší, vychází z jeho technických nedostatků. Jedním z nich je rychlost pohybu rukou při snímání. Pokud budeme dlaněmi pohybovat příliš rychle, technologie nedokáže snímat ruce a dojde ke „zkolabování“. Je tedy potřeba ruce vrátit do výchozí polohy a provést opětovnou kalibraci. Druhým nedostatkem je malý trackující prostor. Zařízení má vyčleněný prostor výrobcem, ve kterém dokáže snímat ruce. Celkově se při testování této varianty museli uživatelé více soustředit na jednotlivé pohyby. Bylo důležité hlídat si prostor, ve kterém se pohybujeme dlaněmi v závislosti na zařízení a zároveň hlídat rychlost pohybu, která byla velmi malá.

### 3.2 Pořadové otázky

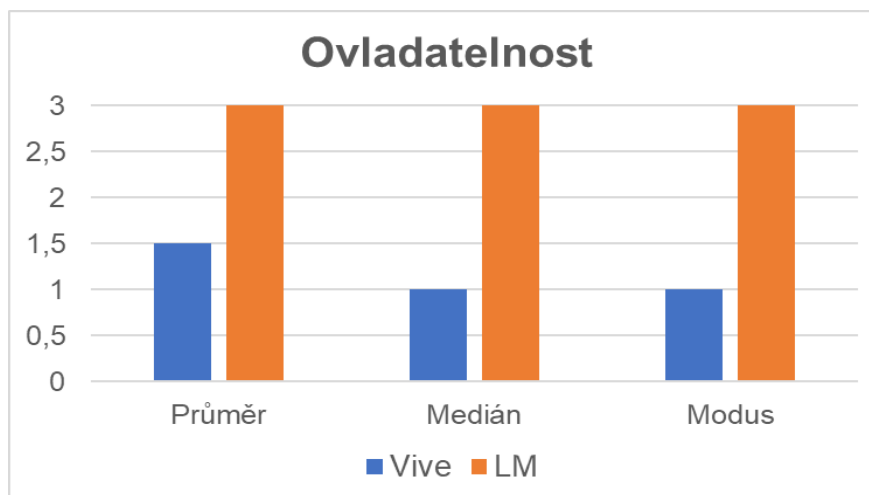
Data byla získána díky známkování tří pohledů, které se týkaly aplikace. U každého pohledu byly vypočteny tři základní statistické hodnoty: aritmetický průměr, medián a modus. pohledy byly zaměřeny na dojem, který virtuální trénink zanechal, jak byly jednotlivé kroky jednoduché z hlediska školení a ovladatelnosti během školení montáže. Jejich statistické hodnoty můžeme vidět v tabulce 2.

Tabulka 2 – Vypočtené hodnoty pro obě varianty

	HTC Vive			Leap motion		
	Průměr	Medián	Modus	Průměr	Medián	Modus
Dojem z aplikace	1,4	1	1	1,6	1,5	1
Jednoduchost	1,4	1	1	1,3	1	1
Ovladatelnost	1,5	1	1	3,1	3	3

První dva pohledy (dojem a ovladatelnost) mají velice podobné hodnoty a jejich rozptyl je minimální. Důvodem je, že jsou zaměřené spíše na koncept aplikace, který byl pro obě varianty prakticky stejný. Jedná se o získání zpětné vazby, jak na testující působila varianta školení pomocí virtuální reality a srozumitelnosti jednotlivých kroků. Z hlediska porovnání je zajímavější poslední pohled (ovladatelnost). Zde se data liší více a jsou vizualizované v obrázku 6.





Obrázek 6 – Porovnání ovladatelnosti variant

Důvody špatné ovladatelnosti vychází opět z nedostatků technického řešení trackující varianty. Mezi další problémy patří uchopování menších dílů (např. šrouby), které nelze uchopit za model. Řešením je nastavení většího prostoru pro interakci, to má za následek, že objekt držíme za fiktivní bod a vzniká složitější pohyb. Další důvod, který měl za následek horší ovladatelnost byl, že Leap motion má chybovost při čtení gest. Pokud gesto neprovedeme správně a plynule, nejsme schopni provést akci. Chybovost snímání uvádí výrobce někde kolem 8 %, ale ve skutečnosti je větší díky tomu, že některá gesta musíme držet „křečovitě“.

### 3.3 Otevřené otázky

Poslední část porovnání byla vytvořena z dat a názorů účastníků. Jedná se o krátké slovní zhodnocení, založené na pocitech z používání aplikace během testování. Otázky se zaměřily na možné problémy, které mohly nastat během používání technologie. Druhý pohled se věnoval nápadům na možné vylepšení. Jelikož se jedná o dobrovolnou část, nejsou data kompletní, ale i tak se u každé varianty získalo alespoň 50 % dat. V tabulce 3 jsou znázorněny některé odpovědi. Výběr odpovědí byl založen na jejich četnosti (uvedené v závorce) a důležitosti z hlediska používání varianty.

Tabulka 3 – Výsledky otevřených odpovědí

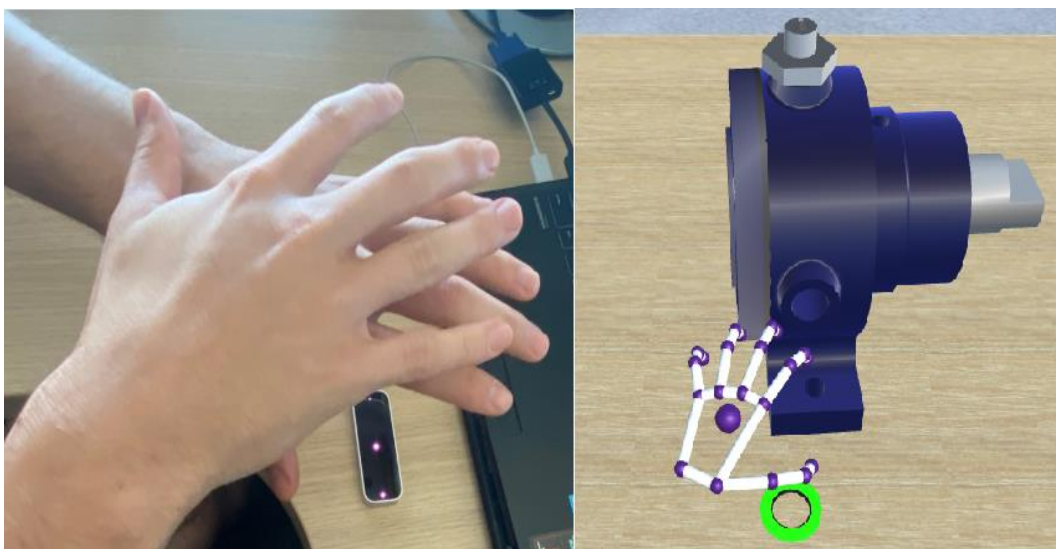
	Problém při testování	Nápady na vylepšení
<b>HTC Vive</b>	Držení tlačítka (2x) Jiné tlačítko	Rozstřel sestavy Čas
<b>Leap motion</b>	Uchopení (5x) Odstrčení dílu	Větší prostor (3x) Posouvání dílu

Co se týká hodnocení první varianty (HTC Vive), jedná se o „kosmetické“ úpravy, které se týkaly ovládání technologie. Uživatelé si pletli tlačítka nebo nebyli zvyklí je během interakce držet. Tyto problémy by se opravily jednoduchým přenastavením. Jelikož jejich četnost nebyla vyšší než 50 %, dá se předpokládat, že volba nastavení byla optimální. Nápady na vylepšení se týkaly spíše designu vylepšení celé aplikace než samotného zařízení. Mezi zajímavé nápady jsem zařadil čas montáže a rozstřel sestavy.

Druhá varianta měla více hodnocení především díky svým technickým nedostatkům. Více než polovině testujících vadila špatná detekce gesta pro interakci s objekty. Jako možné vylepšení testující navrhovali právě větší možný prostor pro snímání a interakci s objekty. Přišel mi zajímavý i návrh, kde by se díly z rozstřelu sestavy pouze posouvaly ve směru své pozice v kompletní součásti. Nicméně podle mého názoru se jedná o velmi zjednodušené simulování montáže, které nepředá potřebné zkušenosti v takové kvalitě, jako způsob interakce s objekty. Oproti první variantě tyto problémy by se daly odstranit vývojem zařízení a jeho postupným laděním.

### 3.4 Nedostatek Leap motionu

Během realizace virtuálního tréninku na Leap motion jsem objevil problém, který přidává další znehodnocení využitelnosti této varianty pro virtuální tréninky. Týká se tréninků, kde bychom chtěli zapojit obě ruce pro jednu součást. Problém je nasimulovaný na Obrázku 7. Jedná se o překřížení rukou. Během montáže mohou často vznikat situace, kdy potřebujeme jednou rukou něco přidržet, nebo můžeme pro zrychlení použít obě ruce. Pokud překřížíme ruce nebo se přiblíží prsty do těsné blízkosti, nastanou dvě situace, kde ideálnější variantou je snímání alespoň jedné ruky (viz Obrázek 7). Druhý stav je selhání trackování a povinnosti vrátit ruce do původní polohy k opětovné kalibraci. Tento problém může nastat i při montáži, kde využijeme pouze jednu ruku, protože snímající prostor je malý a pokud nebudeme obezřetní, můžeme si dlaně navzájem zastínit.



Obrázek 7 – Problém snímání

## 4 Závěr

Tento článek se zabýval porovnáním dvou technických variant pro používání virtuálního tréninku. Ze získaných dat a popsanych problémů si dovoluji tvrdit, že varianta HTC Vive je optimálnější pro využití virtuálních tréninků. I když je Leap motion levnější varianta, která je z hlediska zapojení, skladování, převozu a nároků přijatelnější, tak naměřené hodnoty ukazují na její nedostatky, které jsou vůči výhodně nízkým nákladům znatelné. Celkové využití pro školící aplikace je v konečném důsledku nákladnější než počáteční investování do varianty s brýlemi. HTC Vive je více uživatelsky přívětivá, při jejím ovládní se nemusíme soustředit na rychlost pohybů, nejsme omezeni prostorem (lze přecházet mezi více pracovišti) a samotná interakce s objekty je na přesnější úrovni. Samotné vysvětlení ovládní je snadnější a díky širší komunitě je vývoj a výzkum jednodušší, protože existuje více dokumentací a návodů pro vytváření aplikací.

Leap motion na mě působí z hlediska vývoje jako prototyp, který je potřeba ještě vyladit. Jeho nedostatky z něj dělají nepoužitelnou technologii pro montážní aplikace. Jedním z možných vylepšení je propojení s brýlemi HTC Vive, kde Leap motion nahrazuje ovladače, ale tím zaniká většina výhod, které Leap motion oproti variantě HTC Vive má. V současnosti neexistuje technologie, která by dokázala plnohodnotně nahradit ovladače pomocí trackování rukou. Jedná o zajímavý způsob komunikace mezi uživatelem a zařízením, nicméně je potřeba vylepšit některé technické nedostatky, hlavně snížit špatnou detekci gest a zvětšit trackující prostor. Největší problém vidím v křížení rukou, kde si budeme nejspíš muset pomoci druhým senzorem.

### Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

### Použitá literatura

- [1] HUGGETT, C. *Virtual Training Basics*. 1st edition. Alexandria: Association for Talent Development, 2013. ISBN: 978-1562867027
- [2] WEICHERT, F., BACHMANN, D., RUDAK, B., FISSELER, D. Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors*. 2013, 13(5). DOI: <https://doi.org/10.3390/s130506380>.
- [3] CAGGIANESE, G., NERONI, P., GALLO, L. *The Vive Controllers vs. Leap Motion for Interactions in Virtual Environments: A Comparative Evaluation* [online]. Researchgate, 2019 [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/325721087\\_The\\_Vive\\_Controllers\\_vs\\_Leap\\_Motion\\_for\\_Interactions\\_in\\_Virtual\\_Environments\\_A\\_Comparative\\_Evaluation/](https://www.researchgate.net/publication/325721087_The_Vive_Controllers_vs_Leap_Motion_for_Interactions_in_Virtual_Environments_A_Comparative_Evaluation/)

# Praktická implementace virtuálních návodek

Jan Kubr <sup>1</sup>, Konstantin Novikov <sup>1</sup>, Petr Hořejší <sup>1</sup>, Jana Kleinová <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika  
[kubrij@kp.v.zcu.cz](mailto:kubrij@kp.v.zcu.cz)  
[novikov@kp.v.zcu.cz](mailto:novikov@kp.v.zcu.cz)  
[tucnak@kp.v.zcu.cz](mailto:tucnak@kp.v.zcu.cz)  
[kleinova@kp.v.zcu.cz](mailto:kleinova@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Pozitivní dopady využití virtuální reality v průmyslu byly již mnohokrát prokázány. Jak je to ale s reálným nasazením této moderní technologie v praxi? Tento článek se zabývá implementací virtuálních návodek na pracoviště ve velkosériové výrobě z oblasti automotive. Cílem je ukázat, že virtuální návodky jsou smysluplným nástrojem pro zaškolování pracovníků. Přesto je třeba myslet na specifika dané výroby a koncových uživatelů tak, aby došlo ke správnému nastavení systému podávání informací a bylo dosaženo požadovaného zefektivnění výroby.

## 1 Úvod

V dnešní době, kdy je kladen velký důraz na rychlost a kvalitu provedení výrobků, dostává virtuální realita (VR) více a více možností, jak uplatnit svůj potenciál. Virtuální realita je nástroj, který dokáže enormně zkrátit čas zaučení nových zaměstnanců, a to i méně kvalifikovaných, téměř odstranit chybovost a samozřejmě zvýšit produktivitu. Zatím je VR využívána ve velkých podnicích, kde se vyrábí nebo montují složitější výrobky a je kladen důraz na rychlost i přesnost výroby. Virtuální návodky nejsou souvislý film nebo sekvence obrázků, ale práce v reálném čase, ve které se obraz mění podle následujících kroků dělníka, který postupuje podle pokynů návodky. Virtuální návodka může být promítána i přímo během výroby a přizpůsobena výrobnímu taktu. V době, kdy je trh přesycený, je důležité, aby si společnosti udržely konkurenceschopnost. Virtuální návodky jsou silný nástroj pro zaškolování či hlídání kvality. Tato technologie se již stala jedním z moderních trendů nejen v průmyslovém odvětví a v blízké budoucnosti se může stát standardem pro každý podnik.

## 2 Analýza

V rámci pilotního projektu bylo vybráno pracoviště, kde probíhá výroba dílů pro přední automobilové značky, jakými jsou například Audi nebo BMW. V závodu se vyrábí pohledové části karoserií, palubní desky, bezpečnostní výztuhy do dveří ale i nosníky některých prvků do motoru. Tyto nosníky se vyrábí buď ocelové nebo hliníkové. Větší množství vyráběných kusů je

z hliníku i díky své nižší hmotnosti, což pozitivně napomáhá k redukci emisí CO<sub>2</sub>. Částí provozovny, na které byla praktická část této práce realizována je, pracoviště Lisování matic. Toto pracoviště je rozdělené na dvě podskupiny a to: Zakládání dílů a Kontrola nalisování. Každé z těchto pracovišť je obsluhováno jiným pracovníkem a každý z nich vykonává jiný druh pracovní náplně. Hlavní částí tohoto pracovního prostoru je lisovačka matic, do které se zakládá díl a na druhé straně pracoviště odebírá.



Obrázek 1 – Ukázka pracoviště Lisování matic [zdroj: autor]

Pro zpracování návodek bylo vybráno pracoviště Lisování matic samotným podnikem z důvodů vysoké chybovosti a pomalého zaškolování nového personálu. Pro vytvoření a samotnou realizaci výsledné návodky je zapotřebí provést několik analýz, které budou popsány v kapitolách níže. Tyto analýzy napomohou k pochopení celého procesu a popíší jednotlivé položky, které jsou zapotřebí pro tvorbu daných návodek.

Vycházet se bude z metodiky navržené v [1], přičemž tato metodika byla otestována na reálných projektech v různých typech výroby.

## 2.1 Procesní analýza

Cílem procesní analýzy bylo poznat a zmapovat současný stav celého procesu. Zjistit pracovní postup na jednotlivých pracovištích a dále s nimi pracovat. Toto pracoviště funguje na třisměnný provoz, přičemž každý pracovník má právo na 3 x 10 min pauzu a 1 x 30 min pauzu na oběd. Mimo tyto pauzy a jiné nepředvídatelné pauzy (rozbití stroje, zdržení dodávky materiálu z předchozího pracoviště) pracuje pracoviště nepřetržitě. Pro procesní analýzu bylo pracoviště Lisování matic rozděleno na dvě části:

- Založení do matkovačky
- Kontrola a odebrání z matkovačky

## Založení do matkovačky

Pracovním postupem této části procesu je:



### 1. Odebrání dílu

Hliníkový díl se odebírá ze stojanů, které pro pracoviště připravuje manipulátor. Ten zajišťuje nepřetržitý přísun materiálu na pracoviště. Díly je možné odebírat ze dvou stojanů – pravý/ levý. To zaručuje plynulý chod stroje. V každém stojanu je umístěno 48 dílu ve 4 patrech.

### 2. Vizuelní kontrola

Po odebrání dílu ze stojanu je důležité díl vizuelně zkontrolovat na rizikových místech. Těmi jsou především svary. Tyto svary se nachází ze všech čtyř stran, proto je nutné s dílem rotovat tak, aby bylo možné nahlédnout na všechny strany.

### 3. Založení dílu

Zkontrolovaný díl je potřeba založit do přípravku v samotném lisovacím stroji. Pro správné vložení jsou na lisovacím stroji umístěny speciální prvky, které vyznačují, do jakých míst se má díl umístit. Ovšem je zapotřebí dbát zvýšené pozornosti na to, jakou stranou se díl do matkovačky vkládá. Po správném založení dílu na válečky následuje doražení dílu na speciální vystředovací trn. Po doražení na trn je zapotřebí díl přitáhnout rukou směrem od středu ven k obsluze pro přísátí přitahovače dílu.

### 4. Spuštění lisování

Po správném zasazení dílu již následuje odstoupení od stroje a zmáčknutí tlačítka pro zadání signálu spuštění lisování. Odstoupení od stroje je i kvůli bezpečnosti sledováno světelnou bránou, která v případě potřeby zamezí úrazu. Tlačítka pro spuštění se nacházejí na každé straně pracoviště pro obě varianty odebírání materiálu (pravá/levá). Zmáčknutí tlačítka je také signálem pro ukončení celého procesu na tomto pracovišti a obsluha začíná cyklus od začátku.

## Kontrola a odebrání z matkovačky

Pracovním postupem této části je:



### 1. Odebrání dílu

Po skončení samotného nalisování, které vykonává stroj, je zapotřebí díl odebrat z matkovačky. Pokynem pro odebrání je zobrazení zeleného světla na obrazovce nad vstupem do klece. Tato část procesu je kontrolována pomocí světelných bran, které jsou umístěny před vstupem do klece. V případě vstoupení do zóny v čas, který není určený k odebrání dílu, se zobrazí červené světlo, zazní výstražný signál a stroj se zastaví.

## 2. Vizualní kontrola

Po odebrání je potřeba díl vizuálně zkontrolovat, a to především rizikové části, mezi které patří správné nalisování matek a kontrola propalů. Aby bylo možné tyto části zkontrolovat, je zapotřebí díl natočit a zkontrolovat z více pohledů, aby bylo možné případnou vadu odhalit. V případě nálezu vady na díle je možné tuto vadu odstranit přímo na pracovišti pomocí jednoduchých nástrojů (začištění pomocí kartáče) a nebo předat na opravu na pracoviště tomu přiřazené.

## 3. Načtení kódu

Následujícím krokem je natočení dílu pod speciální čtečku kódů nacházející se na stole vedle klece matkovačky. Načtení kódu z dílu slouží pro budoucí možné odhalení chyby ze série produktů. Díl se vloží pod čtečku a ta načte vyražený kód. Je zapotřebí dbát pozornosti na to, aby kód z dílu byl opravdu načten, a proto díl vkládat stranou s vyraženým kódem.

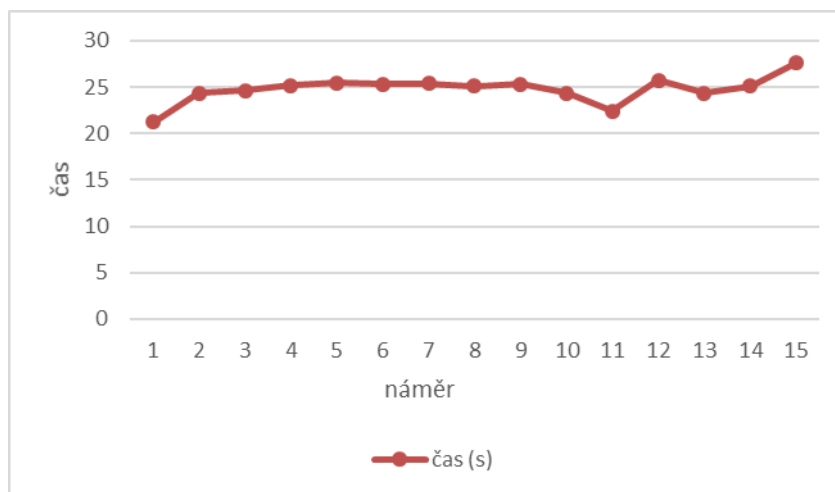
## 4. Uložení

Následujícím krokem je odebrání dílu od čtečky a jeho následné založení do připraveného boxu. Boxy jsou připraveny dva pro zajištění plynulého chodu celého procesu. V každém boxu jsou připraveny plastové přípravky, do kterých se díl ukládá. Díl je zapotřebí uložit správnou stranou. Do jednoho patra bedny se vejde sedm dílů, přičemž do jedné bedny jsou naskládána tři patra. Bedna je poté operátorem přikryta a odvezena do meziskladu, kde je připravena na expedici.

## 2.2 Časová analýza

Další důležitou částí celkové analýzy je analýza časová. V této analýze byly využity definované činnosti jednotlivých kroků, které musí být vykonány pro dokončení procesu. Dále bylo zapotřebí tyto činnosti seřadit v kontinuální návaznosti. Pro celý tento proces bylo stanoveno 15 náměrů pro každou část pracoviště (Zakládání dílů/Kontrola dílů). Tato analýza poslouží k posouzení, s jakým taktem se na pracovišti pracuje a jaký typ návodky bude vhodný pro danou výrobu.

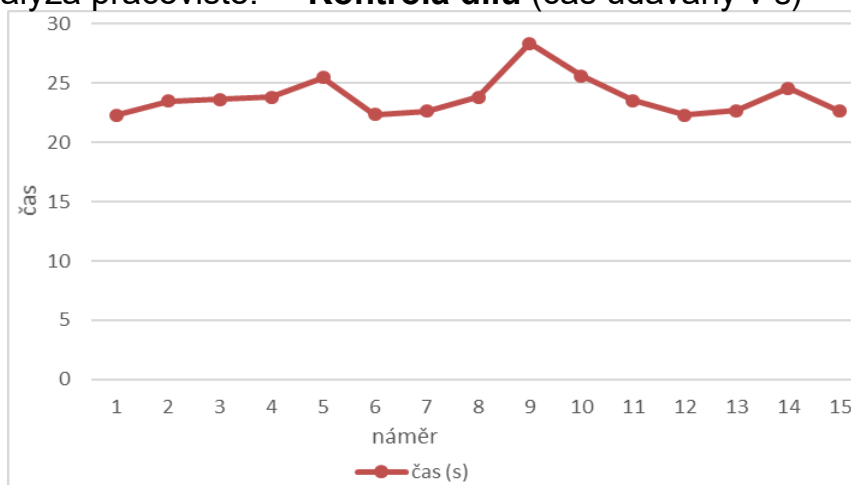
Časová analýza pracoviště: **Zakládání dílů** (čas udávaný v s)



Obrázek 2 – Porovnání časů (zakládání dílů) [zdroj: autor]

Z výše uvedených náměrů vyplývá, že maximální takt pracoviště Zakládání dílů je zhruba 25 s. Při tak vysokém taktu by nebylo možné stíhat mačkat další tlačítko a tím zdržovat pracovníka od daného výkonu, proto bylo nutné vytvořit návodku bez ovládání.

Časová analýza pracoviště: **Kontrola dílů** (čas udávaný v s)



Obrázek 3 – Porovnání časů (kontrola dílů) [zdroj: autor]

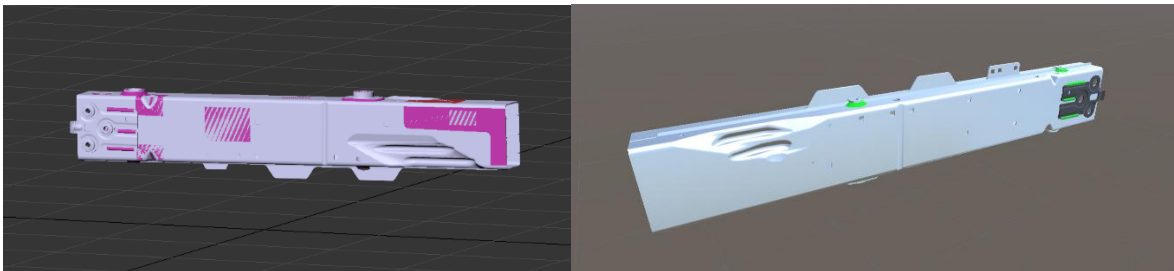
Díky časové analýze bylo zjištěno, že na pracovišti kontroly se pracuje v taktu nepřekračující 26 s. Odchylnka náměru 9 byla způsobena tím, že pracovník připravoval expediční box. Příprava boxu je tak jediným bodem v pracovním postupu, který by pro vylepšení procesu bylo dobré eliminovat. Z rychlosti taktu vyplývá, že nebude možnost zavést návodku spuštěnou přes tlačítko, protože by tato činnost zdržovala pracovníka.

## 2.3 Datová analýza

Aby mohla být samotná návodka vytvořena, je zapotřebí mít data, ze kterých může být tvořena. Pro tvorbu návodky v Unity 3D jsou zapotřebí 3D modely. Od zadavatelů této práce byla poskytnuta CAD data pouze pro nosník motoru. Tato data ovšem byla zbytečně moc obsáhlá, a proto bylo zapotřebí zredukovat části, které se v návodce nevyužijí. Dalším problémem byl formát,

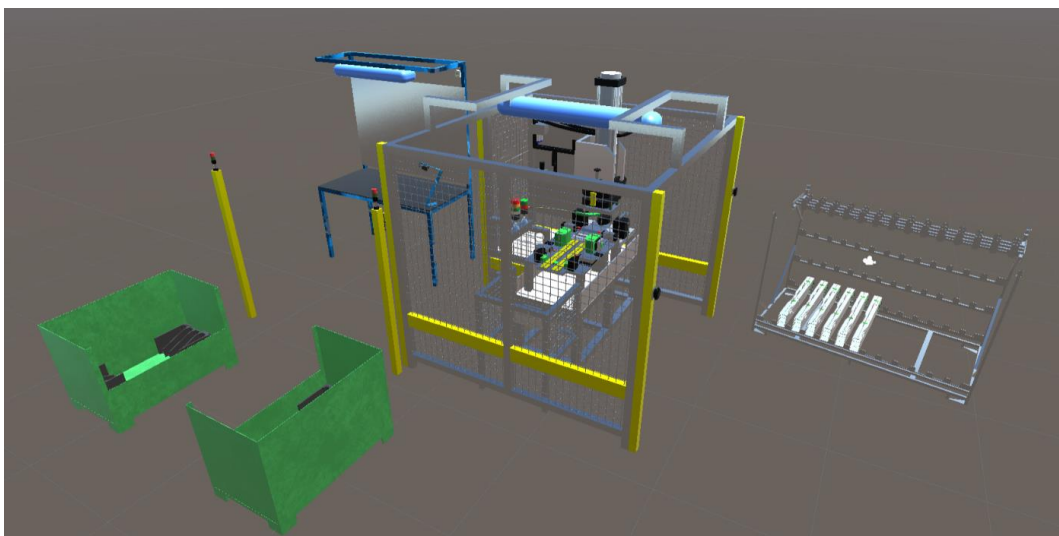


ve kterém byl tento CAD model obdržen. Jednalo se o formát .CATPart. Tento typ modelu byl vytvořen přímo výrobcem v programu Catia V5 od společnosti Dassault Systém. Pro úpravu modelu v tomto programu byla využita učebna na Katedře konstruování strojů na Fakultě strojní. V programu byly z modelu odebrány nadbytečné části, jakými byli například skici, prvky popisující jednotlivé komponenty modelu a především prvky, které nebyly pro další tvorbu návodky zapotřebí. Pro vložení modelu přímo do Unity 3D bylo zapotřebí tento model uložit v jiném formátu. Nejlepší volbou pro takové uložení je formát .STEP, který je možné vložit například do programu 3DS Max. Tento krok je nutný z důvodu uložení do formátu .fbx, který je možno vložit a dále s ním pracovat přímo v Unity3D.



Obrázek 4 – Díl před/po úpravě [zdroj: autor]

Pro vytvoření kompletní návodky byl zapotřebí i model celého pracoviště. Protože tento model pracoviště nebylo zadavatelem poskytnut, bylo zapotřebí jej zpracovat v modelovacím softwaru. Aby model odpovídal reálnému prostředí, bylo zapotřebí celé pracoviště zaměřit a detailně popsat. Velký důraz na přesnost a kvalitu byl kladen obzvláště na část pracoviště, kde se nachází samotné lisovací centrum matek. Stupeň kvality provedení této části ve velké míře napomáhá k lepší orientaci na pracovišti a ke správnému zacházení s komponenty. Pracoviště bylo vymodelováno v programu SolidWorks a základní materiály byly přidány v programu 3DS Max, ze kterého pak bylo možné jednotlivé prvky vkládat přímo do Unity 3D.



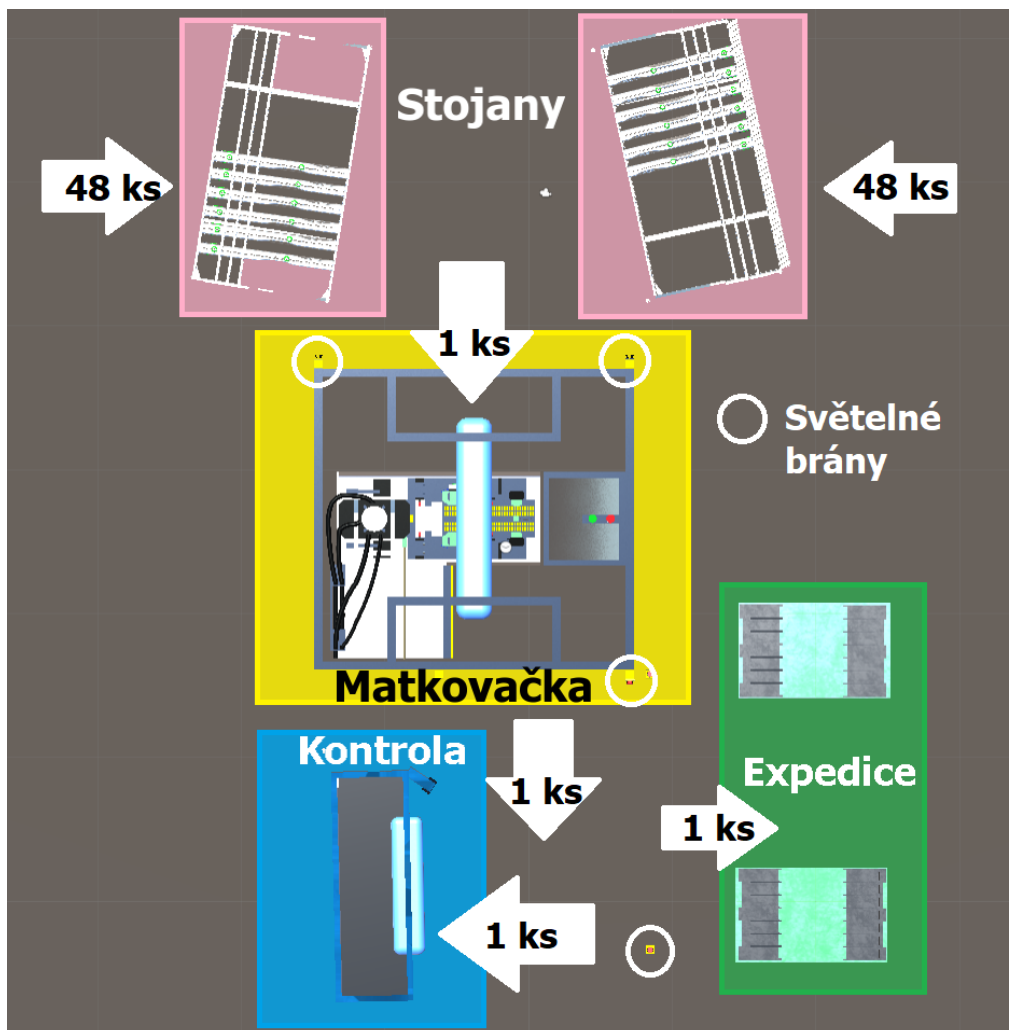
Obrázek 5 – Vytvořené pracoviště Lisování matek v Unity3D [zdroj: autor]

## 2.4 Prostorová analýza

Prostorová analýza je důležitou součástí těchto analýz. Díky této analýze bylo zjištěno rozložení celého pracoviště, které je popsáno na obrázku. Dále byl zaznamenán pohyb jednotlivých pracovníků po pracovišti.

### Layout pracoviště

Layoutem pracoviště se rozumí grafické znázornění rozložení pracoviště. Ukazuje na to, zda jsou výrobní prostory využívány efektivně, zda jsou výrobní kapacity podniku dostatečné nebo zda by tento výrobní systém byl schopen zvládnout navýšení objemu výroby nebo změnu výrobního programu.

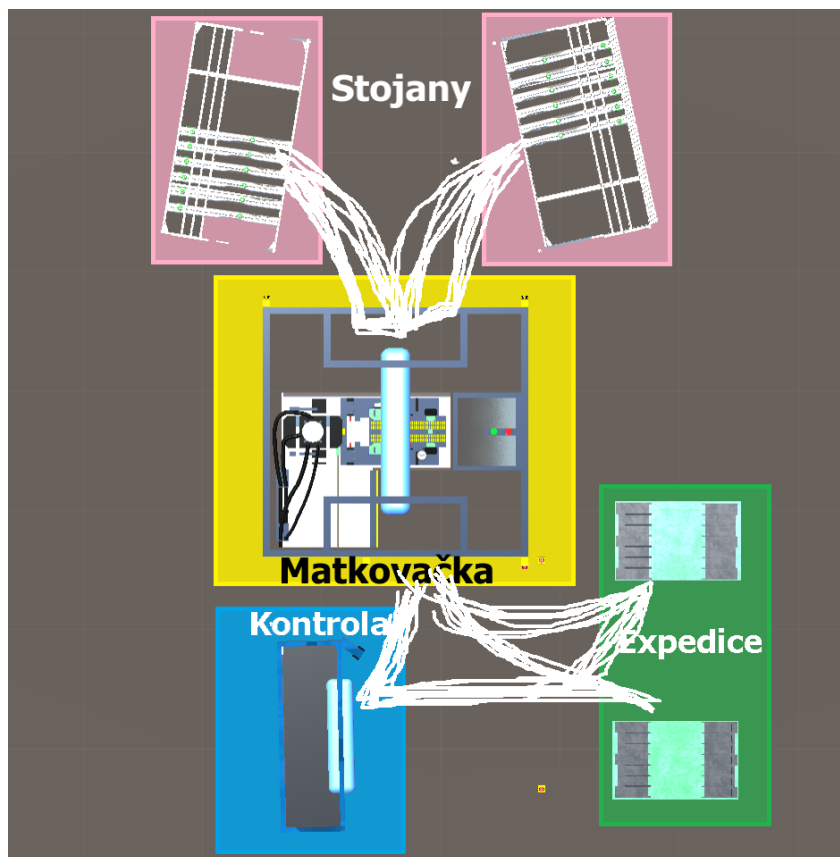


Obrázek 6 – Layout pracoviště [zdroj: autor]

Pozice jednotlivých prvků v layoutu je dána podle předem nadefinovaných pozic, které jsou vyznačeny na místě. Úkolem této práce není řešit vylepšení prostorového uspořádání pracoviště. Layout je přiložen pro lepší přiblížení a orientaci pracovního místa. Z toku materiálu je vidět, že na pracoviště je přiváženo 48 kusů nosníků ve stojanech, ze kterých jsou jednotlivé díly odebírány a vkládány do lisovacího stroje. Z toho je pak tento kus odebrán, podroben kontrole a po načtení kódu a uložení do expedičních beden.

## Spaghetti diagram

Tento diagram udává, jakou měrou se pracovník pohybuje na daném pracovišti. Z diagramu je možné vyčíst, jestli pracovník nevykonává nadbytečné pohyby a nezpomaluje tak celý proces. Výsledky tohoto diagramu jsou důležité pro určení hardwaru návodky. Napomůže určit, zda je možné využít statický monitor nebo by bylo zapotřebí řešení monitorem s pojezdným stojanem.



Obrázek 7 – Spaghetti diagram [zdroj: autor]

Na obrázku 7 jsou bílou čarou znázorněny pohyby pracovníků obsluhujících stroj na lisování matek. Z diagramu lze vyčíst, že pracovníci vykonávají pouze nezbytný pohyb pro vykonání daného pracovního úkonu. Tento diagram společně se zorným polem (popsán níže) je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujícím umístění hardwaru pro návodku.

### Zorné pole

Zorné pole na pracovišti určuje, jestli bude možné přehrávanou návodku pozorovat při vykonávání práce. Významně také ovlivní výběr hardwaru.

## 3 Implementace

Celková implementace návodky byla rozdělena na tři podkapitoly: Zpracování návodky, Propojení návodky a Hardware pro zobrazování. Jednotlivé kroky na sebe navazují a v celkovém bloku tak určují jednoznačný návod, jak

postupovat při samotné implementaci návodky od jejího založení až po instalaci na pracovišti. V kapitolách níže autor využívá poznatků nabytých při řešení předešlých projektů.

### **3.1 Zpracování návodky**

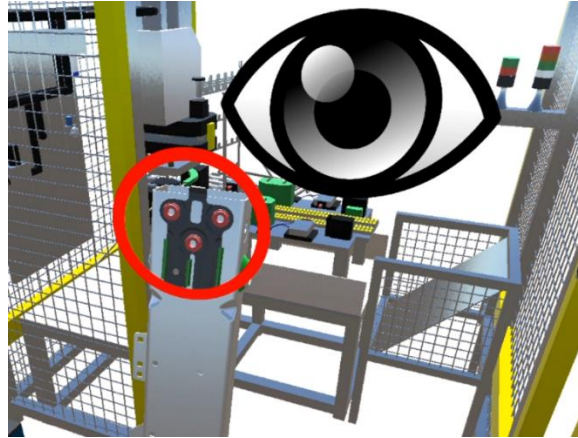
Zpracování celé návodky autor vypracoval v programu Unity 3D. Toto prostředí je velice intuitivní a pro autora známé, jelikož v něm řešil i svoji bakalářskou práci. Pro tvorbu návodky byl autorovi poskytnut program od Katedry průmyslového inženýrství a managementu.

Základem pro tvorbu samotné návodky jsou modely. V předchozí kapitole bylo popsáno, že vlastní model pracoviště musel být vytvořen, a to hlavně s důrazem kladeným na detail provedení zejména v části lisovacího stroje, kde je vysoká míra rizikovosti při vkládání dílu. Hlavní komponenta, tedy stojan pro část motoru, byla poskytnuta zadavatelem. Tento model ovšem musel být upraven.

Po nastavení a vložení modelů do Unity3D bylo zapotřebí připravit scénu tak, aby odpovídala realitě. Díky prostorové analýze, ve které jsou zaznamenány veškeré rozměry pracoviště, bylo možné nastavit všechny vzdálenosti stojanů od lisovacího stroje, vzdálenost čtečky kódů, která je umístěna na pomocném stole u lisovacího stroje a vzdálenost expedičních boxů podle přesně stanovených pozic.

Dalším postupem bylo navržení vyhovujícího UI, tedy vizuální stránky celé návodky. Bylo zapotřebí zvětšit veškeré textové pole, aby je bylo možné přečíst z určité vzdálenosti. Jako pozadí byl zvolen odstín bílo-šedé na kterém nejvíce vynikly všechny komponenty návodky. Zvětšení také doznala tlačítka pro případné ovládání kroků. Tato úprava tak změnila celý vizuální pohled na návodku.

Z procesní analýzy bylo zjištěno, že je zapotřebí vytvořit dvě samostatné návodky pro každé pracoviště zvlášť, jelikož jsou pracoviště obstarávána samostatnou obsluhou. Pracovní postup (na obou pracovištích) se skládá ze čtyř kroků. Tomu musí odpovídat i počet hlavních animovaných kroků v návodce. V určitých krocích je možné narazit na rizikové činnosti. Takové činnosti je zapotřebí v návodce zvýraznit a poukázat na ně pomocí jednoduchých standardizovaných symbolů. Tyto symboly jednoznačně upozorní uživatele na to, že si v daném kroku má dát pozor na vykonávanou práci a dbát zvýšené pozornosti. Symboly byly voleny jednoduché a specifické pro vykonávanou činnost, mimo jiné z důvodu cizojazyčných zaměstnanců.

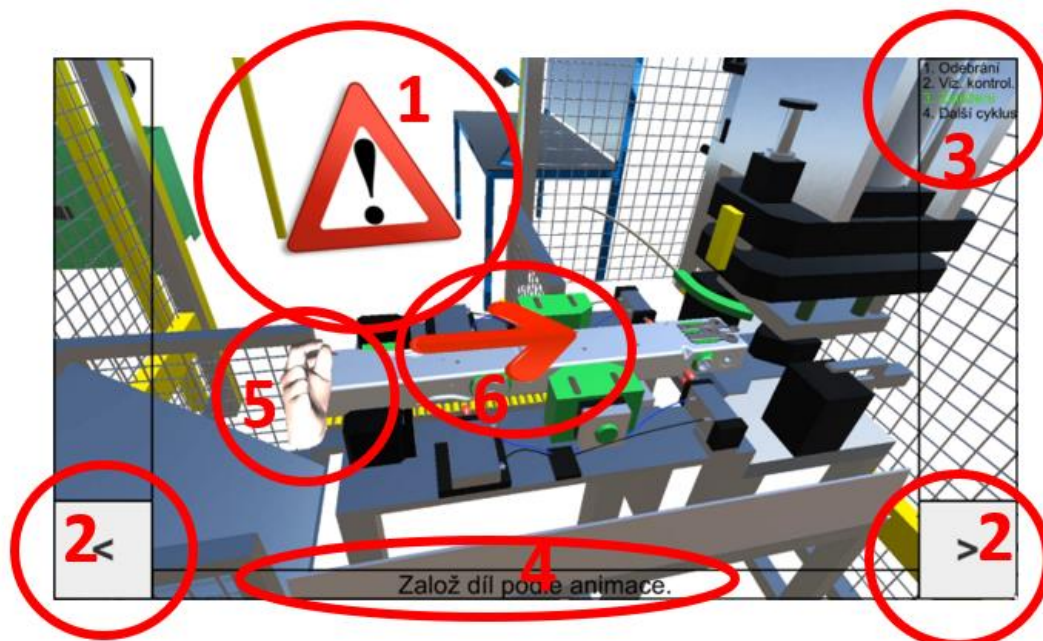


Obrázek 8 – Symbol pro ukázání rizika [zdroj: autor]

Dalším nutným prvkem vycházejícím z procesní analýzy bylo přidání číslování kroku v cyklu a jeho stručný popis. To napomáhá pracovníkovi se rychle zorientovat, v jakém kroku pracovního postupu se aktuálně nachází a jaký krok následuje.

Z časových analýz obou pracovišť bylo zjištěno, že takt obou pracovišť je příliš nízký z toho vyplývá, že nebude možnost využívat krokovacích tlačítek. Pro nastavení návodky to ovšem znamená, že návodku nelze rozdělit na animační kroky, nýbrž pouze na jeden krok, který v sobě obsahuje jednotlivé animace. Toto opatření zajistí to, že návodka poběží v jednom kroku dokola. Důležité je ovšem nastavit časy jednotlivých animací podle reálného postupu, tak aby odpovídaly realitě. Maximální možnou odchylkou byla  $\pm 1$  s.

Proto aby mohla být návodka finálně nasazena do provozu, bylo nutné ji před finální verzí konzultovat s odpovědnými zástupci firmy. Při této konzultaci byli přizváni odborníci na proces vykonávaný na pracovišti Lisování matek. Jejich odborná konzultace napomohla k odladění některých nejasností, jako například přidání znaku pro lepší znázornění vizuální kontroly, pro lepší orientaci, jaké svary se kontrolují v daném kroku, ale i například pro to, kdy má pracovník použít ruku. Tedy přidání modelu ruky, naznačující reálný pohyb ruky v pracovním úkonu.



Obrázek 9 – Finální vzhled návodky [zdroj: autor]

1. Symbol pro výskyt možného rizika
2. Krokovací tlačítka, volba kroku dozadu/dopředu
3. Pořadí jednotlivých kroků v procesu
4. Dodatečné informace k aktuální animaci
5. Symbol ruky napomáhající k rychlému určení přitažení dílu
6. Symbol pro určení směru přitažení dílu

Samotná výstupní aplikace v tomto kroku nebyla realizována, protože nebylo zřejmé, jaký typ hardwaru bude na pracovišti použit. Tzv. Build, tedy vytvoření aplikace, může ovlivnit to, jaký typ operační paměti bude použit a jak výkonná zařízení budou vybrána. Od toho se také odvíjí nastavení grafického stupně návodky.

### 3.2 Synchronizace návodky

Díky výsledkům časové analýzy bylo zjištěno, že nebude možné ovládat návodku pomocí tlačítek na displeji nebo pomocí přidaného hardwarového tlačítka. Při tak nízkém taktu by to znamenalo zpomalení celého procesu a tím vedlo k nižší produktivitě. Z toho vyplynulo, že návodku bude potřeba ovládat automaticky.

Po důkladné analýze procesu a celého pracoviště, byl navržen následující postup, jak získat signál pro automatické puštění návodky.

#### Vstupní signály

##### Pracoviště: Zakládání dílů

Pracovník na pracovišti Zakládání dílů při každém ukončení cyklu musí zmáčknout tlačítko umístěné na kleci stroje (pravá/levá strana klece podle toho, z jaké strany aktuálně odebírá díl). Toto tlačítko dá signál stroji pomocí

programovatelného automatu (PLC), který vydá pokyn k začátku nalisování matky. Právě tento signál je určující pro zahájení animace návodky.

### Pracoviště: **Kontrola nalisování**

Na pracovišti Kontroly nalisování pracovník nepoužívá žádné tlačítko pro spuštění dalšího cyklu nalisování. Pracovník pouze prochází skrze světelné brány, které kontrolují, zda nevchází do stroje ve špatný čas. Spouštěcím momentem v tomto procesu ovšem je dokončení nalisování. To, že bylo dokončeno nalisování je jasným signálem pro spuštění návodky od začátku.

Problém nastal při pokusu o sběr dat z programovatelného automatu. Po vzájemné konzultaci s odborníky zabývající se nastavením strojů přímo v podniku, bylo jasné, že doprogramování PLC není možné, jelikož je chráněno centrálou celé společnosti. Takový zásah by mohl narušit chod celého stroje a změnit jednotlivé cykly procesu. Velkou otázkou tedy bylo, jak získat vysílaný signál z tlačítek nebo stroje. [2]

### **Hardwarové možnosti pro sběr dat**

Pro sběr dat takového typu existuje několik zařízení. Pro tuto variantu byly vybrány tři, které jsou popsány níže a pomocí rozhodovací tabulky, která byla sestavena autorem, byla vybrána nejlepší volba.

V následujícím kroku bylo zapotřebí vybrat vhodné zařízení.

*Tabulka 1 - Porovnání modulů [zdroj: autor]*

	ovládání	galvanické oddělení	nahrazení myši/klávesnice	cena
Quido USB	USB	Ano	Ne	1390 Kč
Adam – 6051	Ethernet	Ano	Ne	4550 Kč
Arduino Leonardo	microUSB	Ne	Ano	650 Kč

V tabulce 1 byly porovnány klíčové vlastnosti potřebné pro realizaci.

