

## **23. ROČNÍK KONFERENCE INTEGROVANÉ INŽENÝRSTVÍ V ŘÍZENÍ PRŮMYSLOVÝCH PODNIKŮ 2023**

**INTELIGENTNÍ VÝROBNÍ SYSTÉMY A JEJICH MANAGEMENT V DOBĚ  
DIGITALIZACE.**

**10:00 – 17:00**

**STŘEDA 25.10.2023**

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE – ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY  
PODNIKU VE SPOLUPRÁCI S**



Další informace o konferenci na [www.rep.fs.cvut.cz/konference](http://www.rep.fs.cvut.cz/konference)

Editor:	Václav Kalina
Název díla:	Recenzovaný sborník příspěvků z 23. odborné konference z cyklu Integrované inženýrství v řízení průmyslových podniků na téma Inteligentní výrobní systémy a jejich management v době digitalizace
Vydalo:	České vysoké učení technické v Praze
Zpracovala:	Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku
Kontaktní adresa:	Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2
Tel.:	+420 224 355 798 (sekretariát ústavu)
Počet stran:	114
Vydání:	První elektronické

Příspěvky prošly recenzním řízením.

Recenzenti sborníku:

prof. Ing. František Freiberg, CSc. – ČVUT v Praze

doc. Ing. Jan Horejc, Ph.D. – ČVUT v Praze

Ing. Karel Petr, Ph.D. – ČVUT v Praze

Ing. Jan Lhota, Ph.D. – ČVUT v Praze

doc. Ing. Theodor Beran, Ph.D.

Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.

**ISBN 978-80-01-07243-1**

31.10.2023

[www.rep.fs.cvut.cz/konference](http://www.rep.fs.cvut.cz/konference)

## OBSAH

ANALYSIS OF THE FINANCIAL ASPECTS OF THE MEASUREMENTS.....	4
Eliška Cézová	
EXPERIMENTÁLNÍ URČOVÁNÍ TRANSPORTNÍ ÚČINNOSTI SPIRÁLOVÝCH DOPRAVNÍKŮ.....	14
Josef Grill	
VYUŽITÍ LOW-CODE NÁSTROJŮ PRO URYCHLENÍ PODNIKOVÝCH PROCESŮ.....	21
Vojtěch Hlinák, Václav Kalina, Jan Lhota	
AUTOMOTIVE PROJECT IN INDUSTRIAL ORGANIZATION.....	33
Ján Holý	
ZÁKLADNÍ DLOUHODOBÉ PROBLÉMY MANAGEMENTU ČESKÝCH PRŮMYSLOVÝCH PODNIKŮ.....	44
Petr Pergner, Tomáš Polák, Pavel Machala, Jan Horejc	
OPTIMIZING ECONOMIC EFFICIENCY IN INDUSTRIAL MAINTENANCE MANAGEMENT: A COMPREHENSIVE SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW.....	55
Birkan Isik, Miroslav Žilka	
TRVALE UDRŽITELNÁ MODULÁRNÍ KONSTRUKCE DOPRAVNÍCH TRATÍ PŘI RESPEKTOVÁNÍ DĚDIČNOSTI A ZÁSAD TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE.....	69
Antonín Kanaval	
EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA TUHOSTI OZUBENÍ.....	80
Tomáš Karas, Jan Flek	
VELKÉ JAZYKOVÉ MODELY A.I. & KOMUNIKACE S NIMI.....	92
Michal Matějka	
VYUŽITÍ SIMULACE PRO ANALÝZU A NÁVRH OPTIMALIZACE VÝROBNÍCH PROCESŮ.....	101
Václav Michalec, František Truhlář	

## ANALYSIS OF THE FINANCIAL ASPECTS OF THE MEASUREMENTS

*Eliška Cézová*

### Abstract

*This contribution is focused on an example of the practical use of the descriptive statistics in engineering. It was applied to the analysis of the torque required for tightening and loosening the screw connections. Two sizes of threads were considered together with various surface finishes of the nut thread. In addition to the presentation of the experimental results, a detailed economical analysis of the measurements costs is provided.*

**Key words:** 5. coating nut, lubricant nut, pipelines, measurement, total cost

### Introduction

Pipelines can be repaired or connected using a connecting bracket refer to (Cézová, 2017), (Cézová, 2016). The grip force is ensured by a stainless steel screwed joint (screw and nut). From the financial point of view, this solution is more economical than the replacement of the whole pipeline. The use of austenitic stainless steel for connecting parts can however cause some problems, due to higher friction coefficient causing the joint seizure. To improve the friction properties during the assembly, specific types of coatings or dry lubricants were used. All the screws were tightened to an equal torque, by a standardized procedure (see Fig. 1). This process helped to eliminate the stainless steel screw joint seizure. Despite using stainless steel parts, another problem arises due to microbiological corrosion in the ground, so some kind of additional protective cover is necessary. Prior to pipeline use, anti-leak tests are performed in site.



Fig. 1: Tightening of the joints by a torque wrench (Cézová, 2017).

The tested coatings have significantly reduced the friction coefficient in the threaded joint, improved the assembly and also increased the corrosion resistance in the extremely aggressive corrosive environment (due to Sulphur, chlorine or microbiological effects). Some experiments were performed in order to determine the friction in the threaded joints. The measurements of all joints will be very expensive and time-consuming. Therefore the measurements were only performed on an economically reasonably sized sample group. Besides of this, the measurement costs were analyzed.

The tests have confirmed the justification of the replacement of coated nuts by uncoated ones. Moreover the price of the coated parts is about 30% higher than the standard, uncoated ones. Workplace description

The Fig 2. demonstrates the workplace configuration. There is shown a non-rotating attachment of the nut in the test jig, data recording of the applied torque during the tightening a loosening of the screwed joint (measured using the sensor T20WN/ 20 Nm).

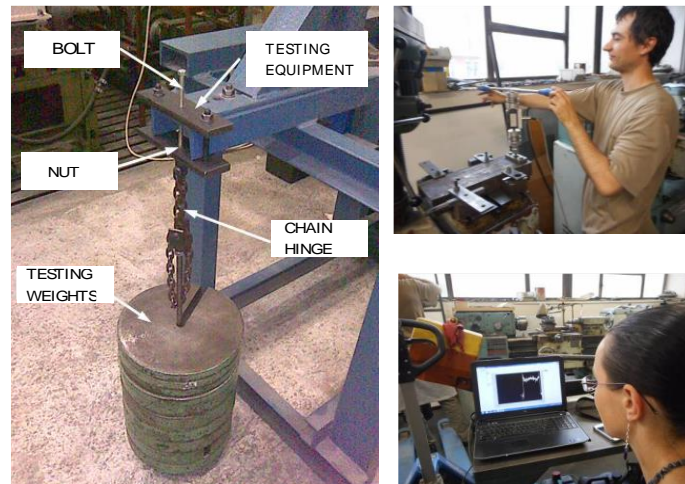


Fig. 2: The workplace configuration (Cézová, 2016).

## 1 Experimental analysis of individual nuts samples - Description of the experimental setup

- Axial force in bolts
- Applied torque
- Type of coating
- The presence of lubricants

Based on the measured data, the following additional quantities are calculated:

- Friction angle of the thread
- Coefficient of friction in the thread
- Friction angle for the tribological pair (combinations of materials, conditions of sliding friction and surfaces)
- Coefficient of friction for the tribological pair (the combination of material conditions of sliding friction and surfaces)

Basic requirements on the data:

- Data format - In order to achieve the desired objective of the work, it was necessary to choose the right format for the experimental data collected during the experiment.
- Data type - The collected data were of quantitative nature.
- Data recording - The data were recorded and stored on a computer, where the graphical outputs were generated from the time-averaged values of measured quantities.

- Data quality - For proper evaluation of the data it was necessary to ensure that data and additional information are reliable, complete and up to date. Experimental data were acquired under controlled conditions, i. e. in a stable (in time) environment.

## 2 Analysis of the measured data

The measured quantities were recorded in time-sequences. The obtained experimental data, were visualized using continuous diagram (line graph), see Fig. 3.

Using such graph it's possible to detect any non-random behavior of the process, for example

- unexpected deviation from the theoretical model values
- data discontinuities/jumps without apparent reason
- singular data values (e.g. extremely high/low values with respect to "normal" values)

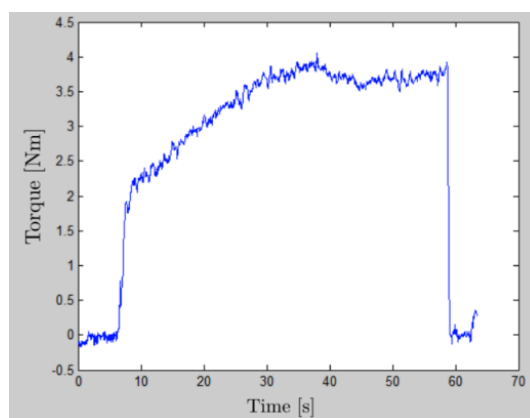


Fig. 3: The line chart for one sampling group

In order to preserve the information value of the acquired data and prevent their irreversible loss, it was necessary to keep storing the data in the original time-series form. The use of these primary data allows to perform the time-series analysis in order to find, and possibly filter out, some of the non-random effects on specific points in the diagram. Thus, it is possible to identify singular measurements and the occurrence of the so-called "nonrandom grouping".