**Ovládání:** ethernetové připojení přes síť/ připojení pomocí USB/microUSB přímo do PC

**Galvanické oddělení:** odděluje dvě nebo více částí obvodu, aby nebyly spojeny vodičem, ale zároveň aby byl umožněn průchod el. energie

**Nahrazení myši/klávesnice:** jednoduchá funkce, kdy ovladač dokáže simulovat funkce myši nebo klávesnice

**Cena:** cena za jeden kus.

Hlavním faktorem pro výběr modulu byla cena. Tou volbě Arduino Leonardo nemůže konkurovat a díky vlastnostem, kterými disponuje, bylo jasnou volbou. Dalším důležitým bodem bylo nahrazení myši/klávesnice. Tuto funkci splňuje Arduino Leonardo, které dokáže přeměnit signál na vstupu na fiktivní

zmáčknutí klávesy šipky vpravo na výstupu, tedy do ovládacího PC přímo pomocí propojovacího kabelu microUSB/USB. To významně napomohlo při rozhodování, jaký modul využít.

Protože ovšem Arduino Leonardo není vybaveno galvanickým oddělením, bylo zapotřebí takové opatření dopravit. Do spojové desky bylo zapotřebí přidat elektrický kondenzátor, keramický, uhlíkový rezistor. Tyto komponenty napomohly ke galvanickému oddělení, a tak i k bezpečnému napojení na ostrý provoz.

Celým srdcem a hlavní částí funkčnosti Arduina je kód, který bylo zapotřebí vytvořit. Arduino je možné programovat pomocí jazyku C++ nebo knihovnou Wiring. Tento kód se píše v prostředí nazvaném Arduino Ide, který je volně ke stažení na webových stránkách Arduina.

Byl vytvořen program (obdobným postupem jako je popsáno výše), který sleduje stav pinu na vstupu. Takovým signálem je stisknutí tlačítka, respektive dokončení nalisování. Po tomto signálu Arduino „pošle“ signál šipky doprava, což spustí krok návodky od začátku. Díky časové synchronizaci tak průběh návodky odpovídá reálnému procesu. Po testování aplikace musela být do kódu přidána ochrana proti tzv. dvojkliku. Takový problém by mohl nastat, kdyby obsluha pracoviště omylem zmáčkla signální tlačítko dvakrát za sebou. Tento problém se vyřešil pomocí přidání prodlevy po přijetí pinu, tzv. Delay - ta byla nastavena na 1000 ms, což „dvojklik“ bezpečně ochrání. Aby mohlo být Arduino nainstalováno přímo na pracoviště, bylo ho zapotřebí umístit do průmyslové krabičky s DIN lištou pro přímé umístění do rozvodní skříně, která je umístěna u stroje.



Obrázek 10 – Arduino umístěné v krabičce na lištu DIN [zdroj: autor]

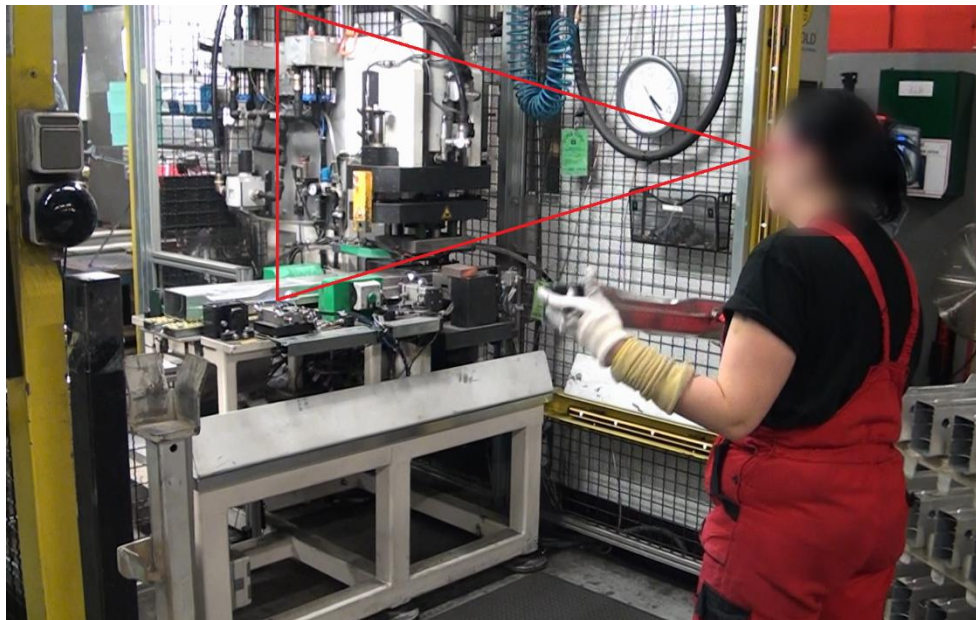
### 3.3 Zobrazovací zařízení

Díky procesní a prostorové analýze bylo zjištěno, že je pracoviště rozděleno na dvě samostatné části, které jsou obsluhovány každá jedním pracovníkem. Přičemž pohled pracovníků (při hlavní činnosti) směřuje čelem k sobě. Z této



analýzy tedy vyplynulo, že budou zapotřebí dva monitory, které budou oddělené a směřovat na konkrétního pracovníka.

Vstupem pro volbu správného hardwaru byla prostorová analýza. Nejdříve bylo nutné zvolit správné umístění monitorů. Východiskem pro správné umístění monitorů bylo zjištění zorného pole pracovníků.



Obrázek 11 – Zorné pole pracovníka [zdroj: autor]

Na obrázku 11 je naznačené zorné pole pracovníka, ze kterého vyplývá umístění monitoru. Zorné pole u pracovníků na obou pracovištích je přibližně stejné. Díky tomu bylo možné oba monitory umístit uvnitř klece. Monitory byly umístěny zády k sobě pomocí jednoduchého profilu a držáku na monitor. Tyto monitory také nijak nepřekázejí při výkonu práce. Jelikož se pracovník nepohyboval ve větší vzdálenosti než 3 metry od pracoviště, byly zvoleny monitory o velikosti 21". Jako monitor, který tyto požadavky splňuje byl vybrán: Monitor AOC 22P1D.

Aby mohla celá návodka fungovat a mohla komunikovat se strojem, bylo zapotřebí vybrat PC, který všechny tyto kroky bude řídit. Nejdříve bylo nutné vyřešit umístění počítače. Varianty pro umístění počítače byly:

### 1. Umístění přímo u monitorů

Tato volba by byla jednodušší z hlediska kabeláže – nebylo by zapotřebí delšího kabelu a připojení by tak bylo blíže k monitoru. Nevýhodou této varianty ovšem je, že je PC umístěn přímo v kleci stroje, tedy mohlo by docházet k přehřívání počítače. Další nespornou nevýhodou je dostupnost obsluhy. V případě, kdy by bylo zapotřebí počítač resetovat nebo nějakým způsobem udržovat, bylo by zapotřebí přerušit proces výroby.

### 2. Umístění v blízkosti stroje

Varianta b) je sice vzdálená dále od monitorů, ale oproti variantě a) je počítač uschován ve schránce vedle klece stroje, kde je mnohem nižší teplota a tím i

menší možnost přehřátí PC. Asi největší výhodou ovšem je, že je umožněna manipulace s počítačem i během chodu stroje.

Obě varianty byly konzultovány se zástupci firmy. Jako finální byla vybrána varianta b), kdy především možnost obsluhy i za chodu stroje hrála hlavní roli.

Protože bylo vybráno umístění PC ve speciální „oplechované bedně“, o rozměrech cca 40x50x20 cm, bylo zapotřebí vybrat typ počítače, který by bylo možné uložit do takto definovaného prostoru. Jako finální byl vybrán: DELL OptiPlex MFF 3070. Tento počítač splňuje jako grafické, procesorové, tak i rozměrové požadavky. Po vybrání typu PC bylo možné vytvořit samotný typ .exe souboru. Aplikace tedy byla vytvořena pro 64bitový operační systém.

Posledním požadavkem byl typ propojení PC s monitorem a Arduinem. Pro propojení PC a monitoru byl vybrán standardní kabel HDMI o délce 5metrů. Pro propojení Arduina s PC byl vybrán kabel s koncovkami USB (PC)/microUSB (Arduino).

## 4 Závěr

Po vybrání vhodného hardwaru, bylo zapotřebí veškeré vybavení umístit přímo na pracoviště. Samotná instalace na určená místa probíhala za dohledu odpovědných osob. Arduino bylo pomocí DIN lišty umístěno do rozvaděčové skříně a propojeno s PC pomocí kabelu USB. Mini počítač Dell byl umístěn do připraveného boxu vedle klece stroje. Monitory byly umístěné přímo v kleci stroje a každý z monitorů byl propojen do PC pomocí HDMI kabelu.

Samotné aplikace návodky mohly být nahrány do PC. Před samotným spuštěním proběhlo testování návodky, ve kterém se vyskytlo několik problémů.

Obě návodky se zobrazovaly na jednom monitoru. To bylo způsobeno tím, že PC nerozpoznával druhý monitor. Tento problém se povedlo vyřešit jednoduchým řešením, a to spuštěním aplikace pomocí vlastního dávkového soubor (typu .bat). Do tohoto souboru je zapotřebí zapsat následující příkazy:

```
Start „název exe souboru“.exe -adapter1
```

```
Exit
```

Tato jednoduchá úprava spustí okamžitě návodku na druhé monitoru.

Další problém nastal u návodky Kontroly nalisování. Problém byl, že stroj nespínal návodku v požadovaném čase. To bylo zapříčiněno pouze volbou špatné proměnné, kterou byla proměnná „status“ což je ovšem interní Arduino funkce. Tato chyba byla vyřešena jednoduchou změnou názvu proměnné.

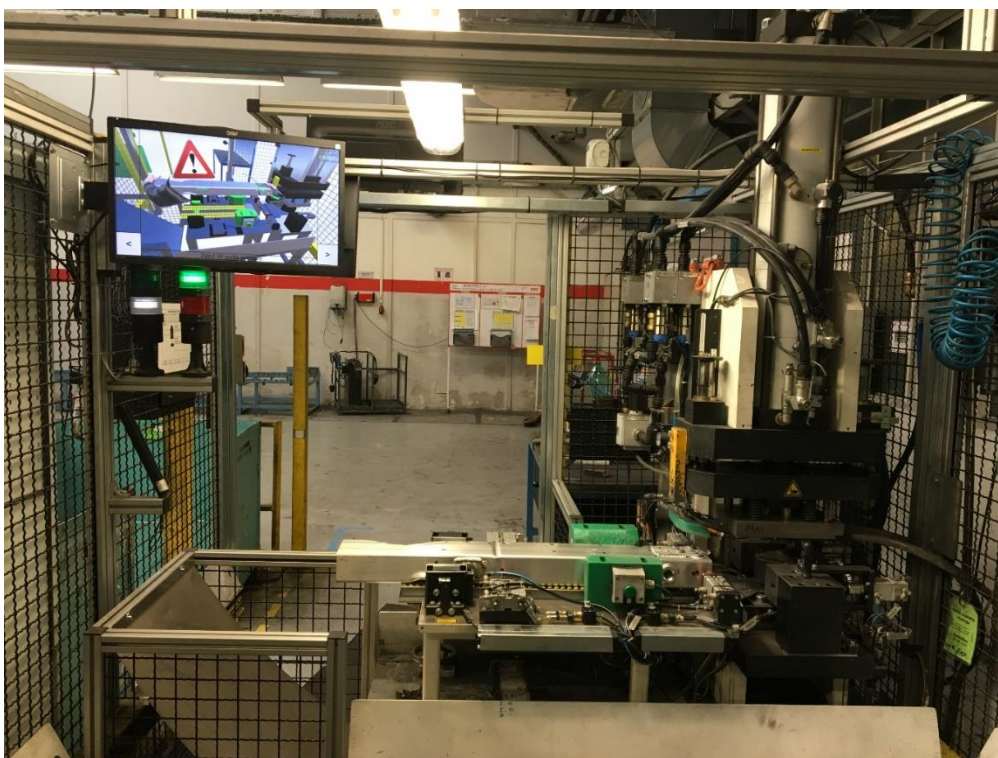
Po odstranění těchto drobných chyb byla návodka připravena na ostrý provoz.

Na obrázcích níže je zachycen výsledný stav celého pracoviště osazeného monitory a funkčními návodkami. Na Obr. 12 je zobrazeno, jak bylo Arduino i s krabičkou pro uchycení na DIN liště umístěno v rozvodné skříně.



*Obrázek 12 – Arduino v rozvodné skříni [zdroj: autor]*

Na obrázku 13 je znázorněné pracoviště osazené monitorem promítající návodku pro dané pracoviště.



*Obrázek 13 – Monitor s návodkou na pracovišti [zdroj: autor]*

### **Poděkování**

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] NOVIKOV, K. *Zefektivnění provádění výrobních procesů v rámci technické přípravy výroby*. Plzeň, 2019. Teze k disertační práci. ZČU v Plzni.
- [2] FOXON s.r.o. & Blažek J. *Kurzy programování PLC Siemens Simatic*. [Online] 2013 [cit. 20.11.2019]. Dostupné z: <https://foxon.cz/blog/kurzy-programovani/kurzy-programovani-simatic-s7-300/182-kurz-programovani-plc-siemens-simatic-s7-300-dil-1#tri>
- [3] HOŘEJŠÍ, P. *Využití virtuální a rozšířené realit v průmyslu*. Plzeň, 2019. Habilitační práce. ZČU v Plzni.
- [4] LINOWES, J. *Unity Virtual Reality Projects*. Birmingham: Packt Publishing, 2018. ISBN 978-1-78847-880-9.
- [5] Forbes Technology Council. *10 Ways VR Will Change Life In The Near Future*. [Online] 2018 [cit. 25.10.2019]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/08/31/10-ways-vr-will-change-life-in-the-near-future/#3f5f6da63d94>
- [6] *New Virtual Reality Application: Supermarket VR*. [Online] 2017 [cit. 2.12.2019]. Dostupné z: <https://horizonstreetview.wordpress.com/2017/08/02/new-virtual-reality-application-supermarket-vr/>.
- [7] *Comfor*. [Online] COMFOR STORE a.s., 2018. [cit. 5.4.2020]. Dostupné z: <https://www.comfor.cz/periferie/monitory/22-led-aoc-22p1d-fhd-hdmi-dvi-rep-piv>.

# Adaptace a vzdělávání pracovníků v prostředí výrobních podniků - nové trendy

Alena Lochmannová

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika  
[lochmann@fzs.zcu.cz](mailto:lochmann@fzs.zcu.cz)

**Anotace:** Příspěvek je výsledkem rešeršní činnosti v prvním ročníku studia doktorského studijního programu a jako takový představuje první dílčí podklad pro zpracování vlastní disertační práce. Zabývá se problematikou adaptace a vzdělávání zaměstnanců ve specifických podmínkách s využitím virtuální reality, přičemž především představuje případové studie se zdůrazněním nového využití virtuální reality pro zpracování, adaptaci, ukotvení a následný rozvoj zaměstnanců.

## 1 Úvod

Využití VR ve vzdělávání je jedním z přirozených vývojových kroků učiněných v rámci školení s využitím počítačů (CBT). Použití počítače jako pomůcky pro výuku se datuje do padesátých let a seriózní studia začínají v šedesátých letech. Příchod mikropočítače v roce 1977 umožnil, aby se osobní počítač stal nepopíratelně efektivním systémem pro mnoho aspektů učení. VR, kterou lze použít na všech typech počítačů, sledovala tento trend [57]. Virtuální realitu však nelze zaměňovat se simulovanou realitou (SR). Jakmile je hráč ponořen do simulace nebo hry, získává pocit přítomnosti v prostředí spíše než jen pocit pozorování prostředí zvenjšku. Sensorická zpětná vazba umožňuje selektivní poskytování sensorických dat o prostředí na základě vstupu uživatele. Konečnou charakteristikou, která je nezbytná pro replikaci reality, je interaktivita, což je schopnost procházet vytvořeným světem, interagovat s objekty, postavami a místy [13]. Základem vzdělávacího nástroje VR je možné vytvořit tyto prvky.

Kvůli potenciálním úrovním realismu si vědomé myslí v simulaci nemusí být vědomy, že jejich realita není do jisté míry pravá. Brey [12] tvrdí, že v důsledku toho se objevuje mnoho problémů kolem etiky. Jedním ze tří důvodů, které se mohou jevit jako morálně problematické, je především nedodržení standardů přesnosti a zkraslení reality. Za druhé, nedodržování norem spravedlivosti, a tím nespravedlivého znevýhodňování určitých skupin. A konečně, porušení standardů slušnosti a veřejné morálky. Proto je důležité, aby konstruktéři simulačních nástrojů toto zohlednili při vytváření simulačního softwaru, který funguje jako nástroj pro vzdělávání. Bylo by morálně nepřijatelné navrhnout svět, který ohýbá hodnoty uživatele k hodnotám návrháře.

VR jako termín nemá žádný standardní význam, nikoli v rámci samoobslužného VR průmyslu. To je způsobeno tím, že se tento termín může kvalifikovat jako jakékoli vizuální reprezentační médium, jako je televize nebo obrazy. VR spadá do dvou kategorií projekční VR a desktop VR. Projekční VR zahrnuje trojrozměrné (3D) virtuální modely promítané do místnosti, kterou lze vnímat z různých perspektiv (CAVE). Desktop VR se týká prostředí znázorněného na obrazovce počítače, které lze vnímat stereoskopicky pomocí speciálních brýlí [12]. Tento projekt využívá obrazovku Zspace, což je desktop VR. To by umožnilo přijatelný přechod pro návrháře založené na 3D modelování a snížilo by se zdráhání zaměstnanců přijímat nový systém designu. Burke [15] uvádí, že je lepší zpozdit implementaci, než riskovat selhání z důvodu nedostatečného vedení nebo neochoty zaměstnanců používat nový systém [15].

Shiratuddin a Zulkifli [63] tvrdí, že pokroky v počítačovém modelování, vizualizaci, simulaci a správě dat o výrobcích činí z VR životaschopné alternativy k tradičním procesům realizace produktů ve výrobě. Jejich použití v průmyslu umožňuje společně snížit náklady na design a výrobu a dále zajistit kvalitu produktu. V důsledku toho se zkracuje čas potřebný k přechodu od návrhu koncepce k výrobě. To však nenaznačuje, že implementace VR zlepšuje jakoukoli společnost plošně. Burke [15] tvrdí, že používání technologie ke zvýšení efektivity stále vede k tomu, že implementátor stále rozkládá pevné myšlenky v rámci organizace. Kromě toho by toto nalezení správného technologického řešení základních problémů společnosti nemohlo být dále od pravdy. Úspěch a schopnost řídit určují lidské faktory při realizaci projektu.

Chceme-li vytvořit simulaci, která má schopnost učit uživatele komplexní informace, musí zůstat příjemná a neustále poutavá. Je třeba hledat rovnováhu mezi obtížným a dokončitelným. V odvětví videoher se to již ukázalo, pokud by hra byla neskutečně těžká, nikdo by ji nekoupil. Hráči také nechtějí, aby byl obsah hloupý nebo zkrácený [28]. Gee [27] uvádí, že problémy prezentované hráči musí být racionálně strukturovány, práce v kognitivní vědě ukazuje, že hráči, kteří se zabývají problémy, které vytvářejí dobré zobecnění pro pozdější problémy, se mají šanci dozvědět více.

VR hrála v posledních 60 letech v designu a výrobě převládající roli [13]. To je způsobeno rozšiřováním výkonu a schopností softwaru v důsledku jevu známého jako Mooreův zákon. Zde se výkon integrovaných obvodů zdvojnásobuje přibližně každých osmnáct měsíců. To se týká téměř všech elektronických zařízení, protože obsahují integrované obvody [51]. Při pohledu na tuto historii je obtížné odmítnout integraci VR do moderní výroby. VR v doslovném smyslu by byla CAD a v podstatě cokoli, co by bylo vidět na obrazovce počítače, tato nejednoznačnost umožňovala tolik potřebnou specifickou roli při definování VR.

Ponoření (imersion) je často termín používaný k definování různých účinků, které různé formy VR přinášejí. Costello [18] rozpracoval definici VR více než Shiratuddin a Zulkifli [63] tím, že popsal různé úrovně dostupné VR, zacílil

přítom na pocit ponoření. Je třeba přihlížet k tomu, jak silná je pozornost uživatele zaměřena na daný úkol.

Existují i další výhody pro výrobce plynoucí z přijetí VR na pracovišti než simulace komplexních systémů s aspekty ponoření a interaktivity. Je třeba zvážit také flexibilitu a přizpůsobivost, kterou toto médium poskytuje; měla by být zohledněna schopnost simulovat potenciální výsledky s vysokou mírou přesnosti. Existuje také potenciál vizualizace makroskopického a mikroskopického [38].

V posledních letech VR průmysl zaujal zajímavý obrat. Společnost Oculus Rift byla zakoupena společností Facebook s úmyslem ji vyvinout na více než jen herní platformu. Skutečnost, že to může udělat společnost velikosti Facebook, znamená, že pro tyto platformy platí značný potenciál. Ukazuje také, že tato technologie dosáhla cenové dostupnosti. Před třiceti lety, kdy Jaron Lanier založil VPL, by náhlavní soupravy VR stály až 100 000 dolarů [58].

Společnost Oculus Rift také inspirovala další společnosti, aby následovaly postup v závodě směrem k domácímu hernímu systému VR. Společnost Sony začala vyvíjet HMD, který bude dalším hardwarem pro PlayStation 4. Zatímco videohry jsou místem, kde se vylepšený VR rozběhne, ukazuje se již jeho přítomnost v architektuře, CAD, výcviku reakce na mimořádné situace a terapii fobií [58]. Má potenciál stát se nákupním a hudebním formátem, díky kterému je tato technologie součástí nové éry integrace s výpočetní technikou.

VR ve výrobním slova smyslu vytvořilo pojem Virtual Manufacturing (VM). Depince a Chablat [22] jednoduše definovali VM jako nic jiného než výrobu v počítači. To je dále rozpracováno Iwatou a kol. [36], kteří definují VM jako výrobu virtuálních produktů definovaných jako agregace počítačových informací, které poskytují reprezentaci vlastností a chování aktualizovaného produktu.

## **2 Adaptace zaměstnanců výrobního podniku – nové trendy**

### **2.1 Diskuze Game based learning**

Poměrně zajímavý konceptem je tzv. game based learning. Děti a dospělí nemají stejné styly učení ani kognitivní zátěž. Videohry však přicházejí v mnoha věkových rozsazích, takže obsah nemusí být pro děti zjednodušován, ve skutečnosti to mnozí dospělí sběratelé nesnášejí [28]. Hry také přicházejí s řadou obtíží, ze kterých si může uživatel vybrat, což dále umožňuje hráči specifikovat styl hry a možnosti učení. Některé hry jdou až tak daleko, že navrhuje hráči změnit jejich obtížnost na základě úspěchu nebo neúspěchu při hrách. Hocine a Gouaich [33] uvádějí, že tuto techniku přizpůsobení obtížnosti lze použít v jiných formách simulace, jako je rehabilitace. Stejně

jako rehabilitační proces musí být simulace přizpůsobena uživateli. Například pacient používající simulaci může mít jinou formu zranění než jiná. Proto musí být vytvořen systém, který uživateli umožní přizpůsobit herní zážitek.

Opora (scaffolding) je efektivní forma výuky videoher. Příkladem toho jsou výukové fáze hry, kdy se hráč učí základní dovednosti pro navigaci ve hře. Jsou jim předvedeny ukázky, jak provést určitou akci; to dává hráči potřebné dovednosti k dokončení požadovaného úkolu, který již viděli, že se odehrává. Wainess, Kerr a Koenig [73] provedli studii analyzováním instruktivního obsahu v rámci řady populárních her, jedním z těchto instruktivních konstrukcí bylo poskytování opory. To bylo dále rozděleno na podkategorie poskytování cílů, seznamů úkolů, organizátorů předem, seznamů zdrojů, nápověd, zpětná vazba a zpracované příklady. To naznačovalo, že tyto aspekty jsou klíčové, když hráči poskytují instruktivní oporu během přípravných fází hry nebo simulace [2]. Výsledkem studie bylo, že hry, které obsahovaly velké množství instruktážních opor, usnadňují učení hry. Stejně tak se lze domnívat, že i výukové programy s dostatečnou oporou mohou zefektivnit osvojení si příslušné operace v rámci výroby.

## **2.2 Využití VR v případě studentů technických oborů**

Případová studie Virtual Reality Case Study throughout the Curriculum to Address Competency Gaps provedená Whitmanem, Malzahnem, Madhavnem, Wehebou a Krishnanem [77] zkoumala implementaci VR jako vzdělávacího nástroje pro studenty technických oborů, kteří opouštějí univerzitu a vstupují do průmyslu. Zjistilo se, že studenti shledávali jako obtížné prakticky použít teoretické informace, které se naučili, v prostředí průmyslového podniku. Jasně řešení bylo nalezeno, když se studenti účastnili simulace VR pro prostředí štíhlé výroby. Další modul kurzu se zaměřil na stejnou simulaci, kde byl snížen počet pracovních stanic a změněny doby procesu, aby bylo možné v určitých oblastech hromadit zásoby. Tím se studenti učili o nedostacích v rámci dané továrny, což jim umožnilo získat realistické porozumění tomu, jak se vypořádat s problémy, které mohou nastat v továrně.

## **2.3 Další obory vzdělávání a sledování pokroku studentů**

Aplikace virtuální reality mají velký potenciál pro použití ve vzdělávání na všech úrovních. Rozhraní VR mají potenciál doplňovat stávající přístupy ve vzdělávání. Ve virtuálních světech mohou být studenti/školení jedinci/zaměstnanci současně vybaveni trojrozměrnými reprezentacemi, více pohledy a referenčními rámci, simultánními vizuálními a zvukovými zpětnými vazbami. S pečlivým návrhem a implementací mohou být tyto schopnosti syntetizovány tak, aby vytvořily hluboký pocit motivace a koncentrace vedoucí k zvládnutí složitých materiálů. Bylo vyvinuto několik vzdělávacích aplikací. Shin ohlásil stolní VR systém pro výuku přírodních věd v oblasti věd o Zemi pro studenty středních škol [62]. Simulace VR byly vyvinuty pro výuku vědeckých konceptů, jako je radiační rovnováha, zemětřesení vlny, pohyb



oceánu a rovnováha zemské kůry. Virtuální nástroj plynového chromatografu-hmotnostního spektrometru byl zřízen v prostředí webu, aby školil studenty v provozu přístroje [74]. Studenti se naučí ovládat virtuální nástroj prostřednictvím webové stránky mimo laboratoř, čímž se nástroj uvolní pro použití v laboratoři pro provádění smysluplných experimentů a shromažďování dat. Byť se nejedná o průmyslové prostředí, princip aplikace zůstává stejný. Studie „Virtual reality simulations and animations in a web-based interactive manufacturing engineering module“ [55] představuje vývoj webového interaktivního výukového balíčku, který využívá simulace a animace VR, pro třetí ročník modulu počítačově automatizovaných výrobních systémů (CAMS) ve výrobní divizi na Národní univerzitě v Singapuru. Značkový jazyk HyperText (HTML) se používá pro zobrazování informací, vkládání appletů Java a plug-inů pro modelování jazyka virtuální reality (VRML). Simulace VR a animace NC obráběcích operací byly vytvořeny pomocí VRML a Java. VRML se používá k vytváření virtuálních NC obráběcích prostředí. Java applety se používají k provádění simulací a animací. Byly implementovány dvourozměrné (2D) simulace, které demonstrují pohyby nástrojů NC kódů. Existuje několik interaktivních 2D appletů, jejichž chování závisí na vstupu dat od uživatelů. Pro použití VRML jsou poskytovány trojrozměrné (3D) simulace. Mnoho z těchto simulací VR vygeneruje interakce mezi Java a VRML, které vyžadují uživatelské vstupy pomocí techniky EAI (External Authoring Interface). Zobrazení světů VRML bude vyžadovat použití modulu Cosmoplayer. Byly také implementovány výukové otázky a nástroj pro sledování pokroku studentů. Do tohoto projektu je začleněn monitorovací nástroj, konkrétně Flying Fish vyvinutý vědci z University of Western Australia, aby sledoval pokrok studentů. Je to výukové prostředí, které je schopné sledovat pokrok studentů, stanovit termíny a udělovat známky. Prostředí Flying Fish umožňuje administrátorům a přednášejícím stanovit výukové otázky, které jsou podporovány Java. Zabezpečení je improvizováno, protože studenti se musí přihlásit pomocí vydaných hesel. Takový monitorovací systém je pohodlný a užitečný, protože není možné sledovat pokrok každého studenta v běžných lekcích tutoriálu.

## **2.4 VR a vzdělávání v těžebním průmyslu**

Studie Virtual Reality Training Applications for the Mining Industry [72] přibližuje využití virtuální reality v prostředí dolů. V kontextu důlní těžby je primární zájem užití a dalšího rozvoje virtuálního prostředí umožnit důlním pracovníkům vyzkoušet si a zažít důlní situaci, aktivity a procesy, s nimiž se mohou v rámci každodenních aktivit v tomto prostředí setkat. Bezpečné a efektivní plánování a produkce jsou základem k ziskové důlní těžbě a VR poskytuje intuitivní nástroje pro prozkoumání různých a často nesourodých informací spojených s důlními procesy. Přitom je nutno podotknout, že těžba v jedenadvacátém století je moderním průmyslem, který usiluje o redukci rizik a zlepšuje bezpečnost prostřednictvím použití technologií, které jsou často vyvinuty v rámci jiných průmyslových odvětví. Interaktivní systém CB vizualizace je příkladem. Milgram a Kishino [49] si uvědomili, že zatímco

virtuální prostředí napodobují vlastnosti a zákony skutečného světa i mimo něj, často se přehlíží, že virtuální realita může být spojena s jinými prostředími. To znamená, že virtuální světy lze rozšířit o skutečné obrázky a data. Pro těžební operace představuje VR silný nástroj jak z hlediska provozu, tak z hlediska školení, kde lze syntetické obrazy odvozené z prediktivních dat kombinovat a překrývat obrazy a zkušenosti ze skutečného světa. V rámci studie Virtual Reality Training Applications for the Mining Industry [49] byly nainstalovány různé prototypové systémy VR a použity v dolech a hutích. Všechny byly dobře přijaty a poskytly zajímavou a poutavou alternativu k běžným školicím programům. Současně tento přístup zlepšil kulturu bezpečnosti a informovanost pracovníků. Obdobným prostředím a tématem se zabývají i další studie, mezi nimi např. Virtual Reality for Mine Safety Trainin [25]. Cílem projektu školení o důlní bezpečnosti je vyvinout dostupné programové vybavení, které bude fungovat na dostupných počítačích a poskytne horníkům realistický tréninkový zážitek. V zájmu dosažení tohoto cíle se vědci zaměřují na dva samostatné, ale paralelní úkoly. Prvním úkolem je vývoj evakuačního výcvikového softwaru s využitím existujícího počítačového grafického enginu. Druhá úloha se týká vývoje simulátoru rozpoznávání nebezpečí pomocí herního softwaru off-the-shelf. Výcvikový software vyvinutý pro obě zařízení je navržen pro provoz na levných osobních počítačích vybavených trojrozměrnými grafickými kartami. K dokončení prvního úkolu, který se ve vazbě na moji disertační práci jeví jako zajímavější a využitelnější, se výzkumníci opírali o grafický engine 3DGE zakoupený od Twilight 3D ve finském Vantagu. Grafický stroj zpracovává scénu v rámci virtuálního dolu. C++ kód byl vyvinut na zakázku pro fyziku (jako je gravitace) a interakce ve virtuálním dole. Tento systém navržený na míru byl nezbytný pro úkol evakuačního výcviku, protože může akceptovat skutečnou geometrii dolu odstraněnou z důlních map. Tato vlastnost je nezbytná k tomu, aby poskytla praktikantům realismus a umožnila evakuační cesty, které se praktikují stejně, jako by tomu bylo v případě běžného dolu. Systém navržený na zakázku také umožňuje přizpůsobit uživatelská rozhraní a interakce pro těžební průmysl. V závislosti na popisu práce školeného a na tom, jak chce trenér simulaci provést, lze procvičit různé scénáře pro evakuační výcvik. Současný program umožňuje, aby praktikant začal na povrchu dolu v místnosti s bezpečnostním zařízením. Zde účastník získá potřebné bezpečnostní vybavení před zahájením práce. Jedinec pak postupuje do podzemí přes klec, aby zahájil směnu v určeném pracovním prostoru. Když školenec dorazí do správné pracovní oblasti, na obrazovce se objeví varovné hlášení, které uvádí, že došlo k havárii v dole, což je indikováno zápachem plynu nebo blikajícími světly. Stážista musí poté opustit důl a přitom dodržovat správné postupy a trasy. Scénář lze změnit tak, aby testoval reakci účastníka na blokovanou primární únikovou cestu, takže musí být použita sekundární úniková cesta.

## 2.5 VR a kolaborativní roboti

V moderních výrobních systémech vznikla potřeba spolupráce a sdílení průmyslových robotů a lidí v pracovním prostoru za účelem plnění výrobních úkolů. Cílem této koexistence a spolupráce je zlepšit kvalitu a produktivitu zlepšením senzorických schopností, znalostí a obratnosti pracovníků v ručně prováděných úkolech pomocí síly, přesnosti a opakovatelnosti činností robotů. V takovém případě namísto toho, aby lidská práce byla nahrazena roboty při opakujících se úkolech, může spolupráce robotů s pracovníky vést k „práci s přidanou hodnotou“. V tomto kontextu se jako zajímavá jeví studie „Design of a virtual reality training system for human–robotcollaboration in manufacturing tasks“ [47]. Nedávné studie interakce lidí a robotů ukázaly, že plynulá spolupráce (nad rámec typu interakce typu „stop and go“) vyžaduje informovanost a předvídání záměru jak lidských, tak robotických [34]. Situační povědomí lze definovat jako „vnímání prvků v prostředí v množství času a prostoru, chápání jejich významu a projekce jejich stavu v blízké budoucnosti“ [76]. Aby bylo možné toto povědomí a očekávání usnadnit, je důležité, aby lidé i roboti sdělovali svůj stav, umístění a záměr, a to buď výslovně prostřednictvím určitých podnětů, jako jsou zvukové / vizuální signály, nebo implicitně prostřednictvím svých akcí a pohybových cest [70]. V takových případech jsou přednostně nasazovány hry (serious games) a vysoce interaktivní a pohlcující tréninkové aplikace virtuální, rozšířené nebo smíšené reality, protože mohou poskytovat zdokonalený výcvik ve všech třech úrovních uvědomění si situace (vnímání, porozumění a projekce). Výše uvedená studie prezentuje vysoce interaktivní a pohlcující VRTS („beWare of the Robot“) ve smyslu seriózní hry, která v reálném čase simuluje spolupráci mezi průmyslovými robotickými manipulátory a lidmi a provádí jednoduché výrobní úkoly. Prezentovaný scénář zahrnuje spolupráci při pokládání pásek pro výrobu leteckých kompozitních dílů. Problémy s bezpečností, jako jsou kontakty a srážky, se řeší hlavně „mimořádnými událostmi“, tj. varovnými signály, pokud jde o vizuální podněty a zvukové poplachy. Duševní bezpečnost má nejvyšší prioritu a postup je takový, že varovné podněty uvnitř VRTS, které nabízejí ponoření a interakci v reálném čase, mohou uživateli poskytnout zvýšené situační povědomí a zvýšené vnímání pohybu robota. Krátkodobým cílem výzkumu je prozkoumat rozšířené zkušenosti a chování uživatelů ve virtuálním světě, zatímco spolupracují s robotem, zatímco celkovým dlouhodobým cílem je prozkoumat přijatelnost spolupráce člověk-robot a zlepšit příslušné podmínky pomocí takového prostředí. Byl vyvinut scénář použití, představující kolaborativní páskové pokládání člověk-robot pro stavbu vyztužených kompozitních dílů v leteckém průmyslu. Obvyklé pokládání pásky typicky zahrnuje vyztužení uhlíkových vláken ve formě profilovaných textilních vrstev (náplastí / tkanin), které jsou ručně stohovány operátorem uvnitř formy, postupně na sebe, dokud není dosaženo požadované tloušťky. Ve scénáři spolupráce člověk-robot je robotickému manipulátoru přiřazen sběr a přenos náplastí na člověka. Jakmile uživatel vezme náplast z robota a umístí ji na správné místo uvnitř kovové matrice umístěné před sebou, robot pokračuje v podávání další náplasti. Tento postup

se opakuje, dokud člověk řádně neumístí všechny různé náplasti, což je v rukou avatara. Tyto přímé úkoly spolupráce člověk-robot jsou udržovány co nejjednodušší, ale zahrnují těsnou blízkost mezi člověkem a robotem a jsou prováděny paralelně, jako scénář „manipulace“ z ruky do ruky. Ten byl vybrán tak, aby představoval typické výrobní scénáře člověk-robot pro spolupráci, aby bylo zajištěno další využití v budoucnosti [47].

## 2.6 Školení ve VR a výrobní procesy

Zpracovatelský průmysl nejvíce přispívá k prosperitě průmyslových zemí. Je však stále obtížnější vyhovět požadavkům zákazníků a konkurovat jim. Pokroky v technologii virtuální reality poskytly aplikační VR pro různé inženýrské aplikace, jako je návrh produktu, modelování, řízení dílny, simulace procesů, plánování výroby, školení, testování a ověřování. VR má ve výrobních aplikacích velký potenciál k řešení problémů před tím, než se použije v praktické výrobě, čímž se zabrání nákladným chybám. VR nejenže poskytuje prostředí pro vizualizaci v trojrozměrném prostředí, ale také pro interakci s objekty, aby se zlepšilo rozhodování jak z kvalitativního, tak z kvantitativního hlediska. Aplikace virtuální reality ve výrobě byly v rámci studie Virtual reality applications in manufacturing system [31] rozděleny do tří skupin; návrh, výrobní procesy a řízení provozu. Pro mě jako nejzajímavější ve vazbě na možnost školení a adaptace zaměstnanců (resp. školení v rámci adaptace zaměstnanců) se jeví část „výrobní procesy“. Toto bylo rozděleno do tří různých oblastí; obrábění, montáž a kontrola. Virtuální obrábění zahrnuje procesy řezání, jako je soustružení, frézování, vrtání a broušení atd. Obrábění pomocí virtuální reality se zabývá hlavně procesy řezání, jako je soustružení, frézování, vrtání a broušení atd. Obrázek níže ukazuje, že technik simuluje pomocí VR použití hexapodového obráběcího stroje. Uživatel může namontovat obrobek na frézce, vybrat nástroj a provádět přímé obráběcí operace, jako jsou axiální pohyby nebo předdefinované sekvence [5].

Virtuální sestavení je klíčovou součástí virtuální výroby a je definováno jako použití počítačových nástrojů k vytváření nebo pomoci s technickými rozhodnutími souvisejícími se sestavením pomocí analýzy, predikčních modelů, vizualizace a prezentace dat bez realizace produktu nebo podpůrných procesů. Virtuální realita může být použita pro montáž / demontáž. V montážní lince se virtuální výroba používá hlavně ke zkoumání montážních procesů, mechanických a fyzikálních charakteristik na základě modelování a simulace [37].

V roce 2006 Toyota využila virtuální osobu, tzv. Ergo Mana, aby pomohla snížit fyzické zatížení montážních pracovníků, kteří stavěli novou generaci Camry ve svém výrobním závodě v Melbourne. Byl použit jako součást inovativní operace 3D virtuální montáže, která digitálně replikovala celý proces výroby sestavy [31]. Další VR aplikací v montáži je společnost Ford Motor Company, která uzavřela partnerství se společností Siemens při budování technologie virtuálních montážních závodů. Aplikace s názvem

IntoSite používá infrastrukturu Google Earth, která uživatelům umožňuje procházet 3D verze skutečných montážních závodů Ford přímo na jednotlivých pracovních stanicích. Umožnit technikům pohybovat se s částmi a procesy prakticky znamená efektivnější společnost. Bez ohledu na to, jak automatizovaný a virtuální se proces výroby automobilů stává, vozidla jsou nakonec vyrobena lidmi. Čím lepší je komunikace mezi těmi lidmi, tím lepší produkt jsou schopni vytvořit. Naštěstí IntoSite neumožňuje technikům pouze prakticky cestovat do montážních závodů po celém světě, ale také je lépe propojí se svými globálními kolegy. Díky tomuto přístupu sjednocené komunikace mohou spolupracovníci na celém světě odpovídat na otázky okamžitě, data lze sdílet v reálném čase a dokonce i cestovní náklady by se mohly potenciálně snížit.

Virtuální výrobní technologie se používá k modelování a simulaci inspekčního procesu a fyzikálních a mechanických vlastností inspekčního zařízení. Tato virtuální inspekce poskytuje prostředí pro studium metodik inspekce, detekce kolizí, plánu inspekce a faktorů ovlivňujících přesnost inspekčního procesu [40].

## 2.7 Využití VR v automotive

Za zmínku jednoznačně stojí studie „Implementing virtual reality into employee education in production sector of automotive industry: creating worker training for assembling car dashboard in virtual reality“ [19]. Vývoj informačních a komunikačních technologií umožnil nové způsoby zpracování a umožnil inovaci zavedených metod a technik. V oblasti vzdělávání poskytují IKT interaktivní a atraktivní vzdělávání v prostředí virtuální reality s vysokou podobností s fyzickou realitou. Žáci získávají nové znalosti prostřednictvím pokusů a selhání v dynamickém a interaktivním prostředí, které poskytuje empirické zkušenosti „učení se praxí“. Výše uvedená studie navrhla implementaci virtuální reality do vzdělávání zaměstnanců ve výrobním sektoru montáže přístrojové desky v automobilovém průmyslu. Nastínila a popsala proces vývoje takového školení s výpočtem odhadovaných nákladů, aby poskytla více poznatků o používání virtuálních technologií ve vzdělávání široké veřejnosti. Náklady na autory popsané řešení lze odhadnout na přibližně 20 000 EUR, přičemž 3,000 EUR představují náklady na hardware. Tento výpočet odhadovaných nákladů nezahrnuje cestovní náklady na jednotlivé návštěvy na straně zákazníka ani žádné ziskové rozpětí prodávajícího ani rizikové náklady. Postupy projektového řízení tradičně doporučují zvýšit odhadovaný výpočet přibližně o 20-30 %, aby zahrnoval ziskové rozpětí a náklady vyvolané projektovým rizikem. Takové příkazy však obvykle nejsou pouze pro simulaci jedné činnosti, ale více činností podobných procesů, např. montáž různých palubních desek automobilů s různým vzhledem, ale s podobným montážním scénářem. V takovém případě lze odhadnout, že každá další řídicí deska s podobným průběhem procesu montáže na podobném / stejném pracovišti představuje další náklady ve výši 5 000 EUR. Tyto odhadované náklady zahrnují použití stávající logiky a scény pro nové komponenty. Pro výše uvedený výpočet byly jako reference použity

sazby specializovaných společností v daném oboru na Slovensku, protože jde o velmi úzký segment s velmi malým počtem odborníků, kteří mají k dispozici potřebné zkušenosti pro zamýšlený účel. Vývoj konečného řešení trvá přibližně 3 měsíce od doručení všech potřebných dokumentů zákazníkovi. Hardware potřebný k implementaci školení o virtuální realitě se odhaduje na cenu 3 000 EUR, kde 2 200 EUR odpovídá stolnímu počítači s příslušnými parametry pro takový typ simulace virtuální reality<sup>17</sup> a 800 EUR odpovídá zobrazovacímu zařízení pro virtuální realitu, jako jsou brýle atd.

## **2.8 Virtuální obrábění – virtuální montáž – virtuální inspekce**

Setkat se lze také s pojmem virtuální obrábění. Virtuální obrábění se zabývá hlavně řeznými procesy, jako je soustružení, frézování, vrtání a broušení atd. Technologie VM se používá ke studiu faktorů ovlivňujících kvalitu, dobu obrábění procesu odstraňování materiálu a relativní pohyb mezi nástrojem a obrobek.

Virtuální montáž je klíčovou součástí virtuální výroby a je definována jako použití počítačových nástrojů k vytváření nebo asistenci s technickými rozhodnutími souvisejícími s montáží pomocí analýzy, predikčních modelů, vizualizace a prezentace dat bez realizace produktu nebo podpůrné procesy. V montážních pracích [37] se VM používá hlavně ke zkoumání montážních procesů, mechanických a fyzických charakteristik zařízení a nástrojů, vzájemných vztahů mezi různými částmi a faktory ovlivňujících kvalitu na základě modelování a simulace. Virtuální realita může být použita pro montáž/demontáž. Může například lidský pracovník sestavit součást nebo součást? A pak lze díl rozebrat za účelem servisu a údržby v pozdějších fázích? Je třeba řešit i další otázky: je „složitě“ nebo „snadné“ sestavit / rozebrat součást? Jak dlouho to trvá? Jak stresující je to z hlediska ergonomie? Existuje dostatek prostoru pro nástroje? [52].

Virtuální inspekce využívá technologii VM k modelování a simulaci inspekčního procesu a fyzikálních a mechanických vlastností inspekčního zařízení. Cílem je studovat inspekční metodiky, detekci kolizí [68], plán inspekcí, faktory ovlivňující přesnost inspekčního procesu atd. [40].

## **2.9 Kombinace virtuální a augmentované reality**

Studie „Combining Virtual and Augmented Reality to Improve the Mechanical Assembly Training Process in Manufacturing“ [59] navazuje a rozšiřuje studii „Recent Advances in Manufacturing Engineering, Proceedings of the 4th International Conference of Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems“ [69], kde byl navržen systém školení založený na virtuální realitě, který poskytuje vynikající výsledky a poskytuje příležitosti, které nejsou k dispozici při použití konvenčních metodik. Virtuální realita má však omezení, bez ohledu na to, jak realistické je virtuální prostředí, bude často existovat rozdíl oproti reálnému prostředí, v závislosti na konkrétním tréninku, který může být velký nebo malý, a když se praktikant potýká se skutečným úkolem po tréninku, tento rozdíl se projeví na jeho výkonu. Je to

proto, že je to fenomén přenosu, a to díky skutečnosti, že dovednosti někdy nemohou být dostatečně přeneseny z virtuálního prostředí do reality. Z tohoto důvodu ne ve všech případech může virtuální realita plně nahradit konvenční metody tréninku, ale pokud to pomůže, může nahradit její důležitou část. Naproti tomu rozšířená realita je technologie, která je založena na skutečné realitě, kde jsou počítačem generované pomůcky přidávány do reálného prostředí, veškeré znalosti získané při školení lze použít přímo k provedení úkolu. Problém s rozšířenou realitou je v tom, že představuje mnoho nevýhod konvenčních metodik, protože značně využívá zdroje. Pro zlepšení tréninkového procesu jako celku představuje výše uvedená studie z roku 2012 alternativní tréninkový proces, který kombinuje tyto dvě technologie, iniciuje proces s tréninkem založeným na virtuální realitě, získává všechny výhody, jako jsou nízké variabilní náklady, a finalizuje trénink s rozšířenou realitou, kde praktikant může dokončit proces učení. Z původně navržených cílů a vzhledem k výsledkům je možné dojít v rámci studie k několika závěrům. Kombinace virtuální a rozšířené reality do jediného vzdělávacího procesu je stejně účinná jako u konvenčních metodik, navíc umožňuje efektivnější využití zdrojů a větší flexibilitu v typu společností, které mohou těžit z těchto technologií, protože lépe vyhovují jejich potřebám než při použití pouze jednoho z nich. Virtuální realita a rozšířená realita mají za určitých podmínek různé aplikace, z nichž jedna je v některých případech lepší a druhá v jiných případech lepší, takže se mohou vzájemně doplňovat. Během vývoje bylo identifikováno několik aspektů, které by mohly být zahrnuty do budoucí práce na zlepšení procesu. Bylo by vhodné vyvíjet další systémy VR a AR nejen proto, aby společnostem pomohly zlepšit své tréninkové procesy, ale také systémy schopné pomoci zvýšit produktivitu podnikových procesů. Pro usnadnění úkolů v rámci spolupráce je možné přidat síťové funkce přes internet, kde mohou účastníci praktikovat úkoly, které vyžadují interakci několika lidí a získat dovednosti týmové práce [59].

Ve výrobních odvětvích je již standardem používání virtuální reality a jejích metod ke zlepšení vývoje produktu, zvýšení kvality a optimalizaci finálního designu. Počítačový vizualizační a analytický software významně pomáhá snižovat rostoucí výrobní náklady a umožňuje zabránit výrobě prototypů a namáhavému testování ve výzkumných laboratořích. To urychluje vývojový projekt a zlepšuje komunikaci mezi inženýry, což umožňuje intuitivní zážitek a výměnu dat při používání srozumitelného prostředí virtuální reality. Dnešní konkurenční obchodní prostředí zvyšuje potřebu dobře vyškolených operátorů se všemi typy dovedností a ve všech odvětvích. Společnosti tlačí zařízení na své limity, zatímco procesy i automatizované systémy jsou stále komplikovanější. Předpokládaný odchod do důchodu mnoha zkušených operátorů v blízké budoucnosti připraví půdu pro mladou pracovní sílu. Otázkou je, jak udržet výnosnou rychlost výroby a zajistit bezpečné a efektivní pracovní prostředí s personálem, který je v práci nový. Zde se 3D komunikace stává všudypřítomnou, nezávislou na specializovaném softwaru a formátech a nákladově efektivní. Použití 3D dat a nástrojů pomáhá urychlit komunikaci informací. Odpojení 3D dat od zatížených systémů a jejich zpřístupnění všem

lidem v organizaci je považováno za důležitý cíl, který výrazně zlepšuje kvalitu komunikace a současně šetří čas a náklady. Díky bezpečným virtuálním prostředím je schopnost tvořit chyby a učit se z chyb při provádění komplikovaných postupů a pokynů charakteristickým znakem způsobu, jak navrhnout řešení školení a vzdělávání. V rámci tohoto přístupu „učení se praxí“ může uživatel rychle identifikovat problém, klást otázky nebo získat včas instruktáž o důsledcích jeho jednání. Fotorealistické 3D modely podrobného vybavení a zařízení v plném rozsahu jsou teprve začátek. Opakovaným použitím těchto dat v softwarovém prostředí v reálném čase může virtuální instruktor interaktivně vést studenty i přes nejpokročilejší montážní služby, kontrolní seznam údržby nebo bezpečnostní postup.

Cílem veškerého výcviku obsluhy je co nejrychleji a nejúčinněji zlepšit sadu dovedností. Realismus spojený s tréninkem virtuální reality výrazně urychluje učení a získávání dovedností. Ve skutečnosti se kombinace VR a tradičního školení osvědčila opakovaně. Schopnost zlepšit využití prostředků, opětovné použití složitých modelů a návštěva nebezpečných míst virtuálně pomocí prostředí simulovaného 3D umožňuje akumulaci času. Příkladem úspory času je vytvoření virtuálního průchodu výrobním zařízením. Realistická 3D zobrazovací technologie umožňuje prohlídku zařízení prakticky odkudkoli emulací zážitků z reálného života a vzdálené spolupráce mezi týmy. Na obrázku níže je uveden virtuální simulátor ropné platformy EYESIM.

Při použití pohlcujícího zobrazovacího systému v plném měřítku 1: 1 je operátor proškolen o komplexní funkčnosti, která není v reálném životě možná kvůli omezením nákladů a možnému riziku. Takový systém by mohl být klasifikován jako „Operator Training Simulator“ (OTS), který je zásadní pro provoz výrobních zařízení a řízení neobvyklých situací. OTS umožňuje začátečnickům naučit se základy, zatímco zkušenější pracovníci jsou schopni zvládat neobvyklé nebo mimořádné situace v bezpečném prostředí. Konečná kvalita modelu, simulace fyziky a řízení chování zařízení rozhoduje o tom, jak budou školení jedinci absorbovat instrukce a uchovávat si to, co se naučili při cvičení. Téměř každý stroj by mohl být rekonstruován na 3D interaktivní model s reálnými a virtuálními řadiči nebo kokpity. Tyto simulátory, často nazývané Syntetické environmentální trenéry (SET), rozmazávají rozdíl mezi simulací a skutečným pracovním prostředím. SET může dramaticky zkrátit křivku učení, zlepšit dovednosti obsluhy a podpořit zvládnutí certifikace a dodržování předpisů.

Od několika let podporují technologie CG průmysl dalším velmi výkonným školicím nástrojem ve formě instrukcí pro rozšířenou realitu. ARI poskytuje počítačem generované informace o údržbě a provozu na vrcholu viditelných objektů. Průsvitné brýle promítají digitalizované modely a informace vrstvené na stávající prostředí. Operátoři mohou komunikovat s ovládacími prvky zařízení, zatímco servisní pokyny krok za krokem zvyšují uživatelský dojem. Aplikace a simulátory mohou být navrženy tak, aby se objevily na mobilních zařízeních, jako jsou elektronické tablety nebo chytré telefony, a nahrazovaly tištěný materiál vždy aktuálními pokyny pro osvědčené postupy. Tato řešení



pomáhají transformovat zaměstnance s obecným porozuměním prostředí nebo vybavení na informovaného pracovníka pro 21. století.

## 2.10 VR a armáda

Od počátku vývoje technologie CG (Computer Graphics) byla virtuální realita využívána k podpoře několika projektů obrany americké armády a jejich velitelských center. Software VR a zobrazovací zařízení dnes překračují mnoho standardních omezení a umožňují uživatelům vzájemně komunikovat a spolupracovat v digitálním světě a snižovat náklady a počet skutečných cvičení potřebných pro výcvik vojenského personálu. V současnosti se počítačové aplikace většinou používají k výcviku vojenských pilotů a posádek tanků v bezpečném prostředí. Vojáci vstoupí do fyzického modelu vozidla obklopeného promítacími plátny, které v reálném čase vytvářejí 3D svět kolem jejich vnímání. Nejdůležitějším přínosem vojenských sil jsou jejich zkušenosti a znalosti získané na poli v boji. Vojenští funkcionáři se obávají, jak předat tyto znalosti mladému muži ve věku 18 až 24 let, a to tím nejlepším způsobem, jak zvýšit jeho dovednosti a schopnost myslet ve složitých prostředích. Během standardních vojenských cvičení není život vojáka obvykle ohrožen. To velmi ztěžuje studium jeho individuálních charakteristik chování, jeho schopnosti analyzovat hrozby, identifikovat vznikající situaci a rozhodovací proces v život ohrožující situaci. VR umožňuje uspořádat nebezpečné bojové podmínky v potenciálně bezpečném prostředí. Získaná ponaučení by bylo velmi důležité pro odhalování podezřelého chování a jednání jednotlivců. Prostřednictvím takové virtuální zkušenosti můžeme vybrat ty nejlepší lidi pro tuto práci a připravit je na misi. Současná řešení boje s VR však mají také některé hlavní nevýhody. Například, všechny simulátory jsou umístěny v klimatizovaných prostředích, kde vojáci necítí teplo ani zimu, neunaví se nošením batohu s plnou hmotností při chůzi přes bažinatý terén. Možnost projít zdmi bez detekce kolizí také způsobuje spíše hru než seriózní trénink. Díky dnešní technologii a pokroku v počítačové grafice by se to mohlo zlepšit. Mezi četné standardní vojenské syntetické environmentální trenéry (SET) jsou každoročně v armádě rozmístěny pokročilejší a složitější simulátory „první reakce“, což přináší výcvik vojsk na další úroveň. Jedno z nejsložitějších simulačních prostředí je dobře známé pod názvem DTS (Dismounted Training Soldier program). Několik výrobců nabízí systémy, které byly stážistům, spolu s jejich kolegy z týmu využívajícími vyspělou technologii a 3D zobrazovací systémy namontované na hlavě, přičemž ti jsou zcela ponořeny do virtuální reality, kde každý z jejich pohybů je kopírován optickými systémy pro snímání pohybu. S využitím nejmodernějšího softwaru a hardwarové technologie vytváří DTS scénáře skutečného života pro uživatele, aby se ponořili do taktických výcvikových aktivit [59].

## 2.11 Virtuální továrna

Pomocí virtuálních výrobních aplikací mohou společnosti navrhovat rozvržení továrny a plánovat výrobní procesy, které dramaticky zlepšují produktivitu a zkracují dobu potřebnou k uvedení na trh. Toto řešení vizuálně integruje celý výrobní proces podniku, od počátečního návrhu produktu po finální výrobu, což zkracuje celkovou dobu plánování výroby, snižuje zdroje potřebné k uvedení produktu na trh a výrazně zvyšuje efektivitu výrobní linky [63]. Inženýři na University of Buffalo vyvinuli virtuální tovární software známý jako VR-Fact. Tento software umožňuje uživateli procházet montážním závodem, který ještě nebyl postaven, a pohybovat se kolem těžkých kusů zařízení pouhým ukazováním a tažením myši. VR-Fact poskytuje společně s trojrozměrnou metodu virtuálního navrhování rozsáhlých zařízení a simulaci práce v nich. Simulace zase výrobcům umožňují provádět takové věci, jako je identifikace a odvrácení potenciálních úzkých míst dříve, než se pustí do nového závodu. Mezi další funkce softwaru patří automatické generování většiny standardních strojů s využitím procesních parametrů, detekce ergonomických problémů, sledování činností prodejen a rozhraní s databázovými systémy.

Webové systémy poskytují vynikající nástroj pro sdílení virtuálních modelů nebo prostředí se vzdálenými uživateli a pro podporu spolupráce [6]. Webové systémy VR jsou tedy nákladově efektivní, protože požadovaná infrastruktura existuje téměř všude a prohlížeč software (plug-in) je volně k dispozici všem. Beier dále navrhuje potenciální řešení pro standardizovaný virtuální model použití Virtual Reality Modeling Language (VRML). Zatímco HTML, HyperText Markup Language, je současným standardem pro tvorbu domovských stránek, VRML podporuje distribuci trojrozměrných modelů přes internet. Tyto modely jsou založeny na polygonální reprezentaci a mohou být animovány, mohou zahrnovat funkčnost a dynamické chování a mohou být interaktivně kontrolovány uživatelem.

## 2.12 Aplikace virtuální reality ve výrobě a zvuková simulace

Text „Virtual Reality in Manufacturing“ [63] představuje koncept a aplikace virtuální reality ve výrobě. Výhody použití VR ve výrobě byly zdůrazněny a byly diskutovány některé potenciální oblasti aplikací VR ve výrobě. VRML, který byl vyvinut pro internet a WWW, v současné době představuje nejdůležitější způsob doručování trojrozměrných objektů na obrazovku libovolného uživatele. Umožňuje prezentovat trojrozměrné objekty a simulovat jejich chování. Spousta výrobních aplikací může těžit z funkcí VRML, pokud jde o prezentaci nových modelů, volitelných návrhů a různých objektů s různou funkčností [48]. Je důležité si uvědomit, že VR není pouze pro účely vizualizace, nýbrž nabízí zlepšené metody interakce a vizualizace, kde může být použit v reálných technických problémech.

Velmi mě zaujala otázka hluku ve vazbě na možnosti simulace. Přestože je otázka hluku ve výrobě široce diskutována z právních a zdravotních hledisek, stále neexistuje žádná komplexní metoda, která by ji simulovala a

analyzovala. V článku „Noise investigation in manufacturing systems: An acoustic simulation and virtual reality enhanced method“ [3] je navržen nový koncept pro zkoumání hladiny hluku. Jedná se o simulační metodu a implementaci virtuální reality (VR). Akustická měření v reálném závodě poskytují validační data pro realistickou simulaci. Reprezentace výsledků simulace ve virtuálním prostředí je dále vizualizována v automatickém virtuálním prostředí jeskyně (CAVE). Aby bylo možné určit vlivy hluku, je akustická simulace implementována v mnoha různých oblastech. Simulační metody jsou stručně rozděleny na numerické simulace a geometrické metody. Numerické metody jsou založeny na řešení vlnových rovnic, jako jsou metody konečných prvků (FEM), metody hraničních prvků (BEM) a časové domény konečných rozdílů (FDTD). Geometrické metody nám zjednodušují procesy šíření zvuku. Jedná se například o metodu zdroje obrazu, trasování paprsků a metody trasování paprsků. Ve srovnání s numerickými metodami geometrické metody výrazně zlepšují výpočetní výkon zvukové simulace, avšak za cenu zjednodušení předpokladů. Přehled a srovnání těchto metod je také uvedeno ve stávající literatuře [60] [66] [20] [64]. Vzhledem ke složitosti výpočtu nejsou zavedené vlnové a geometrické metody pro velké geometrické modely praktické a efektivní. Byl vyvinut vylepšený geometrický přístup nazvaný „Sledování fononu“ [20] [8], který je implementován v uvedeném článku. Tato metoda je inspirována metodou detekce fotonů, která bere v úvahu světelné částice zvané fotony a simuluje fotorealistický obraz. Analogicky k vidění světla jako částic nazývaných fotony, zdroje zvuku emitující zvukové částice se nazývají fonony. Sledování fononu je metoda geometrické akustiky, která jako vstup potřebuje geometrická data. Generují se 3D modely továren, zařízení a různých strojů, které jsou vstupem do integrovaného scénického grafu. Sledováním tlaku v různých frekvenčních pásmech a použitím Diracova impulsu jako zdroje zvuku tento výpočet poskytuje impulzní odezvu místnosti. Tento simulační proces je třeba opakovat, pouze pokud se změní zdroje zvuku a pozice posluchače. V uvedeném článku [3] je simulace použita pro výpočet hladiny akustického tlaku v libovolných pozicích posluchače. Simulace a vizualizace jsou pak implementovány ve virtuálním prostředí.

Zvuková simulace, metoda sledování fononu, vyžaduje několik nastavení vstupních parametrů. Protože se jedná o geometrický přístup, algoritmus potřebuje geometrický model místnosti a objekty uvnitř. Každému povrchu je přiřazen jeden materiál se specifickými absorpčními vlastnostmi. Absorpční koeficienty materiálu jsou obvykle převzaty z tabulek koeficientů. Jsou uvedeny parametry, které jsou nezbytné pro simulaci: trojosý scénářový graf s označeným povrchovým materiálem, absorpční koeficienty / funkce pro různé materiály, poloha jednoho nebo více zvukových zdrojů, distribuce zvukové energie a emise zvukových zdrojů, počet fononů do ke sledování, počet odrazů, které mají být sledovány, prahová energie fononů na konci simulace. Pro tento zdroj zvuku je nutná poloha a akustický tlak ve vzdálenosti 1 m. Lepších výsledků se dosáhne poskytnutím buď anechoického signálu zdroje zvuku, tj. simulovaného stroje, nebo úrovně akustického tlaku několika frekvencí. Dále může uživatel zadat libovolný počet posluchačů, od kterých je

potřeba pouze pozice. Počet fononů je definován uživatelem. Velký počet fononů poskytuje simulační data s vyššími detaily pro vizualizaci a auralizaci. Lidské ucho však není schopné lokalizovat původ zdroje zvuku. Proto menší počet fononů postačuje pro auralizaci a efektivní i pro simulaci. Rychlost zvuku ve vzduchu je považována za konstantní hodnotu 314 m / s. Více podrobností o nastavení simulace lze nalézt v disertační práci „Acoustic Simulation and Visualization Algorithms“ [20].

Zvuková simulace je nejprve implementována pomocí prohlížeče VRML „Instant Player“ a „Cortona3D Viewer“, který uživateli umožňuje procházet a manipulovat s grafem scény VRML v pracovním prostoru založeném na ploše. Po načtení modelu na každou adresu URL do aplikace prohlížeče může uživatel prozkoumat místnost, která umístí zdroj zvuku a spustí akustickou simulaci. 3D rozhraní pomáhá uživatelům najít zdroj zvuku. Po dokončení simulace se software přepne na krok sběru fononů. Uživatelé mohou zkoumat šíření zvuku uvnitř místnosti sledováním animovaných fononových cest. Rychlost přehrávání lze nastavit pomocí tlačítek „++“ a „-“ a aktuální krok simulace lze vybrat posuvníkem. A jeden nebo více posluchačů jsou umístěni v místnosti podle provozních pozic. Geometrii posluchače lze přizpůsobit. Poté lze provést krok sběru fononů. Tato aplikace je dále implementována v CAVE. Simulační server otevře port HTTP pro moduly COVISE a získá zpětnou vazbu od COVISE. Dva nezbytné moduly COVISE jsou moduly „VRML renderer“ a „VR“. První umožňuje VRML vizualizaci grafu scény v CAVE a druhý poskytuje základní interakční funkce, jako je navigace a sledování uživatelů.

Byť je výše zmíněné velmi zajímavé, je nutné podotknout, že simulace podporuje umístění pouze jednoho zdroje zvuku. Výrobní haly obvykle obsahují několik strojů běžících současně. Proto se mi zdá jako efektivní vývoj zahrnující více zdrojů zvuku. Kromě toho je změna akustických vlastností místnosti velmi těžkopádná, protože zahrnuje změnu původního modelu místnosti. Toto musí být rozšířeno, aby se zajistilo interaktivní nastavení absorpčního koeficientu, např. pro simulaci různých stavebních materiálů [3].

## **2.13 Vzdělávání ve virtuální realitě a stárnutí populace**

To, co je z mého pohledu často opomíjeno, tedy především ve vztahu ke školení zaměstnanců, je jejich věk. Zde se mi jeví jako obzory velmi rozšiřující studie „A virtual training system for aging employees in machine operation“ [43]. Tento článek představuje virtuální tréninkový systém pro provoz stroje, který řeší stárnoucí pracovní sílu. Zaměření na potřeby a schopnosti stárnoucích zaměstnanců je nevyhnutelné pro řešení probíhajících demografických změn a zachování konkurenceschopnosti. Navrhovaný systém se skládá z virtuální reprezentace stroje a ovládacího panelu na samostatném tabletovém počítači. Příspěvek popisuje didaktický přístup, způsoby interakce a způsob, jakým lze systém přizpůsobit schopnostem jeho uživatelů. Ukázkový scénář popisuje použití konceptu v prototypu. Mnoho

vzdělávacích systémů používá technologii virtuální reality. Klíčovou motivací jsou úspory nákladů, protože operátoři mohou být vyškoleni bez zapojení fyzického vybavení nebo trenéra. Příkladem použití jsou náběhy produktů v automobilovém průmyslu, kde výrobní školení může začít před výrobou prvních součástí [56]. Virtuální výcvik navíc umožňuje trénovat, aniž by byl vystaven inherentním rizikům úkolu [41], nebo trénovat, simulovat a vyhodnocovat postupy údržby za různých vlivů prostředí [11]. Druhým směrem výzkumu jsou systémy, které podporují pracovníky při montážních úkolech. Tyto systémy využívají rozšířenou realitu a zobrazují grafické pokyny, které ukazují pracovní kroky. Takové systémy používají jako výstupní zařízení displeje namontované na hlavě [75] nebo obrazovky [9] nebo promítají pokyny na povrch pracovní desky [67]. Díky nepřetržité asistenci na místě jsou tyto systémy vhodné pro podporu pracovníků se zdravotním postižením [26] nebo pro komplexní montážní procesy s četnými variantami produktů [44].

Adaptivita popisuje schopnost systému přizpůsobit jeho vlastnosti konkrétnímu uživateli a jeho situaci [14]. Je to důležitý prvek vzdělávacích systémů, protože zaměstnanci mají různé dovednosti a schopnosti. Individuální úroveň odborných znalostí je jedním z aspektů, které mohou vést k přizpůsobení. Například virtuální simulátor soustruhu zvyšuje obtížnost úkolu po úspěšných pokusech s nižší obtížností [41]. V automobilovém simulátoru montáže musí zkušený uživatelé zapamatovat potřebné nástroje pro každý krok, zatímco tyto informace jsou poskytovány začátečníkům. Ostatní systémy se během používání přizpůsobují, například na základě měřeného výkonu. Systém může snížit množství pomoci, když má uživatel dobré výsledky [39]. Další možnosti pro dynamickou adaptaci jsou navrženy v rámci kontextově orientovaného počítače [23]. Přizpůsobení roli a poloze uživatele by mohlo poskytnout zaměstnanci podrobné údaje o procesu, zatímco vedoucí obdrží klíčové ukazatele výkonu [30].

Demografická změna je náročná pro oblast výroby. Nejstarší věková skupina (55–64 let) vzroste v letech 2010 až 2030 o přibližně 16,2% (9,9 milionu), zatímco u ostatních věkových skupin se očekává pokles [10]. Tento trend je patrný i na pracovní síle. V případové studii bylo zaznamenáno zvýšení průměrného věku pracovní síly v automobilovém výrobním závodě ze 40,3 na 47,5 roku během 8 let (2002–2010) [65]. Tyto změny jsou zásadní, protože věk je uváděn jako třetí nejdůležitější faktor přispívající k výkonu práce jednotlivce [10]. Věk je dále spojen s výskytem postižení, jakož i se snížením fyziologických a kognitivních schopností [35].

Podpora manuálních úkolů je předmětem výzkumu, protože toto nastavení nabízí kontrolovatelné prostředí pro kvantitativní vyhodnocení. Rostoucí automatizace však sníží množství manuální práce [16]. Výrobní pracovníci budou zodpovědní za složitější úkoly, jako je provoz stroje. Provoz ovládacího panelu stroje vyžaduje více vizuálních zdrojů a počítačové znalosti, než motorické dovednosti, které jsou nezbytné při ručních úlohách. Dále vyžaduje častý přesun pozornosti mezi ovládacím panelem a strojem, například při

provádění úkolů údržby, které vyžadují fyzickou manipulaci. Výzkum zaměřený na provoz stroje pomocí virtuálního výcvikového systému je vzácný. Stárnoucí pracovní síla je realitou, kterou musí systémy školení řešit. Jen malé procento výzkumů však zvažuje individuální schopnosti stárnoucích zaměstnanců. Vysoká věrnost a vizuální složitost mnoha systémů [29] může přetížít snížené vizuální vnímání starších osob. Kromě toho vzdělávací systémy [44] [26] nejsou integrovány do strukturovaného vyučovacího procesu, který je nezbytný pro uspokojení stárnutí zaměstnanců. Studie „A virtual training system for aging employees in machine operation“ [43] navrhla virtuální systém školení pro provoz stroje, který lze přizpůsobit schopnostem stárnoucích zaměstnanců. Systém se zaměřuje na stárnoucí operátory. Lekce mohou být opakovány s různými obtížemi, dokud uživatel nezvládne úkol. Chráněné prostředí odstraňuje rozptýlení, které by bylo přítomno v jiných vzdělávacích prostředích. Charakteristiky školicího systému mohou být vhodné i pro další zranitelné skupiny zaměstnanců, jako jsou nekvalifikovaní nebo nízko vzdělaní pracovníci. Vylepšené systémy školení jsou prospěšné pro zaměstnance i zaměstnavatele. Zaměstnanci absolvují přizpůsobené školení, které jim umožní snadněji získat nové dovednosti, a tím otevírají další pracovní příležitosti. Zaměstnavatelé těží, protože jsou schopni integrovat více zaměstnanců do své pracovní síly. Systém by mohl získat možnosti pro adaptaci v reálném čase. Například detekce stresu by mohla automaticky snížit rychlost animací, zvýšit podrobnosti pokynů nebo zavolat další pomoc (např. osobního trenéra). Stres lze detekovat měřením v reálném čase, například pomocí sledování očí nebo měření srdeční frekvence. Kromě toho by systém mohl vyzvat uživatele, aby opakoval lekci, pokud by byly zjištěny chyby.

## **2.14 Praktické sledování využití virtuální reality pro školení v komparaci s konvenčním vzděláváním/zaškolováním**

Studie „Assessment of virtual reality-based manufacturing assembly training system“ [1] ukazuje, že účastníci trénovaní VR se dopustili méně chyb a ve skutečném sestavení produktu si vzali méně času ve srovnání s účastníkem z tradiční nebo základní skupiny školení. Vědci zmiňují několik výhod VR pro ruční montážní výcvik, jako jsou modely CAD, které lze přenést do virtuálního prostředí, které dává pocit reálného prostředí místo vytváření fyzických částí, což šetří čas; uživatel si může v prostředí VR procvičovat tolik času, kolik se mu líbí, aniž by se musel obávat selhání komponenty; je menší závislost na fyzickém trenérovi, protože žáci mohou vést digitální instrukce; a nehrozí žádné riziko spojené s výcvikem montáže jemných součástí nebo součástí [61] [7] [53] [42]. Obdobné výhody ve výše uvedené studii potvrdili i Abidi, Al-Ahmari, Ahmad et al. [1]. Byly provedeny uživatelské studie, jejichž cílem bylo otestovat účinnost a funkčnost virtuálního školicího systému. Jmenovaná práce představuje tréninkový systém založený na VR s cílem usnadnit a zrealističtít trénink montáže pomocí multimodálního vstupu a výstupu. Účinek multimodálního mechanismu zpětné vazby na výkon uživatelů byl úspěšně vyhodnocen. Na základě pozorování lze říci, že interakční zařízení jsou

klíčem k dosažení vysoké úrovně ponoření, protože umožňují přirozenější interakci se systémem, a tudíž mohou být dovednosti přenášeny vhodněji. Na základě uživatelské studie VMAS byla učiněna řada závěrů. Účastníci vyškolení VMAS se ve srovnání s účastníkem z tradiční nebo základní skupiny školení dopustili méně chyb a zabrali méně času při skutečné montáži produktu. Skupina založená na VR však ve srovnání se základní skupinou trvá ve výcviku mnohem více času. V případě složitějších produktů skupiny osob získávající zpětnou vazbu udělaly méně chyb ve skutečné montáži ve srovnání se skupinou bez zpětné vazby. V případě jednoduché montáže nedošlo k výraznému rozdílu ve výkonu účastníků z různých výcvikových skupin. Proto lze říci, že školení na bázi VR je účinnější při montáži komplexních produktů. VR poskytuje platformu pro „učení se praxí“ místo učení se viděním, poslechem nebo pozorováním. S rostoucí složitostí produktu se zvyšuje čas na provedení skutečné montáže a zvyšuje se počet chyb, ale skupina založená na VR stále fungovala lépe než základní tréninková skupina. Semi-imersní virtuální prostředí poskytuje uživateli měřítko 1: 1 produktu v digitálním prostředí, což zvyšuje pocit přítomnosti ve virtuálním prostředí. V některých případech mohou být systémy založené na VR nákladnější a časově náročnější, poskytují však pro výuku a školení prostředí bez rizika a zranění [1]. Omezení studie spočívá z mého pohledu v tom, že populaci podrobenou empirickým hodnocením tvořili mladí studenti a zaměstnanci vysokých škol, což může ovlivnit zobecnění závěrů studie. Navíc ve virtuálním prostředí nebyla přítomna silová zpětná vazba a fyzikální vlastnosti. Budoucí práce by se mohla z mého pohledu zaměřit na vyhodnocení dopadu, který umožní účastníkům získat více času během základního výcviku namísto toho, aby jim bylo umožněno včasné dokončení, a to včetně posouzení systému s fyzickými vlastnostmi a silou zpětné vazby aplikované na digitální prostředí. Kromě toho lze posoudit vliv úrovně zázemí a odborné znalosti účastníků na výkon školení v montáži.

Virtuální realita nachází své uplatnění také v chemickém průmyslu. Chemický průmysl často vyžaduje, aby lidé pracovali v nebezpečném prostředí a obsluhovali komplikovaná zařízení, která často omezují typ školení prováděného na místě. Každodenní práce provozovatelů chemických závodů je stále náročnější v důsledku rostoucí složitosti zařízení a rostoucích požadavků na bezpečnost zařízení, výrobní kapacitu, kvalitu produktu a efektivitu nákladů. Důležitost navrhování systémů a prostředí, které jsou co nejbezpečnější pro vzdělávání a odbornou přípravu personálu, je pro průmysl chemických procesů zásadní. Virtuální realita nabízí potenciál vystavit personál nebezpečným situacím bezpečným, vysoce vizuálním a interaktivním způsobem. Této problematice se věnuje například disertační práce „Improving Chemical Plant Safety Training Using Virtual Reality“ [54]. Pro tento výzkum byly vyvinuty čtyři tréninková prostředí pro virtuální realitu stolního počítače, která zdůraznila problémy související s dynamickou simulací chemických procesů a bezpečností továren. Výcvikový systém čerpadel je prostředí virtuální reality, které bylo vytvořeno pomocí virtuálního motoru SAFE-VR, aby školilo personál k ovládnutí dvou odstředivých

čerpadel. Cvičení zaměřené na virtuální sledování spotů se zaměřuje na zlepšení povědomí uživatelů o nebezpečí elektrické a pracovní hygieny. Virtuální kotlena je složité a vysoce detailní virtuální tréninkové prostředí, které se vyznačuje svou flexibilitou a dynamickou simulací chemického procesu výroby páry v reálném čase. Experiment virtuálního zaplavení a absorpce plynu byl založen na vysokoškolském laboratorním experimentu pro magisterské studium chemického inženýrství na University of Nottingham se zaměřením primárně na školení a otázky bezpečnosti studentů používajících zařízení.

## 2.15 Virtual human resource development

To, že se využití virtuální reality stává velmi významnou, efektivní a platnou součástí řízení lidských zdrojů je nezpochybnitelné. Pro jednotlivce je jednou z kritických oblastí, na které se virtual human resource development (VHRD) zaměřuje, profesní rozvoj. Intervence VR mohou pomoci při rozvoji lidských zdrojů v různých fázích od vstupu do výstupu. Nástroje VR usnadňují nástup nových zaměstnanců do pracovního procesu, protože se plynule dozvědí o různých otázkách své nové role tím, že integrují postoje, znalosti, dovednosti a chování potřebné pro efektivní fungování. Virtuální prohlídky pracovního prostředí umožňují novým zaměstnancům aklimatizovat se před zahájením práce. Zaměstnanci mohou provádět simulace interaktivních úkolů a ukázky produktů z první ruky v simulacích VR. KFC, hlavní řetězec rychlého občerstvení, přišel s VR hrou pro nástup nových kuchařů [45]. Pro opravdový a ilustrativní pocit poskytl herní program VR postupné pokyny k přípravě podpisových pokrmů. VR se používá pro navrhování a provádění orientačních programů pro nové zaměstnance. Honeygrow, restaurační řetězec, ve svém orientačním programu představoval 3D grafiku, interaktivní učební situace a mini-hry pro školení a orientaci svých zaměstnanců [17].

Nedostatek příležitostí k rozvoji je jedním z hlavních důvodů opotřebení. Školení umožňující VR může působit jako všelék na potřeby rozvoje zaměstnanců a může vést k výhodám, jako je zvýšení efektivity, šťastnější zaměstnanci, vyšší angažovanost a vyšší retence. Velký počet organizací využívá potenciál VR v podnikovém vzdělávání a učení. Společnosti využívají VR k organizaci a asistenci při zadávání firemních školení mimo pracoviště.

Vysoký stres a nebezpečné práce, jako je hašení požáru, občas vystavují zaměstnance různým nebezpečným scénářům. V takových pozicích umožňuje předchozí expozice prostřednictvím VR hladký přechod a zvyšuje efektivitu skutečné práce [50]. Například Boeing, hlavní letecká společnost, přišla s myšlenkou Immersive Development Center, aby vyškolila piloty pomocí hyperreálných simulací VR [9].

Pro studenty medicíny vyvinula jedna americká univerzita v Kalifornii v San Franciscu školicí program, který může transformací porozumět anatomii těla pomocí VR [4]. Dokonce i pro zkušené a odborné chirurgy nabízí výcvik VR působivé a realistické situace, kdy mohou lékaři praktikovat na virtuálních a hypotetických případech. Tito chirurgové mohou stavět odborné znalosti o



podmínkách, které jsou vzácné, a to tak, že pracují na simulacích ve 3D, které umožňují prohlížení uvnitř srdce, což pomáhá hlouběji a přesněji porozumět problému [21]. Tento typ VR asistovaného školení přináší posun v paradigmatu toho, jak se trénuje výcvik další generace lékařů spolu se současnou generací.

V NASA se VR používá k výcviku astronautů v aspektech, jako je kosmická plavba a učení se o činech, jako je nahrazení vadné části kosmické lodi. Použitím VR během tréninku mohou astronauti snížit chyby na skutečné kosmické lodi [71]. Logistická společnost UPS přišla s mezinárodním školicím zařízením využívajícím VR, aby naučila základy řízení dodávkových vozidel a doručování balíků pomocí praktického přístupu se simulovanými dodávkami a vyzvedávacími servery [46].

Výzkum na University of Texas v Dallasu ukazuje, že nový vzdělávací program VR pomáhá dětem s autismem zlepšit jejich sociální kognitivní dovednosti. Bylo zjištěno, že většina dětí s vysoce fungujícím autismem má nadprůměrné intelektuální schopnosti. Navzdory nadprůměrným mentálním schopnostem však často čelí sociálním potížím, protože čelí problémům s regulací emocí a myšlenek během sociálních interakcí a komunikací, což vede k sociální izolaci a nízké sebevědomí. Účastníci studie byli školeni pomocí VR tréninkového řešení, které je zapojilo do rozhodnutí založeného na strategickém cvičení během společenského setkání. Výsledky ukázaly významné zlepšení v jejich schopnosti analogického uvažování při porovnání sociálních scén [24]. Existence konceptu tréninkové intervence založené na VR, která využívá interaktivní a vizuálně stimulující přístup, je užitečná pro jednotlivce se speciálními potřebami. Intervenční zásah VR nabízí dynamickou platformu schopnou simulovat bezpočet sociálních scénářů pro praktikování smysluplných sociálních výměn v bezpečném a neohrožujícím prostředí. Řešení školení založené na VR poskytuje životaschopnou platformu pro trénování sociálních dovedností na odlehklých místech, těm, kteří mají potíže s místním přístupem k léčbě nebo školení.

E-maily, Skype hovory nebo jiné typy videokonferenčních hovorů někdy nestačí v situacích, kdy je nutná přímá osobní komunikace a interakce. Spojení zprostředkovaná prostřednictvím VR šetří čas a náklady na cestování, protože umožňují virtuální interakce mezi zaměstnanci a klienty po celém světě. VR vede k pocitu sounáležitosti s jinou osobou, kterou nelze zažít jinak, pokud neexistuje skutečné osobní setkání. Společnost Time Inc. představila LIFE VR, který uživatelům umožňuje zažít pohlcující vyprávění prostřednictvím 360stupňového videa.

Existují VR řešení pro budování týmů, která umožňují zapojení více hráčů. Budování týmů pro více hráčů zasahuje zcela novou úroveň, přičemž do cvičení je zapojeno mnoho hráčů. Multiplayer VR zkušenosti umožňují skupinám spolupracovat současně na překonání obtížných výzev. Simulace multiplayerové VR pro budování týmu vede celý tým do neznámé říše a umožňuje členům týmu přicházet s kreativními nápady na řešení problémů tím, že umožňuje členům týmu komunikovat jako tým. Cvičení pro vytváření

týmů VR pro více hráčů umožňují supervizorům shromažďovat data pro zpětnou vazbu.

Produkty jako Tilt Brush od společnosti Google lze použít k budování kompetencí, jako jsou - vedení, komunikace, řešení problémů a prostorové uvažování. Tato aplikace VR umožňuje uživatelům kreslit ve 3 rozměrech a je složitější. Činnost zaměřená na budování týmu pomocí Tilt Brush zahrnuje učení a pomáhá přizpůsobit se osobním preferencím a stylům komunikace [32].

### **3 Metodika**

Tento text je výsledkem rešeršní činnosti jakožto výstup studia v prvním ročníku doktorského studijního programu P2301 - Průmyslové inženýrství a management. Při studiu bylo využíváno především zahraničních odborných recenzovaných časopisů. Rešerše byla realizována s ohledem na vlastní téma disertační práce jako dílčí podklad pro další rozpracování a implementaci v rámci vlastního výzkumného záměru.

### **4 Závěr**

Z prostudované dostupné literatury vnímám jako realizovatelné zacílení na malé a střední podniky působící v oblasti výroby v rámci Plzeňského kraje. Jako smysluplné se mi jeví využití virtuální reality pro zaškolení ve smyslu montáže, ale i bezpečnosti, stejně tak vidím jako přínosné reflexi stárnoucí populace ve vazbě na adaptabilní úpravu zaškolovacího programu reflektujícího tempo zvládnutí. Jako vhodné vidím sledování a porovnání stávajícího stavu a stavu po implementaci či testování využití VR s cílem získání potřebných dovedností, a to ve smyslu časového, ekonomického, ale i ve smyslu udržitelnosti ve vazbě na fluktuaci zaměstnanců, neboť i nezvládnutí práce přináší nespokojenost pociťovanou na straně zaměstnance. Jako jednu z vhodných oblastí pro realizaci studie vnímám automotive, je otázkou, zda dělat komparaci v rámci stejného segmentu, nebo se zaměřit na tři různé segmenty, k čemuž se přikláním spíše.

### **Poděkování**

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] Abidi, M. H., Al-Ahmari, A., Ahmad, A. et al. 2019. Assessment of virtual reality-based manufacturing assembly training system. *Int J Adv Manuf Technol* 105, 3743–3759.
- [2] Allen, R. B. 1997. Mental models and user models. In Helander, M., Landauer, T. K., Prabhu, P. (Eds.), *Handbook of human computer interaction* (2nd ed., pp. 49-63). Amsterdam: Elsevier.
- [3] Aurich, J. C., Yang, X., Schröder, S., Hering-Bertram, M., Biedert, T., Hagen, H., Hamann, B. 2012. Noise investigation in manufacturing systems: An acoustic simulation and virtual reality enhanced method. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 5(4) 337-347.
- [4] Baker, M. 2018. How VR is Revolutionizing the Way Future Doctors are Learning about Our Bodies. In: *UCSF* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.ucsf.edu/news/2017/09/408301/how-vr-revolutionizing-way-future-doctors-are-learning-about-our-bodies>
- [5] Bayliss, G. M., Bower, A., Taylor, R. I., Willis, P. J. 1994. Virtual Manufacturing, Presented at *CSG 94-Set Theoretic Modelling Techniques and Applications*, Winchester, UK, pp. 13-14.
- [6] Beier, K. P. 2000. Web-Based Virtual Reality in Design and Manufacturing Applications. *COMPIT´2000, 1st International EuroConference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries*, Potsdam, Germany, March 29 – April 4.
- [7] Berg, L. P., Vance, J. M. 2017. Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. *Virtual Reality*, 21(1):1–17.
- [8] Bertram, M. et al. 2005. Phonon Tracing for Auralization and Visualization of Sound. *Proceedings of IEEE Visualization (VIS'05)*, 151-158.
- [9] Boeing. 2017. Flying Virtually Solo: Aviation Avatars the Wave of the Future? *Boeing* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.boeing.com/features/2017/07/virtual-copilot-07-17.page>
- [10] Boenzi, F., Mossa, G., Mummolo, G., Romano, V. A. 2015. Workforce aging in production systems: Modeling and performance evaluation, *Procedia Engineering*, 100: 1108-1115.
- [11] Borba, E. Z., Cabral, M., Montes, A., Belloc, O., Zuffo, M. 2016. Immersive and interactive procedure training simulator for high risk power line maintenance. *ACM SIGGRAPH 2016 VR Village*, 1.
- [12] Brey, P. 1999. The Ethics of Representation and Action in Virtual Reality. *Ethics and Information Technology* 1(1): 5-14.
- [13] Brey, P. 2008. Virtual Reality and Computer Simulation In Himma, K., Tavani, H., *Handbook of Information and Computer Ethics*, John Wiley & Sons.
- [14] Bruder, C., Blessing, L., Wandke, H. 2014. Adaptive training interfaces for less-experienced elderly users of electronic devices. *Behaviour & Information Technology*, 33(1): 4-15.

- [15] Burke, R. 2001. *Success or Failure: Human Factors in Implementing New Systems*. Los Angeles, University of Judaism.
- [16] Campatelli, G., Richter, A., Stocker, A. 2016. Participative knowledge management to empower manufacturing workers. *International Journal of Knowledge Management*, 12(4): 37-50.
- [17] Clabaugh, J. 2017. Fast-Casual Honeygrow Expands, Uses VR to Train Employees. *AP News* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://apnews.com/ba4db4a433f546e1aa01854675b11593>
- [18] Costello, P. 1997. *Health and Safety Issues associated with Virtual Reality-A Review of Current Literature*. Loughborough, Loughborough University.
- [19] Dávideková, M., Mjartan, M., Gregus, M. 2017. Implementing Virtual Reality into Employee Education in Production Sector of Automotive Industry: Creating Worker Training for Assembling Car Dashboard in Virtual Reality. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, 7: 185-190.
- [20] Deines, E. 2008. *Acoustic Simulation and Visualization Algorithms*, PhD thesis, University of Kaiserslautern.
- [21] DeMarinis, T., Calligaro, L., Harr, C., Mariani, J. 2018. Real Learning in a Virtual World. In: *Deloitte Consulting LLP* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4683\\_real-learning-virtual-world/4683\\_real-learning-in-a-virtual-world.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4683_real-learning-virtual-world/4683_real-learning-in-a-virtual-world.pdf)
- [22] Dépincé, P., Chablat, D. 2004. *Virtual Manufacturing Tools for improving Design and Production*. Nantes: Université de Nantes.
- [23] Dey, A. K. 2001. Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 5(1): 4-7.
- [24] Didehbani, N., Allen, T., Kandalaf, M., Krawczyk, D., Chapman, S.. 2016. Virtual Reality Social Cognition Training for Children with High Functioning Autism. *Computers in Human Behavior*, 62: 703–711.
- [25] Filigenzi, M. T., Orr, T. J., Ruff, T. M. 2000. Virtual Reality for Mine Safety Training, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 15(6): 465-469.
- [26] Funk, M., Dingler, T., Cooper, J., Schmidt, A. 2015. Stop helping me - i'm bored! Adjunct Proceedings of the *2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings*, 1269-1273.
- [27] Gee, J. 2003. What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy. *ACM Computers in Entertainment*, 1(1): 1-4.
- [28] Gee, J. 2007. *Good Video Games and Good Learning*. Madison, University of Wisconsin-Madison.
- [29] Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., Zuhlke, D. 2014. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. *12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 289-294.
- [30] Gröger, C., Stach, C. 2014. The mobile manufacturing dashboard, *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications workshops (PerCom workshops)*.

- [31] Hamid, N. S. S., Aziz, F. A., Azizi, A. 2014. Virtual reality applications in manufacturing system. *Science and Information Conference*, London: 1034-1037.
- [32] Hernandez-Pozas, O., Carreon-Flores, H. 2019. Teaching International Business Using Virtual Reality. *Journal of Teaching in International Business* 30(2): 196-212.
- [33] Hocine , N., Gouaïch, A. 2011. *Therapeutic Games Difficulty Adaptation: An Approach Based on Players Ability and Motivation*. Louisville, KY, IEEE.
- [34] Hoffman, G., Breazeal, C. 2007. Effects of anticipatory action on human-robot teamwork efficiency, fluency, and perception of team. *Proceeding ACM/IEEE Int. Conf. Human-robot Interact. - HRI '07*: 1–8.
- [35] Chen, K., Chan, A. 2011. A review of technology acceptance by older adults. *Gerontechnology*, 10(1): 1-12.
- [36] Iwata K., Onosato M., Teramoto K., Osaki S. A. 1995. Modeling and Simulation Architecture for Virtual Manufacturing System, *Annals CIRP*, 44: 399-402.
- [37] Jayaram, S., Connacher, H., Lyons, K. 1997. Virtual Assembly using virtual reality techniques, *Comp. Aided Des.* 29: 557-584.
- [38] Kalawsky, R. S. 1996. Exploiting Virtual Reality Techniques in Education and Training: Technological Issues. *SIMA Report Series* ISSN 1356-5370.
- [39] Korn, O., Funk, M., Abele, S., Hörz, T., Schmidt, A. 2014. Context-aware assistive systems at the workplace. analyzing the effects of projection and gamification. *PETRA '14 Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 1-8.
- [40] Lee, W. B., Cheung, C. F., Li, J. G. 2001. Applications of virtual manufacturing in materials processing, *J. Mater. Process. Technol.* 113: 416-423.
- [41] Liang, X., Kato, H., Higuchi, S., Okawa, K. 2012. High efficiency skill training of lathe boring operations by a virtual reality environment. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, 285-290.
- [42] Lin, Y., Yu, S., Zheng, P., Qiu, L., Wang, Y., Xu, X. 2017. VR-based product personalization process for smart products. *Procedia Manuf*, 11:1568–1576.
- [43] Loch, F., Vogel-Heuser, B. 2017. A virtual training system for aging employees in machine operation. *IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Emden, 279-284.
- [44] Loch, F., Quint, F., Brishtel, I. 2016. Comparing video and augmented reality assistance in manual assembly. *12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, 147-150.
- [45] Mascarenhas, H. 2017. KFC's Bizarre New VR Training Game Teaches You to Cook Chicken 'The Hard Way' in an Escape Room. *International Business Times* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.ibtimes.co.uk/kfcs-bizarre-new-vr-training-game-teaches-you-cook-chicken-hard-way-escape-room-1636519>.

- [46] Matney, L. 2017. UPS is Developing Virtual Reality Tech to Train its Drivers. In *TechCrunch*. [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2017/08/15/ups-is-developing-virtual-reality-tech-to-train-its-drivers/>
- [47] Matsas, E., Vosniakos, G. 2017. Design of a virtual reality training system for human–robot collaboration in manufacturing tasks. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 11: 139-153.
- [48] McKee, G. 2001. The Impact of Internet Virtual Reality on Global Carrying Capacity. *International Journal of Futures Studies*, 1, 1995-1997.
- [49] Milgram, P., Kishino, F. 1994. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions of Information Systems*, 77(12).
- [50] Milicevic, M. 2017. The Future of Human Resources through Virtual Reality Lens. In: ARVRtech [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://arvrtech.eu/blog/virtual-reality-helps-human-resources/>
- [51] Moore, E. 1998. Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Proceedings of the IEEE*, 86(1): 82-85.
- [52] Mujber, T. S., Szecsi, T., Hashmi, M. S. J. 2004. Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156: 1834-1838.
- [53] Nash, B., Walker, A., Chambers, T. 2018. A simulator based on virtual reality to dismantle a research reactor assembly using master-slave manipulators. *Ann Nucl Energy*, 120:1–7.
- [54] Nasios, K. 2002. *Improving Chemical Plant Safety Training Using Virtual Reality*. PhD thesis, University of Nottingham.
- [55] Ong, S. K., Mannan, M. A. 2004. *Virtual reality simulations and animations in a web-based interactive manufacturing engineering module*. *Computers & Education*, 43(4): 361-382.
- [56] Ordaz, N., Romero, D., Gorecky, D., Siller, H. R. 2015. Serious games and virtual simulator for automotive manufacturing education & training. *Procedia Computer Science*, 75: 267-274.
- [57] Pantelidis, V. 2009. Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality. *Themes in Science and Technology Education*, 2(2): 59 -70.
- [58] Parkin, S. 2014. Oculus Rift. (cover story). *MIT Technology Review*, 117(3): 50-52.
- [59] Peniche, A., Diaz, Ch., Paramo, G., Trefftz, H. 2012. Combining Virtual and Augmented Reality to Improve the Mechanical Assembly Training Process in Manufacturing. In *Proceedings of the 6th WSEAS international conference on Computer Engineering and Applications, and Proceedings of the 2012 American conference on Applied Mathematics (AMERICAN-MATH'12/CEA'12)*. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), Stevens Point, Wisconsin, USA, 292–297.
- [60] Rabenstein, R. et al. 1997. Acoustic Rendering of Buildings. *Proceedings of the 5th International IBPSA Conference Building Simulation*, 2: 181-188.

- [61] Seth, A., Vance, J. M., Oliver, J. H. 2011. Virtual reality for assembly methods prototyping: a review. *Virtual Reality*, 15(1):5–20.
- [62] Shin, Y.S. 2002. Virtual reality simulations in web-based science education. *Computer Applications in Engineering Education*, 10: 18-25.
- [63] Shiratuddin, M., Zulkifli. A. 2001. *Virtual Reality in Manufacturing*. Ho Chi Minh City, Murdoch University.
- [64] Siltanen, S. et al. 2010. Rays of Waves? Understanding the Strengths and Weaknesses of Computational Room Acoustics Modeling Techniques. Proceedings of *International Symposium on Room Acoustics (ISRA2010)*, Melbourne, Australia.
- [65] Streb, C. K., Voelpel, S. C. 2009. Analyzing the effectiveness of contemporary aging workforce management, *Organizational Dynamics*, 38(4): 305-311.
- [66] Svensson, U. P. 2002. Modelling Acoustic Spaces for Audio Virtual Reality. Proceedings of the 1st IEEE Benelux Workshop on Model based Processing and Coding of Audio (MPCA), Leuven, Belgium.
- [67] Syberfeldt, A., Danielsson, O., Holm, M., Wang, L. 2015. Visual assembling guidance using augmented reality. *Procedia Manufacturing*, 1: 98-109.
- [68] Tesic, R., Banerjee, P. 1999. Exact collision detection using virtual objects in virtual reality modelling of a manufacturing process. *J. Manufact. Syst*, 18: 367-376.
- [69] Trefftz, H., Peniche, A., Diaz, C., Paramo, G. 2011. An immersive virtual reality training system for mechanical assembly. In Recent Advances in Manufacturing Engineering, Proceedings of the *4th International Conference of Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems (MEQAPS 11)*, 109–113.
- [70] Unhelkar, V. V., Siu, H. C., Shah, J. A. 2014. Comparative performance of human and mobile robotic assistants in collaborative fetch-and-deliver tasks. In: *Proc. 2014 ACM/IEEE Int. Conf. Human–robot Interact—HRI '14*: 82–89.
- [71] Unimersiv. 2016. How NASA is Using Virtual and Augmented Reality to Train Astronauts. In *UNIMERSIV*. [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://unimersiv.com/how-nasa-is-using-virtual-and-augmented-reality-to-train-astronauts-37/>
- [72] Van Wyk, E., de Villiers, R. 2009. *Virtual reality training applications for the mining industry*. In *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa (AFRIGRAPH '09)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Pp 53–63.
- [73] Wainess, R., Kerr, D., Koenig, A. 2011. *Improving the way we design games for learning by examining how popular video games teach*. Los Angeles: CRESST.
- [74] Waller, J. C., Foster, N. 2000. Training via the Web: A virtual instrument. *Computers & Education*, 35: 161-167.