From the measured data it is also possible to deduce various dependencies, unless they are too weak. Based on this fundamental data analysis, the observations can be grouped into classes and displayed in the form of histogram. From its shape it's possible to estimate where the original data came from, i.e. to propose an initial hypothesis on the type of the probability distribution of the considered sample.

If the shape of the histogram is symmetrical with a single peak, one can usually assume a normal distribution. The log-normal or Weibull distribution, comes to play when a non-symmetric histogram shape is observed. Therefore, it is a common practice to use a suitable statistical software.

### 3 Processing of measured data

Data were categorized into groups according to a common selective sorting criterion, in this case it was a classification of used (worn - previously loaded) or unused nuts according to their sizes and different coatings). For one of the selected groups the torque histogram is displayed in the Fig. 6. These histograms were obtained while lifting and lowering the attached weight during measurement process. The most frequent values of the torque were identified and further used to calculate the friction angle of the thread.

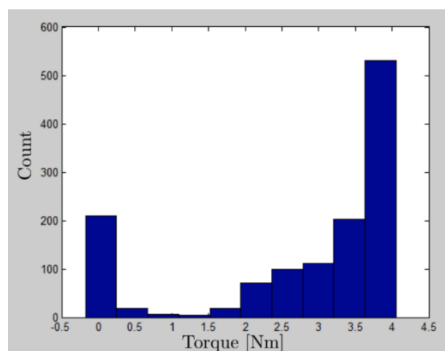


Fig. 4: Histogram of measured values for one sampling group

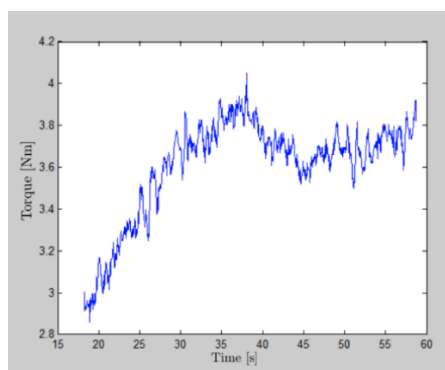


Fig. 5: Measured data adjusted by filtering out the singular values

Due to the design and arrangement of the measuring devices it was not possible to determine the exact start and end of measurement. Therefore, all the values had to be recorded, as shown in Fig. 4. These data were subsequently cleaned of singular values. The resulting data are displayed in the line charts in Fig. 5 and the histogram for the adjusted data is plotted in the Fig. 6.

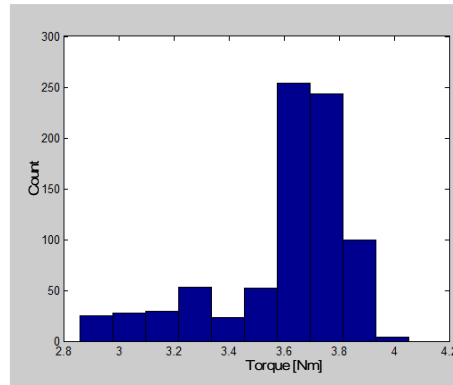


Fig. 6: Histogram of the measured data after adjustment

From these data the sample mean (Form. 1) value and its standard deviation (Form. 2) were calculated using the following formulas:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

The calculated sample mean was further used to evaluate the friction angle (Form. 3) in the thread for the selected subset.

$$\varphi' = \arctan\left(\frac{2 \cdot M_K}{Q_0 \cdot d_2} + \tan \gamma\right) \quad (3)$$

$$M_K = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi' + \gamma) \quad (4)$$

where

$M_K [Nmm]$	=	measured tightening torque on the torque sensor (Form 4.),
$Q_0 [N]$	=	axial preload – the weight heaviness,
$d_2 [mm]$	=	pitch diameter of the thread,
$\gamma [^\circ]$	=	lead (helix) angle of the thread,
$\varphi' [^\circ]$	=	friction angle in the thread

## 4 Cost estimates of individual measurements

### 1. Measuring methodology proposal

In order to ensure the consistency of acquired data, specific measurement methodology had to be designed. This task was quite time consuming, as the appropriate measurement approach had to be chosen to guarantee the desired accuracy and completeness of the data.

Preparation of the draft of the methodology took about 8 hours of time to an experienced assistant professor. During this time it was necessary to propose a set of measurements of various quantities, including appropriate fixtures, measuring tools and instruments required to perform the whole experimental task.

### 2. Preparation of measurement

An assistant professor needed about 8 hours of time to select the right machines to be used for the proposed measurements. Detailed analysis of the assumed experimental work was performed



to ensure that all the necessary equipment and material needed for the measurements will be ready at the time of the realization of the experiments.

3. Manufacturing of the test fixtures

At this stage, two workers have spent 8 hours of time on manufacturing and preparation of the fixtures needed for the measurements.

4. Preparation of the experimental facility and its testing

During this phase, the experimental facility was built and set up. A series of tests was performed to verify the basic functionality of the equipment. A number of control measurements was carried out to ensure that the measured values are in the expected range.

5. The measurement (data capturing)

After the equipment tests, the true measurements have started, lasting about 8 hours, being executed by 3 lecturers (investigators).

6. Results processing (sorting, editing and of data)

After the actual measurement, the acquired data were further processed. This stage included the data sorting, adaptation and transformation to make the data ready for further use. This task was accomplished within about 16 hours, by two lecturers (investigators).

7. Editing the final report

Writing of the final report took about 14 hours of a joint work of two lecturers (investigators). Besides of the time aspect of the experiment preparation and actual measurements, the costs can be broken down to the generic classification of expenses.

## 5 Expenses

1. Consumption of material
2. Production Services
3. Nonproduction services
4. Depreciation
5. Personal Costs
6. Taxes and fees
7. Financial expenses

From this generic costing classification, the material consumption and personal costs are discussed hereafter.

The consumed material included e.g. the laboratory gloves and overalls, cleaning material or DVDs for storing the data. Personal costs include the salaries that can be further quantified according to the time requirements described below.

To determine the measurement costs, the time interval was defined, during the which, the measurement took a place.

Before the start of the actual measurement, the bolted joints have to be prepared at the trial stand. These activities took about 90 minutes. The preparatory phase of the measurements also included the following activities: preparation of recording sheets (measurement tables), preparation of weights for given measurement, etc. To ensure the accuracy of the measurements, the torque sensor had to be

calibrated in a time-frame of 5 minutes. Since two sizes of matrices were measured, the time for their exchange (about 5 minutes) has to be considered as well.

The actual measurements lasted one days, 8 hours per day. This time included the preparatory phase, sensor calibration and instruments cleaning after the measurement. They were evaluated in two sizes, M12 and M16. In the second part of measurements, it was possible to determine the damage of the coating of various matrices.

The total costs of the measurements and related activities are summarized in Table 1. (without workplace overhead costs).

Tab. 1: The overall costs of measurements and related activities

Break stadium	Time interval [hour]	CZK/hour	Body count	Total costs [CZK]
Measuring methodology proposal	8	1 000,-	1	8 000,-
Preparation of measurement	8	1 000,-	1	8 000,-
Manufacturing of the test fixtures	8	1 000,-	2	16 000,-
Preparation of the experimental facility and its testing	1	1 000,-	3	3 000,-
The measurement (data capturing)	8	1 000,-	3	24 000,-
Results processing (sorting, editing and of data)	16	1 000,-	2	32 000,-
Editing the final report	14	1 000,-	2	28 000,-
<b>Sum (Complete costs)</b>				<b>119 000,-</b>

An automated script Python and LaTeX was used for further measurements. The time to process the results has been reduced and thus the costs have been shortened in table 2. For more information, see (Cézová, 2022).

Tab. 2: The overall costs of measurements and related activities

Break stadium	Time interval [hour]	CZK/hour	Body count	Total costs [CZK]
Measuring methodology proposal	8	1 000,-	1	8 000,-
Preparation of measurement	8	1 000,-	1	8 000,-
Preparation of the experimental facility and its testing	1	1 000,-	3	3 000,-
The measurement (data capturing)	8	1 000,-	3	24 000,-
Results processing (sorting, editing and of data)	3	1 000,-	1	3 000,-
Editing the final report	3	1 000,-	1	3 000,-
<b>Sum (Complete costs)</b>				<b>49 000,-</b>

## Conclusion

According to the theory, the torque should increase linearly depending on the axial force of the bolt, considering the constant friction coefficients in the thread (see equation (3)), (Cézová,2017), (Cézová, 2016), (Cézová, 2018).

In our case, the coefficient of friction in the thread changes with the load (see figures 7, 8, 9), (Cézová, 2018). This is probably due to a inconsistent quality of the surface of the thread, abrasion of the applied coating and a non-uniform speed of nuts tightening during (manual assembly).The best is the case in which the measured torque achieves its lowest value. Less energy is consumed to overcome the friction in the thread during the tightening. The assembly is easier and at the same time a higher axial pretension is achieved in the screw joint, thus the connecting bracket provides the maximum sealing capability.

It can be shown that this approach leads to significant time savings during repetitious measurements and to important financial savings due to use made by using free software tools. Compared to classic non-automated processing, the automated approach brings higher efficiency in the case of repetitious processing. Therefore, we will save 70,000,- CZK for measurements in the given case, (Cézová, 2022).