- [75] Wang, X., Ong, S. K., Nee, A. 2016. Multi-modal augmented-reality assembly guidance based on bare-hand interface. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3): 406-421.
- [76] Wickens, C. D. 2008. Situation awareness: review of Mica Endsley's 1995 articles on situation awareness theory and measurement. *Hum. Factors*, 50(3): 397–403.
- [77] Whitman, L., Malzahn, D., Madhaven, V., Weheba, G., Krishnan, K., 2004. Virtual Reality Case Study throughout the Curriculum to Address Competency Gaps. *Department of Industrial and Manufacturing Engineering*, 20(5): 690-702.



# Diskrétní simulace v konceptu Industry 4.0

Miroslav Malaga <sup>1</sup>, Zdeněk Ulrych <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, Plzeň, 306 14, Česká republika  
[malaga@kp.v.zcu.cz](mailto:malaga@kp.v.zcu.cz)  
[ulrychz@kp.v.zcu.cz](mailto:ulrychz@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Příspěvek je rešerší článků, zveřejněných hlavně v databázích Web of Science (WoS) a Scopus, zaměřených na 5 hlavních témat, a to:

1. Vliv detailnosti modelu na výsledky simulace
2. Optimalizace plánování výroby s ohledem na využití energie a přírodních zdrojů
3. Plánování výroby pomocí simulačního modelu v kontextu Industry 4.0 resp. 5.0
4. Metodika přístupu k tvorbě simulačního modelu v kontextu Industry 4.0 a využití simulačních modelů
5. Koncept Industry 5.0

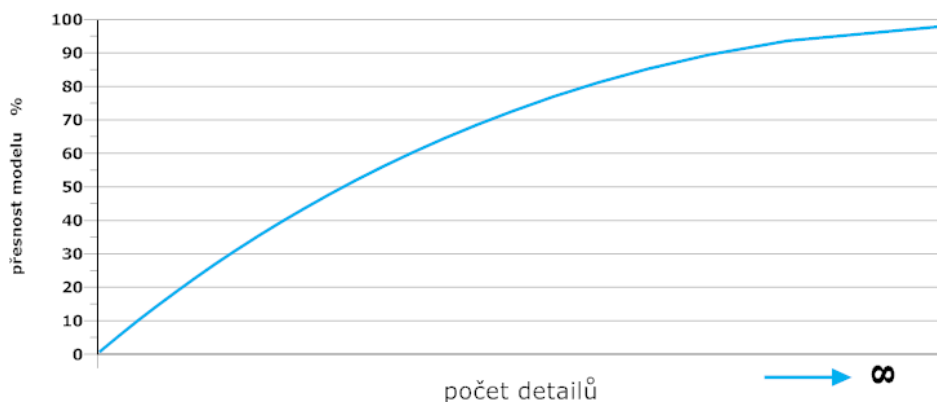
Tato témata jsou zvolena s ohledem na možný budoucí výzkum a nutností zorientovat se v aktuálním vývoji konceptu Industry 4.0 ve spojitosti se simulacemi, plánováním a optimalizací. Koncept Industry 5.0 je zvolen kvůli možnému vysledování nových trendů. Databáze Web of Science a Scopus byly pro vyhledávání článků pro rešerši zvoleny na základě uznávání článku v těchto databázích českými univerzitami.

## 1 Vliv detailnosti modelu na výsledky simulace

Při tvorbě podkladů pro simulaci je potřeba důkladně zanalyzovat prostředí/systém na základě kterého se vytváří model a následně daný model se i vytvoří. To je časově velmi náročné jak pro odborníka, který má model vytvořit, tak pro stranu uživatele/vlastníka systému, pro který se model vytváří. Důvodem je potřeba důkladně vysvětlit, jak daný systém funguje a často to i zjistit, protože ne vždy uživatel/vlastník systému rozumí do všech potřebných detailů a úrovní (jde především o vyloučení velkého zkreslení, nebo zjednodušování, které by mělo fatální dopady důvěryhodnost a reálnost modelu s ohledem na cíle simulace). Nad daným modelem se následně provádí simulace. Základní myšlenka tohoto tématu je zjistit, jaký je přesně vztah mezi detailností/přesností modelu a výsledky simulace. Je možné, že při rozumně vytvořeném modelu se výsledky simulace nebudou tak zásadně lišit od modelu který by byl zpracovaný do nejmenšího detailu. Tím by mohlo dojít ke značné časové, i finanční úspoře. Zde se dá očekávat, že se to také projeví zkrácením času běhu simulace a rychlejšímu dodání výsledků, aniž by došlo k neakceptovatelnému zkreslení. Z pohledu tohoto tématu nebyly

nalezený adekvátní články, které by řešily dopady detailnosti modelu na výsledky simulace

Pro vyjádření vztahu detailnosti modelu a výsledků simulace je standardně využíván obrázek, viz Obrázek 1, např. v přednáškách pro simulaci pana Ing. Michala Dordy Ph.D. [1], nebo disertační práci Ing. et Ing. Pavla Šenkýře [2] kde je graf také ukázán s odkazem na původní zdroj JONES, M. The contradictions of business process reengineering. In: Examining Business process reengineering: Current Perspectives and Research Directions. Další odborníci používají obdobný graf bez odkazu (citace), jako např. Ing. V. Glombíková, PhD. Ve svých přednáškách [3].



Obrázek 1 – Vliv míry abstrakce na přesnost modelu [2]

V článku „Simulation Modeling of Assembly Processes for Digital Manufacturing“ [4] autoři uvádějí, že důležitým problémem, který se objevuje při vytváření simulačních modelů je, jak přesně by měl simulační model odrážet skutečné výrobní systémy. Autoři v simulaci montážních procesů používají model, který je připraven pomocí softwaru Tecnomatix Plant Simulation a navrhují postup pro sestavení a analýzu simulačního modelu. Nezaměřují se ale přímo na vliv detailnosti modelu na výsledky simulace a kvantifikování tohoto vlivu.

## 2 Optimalizace plánování (nebo plánování) výroby s ohledem na využití energií a přírodních zdrojů (zelené plánování výroby)

V dnešní době je, čím dál tím větší důraz, kladený na život jedince s co nejmenším dopadem pro naši zemi. Je zde viditelná snaha redukovat používání plastů a dalších materiálů, který může být škodlivý pro životní prostředí. Čím dál tím větší část populace přemýšlí i o minimalizaci zbytečného přemísťování jak osob, tak služeb, materiálu, nebo výrobků v rámci naší planety. Toto už není jen otázka jedinců, ale začínají takto přemýšlet už i výrobní společnosti, nebo společnosti nabízející služby. Toto myšlení pak má dopady i na návrh produktů (design, materiály, ...) a hlavně na způsob výroby. Cena, resp. finanční náklady, přestávají být tím nejdůležitějším faktorem při volbě způsobu výroby, využívaných strojů apod.,

ale už se rozhoduje i podle potřebných energií a jejich množství a přírodních zdrojů – a to bez ohledu na finanční výhodnost, popř. jen s rozumným přihlédnutím k poměru náklady/energie a přírodní zdroje. Je tedy přihlíženo nejen k tomu, jestli jsme schopni produkt vyrobit levněji/draž, ale začíná se přihlížet, jestli vyrobím produkt levněji, ale s větším „plýtváním“ energií, popř. přírodních zdrojů, nebo draž ale s menším „plýtváním“ energií, popř. přírodních zdrojů.

Jedním z přístupů k minimalizaci emise uhlíků je snížení spotřeby energie v konkrétním obráběcím systému. Autoři navrhují integrační model založený na nelineárním plánování procesů a implementaci takové metody, která povede ke snížení energetické spotřeby obráběcího systému. Využívají model založený na Therbligu [5]. Jinými přístupy pak je minimalizace emisí uhlíků řešením problému kapacitního vícenásobného určování velikosti dávky u neidentických paralelních strojů, kdy je cílem uspokojit poptávku po různých položkách v plánovacím horizontu s cílem minimalizovat náklady aniž by došlo k omezení kapacity a nárůstu emisí uhlíku s využitím Lagrangianovy relaxace a metodou generování sloupců pro zlepšení dolních a horních hranic nad lineární programovací relaxací [6]. Podobný problém řeší i jiní autoři, kteří představují matematickou formulaci, řešící problém zelené výroby na paralelních strojích s ohledem na spotřebu energie a výrobní čas. Vzhledem k vysoké výpočetní složitosti navrhovaného modelu vyvinuli heuristický algoritmus pro získání přesné Paretovy hranice těchto dvou cílů s polynomiální složitostí [7]. Jako jiný způsob řešení je možnost využití hybridního algoritmu roje s diskrétními částicemi na základě reálných dat shromážděných od farmaceutického podniku. Model plánování výroby je postavený na analýze spotřeby energie různých jednotek a zařízení a experimentální výsledky ukázaly, že emise uhlíku v podniku mohou být sníženy v průměru o 6,77%, nebo lze snížit emise CO<sub>2</sub> o 610,2 tun ročně [8]. Dalším možným přístupem je i zlepšení zelené produktivity (GP) kde základním mechanismem algoritmu je realizace cyklu zlepšování procesů, který měří výkon GP pomocí sběru obráběcích dat, kvantifikuje tento výkon kategorickým znázorněním a předpovídá výkon pomocí predikčních modelů. [9]

Jako jiná možnost minimalizace spotřeby energie je studován model nazvaný ultra-flexibilní job shop (UFJS). V UFJS lze pořadí operací mezi úlohami změnit v rámci určitých omezení. Pro formulaci tohoto energeticky účinného plánování byl vyvinut smíšený celočíselně-lineárně naprogramovaný model. Pro řešení velkých problémů pak následně autoři navrhli a implementovali genetický algoritmus. [10]

Autoři článku „TOWARDS INDUSTRY 4.0 IN CORPORATE ENERGY MANAGEMENT“ [11] uvádějí, že je na trhu nabízeno více než 120 softwarových systémů, které ale podle jejich analýzy kvůli své hrubé zrnitosti lze použít výlučně pro funkci monitorování a podávání zpráv. Plánování a řízení není podporováno. Vyvinuli tedy systém řízení energie s možností sběru údajů o spotřebě energie na úrovni výrobních zařízení na základě

datových listů výrobců zařízení a modulární a samoorganizovaný komunikační systém (jako kombinace hardwaru a softwaru), který „čte“ interní data elektrické energie z výrobních zařízení v reálném čase, popř. měří průtok tekutin nebo plynů pomocí senzorů a zajišťuje řízení energie v reálném čase.

Zajímavou možností minimalizace nákladů na energii (v tomto případě jde opravdu o náklady, ne o minimalizaci uhlíkové stopy, nebo spotřeby) je optimalizace variant produktů. Autoři vidí vazbu mezi rozmanitostí výroby a spotřebou energie. Vyvinuli model založený na simulaci, který zkoumá účinky rozmanitosti výroby na spotřebu energie (elektřina, stlačený vzduch, plyn). Model byl implementován v simulačním prostředí diskretních událostí a ověřen v případové studii v kovoprůmyslu. Výsledky ukazují, že efektivní správa variant umožňuje zlepšení energetické účinnosti. [12]

### **3 Plánování výroby pomocí simulačního modelu v kontextu Industry 4.0**

Rozumně navržený a vytvořený model a nad ním následně běžící simulace s vhodnými parametry je využitelná jako nástroj pro výběr vhodného toku výrobků výrobním procesem. Jinými slovy, lze využít model a nad ním běžící simulaci pro plánování výroby. S tím, jak se vyvíjí přístup k výrobě a přichází stále nové trendy ve výrobě, je potřeba adekvátně přizpůsobovat způsoby plánování. Aktuálně takovým novým přístupem, resp. paradigmatem je koncept Industry 4.0, který staví na přesunu stále opakujících se činností, nebo jednoduchých činností od člověka ke stroji a komunikaci jak mezi lidmi, lidmi a stroji, tak samotnými stroji. Jako vhodné využití by tedy mohlo být využití simulací pro plánování výroby v podniku stavějícím na konceptu Industry 4.0 a věnujícím se převážně malosériové výroby, kdy je potřeba pro nový produkt/nebo novou sérii řešit přenastavení výrobních strojů, vhodnou zaměnitelnost, a řešit stavy, kdy dojde k souběhu výroby několika druhů výrobků, popř. jeden druh ve výrobě dobíhá a souběžně s tím se nový už taky má vyrábět. Vize je pak taková, že materiál může při výrobě procházet několika cestami, zaměnitelné stroje hlásí svůj stav (nastavení, využití, ...) a pak lze plánovat výrobu jak pro nový výrobek, tak teoreticky i pro každý jeden kus při vstupu do systému podle stavu na celé lince. Pro to je ale potřeba upravit některý ze stávajících způsobů rozvrhování výroby, nebo vytvořit metodiku zcela novou. S plánováním výroby má spojitost i prediktivní údržba, která do plánování může zanášet možné odstávky strojů apod.

Stálým trendem pro sběr dat (pro simulace), nebo jejich vizualizaci, je využívání digitálních dvojčat, která se doplňují o moderní možnosti jako např. strojové učení. Tato digitální dvojčata jsou využívána pro vývoj inteligentních algoritmů pro autonomní řízení a další případy zahrnující optimalizaci, mentální modely a systémy podpory rozhodování [13]. Digitální dvojče umožňuje pro výrobní proces propojení produkčního systému s jeho digitálním ekvivalentem. Aby byla zajištěna maximální shoda kybernetického procesu s jeho skutečným modelem, musí být dle autorů provedeno

multimodální získávání a hodnocení dat [14]. F. Jaensch a kol. [15] představují možnost rozšíření digitálních dvojčat o možnost strojového učení modelů založených na datech až po učení logiky řízení složitých systémů. Ukazují, jak používat strojové učení ve spojení s těmito modely, aby se dosáhlo kratší doby vývoje výrobních systémů.

V rámci konceptu Industry 4.0 se začalo rozvíjet i téma prediktivní údržby, která má velký dopad na plánování a umožňuje plánovat výrobu s ohledem na prostoje, které budou způsobeny údržbou, poruchami apod. Tento přístup sleduje cíl eliminovat selhání systému dříve, než k němu dojde. Tím se zabrání stavům, kdy zařízení vstoupí do neočekávaných prostojů a ušetří se vysoké náklady. Jedna z možností je využití generické prediktivní simulace údržby v nástroji AnyLogic™. Koncept obsahuje popis funkce a cíle simulace, rozhraní pro přenos dat do a ze simulace, obecnou strukturu simulace a ukazatele používané k vyhodnocení simulovaných plánů výroby. První případová studie ukazuje, jak lze simulační model použít k simulaci vzorových dat z testbedu pro zlepšení výrobních plánů [16]. Dle S. Teufel et al. [17] dnes není neobvyklé mít prediktivní model továrny i když tyto modely jsou často zjednodušené povahy. Takové modely však jen zřídka odrážejí aktuální provozní výkonnost systému, používají jednoduché a oddělené datové proudy a nemají rozlišení stroje / pracovní stanice. Mohou podporovat plánování výroby, ale obvykle mají omezené využití pro optimalizaci výkonu továrny v reakci na měnící se vnější podněty. Proto výzkumný projekt OPTIMIZED vyvíjí holistickou platformu pro řízení závodu, který reaguje na neočekávané poruchy v továrně. Představují aplikaci optimalizace založené na simulaci na podporu plánování výroby výrobního procesu jednoho z průmyslových demonstrantů. Simulační model zachycuje příslušná výrobní omezení továrny až na každý stroj a pracovní stanici. Simulační model čte data z podnikových informačních systémů, živá data ze strojů a data z dovybavených senzorů ve výrobním závodě. Výsledkem je, že dochází k optimalizaci úrovně služeb i výrobních nákladů.

Podle P. Fantini a spol. [18] že s ohledem na rozrůstající se cyber physical systémy existuje velká shoda v tom, že se práce změní a budou nutné různé dovednosti. Otázkou však zůstává, zda se organizace práce bude vyvíjet směrem k vyšší odpovědnosti a rozhodování zaměstnanců nebo k vyšší technologické kontrole. Výzvou je tento vývoj řídit a cíleně vést proces integrace lidí do CPS. Autoři navrhují metodologii na podporu navrhování a hodnocení různých pracovních konfigurací a zvažují jedinečnost lidské práce a charakteristiky kybernetické výroby v komplexním rámci. Metoda zahrnuje běžnou výrobu i nepravidelné scénáře, jako je detekce poruch nebo zásah údržby, zvláště zajímavý pro lidskou práci. Použitelnost této metody je ilustrována dvěma průmyslovými případy, které vedou k návrhům na školení personálu a ke zlepšení celého kybernetického-sociálního-sociálního systému. Tento text v rešerši uvádím jako zajímavou možnost, jak se dívat na simulaci jako nástroj pro rozhodování z pohledu osoby rozhodující co bude dělat stroj a co člověk.

Simulace, popř. digitální dvojče se dnes běžně využívá i jako podklad pro rozhodování. Autoři B. Denkena a F. Winter [19] využívají simulaci výroby rotorových listů v odvětví větrných turbín jako podklad pro rozhodování s cílem snížení doby plánování a nákladů, a aby se odhadl vzájemný dopad na výrobní kapacitu podle produktu, technologie a továrny v rámci plánovací fáze. Autoři W. Yang a S. Takakuwa [20] jdou ještě dále, a zaměřují se na plánování výroby s ohledem na možnou probíhající komunikaci mezi výrobcem a zákazníkem. Výrobce je díky Industry 4.0 schopen rychleji reagovat na požadavky zákazníků, což znamená, že výrobci musí nyní pevněji kontrolovat plánování výroby. Do simulačního modelu se importuje objednávka zákazníka a tabulka zpracování produktů. Experimenty jsou implementovány pro případ, kdy systém narazí na neočekávané podmínky. Navrhovaný přístup představuje pro výrobce potenciální nástroj pro rozhodování v reálném čase. C. L. Constantinescu a kol. [21] považují za jednou z hlavních výzev Industry 4.0 zajistit, aby správní lidé měli správné informace ve správný čas, aby mohli učinit správná rozhodnutí. Proto přichází s víceúrovňovým simulačním nástrojem just-in-time pro podporu rozhodování v plánování digitálního závodu. Ten využívá vhodné prostředky pro zachycení a reprezentaci znalostí výrobního systému v několika typech průmyslových odvětví a typů společností (velké, malé a střední podniky). Pro podporu modelovací činnosti, rozhraní člověk-systém simulačního nástroje využívá vyhledávání informací v reálném čase (JITIR) pro proaktivní poskytování požadované informace ve správný čas na základě kontextu během modelování a simulace.

Možností, jak využít simulaci a vizualizaci pro rychlé ověření plánů výrobních toků je metoda generování poloautomatických modelů řízených daty [22], který je ilustrován na příkladu implementace pomocí simulačního software FexSim. A. Caggiano a R. Teti [23] využívají nástrojů digitálního modelování a simulace pro krátkodobou analýzu a validaci strategií řízení výroby, popř. pro střednědobé plánování výroby nebo návrh/redesign výrobního systému. Navrhují metodiku Digital Factory na podporu rozšíření stávající výrobní buňky pro výrobu lopatek turbín leteckých motorů pomocí robotické automatizace její odhrotovací stanice. K ověření upgradované výrobní buňky s cílem zvýšit její výkonnost z hlediska využití zdrojů a doby průchodu, je využito 3D modelování a diskrétní simulace. Validace simulačního modelu se provádí sbíráním skutečných dat z fyzicky rekonfigurované výrobní buňky a jejich porovnáním s prognózou modelu.

V současné době chybí dle G. Avventuroso a kolektivu [24] znalosti a strukturované přístupy týkající se přechodu výrobních systémů z rychlého prototypování na velkovýrobu. Představují tedy postup pro simulační analýzu FMS podporující plánování, návrh a hodnocení výkonu. Vyvinuli a použili diskrétní simulační model pro provozní vyhodnocení průmyslového případu, který zahrnuje 3D-tisk, automatizovaný transport a skladovací systémy.

Dle autorů P. Goodall, R. Sharpe, a A. West [25] mohou ze simulací těžit obzvláště repasovací operace jako podpora posuzování různých strategií pro

scénáře v reálném čase kvůli nejisté povaze návratnosti produktu. Navrhují simulaci založenou na datech, která se skládá ze tří prvků:

1. adaptivní algoritmus remanufacturing simulace pro modelování komplexního materiálového toku nalezeného v procesu remanufacturing obecným a opakovaně použitelným způsobem,
2. informační model pro strukturování a zvýraznění požadavky na simulační data
3. vrstvu informačních služeb pro shromažďování a analýzu dat senzorů pro použití v simulaci.

Simulace je implementována za účelem demonstrace toho, jak lze automaticky překonfigurovat a přizpůsobit se změnám v datových vstupech (procesní a tovární modely) pomocí případové studie operací od výrobce odpadu z elektrických a elektronických.

#### **4 Metodika přístupu k tvorbě simulačního modelu v kontextu Industry 4.0 a využití simulačních modelů**

Standardní přístup ve vytváření modelů a následných simulací je vytvoření modelu bez vrstvy, která by zajišťovala komunikaci mezi jednotlivými stroji, popř. stroji a pracovníky na různých pozicích i různých hierarchických stupních. V tuto chvíli se v případě potřeby pokrytí rozhodování využívá standardních „if“ podmínek na daném vstupu/výstupu, popř. u přepravního systému (dopravník, vysokozdvizný vozík, roznos, ...). Otázkou tedy např. může být, zda tok materiálu/výrobku by mohl být vyhodnocovaný ne pouze podle následujícího pracoviště/úkonu, ale podle komplexního pohledu na stav výrobního úseku, haly, popř. celé továrny včetně odloučených pracovišť, nebo závodů. V článku „Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm“ [26]. Představují autoři vliv konceptu Industry 4.0 na vývoj nového paradigmatu simulace, ztělesněného konceptem Digital Twin. Hlavní poučení je, že zatímco nové paradigma simulačního modelování je přijímáno velkými společnostmi a malými a středními podniky, existují značné rozdíly v závislosti na velikosti společnosti v problémech, jimž čelí, a používaných metodologiích a technologiích. Zatímco zkoumané případy naznačují přijetí nového modelu simulačního modelování v průmyslových a vědeckých komunitách, jeho přijetí v akademickém prostředí vyžaduje úzkou spolupráci s průmyslovými partnery a diverzifikaci znalostí výzkumných pracovníků, aby bylo možné vybudovat integrované, víceúrovňové modely kybernetických systémů. Jak ukazují předložené případy, nedostatek nástrojů není problém, protože současná generace nástrojů pro modelování pomocí diskrétních simulací pro všeobecné použití nabízí adekvátní možnosti integrace.

Častým požadavkem při tvorbě simulačních modelů je možnost využívat je jako vzdělávací platformu, a to nejčastěji pro vzdělávání v simulacích, komunikaci, konceptu Industry 4.0 apod. Dle T. Delbrueggera a kol. [27] je simulace a digitální dvojče cestou jak v malých a středních podnicích využít

jejich potenciál. Přičemž autoři kladou důraz na propojení virtuálních a fyzických artefaktů. To následně inspiruje podniky ke změnám. Na nedostatek znalostí konceptu Industry 4.0 a možností simulací s možností automatizovaného sběru dat upozorňují i T. H. J. Uhlemann a kol. [28], kteří na digitálním dvojčeti s využitím sběru dat v reálném čase demonstrují výhody těchto řešení pro SME a považují jej za vhodnou vzdělávací platformu pro tuto velikost organizací. Na neznalost podniků upozorňují i D. Mourtiz a kol. [29], kteří se zaměřují na snahu propojit akademickou sféru ovládající simulace se soukromým sektorem, pro které to je užitečným, ale poměrně neznámým nástrojem. Teaching Factory považují za chybějící článek, jehož cílem je překlenout propast mezi akademickou obcí a průmyslem. Proto ukazují návrh a vyhodnocení skutečného výrobního systému pomocí diskrétní simulace a na základě reálných dat získaných z metalurgického průmyslu prezentováno v kontextu paradigmatu Teaching Factory. Naopak S. Lang a kol. [30] představují koncept a současný stav vývoje modulární, decentralizované a digitální továrny na učení pro využití studenty a výzkumnými pracovníky. Kromě prezentace průmyslových modulů a jejich nastavení představují řídicí a komunikační strategii, která umožňuje vytvoření a provoz libovolného preferovaného rozvržení v podniku. Dále stručně popisují model diskrétní simulace a model emulace pro virtuální uvedení do provozu.

Dalším zajímavým trendem se ukazuje využití simulace a popř. digitálních dvojčat pro nastavení spolupráce výrobních podniků a popř. využívání kooperací. B. Kadar a kol. [31] navrhuje využívat simulaci s cílem řídit síť výrobců, kteří mohou dynamicky rekonfigurovat a sdílet své zdroje v rámci předregistrované komunity, a analyzovat, jak kardinalita takového „společenství“ ovlivňuje jak spolupráci, tak globální a místní produkční KPI. Naopak T. Kaihara a kol. [32] představují Crowdsourced production, nový typ výroby, ve kterém společnosti sdílejí své výrobní zdroje v závislosti na jejich poptávce a kapacitě. Podle toho společnosti sdílejí své informace o zdrojích a mohou najít outsourcingovou společnost, když potřebují konkrétní/specifické zdroje. Autoři vyvinuli simulační model výroby s crowdsourcetem s modelem zdroje a vyjednávacím algoritmem založeným na agentech pro vyhodnocení efektivity výroby na základě dodávky a využití stroje. Podle kombinace a vyváženosti obchodního stylu se míra doručování mění s bodem nasycení, který závisí na shodnosti zdrojů. A. K. Turker a kol [33] pak využívají sběr dat v reálném čase a simulace k rozhodování, zda při výrobě v budoucnu dojde ke zpoždění nebo ne a navržený systém na základě toho rozhoduje o outsourcingu výroby zakázky.

Častým trendem využití simulace je i možnost nejen predikce potřebných oprav, popř. prostojů, ale i reorganizace a realizace jiného plánu výroby než standardního např. při nenadálé poruše [34]. V takovém případě je problém předvídat možné poruchy, a hlavně mít připravené scénáře pro chování systému. Proto autoři článku navrhuje metodiku pro získání znalostí o údržbě pomocí metody počítačové simulace. Předložený příklad vytvořili pomocí



softwaru Tecnomatix Plant Simulation. Obdobnému tématu se věnuje i H.-J. Shin a kol. [35], kteří studují aktivní ochranu pro umožnění funkce „sebeopravy“. Autoři navrhli modelování dílny a dynamické rekonfigurovatelné schéma CPS, které může předpovídat výskyt anomálií a sebeochrany v modelu. Za tímto účelem byla technologie strojového učení umožňující omezit přetížení ve výrobním procesu. Výsledkem je navržený simulační model autonomně detekující abnormální situace a je dynamicky rekonfigurovatelný pomocí sebeopravy.

V člancích zabývajících se simulací se pak ukazuje i další směr, kterým se simulace vydávají – propojování. Nejde jen o propojování s hardwarem, který např. umožňuje sběr dat v reálném čase, ale i o propojení softwaru pro diskrétní simulace a softwarem pro simulaci dynamiky [36], kde autoři představují integrační mechanismus pro online komunikaci mezi těmito nástroji a navíc ji využívají pro ověření logiky naprogramovaného PLC. Jiným příkladem je propojení diskrétní simulace a virtuální reality (VR DES) [37]. Označují VR DES jako novou platformu pro testování scénářů a rozhodování. V práci se řeší potřebné komunikační protokoly, aspekty návrhu systému, validace modelu a aplikace VR a DES. Dle autorů je potřeba další výzkum v oblastech zpracování obrazu s nižší latencí, dodávky DES jako služby, rozpoznávání gest pro VR Interakce DES a propojení DES s datovými toky v reálném čase a soubory velkých dat. T. Delbruegger et al. [38] se pak zaměřují na propojování simulačních systémů. Podle autorů nelze simulační modely snadno kombinovat, a proto nelze interdisciplinárních globálních optimalizací často možné dosáhnout. Navíc aspekt lidské interakce s tak komplexními ko-simulačními systémy je často opomíjen. Proto představují koncept pro kombinaci různých simulačních modelů s interdisciplinárními víceúrovňovými simulacemi produkčních systémů. Koncept zahrnuje tři hierarchické úrovně produkčních systémů (Process Simulation, Factory Simulation a Human Interaction) a umožňuje interakci člověka se simulačním systémem, koncept lze ale snadno rozšířit, aby podporoval další úrovně. V rámci víceúrovňové struktury provádí každý simulační systém víceúčelovou optimalizaci. Paretooptimální řešení jsou předávána simulacím na vyšších hierarchických úrovních, aby je mohla kombinovat a splnit flexibilně přizpůsobitelné cíle celého výrobního systému. Koncept je testován pomocí zjednodušeného výrobního systému, aby byl optimalizován z hlediska doby výkonu a spotřeby elektrické energie. Výsledky ukazují na potenciál takto optimalizovat produktivitu a efektivitu výrobních systémů.

Y. Lu a kolektiv [39] se zabývají nedávným vývojem technologií Digital Twin ve výrobních systémech a procesech, analyzují konotace, scénáře aplikací a výzkumné otázky inteligentní výroby Digital Twin-řízené výroby v kontextu Industry 4.0. Ve své práci identifikují nevyřešené výzkumné problémy vývoje digitálních dvojčat pro inteligentní výrobu. Jsou to:

1. Standardizovat vzor architektury pro digitální dvojče ideální kombinací dvou aktuálně používaných architektur
2. Zaměřit se na snížení latence komunikace pro digitální dvojčata

3. Standardizovat mechanismus sběru dat (definovat best practises)
4. Definovat standardy pro digitální Twin
5. Standardizovat/navrhnout výchozí funkce digitálního dvojče
6. Zaměřit se na správu verzí modelu Twin Twin
7. Zaměřit se na „simulování“ lidí v aplikacích Digital Twin

S. Kern a J. Scholz [40] se zabývají přístupem k simulaci založeným na modelování agentů pro vnitřní výrobní prostory. Simulační metody používají k optimalizaci prostorové dimenze s ohledem na simulaci výrobních procesů. Model založený na agentech vyvinutý v tomto článku je využíván k simulaci výrobního prostředí pomocí umělého vnitřního prostoru a sady testovacích dat. Výsledky ukazují, že různé úrovně dostupných prostorových informací mají vliv na výsledky simulace vnitřních výrobních prostředí a procesů. Vzdálenosti překonávané pracovními agenty mohou být významně sníženy stejně jako neproduktivní pohyby pracovních agentů (bez výrobních aktiv).

## 5 Koncept Industry 5.0

Pojem Industry 4.0 (též Průmysl 4.0, Práce 4.0, nebo čtvrtá průmyslová revoluce) označuje aktuální trend digitalizace a automatizace výroby včetně jejich dopadů na trh práce. Hlavní myšlenkou tohoto konceptu je vykonávání opakujících se a jednoduchých činností, které aktuálně vykonávají lidé, stroji. I když se o konceptu Industry 4.0 mluví hlavně v posledních necelých deseti letech, tak jde o využívání technologií, které jsou v některých případech dostupné už např. od 90. let 20. století a do té doby se jen vyvíjejí, popř. upravují. Očekávaným nástupcem tohoto konceptu by měl být koncept Industry 5.0 (nebo Průmysl 5.0, Práce 5.0, pátá průmyslová revoluce apod.). Počty vědeckých článků operujících s pojmem „Industry 5.0“ je velmi nízký. V databázích WoS a Scopus se jedná o jednotky textů. Ve většině případů se navíc netýkají a nijak nedotýkají průmyslu, ale např. zdravotnictví, nebo sociálních věd. Počty odborných, ale nevědeckých článků jsou podstatně vyšší a při využití vyhledávače je vidět, že jde o poměrně často diskutované téma, kterému se věnuje hodně nevědeckých autorů.

Ve vědeckých textech je koncept Industry 5.0 představován jako:

- Nadstavba aktuálního konceptu Industry 4.0 s ohledem na bezpečnost, kterou se koncept Industry 4.0 zabývá pouze okrajově i přesto, že staví na IoT a inteligentní výrobě, popř. inteligentních továrnách. Extrémní automatizace, dokud „vše není spojeno se vším ostatním“, představuje zranitelná místa, která byla dosud jen velmi málo zvažována. [41]
- Propojení robotů s lidským mozkem. V tomto případě je vnímána nutnost zvýšit produktivitu, aniž by byli lidé z výrobního průmyslu vyloučeni. Abychom čelili těmto výzvám, zavádí autoři koncept Industry 5.0, kde jsou roboti propojeni s lidským mozkem a pracují

jako spolupracovníci místo konkurence. Autoři argumentují, že takto pojatý koncept Industry 5.0 vytvoří více pracovních míst.[42]

- Následování přírody, tedy Bionika (imitace nebo abstrakce „vynálezů“ přírody). Chemický průmysl již používá tzv. „bílou biotechnologii“ pro nové procesy, suroviny a udržitelnější využívání zdrojů. Syntetická biologie se také používá k vývoji biopaliv druhé generace a ke sběru sluneční energie pomocí mikroorganismů, nebo biometricky navržených katalyzátorů. Tržní potenciál bioniky v medicíně, inženýrských procesech a ukládání DNA je obrovský. Projekty ve světě se již agresivně zaměřují např. na nemoci a nové materiály vytvořené touto cestou. Začátek konceptu Industry 5.0 by měl být dle autorů položen kódováním inženýrských projektů, umělou DNA, biologickými obvody apod. [43]
- Dalším krokem po dokončení digitalizace. Koncept Industry 5.0 by měl stát na spolupráci se zákazníky, orientaci na služby. obratnosti a zkušenosti při komunikaci se zákazníky a autoři tyto schopnosti považují v konceptu Industry 5.0 za kritické. Firemní strategie se proto změní z konkurenční strategie na strategii spolupráce. Spolupráce se zákazníky by měla být prováděna prostřednictvím strategie společné tvorby (CCS) [44]. Hlavní myšlenkou tedy je využít zákazníka už při návrhu a výrobě produktu/služby.

Pohledy na koncept Industry 5.0 z vědeckých článků se z velké části shodují s pohledy objevujícími se v odborných, ale nevědeckých člancích, kde nejčastější pohled na koncept Industry 5.0 je hlavně ve velké individualizaci výrobků/služeb a spolupráce člověka s robotem (ústup od absolutní robotizace), viz např. článek „Trend Průmysl 5.0 k továrnám bez lidí nesměruje“, zveřejněný na [www.vseoprmyslu.cz](http://www.vseoprmyslu.cz) [45], nebo „Přichází Průmysl 5.0 zveřejněný na [www.systemylogistiky.cz](http://www.systemylogistiky.cz) [46]. Tento trend by mohl potvrdit i čím dál tím vyšší zájem o kolaborativní roboty jak u výrobních společností, tak společností poskytujících služby.

## 6 Závěr

Simulace a myšlenka digitálních dvojčat se i v konceptu Industry 4.0 ukazují je potřebný nástroj nejen pro plánování s ohledem na různorodé požadavky jako např. minimalizace nákladů, zvýšení produktivity, „zelená“ výroba, ale např. i pro vzdělávání. Význam simulace a digitálních dvojčat v aktuálním vývoji stále nabývá na významu. Je pozorovatelný trend navíc simulace a digitální dvojčata rozšiřovat o nové technologie a možnosti, jako např. strojové učení, sběr dat v reálném čase, propojení s virtuální realitou, propojování diskrétní a simulace dynamiky, nebo např. propojování simulací a digitálních dvojčat napříč společnostmi za cílem zjednodušení kooperací a outsourcingu. Vliv detailnosti modelu na výsledky simulace se pak bere jako určitý fakt a výzkumy v tomto směru v obecné rovině neprobíhají. Naopak se podle všeho

řeší detailnost modelu pro konkrétní projekt. Zobecnění v tomto případě představuje pouze graf uvedený v textu.

Naopak téma Industry 5.0 vyznívá v tuto chvíli pouze jako marketingová záležitost než skutečné vědecké téma.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] M. Dorda, „Úvod do modelování a simulace systémů“, s. 46.
- [2] P. Šenkýř, „Využití simulačních metod pro podporu procesního řízení v systémech integrovaného managementu“. 2011.
- [3] V. Glombíková, „POČÍTAČOVÁ SIMULACE PODNIKOVÝCH PROCESŮ. Ing. V. Glombíková, PhD.“ <https://docplayer.cz/8986738-Pocitacova-simulace-podnikovych-procesu-ing-v-glombikova-phd.html> (viděno bře. 24, 2020).
- [4] S. Klos a J. Patalas-Maliszewska, „Simulation Modeling of Assembly Processes for Digital Manufacturing“, in *Advances in Manufacturing II, Vol 1 - Solutions for Industry 4.0*, J. Trojanowska, O. Ciszak, J. M. Machado, a I. Pavlenko, Ed. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2019, s. 261–273.
- [5] Z. Zhang, R. Tang, T. Peng, L. Tao, a S. Jia, „A method for minimizing the energy consumption of machining system: integration of process planning and scheduling“, *J. Clean Prod.*, roč. 137, s. 1647–1662, lis. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.101.
- [6] T. Wu, F. Xiao, C. Zhang, Y. He, a Z. Liang, „The green capacitated multi-item lot sizing problem with parallel machines“, *Comput. Oper. Res.*, roč. 98, s. 149–164, říj. 2018, doi: 10.1016/j.cor.2018.05.024.
- [7] A. Zandi, R. Ramezani, a L. Monplaisir, „Green parallel machines scheduling problem: A bi-objective model and a heuristic algorithm to obtain Pareto frontier“, *J. Oper. Res. Soc.*, doi: 10.1080/01605682.2019.1595190.
- [8] Q. Su, W. Yang, a Y. Liu, „Optimization of carbon emission considering production planning at enterprise level“, *J. Clean Prod.*, roč. 162, s. 635–645, zář. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.092.
- [9] S.-J. Shin, S.-H. Suh, a I. Stroud, „A green productivity based process planning system for a machining process“, *Int. J. Prod. Res.*, roč. 53, č. 17, s. 5085–5105, zář. 2015, doi: 10.1080/00207543.2014.988884.
- [10] N. Liu, Y. F. Zhang, a W. F. Lu, „Improving Energy Efficiency in Discrete Parts Manufacturing System Using an Ultra-Flexible Job Shop Scheduling Algorithm“, *Int. J. Precis Eng Manuf-Green Technol.*, roč. 6, č. 2, s. 349–365, dub. 2019, doi: 10.1007/s40684-019-00055-y.

- [11] H. Junker a C. Domann, „Towards Industry 4.0 in Corporate Energy Management“, in *Ecosystems and Sustainable Development Xi*, roč. 214, D. Almorza a C. A. Brebbia, Ed. Southampton: Wit Press, 2017, s. 49–56.
- [12] A. Kruse, T. H.-J. Uhlemann, a R. Steinhilper, „Simulation-based assessment and optimization of the energy consumption in multi variant production“, in *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use*, roč. 40, G. Seliger, H. Kohl, a J. Mallon, Ed. Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2016, s. 396–401.
- [13] L. Atorf a J. Rossmann, „Interactive Analysis and Visualization of Digital Twins in High-Dimensional State Spaces“, in *2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (icarcv)*, New York: Ieee, 2018, s. 241–246.
- [14] T. H.-J. Uhlemann, C. Lehmann, a R. Steinhilper, „The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0“, in *24th Cirp Conference on Life Cycle Engineering*, roč. 61, S. Takata, Y. Umeda, a S. Kondoh, Ed. Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2017, s. 335–340.
- [15] F. Jaensch, A. Csiszar, C. Scheifele, a A. Verl, *Digital Twins of Manufacturing Systems as a Base for Machine Learning*. New York: Ieee, 2018, s. 7–12.
- [16] M. Zarte, U. Wunder, a A. Pechmann, „Concept and First Case Study for a Generic Predictive Maintenance Simulation in AnyLogic (TM)“, in *Iecon 2017 - 43rd Annual Conference of the Ieee Industrial Electronics Society*, New York: Ieee, 2017, s. 3372–3377.
- [17] S. Teufl *et al.*, „OPTIMISED - Developing a State of the Art System for Production Planning for Industry 4.0 in the Construction Industry Using Simulation - Based Optimisation“, in *Transdisciplinary Engineering Methods for Social Innovation of Industry 4.0*, roč. 7, M. Peruzzini, M. Pellicciari, C. Bil, J. Stjepandic, a N. Wognum, Ed. Amsterdam: Ios Press, 2018, s. 731–740.
- [18] P. Fantini, M. Pinzone, a M. Taisch, „Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: Modelling and assessing human activities within cyber-physical systems“, *Comput. Ind. Eng.*, roč. 139, s. UNSP 105058, led. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2018.01.025.
- [19] B. Denkena a F. Winter, „Simulation-based planning of production capacity through integrative roadmapping in the wind turbine industry“, in *9th Cirp Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - Cirp Icme '14*, roč. 33, R. Teti, Ed. Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2015, s. 105–110.
- [20] W. Yang a S. Takakuwa, „Simulation-Based Dynamic Shop Floor Scheduling for a Flexible Manufacturing System in the Industry 4.0 Environment“, in *2017 Winter Simulation Conference (wsc)*, V. Chan, A. D'Ambrogio, G. Zacharewicz, a N. Mustafee, Ed. New York: Ieee, 2017, s. 3908–3916.
- [21] C. L. Constantinescu, E. Francalanza, a D. Matarazzo, „Towards knowledge capturing and innovative human-system interface in an open-source factory modelling and simulation environment“, in *9th Cirp Conference on Intelligent*

- Computation in Manufacturing Engineering - Cirp Icme '14*, roč. 33, R. Teti, Ed. Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2015, s. 23–28.
- [22] D. Krenczyk, W. M. Kempa, K. Kalinowski, C. Grabowik, a I. Paprocka, „Integration of manufacturing operations management tools and discrete event simulation”, in *Modtech International Conference - Modern Technologies in Industrial Engineering Vi (modtech 2018)*, roč. 400, E. Oanta, M. Naito, C. Carausu, P. Topala, M. Placzek, C. Schnakovszky, V. Paunoiu, V. Cohal, a D. Nedelcu, Ed. Bristol: Iop Publishing Ltd, 2018, s. 022037.
- [23] A. Caggiano a R. Teti, „Digital factory technologies for robotic automation and enhanced manufacturing cell design”, *Cogent Eng.*, roč. 5, č. 1, s. UNSP 1426676, led. 2018, doi: 10.1080/23311916.2018.1426676.
- [24] G. Avventuroso, R. Foresti, M. Silvestri, a E. M. Frazzon, „Production Paradigms for Additive Manufacturing Systems: a Simulation-based Analysis”, in *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ice/Itmc)*, R. JardimGoncalves, J. P. Mendonca, M. Pallot, A. Zarli, J. Martins, a M. Marques, Ed. New York: Ieee, 2017, s. 973–981.
- [25] P. Goodall, R. Sharpe, a A. West, „A data-driven simulation to support remanufacturing operations”, *Comput. Ind.*, roč. 105, s. 48–60, úno. 2019, doi: 10.1016/j.compind.2018.11.001.
- [26] B. Rodic, „Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm”, *Organizacija*, roč. 50, č. 3, s. 193–207, srp. 2017, doi: 10.1515/orga-2017-0017.
- [27] D. Grube, A. A. Malik, a A. Bilberg, „SMEs can touch Industry 4.0 in the Smart Learning Factory”, in *Research. Experience. Education.*, roč. 31, C. Herrmann a S. Thiede, Ed. Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2019, s. 219–224.
- [28] T. H.-J. Uhlemann, C. Schock, C. Lehmann, S. Freiberger, a R. Steinhilper, „The Digital Twin: Demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems”, in *7th Conference on Learning Factories (clf 2017)*, roč. 9, J. Metternich a R. Glass, Ed. Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2017, s. 113–120.
- [29] D. Mourtzis, A. Vasilakopoulos, E. Zervas, a N. Boli, „Manufacturing System Design using Simulation in Metal Industry towards Education 4.0”, in *Research. Experience. Education.*, roč. 31, C. Herrmann a S. Thiede, Ed. Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2019, s. 155–161.
- [30] S. Lang, T. Reggelin, M. Jobran, a W. Hofmann, „Towards a Modular, Decentralized and Digital Industry 4.0 Learning Factory”, in *2018 Sixth International Conference on Enterprise Systems (es 2018)*, New York: Ieee, 2018, s. 123–128.
- [31] B. Kadar, P. Egri, G. Pedone, a T. Chida, „Smart, simulation-based resource sharing in federated production networks”, *CIRP Ann-Manuf. Technol.*, roč. 67, č. 1, s. 503–506, 2018, doi: 10.1016/j.cirp.2018.04.046.
- [32] T. Kaihara, Y. Katsumura, Y. Suginishi, a B. Kadar, „Simulation model study for manufacturing effectiveness evaluation in crowdsourced manufacturing”,

*CIRP Ann-Manuf. Technol.*, roč. 66, č. 1, s. 445–448, 2017, doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.094.

- [33] A. K. Turker, A. Golec, A. Aktepe, S. Ersoz, M. Ipek, a G. Cagil, „A real-time system design using data mining for estimation of delayed orders an application", *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, roč. 35, č. 2, s. 709–724, 2020, doi: 10.17341/gazimmfd.478648.
- [34] S. Klos, „Knowledge Acquisition Using Computer Simulation of a Manufacturing System for Preventive Maintenance", in *Information and Software Technologies, Icist 2018*, roč. 920, R. Damasevicius a G. Vasiljeviene, Ed. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2018, s. 29–40.
- [35] H.-J. Shin, K.-W. Cho, a C.-H. Oh, „SVM-Based Dynamic Reconfiguration CPS for Manufacturing System in Industry 4.0", *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, s. 5795037, 2018, doi: 10.1155/2018/5795037.
- [36] Q. M. Goncalves Laurindo, T. A. Peixoto, a J. J. de Assis Rangel, „Communication mechanism of the discrete event simulation and the mechanical project softwares for manufacturing systems", *J. Comput. Des. Eng.*, roč. 6, č. 1, s. 70–80, led. 2019, doi: 10.1016/j.jcde.2018.02.005.
- [37] C. J. Turner, W. Hutabarat, J. Oyekan, a A. Tiwari, „Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends", *IEEE T. Hum.-Mach. Syst.*, roč. 46, č. 6, s. 882–894, pro. 2016, doi: 10.1109/THMS.2016.2596099.
- [38] T. Delbruegger *et al.*, „Multi-level simulation concept for multidisciplinary analysis and optimization of production systems", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, roč. 103, č. 9–12, s. 3993–4012, srp. 2019, doi: 10.1007/s00170-019-03722-1.
- [39] Y. Lu, C. Liu, K. I.-K. Wang, H. Huang, a X. Xu, „Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues", *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, roč. 61, s. 101837, úno. 2020, doi: 10.1016/j.rcim.2019.101837.
- [40] S. Kern a J. Scholz, „Agent-Based Simulation for Indoor Manufacturing Environments-Evaluating the Effects of Spatialization", in *Geospatial Technologies for Local and Regional Development*, P. Kyriakidis, D. Hadjimitsis, D. Skarlatos, a A. Mansourian, Ed. Cham: Springer International Publishing Ag, 2020, s. 309–324.
- [41] V. Özdemir a N. Hekim, „Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence, ‘the Internet of Things’ and Next-Generation Technology Policy", *OMICS A Journal of Integrative Biology*, roč. 22, č. 1, s. 65–76, 2018, doi: 10.1089/omi.2017.0194.
- [42] S. Nahavandi, „Industry 5.0-a human-centric solution", *Sustainability (Switzerland)*, roč. 11, č. 16, 2019, doi: 10.3390/su11164371.
- [43] P. Sachsenmeier, „Industry 5.0-The Relevance and Implications of Bionics and Synthetic Biology", *Engineering*, roč. 2, č. 2, s. 225–229, čer. 2016, doi: 10.1016/J.ENG.2016.02.015.
- [44] L. W. W. Mihardjo, F. A. Sasmoko, a Elidjen, „Towards co-creation strategy and organizational agility based on customer experience orientation to

shape transformational performance", *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, roč. 6, č. 1, s. 236–248, 2019.

- [45] U. Robots, „Trend Průmysl 5.0 k továrnám bez lidí nesměřuje“, *Vše o průmyslu*. <https://www.vseoprumsylu.cz/robotizace/kooperativni-roboty/trend-prumysl-5-0-k-tovarnam-bez-lidi-nesmeruje.html> (viděno bře. 23, 2020).
- [46] „GLOSA: »Přichází Průmysl 5.0?«“, *Systémy Logistiky CZ*, bře. 29, 2018. <https://www.systemylogistiky.cz/2018/03/29/glosa-prichazi-prumysl-5-0/> (viděno bře. 23, 2020).



# Development of enterprise information systems

Milan Martinkovič <sup>1</sup>, Branislav Mičieta <sup>1</sup>, Vladimíra Biňasová <sup>1</sup>

Miroslav Fusko <sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Industrial Engineering

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia

[milan.martinkovic@fstroj.uniza.sk](mailto:milan.martinkovic@fstroj.uniza.sk)

[branislav.micieta@fstroj.uniza.sk](mailto:branislav.micieta@fstroj.uniza.sk)

[vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk](mailto:vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk)

[miroslav.fusko@fstroj.uniza.sk](mailto:miroslav.fusko@fstroj.uniza.sk)

**Annotation:** The article deals with the description of the development of systems for production planning and control, which are adapted to the current needs of companies and also to the ongoing fourth industrial revolution. The article describes the gradual development of these systems from the initial systems to the current one's systems, which solve the problem (excess data) that is currently faced by many companies. Due to this problem, several companies may find themselves in a state where they are surrounded by a large amount of data. At the end of the article, the outlook for the future within the development of systems is described and the risk planning module (in the future as a part of the ERP system) is described, which is solved within the dissertation thesis.

## 1 Introduction

At present companies must be in good condition and manage flexibly respond to frequently changing requirements of customers. Companies must also be able to respond to unexpected events that may disrupt the production process, or worse, stop production, which may result in reduced customer confidence or loss of customers. Therefore, companies must place particular emphasis on production planning and management and use production planning and control systems, more precisely enterprise resource planning (ERP) information systems.

ERP systems have their advantages and disadvantages (limitations, price, difficulty and length of implementation in the company). Not every company may be comfortable with the system. In the past, the ERP system was used by large companies, but now the manufacturers of ERP systems also focus on small and medium-sized companies. Therefore, research in the field of production planning and control is constantly ongoing.

Companies generate a lot of data every day, which causes a plethora of data, and after a while, the company finds itself in a sea of data and does not know what to do with it and how to use it to its advantage. Because the company does not know how to use this data, it loses money. Therefore, in combination

with the ERP system, the Business Intelligence (BI) method is used, which can evaluate and make available the necessary information that is helpful for the company [1,2].

## **2 ERP system**

The ERP system is an integrated enterprise resource planning system and contains a set of applications that automate the financial, logistics, production and personnel areas. They also help achieve business goals and automate a variety of activities related to business processes inside and out.

The basis of enterprise information systems is a common database, to which, in addition to production, all other areas are connected - trade and marketing, distribution and technology, finance, accounting, suppliers, human resources, etc. From the point of view of information systems solutions, ERP can be defined as a comprehensive software package that allows targeted and efficient management of corporate resources (finance, investment and inventory). In the past, companies solved each area with separate applications, but today they choose an ERP system that allows them to cover all the needs of the company. The ERP system includes all the data and processes of the company and combines them into a whole. To achieve integration, the ERP system uses a number of software modules as well as hardware infrastructures. The basis of a large part of ERP systems is the use of a unified database for data storage. The individual modules then draw from this database [2,3,4].

### **2.1 History of ERP system**

ERP development began with the MRP (Material Requirements Planning) system, which means material requirements planning. MRP is a production planning and inventory control system and assists in the integration of information from production plans from inventory and BOM in the calculation of purchase and shipping costs and plans for parts needed to assemble the product. The disadvantage was the integrity of the data. The data had to be accurate when entered into the MRP system, as they could cause serious errors in production and storage.

In the 1970s, an improvement of the MRP system was created. The improvement was in terms of interconnecting the capacity requirements planning module. The MRP II system has been extended with the reverse flow of information from production. The main benefit of the MRP II system is the reduction of the commitment of working capital (approximately 30%), which is the main problem in terms of production management in companies. Reductions in procurement and maintenance costs can also be expected. The MRP II system has a capacity requirements planning module, with a link to sales management. The disadvantage of the MRP II system was that when planning, the system takes into account unlimited production capacities. Therefore, the proposed plans are checked in modules designed for capacity

planning. If the inspection reveals that the required capacity requirements are higher than the actual capacities, then a scheduler starts to solve this problem. In the 1990s, there was unprecedented global competition, customer focus and shorter product life cycles. In order to respond to these requirements, companies had to move towards agile (rapid) production of products, continuous improvement of processes and reengineering of business processes. Based on the technological foundations of MRP and MRP II systems, ERP (Enterprise Resource Planning) systems integrate business processes including manufacturing, distribution, accounting, finance, human resource management, project management, inventory management, service, maintenance and transportation, ensuring accessibility, visibility and enterprise-wide consistency. ERP systems are such integrated information systems that are designed to meet the information and decision-making needs of the company covering all management functions. All ERP systems in the 1990s used the old on premise model (software can be installed and run on customer's premises). Towards the end of the 1990s, an ERP system was created that was not on premise and was delivered via the Internet [5,6].

At the beginning of 2000, the ERP II system was created. ERP II is defined as Internet software that provides real-time access to ERP. The ERP II system (Figure 1) is strengthened by the modules of supply chain management (SCM), Business Intelligence (BI), E-Business and customer relationship management (CRM).

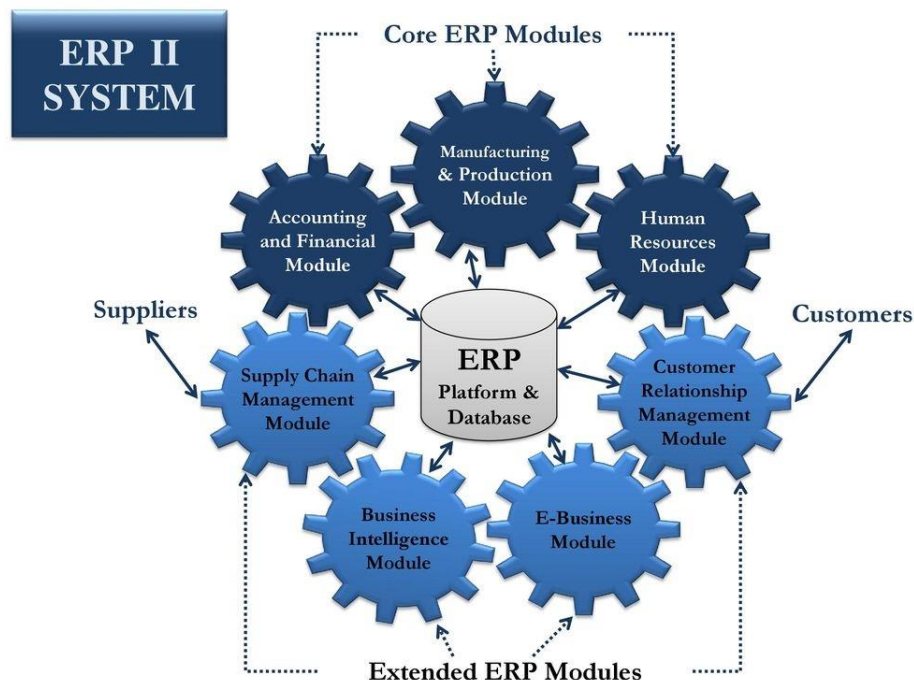


Figure 1 – ERP II system model [7]

As mentioned in the introduction, the ERP system in the company collects data, which can result in a surplus of data over time. If the company cannot process this data, the company loses important information that it could use to

its advantage. Therefore, the Business Intelligence (BI) module was added, which increases the efficiency of the ERP system in terms of data processing. Business Intelligence (BI) is software that collects data from the ERP system, then integrates, analyses and finally presents this data in an easy-to-use and interpretable state. Thanks to Business Intelligence (BI), important information is returned to the company for use and does not remain locked in the ERP system [5,6,8].

### **3 ERP system currently**

Currently, most companies use the ERP system in combination with other systems (modules). A typical enterprise software configuration includes three large systems - an ERP system, a SCM system (Supply Chain Management) and a CRM system (Customer Relationship Management). All systems are built on top of one or more database system systems (DBMS), ideally, using the same logically integrated database. ERP, SCM and CRM systems are usually standard software that has been adapted to the requirements of the individual organization. Currently, these three types of systems tend to be integrated: the SCM module, for example, will have access to the information available in the ERP system directly or through a common database [3].

Today (since 2010) the concept of ERP III system is used. This system is an improvement of the ERP II system. ERP III is extensive use of the cloud infrastructure, working through social networks with customers, potential buyers, product experts, suppliers, potential suppliers, partners, potential partners, potential employees and other categories of people with whom you need to communicate. ERP III is designed to create businesses without borders. Online interaction in social networks and online business platforms allows companies to respond dynamically to emerging opportunities and challenges, creating a flexible structure based on business processes and projects. The advantage of the cloud is that the ERP III system is not physically installed but sharing is used, and in terms of the data produced by the company, it is less costly to buy space in the cloud than to buy physical storage than it is with data forces.

The ERP III system also uses advanced Business Intelligence (BI). BI no longer provides just standardized dashboards and reports but can compile and display the exact data that a business considers most relevant in a number of areas. BI is also increasingly distributed throughout the organization. The combination of the cloud infrastructure with BI allows ERP developers to create dashboards that can be accessed by senior management, end-users, and everyone in between. In addition to viewing, it allows users to manipulate and create a user-oriented information panel that is relevant to them from data sources outside the ERP system. Anyone with authorization has access to and use of relevant data. As an example, an employee operating a machine can view a monitor that shows

the performance of the equipment and its efficiency. The end-user can quickly visualize the relevant data, as opposed to waiting for the end of the day for all this data to be collected and creating messages that say, "Machine A was much slower on Wednesday than Machine B." Instead, the user can see this in real-time. So when something is wrong, the operator can quickly identify the problem and make changes or seek help - they don't have to wait for trained staff to diagnose problems and disable solutions, which is time-consuming and costly [3,8,9].

#### 4 Further development of the ERP system

Current ERP systems cannot answer questions such as what is better to buy, new assets or modernize existing, what and where to build, what and where to buy, what and how to modernize, to what extent repairs and maintenance should be performed, which is more efficient, hire new employees or train existing employees on how to allocate resources to train employees in specific areas.

ERP IV will be prepared to answer these questions by developing cognitive services and big data processing technologies within ERP III. ERP IV does not yet envisage the use of artificial intelligence (AI)(artificial intelligence comparable at the human level), the precondition for its use should be only in ERP V (from 2030 to 2040), or ERP VI (from 2040 to 2050). With the ERP system, a 10-year cycle of generational change is expected. Another aspect that influences the occurrence of artificial intelligence at the human level in business systems is the time of its learning. Although the structure of the required neural network is quite clear, the acquisition of knowledge corresponding to the secondary, bachelor's and engineering/master's degrees in the chosen specialization, as well as some practical experience in terms of actual work can take a long time.

Figure 2 shows the gradual development of ERP systems from the past through the present and with an expected outlook for the future.



Figure 2 – Expected development of the ERP system [10].

Although ERP III uses industry 4.0 technologies, there is still a lack of a module to identify and analyse the risks that may arise and to develop action plans for these risks. In the event of risks, action plans to eliminate or mitigate the negative impact of those risks would be activated. Only in ERP V (from 2030) is artificial intelligence assumed to handle this task.

Therefore, a methodology is currently being proposed to protect the assembly plan in view of the risks that may arise. This methodology would be used after

the assembly plan has been drawn up. The basic methodology will be briefly described in the next chapter [10].

## 5 Methodology for protection of the assembly plan

The methodology for the protection of the assembly plan is proposed due to the fact that companies currently lack critical thinking and adaptability in the event of a sudden risk. In some cases, companies forget that there may be a risk, whether from an internal or external environment. Some companies do not take these risks into account when creating the assembly plan, and in the event of a risk, the assembly may be stopped, which will delay the completion of the order and possibly reduce the customer's confidence or loss.

The task of the methodology will be to use modules to create an action plan, which is activated in the event of a risk and mitigates or eliminates its negative impact. In figure 3 shows the state of the assembly plan without the application of the methodology (a) and the expected state after the application of the methodology in the event of a risk (b).

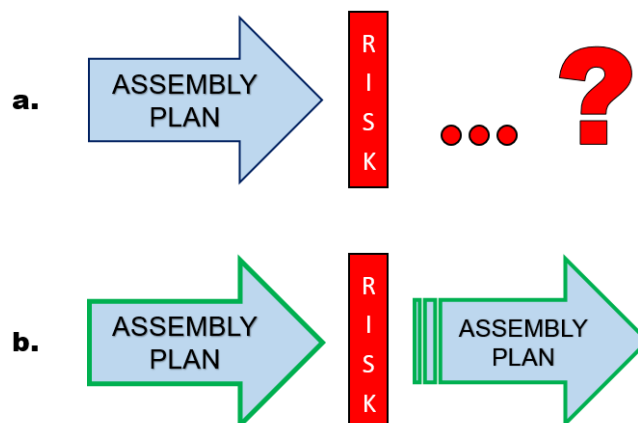


Figure 3 – Assembly plan before and after using the methodology [authors].

Currently, in some companies, in the event of an unexpected risk (for example, failure to supply the necessary material), assembly is stopped and the company finds out what to do in order to return back to production. As the company finds out how to proceed, it loses its time needed to complete the order. In some cases, this unexpected cessation of production (assembly workplaces) can take weeks, depending on the available capacity of the company and the speed of the company to respond to the event. (Figure 3 – a)

If, after the assembly plan has been drawn up, the company uses the proposed method to identify potential risks and create ways to deal with those risks, the company would be able to react immediately in the event of a risk. The overall assembly plan would slow down but not stop. The company would try to make the most of this restriction until the impact of the risk is removed and the plan is in its original conditional. (Figure 3 – b).

## 5.1 Proposed methodology

The core of the proposed methodology consists of three modules (Figure 4). Each module will consist of individual processes that must be performed to successfully complete the main module, and another module can be accessed.

The Risks module defines the risks that can jeopardize the assembly plan. Whether these risks are defined by the company itself on the basis of historical data or it uses studies that have defined the most common risks.

In the Simulation module, a simulation project is used and to create a simulation model of the assembly workplace (or assembly workplaces according to the company's requirements) and risk experiments are created. Based on the results of the simulation, the company will know approximately what impact the risk will have on the assembly (assembly plan). Then the measures are proposed, which are simulated and from the obtained results we proceed to the last module Action plan in which the action plan will be created. The action plan will describe how to proceed in the event of a risk (what is to be done, who is responsible for it and the time to individual actions).



*Figure 4 – Main modules of the proposed methodology [authors].*

## 6 CONCLUSION

ERP products are used extensively. The main manufacturers of information systems, which have been established since the early '80s, began to write a history of the development of ERP systems. The ERP system contains a set of primary functions and modules that integrate every business department around the world by providing real-time control of data and processes. In the past, ERP systems have only been applied to large companies, but in recent decades they have also focused on small and medium-sized enterprises.

Currently, there are ERP III systems in which Business Intelligence (BI) is improved, which helps companies collect, analyse data, transform it into an interpretable form and use elements of Industry 4.0 (Cloud, IIoT).

Although ERP III uses industry 4.0 technologies, there is still a lack of a module for risk identification and analysis and the subsequent creation of action plans for these risks. In the event of risks, action plans would be activated to eliminate or mitigate the negative effects of these risks. Only in ERP V or ERP VI is it assumed that artificial intelligence can handle this task.

At present, companies must be in good shape and able to respond immediately to risks that could risk production and to take these risks into account in the planning phase. From this point of view, the acquired knowledge was used to develop a dissertation thesis, which deals with the design of a methodology that will protect the assembly plan from the risks that may occur. At present, companies must be in good shape and able to respond immediately to risks that could jeopardize production and to take these risks into account in the planning phase. The proposed methodology consists of three main modules, which are briefly described in subchapter 5.1 Proposed methodology. The methodology is applied to the created assembly plan, which will result in the creation of action plans that will prevent the disruption or cessation of the assembly plan in the event of a risk.

Further research will develop individual modules and create the necessary links between them. A module will also be designed to respond to risks that the company did not anticipate at the beginning of the proposed methodology in the Risks module.

## Acknowledgments

This work was supported by the KEGA Agency under the Contract no. 022ŽU-4/2018.

## References

- [1] KASEM, R. *Surveying Systems of Enterprise Resource Planning. Researchgate*. [online]. 2017, [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/315680017\\_Surveying\\_Systems\\_of\\_Enterprise\\_Resource\\_Planning](https://www.researchgate.net/publication/315680017_Surveying_Systems_of_Enterprise_Resource_Planning)
- [2] GREGOR, M., MIČIETA, B., BUBENÍK, P. *Plánovanie výroby*. Žilina : ŽU v Žiline v EDIS, 2005. 173 s. ISBN 80-8070-427-9.
- [3] KURBEL, K. E. *Enterprise Resource Planning and Supply Chain Management - Functions, Business Processes and Software for Manufacturing Companies*. 1st ed. Berlin : Springer, 2013. 359 p. ISBN 978-3-642-31573-2.
- [4] HERČKO, J., FUSKO, M., KOTOROVÁ SLUŠNÁ, Ľ. Concept of the Factories of the Future in Slovak industrial companies. In: *Mobility IoT 2018*,



5th EAI International Conference on Smart Cities within SmartCity360° Summit, 2018.

- [5] RASHID, A. M. et al. *The Evolution of ERP Systems: A Historical Perspective*. [online]. Idea Group Publishing, 2002 [cit. 2020-02-04]. Accessed from: <https://faculty.biu.ac.il/~shnaidh/zooloo/nihul/evolution.pdf>
- [6] *Evolution of Enterprise Resource Planning*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-04]. Accessed from: [https://www.brainkart.com/article/Evolution-of-Enterprise-ResourcePlanning\\_7316/](https://www.brainkart.com/article/Evolution-of-Enterprise-ResourcePlanning_7316/)
- [7] BARRETT, A. *Information Systems within the Organization*. [online]. 2019 [cit. 2020-02-04]. Accessed from: <https://slideplayer.com/slide/13762148/>
- [8] JOSHI, V. *The history of ERP systems- from the beginning to now*. [online]. Beyond Accounting, Business Solutions and You, 2017 [cit. 2020-02-04]. Accessed from: <http://www.versaccounts.com/blog/the-history-of-erp-systems/>
- [9] Business Intelligence (BI) in ERP Systems Has Never Been More Valuable. [online]. Abas USA, 2018 [cit. 2020-02-04]. Accessed from: <https://abaserp.com/en/news/business-intelligence-erp-systems>
- [10] SUKHOBOKOV, A. *Business analytics and AGI in corporate management systems*. [online]. Researchgate, 2018 [cit. 2020-01-09]. Accessed from: [https://www.researchgate.net/publication/329574244\\_Business\\_analytics\\_and\\_AGI\\_in\\_corporate\\_management\\_systems/references](https://www.researchgate.net/publication/329574244_Business_analytics_and_AGI_in_corporate_management_systems/references)

# Manufacturing paradigms and their change in time

Štefan Mozol <sup>1</sup>, Patrik Grznár <sup>1</sup>, Matúš Oravec <sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Industrial Engineering

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia

[stefan.mozol@stroj.uniza.sk](mailto:stefan.mozol@stroj.uniza.sk)

[patrik.grznar@stroj.uniza.sk](mailto:patrik.grznar@stroj.uniza.sk)

<sup>3</sup> Slovak University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology – Institute of Robotics and Cybernetics

Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovakia

[matus.oravec@stuba.sk](mailto:matus.oravec@stuba.sk)

**Annotation:** Manufacturing companies are constantly confronted by changes in customer behaviour, which affects their product strategy. The product strategy of the enterprise or the manufacturing paradigm represents how the company approach to producing products in terms of its quantity and variants. Various changes over time also led to a change in the production paradigm of enterprises, it also influenced the development of manufacturing approaches by which the paradigm is implemented. The article describes the different manufacturing paradigms their change over time, and which manufacturing approaches will be deployed within the paradigms.

## 1 Introduction

The relationship of the enterprise to the customer changes over time. If in the past some products have been produced mass in as much quantity as possible to meet demand, then over time the markets have become crowded, and if company want to sell its product, it must respond to a change in customer requirements. Future manufacturing systems will be significantly different from those of today. The changes will be due not only to customer pressure on the variant of new products but also by revolutionary changes due to technological innovation. The most significant factor that affects the existing production environment is the customer. He wants to configure his future product in detail today and does so online. Manufacturers are therefore more compelled to develop online digital configurators of their products. The digital model of the future product serves as an order. The manufacturer implements it in a method of Make To Order (MTO). Some customers want to be present at the "birth" of their product, they want to see with their own eyes how it is produced. Therefore, several manufacturers are already allowing their customers such an experience through the concept of the so-called Glass Factory [1]. Today's market world is characterised by the individualisation of customer requirements. If a manufacturer wants to sell its products, it must bring new value to the market, new products with different characteristics that customers will appreciate and buy. The manufacturing

paradigm represents how the company is approaching the manufacturing of products in terms of its quantities and variants. Today's customer requirements are linked to the growth of product variant, which has a negative effect on production lead time and costs. For current manufacturing companies, the strategy of mass customisation is becoming increasingly attractive, but effective implementation is not possible without advanced manufacturing systems capable of responding quickly to changes [2]. The highest form of customer satisfaction is the personalisation of demand. This means that each product is tailored to the customer. From the principle of press and pull changes in the company, we know that the customer is making a move on new products and the organisation is forced to change its current view of production. The growth of requirements for new customised products puts high pressure on brand new manufacturing system concepts. Today, with the coming of a new stage of product personalisation, the company must be able to quickly individually produce a wide range of products. This has a huge impact on production and on its changes. These courses need to be responded by developing new manufacturing concepts capable of meeting these requirements. The article deals with the description of the different manufacturing paradigms of their change over time as well as the systems that will be deployed within the paradigms.

## **2 Development of manufacturing paradigm in time**

The development of paradigms over time is associated with changing customer requirements and their needs. In general, according to [3], four basic approaches to production can be identified:

- Craft production – the manufactured product is intended for a particular customer and can therefore be described as a 'one customer's market'. This is a pull business model.
- Mass production – produced is a narrow range of products, a constant demand is assumed. This is a press business model.
- Mass customisation – customer chooses from a wide range of options before the production itself. The manufacturer makes the main decisions on the basic structure of the product as well as on the number of variants and options offered based on the target group of customers (market segment). The customer chooses from the portfolio on the basis of his own criteria. It is currently one of the most common uses of the production approach. This is a pull-push business model.
- Personalised production –this is production according to the customer's configuration. This approach aims to offer the customer a share of the design of the product itself. However, there is an increased requirement for manufacturing systems in the configuration area for the production of a wide range of products. This is a pull business model.

Each manufacturing paradigm has had a different set of imperatives that came either from societal needs or from market forces, as seen in Table 1.

*Table 1 –Manufacturing Paradigms and Their Drivers [4]*

Paradigm	Craft Production	Mass Production	Mass Customisation	Personalised Production
Focus	The individual	The product	Market segments	The individual
Societal new needs	Tailored-made products	Low-cost products	Large product variety	Personal-fit products
Business model principle	Pull Sell– Design– Make	Push Design– Make–Sell	Push–Pull Design– Sell–Make	Pull Design – Sell–Design –Make

The long-term success of each business depends on meeting emerging social and market needs. In view of this, each company must aspire to respond to these trends by its manufacturing systems. In the case of craft production, universal machine tools were needed, capable of producing a wider range of products. However, upon the arrival of mass production, these facilities were replaced by single-purpose production lines which were able to meet constant mass demand at low production costs and prices. However, markets have been over time, and demand has not been constant but was foreseeable. The customer started searching for products that matched his requirements at a low price. At that point, the market ceases to be homogeneous and is starting to show a wide range of products. Flexible production systems have begun to be applied in order to be able to meet these needs. They were able to produce diverse production in need of market stability. However, as globalisation progresses, this market stability is losing out, fluctuations in demand are created, and this opens the way for a reconfigurable manufacturing system. These allow us to set the necessary production capacity according to market demand and rapid adaptation of their functions to produce multiple product variants. It is reconfigurable manufacturing systems that allow the development of future manufacturing systems for personalised production. The development of manufacturing systems and approaches, depending on time, is illustrated in Figure 1.

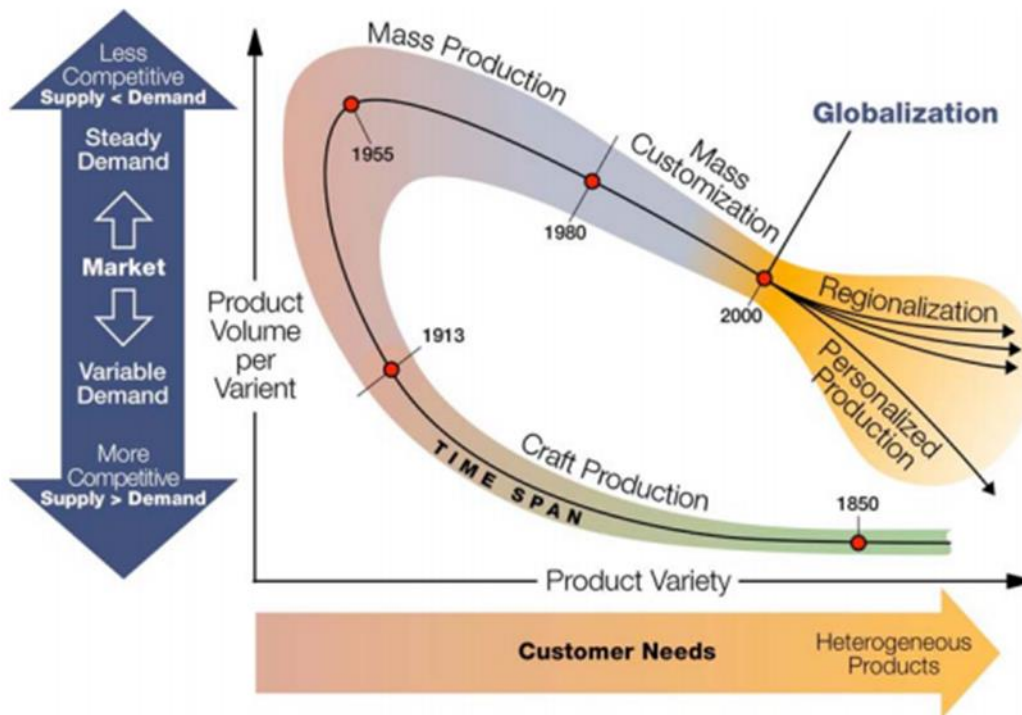


Figure 1 – Development of manufacturing paradigm base on time and manufacturing approaches [4]

### 3 New manufacturing approaches

The production environment is characterised by constant change due to turbulent market environments and paradigm shifts. Modern society and technologies produce an impatient customer. It constantly looked for new products with better properties, better functionality and possible product customisation. On the result, many of the manufacturers needed to react on constantly changing condition [5]. In the past, businesses have made changes in an extensive way, which is a way out of a one-off reaction to change [6]. The new progressive approach is based on the application of the system, which is capable of a different reaction to change and at the same time a change within time based competition (TBC). Under the time competition, we understand the change, which on one side press on product customisation, thanks to what markets stay heterogenic and shorting life cycle of products. This is due to the reduction of time for the development of products also as placing it on the market (Time to Market). On the other hand, it is changed in new technologies and materials, which are designed to press on innovation, what is reflecting is constantly effort to configure the product base [7]. In the global market, the time and time placed on the market is an important competitive advantage. For the obtained this advantage, new manufacturing approaches are developed. Some of them are:

- Quick Response Manufacturing (QRM).

- Reconfigurable Manufacturing Systems (RMS).
- Competency Islands (CI).
- Reconfigurable Logistics System for Factory of the Future (RLS\_FoF).

Each of the named manufacturing approaches has its characteristics, application areas and the specific problem that they solve. The production approach of manufacturing with the quick response is characterised by the fact that the application can achieve optimisation of the activities of the enterprise, both internal and external at the process level. So it's usable where it's difficult to apply Lean Management. It is suitable for low volume and highly variant production, where each product has a specific form, different from the others. Production using reconfigurable production systems is characterised by the possibility of rapid change of its hardware (equipment) and software (programs) components so that a rapid change of the manufactured product can be achieved, at the lowest possible time needed for conversion, thereby increasing the capacity load of equipment on the line. The application of such systems is expected to be taken by manufacturers who are forced to react quickly to changes in market requirements, which from applicability point of view is appropriate for the manufacturers (subcontractors) in for final assembly. They are suitable for production with high variability from the product family point of view. The difference between Quick Response Manufacturing and RMS is that the first is more focused on processes, while RMS is focused on changing production capacity as such from the point of view of hardware and software. The competency islands are a production approach where production is divided into a manufacturing island where there is no fixed link between the islands, and the transport of the processed product is provided by mobile automatic platforms (MAP) means and for the configuration of islands and elements is using mobile robotic systems (MRS). The primary purpose of the application is the same as for RMS, in the difference that the competency islands are intended primarily for the final assembly of the product. The approach is designed to produce a wide range of selected product family. The reconfigurable logistics system for the factories of the future is characterised by the high autonomy of the elements in the decision making and will find their application is as a support system to other approaches such as RMS and competency islands. They enable the real-time creation of a dynamic route of transport and handling equipment, which is a key prerequisite for the application of new manufacturing approaches.

## **4 Conclusion**

Change in the today's world is more frequent and visible, especially in the area of customers requirements. The intend of manufacturing companies is to reach the customer with their product strategy (paradigm). In the time, companies try to respond to customer demand through different manufacturing paradigms, from a piece production on the beginning of the

industrial revolution to current trends of mass customisation and personalisation. In the past, the company had to respond to the trends also with its manufacturing approach. According to the paradigm of mass manufacturing, many manufacturing lines were composed as a flexible manufacturing line. For today's trend is characteristic decentralisation of production and more spread use of object autonomy, which is due to the technological progress intelligent. This new generation of manufacturing systems is designed for the factory of the future which changes the world of manufacturing as we know it.

## Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-14-0752.

## Literature

- [1] GREGOR, M., et al. *Budúce továrne - Technologické zmeny a ich vplyv na budúce výrobné systémy*. Žilina: CEIT, a.s., 2017, 46 s. ISBN 978-80-89865-01-7.
- [2] HALUŠKA, M. *Rekonfigurovateľné výrobné systémy*. Žilina, 2015. Disertation thesis. University of Žilina. Faculty of Mechanical Engineering
- [3] VAVRÍK, V. *Projektovanie produkčných liniek s využitím princípov rekonfigurácie*. Žilina, 2019. Disertation thesis. University of Žilina. Faculty of Mechanical Engineering.
- [4] KOREN, Y. *The Global Manufacturing Revolution Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*. New Jersey: John Wiley, 2010, 416 s. ISBN: 978-0-470-58377-7.
- [5] SURI, R. *QUICK RESPONSE MANUFACTURING: A companywide Approach to Reducting Lead times*. Portland: Productivity Press, 1998, 576 s. ISBN 1-56327-201-6.
- [6] GREGOR, M., MIČIETA, B., BUBENÍK, P. *Plánovanie výroby*. Žilina: EDIS, 2005, 173 s. ISBN 80-8070-427-9.
- [7] GREGOR, M., HALUŠKA, M., GRZNÁR, P. *Komplexné systémy*. Žilina: CEIT, 2018, 107 s. ISBN 978-80-89865-10-9.

# The potential for digital and human workforce integration

Miriam Pekarčíková <sup>1</sup>, Peter Trebuňa <sup>1</sup>, Marek Kliment <sup>1</sup>, Michal Dic <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Management, Industrial and Digital Engineering  
Nemcovej 32, Košice, Slovakia  
[miriam.pekarcikova@tuke.sk](mailto:miriam.pekarcikova@tuke.sk)  
[peter.trebuna@tuke.sk](mailto:peter.trebuna@tuke.sk)  
[marek.kliment@tuke.sk](mailto:marek.kliment@tuke.sk)  
[michal.dic@tuke.sk](mailto:michal.dic@tuke.sk)

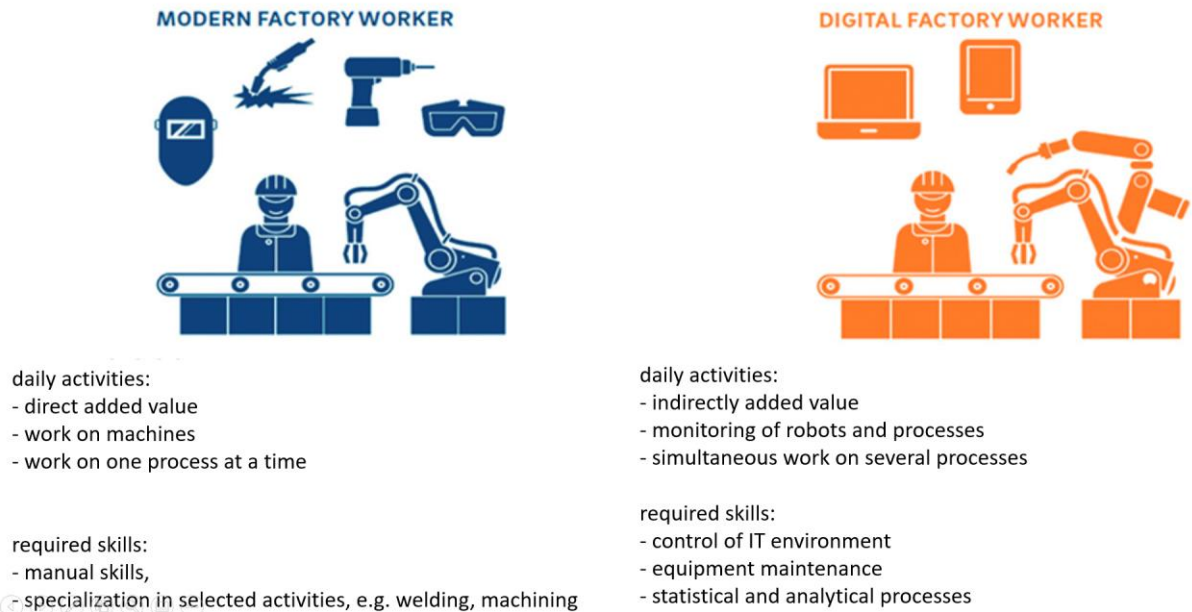
**Anotace:** We are entering a new era of human-machine interaction and it is essential to underestimate the importance of people in the digital factory. Digital factories require a new way of working, this has several implications. The composition of the workforce wants to change, and companies want to be adequately employed and retain employees accordingly. It is equally important to work with people before and during the implementation of new technologies. The paper addresses the potential that the integration of digital and human labour can offer.

## 1 Introduction

Technological progress is rapidly pushing the boundaries between work tasks performed by humans and provided by machines and algorithms. If this transformation is conducted sensibly, it will lead not only to increased productivity, but also to an increase in the quality of life. Otherwise, it may pose a risk of widening skills gaps, inequality, and greater polarization. Research by the World Economic Forum in the report (for time frame 2018-2022) "Future of Jobs Survey 2018" suggests that by 2022, the introduction of technology into existing jobs can be expected to release workers and move them to jobs that will focus on for thinking and decision making.

The differences between work today and in the future, which are related to the introduction of new technologies and digitization, are shown in Figure 1. This is a change like the activities that will be provided to employees and that will be automated. The employee will no longer directly ensure the creation of added value, but the scope of his work will be focused on monitoring processes and robots, equipment maintenance, data evaluation and analysis processing, etc. The aim of the transformation should be to use new technologies to achieve a higher level of production and consumption efficiency, to expand into new product markets that reflect the needs of the global consumer base.





*Figure 1 – The differences between working today and in the future are influenced by Industry [1]*

According to a source [2], Industry 4.0 will create new hybrid industries, such as digital medicine, precision agriculture and intelligent manufacturing. These will support the creation of new jobs, which may be similar, but will require excellent analytical skills and skills in the use of digital technologies. The machines will take over manual and routine work and people will be realized through their unique abilities and skills, such as creative problem solving, complex forms of communication, the ability to adapt to unknown situations.

Collaboration man vs. robot is another way to increase productivity, as it is the result of a combination of human flexibility and machine accuracy and consistency (for example, Amazon picking and completing orders). The Internet used in industry increases the flexibility of the system. By connecting to the network from anywhere, the worker can work asynchronously and remotely to solve problems related to machines, setting up machines independently, resp. in coordination with online collaborators.

The human factor in the context of Industry 4.0 will still be one of the most important factors. It will be part of an intelligent factory through creative and associative competencies. These are a person's natural abilities to use his intelligence, creativity, motor skills and empathy responsibly and sensibly in solving various situations. This will be crucial to the success of Industry 4.0. According to [2], the tasks and activities that the human factor should play in terms of Industry 4.0 can be categorized as follows:

1. Human sensory (sensory) abilities: even in the future, complex and ambiguous situations will arise in production processes, which will need to be solved by using the human factor.
2. Human ability to make decisions, and the associated way of thinking: to resolve conflicts between networked machines and devices, decision-making in critical situations.

3. Human reactivity and ability to negotiate: complexity of the system, irregular repetition, flexibility, use of modern technologies, real-time reactions.

Monotonous activities will be automated and robotized, which will achieve higher productivity, efficiency and quality of production, improve the usability of working time, as the loss of time will no longer create downtime associated with the adjustment and adjustment of the machine, resp. with its maintenance. With increasing productivity, there is also an increase in wages and an increase in living standards. The source [2] states that currently 2 million robots are introduced in the industry, in the Slovak Republic it is mainly in the finalizing factories of automobiles. The mere addition of robots (not the exchange of people for robots) generates up to 0.4% of GDP per year worldwide. Thus, robotization does not mean an increase in unemployment, but a change like work, increased demands on qualifications, the acquisition of new knowledge and competencies with a focus on sophisticated activities.

According to prof. Mindella (a pioneer of autonomous robotics) the highest form of technology is not complete independence, but the automation and autonomy of the machine "elegantly" connected to the human operator.

Man will hold a prominent position in terms of his expertise and skills in production and customer needs with the potential to develop technologies that will respond to new future trends. The main goal of Industry 4.0 is to use the strengths of humans and robots and aim for the highest possible level of efficiency and productivity of production, Figure 2.



*Figure 2 – The Human Factor in Industry [2]*

The main driving force for the organization of work in the future will be the ability to think creatively and innovatively and implement designs through existing technologies. The main task of the company's management will be to motivate its employees. Robots will continue to receive instructions from humans. [2] The importance of the so-called emotional intelligence, which is a prerequisite for teamwork. Mutual interaction and motivation will be the main engine of business development. There is a need to change the hierarchy of human and business values, which should be based on a sense of security.

Industry 4.0 must be understood as a concept aimed at increasing competitiveness through collaboration and networking, promoting creativity

and innovation, efficient use of resources, eliminating monotonous and physically demanding work, creating a cleaner and safer working environment, reconciling work and family life.

The report "Future of Jobs" (2016, World Economic Forum) points to the need to introduce a model of lifelong learning as one of the options for training professionals in the required field. Related to this, however, is the need to create a new educational infrastructure that will ensure a continuous change in professional and educational levels. In this context, two problems arise, namely the mental capacity of the population to undergo permanent processes in creative work and the problem of the population's adaptation to the transformation of complex systems. Due to geographical inequalities and the polarization of the global labour market and in conjunction with the growing power of information and communication technologies, the importance of teleworking will increase (flexible work). The aim will be to provide a skilled workforce with the skills that businesses need. Traditional models of permanent employment will be pushed out by "freelance workers" who will be able to fill this skills gap. [3, 4, 5]

Education will need to be dynamized and adapted to the constant development of digital technologies and to ensure that the knowledge and skills of the workforce are regularly updated in the form of platforms for the continuous learning process. Training and coaching will become the standard in the process of continuous improvement of business processes to achieve consistent results. Progress not only in technology means that the worker will have to have knowledge and competencies in various fields. For the company, the worker becomes an investment and not a cost. It is already necessary to reflect on these facts and set people up for the process of lifelong learning.

The impact of digital technologies on production and business processes will result in changes that will need to be faced by experimenting with new models and reforming the education and training system. Flexible education will have to copy the needs of the labour market. The classic way of education in the form of interpretation will have to be transformed into an interactive way aimed at supporting the development of creativity, analytical skills, and critical thinking.

"According to a McKinsey study (2017), automation should replace 400 to 800 million worldwide by 2030 jobs and up to 60% of professions must be more than 30% automated. According to analyses, up to 65% of children entering primary schools today end up in occupations that do not yet exist today. "[6]

To exploit the transformational potential of the Fourth Industrial Revolution, business leaders in all sectors and regions will be increasingly encouraged to develop a comprehensive workforce strategy ready to respond to the challenges of this new era of accelerating change and innovation. Key factors to consider include [7]:

- mapping the extent of ongoing changes in employment and documenting emerging and declining types of jobs,
- highlighting opportunities to use new technologies to make human workers more efficient and to improve the quality of jobs,
- monitoring the development of skills required in connection with work,
- documenting the needs for investment in retraining, skills development and workforce transformation.

## 2 Conclusion

Many people claim that the human factor will no longer be needed in production in the future. Not only is this incorrect, but for economic reasons it does not make sense. The human factor will also play an important role in the Smart factory. The tasks that people perform in production today will change, the share of production activity will decrease, and the share of monitoring tasks will increase. Intelligent production means not only a high degree of automation, but also an increased need for workers who have expert knowledge in specific industries, as well as interdisciplinary skills and abilities to control new technologies and software in conjunction with the so-called soft skills that cannot be automated such as planning, coordination, leadership, cooperation, etc. The goal of building a functioning intelligent factory begins with the conviction of the workforce. Only then will the necessary change management be successfully implemented.

### Acknowledgement

This article was created by the implementation of the grant project APVV-17-0258, APVV-19-0418, VEGA 1/0438/20 and KEGA 001TUKE-4/2020.

### Literature

- [1] Industry 4UM. Pre nastupujúcu transformáciu sú kvalifikovaní zamestnanci kľúčoví, [online] 2018 [cit. 20. 7. 2020]. Available from: <https://industry4um.sk/pre-nastupujucu-transformaciu-su-kvalifikovani-zamestnanci-klucovi>
- [2] BUREŠ, M. Metodika digitálního ergonomického návrhu a hodnocení pracovišť ve strojírenských podnicích. Plzeň, 2010. Disertační práce. Západočeská univerzita. Fakulta strojní.
- [3] VDMA. [online] 2019 [cit. 20. 7. 2020]. Available from: <http://arbeitsmarkt.vdma.org/arbeit-4.0>
- [4] STANĚK, P., PAUHOFOVÁ, I. Pulzující ekonomika (Konceptuálne východiská k problematike). [online] 2016 [cit. 22. 7. 2020]. Available from: [http://www.ekonom.sav.sk/uploads/journals/336\\_wp\\_86\\_stanek\\_pauhofova\\_2016.pdf](http://www.ekonom.sav.sk/uploads/journals/336_wp_86_stanek_pauhofova_2016.pdf)

- [5] Svet bez práce je ilúzia, vždy budú existovať problémy, ktoré nezvládnu stroje., [online] 2017 [cit. 22. 7. 2020]. Available from: <https://openiazoch.zoznam.sk/cl/175300/Svet-bez-prace-je-iluzia-vzdy-budu-existovat-problemy-ktore-nezvladnu-stroje>
- [6] Report, Industrial Internet of Things. [online] 2018 [cit. 20. 7. 2020]. Available from: <http://reports.weforum.org/industrial-internet-of-things/4-shift-towards-an-integrated-digital-and-human-workforce/4-2-creating-new-jobs-in-hybrid-industries/9>
- [7] Digital factory. [online] Ceit, 2019 [cit. 22. 7. 2020]. Available from: <http://ceitgroup.eu/index.php/sk/digital-factory-sk>
- [8] The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution, Global Challenge Insight Report. [online] World Economic Forum, 2016 [cit. 20. 7. 2020]. Available from: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf)
- [9] GREGOR, M., HERCKO, J., GRZNAR, P. The Factory of the Future Production System Research. 21st International Conference on Automation and Computing (ICAC), 2015, 254-259. doi: 10.1109/ICAC.2015.7313998.
- [10] KOBLASA, F., ŠÍROVÁ E., KRÁLIKOVÁ, R. The Use of Process Thinking in The Industrial Practice – Preliminary Survey. The Journal Tehnički vjesnik – Technical Gazette, 2019, 26(3). doi: 10.17559/TV-20150617135306. ISSN 1848-6339.
- [11] STRAKA, M., SADEROVA, J., BINDZAR, P., MALKUS, T., LIS, M. Computer simulation as a means of efficiency of transport processes of raw materials in relation to a cargo rail terminal: A case study. Acta Montanistica Slovaca, 2019, 24(4), 307–317.
- [12] WICHER, P., STAS, D., KARKULA, M., LENORT, R., BESTA, P. A Computer Simulation-Based Analysis Of Supply Chains Resilience. Industrial Environment: Metalurgija, 2015, 54(4), 703-706.
- [13] ROSOVA, A. Methods and approaches to the evaluation of company performance. Poprad Economic And Management Forum, 2017, 31-36. ISBN 978-80-561-0519-1.
- [14] GLOVA, J., SABOL, T., VAJDA, V. Business Models for the Internet of Things Environment: Emerging Markets Queries. Finance And Business, Procedia Economics and Finance, 2014, 15, 1122-1129. doi: 10.1016/S2212-5671(14)00566-8.

# Návrh na úpravu pracoviště za účelem zvýšení produktivity

Filip Rybníkář<sup>1</sup>, Ilona Kačerová<sup>1</sup>, Pavel Vránek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika

[rybnikar@kpv.zcu.cz](mailto:rybnikar@kpv.zcu.cz)

[ikacerov@kpv.zcu.cz](mailto:ikacerov@kpv.zcu.cz)

[vranek@kpv.zcu.cz](mailto:vranek@kpv.zcu.cz)

**Anotace:** Článek se zabývá využitím racionalizačních metod pro návrh na zlepšení současného stavu pracoviště. Návrh nového pracoviště je zaměřen na zvýšení efektivity a produktivity pracoviště za dodržení ergonomických limitů a s ohledem na bezpečnost práce. Návrh spočívá v prvotním odhalení potenciálu pro zlepšení a následné implementaci opatření na pracoviště za docílení vyšší efektivity. Cílem studie bylo vypracovat návrh na úpravu pracoviště za účelem zvýšení jeho efektivity současně s dodržáním principů ergonomicky vhodné práce a principů bezpečné práce.

## 1 Úvod

V současné době je jednou ze základních priorit podniků zlepšovat výrobu s cílem dosažení co nejvyšší efektivity a produktivity. Již dlouhou dobu slouží k tomuto účelu nástroje a metodiky racionalizace práce a pracoviště. Správným využitím těchto přístupů a implementací metodik lze dosáhnout efektivního výrobního systému, případně dílčích výrobních jednotek.