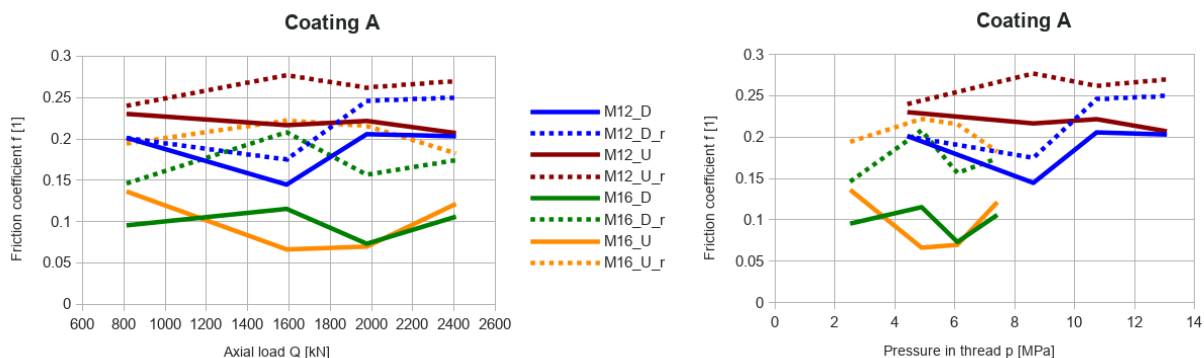


Fig. 7: Friction dependence on axial load and pressure in the thread for coating A (Cézová, 2018).

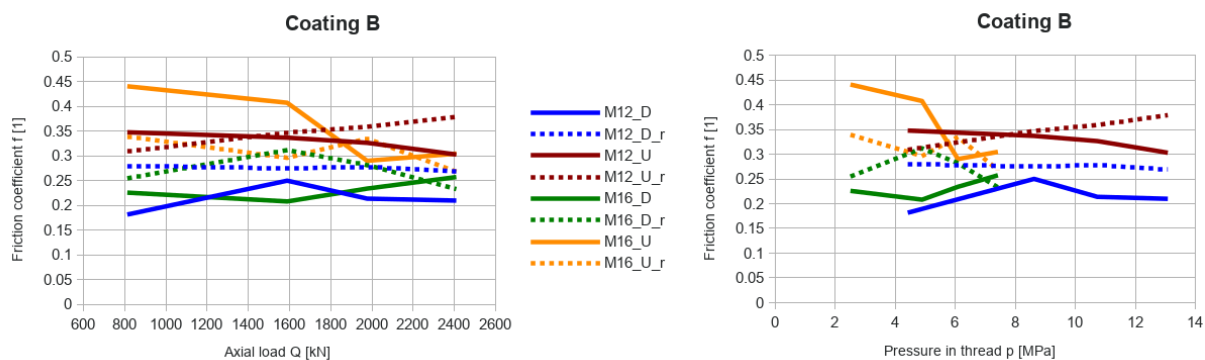


Fig. 8: Friction dependence on axial load and pressure in the thread for coating B (Cézová, 2018).

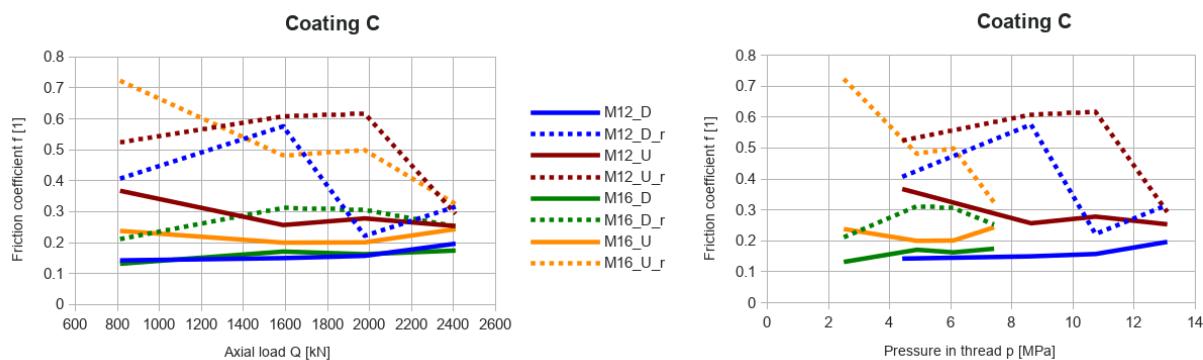


Fig. 9: Friction dependence on axial load and pressure in the thread for coating C (Cézová, 2018).

## References

1. CÉZOVÁ, Eliška; KANAVAL, Jan; STARÝ, František. Remark on repairing of broken pipelines. EAN 2017 – 55th Conference on Experimental Stress Analysis 2017. Košice: Technical University of Kosice 2017. p. 107-114. ISBN 9788055331676.
2. CÉZOVÁ, Eliška; KANAVAL, Jan; STARÝ, František: Screw connections complex analysis in the application of advanced coatings and lubricants, 57th International Conference of Machine Design Departments, Book of Proceedings, ISBN 978-80-261-0609-8, September 2016, page 490
3. CÉZOVÁ, Eliška; KANAVAL, Jan: Experimental investigation of friction relations in threaded joints. EAN 2018, 56th conference on experimental stress analysis, Conference Proceedings. p. 31-35. ISBN 978-80-4062-9
4. CÉZOVÁ, Eliška: Automated processing of experimental data and reports using free software. 62nd International Conference of Machine Design Departments, in printer 2022.

## Kontaktní údaje o autorech

Jméno: Ing. Eliška Cézová, Ph.D.

Pracoviště: Ústav konstruování a částí strojů

Adresa: Technická 4, Praha 6

Telefonní číslo: +420-22435-2408

E-mail: eliska.cezova@fs.cvut.cz

## EXPERIMENTÁLNÍ URČOVÁNÍ TRANSPORTNÍ ÚČINNOSTI SPIRÁLOVÝCH DOPRAVNÍKŮ

### EXPERIMENTAL MEASURING OF SPIRAL CONVEYORS TRANSPORT EFFICIENCY

*Ing. Josef Grill*

#### Abstrakt

Článek představuje úvahy o definici transportní účinnosti dopravníků. Transportní účinnost dopravníku je v praxi hodnocena objemovým dopravním výkonem. Pro potřeby měření transportní účinnosti spirálového dopravníku je nutné zavést definici, která vyjádří poměr potřebného výkonu oproti přivedenému výkonu z měřitelných veličin.

**Klíčová slova:** šnekový dopravník, experimentální, bezosý, definice, účinnost

#### Abstract

*This paper presents considerations (discussions) on the definition of transport efficiency of conveyors. The conveyor transport efficiency is in practice evaluated by the volumetric transport performance. For the purpose of measuring the transport efficiency of a spiral conveyor, it is necessary to introduce a definition that expresses the ratio of the required power versus the delivered power from the measurable variables.*

**Key words:** screw conveyor, experimental, shaftless, definition, efficiency

#### Úvod

Šnekové dopravníky se používají pro dopravu sypkých látek ve vodorovném, mírně zdviženém a svislém směru. Výhodou těchto dopravníků je jednoduchá konstrukce a možnosti dopravy různého materiálu. Nevýhodou je pak značné opotřebení pracovních částí, vysoké nároky na energii při nízké účinnosti dopravy a určitých případech může nastat drcení materiálu. I přes tyto nevýhody jsou šnekové dopravníky hojně používány a jsou dopodrobna popsány v odborné literatuře. [1], [2], [3]

Spirálové dopravníky jsou nejnovějším druhem šnekových dopravníků, které přestože nabízí největší využití, jsou nejméně zdokumentované a neexistují pro ně normy ani literatura. Spirálové provedení umožňuje díky absenci středové hřídele dopravu lepivých nebo značně hrubších materiálů. Právě kvůli nepřítomnosti spirály nastává otázka, jaká bude účinnost dopravníku při měnícím se náklonu dopravy a jak se bude lišit od šnekového dopravníku o stejném průměru.

## 1 Úvahy o definici transportní účinnosti

Účinnost dopravníků se hodnotí podle jejich objemového dopravního výkonu [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ].[2] Definice účinnosti podle Rov.1 se u dopravníků nepoužívá, jelikož je velice složité měřitelné veličiny vztáhnout k odebranému výkonu.

$$\eta = \frac{P_{od}}{P_{př}}, \quad (1)$$

kde  $P_{od}$  = odvedený výkon  
 $P_{př}$  = přivedený výkon (příkon)  
 $\eta$  = účinnost

Z tohoto důvodu vznikly čtyři úvahy, jak definovat transportní účinnost ve vztahu k výkonu. Tyto úvahy vychází z možností, které umožňuje konstrukce stanoviště. Jak bude vysvětleno v kapitole 0, v tomto konstrukčním uspořádání jsou měřitelné parametry pouze otáčky a náklon dopravníku. Měřené veličiny budou:

- Otáčky [ $ot \cdot min^{-1}$ ]
- Krouticí moment [ $N \cdot m$ ]
- Úhel náklonu dopravníku [ $^\circ$ ]

Příčemž úhel náklonu je parametr, pro který zjišťujeme transportní účinnost. Cílem úvah je vyjádřit kolik výkonu bylo spotřebováno pro transport materiálu určité hmotnosti po dané dráze za určitou dobu.