Zvýšení produktivity lze dosáhnout také neustálým vyhledáváním, identifikací a odstraňováním plýtvání na pracovišti. Takové plýtvání souvisí především s dlouhými materiálovými toky, dlouhými přechodovými vzdálenostmi pracovníků, nesprávně navrženými dopravními a manipulačními cestami nebo nevhodným uspořádáním z hlediska bezpečnosti a ergonomie práce. Jedním z hlavních cílů podniků je snaha o eliminaci či alespoň redukci každého plýtvání, snižování nákladů na výrobu a docílení vyšší produktivity výroby. [1]

Jedním z možných řešení zvyšování efektivity pracoviště je tvorba vhodného prostorového uspořádání výrobní jednotky. Změnu prostorového uspořádání je nutno podpořit a ověřit dostatkem vstupních dat, návrhu věnovat dostatek času a zajistit správná vstupní data. Případné změny již zavedeného návrhu jsou častokrát složité a nákladné. Řešení prostorového uspořádání úzce souvisí s charakterem pracoviště, typem výroby, výrobkovou základnou apod. Těmto faktorům je nutné se důsledně věnovat již při samotném návrhu pracoviště. [2]

Vzhledem k rychlému progresu nejrůznějších podpůrných nástrojů v souvislosti s průmyslem 4.0 jsou návrhy prostorového řešení podpořeny

softwaru a programy umožňujícími nejen klasické 2D layouty, ale také 3D vizualizaci, modely pro nadstavbu pomocí zařízení podporujících virtuální realitu, či vizualizaci a zobrazení hmotných toků produktů nebo produktových řad. [3]

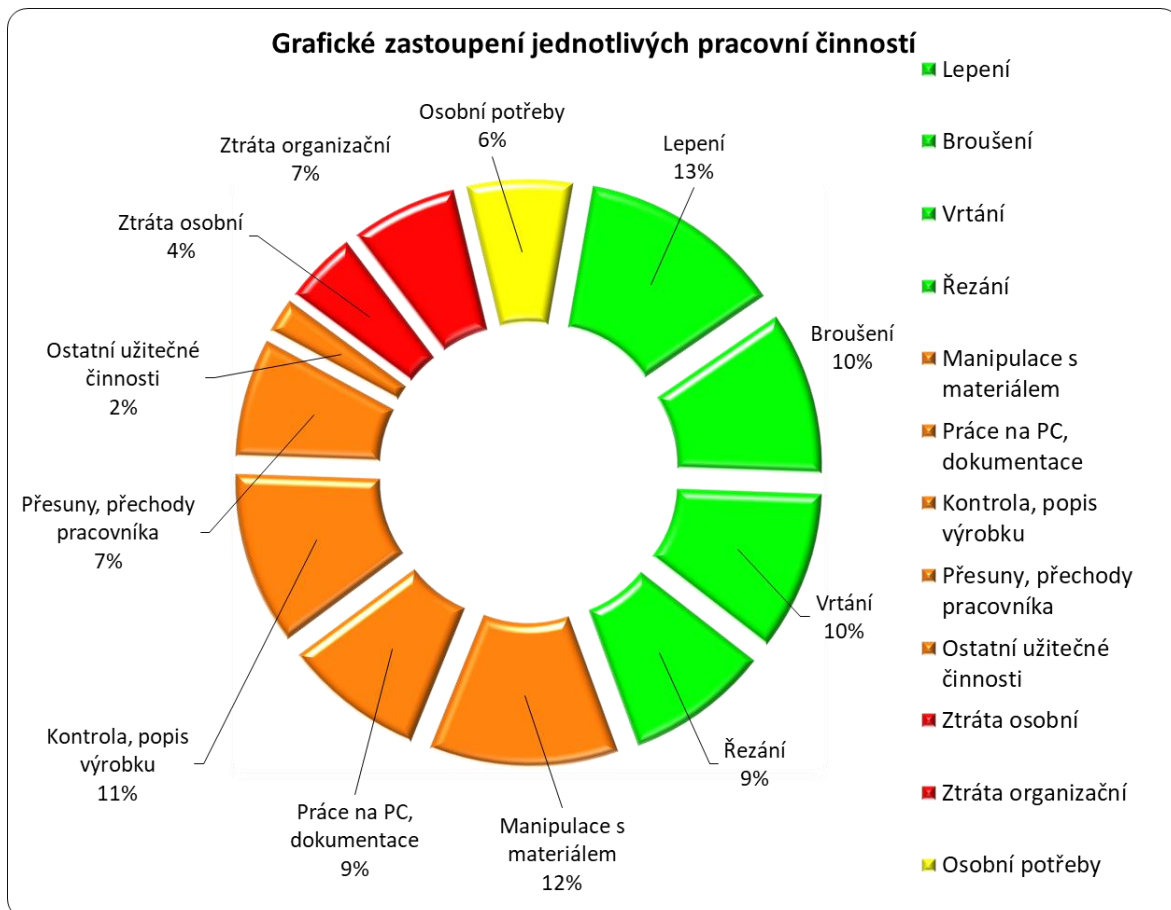
Veškeré návrhy na změny je nutné opřít o dostatek vstupních dat získaných pozorováním a analýzou současného stavu. Součástí analýzy je definice faktorů ovlivňujících produktivitu výroby, kterým je nutné se v dalších fázích věnovat. [1]

Článek je zaměřen na zlepšení výroby zvoleného pracoviště dle přístupů a metodik zlepšování a racionalizace výrobní jednotky. Hlavními činnostmi operátorů v této výrobě je manuální nanášení lepidla na díly pomocí lepící pistole, vyvrtávání a vyřezávání děr, lepení a broušení produktů do konečné podoby. Práce je vykonávána vstoje u pracovního stolu, s občasným přecházením pro potřebný materiál či pro vhodné pracovní nástroje. Model současného stavu pracoviště je na Obrázku 3 - 3D model současného stavu pracoviště.

## 2 Časová a prostorová analýza

Na pracovišti bylo pořízeno celkem 5 snímků pracovního dne, který byl měřen v rámci celých směn (8 hod). Tři snímky byly pořízeny na ranní směně v týdenním odstupu, dva snímky na odpolední směně v týdenním odstupu. Výroba probíhá ve dvousměnném provozu. Na základě pozorování pracoviště a pracovníků byly definovány hlavní činnosti a operace. Měřené činnosti pracovníka byly zaznamenány do připraveného dokumentu, který udává spotřebu času jednotlivých činností pracovníků. Dokument byl podroben analýze pro zjištění plýtvání, jeho příčin, potenciálu pro zlepšení a odhalení chyb, kterých se pracovníci dopouštějí včetně ztrát osobních i organizačních.

Snímek pracovního dne dělí jednotlivé činnosti do skupin činností produktivních, podmíněně nutných a ztrátových. Produktivní činnosti jsou přidávající hodnotu, tedy takové, za které zákazník platí, přetváří materiál a jsou provedeny správně na poprvé. Podmíněně nutné činnosti jsou činnosti nepřidávající hodnotu, ale zajišťující činnosti produktivní, které je nutné vhodnými úpravami eliminovat či redukovat. Ztrátové činnosti jsou činnosti, které je nutné kompletně odstranit a mohou být způsobeny pracovníkem či organizačními nedostatky. Na Obrázku 1 je znázorněn průměr z měřených snímků pracovního dne zobrazující podíl jednotlivých činností v klasické pracovní směně.

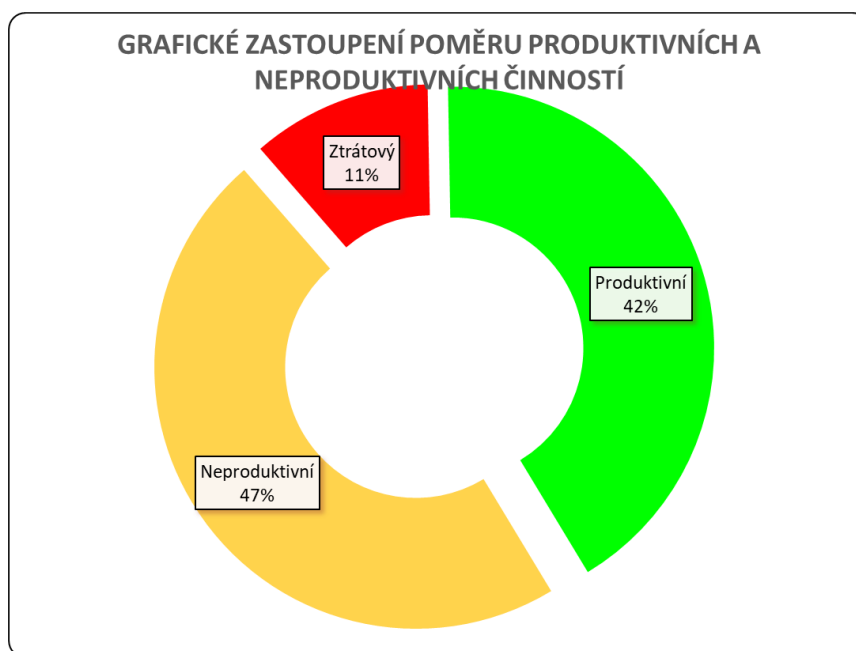


Obrázek 1 - Průměrné procentuální zastoupení činností v rámci pracovní směny

Z grafu je značné, že vysoké procento času bylo spotřebováno na produktivní činnosti spojené s lepením, broušením, vrtáním a řezáním výrobků. 6 % celkového času připadá na osobní potřeby, mezi něž jsou zahrnuty přestávky pracovníků a osobní potřeby (toaleta, občerstvení, svačina). Ztráty organizační, s podílem 7 %, zahrnují prostoje nezaviněné pracovníkem (například způsobené chybějícím materiálem). Osobní ztráty představují plýtvání způsobené pracovníkem, kdy pracovník nepracuje, přestože není přestávka (cigareta, osobní rozhovor). Mezi neproduktivní činnosti patří například přesuny a přechody pracovníka, kontrola hotového kusu, práce s dokumentací nebo manipulace.

Následující graf, viz Obrázek 2, znázorňuje produktivní činnosti zeleně, podmíněně nutné činnosti oranžově, ztrátové činnosti červeně a osobní potřeby pracovníka žlutě. Mezi produktivní činnosti zde byly zařazeny činnosti lepení, broušení, vrtání a řezání. Ztrátové činnosti jsou děleny na ztráty osobní způsobené pracovníkem a ztráty organizační zaviněné nedostatečnou organizací práce. Ostatní činnosti byly zařazeny mezi činnosti podmíněně nutné.





*Obrázek 2 - Průměrné procentuální zastoupení skupin činností v rámci směny*

Z grafu na Obrázku 2 je patrné, že více než polovina průměrné spotřeby času za pracovní směnu připadá na činnosti neproduktivní a činnosti ztrátové. V těchto činnostech je nutné dále hledat potenciál pro odstranění plýtvání, zlepšování a tedy zvyšování produktivity. Činnosti ztrátové by dle správného postupu, zodpovědnosti pracovníka a organizace práce měly být kompletně eliminovány. Otázkou jsou činnosti neproduktivní, jež není možné úplně ze spotřeby času směny vyloučit, jelikož slouží pro zajištění činností produktivních. Nicméně v těchto činnostech se častokrát nalézá skryté plýtvání, které představuje potenciál pro zvýšení efektivity, a zavedením vhodných nápravných opatření v podobě racionalizačních přístupů a metodik je možné dosáhnout určitého zlepšení. Následující kapitoly se budou věnovat právě tomuto skrytému plýtvání.

Na Obrázek 3 je znázorněn 3D model pracoviště vytvořený dle prostorové analýzy současného stavu pracoviště. Vzhledem k prostorovému řešení jsou zde vidět body k budoucímu řešení. Umístění stolů a vstupního/výstupního materiálu v současném rozmístění nevyhovuje dostatečné velikosti pracovního prostoru pro pracovníka. Vstupní a výstupní materiál není rozlišen a nachází se na paletě na zemi, přičemž manipulace kusů z palety na pracovní stůl a zpět je prováděna ručně pracovníkem. Skříně na nářadí také nevyhovují požadavkům pracoviště, nástroje jsou v nich nepřehledně uloženy a nedostačují svojí kapacitou.



Obrázek 3 - 3D model současného stavu pracoviště

### 3 Potenciál pro zlepšení pracoviště

Při analýze časových snímků došlo k odhalování nedostatků, a tedy i potenciálu postupného zlepšování výrobní jednotky. Zavedením vhodných opatření je možné tuto jednotku zlepšit a dosáhnout vyšší efektivity a produktivity pracoviště. V rámci analýz byly odhaleny tyto nedostatky způsobující vznik skrytého plýtvání:

- nepřehlednost v uspořádání nástrojů a nářadí,
- dlouhá trasa mezi jednotlivými pracovišti, které pracovník využívá,
- chybí označení vstupního/výstupního materiálu,
- nedostatek prostoru,
- nepořádek ve skříni s nástroji,
- nepořádek na pracovním stole,
- nevyznačená místa pro vozíky,
- vozíky vysoko/nízko,
- špatné ovladatelnost vozíků,
- pomíchané šablony na pracovním stole,
- odkládací prostor vysoko,
- nanášecí pistole a další nářadí na pracovním stole,
- neočištěné kusy,
- nízké/vysoké stoly,
- čtení dokumentace, hledání ve výkresech.

Jedním ze základních přístupů, který pomůže zlepšování této výrobní jednotky je princip metodiky 5S. Tato metodika, skládající se z několika

základních kroků (roztřídit, uspořádat, čistit, standardizovat, zlepšovat) napomáhá k udržování čistého, organizovaného a výkonného pracoviště lze použít na jakémkoliv pracovišti. Cílem metodiky je odstranění přebytečného materiálu, nástrojů, náradí, šablon a dalšího vybavení pracoviště, které není využíváno. Dalším principem metodiky je zavedení standardu pracoviště pro jeho udržitelnost v čistém a organizovaném stavu. Zároveň by každý předmět na pracovišti měl mít své místo a na tomto místě by měl být kdykoliv nalezen. [4]



*Obrázek 4 - Ukázka uspořádaného pracoviště zavedením metodiky 5S [5]*

Pro zamezení nevhodné manipulace materiálu z hlediska ergonomie a bezpečnosti práce by bylo vhodné pořídit na pracoviště ergonomické vozíky pro usnadnění manipulace. Zavedením je docíleno zjednodušení manipulace, tedy k úspoře času potřebného pro manipulaci a zároveň jsou zabezpečeny ergonomicky vhodné podmínky práce pro pracovníka. Zároveň je třeba zohlednit hodnocení pracovních poloh a lokální svalové zátěže dle NV 361/2007 Sb. [6]



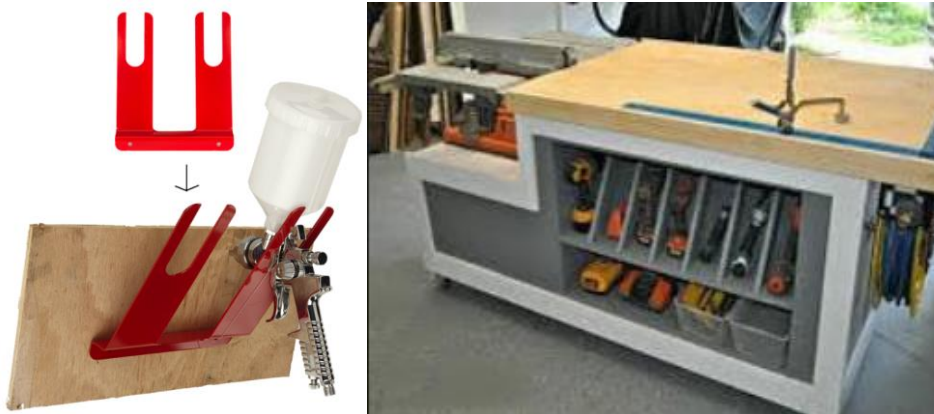
*Obrázek 5 - Ukázka nůžkového paletového vozíku [7]*

Obdobný problém z hlediska ergonomie skrývají pracovní stoly, které jsou pro některé pracovníky nižšího vzrůstu moc vysoko, a naopak pro pracovníky vyššího vzrůstu moc nízko. Proto je vhodné zavést na pracoviště ergonomicky vhodné výškově nastavitelné pracovní stoly.



Obrázek 6 - Ukázka výškově nastavitelného pracovního stolu [8]

Nepořádek v podobě neuspořádaného a nepřehledně uloženého nářadí a nástrojů, případně nepořádek ve skříni s nástroji a na pracovním stole, je také nutné řešit vzhledem ke zvýšení efektivity pracoviště. Tento nedostatek lze řešit pomocí vhodných úložných prostor s definovanými prostory pro nástroje a nářadí. Pro zamezení problému s nepřehledným uložením šablon je nutné vytvořit vhodné prostory například pomocí regálu pro tyto šablony. Některé nástroje volně leží na pracovním stole pracovníka, přestože s nimi v daný moment nepracuje. Jednoduchým zavedením držáků pod pracovní desku stolu je možné tomuto problému zabránit.



Obrázek 7 - Ukázka možných úložných prostor pro pracovní nástroje a nářadí [9]

Pro uložení materiálu do úložných prostor je možné využít řešení pomocí karuselových skříní, které jsou schopné pojmout velké množství uloženého vybavení pracoviště s definovaným místem pro každé z nich.



Obrázek 8 - Ukázka karuselové skříně pro uložení vybavení [10]

Velkým nedostatkem v náplni práce pracovníka je dlouhé čtení výkresové dokumentace, kdy pracovník zjišťuje, jakým způsobem provést výrobu příslušného výrobku. Tímto hledáním v dokumentaci pracovník tráví dle snímku pracovního dne přibližně 10 % času z pracovní směny. Zavedením vhodné náhrady papírové a výkresové dokumentace je možnost docílit nižšího procenta spotřeby času na tuto činnost. Možnou alternativou je čtení výkresové dokumentace či návodu na výrobu z monitoru umístěného na pracovišti. Dokumentace je načtena pomocí skeneru a příslušného kódu a online promítnuta do PC. Takto má pracovník vše v zorném poli, dokumentace je větší a lépe čitelná. Další alternativou je využití dotykové obrazovky.

#### 4 Návrh a model pracoviště

Návrh nového prostorového uspořádání výrobní jednotky byl vytvořen s ohledem na ergonomii a bezpečnost práce. Zároveň byly aplikovány návrhy opatření, které redukuje skryté plýtvání způsobené nedostatky vyzorované během snímkování a následných analýzách.

Na Obrázek 9 je znázorněn nový návrh prostorového uspořádání pracoviště. Návrh se opírá o vyzorované nedostatky a potenciál pro zlepšení efektivity a produktivity výrobní jednotky. Vzhledem k prostorovému uspořádání byl vytvořen větší pracovní prostor okolo pracovních stolů přiražením stolů k sobě, čímž byl zároveň prodloužen pracovní prostor. Stoly jsou natočené o 90° z důvodu lepšího přístupu vstupního a výstupního materiálu. Pracovní stoly byly značně inovovány, obsahují kuličky, které pomáhají pracovníkovi s manipulací větší a těžších kusů. Stoly jsou výškově nastavitelné a jsou položeny na zajištěných kolečkách pro případný přesun. Držáky na nástroje a nářadí potřebného na tomto pracovišti (nanášecí pistole, vrtačky, řezačky, brusky) jsou vzhledem k respektování ergonomických pravidel (nezvedání

ramene nad 60° apod.) umístěny pod pracovní deskou stolu, pracovník se k tomuto nářadí nemusí ohýbat, vše je umístěno v komfortní dosahové zóně. Na pracoviště byla umístěna rohová karuselová skříň, kde je možné uchovávat veškeré nástroje, šablony, vrtáky apod. Vedle karuselové skříně se nachází i skříňka na uložení osobních věcí – jídlo, pití atd. Pracovník má na pracovišti k dispozici PC s monitorem zobrazující výkresovou dokumentaci výrobku, opatřený čtečkou pro načtení dokumentace a promítání výkresů. Pro usnadnění manipulace materiálu je pracoviště opatřeno nůžkovými paletovými vozíky.



*Obrázek 9 - Návrh nového prostorového uspořádání pracoviště*

Pro udržení organizovaného pracoviště je vhodné využít implementace metodiky 5S po reorganizaci pracoviště a uvedení do provozu.

## **5 Závěr**

Racionalizace pracoviště patří mezi důležité metody průmyslového inženýrství. Přístupů k řešení racionalizace pracoviště je mnoho, přičemž přínosy z provedení jsou vždy pro společnost značnou výhodou. Jednou z možností racionalizace pracoviště je pochopení fungování a mapování činností pracoviště, provedení časových a prostorových analýz, následně stanovení nedostatků a potenciálů pro zlepšení a v závěru tyto změny provést a následně dlouhodoběji udržovat. Takový přístup byl využit v rámci této studie, kdy došlo k vytvoření návrhu nového prostorového uspořádání pracoviště reflektujícího navrhované změny s ohledem na eliminaci plýtvání. Návrh byl vytvořen se zřetelem na ergonomii pracoviště a bezpečnost práce.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] KOŠTURIÁK, J. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. Žilina: EDIS, 2000. ISBN 80-7100-553-3.
- [2] BUREŠ, M. *Tvorba a optimalizace pracoviště*. 1. vyd. Plzeň: SmartMotion s.r.o., 2013. ISBN 978-80-87539-32-3.
- [3] VRÁNEK, P., ŠIMON, M. *Návrh a optimalizace prostorového uspořádání výrobního úseku*. *Průmyslové inženýrství*, 2018. s. 126-133.
- [4] ŠIMON, M. *Průmyslové inženýrství*. e-book, ZČU-KPV Plzeň, 2015.
- [5] Útana. In: [uttana.com](https://uttana.com) [online]. [cit. 8.8.2020]. Dostupné z: <https://uttana.com/shop/5ss-of-the-5s-methodology/>
- [6] KAČEROVÁ, I., BUREŠ, M. *Ergonomická optimalizace pracoviště*. *Průmyslové inženýrství*, 2018. s. 30-38.
- [7] Profi Shop. In: [jungheinrich-profishop.cz](http://jungheinrich-profishop.cz) [online]. [cit. 8.8.2020]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich-profishop.cz/nuzkove-paletove-voziky/>
- [8] Profi Regály. In: [profiregaly.cz](http://profiregaly.cz) [online]. [cit. 8.8.2020]. Dostupné z: <https://www.profiregaly.cz/nerezove-stojany-stacionarni/7968-nerezovy-stojan-stacionarni-d1200-mm-8595664930173.html>
- [9] Aj Produkty. In: [ajprodukty.cz](http://ajprodukty.cz) [online]. [cit. 8.8.2020]. Dostupné z: [www.ajprodukty.cz/sklady-dilny-a-prumysl/dilensky-nabytek-a-vybaveni/pracovni-stoly/](http://www.ajprodukty.cz/sklady-dilny-a-prumysl/dilensky-nabytek-a-vybaveni/pracovni-stoly/)
- [10] Hofmeister Carousel. In: <http://www.carousel.cz/> [online]. [cit. 8.8.8.2020]. Dostupné z: <http://www.carousel.cz/pdf/CAROUSEL.pdf>

# Balancing of assembly operations and detailed design of workplace in software environment.

Radovan Svitek <sup>1</sup>, Martin Krajčovič <sup>1</sup>, Milan Martinkovič <sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Industrial Engineering

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia

[radovan.svitek@fstroj.uniza.sk](mailto:radovan.svitek@fstroj.uniza.sk)

[martin.krajcovic@fstroj.uniza.sk](mailto:martin.krajcovic@fstroj.uniza.sk)

[milan.martinkovic@fstroj.uniza.sk](mailto:milan.martinkovic@fstroj.uniza.sk)

**Abstract:** The plants are primarily focused on increasing the efficiency of internal processes. The management of production plants therefore needs to know a realistic picture of their current state, risks and opportunities, so that the plant's presence on the market is not jeopardized and they are able to effectively manage internal and external processes. All this will be possible only through the implementation of new technologies and the transformation of existing factories through digitization. This combination must be based on the scheduling currently provided by interactive software scheduling systems. The article deals with the area of using a software solution for interactive evaluation and capacity sizing of production workers.

## 1 Introduction

In current industrial practice, innovative solutions are proposed to improve production and assembly processes or entire production or logistics systems [1]. In order to implement new technologies, companies must be able to combine the use of the latest and most available technologies. The smart solution in the field of production design and evaluation, which corresponds to current industry trends and the Industry 4.0 concept, is the software known as Ceit Table.

Recently, great emphasis has been placed on the development of functions in the field of capacity planning of production workers. Based on these functions, the user is allowed to create a parametric model of production with a link to individual work tasks. When changing the production volume, production technology, measuring or setting procedures, the workloads of individual work positions are recalculated.

## 2 Defining current problems of production manufactory

Management in the capacity sizing of production workers lacks data, information, methods and tools for clear evaluation. The problem is that planning is based on principles that have been in use for more than a hundred



years. In companies, the vast majority of data in electronic form (about 60%) is a problem, however, that the data do not form structural units that could be used for capacity dimensioning and evaluation of production workload.

Some data (approximately 40%) are collected and evaluated at one-day intervals and stored in paper form, operatively used to identify production problems stored in company archives. Their use is very laborious and time consuming.

At present, companies also lack a unified software solution for detailed capacity sizing of employees, which would be based on data from production processes, linked to specific activities of the production process (absence of digital data model of production). The combination of long-defined principles of capacity planning with digitization brings a completely new quality of data necessary for decision-making [2].

The paper deals with own research in the field of using a software tool for capacity sizing of production workers (creation of a parametric data model of production) and evaluation of production disposition. The research is carried out in a company engaged in the production of automotive components. Among the current problems related to the capacity dimensioning of production workers after the analysis of the current state in the company, we include:

- Inaccurate planning due to inaccurate or incomplete data.
- Missing or inconsistent software and evaluation rules, shortcomings in the information flow.
- Human mistakes resulting from an insufficient system of work, missing rules, motivation.
- Oversized, undersized capacities (workers, handling equipment, areas).
- Problematic data acquisition, insufficient validity and outdated data.
- Undefined valid regulations or only partially, missing regulations, insufficient overview of the flow of information.

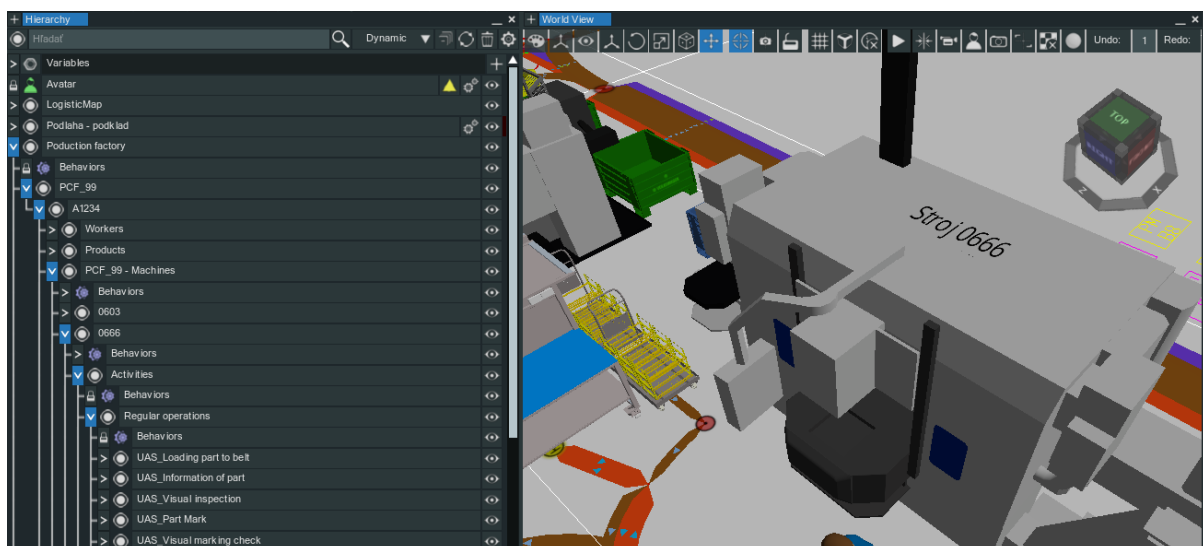
### **3 How to solve the problem**

Best methodological procedures, which were at a high level, were supplemented by new technologies (algorithms) for processing data structures for the needs of capacitive dimensioning. Evaluation and planning of production capacities actually consists in collecting information, processing them, creating analyzes, finding the best design and its verification. It is a classic methodological procedure, but new technological possibilities give it a completely different dimension and added value [3, 4]. A digital data copy of a real system is analyzed with the help of a software tool easier (from the point

of view of labor, the possibility to make a change, etc.) than this analysis would have been done in the past.

Ceit Table software was used for the solution, which was the subject of research in the previous activity. Capacitive dimensioning in the software consists at the very beginning in the processing of input data. The basic input data needed for the analysis of the capacity utilization of workers can be divided into the following categories, data directly related to the machinery:

- Regular activities (activities related to the volume of production).
  - Loading / unloading on a belt, directly into the machine with workpiece clamping, on a pallet.
  - Visual inspection of part machining.
- Semi regular activities (semi - regular activities).
  - After a certain number of pieces, check the sample (hardening process, etc.).
- Irregular activities (activities that do not change with the volume of production).
  - Service activities at the workplace, cleaning, morning consultation with the manager.
- SMED activity (proportion of sorting time per change).
- Autonomous maintenance activities (share of maintenance time per change).

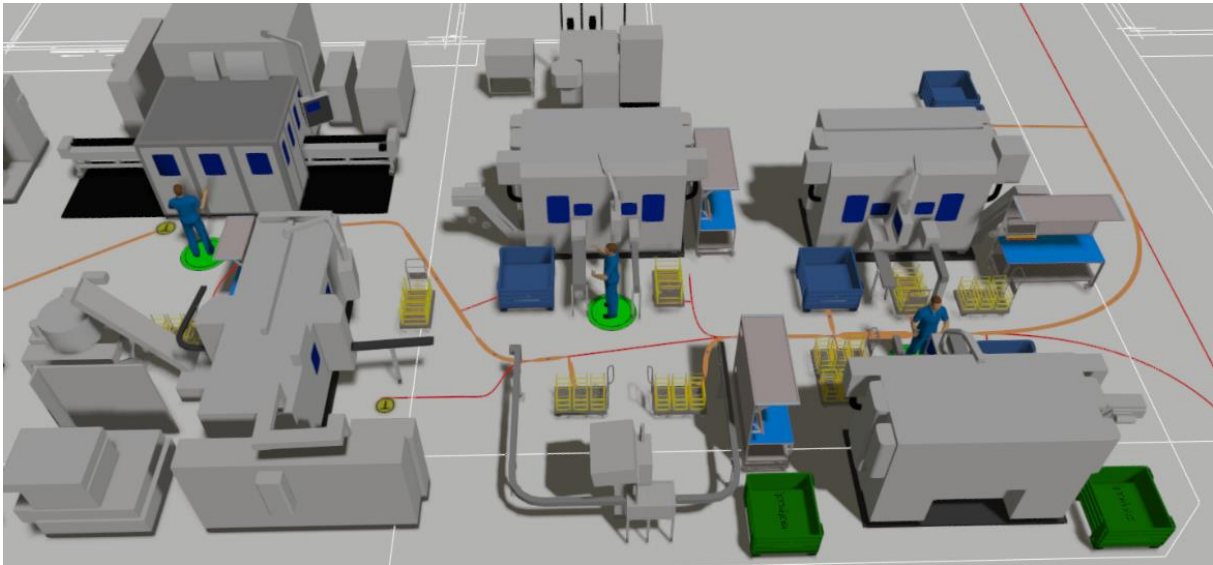


*Figure 1 - Hierarchy of assembled digital model of production disposition*

The creation of a data model of the production system takes place on the basis of the current state, automatic import of data or their manual insertion. After entering and hierarchical assignment of all data (Figure 1), the calculation takes place in the background and its constant updating. Mathematical algorithms connect the structures of individual input data and

generate output data using established rules, from which output analyzes of capacity utilization of production workers are created.

From the collected data, a digital data model is created in the software environment, which is supplemented by a 3D (Figure 2) representation of the production space for a better perception of the interconnections of some data and data structures.



*Figure 2 - Virtual representation of production space in a software environment*

Based on the creation of a digital representation of individual work tasks (with a defined time intensity), it is possible to assign them in the software to job positions on the basis of a technological process, or the knowledge of production managers. It is then possible to quantify the amount of capacity required for multi-machine operation or to evaluate the uneven capacity utilization of production personnel.

After changing any input parameter of the digital data model of production, the created links are recalculated in the software and the user has an up-to-date overview of the impact of the entered changes. The basic parameter that influences the change in the workload of production workers is the production quantity of individual products just determined (Figure 3).

Production Planner				
0AM 409 354 C		Technological process A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consumed Quantity 830 .0000 [pcs]		Technological process B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Technological process C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0AM 409 345 C - Assembly unit		Technological process A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consumed Quantity 850 .0000 [pcs]		Technological process B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Technological process C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
02Z 409 354 E		Technological process A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consumed Quantity 830 .0000 [pcs]		Technological process B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
02Z 409 345 D - Assembly unit		Technological process A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consumed Quantity 100 .0000 [pcs]		Technological process B	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 3 - Overview of produced quantities of individual product groups

#### 4 Evaluation of the results of practical application

At the production stage, the production workers have the task of machining the supplied raw material in the form of a forging into the form of a finished customer component, which will serve as an input to the assembly of the engine or gearbox.

Manufacturing operations are divided into individual points according to the nature of machining, starting with hard turning and ending with thermochemical surface treatment of the machined component.

Workers have prescribed tasks that ensure the smooth running of production. These are measuring operations according to established test procedures. Tool change, subject to adjustment, based on a delta of machining tools. Operations related to the regular inspection of machine parts or operating fluids in the form of prescribed work procedures.

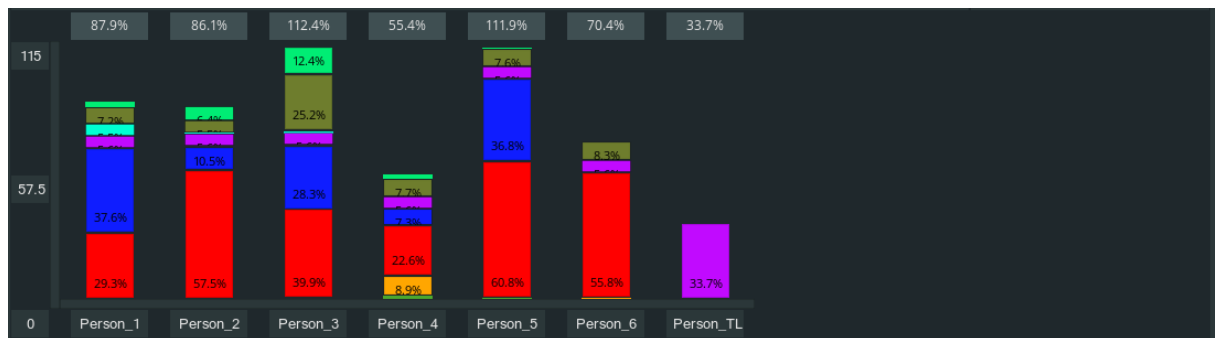
With the help of the tool, we created several variants of the layout of prescribed production operations for individual job positions / workers.

After making any change, the system interactively evaluated the impact and recalculated the resulting parameters of the required capacity of the personnel of the proposed production system. The production system has changed:

- Distribution of operations evenly on individual employees according to the analyzed time consumption of the given operations using the MTM UAS methodology.
- Number of individual workers at individual production workplaces.
- Installation of workplaces (figure 2), placement of material entering the assembly in range zones up to 3 [m] (prevention of losses caused by walking).

- Replacement of machinery, more modern design, automated some operations, automatic detection of material defects after processing.
- Inter-operational manipulation at individual workplaces, use of drop conveyors, storage conveyors, etc.

The results of the analyses confirmed the above-mentioned problems with the capacity dimensioning of production workers (by creating a parametric data model of production) and the evaluation of production disposition.



*Figure 4 - Capacity utilization of employees by prescribed activities in valid documentation*

There is a discrepancy between the software evaluation (Figure 4) and the opinion (expert judgment based on experience) of the production capacity planning officer. After the presentation of all input data, the opinion is concluded that there are still activities that are not prescribed by the valid documentation, or are not clearly quantified in terms of frequency / duration.

Table 1 shows an example, the analysis of the capacity utilization of the workers of the production stage by the activities defined by the valid documentation. Subsequently, an increase in capacity utilization by activities that do not have a valid agreed regulation (valid documentation), but from the point of view of the process are necessary to maintain the quality set by the customer (absent in the calculation, it is generating a loss of 28.9% of production staff capacity).

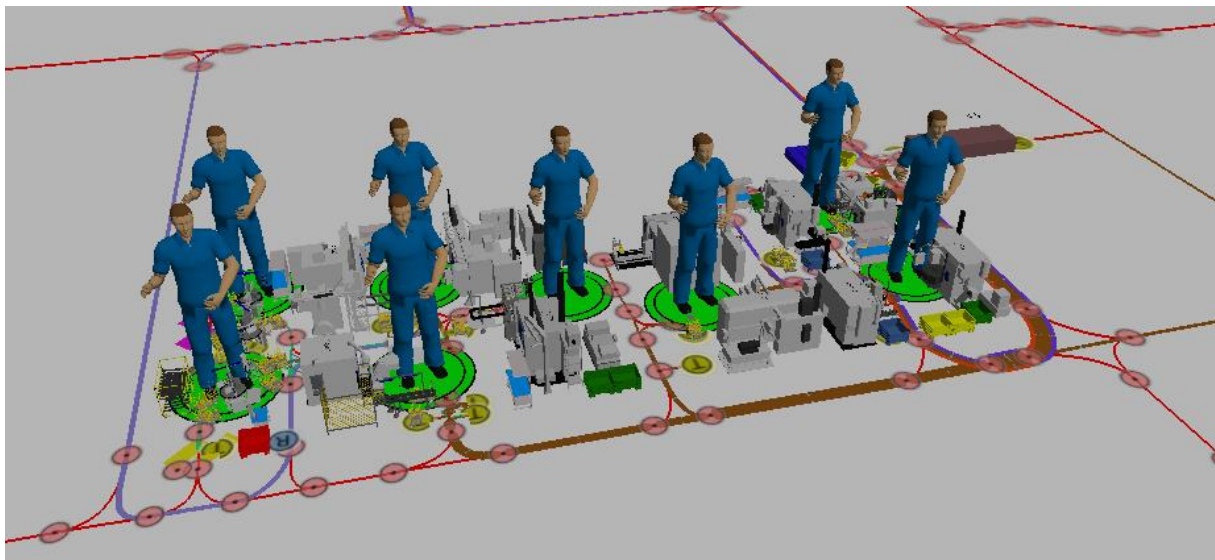
*Table 1 Analysis of capacity utilization of production workers according to valid documentation*

Rankings:	According to the documentation [%]:	At the discretion of TL [%]:	Difference [%]:
Person 1	87,9	90,0	2,1
Person 2	86,1	86,1	0
Person 3	112,4	112,4	0
Person 4	55,4	82,2	26,8
Person 5	111,9	111,9	0
Person 6	70,4	70,4	0

Person TL	33,7	33,7	0
		Sum:	28,9

Distribution of individual production operations based on the analysis of their time consumption allowed us to more optimally distribute the tasks of job positions (Figure 5) and thus more evenly utilize individual production workers.

Together with the elimination of waste in the form of: walking between machines, unstable machinery, or incorrect redistribution of mandatory tasks, the proposed changes found that the need for production workers at a particular stage is two less than the number actually allocated for production (personnel records). This represents a significant saving (22% reduction) in terms of staffing needs.



*Figure 5 - Illustrative filling of individual job positions in production*

Based on the mentioned changes and research in this area, it is possible to design production workplaces and capacity utilization of workers more optimally. With the help of a software solution, it is possible to reveal a significant potential for the redesign of existing production systems.

## 5 Conclusion

New functionalities of software solutions are now necessary in creating and evaluating the design of complex production structures. Software solutions that encourage mutual communication and interaction of individual system objects offer an effective tool for creating a design, which can then be changed without demanding changes to each element of the system. Thus, a supportive design tool with interconnected and communicating elements can provide information and feedback in the process of creating change for further decision-making of industry organizations. It helps to reveal a discrepancy

between the design and reality, quantifies the difference, helps to reduce unnecessary losses of the production company.

### **Acknowledgments**

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-16-0488.

### **References**

- [1] GREGOR, M., HODOŇ, R., BIŇASOVÁ, V., DULINA, Ľ., GAŠO, M. Design of simulation-emulation logistics system. In: *MM Science Journal*, 2018, 3, 2498-2502. ISSN 1803-1269.
- [2] MIEBACH, J., MÜLLER, P., 2006. *Intralogistik – Potentiale, Perspektiven, Prognosen*. Springer: Berlin, Germany, 2006. ISBN 978-3-540-29657-7.
- [3] MIČIETA, B., GAŠO, M., KRAJČOVIČ, M. Innovation performance of organization. In: *Communications – Scientific letters of the University of Žilina*, 2014, 16(3A), 112-118. ISSN 1335-4205.
- [4] FURMANN, R., FURMANNOVÁ, B. Logistics and Digital Twin. In: *InvEnt 2017: Industrial Engineering – Invention for Enterprise*, 2017, 40-44. ISBN 978-83-947909-0-5.
- [5] Ceit Table. *Ceit Table ver. 3.2.1. – technická dokumentácia (Užívateľský manuál)*. Spoločnosť Ceit a.s., 2019, p. 129.

# Visualization model design of concept TestBed in Sketch up software

Peter Trebuňa <sup>1</sup>, Marek Mizerák <sup>1</sup>, Jozef Trojan <sup>1</sup>, Ján Kopec <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Management, Industrial and Digital Engineering  
Park Komenskeho 9, Košice, Slovakia

[peter.trebuna@tuke.sk](mailto:peter.trebuna@tuke.sk)

[marek.mizerak@tuke.sk](mailto:marek.mizerak@tuke.sk)

[jozef.trojan@tuke.sk](mailto:jozef.trojan@tuke.sk)

[jan.kopec@tuke.sk](mailto:jan.kopec@tuke.sk)

**Abstract:** This paper deals with the possibility of creating a visualization model or digital twin of a given object in the SketchUp program, which is known for a wide range of modeling applications. This program was chosen because it is the perfect tool for visualizing concepts and is very user-friendly. The application also gives us the freedom to make changes easily, as quickly as possible and much more. The paper also describes the individual elements found in the visualization model and their purpose.

## 1 Introduction

Nowadays, I come across the term visualization more and more often. In modern engineering, this concept is inextricably linked to Industry 4.0. Modern manufacturing companies are placing increasing emphasis on creating models of digital companies and the consequent increase in production efficiency, not only from an economic point of view.

It is a digital representation of a physical object or system. The technology behind the digital twin has become so widespread that it includes large items such as buildings, factories, cities, and even people or processes can have digital twins, further expanding the concept. It considers inputs from real-world data about a physical object or system and produces them as predictions of outputs or simulations of how a physical object or system will be affected by those inputs. [1]

Technology allows us to explore and develop new services to meet the changing needs of users and adapt the way they work, live and use technology. [2]

Three-dimensional modeling software and animation programs can be used in different ways for different purposes. They allow you to design your own objects located in space using basic geometric shapes such as spheres, cylinders, cones. All these departments then form the whole scene of projects. Almost every program has a number of tools needed to define their own objects, from two-dimensional images to their conversion into three-



dimensional form. There is also the ability to model and manipulate basic objects using special tools.

The main topic of this article is the creation of a 3D model of the TestBed concept in SketchUp software.

## 2 SketchUp software

Sketchup, formerly known as Google Sketchup, is an easy-to-use 3D modeling software that provides an extensive database of user-created models. It can be used to sketch or import models to help with all kinds of projects such as furniture construction, video game creation, 3D printing, interior design and more.

SketchUp is an intuitive 3D modeling application that allows you to create and edit 2D and 3D models using the patented "Push and Pull" method. The Push and Pull tool allows designers to print any flat surface into three-dimensional shapes. All you have to do is click on the object and then start dragging it until the user likes what he sees.

SketchUp is a program used for a wide variety of 3D modeling projects, such as architectural design, interior design, landscape architecture, and video game design. The program includes the functionality of the drawing layout, surface rendering and supports third-party add-ons from the Extension Warehouse, the so-called component libraries. SketchUp is also used to create, share, or download 3D models for use with 3D printers. [2]

### 2.1 Modeling in SketchUp

At first we will choose a template in meters. Immediately after selection, the SketchUp workspace will open. The area consists of four main parts, three coordinate axes and a figure. In the upper left corner there is a menu, model name and a button with the option to save the file either on Google Drive or directly to your computer (Figure 1).

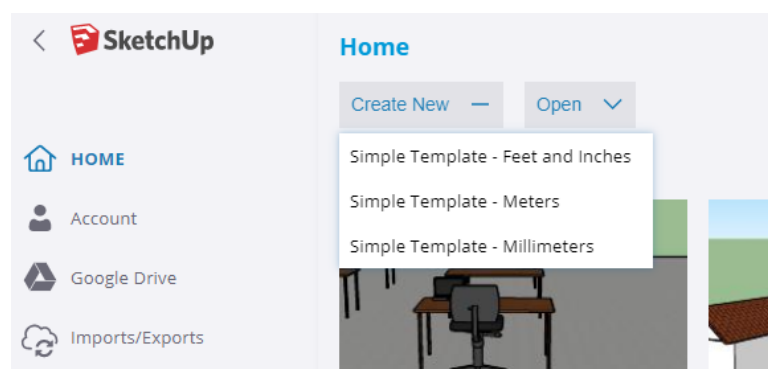


Figure 1 - SketchUp splash screen

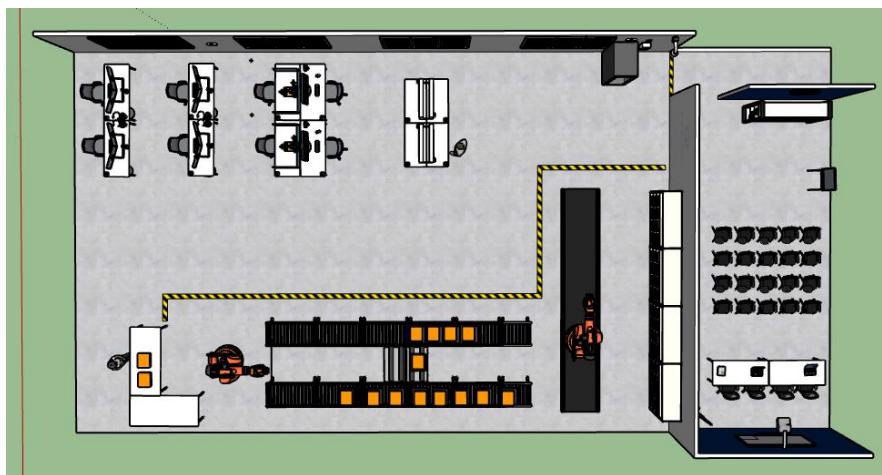
On the left side of the desktop is a panel with basic tools. In the lower right corner are the dimensions of the so-called "Measurements", which show us the current dimension of the object. Beginners will welcome the instructor,

located on the right side of the screen, who helps how to operate the individual tools and also offers valuable keyboard shortcuts (Table 1).

*Table 1 - Basic keyboard shortcuts*

Function	Shortcut key
Select	Spacer
Eraser	E
Line	L
Arc	A
Rectangle	R
Circle	C
Push/Pull	P
Offset	F
Move	M
Rotate	Q
Scale	S
Tape Measure Tool	T
Paint Bucket	B
Orbit	O
Pan	H
Zoom Extents	Shift + Z

We started modelling with an area of 320 m<sup>2</sup>. On the given area there is a test workplace with an area of 250 m<sup>2</sup>, an educational room with an area of 60 m<sup>2</sup> and an access corridor with an area of 10 m<sup>2</sup>.



*Figure 2 - Testbed Workplace*

### **2.1.1 Education room**

The educational room provides spaces for interpretation connected with the presentation of the principles and possibilities of Industry 4.0. It is suitable for

trainings, seminars, workshops, where it is used for lectures or practical exercises not only for students, but also for top management. There is a projector with a board for the presentation and interpretation of the topic, two boards for a deeper explanation of the topic or various drawings. At the back there is a smaller library, which serves to better understand the topic or gain new knowledge, which visitors can use at any time.

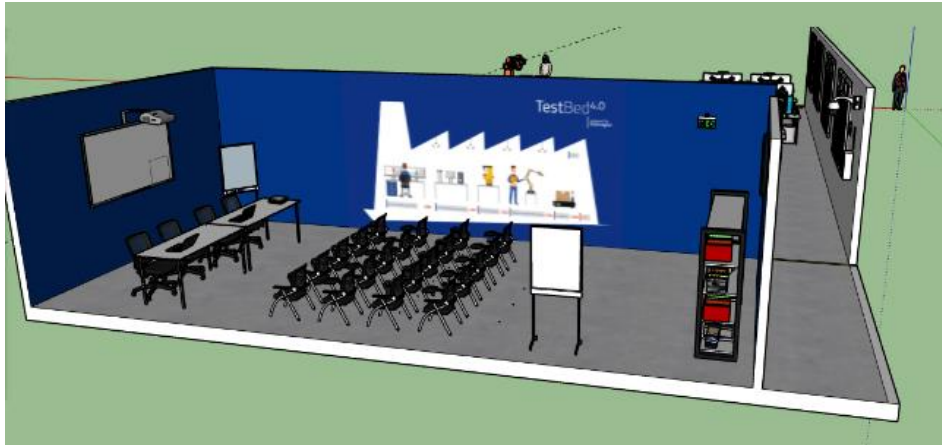


Figure 3 - SketchUp splash screen

### 2.1.2 Test workplace – TestBed

The main room is a test room, which consists of two parts. In the first part there are tables with individual workplaces, where each workplace solves a different function (Figure 4). Each table is marked with a number, which is then assigned to the activity it performs. Individual workplaces are equipped according to the activity they carry out. All elements of the TestBed, ie. computer stations and robots are networked and interconnected.