### 1.1 Úvaha se zanedbáním úhlu náklonu

První úvaha neuvažuje vliv úhlu náklonu na velikost odvedeného výkonu. Úhel náklonu je parametrem, v jehož rozsahu měříme transportní účinnost. Odvedený výkon je v Rov. 2 roven tíze materiálu v délce dopravníku za čas.

$$\eta = \frac{P_{OD}}{P_{PŘ}} = \frac{m \cdot g \cdot l}{\frac{M \cdot \pi \cdot n}{30}}, \quad (2)$$

kde  $P_{od}$  = odvedený výkon  
 $P_{př}$  = přivedený výkon (příkon)  
 $\eta$  = účinnost  
 $M$  = Moment motoru  
 $n$  = otáčky motoru  
 $m$  = hmotnost materiálu  
 $g$  = tíhové zrychlení  
 $l$  = délka dopravníku  
 $t$  = čas běhu dopravníku

## 1.2 Úvaha s využitím úhlu náklonu

Uvažujeme, že odvedený výkon je opět roven složce tíhy materiálu působící rovnoběžné k ose dopravníku v celé délce dopravníku za čas. Velikost odvedeného výkonu je ovlivněna úhlem náklonu. V případě náklonu  $0^\circ$  by v Rov. 3 vyšla nulová účinnost. Jedná se o okrajový případ, který je reálně nemožný a nemůže nastat. Musíme tedy zavést smluvní hodnotu účinnosti a měření bude sledovat změnu účinnosti při různém náklonu.

$$\eta = \frac{P_{OD}}{P_{PŘ}} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \frac{l}{t}}{\frac{M \cdot \pi \cdot n}{30}}, \quad (3)$$

kde  $P_{od}$  = odvedený výkon  
 $P_{př}$  = přivedený výkon (příkon)  
 $\eta$  = účinnost  
 $M$  = Moment motoru  
 $n$  = otáčky motoru  
 $m$  = hmotnost materiálu  
 $g$  = tíhové zrychlení  
 $\alpha$  = úhel náklonu  
 $l$  = délka dopravníku  
 $t$  = čas běhu dopravníku

## 1.3 Úvaha s efektivním výkonem a využitím úhlu náklonu

Tato úvaha počítá s efektivním výkonem, který se vypočítá z rozdílu přivedeného výkonu a odvedeného dle Rov. 4. Odvedený výkon odpovídá složce tíhy materiálu působící rovnoběžné k ose dopravníku v celé délce dopravníku za čas. Úvaha uvažuje úhel náklonu, který ovlivňuje velikost odvedeného výkonu. Za tohoto předpokladu dojde při náklonu  $0^\circ$  ke 100% účinnosti. Tento výsledek je v praxi opět nemožný a jedná se pouze o teoretickou hodnotu, kdy se znovu musí zavést smluvní hodnota účinnosti. Předpokládáme, že v této poloze bude účinnost maximální a se zvyšujícím se náklonem bude jen klesat. Výslednou účinnost pro daný úhel určíme podílem efektivního výkonu a přivedeného výkonu.

$$\eta = \frac{P_{EF}}{P_{PŘ}} = \frac{P_{PŘ} - P_{OD}}{P_{PŘ}} = \frac{\frac{M \cdot \pi \cdot n}{30} - m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \frac{l}{t}}{\frac{M \cdot \pi \cdot n}{30}}, \quad (4)$$

kde  $P_{od}$  = odvedený výkon  
 $P_{př}$  = přivedený výkon (příkon)  
 $\eta$  = účinnost  
 $P_{EF}$  = efektivní výkon  
 $M$  = Moment motoru  
 $n$  = otáčky motoru  
 $m$  = hmotnost materiálu  
 $g$  = tíhové zrychlení  
 $\alpha$  = úhel náklonu  
 $l$  = délka dopravníku  
 $t$  = čas běhu dopravníku



## 1.4 Úvaha s odvozením pomocí potenciální energie

Poslední úvaha využívá vztahu pro potenciální energii. Materiál známého množství je nasypán do válce nad sání dopravníku. V čase nula (počátku) je známá výška sloupce materiálu, a tedy i jeho hmotnost. Dopravník je pak zastaven v čase  $t$  a ve válci se znovu odměří výška materiálu a hmotnost. Rozdíl výšky je pak podle Rov. 5 roven odvedenému výkonu, který byl potřeba pro přesun materiálu po dráze dopravníku za čas.

$$\eta = \frac{P_{OD}}{P_{PŘ}} = \frac{h \cdot g \cdot \frac{m}{t}}{\frac{M \cdot \pi \cdot n}{30}} = \frac{m_0 g h_0 - m_t g h_t}{P_{PŘ} t}, \quad (5)$$

kde  $P_{od}$  = odvedený výkon  
 $P_{př}$  = přivedený výkon (příkon)  
 $\eta$  = účinnost  
 $P_{EF}$  = efektivní výkon  
 $M$  = Moment motoru  
 $n$  = otáčky motoru  
 $m_0$  = hmotnost materiálu v čase nula (počátku)  
 $h_0$  = výška sloupce materiálu v čase nula (počátku)  
 $g$  = tíhové zrychlení  
 $\alpha$  = úhel náklonu  
 $l$  = délka dopravníku  
 $t$  = čas běhu dopravníku  
 $m_t$  = hmotnost materiálu v čase  $t$   
 $h_t$  = výška sloupce materiálu v čase  $t$

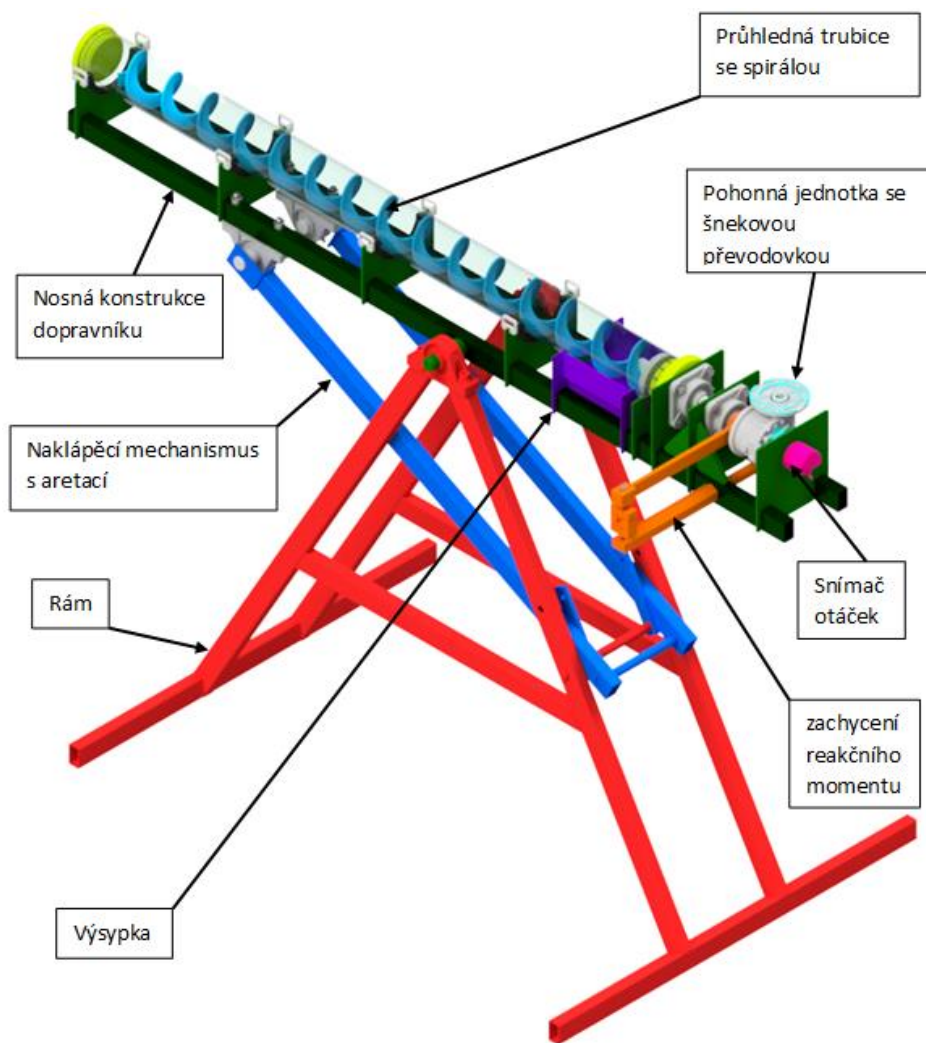
## 2 Konstrukce stanoviště pro měření transportní účinnosti

Pro potřeby experimentu na zjištění transportních účinností bylo v rámci diplomové práce [5] představeno experimentální stanoviště viz. Obr. 1, na kterém bude měření probíhat. Za předpokladu, že se ve stejném dopravníku dopravuje jeden druh materiálu o konstantní vlhkosti a teplotě, je možné říct, že všechny vstupní parametry týkající se materiálu budou konstantní. Konstrukční vlastnosti dopravníku budou taktéž neměnitelné a pro měření bude použita jedna spirála, z těchto důvodů budou jediné měnitelné parametry otáčky a úhel náklonu dopravníku. V konstrukci jsou použita čidla:

- Čidlo pro detekci krouticího momentu na spirále dopravníku [4]
- Otáčkoměr pro snímání otáček spirály dopravníku
- Inklinometr pro usnadnění nastavení sklonu dopravníku

Při výzkumu toku materiálu dopravníku bude využito navíc ještě přístrojové techniky:

- Kamera pro snímání pohybu částic materiálu při jejich průchodu dopravní cestou
- Teploměry a termokamera pro snímání oteplení komponent dopravníku a materiálu a určení pracovní teploty v okolí dopravníku
- Frekvenční měnič pro řízení elektromotoru pohonné jednotky
- Vlhkoměr pro určování vlhkosti přepravovaného materiálu.



Obr. 1: experimentální stanoviště

### 3 Protokol měření

Měření bude vycházet z jednosměrného transportu zvoleného materiálu dopravníkem, při sledování výše uvedených veličin. Měření bude opakováno pro každé zvolené nastavení několikrát pro získání reprezentativních hodnot. Nastavované veličiny: materiál, sklon dopravníku, odebíraný výkon na pohonné jednotce (krouticí moment na hřídeli spirály), otáčky, měřené veličiny množství přepraveného materiálu za čas. Odečítání dat bude probíhat v ustáleném provozu dopravníku, rozběh a doběh dopravníku bude z měření vyloučen. Pro zajištění výpovědní hodnoty dat bude použita vzorkovací frekvence senzorky odvozená z nastavených otáček spirály, a to tak aby každá otáčka byla pokryta alespoň 20 odečty. Zjištěná data budou uplatňována přímo pro stavení dopravní účinnosti dopravníku podle některého z navržených vztahů. Výsledná účinnost pro každý zvolený materiál a testované nastavení dopravníku bude stanovena aritmetickým průměrem a hodnot získaných výše popsaným způsobem.

## Diskuze

Výzkum je ve fázi budování experimentálního stanoviště, které může být podrobena konstrukčním změnám dle potřeb výzkumu nebo nově vyskytnutých problémů. Cílem je konstrukci přizpůsobit co nejlépe k provedení experimentu.

Představené úvahy jsou prvotním pokusem o definici transportní účinnosti a přistupují k problému z různých hledisek. Úvahy jsou podmětem k diskusi o jejich použití a platnosti. V rámci porovnání výsledků je možné využít všech úvah a výsledky porovnat. V tuto chvíli není úplně možné předpovídat chování uvedených úvah při měření. Většina autorů hodnotí dopravní účinnost výhradně přímo prostřednictvím přepraveného množství za čas (např.: [6], [7], [8], [9], [10], [11])

## Závěr

Navržený výzkum přináší nový pohled na definice dopravní účinnosti dopravníku s respektováním fyzikálního významu této veličiny a tím umožní získat objektivní hledisko pro posouzení vhodnosti různých typů dopravníku pro různé účely a provozní podmínky. Současně bude možné na tento výzkum dále navazovat například detailním studiem toku materiálu dopravní cestou a objevovat tak další souvislosti, které mohou s celkovou transportní účinností dopravníku souviset.

Tato práce byla podpořena grantem SGS22/101/OHK2/2T/12

## Prameny

1. DRAŽAN, František a Karel JEŘÁBEK. Manipulace s materiálem. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1979. Česká matice technická.
2. DRAŽAN, František. Teorie a stavba dopravníků. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1983.
3. GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického, 1988.
4. VLK, Miloš. Experimentální mechanika [online]. Brno, 2003 [cit. 2023-08-12]. Dostupné z: [http://ean2011.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni\\_mechanika.pdf](http://ean2011.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni_mechanika.pdf)
5. GRILL, Josef. *Experimentální stanoviště pro měření transportní účinnosti spirálových dopravníků*. Online, Diplomová práce, vedoucí Ing. František Lopot Ph.D. Praha: České vysoké učení technické v Praze. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/111304>. [cit. 2023-10-08].
6. Alan W. Roberts. DESIGN CONSIDERATIONS AND PERFORMANCE EVALUATION OF SCREW CONVEYORS. In: saimh.co.za [online]. The University of Newcastle, Australia. [vid. 2. 10. 2020]. Dostupné z: <https://login.totalweblite.com/Clients/doublearrow/beltcon%202001/14.design%20considerations%20and%20performance%20evaluation%20of%20screw%20conveyors.pdf>
7. Krause, F. & Minkin, A. (2005). Research on shaftless screw conveyors. 25. 92-100.
8. Krause, F. & Minkin, A. (2005). Theoretical and experimental study of horizontal and slightly inclined shaftless screw conveyors - Part 1. 25. 172-178.
9. Krause, F. & Minkin, A. (2005). Theoretical and experimental study of horizontal and slightly inclined shaftless screw conveyors - Part 2. 25. 226-233.
10. Peart RM, McKenzie BA, Herum FL. Dimensional Standards and Performance-Test Procedures for Screw Conveyors. Transactions of the ASAE 1967;10(5):667-669.
11. Carleton A, Miles J, Valentin, F. A Study of Factors Affecting the Performance of Screw Conveyors and Feeders. Transactions of the ASME 1969;91:329-334.

## Kontaktní údaje o autorech

Ing. Josef Grill

České Vysoké Učení Technické v Praze, Fakulta strojní, ústav konstruování a částí strojů

Technická 1902/4, 160 00 Praha 6

737466975

Josef.grill@fs.cvut.cz

# VYUŽITÍ LOW-CODE NÁSTROJŮ PRO URYCHLENÍ PODNIKOVÝCH PROCESŮ

## USE OF LOW-CODE TOOLS FOR SPEED UP BUSINESS PROCESSES

*Vojtěch Hlinák, Václav Kalina, Jan Lhota*

### Abstrakt

*Tento článek se zaměřuje na představení pojmu digitalizace, včetně jeho příležitostí a rizik, které s sebou přináší. Dále poskytuje přehled o současných low-code platformách, které se na trhu nachází, a to včetně porovnání tří nejlepších dle Gartnerova magického kvadrantu z roku 2022. Součástí tohoto příspěvku je také případová studie z roku 2023. Ta je zaměřená na zavedení digitalizace faktur a tvorbu nástroje Power Apps ve vybraném podniku. Tento nástroj byl vytvořen za účelem urychlení procesu nahrávání dat do databáze. Součástí případové studie je také závěrečné hodnocení celého projektu.*

**Klíčová slova:** low-code, Power Apps, digitalizace, správa dat, Gartnerův magický kvadrant

### Abstract

*This article focuses on introducing the concept of digitization, including its opportunities and the risks it brings. It also provides an overview of the current low—code platforms available on the market, including a comparison of the top three according to Gartner’s Magic Quadrant of 2022. This paper also includes a case study from 2023. This focuses on the implementation of invoice digitization and the creation of a Power Apps tool in a selected company. This tool was created to speed up the process of uploading data to the database. The case study also includes a final review of the project.*

**Key words:** low-code, Power Apps, digitization, data management, Gartner’s Magic Quadrant

### Úvod

Digitalizace je tématem, které se v posledních letech neustále probírá. V průmyslových podnicích má velký potenciál pro zlepšení efektivity, produktivity a konkurenceschopnosti. Je však potřeba neopomenout také rizika, která digitalizace přináší. Důležité je také provést tento proces co nejefektivněji a co nejrychleji. K urychlení tohoto procesu může výrazně pomoci zapojení low-code platform. Před implementací některé z platform je důležitá rešerše a výběr nejvhodnější varianty. Při výběru může podnikům pomoci průzkum trhu, který každoročně provádí společnost Gartner v mnoha oblastech. Tento průzkum se nazývá Gartnerův magický kvadrant, ve kterém jsou platformy umístěny do grafu podle toho, jakou mají vizi a jak jsou schopni ji plnit.

Součástí této publikace je také případová studie, která je zaměřena na zavedení digitalizace faktur a tvorbu nástroje Power Apps ve vybraném podniku. Hlavním cílem tohoto článku je ukázat čtenářům možnosti, které přináší využití low-code platform za účelem urychlení podnikových procesů.

## 1 Digitalizace

Digitalizace je proces převodu analogových dat do digitální podoby. Využívá digitálních technologií, jako jsou internet, mikrosnímače, rychlé přenosové sítě, velká datová úložiště a pokročilé automatizace a robotizace. Tyto technologie jsou vzájemně propojeny v kyberprostoru a zabezpečeny proti únikům a kyberútokům. (Veber, 2018)

Základním principem digitalizace je zachycení reality (dat, obrázku, zvuku atd.) digitálně (posloupností číselných údajů), nikoliv analogovými prostředky (klasická fotografie, film, ruční zápis atd.). Východiskem digitalizace jsou data, která vznikají při využívání různých výrobků, výrobních zařízení a celých logistických, výrobních a dalších systémů. (Veber, 2018)

Formování digitalizace není samoučelný proces. Hlavním cílem je nalezení způsobu zachycení, uchování a výběru vhodných dat, která budou následně analyzována a vyhodnocována. Digitalizace má významný dopad na společnost, ekonomiku a život lidí. Zjednodušuje mnoho procesů, umožňuje komunikaci a spolupráci na dálku, vytvářejí nové produkty a mění způsob, jakým se učíme, pracujeme a žijeme.