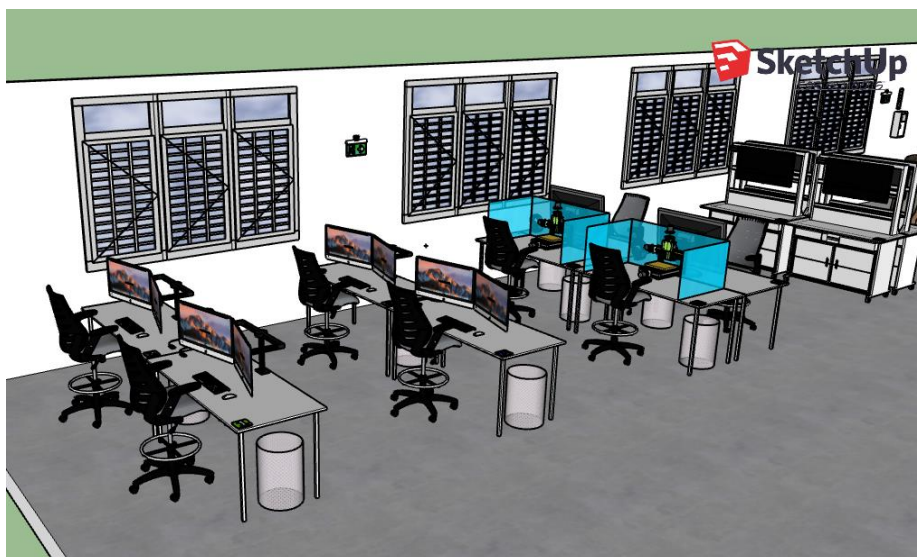


Figure 4 - TestBed with individual workplaces

There are seven workplaces in the area. Workplace number one is in charge of product data collection, where it solves complex and partial integration of business processes, collection, exchange, processing and evaluation of data

for industrial companies. Workplace number two deals with the development and debugging of automated devices. The pre-production phases are carried out at workplace number three. Workplace number four deals with production, logistics, managerial outputs. Workplace number five has two tables containing CAM machines. On one of them there is a CAM machine designed especially for turning, on the other table there is a CAM machine designed for milling. After entering the input data, resp. parameters of the machine, they can verify the conditions to which the machine tool would be subject in real production. In this way, the efficiency of equipment in manufacturing plants can be tested at this workplace. Workplace number six is in charge of managing the flow of material, equipment and people, safety using RTLS. The RTLS system has the role of the so-called "Trekking", which means monitoring the flow of material, workers and equipment of a production facility, in this case the TestBed workplace. The last workplace is the workplace with the number seven, which consists of four cells designed to apply the concept of the digital twin. Processes such as design, verification and optimization of new processes, workplaces, lines and operations for production and logistics take place there. Design, verification and optimization of production logistics flows of material, routes, use of technology, manpower, packaging quantities. There is also the creation of the concept, cooperation in the development, construction and debugging of production lines and automated equipment for operation in a virtual environment. There is also a verification and optimization of solutions designed by a third party, assembly processes, or production tract.



*Figure 5 - Working stations*

### **3 Conclusion**

Digitization has become an integral part of today's world and we are direct witnesses of the industrial engineering sector taking on a new shape. Thanks

to digitization, a new range of products and services has been created that make work easier for industrial companies.

The main goal of this paper was to create a visualization of the TestBed concept in a computer program for 3D modeling SketchUp, where we briefly introduced the environment. Today's market offers a rich amount of individual software that are designed to create similar visualization models, but one of the reasons why we chose this software is its simple, intuitive operation and the fact that it is not necessary to pay for a license for education.

It is important to mention that the concept of visualization inextricably includes a connection with virtual and mixed reality, which today is experiencing a boom not only in industry but in various areas of life from medicine to the gaming industry. There is a great assumption that this trend will not decline.

### **Acknowledgement**

This article was created by implementation of the grant projects VEGA 1/0438/20 Interaction of digital technologies to support software and hardware communication of the advanced production system platform, KEGA 001TUKE-4/2020 Modernizing Industrial Engineering education to Develop Existing Training Program Skills in a Specialized Laboratory, APVV-17-0258 Digital engineering elements application in innovation and optimization of production flows, APVV-19-0418 Intelligent solutions to enhance business innovation capability in the process of transforming them into smart businesses

### **References**

- [1] ROSKES, B., DEWITT. B. *The SketchUp book: for Version 5*. 3<sup>rd</sup> edition, 2005, West Caldwell, NJ: Conceptual Product Development.
- [2] SketchUp blog [online]. Accessible from: <https://blog.sketchup.com/products>
- [3] EDULEARN [online]. Accessible from: [https://www.edulearn.com/article/what\\_is\\_revit\\_architecture.html](https://www.edulearn.com/article/what_is_revit_architecture.html)
- [4] GRZNAR, P., GREGOR, M., MOZOL, S., KRAJCOVIC, M., DULINA, L., GASO, M., MAJOR, M. A System to Determine the Optimal Work-in-Progress Inventory Stored in Interoperation Manufacturing Buffers. *Sustainability*, 2019, 11(14), 1-36. doi: 10.3390/su11143949.
- [5] VINESH, R., KIRAN, F. *Reverse Engineering – An Industrial Perspective*. London: Springer Science, 2008, ISBN 978-1-84628-855-5.
- [6] EDL, M., LERHER, T., ROSI, B. Energy efficiency model for the mini-load automated storage and retrieval systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, 1-19. ISSN: 0268-3768.
- [7] STRAKA, M., LENORT, R., KHOURI, S., FELIKS, J. Design of large-scale logistics systems using computer simulation hierarchic structure. *International Journal of Simulation Modelling*, 2018, 17(1), 105-118.

# Process Simulate ako nástroj pre optimalizácia vybraného pracoviska v podniku

Jozef Trojan <sup>1</sup>, Peter Trebuňa <sup>1</sup>, Marek Mizerák <sup>1</sup>, Richard Duda <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technická univerzita v Košiciach  
Park Komenského 9, 042 00 Košice, Slovensko

[jozef.trojan@tuke.sk](mailto:jozef.trojan@tuke.sk)

[peter.trebuna@tuke.sk](mailto:peter.trebuna@tuke.sk)

[marek.mizerak@tuke.sk](mailto:marek.mizerak@tuke.sk)

[richard.duda@tuke.sk](mailto:richard.duda@tuke.sk)

**Anotace:** Digitálna budúcnosť priemyslu je jedna z najnaliehavejších tém vo svete, aj na Slovensku. Preto sme sa rozhodli s pomocou nástroja Tecnomatix Process Simulate modelovať, analyzovať a verifikovať procesy na úrovni výrobných tovární až na úroveň výrobných liniek a pracovných staníc. Pomocou tohto simulačného softvéru a získaných poznatkov o najnovších technológiách, vytvoríme simulačný model produkčného pracoviska, v ktorom zakomponujeme inteligentné prvky konceptu „Priemysel 4.0“. Následne si ukážeme ako tieto prvky dokážu optimalizovať výrobu.

## 1 Úvod

My žijeme v úžasnom čase - v ére, keď sa radikálne zmeny v technológiách odohrávajú pred našimi očami a to, čo sa včera zdalo fantastické, je dnes už skutočným projektom, na ktorom pracujú inovatívne spoločnosti a zajtra sa stáva prirodzeným spoločným javom, bez ktorého si už nevieme predstaviť náš život.

Štvrtá priemyselná revolúcia bude mať zásadný vplyv na celkovú štruktúru svetového hospodárstva, a ak chceme byť medzi jej vedúcimi predstaviteľmi, musíme pochopiť smer, ktorým sa bude technologický vývoj v nasledujúcich rokoch odohrávať a ktoré prelomové inovácie nás čakajú v budúcnosti.

Digitalizácia otvára výrobným továrňam nové príležitosti pre zrýchlenie a zefektívnenie výroby. Úlohou človeka je zabezpečiť zodpovednú „inteligentnú“ infraštruktúru na novodobé požiadavky. Preto je dôležité porozumieť vplyvu digitalizácie na podnikanie firiem či na ekonomiku, vplyvu inteligentných technológií na okolité prostredie a jednotlivé procesy. Digitalizácia zásadne ovplyvní ako budeme v budúcnosti vyrábať produkty a ako budú vyzeráť energetické siete, ale prinesie aj zásadné ekonomické a sociálne zmeny.

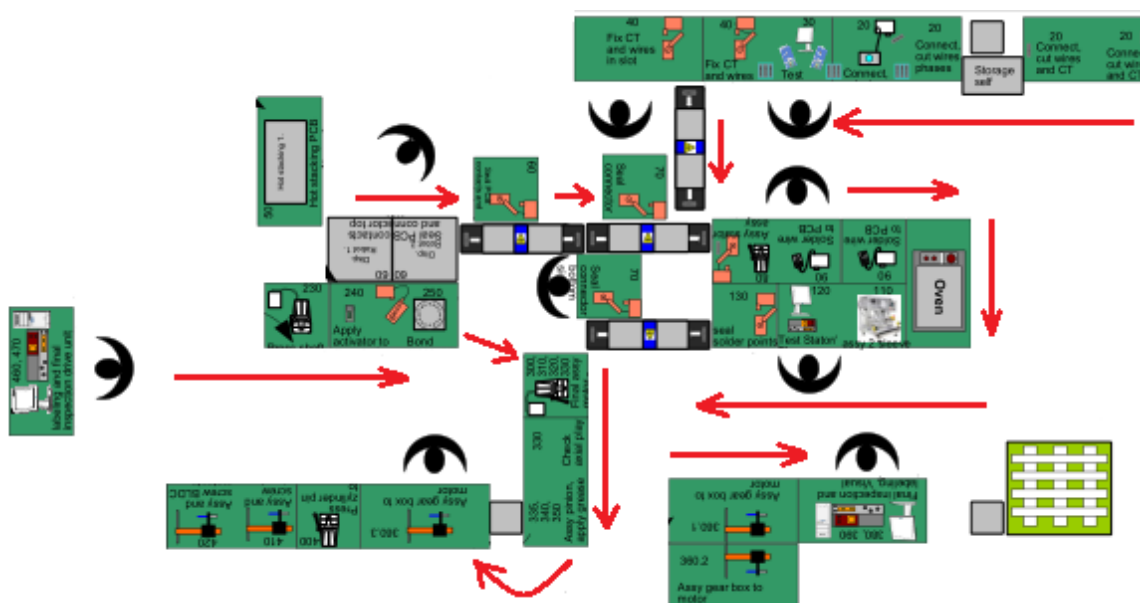
V našom článku sa budeme venovať optimalizácii vybraného pracoviska vo výrobnom podniku prostredníctvom softvéru Tecnomatix Process Simulate od spoločnosti Siemens. Dané pracovisko nutne potrebovalo technologickú a softvérovú modernizáciu, odstránenie niektorých zbytočných úkonov

a zníženie veľkého počtu operácií. V spomínanom softvéri sme si vytvorili súčasný stav pracoviska a postupne sme ho pretvárali na modernejší a úspornejší požadovaný stav. Nakoniec sa nám podarilo dosiahnuť stanovený cieľ, ktorého výsledky budú bližšie rozobraté v článku.

## 2 Pôvodný stav pracoviska

Súčasný stav pracoviska je z hľadiska inovatívnych technológií zastaraný a existujú široké možnosti jeho modernizácie. Mnohé úkony sa tu vykonávajú ručne, ale časom je možné túto prácu nahradiť umelou inteligenciou high-tech robotov.

Pôvodný layout pracoviska a materiálový tok označený červenými šípkami môžeme vidieť na Obrázku 1.



Obrázok 1 - Súčasný layout pracoviska

Pracovisko na výrobu elektromotora pozostáva z 27 operácií, ktoré sa označujú veľkými písmenami PI a príslušným číslom danej operácie. Takto označený postup výroby je od vstupnej kontroly, cez lisovanie, testovanie, vytvrdzovanie, lepenie, montáž až po výstupnú kontrolu. V tabuľke číslo 1 môžeme vidieť príslušné časy, za ktoré prebiehajú operácie na pracoviskách a celkovú dobu výroby motora. Farebne sú označené operácie, ktoré budeme následne združovať.

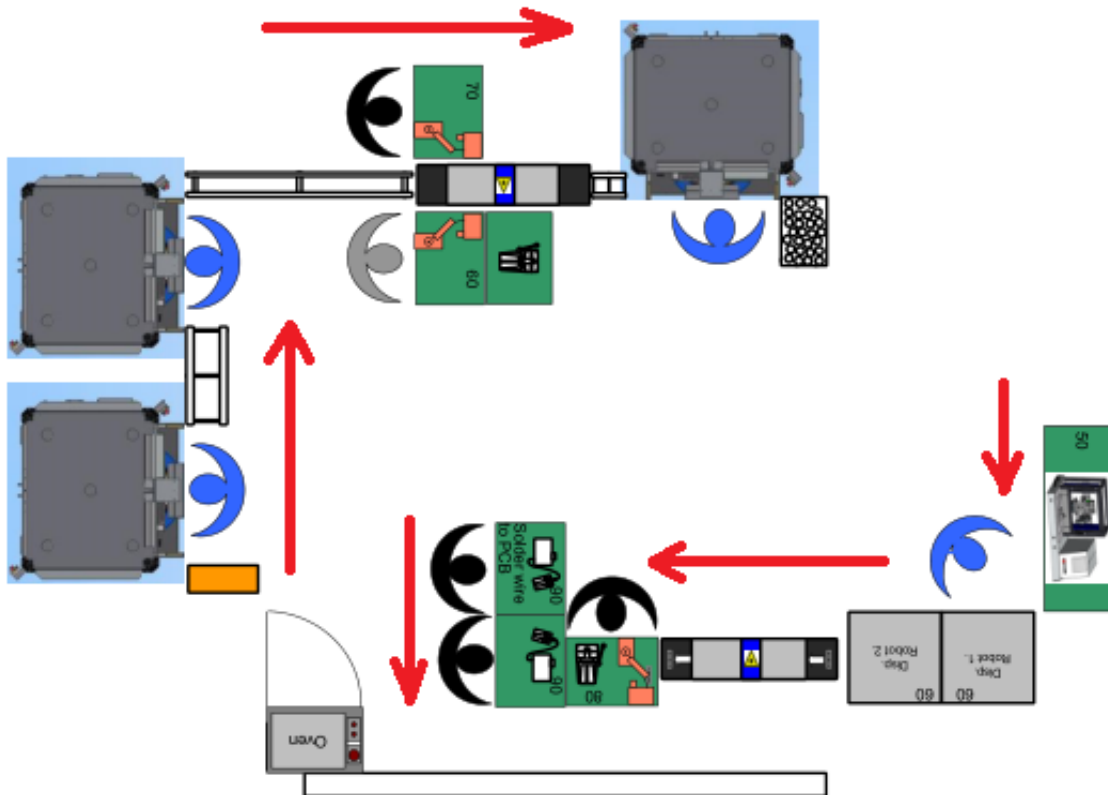
Tabuľka 1 - Časy výroby na jednotlivých pracoviskách

Označenie operácie	Čas (min)
PI - 20	0,7725
PI - 20_2	0,2360
PI - 30	0,2390
PI - 40	0,268
PI - 50	0,1967
PI - 60	0,1336
PI - 70	0,2813
PI - 80	0,1196
PI - 90	0,3042
PI - 100	0,0333
PI - 110	0,2525
PI - 120	0,1801
PI - 130	0,0717
PI - 220	0,1301
PI - 230	0,1460
PI - 240	0,144
PI - 250	0,2661
PI - 300	0,0100
PI - 310	0,0396
PI - 320	0,0333
PI - 330	0,283
PI - 335	0,0457
PI - 340	0,0765
PI - 350	0,0693
PI - 360	0,4438
PI - 380	0,192
PI - 390	0,0929
<b>Celková doba výroby motora</b>	<b>5,3158</b>



### 3 Novo navrhnutý stav

Po zlúčení operácií, ktoré boli vyznačené žltou, modrou a fialovou farbou v tabuľke sme vytvorili ucelenejší a prehľadnejší layout ako aj plynulejší materiálový tok výrobou. Farebne označené operácie sme nahradili tromi vysoko presnými robotickými strojmi, ktoré vykonávajú prácu oveľa rýchlejšie a efektívnejšie (Obrázku 2). Úlohou človeka ostalo vkladanie materiálu na určité definované miesta v týchto strojoch a následne vybratie hotových výrobkov.



Obrázok 2 - Novo navrhnutý layout pracoviska

V tabuľke číslo 2 môžeme vidieť výrobné časy na jednotlivých pracoviskách po zmene. Vidíme, že počet operácií sa znížil z 27 na 11, čo je viac ako o polovicu. Nahradenie manuálnej práce robotmi nám umožnilo skrátenie času výroby jedného elektromotora z 5,38 minúty na 2,24 minúty, čo má obrovský význam pre túto spoločnosť.

Tabuľka 2 - Časy výroby na jednotlivých pracoviskách po zmene

Označenie operácie	Čas (min)
PI – 30	0,2390
PI – 40	0,2812
PI – 50	0,2589
PI – 60	0,1777
PI – 70	0,2893
PI – 80	0,2951
PI – 90	0,3948
PI – 100	0,0259
Stroj 1	0,2666
Stroj 2	0,2666
Stroj 3	0,2666
<b>Celková doba výroby motora</b>	<b>2,2415</b>

## 4 Záver

Použitie robotov dnes pokrýva takmer všetky odvetvia a úlohy. Vďaka rýchlemu rozvoju robotiky sa interakcia medzi človekom a strojmi čoskoro stane bežnou každodennou praxou. Preto sme sa aj my rozhodli pre nahradenie zložitých výrobných operácií robotizovanými jednotkami, čo malo za následok plynulejší materiálový tok a zjednodušenie výrobného procesu. Po porovnaní výrobných časov pred a po zavedení robotov sme zistili skrátenie času výroby jedného elektromotora o viac ako 3 minúty, čo firme umožní vyrábať viac kusov za rovnaký čas.

## PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory grantových projektov APVV-17-0258, APVV-19-0418, VEGA 1/0438/20 a KEGA 001TUKE-4/2020

## Použitá literatúra

- [1] EDL, M., LERHER, T., ROSI, B. Energy efficiency model for the mini-load automated storage and retrieval systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, 1-19. ISSN: 0268-3768.
- [2] MARKULIK, Š., CEHLÁR, M., KOZEL, R. Process approach in the mining conditions. *Acta Montanistica Slovaca*, 2018, 23(1), 46-52. ISSN 1335-1788.

- [3] STRAKA, M., KHOURI S., ROSOVA A., CAGANOVA D., CULKOVA K. Utilization of computer simulation for waste separation design as a logistics system. *International Journal of Simulation Modelling*, 2018, 17(4), 583-596.
- [4] KŁOS, S. Implementation of the AHP method in ERP-based decision support systems for a new product development. *Communications in Computer and Information Science*, 2015. ISSN 1865-0929.
- [5] CMOREJ, T., PANDA, A., BARON, P., POOR, P., POLLAK, M. Surface finishing of 3d printed sample manufactured by fused deposition modeling. *MM Science Journal*, 2017, 5, 1981-1985. doi: 10.17973/mmsj.2017\_12\_201753.
- [6] BUCKOVA, M., KRAJCOVIC, M., EDL, M. Computer simulation and optimization of transport distances of order picking processes. *Procedia Engineering*, 2017, 192, 69-74. doi: 10.1016/j.proeng.2017.06.012.
- [7] FUSKO, M., BUCKOVA, M., GASO, M., KRAJCOVIC, M., DULINA, L., SKOKAN, R. Concept of Long-Term Sustainable Intralogistics in Plastic Recycling Factory. *Sustainability*, 2019, 11(23), 6750. doi: 10.3390/su11236750.
- [8] MANLIG, F., SLAICHOVA, E., KOBLASA, F., VAVRUSKA, J. Innovation of business processes by means of computer-aided simulation. *Novel Trends In Production Devices And Systems, Applied Mechanics and Materials*, 2014, 474, 67-72. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.474.67.

# Posouzení návrhu výstavby výrobních hal

Pavel Vránek <sup>1</sup>, Ilona Kačerová <sup>1</sup>, Filip Rybníkář <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika

[ikacerov@kp.v.zcu.cz](mailto:ikacerov@kp.v.zcu.cz)

[rybnikar@kp.v.zcu.cz](mailto:rybnikar@kp.v.zcu.cz)

[vranek@kp.v.zcu.cz](mailto:vranek@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Článek se zabývá posouzením a připomínkováním návrhu výstavby dvou nových výrobně skladových hal, které budou navázány na současnou budovu o rozloze 2500 m<sup>2</sup>. V rámci posouzení byly tvořeny kapacitní propočty, které ověřovaly personální obsazení, prostorovou náročnost, ale také počty strojů. Cílem práce bylo nalézt úzká místa návrhu, nadefinovat připomínky k návrhu a současně na připomínky nalézt vhodná nápravná opatření, která povedou k optimální variantě budoucí haly.

## 1 Úvod

Práce je zaměřena na posouzení a připomínkování návrhu výstavby dvou nových hal výrobní společnosti s administrativní vestavbou, které mají být v budoucnu napojeny na současnou halu. V rámci studie byl proveden výpočet kapacit (personálních, prostorových, strojních), dále byl proveden audit funkčnosti jednotlivých prvků a obslužnosti hal. Konkrétně se jedná o následující:

- kapacitní propočty,
  - personální,
  - prostorové (výrobní plochy, skladové plochy, kanceláře, šatny,...),
  - strojní,
- definování připomínek k výstavbě a funkčnosti komplexu hal,
- návrh nápravných opatření v návaznosti na připomínky,
- závěrečné zhodnocení.

Hlavní pozornost byla zaměřena na funkčnost návrhu, obslužnost hal s ohledem na nové prostorové uspořádání, typ výroby, použité manipulační a skladové techniky.

Celkové směřování činností, v rámci řešení projektu, bylo nastaveno pro zlepšení, zefektivnění nové výstavby a přehlednější orientaci k řízení materiálového toku.

## 2 Využité metody průmyslového inženýrství

V rámci studie byly použity standardní metody a techniky průmyslového inženýrství. Základem této studie byly kapacitní propočty založené na odborné literatuře. Dále byly použity metody jako Sankeyův diagram, materiálové toky, ID diagram apod. V rámci studie byl využit software od společnosti Plavis GmbH visTABLE pro 2D a 3D vizualizaci. [1]

## 3 Navržené řešení

Před zahájením řešení studie bylo nutné seznámení s prověřovaným výrobním systémem. Toto seznámení zahrnovalo setkání se zástupci společnosti a také návštěva výrobní haly. Základní charakteristika výroby byla definována na jednání a návštěvě společnosti zadavatele.

Proces práce na studii začal analýzou výkresové dokumentace, a to včetně okolí společnosti v souvislosti s dopravní obslužností společnosti a přístupností výrobních hal. Po analýze situačního výkresu bylo přistoupeno k analýze jednotlivých hal, kde byly postupně analyzovány jednotlivé výkresy hal. V rámci analýzy bylo provedeno detailní zaměření na různé situace, prostupy mezi halami, výrobními a skladovými prostory, správními prostory atd.

Následně bylo přistoupeno k analýze materiálových a personálních toků jednotlivých hal, včetně vstupního materiálu a výstupních hotových výrobků. Byly analyzovány materiálové toky týkající se hlavních skupin výrobků. Z každé skupiny bylo definováno 10 klíčových zástupců s nejvyšším ročním objemem výroby. Tyto materiálové toky byly zaznamenány ve výkresové dokumentaci, která byla vytvořena v pozdějších fázích studie.

Analýza také zahrnovala výpočty kapacit. Kapacitní výpočty byly nejprve zaměřeny na současný stav, díky čemuž byla ověřena funkčnost a přesnost odborného přístupu porovnáním výsledků se současným stavem. V rámci srovnání bylo zjištěno, že rozdíly v jednotlivých hodnotách jsou minimální, a proto je možné tuto metodiku použít ke zpracování budoucího stavu. Byly stanoveny dva milníky a to rok 2025 a 2030. Výpočty kapacit zahrnovaly roční časové fondy pracovníků, efektivní časové fondy strojů a pracovišť, s přihlédnutím k efektivitě strojů podle dostupného OEE jednotlivých strojů. Dále byly provedeny výpočty personálních kapacit, aby se stanovil počet výrobních pracovníků, administrativních pracovníků, technických a ekonomických pracovníků a managementu. Výpočty kapacit také poskytovaly informace o minimálním počtu strojů a pracovišť pro zajištění budoucích objemů výroby. Součástí kapacitních výpočtů byl také prostorový požadavek, který ověřil potřebu výstavby nových výrobních zařízení.

Po stanovení kapacitních výpočtů byl vytvořen návrh prostorového uspořádání pomocí softwaru visTable od Plavis GmbH.

Na základě dat z výroby byl vytvořen model hal, který byl podroben analýze, určení jednotlivých oblastí současného stavu za účelem stanovení procenta výrobních, skladovacích a administrativních ploch. 2D model byl podpořen 3D vizualizací pro zobrazení aktuálního stavu a nových konstrukcí. 3D vizualizační model sloužil jako vstup pro převod modelu do virtuální reality. [1][2][4]

K prohlédnutí pracoviště ve virtuální realitě za využití brýlí Oculus Quest bylo převedeno nejenom současné prostorové uspořádání, ale také budoucí výrobní hala.



Obrázek 1 - Ukázka vizualizace [vlastní]



Obrázek 2 - Ukázka použitých brýlí pro virtuální realitu

### 3.1 Analýza současné situace

Počáteční analýza byla zaměřena na analýzu situačního výkresu celého generelu. Výkres byl analyzován z hlediska bezprostředního okolí společnosti, dopravní dostupnosti a dopravních služeb společnosti. Dále byly demontovány i jednotlivé haly v rámci celého generelu. Během analýzy byly definovány připomínky k stavu budoucího parkoviště a hlavní silnice kolem celé společnosti.

Poté byla analýza přesunuta do interiéru výrobních hal, kde byl řešen hlavní logistický koridor, včetně rozšíření nebo přidání průchodů. Analýze byly také podrobeny administrativní prostory.



Obrázek 3 - Koordinační výkres [zdroj společnost]

### 3.2 Analýza materiálových toků

Podle výpočtů bylo zjištěno, že přibližně 40 % výrobní plochy jsou výrobní prostory. Prostor je méně využíván, je to kvůli vyššímu počtu strojů na malé ploše. Při navrhování prostorového uspořádání a materiálových toků bylo vycházeno z budoucího plánu výroby. Návrh nového uspořádání by pak měl respektovat tento výrobní plán i strukturu výrobního programu. Ve skutečnosti je však velmi obtížné optimalizovat rozvržení tak, aby vyhovovalo všem typům produktů.

Pro následující analýzu bylo nutné zpracovat informace týkající se pohybů ve výrobě, vč. rozměrů přepravovaného materiálu a jeho množství. Z diskusí a dokumentů byly získány zejména tyto informace:

- zahájení pracoviště,
- pracoviště terminálu,
- rozměry balení,

- objem výroby.

Tato data byla použita pro stanovení materiálových toků. Tabulka materiálových toků byla součástí výstupů a promítla se do jejich vizualizace. Na základě budoucích objemů výroby a skutečných materiálových toků byl vytvořen model současného stavu výroby, který ukazuje na 2D rozvržení materiálových toků společnosti pro základní skupiny produktů. [2]

Obrázek 4 - Ukázka materiálových toků

### 3.3 Kapacitní propočty

Na základě dostupných údajů byly vypočteny kapacity strojů a pracovišť. Vstupními údaji byly výpočty časových prostředků pracovníků, strojů a pracovišť. Výstupem kapacitních výpočtů nejsou jen potřeby pracovníků, administrativních pracovníků a manažerů, ale také potřeby strojů, pracovišť a nároky na výrobní, administrativní a společenské prostory. Na základě změn v objemu výroby byly kalkulace kapacit stanoveny také pro horizont 5 a 10 let. Výpočty kapacity potvrdily potřebu vybudovat další výrobní halu. V případě přesnějších údajů je možné upravit výpočty kapacity tak, aby se stanovily konkrétní potřeby. Příklad výpočtů kapacit je uveden na obrázku níže (vizodatek: Výpočty kapacity). Výpočty kapacity zahrnují počet pracovišť a počet strojů, následující obrázek ukazuje příklad počtu strojů [4] [5].

Tabulka 1 - Výpočet kapacit

	5	2	5	0	6	12
Počet strojů (zaokrouhлено nahoru)	8	2	2		4	21
Skutečné počty strojů	6152	519	5288		319	2145
Průměrná hodinová produkce stroje	4214	1951	4716	#DĚLENÍ NULOU!	6443	12060
Počet hodin na výrobu dávky						
$t_{pr}$ - čas přípravy a zakončení (5-20)	20				20	20
$q$ - velikost výrobní dávky Q/D	25926333.8	1012504	24940000	#DĚLENÍ NULOU!	2055338.00	25867824.50
$d_v$ - velikost výrobní dávky (po z: zaokrouhlení nahoru)	25926334	1012504	24940000	#DĚLENÍ NULOU!	2055338	25867825
Q - počet kusů za sledované období	103705335	4050016	99760000		8221352	103471298
D - počet dávek	4	4	4	0	4	4
$\bar{D}$ - počet dávek (po zaokrouhlení nahoru)	4	4	4	0	4	4
$T_s$ - čas celkový (počet hodin na výrobu ročního objemu)	16857.17	7803.50	18865.36	#DĚLENÍ NULOU!	25772.26	48238.37
$P_s$ - počet strojů	4.36262274	1.767096702	4.272046087	0	5.856110354	11.65177978



Tabulka 2 - Výpočet kapacit

Spatial calculations																			
Production area																			
S <sub>1</sub>	Floor plan of the machine	k	5x0,5	6	2,4	4													
S <sub>2</sub>	Specific area		0,5-1	5	4,32	3													
S <sub>3</sub>	Total production area		1,2	4,5	12,36	2,5													
	COMP	MED	WSS	BF	FR	WF	Packaging	Delta Coating	Demagnetization	FS-10	FS-3	Calibration	LX-204	Oiling	Setting	Glass peening	Shot Peening BB85	Shot peening	
d	26,5																		
f	6,1																		
S	30,2925	37	22,1	0	0	0	46,18234	10,95238095	14,2	78,12	1,92	482,16	0	3,13333333	0	0,96	8,16	20,25	20,25
Area (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quantity of machines	3	64	3	0	0	0	24	20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Machine production area (m <sup>2</sup> )	20,2925	27	22,1	0	0	0	46,18234	10,95238095	14,2	78,12	1,92	482,16	0	3,13333333	0	0,96	8,16	20,25	20,25
Total production area of workplace (m <sup>2</sup> )	60,63875	125	110,2	0	0	0	383,333333	143	78,12	1,92	482,16	0	0	0	0,96	8,16	20,25	20,25	20,25
	26,5	5,8					11,895	23	13	12,4	2,4	49,2	8		1,2	3,4	8,1	8,1	8,1
	6,1	9,3					15,53	30	4,4	6,9	0,8	9,8	4		0,8	2,4	7,5	7,5	7,5
	161,65	54					0,184,7294	230	57,2	78,12	1,92	482,16	0	32	0	0,96	8,16	20,25	20,25
Total production area m <sup>2</sup>	2546,52																		

Výpočty kapacit rovněž zahrnovaly výpočty počtu pracovníků ve výrobě, pomocných pracovníků ve výrobě nebo administrativních pracovníků a managementu. Následující obrázek ukazuje výpočet kapacity výrobních pracovníků.

Quantity of Workers	Quantity of machines / Workers fund		operation (quantity of machines / operator)	Recalculation - number of workers
		Rounded up		
COMP	7,730	8		4
MED	132,515	133		67
WSS	14,724	15		8
BF	0,000	0		0
FR	0,000	0		0
WF	96,626	97		33
Packaging	8,010	9		3
Delta Coating	2,301	3		3
Demagnetization	1,602	2		2
FS-10	2,301	3		3
FS-3	2,301	3		3
Calibration	0,000	0	15	0
LX-204	2,301	3	1	3
Oiling	0,801	1	1	1
Setting	1,602	2	1	2
Glass peening	2,403	3	1	3
Shot Peening BB85	0,801	1	1	1
Shot peening	2,403	3	1	3
D <sub>1</sub> - Total quantity of production workers		139		
D <sub>p</sub> - (0,45 - 0,65) * D <sub>1</sub>		0,45		62,55
D <sub>2</sub> - Quantity of auxiliary workers (rounded)				63
D <sub>3</sub> - Total quantity of workers				202

Výpočty byly také použity pro výpočet požadovaných ploch pro aktuální stav výrobních hal. Následuje srovnání výpočtů prostorové kapacity současného stavu a horizontu 5, respektive 10 let.

2020		
Total production area	2134,95	m <sup>2</sup>
Total warehouse area	600	m <sup>2</sup>
Total area of company	2734,95	m <sup>2</sup>
2025		
Total production area	3038,61	m <sup>2</sup>
Total warehouse area	600	m <sup>2</sup>
Total area of company	3638,61	m <sup>2</sup>
2030		
Total production area	3894,43	m <sup>2</sup>
Total warehouse area	600	m <sup>2</sup>
Total area of company	4494,43	m <sup>2</sup>

Obrázek 5 - Výpočet prostorové kapacity

Výpočty kapacity podle výše uvedeného obrázku ukazují, že výstavba nových výrobních zařízení je oprávněná a je vhodné rozšířit výrobu.

## 4 Závěr

Tato studie byla zaměřena na analýzu současného návrhu výstavby nových výrobních prostor s ohledem na prostorové uspořádání výrobních, skladovacích a administrativních prostor. Součástí studie bylo analyzovat výkresovou dokumentaci, analýzu materiálových toků, výpočty kapacity podle současných a budoucích objemů, které byly vytvořeny, za účelem návrhu zlepšení výkresové dokumentace, nalezení nedostatků v navrhovaném územním uspořádání a vytvoření připomínek k tomuto návrhu. Studie byla rozdělena do několika částí.

První částí byla podrobná analýza výkresové dokumentace výstavby nových výrobních prostor a změn stávajících prostor. S využitím dostupných údajů zadavatele byly vytvořeny návrhy a připomínky k návrhu, jejichž cílem bylo zlepšit a zefektivnit výstavbu nových výrobních zařízení o bezpečnosti práce. V další části práce bylo analyzováno portfolio produktů napříč všemi skupinami produktů a jejich zástupci. Podle této analýzy byly vytvořeny materiálové toky podle současného stavu v roce 2020 a také pro budoucí stavy podle budoucích objemů výroby pro rok 2025 a 2030. V následující části byly provedeny kapacitní výpočty současného stavu, které přibližně odpovídají aktuální situaci ve společnosti. Podle budoucích objemů výroby byly kalkulace kapacity provedeny pro roky 2025 a 2030, kde bylo potvrzeno, že výstavba nových výrobních zařízení je odůvodněna potřebou zvýšit výrobu. Výpočty kapacit byly zaměřeny na potřebu výrobních a pomocných pracovníků, personální zabezpečení administrativních pracovníků, THP a management, počet strojů a pracovišť, jakož i na prostorové požadavky současného stavu v roce 2020 a budoucí podmínky v letech 2025 a 2030. V poslední části studie 2D a 3D modely výroby byly vytvořeny haly pro vizualizaci nových výrobních prostor včetně možných modifikací a také pro vizualizaci materiálových toků. Současně byl vytvořen 3D model pro propojení analyzovaných výrobních hal s virtuální realitou.

### Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

### Použitá literatura

- [1] MILLER, A., BUREŠ, M., ŠRAJER, V., PEŠL, J. *Projektování výrobní základny - teoretická část*. 1. vyd. Plzeň: SmartMotion s.r.o., 2013. ISBN 978-80-87539-30-9.
- [2] Digital Factory. *Tvorba prostorového uspořádání*. [online]. Plzeň, 2011 [cit. 15.11.2019]. Dostupné z: <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/oblasti-nasazeni/tvorba-prostorovehousporadani>

- [3] MILLER, A., BUREŠ, M., KURKIN, O., PEŠL, J. *Projektování výrobní základny - praktická část*. 1. vyd. Plzeň: SmartMotion s.r.o., 2013, ISBN: 978-80-87539-31-6
- [4] ZOUBEK, M. *Prostorové uspořádání pro nový výrobní program*. Diplomová práce, [online]. Plzeň, 2016 [cit. 20.8.2020], Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/25207/1/Diplomova\\_prace\\_Prostorove\\_usporadani\\_Michal\\_Zoubek.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/25207/1/Diplomova_prace_Prostorove_usporadani_Michal_Zoubek.pdf)
- [5] RYBNÍKÁR, F., KLEINOVÁ, J. *Změna uspořádání pracoviště za účelem zvýšení objemu výroby*. Plzeň, 2019, DOI: 10.24132/PI.2019.08948.136-144

# Návrh modelu připravenosti pro hodnocení interních logistických procesů v kontextu Průmyslu 4.0

Michal Zoubek <sup>1</sup>, Michal Šimon <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 2732/8, 30614 Plzeň, Česká republika  
[zoubekm@kpv.zcu.cz](mailto:zoubekm@kpv.zcu.cz)  
[simon@kpv.zcu.cz](mailto:simon@kpv.zcu.cz)

**Anotace:** Koncept Průmysl 4.0 dostal svůj název podle čtvrté průmyslové revoluce, která právě probíhá. Vznikl před pár lety v Německu a jeho posláním je řešit situaci, kterou způsobila čtvrtá průmyslová revoluce, kterou zcela evidentně vyvolal internet a digitalizace. Zatímco předchozí etapa digitalizace přinesla do průmyslu počítače a roboty, čtvrtá průmyslová revoluce je mezi sebou propojila a naučila je komunikovat. Podniky na tento vývoj musí být připraveny a jejich připravenost a zralost hodnotí modely připravenosti. Nalezené modely jsou analyzovány a porovnávány a jsou hlavním předmětem teoretické části článku. Právě nový model připravenosti je hlavní náplní tohoto článku a záměrem je představit nástroj pro komplexní hodnocení interní logistiky, která obsahuje klíčové procesy jako je interní manipulace, skladování nebo balení. Interní logistika má tedy v rámci tohoto konceptu velký potenciál a představuje pro logistiku příležitost pro růst a rozvoj. Nicméně důležité je znát současnou úroveň na základě diagnostiky a k tomu slouží právě navržený model.

## 1 Úvod – koncept Průmyslu 4.0

Průmysl 4.0 má široký rozsah a netýká se jen implementace nových technologií do průmyslových podniků a postupné automatizace nahrazující lidskou sílu. Vzhledem k jeho rozsahu existují definice a pohledy od akademiků, společností, poradenských společností nebo praktických sdružení. Vyjadřující se subjekty se ale shodují na tom, že podstatou Průmyslu 4.0 je digitalizace, rozšiřování vysokorychlostního internetu, rozvoj chytrých technologií, komunikace a řada dalších témat. Podniky, které si chtějí udržet svou konkurenceschopnost a postavení na trhu musí podstoupit první kroky směrem k digitalizaci již dnes. Digitalizace slibuje nižší náklady, vyšší kvalitu výroby, flexibilitu a efektivitu. Investice do digitalizace mají zásadní význam pro růst všech průmyslových firem bez ohledu na jejich velikost nebo odvětví. Průmysl a celá ekonomika prochází zásadními změnami způsobenými zaváděním informačních technologií, kyberneticko-fyzických systémů umělé inteligence do výroby, služeb a všech odvětví hospodářství. Dopad těchto změn je tak zásadní, že se o nich mluví jako o 4. průmyslové revoluci. Hlavní historické milníky jsou takové, hlavní definice

Průmysl 4.0 vychází z dokumentu prezentovaného na veletrhu v Hannoveru v roce 2013. Základní vize čtvrté průmyslové revoluce vznikla v roce 2011.

Vývoj k Průmyslu 4.0 na základě digitalizace a automatizace představuje pro oblast logistiku obrovské výzvy a také příležitosti pro další růst a rozvoj. Oblast logistiky má tedy v rámci tohoto konceptu velký potenciál. Nicméně je důležité a nutné se více konkretizovat, protože oblast logistiky je velmi široká. Zaměřujeme se v dalších částech tohoto článku na oblast interní logistiky. Připravenosti podniků na Průmysl 4.0 je hodnocena dle modelů připravenosti, které podnik rozděluje do několika oblastí a hodnotí připravenosti příslušných procesů do několika úrovní. Nejvyšší úroveň koresponduje s Průmyslem 4.0

## 1.1 Definice a hlavní principy Průmyslu 4.0

Jak bylo zmíněno, mluvíme o čtvrté průmyslové revoluci, která již probíhá. Má svá specifika a je již jasné, že má významné dopady nejen na oblast průmyslu, ale také na chování lidí a podniků. Nástup tohoto konceptu změní naši společnost. Podniky budou muset změnit procesy, se kterými doposud pracovaly a přizpůsobit se nové době. [1]

Nejvíce skloňované pojmy v rámci konceptu Průmyslu 4.0 – automatizace, digitalizace a robotizace zažívají největší rozmach, a proto mění fungování průmyslu, výroby, ale i myšlení a chování společnosti. Změny způsobené čtvrtou průmyslovou revolucí se dotknou i oblasti vzdělání a pracovního trhu. [2]

Stručný vývoj revolucí je takový, že první tři průmyslové revoluce vznikly v důsledku mechanizace, využití elektřiny a využití výpočetní techniky. Zavedení internetu věcí a služeb do výrobního prostředí nyní představuje čtvrtou průmyslovou revoluci. V budoucnu budou průmyslové podniky zavádět globální sítě, do kterých budou začleněny stroje a výrobní zařízení, skladové systémy a výrobní zařízení ve formě kybernetických fyzických systémů (CPS – cyberphysical systems). Ve výrobním prostředí tyto kybernetické fyzikální systémy zahrnují inteligentní stroje, skladovací systémy a výrobní zařízení, která jsou schopna samostatně si vyměňovat informace, spouštět akce a vzájemně se nezávisle ovládat – důležitá je tedy jejich autonomnost. [3]

Průmysl 4.0 a jeho implementace naznačují změny v obchodních paradigmatech a výrobních modelech, které se projeví na všech úrovních výrobních procesů a dodavatelských řetězců, včetně všech pracovníků ve výrobním procesu, manažerů, konstruktérů kybernetických systémů a koncových uživatelé. Implementační strategie konceptu Průmyslu 4.0 do podnikových sektorů znamená zavedení samostatné automatizace, konfigurace, diagnostiky a řešení problémů, dále nových znalostí a inteligentního rozhodování. [4]

Pokud definujeme Průmysl 4.0 na základě pilířů digitalizace, je založen na těchto třech hlavních pilířích [5]:

- 1) Digitalizace a integrace horizontálních a vertikálních hodnotových řetězců
  - probíhá v celé organizaci
  - vertikální procesy spojené s horizontálními procesy
  - veškerá data o operacích a plánování procesů lze provádět v reálném čase
  - provádět lze pomocí podpory rozšířené reality
- 2) Digitalizace nabízených produktů a služeb
  - používání inteligentních produktů
  - přidání inteligentních senzorů nebo komunikačních zařízení, které lze použít s analytickými datovými nástroji
  - vytváření nových digitalizovaných produktů
  - integrace nových metod pro sběr a analýzu dat
  - virtuální návrhy nejen produktů, ale také výrobních prostředků a procesů
- 3) Digitalizace podniků a přístup k zákazníkům
  - úzce souvisí s internetem věcí a internetem služeb
  - systémy CRM integrují sociální sítě a analýzu dat,
  - zákazníci poskytují recenze.

Principy inteligentní výroby a logistiky jsou také základní hybnou silou pro maximalizaci přidané hodnoty jednotlivých procesů napříč podnikem, která je dána součinností klíčových principů na základě interoperability, decentralizace, inteligence, rekonfigurability a dalších. [6] Jednotlivé atributy jsou s charakteristikou uvedeny v tabulce 1.

*Tabulka 1 - Principy inteligentní výroby [6]*

Interoperabilita	V podnikovém prostředí to znamená propojení strojů, lidí, materiálů, produktů, informačních a komunikačních technologií a systému (interkonektivita systému)
Virtualizace	Znamená vytvoření virtuální kopie chytré továrny propojením údajů z fyzických senzorů s virtuálními údaji ze simulačních modelů továrny

Decentralizace	Schopnost kyberneticko-fyzikálních systémů rozhodovat samy za sebe a produkovat.
Real-time	Schopnost shromažďovat a analyzovat údaje; získané poznatky okamžitě poskytovat (řádově v milisekundách).
Orientace na služby	Jednotky softwaru rozdělené na diskrétní, autonomní a síťově přístupné jednotky, z nichž každá je navržena k řešení individuálního zájmu.
Modularita a rekonfigurabilita	Pružná adaptace chytrých továren na měnící se požadavky tím, že se nahradí nebo rozšíří jednotlivé moduly

Další pohled na koncept Průmysl 4.0 je založen na hluboké průmyslové integraci prostřednictvím informačních technologií a s ní spojením zpracování dat v reálném čase, sdílení informací a kontinuální komunikaci. Technologické atributy konceptu zmiňuje podobně většina autorů, například dle autora Maříka [7] se jedná o velká data, kyberneticko-fyzické systémy (CPS), cloudové úložiště, implementace autonomních robotů, internet věcí, využití rozšířené reality, aditivní výroba, sensorika. Popis detailní jednotlivých technologií je nad rámec článku.

Hlavní charakteristiky inteligentních průmyslových podniků odpovídajících konceptu Průmyslu 4.0 lze shrnout následovně:

- výrobní procesy jsou optimalizované v rámci celého hodnotového řetězce díky vertikálně i horizontálně integrovaným IT systémům,
- izolované výrobní jednotky jsou nahrazeny plně automatizovanými a vzájemně propojenými výrobními linkami,
- fyzické prototypy jsou nahrazeny virtuálními návrhy výrobků, výrobních prostředků a výrobních procesů, jejich uvedení do provozu probíhá v rámci jednoho integrovaného procesu zapojujícího jak výrobce samotného, tak i jeho dodavatele,
- flexibilní výrobní procesy umožňují efektivní výrobu i malých výrobních dávek přizpůsobených individuálním požadavkům jednotlivých zákazníků,
- vzájemně komunikující roboty, výrobním zařízením a výrobky činí do jisté míry autonomní rozhodnutí v reálném čase a tím zvyšují flexibilitu a efektivitu výrobního procesu,
- výrobní zařízení se samo optimalizuje a konfiguruje v závislosti na parametrech zpracovávaného produktu,
- automatizované logistické zázemí využívající autonomních vozíků a robotů se automaticky přizpůsobuje potřebám výroby. [7], [8]

## 1.2 Logistika 4.0

Zatímco předchozí etapa digitalizace přinesla do průmyslu počítače a roboty, 4. průmyslová revoluce je mezi sebou propojila a naučila je komunikovat. U konceptu chytrých továren je klíčová ona schopnost propojit mezi sebou všechny operující stroje. Logistika 4.0 je klíčovým prvkem digitalizace, i když zatím není tak populárním tématem, jako Průmysl 4.0. Tento koncept má samozřejmě velký rozsah a značný vliv na oblasti interní logistiky.

Logistika 4.0 je „kolektivní terminologií pro technologie a koncepty hodnotového řetězce organizace.“ Nejdůležitější je implementovat všechny logistické procesy v organizaci při zachování zásad konceptu Průmyslu 4.0. Vývoj logistiky byl založen hlavně na konkrétních změnách (inovacích) ve čtyřech etapách:

- existence mechanizace dopravy na konci 19. a na počátku 20. (Logistika 1.0.),
- automatizace manipulačního systému zboží v 60. letech (Logistika 2.0.),
- inovace v systémech pro správu logistiky v 80. letech (Logistika 3.0.)
- existence internetu věcí a služeb (IoT, IoS) a velkých dat, která mají důsledky pro logistiku (Logistika 4.0). [9]

Všechny aplikace, technologie a principy Průmyslu 4.0 v logistické oblasti spadají pod jmenovatel Logistika 4.0. Dále popisuje efektivnost procesu jako důležitý ukazatel logistiky, který lze získat realizací zásad Průmyslu 4.0 (interoperabilita, transparentnost informací, virtualizace, modularita, servisní orientace, technická pomoc) v klíčových logistických oblastech jako skladování, doprava, balení, distribuce, nakládka/vykládka a informační služby. [10]

Většina autorů popisujících logistiku v rámci konceptu Průmyslu 4.0 identifikuje a zmiňuje podobné technologie a aplikace, které jsou založeny na principech tohoto konceptu a implementovány v oblasti interní logistiky. Přední technologie Logistiky 4.0 jsou uvedeny podle jejich zdrojů v tabulce 2.

Tabulka 2 - Hlavní technologie Logistiky 4.0

Zdroj	Technologie Logistiky 4.0
Wang (2016) [9]	Big Data, „smart“ senzory, RFID, IoT, IoS, „smart“ robots, autonomní AGV, GPS
Galindo (2016) [11]	RFID, CPS, IoT, IoS, Big Data, RTLS,
Glistau and Machado	RFID, WLAN, EDI, GPRS, Big Data, Data Mining, „smartphones“, EDI, 5G network,



(2018) [12]	tablety, cloudy
Zou and Zhong (2018) [13]	Autonomní AGV, drony, kolaborativní roboti, RFID

## 2 Přípravenost podniků na koncept Průmyslu 4.0

Zatímco předchozí průmyslová etapa digitalizace přinesla do průmyslu počítače a roboty, 4. průmyslová revoluce je mezi sebou propojila a naučila je komunikovat. U konceptu chytrých továren je klíčová ona schopnost propojit mezi sebou všechny operující stroje. Tempo přijetí konceptu Průmyslu 4.0 je však v různých průmyslových odvětvích a společnostech nerovnoměrné a rozdílné. Společnosti se potýkají globálně i lokálně s konceptem Průmyslu 4.0 a hodnotou, kterou by mohl přinést. Pro tyto společnosti jsou důležité odpovědi na takové otázky jako – co je to Průmysl 4.0 a jak může efektivně prospět společnosti? Jak začít implementovat moderní technologie a jaká je připravenost podniku? Kde jsou příležitosti pro implementaci?