Rozvoj digitalizace však přináší také velké množství rizik, na které musí reagovat jak podniky, tak státní orgány. Jedná se především o následující oblasti:

- kybernetická bezpečnost a ochrana dat,
- podpora projektů zaměřených na digitalizaci,
- přenositelnost dat a usnadnění digitálních interakcí,
- vývoj a investice do oblasti vzdělávání. (Bokšová, 2019)

V současnosti má digitalizace především dva hlavní cíle. Prvním z nich je ušetření provozních nákladů a druhým je možnost tvorby nových produktů a služeb, které zákazníci zaujmou a nahradí zájem o tradiční produkci. (Veber, 2018)

Proces digitalizace je potřeba zavádět také ve státní správě jednotlivých zemí světa. K úspěšnému zavedení je důležité upřednostnit cílového uživatele, tedy vytvořit intuitivní a uživatelsky přívětivé uživatelské rozhraní, které bude integrováno napříč co nejvíce státními institucemi. Mezi hlavní přínosy digitalizace veřejných služeb náleží

- efektivnější boj proti podvodníkům,
- efektivnější výběr daní,
- přesnější alokace sociální pomoci a dávek,
- snazší přístup k datům,
- snížení administrativních nákladů mezi státem a občanem o 15 až 20 %. (Bokšová, 2019)

### 1.1 Příležitosti digitalizace

Proces digitalizace poskytuje velké množství příležitostí, a to nejen pro jednotlivce a podniky, ale i pro celou společnost. Mezi konkrétní příležitosti, které digitalizace nabízí, patří především větší flexibilita, rychlost a zjednodušení jednotlivých procesů v porovnání s tradičními manuálními postupy. Digitalizace přináší také velké množství ekonomických výhod, které se dají měřit například pomocí ukazatele hrubého domácího produktu nebo metody hodnocení investic. (Veber, 2018)

## 1.2 Rizika digitalizace

Kromě příležitostí však digitalizace přináší také spoustu rizik, a to především v oblastech

- bezpečnosti,
- dopadů na pracovní trh,
- dopadů na vzdělávání,
- právního rámce. (Veber, 2018)

S rozvojem digitalizace dochází také k nárůstu počtu podvodů a úniků dat, ke kterým kvůli zavádění digitalizace dochází. Jedná se o útoky a podvody jak na státní podniky, tak i na soukromé podnikatele, firmy a občany. (Veber, 2018)

Velmi pravděpodobně se v budoucnosti digitalizace podepíše také pod změny na trhu práce. Názory na to, jakým způsobem a jak rychle tato změna proběhne, se liší. Mezi nejvíce ohrožené pracovní pozice patří méně kvalifikované rutinní práce v průmyslu, které budou nahrazeny zavedením automatizace a robotizace a administrativní pracovníci. Za stabilní lze považovat technické profese (zejména vývoj a design). Naopak nárůst se očekává v oblasti informačních technologií. (Veber, 2018)

V současnosti dochází také k rozvoji umělé inteligence, která bude mít také vliv na situaci na trhu práce. Spojení digitalizace a využívání umělé inteligence nabízí velké množství příležitostí k rozvoji nejen jednotlivých podniků, ale i společnosti jako celku. Do kterých oblastí však zasáhnou tyto technologie nejvíce, ukáže až čas.

## 2 Současné low-code nástroje

Mezi low-code nástroje se řadí software, který umožňuje uživatelům vytvářet aplikace s minimální potřebou klasického kódování. Tento typ softwaru nabízí přívětivé a přehledné uživatelské rozhraní a předpřipravené komponenty, jež lze intuitivně využít k tvorbě vlastních aplikací. (Pajorska, 2023)

S rozvojem digitalizace se staly platformy pro vývoj low-code nástrojů důležitým prostředkem, který přináší možnost rychlého vývoje nových aplikací, a to i pro pracovníky bez tradičních programátorských znalostí. Tyto platformy dávají možnost všem podnikům se lépe adaptovat, udržovat konkurenceschopnost a dosahovat úspěchů. (Microsoft, 2023c)

Tento způsob vývoje aplikací přináší pro podniky finanční úsporu, a to především z důvodu, že pro tvorbu aplikací není potřeba zaměstnávat nebo využívat služeb několika programátorů. Tyto aplikace přináší také další výhody, jelikož mohou velmi usnadnit a zrychlit procesy, které by museli zaměstnanci provádět ručně.

Na trhu se nachází stále více různých společností, které low-code nástroje vyvíjí. Začíná být tedy poměrně složité si vybrat ten správný nástroj, který bude vyhovovat konkrétním potřebám jednotlivých společností. Při rozhodování může podnikům pomoci Gartnerův magický kvadrant.

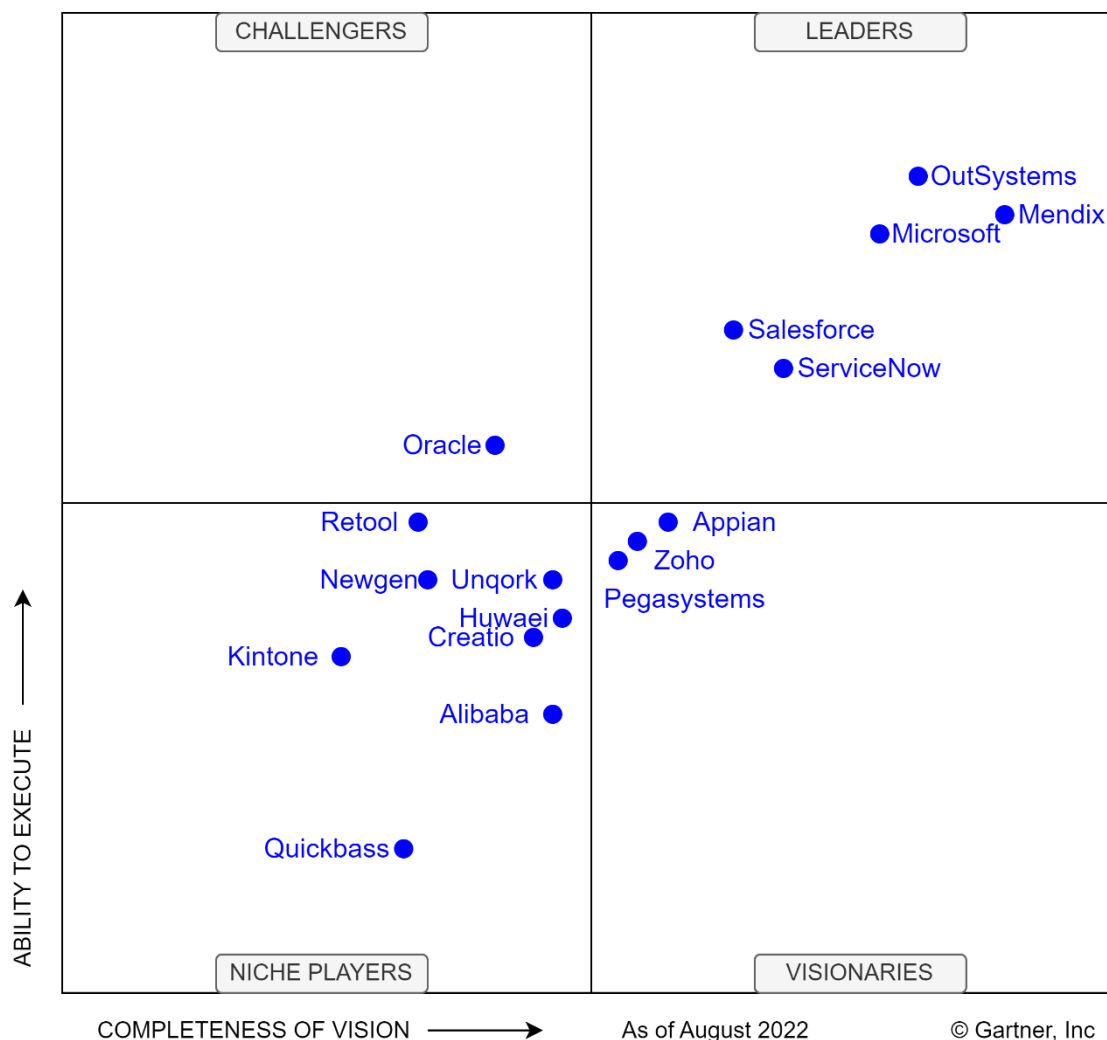
### 2.1 Gartnerův magický kvadrant

Společnost Gartner zpracovává magické kvadranty pro různé segmenty IT. Magické kvadranty napomáhají podnikům porozumět situaci na trhu a zvolit správného dodavatele. Společnost Gartner rozděluje jednotlivé dodavatele či poskytovatele do 4 kvadrantů dle úplnosti jejich předem stanovené vize a schopnosti realizace neboli dosažení potřebných výsledků. (Žák, 2013)

Kvadranty se rozdělují na vyzyvatele (challengers), specializované hráče (niche players), lídry (leaders) a vizionáře (visionaries).

- **Vyzyvatelé** se nacházejí v situaci, ve které dosahují kýžených výsledků, ale nemají dostatečně silnou strategii a vizi.
- Pouze na specifickém segmentu trhu působí **specializovaní hráči**. Někteří z nich si nevedou dobře a nejsou schopni držet tempo s požadavky trhu, ale někteří dokážou také růst.
- Velmi kvalitní a vyspělé služby nabízí skupina **lídrů**. Tito dodavatelé také disponují potřebnou vizí a strategií pro udržení svého postavení na trhu.
- Poslední skupina je tvořena **vizionáři**, kteří mají velmi dobře postavenou a vymyšlenou strategii a vizi, ale není u nich jisté, jestli budou schopni dodávat na trh řešení, která budou stanovenou vizí splňovat. (Žák, 2013)

Pro platformy podnikových low-code aplikací vytvořila společnost Gartner magický kvadrant naposledy v srpnu roku 2022. Tento kvadrant je zobrazen na Obr. 1.



Obr. 1: Magický kvadrant pro platformy podnikových low-code aplikací (Pajorska, 2023).

V roce 2022 byly na tomto trhu nejvýznamnější platformy Mendix, Microsoft, OutSystems, Salesforce a ServiceNow.



## 2.2 Mendix

Mendix je software, který je vyvíjen firmou Siemens. Jedná se o platformu, která umožňuje vyvíjet aplikace s minimální znalostí kódování, tzv. low-code platformu. Platforma je navržena tak, aby zrychlila celý proces tvorby aplikací, a to od nápadu až po nasazení do provozu a jeho následnou správu. Podporuje vývoj aplikací pro libovolné zařízení a nabízí možnost nasazení v privátním i veřejném cloudu a také v lokálním prostředí. (Software Testing Help, 2023)

Platforma nabízí omezenou bezplatnou licenci, ve které může uživatel vyzkoušet vybrané funkce. Dále licenci nabízí ve dvou kategoriích v závislosti na počtu aplikací. První možností je využívání pouze jedné aplikace. Zde nabízí Mendix kromě bezplatné verze plán Basic, který stojí 50 € za 5 uživatelů na měsíc a Standard, který stojí 800 € za uživatele na měsíc. Pokud by chtěl uživatel vytvářet neomezené množství aplikací, pak nabízí platforma Mendix plán Standard, který stojí 2 000 € za uživatele na měsíc. (Mendix, 2023)

## 2.3 OutSystems

OutSystems umožňuje vyvíjet aplikace bez znalosti některého z klasických programovacích jazyků. Jedná se tedy o low-code platformu. Platforma nabízí možnost tvorby aplikací, a to s cílem zrychlit proces jejich vývoje. Platforma umožňuje proces digitální transformace za kratší dobu a s menší náročností než tradiční vývoj aplikací. (Software Testing Help, 2023)

OutSystems nabízí bezplatnou tvorbu jedné aplikace. Pokud bude chtít uživatel vytvářet větší množství aplikací, bude si muset platit licenci s názvem Multiple apps. Cena za tuto licenci začíná na 1 250 € za měsíc. (OutSystems, 2023)

## 2.4 Microsoft Power Apps

Microsoft Power Apps je soubor aplikací, datových platform, konektorů a služeb, pomocí kterých je uživatel schopen rychle vytvářet své vlastní aplikace, které mohou být následně propojeny s daty uloženými v různých zdrojích dat. Takto vytvořené aplikace nabízí možnosti transformace operací prováděných ručně na digitální automatizované procesy. Mezi další výhody patří snadná dostupnost a také možnost rychlé a jednoduché integrace s dalšími nástroji, a to nejen od společnosti Microsoft. (Microsoft, 2023b)

Microsoft nabízí platformu Power Apps jako součást jednoho z plánů nebo jako samostatný plán Power Apps Premium, který umožňuje uživatelům vytvářet, modernizovat a spravovat neomezené množství aplikací. Tento plán stojí 18,70 € za uživatele na měsíc. (Microsoft, 2023a)

## 2.5 Microsoft Power BI

Obří výhodou u nástrojů společnosti Microsoft je jejich propojení v jeden ekosystém. V případě low-code řešení lze nejen napojit data z Power Apps přímo k vizualizacím do propracovaných reportů, nýbrž i samotné aplikace integrovat v Power BI. Tím vznikne jeden ucelený nástroj, kde mohou zaměstnanci, jak data zadávat, tak z přiložených dashboardů i vyhodnocovat.

V případě potřeby změny v datovém modelu nebo v transformaci dat z aplikace lze využít jednoduché grafické rozhraní v Power Query, která je součástí jak Power BI, tak i dalšího známého programu z dílny Microsoftu – Microsoft Excel. V tomto případě se již můžeme v podstatě bavit o tzv. no-code řešení, kdy uživatel opravdu nepotřebuje znát ani čárku z programovacího kódu, a přesto je schopen provést potřebné úpravy na jakémkoliv datovém zdroji.

## 2.6 Porovnání platforem

Tab. 1: Porovnání low-code platforem (vlastní), (Gartner, 2023).

Oblast	Mendix	OutSystems	Microsoft Power Apps
Velikost podniku	Střední a velké	Malé, střední i velké	Malé, střední i velké
Bezplatná zkušební verze?	Ano (omezená funkcionalita)	Ano (1 aplikace)	Ano (30 dní)
Minimální cena	50 €/měs.	1 250 €/měs.	18,70 €/měs.
Maximální cena	2 000 €/měs.	1 250 €/měs.	18,70 €/měs.
Škálování	8,6	8,6	9
Integrace	8,4	8,8	9,2
Přizpůsobení	8,8	8,6	8,8
Podpora	9	8,8	8,8
Zpětná vazba od uživatelů	8,7	8,8	8,9

Oblasti, ve kterých se nachází bodové ohodnocení vyjadřují názory recenzentů. (Gartner, 2023)

Na základě tohoto porovnání je nejlepší platformou **Microsoft Power Apps**, která přináší velké možnosti integrace s dalšími nástroji od společnosti Microsoft za příznivou cenu.

## 3 Případová studie

Studie se zaměřuje na integraci low-code nástrojů v podnikové sféře. Za hlavní nástroj byl vybrán software Power Apps. Tento nástroj byl použit pro zpracování faktur, a tedy převod manuální práce do digitální podoby, především v oblasti strukturovaného sběru dat, který je pro podnik potřebný. Efektivita práce, a tedy zjednodušení a zrychlení pracovního procesu, včetně snížení nákladů na zaměstnance, které je možné využít na jinou práci je v dnešní době potřebný.

### 3.1 Představení společnosti

Společnost Business Information Management (dále jen „BIM“) nabízí své služby pro různé organizace, které nechtějí zaspát dobu digitalizace a chtějí získat svá data pod kontrolu. Hlavním cílem společnosti je pomoci nalézt konkrétní společnosti nejlepší a technologicky nejvhodnější způsob sběru, ukládání, správy a vizualizace dat. Výsledkem jejich práce je nejčastěji nástroj v prostředí Power BI, který přináší vedoucím pracovníkům organizace získat hlubší přehled o podnikání a usnadňuje rozhodovací procesy, které se mohou opřít o konkrétní a reálná data. (Hlinák, 2023)

### 3.2 Analýza současného stavu

Společnost BIM začala zpracovávat data pro další podnik. Podnik se zabývá správou několika budov. Nacházel se ve stavu, ve kterém zaměstnává dvě účetní, které mají mezi sebou rozděleny budovy a každá zpracovává faktury pouze pro svůj okruh budov. Po přijetí faktury účetní danou fakturu vytisknou, nahrají vybraná data z faktur dle vlastního uvážení do Microsoft Excelu a založí ji v kanceláři do šanonu. Hlavním cílem projektu bylo zpracovat veškerá data z faktur z roku 2022 a nastavit funkční systém, který by do databáze přidával všechny nově přichozí faktury. (Hlinák, 2023)

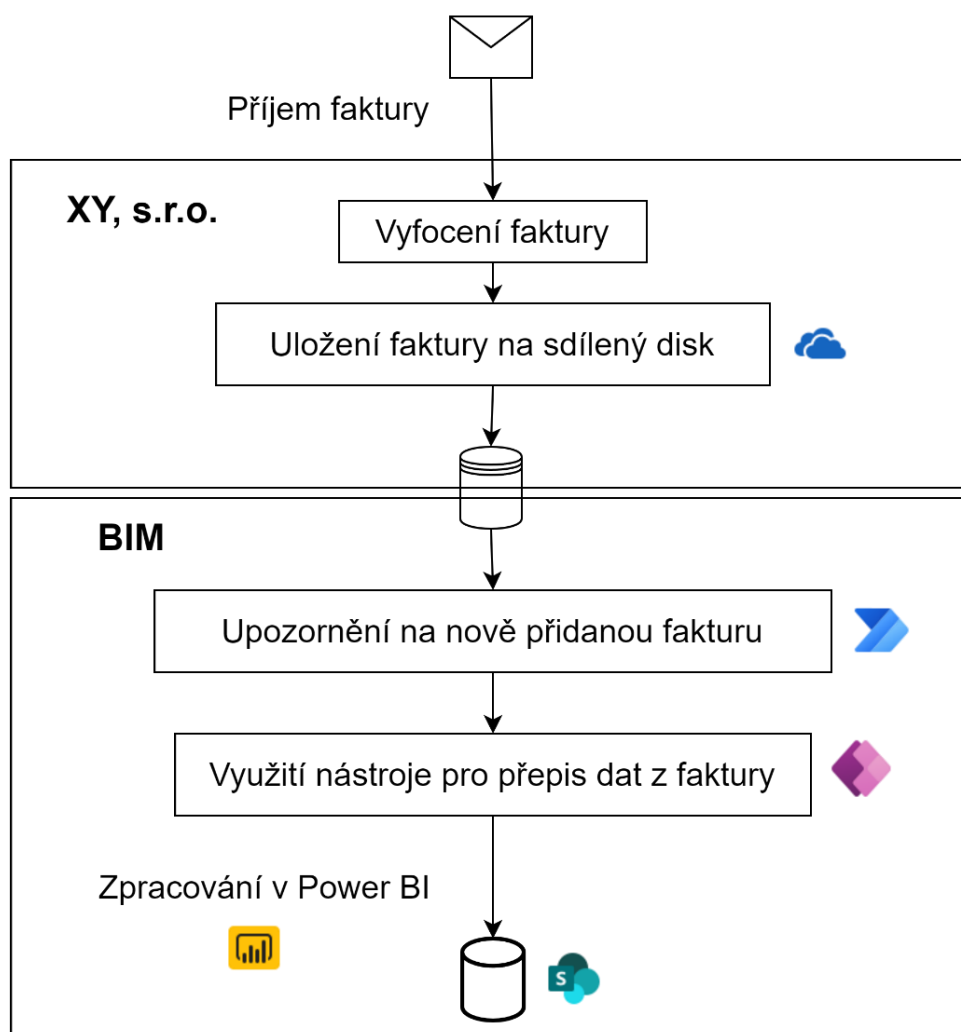
Jedním z problémů, který tento systém přináší, jsou faktury, které jsou fakturovány pro několik budov zároveň. Vzhledem k tomu, že účetní zpracovávají jednotlivé faktury samostatně, se informace o budovách alokují pouze na budovy, které zpracovává daná účetní. Takto vznikají **odchyly od reálných dat**. Každá účetní si také **samostatně** vytváří své vlastní záznamy o přijatých fakturách. V podniku tedy neexistuje **žádný ucelený přehled** o všech přijatých fakturách nebo o tom, ve kterých oblastech podnik utrácí nejvíce peněz. Stav, ve kterém se podnik nacházel, byl z hlediska sběru a správy dat v **nevyhovujícím** stavu.