V této části článku je popsána problematika modelů připravenosti na koncept Průmysl 4.0, které se běžně používají pro měření zralosti organizace nebo procesu týkajícího se konkrétního cílového stavu. Charakteristické pro modely je jejich využití, protože na základě jejich využití je možné identifikovat současný stav a připravenost na koncept Průmyslu 4.0 komplexně v celém podniku nebo v různých oblastech podniku. Případně se modely snaží hledat potenciální místa pro zlepšení stavu připravenosti do budoucna. Modely připravenosti se vyskytují v mnoha modifikacích, rozsazích a ty komplexní modely by měly vybavit společnosti praktickými znalostmi o aspektech:

- co je to Průmysl 4.0 a jaké jsou hmatatelné výhody, které by mohl přinést,
- jaká je úroveň připravenosti společnosti a dílčích oblastí a zařízení,
- jak se společnost může postupně a cíleně zlepšovat a zvyšovat úroveň.

### 2.1 Obecný přehled modelů připravenosti

Klíčovým konceptem, ze kterého vychází většina typů modelů připravenosti, je Capability Maturity Model (CMM), později vyvinutý model Capability Maturity Model Integration (CMMI).

Obsahuje základní prvky efektivních procesů pro jednu nebo více disciplín a popisují cestu evolučního zlepšování od nezralých procesů k disciplinovaným a zralým procesům se zlepšenou kvalitou a účinností. [14] Stručně je to model, který má za cíl pomoci v organizaci plánovat, definovat, implementovat, rozvíjet, hodnotit a zlepšovat procesy. Nejedná se o metodiku, ale model určující cíle, kterých by měl podnik dosáhnout a to bez přesně předepsaných postupů. [15] Model CMMI pracuje s pěti úrovněmi zralosti, od

první nejnižší počáteční úrovně, přes řízenou, definovanou, kvantitativně řízenou až po nejvyšší pátou optimalizující úroveň. [16] Podobným dalším modelem je SPICE (Software Process Improvement and Capability Determination). Na základě SPICE byly vytvořeny další modely pro posuzování procesů, zejména Automotive SPICE pro automobilový průmysl. Tento model pracuje se šesti úrovněmi připravenosti, od úrovně 0 a nekompletního procesu, až po úroveň 5, kde proces je optimalizovaný. [17]

Jednotlivé modely připravenosti na Průmyslu 4.0 mají založené základy na stejných, či velmi podobných principech jako modely CMMI, proto bylo důležité tyto modely zmínit. Definované jsou vždy analyzované oblasti (dimenze). U některých modelů jsou dimenze dále rozšířené na dílčí dimenze. Vedle dimenzí je dále důležitý způsob hodnocení. Podobnost ve způsobu hodnocení je dána jednotlivými stupni zralosti v daných oblastech (dimenzích). Stupňů připravenosti je většinou čtyři až šest. Jsou seřazeny logicky od nejnižšího stupně až po stupeň nejvyšší. Stupně mají svoje názvy a vlastní charakteristiku požadavků a vlastností pro splnění daného stupně v rámci dané oblasti (dimenze). Připravenost podniku je také u některých modelů vyjádřena kvantitativním způsobem formou indexu připravenosti.

## 2.2 Hlavní aspekty modelů připravenosti

Základním rozdělením modelů pro hodnocení připravenosti je dle úrovně rozsahu. Modely mohou být rozdělené:

- 1) makro úrovni, kde je prováděno hodnocení ve vztahu k zemím a ukazují předpoklady pro rozvoj průmyslu a digitalizaci průmyslu sledovaných jednotlivých zemí, prioritou je zlepšit konkurenceschopnost dané země zvýšením její inovační schopnosti a digitalizace.
- 2) mikro úrovni, které hodnotí připravenost samotného subjektu – podniku. [18]

Na mikro úrovni není nutné porovnávat velké množství společností a desítky ukazatelů. Hodnotí se samotný podnik, případně jeho dílčí oblasti. [19]

V rámci této rešerše je zaměřeno na mikro modely, pro které existuje mnoho modifikací a metodik. Cílem je analyzovat jednotlivé modely a jejich hlavní atributy. Charakterizované modely připravenosti jsou různé kvality a rozsahu zpracování, některé jsou velmi komplexní, některé stručnější podoby. U jednotlivých modelů byla provedena analýza s uvedením hlavních charakteristik a atributů:

**Původ zdroje** – Modely jsou zejména ze zahraničních univerzit, různých strojírenských sdružení, poradenských společností, často jsou kombinovány akademickou sférou a průmyslovým sdružením.

**Analyzované dimenze a oblasti** – Vypsány jsou všechny analyzované dimenze příslušného zkoumaného modelu. Dimenze jsou v počtu od minima

3 dimenzí až 9 dimenzí. U některých modelů se dimenze ještě rozdělují na dílčí dimenze, tj. subdimenze.

**Způsob hodnocení připravenosti** – Pro výsledné hodnocení jsou použity modely s několika úrovněmi (stupni), často od 4 do 6 úrovní, a tyto úrovně jsou charakterizovány.

**Záměr modelu** – Model připravenosti může být využíván ke stanovení a hodnocení současného stavu připravenosti a zařazení do příslušného stupně, tj. účel deskriptivní – popisný. Nebo může být model připravenosti charakteru comparative – srovnávacího. Třetí vlastností může být preskriptivní model, tj. předpisující,

**Hodnocení interní logistiky** – U modelů připravenosti byla hledaná hlavní oblast, kterou je interní logistika. Modely jsou rozděleny do třech skupin A, B, C. Ve skupině A jsou modely, které jsou koncipované přímo na hodnocení interní logistiky, modely zařazené do skupiny B obsahují interní logistiku částečně v některé z oblastí. Modely ve skupině C se logistice nevěnují a nehodnotí interní logistické procesy.

**Kategorie modelu** – Hlavními kategoriemi provedení modelů jsou „roadmaps“, zralostní modely, modely připravenosti nebo tzv. „frameworks“ pro hodnocení.

Jednotlivé modely byly detailně analyzovány a jejich souhrn s hlavními charakteristikami vidíte v tabulce 3.

*Tabulka 3 - Modely připravenosti a jejich hlavní atributy*

<b>Model připravenosti</b>	<b>Zdroj</b>	<b>Původ zdroje</b>	<b>Počet dimenzí</b>	<b>Skup. modelů</b>	<b>Způsob hodnocení</b>	<b>Záměr modelu</b>
Impuls – Industrie 4.0 Readiness [20]	Lichtblau et al. (2015)	Akad. Prakt. sdr.	6	B	5 úrovní od 1 (Outsider) po 5 (Top performer)	Srov. Popisný Předpis.
Maturity Model for Assessing [21]	Carolis et al. (2017)	Akad. Prakt. sdr.	5	B	5 úrovní od 1 (Počáteční) po 5 (Digitální orientovaný)	Popisný
An Industry 4 Readiness Assessment Tool [22]	Agca et al. (2018)	Akad. Porad. spol.	6	B	6 úrovní od 1 (Začátečník) po 4 (Expert)	Srov. Popisný Předpis.
The Singapore Smart Industry Readiness Index [23]	EDB Singapore (2018)	Prakt. sdr.	3	B	6 úrovní od 0 po 5 (Adaptivní)	Popisný

The Logistics 4.0 Maturity Model [24]	Olesk ow-Szlapka, Stachowiak (2019)	Akad.	3	A	5 úrovní od 1 (Ignorace) po 5 (Integrace)	Popisný
Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 [25]	Schumacher et al. (2018)	Akad. Prakt. sdr.	8	B	Hodnocení do 4 úrovní.	Popisný Srov.
Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0 [26]	Colli et al. (2018)	Akad.	5	B	6 úrovní od 1 (Bez digitalizace) po 6 (Integrace)	Popisný . Srov.
Acatech Industrie 4.0 Maturity Index [27]	Zeller et al. (2018)	Akad. Prakt. sdr.	4	A	6 úrovní od 1 (Počátek IT) po 6 (Adaptabilní)	Popisný
Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy [28]	Akdil et al. (2018)	Akad.	3	B	4 úrovně od 0 (Absence) po 3 (Připraven)	Srov. Popisný Předpis.
A Smartness Assessment Framework for Smart Factories [29]	Lee et al. (2017)	Akad.	4	B	5 úrovní od 1 (Kontrolující) po 5 (Autonomní)	Popisný
Intelligent Logistics For Intelligent Production Systems [30]	Krajcovic et al. (2018)	Akad.	7	A	Hodnocení do 5 úrovní (používá 0. úroveň).	Popisný Předpis.
Maturity Levels For Logistics 4.0 Based On NRW'S Industry 4.0 Maturity Model [31]	Gajšek a Sternad (2018)	Akad.	4	A	5 úrovní od 1 (Nepřipojený) po 5 (Kompletní)	Popisný

Logistics 4.0 Maturity in Service Industry: Empirical Research Results [32]	Lewandowska a Kosacka (2019)	Akad.	1	A	Hodnocení do 6 úrovní, ke kterým jsou přidělené technologie	Popisný Srov.
---	------------------------------	-------	---	---	---	---------------

## 2.3 Zhodnocení analyzovaných modelů

V rámci literární rešerše pro modely připravenosti na Průmysl 4.0 bylo analyzováno celkem 35 modelů. V tabulce jsou uvedeny pouze modely, které obsahují alespoň částečné hodnocení interní logistiky, jedná se tedy o modely skupiny A a B, modely ve skupině C neobsahují hodnocení interní logistiky. Některé modely jsou velmi komplexní, některé stručnější podoby. U kvalitních 13 modelů bylo zaměřeno z obecného hlediska logistiky postupně na oblasti interní logistiky. Interní logistika se jako samotná dimenze/oblast vyskytovala u malého množství modelů, proto byla také zkoumána obecně oblast logistiky, kde jsme následně hledali činnosti interní logistiky – například v oblasti skladování, manipulace, identifikace materiálu. Po přezkoumání a analýze modelů připravenosti je možné konstatovat, že žádný z modelů nehodnotí komplexně připravenost podniku v rámci konceptu Průmyslu 4.0 v oblasti interní logistiky a nezaměřuje se specificky na danou oblast. Nehodnotí celkově oblast interní logistiky, ani její dílčí činnosti či samotnou koncepci činností logistiky uvnitř podniku.

U většiny modelů je obecně logistika obsažena v rámci jedné dimenze/oblasti, případně se jí věnují dílčí dimenze či kritéria o otázky v různých dotaznících a hodnotících formulářích, nicméně je to pouze stručnější definována forma zaměření a také hodnocení. Oblast interní logistiky není jediným parametrem, který byl u modelů sledován a analyzován. Důležitým faktorem jsou úrovně hodnocení připravenosti. Analyzovaný je jejich počet, jejich charakteristika. Modely pracují s různými úrovněmi připravenosti (0 až 6) a každá obsahuje minimální požadavky, které musí být splněny, aby byla úroveň dokončena. Úrovně jsou většinou od role outsidera, přes začátečníka, pokročilého, zkušeného, odborného až po největšího experta, některé modely zase využívají úrovně se stručnou charakteristikou od digitálního nováčka, integrovaného a interoperabilního, plně implementovaného až po zcela digitálně orientovaného subjektu.

To bylo například důležitou součástí u modelů skupiny C, které nehodnotí interní logistiku, ale sloužily jako inspirace pro stanovení úrovní připravenosti pro nový navržený model.

### **3 Návrh modelu připravenosti pro hodnocení interní logistiky v kontextu Průmyslu 4.0**

Návrh modelu probíhal v několika hlavních etapách. Každá etapa měla svoji specifikou náplň a byla stanovena posloupnost hlavních kroků. Přístup pro návrh nového modelu připravenosti zahrnoval systematický výzkum a hodnocení literatury a rozhovory s odborníky. Samozřejmostí je, že na počátku návrhu byla zkoumána literatura týkající se Průmyslu 4.0 a jeho hlavních definic. To byla základní vývojová fáze. Následně se autoři zaměřili na modely připravenosti, kterých bylo analyzováno celkem 35. To byla hlavní vývojová fáze k návrhu a architektuře a struktuře nového modelu. Metodou abstrakce byla hledána oblast interní logistiky a u současných modelů byly shledány nedostatky pro tuto oblast, která má velký potenciál v oblasti moderních technologií. Po tomto rozsáhlém systematickém výzkumu literatury o modelech připravenosti nebyl nalezen žádný podobný model připravenosti koncipovaný přímo na interní logistiky s korespondencí na Průmysl 4.0. Na základě porovnání modelů bylo ale možné stanovit základní architekturu nového modelu. Modely byly porovnávány, analyzovány a jejich podobnost a principy sloužily jako inspirace pro nový model a stanovení relevantního rámce. Z modelů byly odvozeny koncepty relevantní pro strukturu nového modelu, například hodnocené dimenze (obvykle 3 - 10 dimenzí), hodnocené úrovně (obvykle 4 - 6 úrovní), způsob hodnocení (vlastní interní hodnocení nebo hodnocení na základě externího auditora), způsob reprezentace (kvantifikace, grafická podoba hodnocení, atd.). Pomocí technik mapování konceptů byly extrahovány charakteristiky stávajících modelů připravenosti a vyhodnoceny z hlediska jejich použitelnosti pro náš model.

Další vhodné hledisko ovlivňující návrh a podobu modelu je zaměření autorů, kteří se specializují na oblast průmyslového inženýrství na pracovišti Průmyslového inženýrství a managementu v rámci akademického pole působnosti. Vedle akademické oblasti je důležitá také průmyslová oblast, kde v rámci spolupráce a workshopů probíhaly odborné rozhovory.

V další fázi byl definován celkový design modelu, hodnocené dimenze a úrovně připravenosti a jejich charakteristiky. Definováno bylo celkem 5 dimenzí a 6 úrovní připravenosti.

#### **3.1 Stanovení úrovní připravenosti**

Jakmile je dána hlavní architektura nového modelu, jsou stanoveny úrovně připravenosti. Tyto úrovně poté stanovují skutečnou digitální připravenosti podniku.

Stanoveno bylo 5 úrovní připravenosti + 0. úroveň, tedy celkově 6 úrovní připravenosti. V této fázi se stručnou definicí se jedná o tyto úrovně:

- Úroveň 0 – Procesy nejsou explicitně definovány.
- Úroveň 1 – Certifikované procesní řízení.

- Úroveň 2 – Digitalizovaný sběr dat (z procesů), zavádění automatizace.
- Úroveň 3 – Část procesů je automatizována, napojení na externí zdroj dat.
- Úroveň 4 – Procesy jsou automatizované, s omezeným zásahem člověka.
- Úroveň 5 – Procesy jsou automatizované, člověkem kontrolované.

Stanovené úrovně mají vývoj a už podle stručné definice je představitelné, co daná úroveň znamená.

### 3.2 Stanovení dimenzí a subdimenzí

Interní logistika se zabývá materiálovým tokem a dále se věnuje i doprovodným tokem informací. Interní logistika poměrně široká oblast obsahující několik dalších dílčích oblastí. Proto do modelu připravenosti na koncept Průmyslu 4.0, který bude zaměřen na procesy interní logistiky, je nutné udělat rozdělení do hlavních dimenzí:

- Manipulace s materiálem
- Skladování
- Zásobování
- Balení
- Identifikace materiálu.

Těchto hlavních 5 dimenzí, které byly vybrány pro metodiku jako hlavní činnosti interní logistiky, je dále nutné rozpadnout na subdimenze, neboť dimenze jsou velmi obecné a hodnotit ji jako celou oblast je neefektivní a nevypovídající, záměrem metodiky je detailní hodnocení.

#### a) dimenze manipulace:

Jedná se o proces, kdy dochází k manipulaci a přepravě materiálu. Materiál je přemístěn z jednoho místa na druhé a zároveň je prováděna i informační změna lokace. Stanovené subdimenze:

- Manipulační technika
- Informační zajištění při manipulaci
- Manipulační jednotky

#### b) dimenze skladování

Jedná se o proces skladování materiálu, kde jsou hlavními činnostmi: naložit materiál a uložit na místo, zadat do informačního systému, kde je materiál uložen, způsob vyžádání materiálu ze skladu, fyzické vyndání, připravení k odvozu a opět informační zadání do systému. Stanovené subdimenze:

- Skladovací technologie

- Informační zajištění při skladování
  - Příjem materiálu a expedice
- c) dimenze zásobování

Zde se jedná o způsob zajištění materiálu ve výrobě, tedy mezi pracovišti ve výrobě nebo mezi výrobou a skladem materiálu. Důležitá je používaná technika pro zavážení materiálu (náhodně, intervaly, Milcrun), jakým způsobem je materiál požadován (papírová objednávka, kanban, EDI, elektronický systém, systém prázdných obalů a volných pozic, apod.). Stanovené subdimenze:

- Technika pro zásobování pracovišť
- Způsob závoz materiálu
- Informační zajištění odvolávek materiálu

d) dimenze balení

Balení je dnes velmi zásadním prvkem, který chrání výrobek před poškozením. Obaly jsou z různých materiálů, mají různé funkce (ochrana, prodyšnost, apod.), jiné obaly jsou mezi podniky, jiné mezi podnikem a spotřebitelem. Balit je možné ručně do kartonu s izolepou, je možné využívat různé nástroje a technologie, nebo je proces plně automatizovaný a robotizovaný. Stanovené subdimenze:

- Balicí technologie, způsob balení
- Druhy obalů a obalový materiál
- Environment a obalové hospodářství

e) dimenze identifikace materiálu

Materiál pohybující se v prostoru podniku je nutno identifikovat z důvodů potřeby (rodokmenu) a z důvodu lokace. Jedná se o proces umístění identifikátoru (to začíná přidáním papírového štítku a končí nalepeným čipem) a o proces snímání, načítání a zanášení do systému. Propojené výrobní a skladové systémy musí přesně vědět, kde, kdy a v jakém množství je konkrétní součástka, aby tento moderní přístup k výrobě byl vůbec realizovatelný. Stanovené subdimenze:

- Způsob identifikace
- Informační zajištění a intenzita snímání

Byly vytvořeny vazby mezi jednotlivými úrovněmi a na jejich základě byl vytvořen průnik parametrů dimenze (subdimenze) a úrovně připravenosti. To bylo uděláno s ohledem nejen na současné používané technologie, ale i na předpokládané technologie na základě trendů a vývoje korespondujícím s Průmyslem 4.0



## 4 Diskuze

Model připravenosti pro hodnocení interní logistiky má celkem 5 dimenzí, respektive 14 dílčích subdimenzí. Dá se předpokládat, že těchto 14 subdimenzí dostatečným způsobem pokryje celou interní logistiku a bude tedy model možné nazývat komplexním. V současné době je výzkumným týmem zpracováno všech 14 subdimenzí a aby bylo možné model aplikovat do průmyslové oblasti, je nutné model dále rozvíjet a vyvíjet systém hodnocení.

Výzkum pokračuje tvorbou systému hodnocení. Hodnocení bude provedeno na základě strukturovaného rozhovoru externím auditorem s pracovníky daného podniku. Každá otázka je koncipována tak, aby odpovídala odpovědi pro zařazení od 0 do levelu 5. Respondenti by měli mít základní znalost o pojmech Průmyslu 4.0. Externí konzultace nebo skupinové sezení proto mohou zvýšit reprezentativnost dotazníku a přesnost modelu. Odpovědi pak slouží jako datový vstup pro nástroj pro výpočet a reprezentaci úrovně připravenosti.

Výsledné hodnocení bude vzestupné od nejnižší položky, kterou je subdimenze. Po jejím vyhodnocení je možné získat hodnocení celé dimenze. A z jednotlivých dimenzí je následně provedeno hodnocení celé interní logistiky. Model má hlavně diagnostický charakter a stanovuje současnou úroveň připravenosti, nicméně je možné získat údaje o místech, která jsou tzv. úzkými místy. Cílem by mělo být pro tyto úzká místa zvyšovat úroveň vzestupně. Pokračování výzkumného týmu a další výsledky budou předmětem dalších článků.

## 5 Závěr

Řada firem, i na českém trhu, se pyšní tím, že již naplňují principy Průmyslu 4.0. Ve většině případů jde však pouze o dílčí inovace, které ve spojení s novým pojmem dobře fungují coby marketingový nástroj. Průmysl 4.0 je spíše idea než konkrétní cíl a přechod k modernějším způsobům řízení logistických toků je organický proces. Firmy by měly myslet na to, aby nová technologická zařízení, která pořizují, byla připravena na integraci. V dnešní terminologii hovoříme o kompatibilitě v rámci internetu věcí. V blízké budoucnosti bude důležité propojení všeho se vším a otevřenost. Spojování oblastí, jako je výroba, kvalita, logistika dodavatelů a rozpracovanost výroby, je správnou cestou. Oblast interní logistiky má tedy v rámci konceptu Průmyslu 4.0 velký potenciál a proto se výzkumný tým na průnik těchto dvou oblastí zaměřil a vyvíjí nástroj, který bude hodnotit připravenost podniku na tento koncept. Model by měl mít charakter popisný (deskriptivní), ale také předpisující (preskriptivní), jako mají některé z modelů, které byly analyzovány a porovnávány v rámci literární rešerše. To bylo poměrně významnou fází, protože řada modelů byly inspirací a společné základy se mohly použít pro design nového modelu připravenosti, který ale již hodnotí detailně pouze oblast interní logistiky. Cílem je vytvořit sofistikovaný detailní nástroj pro hodnocení interní logistiky pro průmyslové podniky bez rozdílu jejich velikosti.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] MUHURI, P. K., SHUKLA, A. K., ABRAHAM, A. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. *Engineering applications of artificial intelligence*, 2019, 78, 218-235.
- [2] SARVARI, P. A., USTUNDAG, A., CEVIKCAN, E., KAYA, I., CEBI, S. Technology roadmap for Industry 4.0. In *Industry 4.0: Managing the digital transformation*. 2019, pp. 95-103. Springer, Cham
- [3] KAGERMANN, H., HELBIG, J., HELLINGER, A., and WAHLSTER, W. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry*. 2013. Forschungsunion.
- [4] BOTLÍKOVÁ, M., BOTLÍK, J. Local Extremes of Selected Industry 4.0 Indicators in the European Space – Structure for Autonomous Systems, *Journal of Risk and Financial Management*, 2020, vol. 13, pp. 1-39.
- [5] VAIDYA, S., AMBAD, P., BHOSLE, S. Industry 4.0 – a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 2018, 20, pp. 233-238.
- [6] GUNAL, M. M. (Ed.). *Simulation for Industry 4.0: Past, Present, and Future*. 2019, Springer.
- [7] MAŘÍK, V. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 9788072614400.
- [8] Národní iniciativa Průmysl 4.0. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [online], [cit. 28.1.2020]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [9] WANG, K. Logistics 4.0 Solution - New Challenges and Opportunities, *6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*, Atlantis Press, 2016, pp. 68-74.
- [10] HORENBERG, D. *Applications within Logistics 4.0*, Twente, 2017. Bachelor Thesis. University of Twente, The Faculty of Behavioural, Management and Social sciences
- [11] GALINDO L, *The challenges of logistics 4.0 for the supply chain management and the information technology*, 2016. Master's thesis. Norwegian University of Science and Technology
- [12] GLISTAU E., COELLO MACHADO N. I. Industry 4.0, logistics 4.0 and materials-Chances and solutions. In *Materials Science Forum*, 2018, Vol. 919, pp. 307-314.
- [13] ZOU O., ZHONG R. Y., Automatic Logistics in a Smart Factory using RFID-enabled AGVs. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)* 2018, pp. 822-826.

- [14] *CMMI® for Development, Version 1.3: CMMI-DEV, V1.3* [online]. The Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. 2010 [cit. 1.2.2020]. CMU/SEI-2010-TR-033. Dostupné z: [https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/TechnicalReport/2010\\_005\\_001\\_15287.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalReport/2010_005_001_15287.pdf)
- [15] MUTAFELIJA, B., STROMBERG, H. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Boca Raton: CRC Press, c2009. ISBN 978-1-4200-5283-1.
- [16] PAULK, M. C., CURTIS, B., CHRISSIS, M.B., WEBER, Ch. V., *Capability Maturity ModelSM for Software, Version 1.1* [online]. Version 1.1. Pittsburgh: The Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. 82 s. [cit. 15.2.2020]. CMU/SEI-93-TR-024. Dostupné z: [https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/TechnicalReport/1993\\_005\\_001\\_16211.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalReport/1993_005_001_16211.pdf)
- [17] BRUCKNER, T., *Tvorba informačních systémů: principy, metodiky, architektury*. Praha: Grada, 2012. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-4153-6.
- [18] VIHAROS, Z. J., S. SOÓS, G. NICK, T, VÁRGEDO a R. BEREGLI. Non-comparative, Industry 4.0 Readiness Evaluation for Manufacturing Enterprises. Technical Diagnostics in Cyber-Physical Era [online]. Budapest, 2017 [cit. 1.3.2020]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/7208/6b065f0f5bd54b21a9683694b1a8dd8a5246.pdf>
- [19] BASL, J. Companies on the way to industry 4.0 and their readiness. *Journal of Systems Integration*, 2018, 9, pp. 3-6.
- [20] LICHTBLAU, K., V. STICH, R. BERTENRATH,. *Industrie 4.0 Readiness*. [online]. Aachen, Cologne. 2015 [cit. 3.3.2020]. Dostupné z: [https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie\\_40\\_Readiness\\_Study\\_1529498007918.pdf/0b5fd521-9ee2-2de0-f377-93bdd01ed1c8](https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf/0b5fd521-9ee2-2de0-f377-93bdd01ed1c8)
- [21] CAROLIS, A. D. *A toolkit to guide manufacturing companies towards digitalization* [online]. Milán, 2018 [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: [https://www.alpine-space.eu/projects/smart-space/results/wpt3/smart-space\\_sv7\\_dreamy\\_assessment\\_and\\_testindustria4.0\\_politecnico.pdf](https://www.alpine-space.eu/projects/smart-space/results/wpt3/smart-space_sv7_dreamy_assessment_and_testindustria4.0_politecnico.pdf)
- [22] AGCA, O., GIBSON, J., GODSELL, J., IGNATIUS, J., DAVIES, C. W., XU, O. *An Industry 4 readiness assessment tool*. 2017, University of Warwick, Warwick.
- [23] The Singapore Smart Industry Readiness Index: Catalysing the transformation of manufacturing [online]. Singapore: Singapore Economic Development Board, 2018 [cit. 25.3.2020]. Dostupné z: [https://www.gov.sg/~sgpcmedia/media\\_releases/edb/press\\_release/P-20171113-1/attachment/The%20Singapore%20Smart%20Industry%20Readiness%20Index%20-%20Whitepaper\\_final.pdf](https://www.gov.sg/~sgpcmedia/media_releases/edb/press_release/P-20171113-1/attachment/The%20Singapore%20Smart%20Industry%20Readiness%20Index%20-%20Whitepaper_final.pdf)
- [24] OLEŚKÓW-SZŁAPKA, J., STACHOWIAK, A, The framework of logistics 4.0 maturity model. *International Conference on Intelligent Systems in*

*Production Engineering and Maintenance* 2018, pp. 771-781. Springer, Cham.

- [25] SCHUMACHER, A., EROL, S. SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 2016, 52, pp.161–166.
- [26] COLLI, M., MADSEN, O., BERGER, U., MØLLER, Ch., WAEHRENS, B., BOCKHOLT, M. Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*. 2018. 51. pp. 1347-1352.
- [27] ZELLER, V., HOCKEN, C., STICH, V. Acatech Industrie 4.0 Maturity Index – A Multidimensional Maturity Model. *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 2018, 4.0*, pp. 105–113.
- [28] AKDIL, K., USTUNDAG, A., CEVIKCAN, E. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. *Springer Series in Advanced Manufacturing*, 2018, pp. 61–94.
- [29] LEE, J., JUN, S., CHANG, T. W., PARK, J. A Smartness Assessment Framework for Smart Factories Using Analytic Network Process. *Sustainability*, 2017, 9(5), p. 794.
- [30] KRAJCOVIC, M., GRZNAR, P., FUSKO, M., SKOKAN, R. Intelligent Logistics for Intelligent Production Systems. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 2018, 20(4), pp. 16-23.
- [31] STERNAD, M., LERHER, T., GAJSEK, B. Maturity Levels For Logistics 4.0 Based on Nr w's Industry 4.0 Maturity Model. *Business Logistics in Modern Management*, 2018, 18, pp. 695-708.
- [32] WERNER-LEWANDOWSKA, K., KOSACKA-OLEJNIK, M. *Logistics maturity of the service industry – research results*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. 2019. 63. pp. 233-248.

# Analýza poruch pomocí Power BI

David Ženíšek <sup>1</sup>, Michal Šimon <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[zenisek@kpv.zcu.cz](mailto:zenisek@kpv.zcu.cz)  
[simon@kpv.zcu.cz](mailto:simon@kpv.zcu.cz)

**Anotace:** Tento článek popisuje případovou studii využití nástroje Power BI od Microsoftu k analýze poruch strojů ve výrobě. Článek nejprve představí nástroj Power BI, následně uvede data, která jsou v podniku generována a se kterými se bude pracovat. Nakonec bude představeno řešení, vytvořené v Power BI sloužící k automatizované analýze a reportingu dat.

## 1 Úvod

Podnikové informační systémy jsou komplexní a pro běžného uživatele neflexibilní nástroje, jejichž doprogramování je velmi nákladné. Mnohým uživatelům umožňují pouze generování dat, ve formě .csv či .xlsx, ze kterých si pak sám musí vytvářet analýzy, což může být velmi náročné a čas konzumující. Řešením takových problémů pro mnohé průmyslové podniky může být Power BI, nástroj sloužící k analýze a reportingu dat. Právě na Power BI si v této případové studii představím možnost využití tohoto nástroje na reportingu a analýze poruch strojů ve výrobě.

## 2 Power BI

V oblasti Business Intelligence (BI) dochází v dnešní době ke změnám a inovacím. Objevují se nástroje, se kterými zvládne i běžný uživatel vytvářet a sdílet pokročilé analýzy a vizualizace, bez znalosti programování. A právě jedním takovým nástrojem, kterému se dostává nejlepšího hodnocení, je Power BI. Tento „samoobslužný“ BI nástroj od společnosti Microsoft, umožňuje nahrávat, upravovat a analyzovat data, vytvářet interaktivní reporty a vizualizace a následně je exportovat či sdílet. Že je právě Power BI špičkou v své oblasti potvrzuje fakt, že je společností Gartner oceňován jako nejlepší nástroj v oblasti BI.



Obrázek 1 - Power BI [1]

## 1.1 Prvky Power BI

Power BI se skládá ze tří základních prvků, kterými jsou Windows aplikace Power BI Desktop, online služba Power BI a mobilní aplikace pro Windows, iOS i Android zařízení. Díky těmto třem prvkům je možné jak vytvářet, tak i sdílet vizuály nebo sestavy (tj. kolekce vizuálů). Způsob používání závisí na potřebách jednotlivců, které se odvíjí od jejich pozice ve společnosti, týmu nebo jednotlivých projektech a pracovní náplni. Samotný Microsoft na svých stránkách dělí využití Power BI pro koncového uživatele, návrháře sestav, správce a vývojáře. [1]

## 1.2 Možnosti Power BI

Pomocí Power BI se lze jednoduše připojit k mnoha různým zdrojům dat. Je tedy nepravděpodobné, že by se vámi vybraná data k analýze a následnému zpracování nedala načíst. Mezi často používané zdroje dat se řadí:

- **Soubory** - .excel, .pdf, .csv, .xml, .txt a dalších.
- **Databáze a servery** - SQL, Oracle, SAP, IBM databáze a další.
- **Power Platform** - služby Power BI.
- **Azure** - balíčky služby Azure.
- **Online služby** - Google, Facebook, Twitter, Seznam analytics a další aplikace.
- **Další** - Web a jiné.

Navíc, je možné připojit se staticky, data automaticky pravidelně aktualizovat nebo se připojit živě. [2]

Po nahrání (případně připojení) dat je možné data upravit a očistit pomocí editoru Power Query. Velmi jednoduše zde provádět základní úpravy jako například použití prvního řádku tabulky jako záhlaví, rozdělení a přidání sloupce, nahrazení hodnot nebo změna datového typu. Hravě zde také zvládnete pokročilejší úpravy, jako například sloučení a připojení tabulek, tvorba nového sloupce pomocí funkce a další. V rozšířeném editoru lze pak i vytvářet vlastní kód pro strukturování dat.



Obrázek 2 - Power BI [3]

Vytvořené vizuály jsou interaktivní a vzájemně propojené. Je možné v nich jednoduše filtrovat, třídít dle hierarchie a podobně. Vytvořené sestavy pak můžete jednoduše nahrát na web, sdílet emailem, exportovat do .pdf či Excelu, případně tisknout. Navíc je možné posílat notifikace například při změně KPI pod určitou úroveň.

Využití Power BI nezná mezí. Ať už se jedná o HR, prodej, management či výrobu, Power BI umožňuje sledování zásadních ukazatelů a to i v reálném čase. Lze monitorovat např.:

- využití strojů,
- náklady a zisky,
- účinnost procesů,
- stav zásob,
- ztráty,
- dobu cyklu
- teploty a další.

Power BI tedy není určeno jen pro top management a analýzy obchodu, je vhodné například i pro mistry, kteří potřebují sledovat či vytvářet každodenní reporty zobrazující plnění denních norem.

### 3 Případová studie

Ve studii sledovaném podniku současný stav vypadal tak, že v případě, že pokud nějaký pracovník chtěl vyhodnotit poruchy, musel si ze systému vyexportovat data, která se stáhla ve formátu .xlsx. Uvnitř souboru se pak nachází tabulka, která obsahuje sloupce s informacemi o: ID stroje, Času poruchy, informaci, v jaké směně byla porucha zaznamenána a kým, popis

poruchy, dále pak kdo se poruchou zabýval, kdy ji vyřešil, jak ji vyřešil a podobně. V oddělené tabulce pak byla dodána jména pracovníků a jejich pozice. Jakékoliv analýzy byly prováděny až doposud v excelu a vždy nanovo.

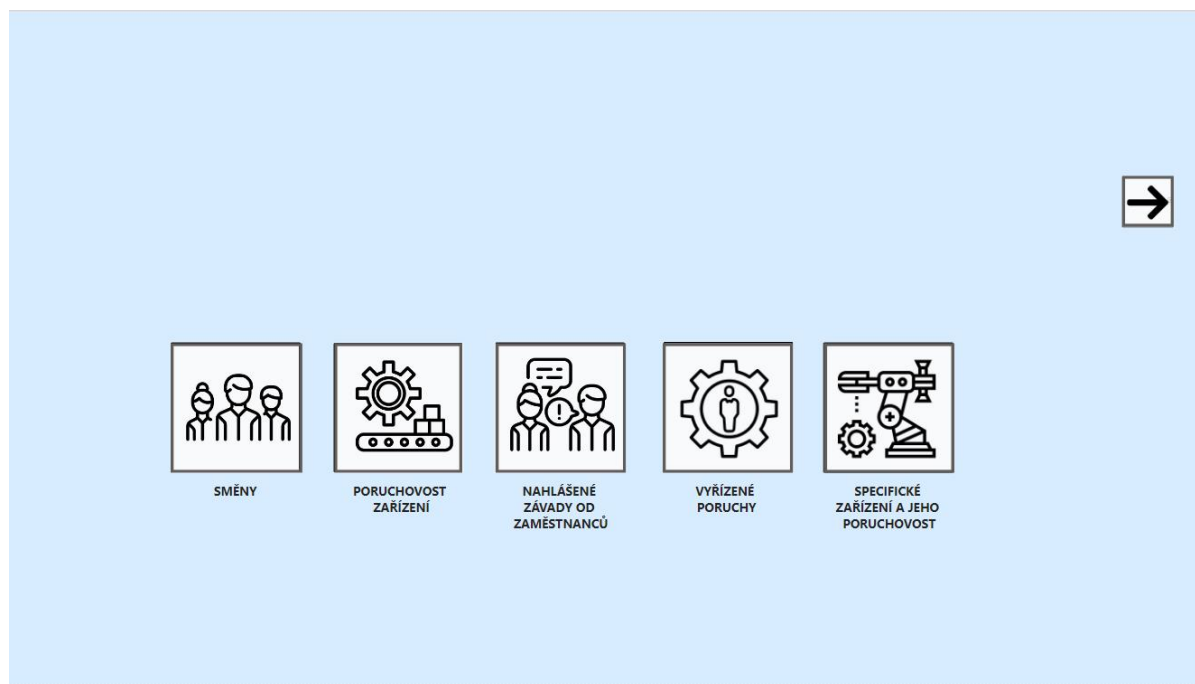
Cílem bylo vytvořit interaktivní nástroj, který umožní po nahrání zdrojového excelu vytvořit analýzy poruch ve směnách, na strojích na zařízeních a podobně.

## Řešení v Power BI

Řešení je vytvořeno tak, že uživatel vezme aktuální soubor vygenerovaný ze systému a nahraje jej do předem definované složky. Power BI si pak do této složky samo automaticky šáhne a vezme nejnovější nahraný soubor. Tento soubor pak zkombinuje s tabulkou, která obsahuje jména a pozice zaměstnanců. Na základě těchto dat se vygenerují automaticky všechny předem definované grafy, průřezy a menu.

Power BI umožňuje také přímé připojení k datům informačního systému, které však již vyžaduje spolupráci s IT oddělením podniku. Vzhledem k tomu, že námi vytvořené řešení mělo být nezávislé, bez konektorů, k IS, a bylo proto vytvořeno pouze v této jednodušší formě. Celá práce na analýzách zabrala cca 8 hodin.

Vytvořené řešení v Power BI přivítá uživatele vstupním menu, pomocí kterého se může zorientovat a vybrat směr, kam se chce podívat. Na výběr má ze: Směny, Poruchovost zařízení, Nahlášené závady od zaměstnanců, Vyřízené poruchy a specifické poruchy zařízení. Při kliknutí na některou z navigačních ikon je uživatel přemístěn na list s příslušnou analýzou. Pojdme se nyní na některé podívat.

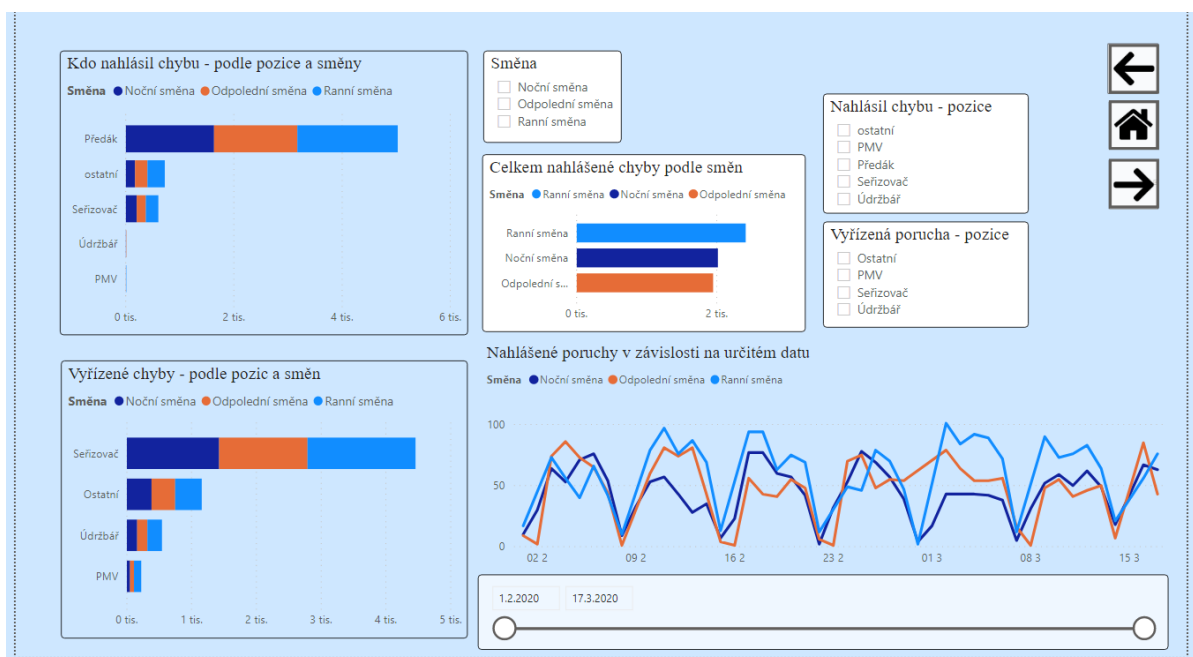


Obrázek 3 - Navigační panel analýzy (Zdroj: vlastní zpracování)



## Směny

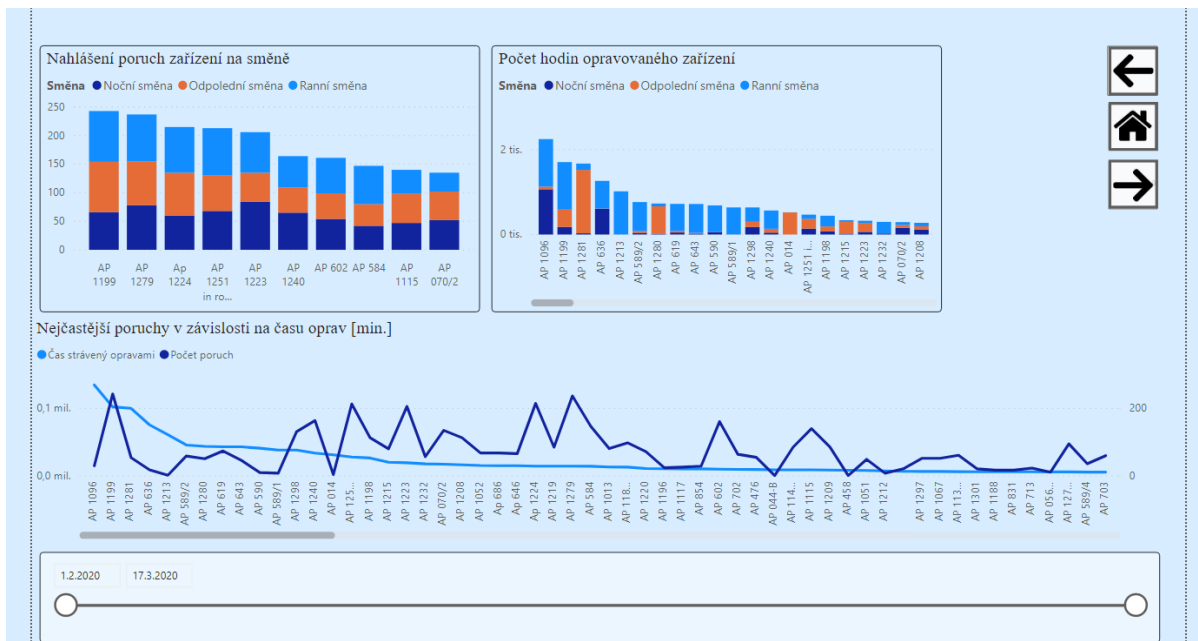
Na kartě „Směny“ uživatel nalezne informace o tom, jak poruchy na strojích vznikají a jsou vyřizovány v průběhu směn. Lze si zde vyfiltrovat jednotlivé směny, pozice a období, ve kterém byly poruchy zaznamenány. V pravém horním rohu je pak navigační panel. Zde stojí zato dodat, že všechny grafy jsou interaktivní a při kliknutí reagují a lze v nich hierarchicky přejít od pozice k jednotlivým zaměstnancům, mající tuto pozici.



Obrázek 4 - Směny (Zdroj: vlastní zpracování)

## Poruchovost zařízení

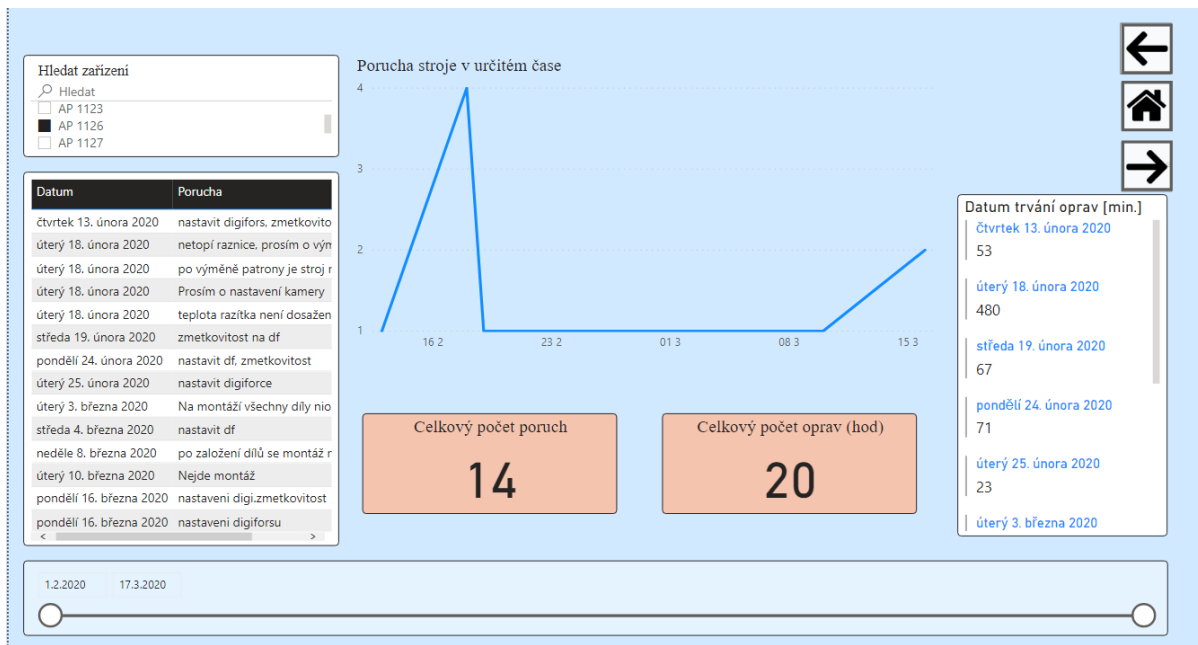
Na kartě „Poruchovost zařízení“ se sledují poruchy ve vztahu k jednotlivým strojům. Grafy sledují počet poruch 10 nejporuchovějších strojů, dále pak počet hodin oprav jednotlivých strojů. V grafu dole je pak srovnání, počet poruch ku času, kdy jsou stroje opravovány. Vše je opět interaktivní a lze vztáhnout ke specifickému období.



Obrázek 5 - Poruchovost zařízení (Zdroj: vlastní zpracování)

### Specifické zařízení a jeho poruchy

V posledním listu, který si zde ukážeme, se zaměstnanec může podívat na poruchovost specifického stroje. Zobrazí si počet poruch, jejich jednotlivé i celkové trvání, datum a jejich popis. Vše je opět interaktivní.



Obrázek 6 - Specifické zařízení a jeho poruchy (Zdroj: vlastní zpracování)

## 4 Závěr

Tento článek se zaměřil na představení možnosti využití Power BI v průmyslovém podniku, a sice pro analýzu poruch strojů ve výrobě. Článek nejprve představil Power BI a následně prezentoval jeho využití na případové studii. Tato studie slouží jako ukázka, jak je možné využít Power BI pro automatizované analýzy a reporting dat získávaných z různých zdrojů. Jednoznačnou výhodou Power BI je jeho interaktivita a atraktivní vizualizace dat, které v Excelu nelze provádět s takovou efektivitou. Lze očekávat, že v blízké budoucnosti najde Power BI uplatnění v mnohých průmyslových podnicích [4].

### Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo projektu je SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

### Použitá literatura

- [1] Dokumentace k Power BI [online] 2020. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/cs-cz/power-bi/>
- [2] Dokumentace k Power BI [online] 2020. Dostupné z: <https://info.microsoft.com/ww-landing-2020-gartner-magic-quadrant-for-analytics-and-business-intelligence.html?LCID=EN-US>
- [3] Dokumentace k Power BI [online] 2020. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/cs-cz/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>
- [4] Power BI for Manufacturing. [online] QGate Software Ltd, 2020 [cit. 5.3.2020]. Dostupné z: <https://www.qgate.co.uk/solutions/ms-power-bi/powerbi-industries/power-bi-manufacturing/>