Za **negativní** stránky současného stavu lze považovat:

- neznalost reálných nákladů spojených s jednotlivými budovami,
- náročný způsob dohledání historických faktur,
- tvorba reportů pouze jednou ročně,
- nedostatečnou komunikaci uvnitř podniku,
- nevyužití sdíleného úložiště,
- chybějící analýzu nákladů. (Hlinák, 2023)

### 3.3 Návrh nového řešení

Po analýze současného stavu bylo potřeba přijít s novým řešením, které odstraní negativní stránky původního systému. Veškeré přijaté faktury účetní v podniku vyfotí a následně uloží na sdílený disk na platformě OneDrive. Poté zaměstnanci společnosti BIM přijde e-mail s informací, že byla do složky OneDrive uložena nová faktura. Ze všech přijatých faktur se pomocí nástroje v prostředí Power Apps získají potřebná data, která jsou následně uložena do seznamu v SharePointu. Tento seznam slouží jako zdroj dat pro vizualizaci v prostředí Power BI. Celý tento proces je zobrazen na Obr. 2. (Hlinák, 2023)

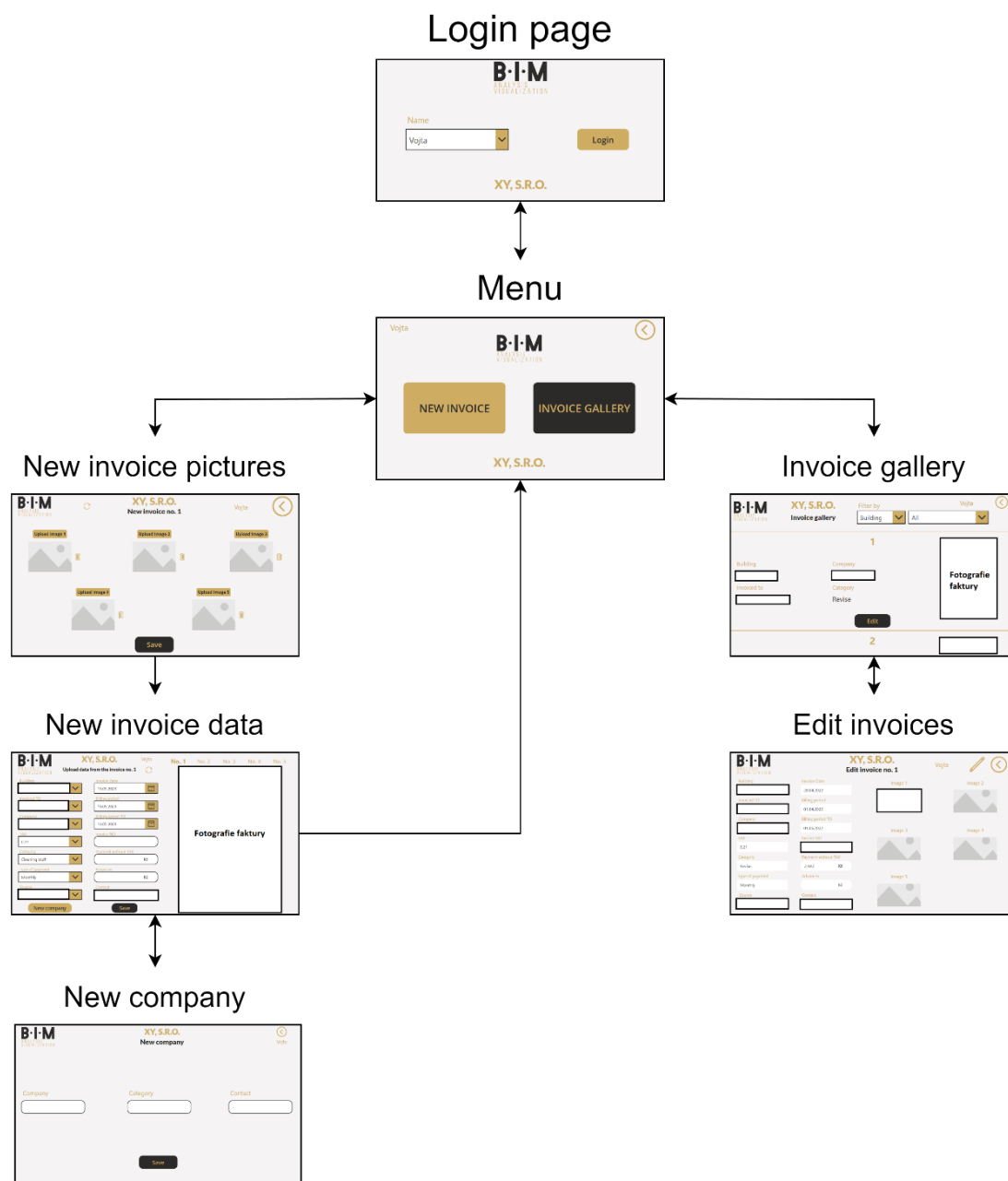


Obr. 2: Návrh nového řešení (Hlinák, 2023).

### 3.4 Vývoj aplikace Power Apps

Vzhledem k tomu, že bude potřeba mít fotografie faktur při ruce během přepisování dat z faktur, je potřeba vyvíjet aplikaci pro tablet, aby byla data na fotografiích čitelná. Následně se musí zvolit design, který bude v aplikaci využíván. V tomto konkrétním případě byly zvoleny barvy společnosti BIM, tedy zlatá a černá na šedém pozadí. (Hlinák, 2023)

Schéma aplikace je zobrazeno na Obr. 3. Aplikace je vytvořena pro dva účely. Hlavním účelem je nahrání dat z faktur do databáze v SharePointu. Nejprve je uživatel vyzván k nahrání fotografií faktur a následně je na další obrazovce uživatel vyzván k přepisu dat z nahraných fotografií do databáze. Tato aplikace také slouží jako galerie již nahraných faktur. V této galerii může uživatel kromě prohlížení všech faktur také libovolnou fakturu snadno a rychle upravit.



Obr. 3: Schéma nástroje Power Apps (Hlinák, 2023).

## 4 Zhodnocení projektu

Po zavedení procesu digitalizace faktur ve vybraném podniku byl tento proces zanalyzován a byly popsány přínosy, které tento projekt přinesl. Pro lepší představu je porovnán stav původní se stavem současným na Obr. 4.

původní stav	současný stav
<ul style="list-style-type: none"> <li>• neznalost reálných nákladů spojených s jednotlivými budovami</li> <li>• složitý způsob dohledání historických faktur</li> <li>• reporting pouze jednou ročně</li> <li>• nedostatečná komunikace uvnitř podniku</li> <li>• nevyužití sdíleného úložiště</li> <li>• chybějící analýza nákladů</li> <li>• často zkršená data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• snadno přístupná databáze všech faktur</li> <li>• práce s reálnými daty</li> <li>• možnost reportingu dle vlastního uvážení (ročně, měsíčně)</li> <li>• využití sdíleného disku</li> <li>• vizualizace dat v prostředí Power BI</li> <li>• ukládání dat z faktur pomocí uživatelsky přívětivého nástroje v Power Apps</li> <li>• přehledné zobrazení nákladů na jednotlivé budovy</li> </ul>

Obr. 4: Porovnání stavů podniku (Hlinák, 2023).

V minulosti podnik nedisponoval žádným systematickým a smysluplným systémem pro ukládání a správu dat. V současnosti podnik shromažďuje a spravuje veškerá svá data z přijatých faktur od roku 2022 v seznamu na webu SharePointu. Data z tohoto seznamu jsou následně vizualizována v prostředí Power BI. V této aplikaci se nachází reálná data, která nabízí lepší přehled o výdajových činnostech v podniku pomáhají vedoucím pracovníkům podniku při rozhodování. Kromě toho podnik využívá sdílený disk OneDrive pro přenos dat do společnosti BIM, což celý tento proces usnadňuje.

Vytvoření nástroje v prostředí Power Apps přineslo značnou časovou úsporu nahrání dat do databáze v prostředí SharePointu. Konkrétně se jednalo o časovou úsporu 2 minut při zpracování jedné přijaté faktury. Pro lepší představu o ceně a časové náročnosti byla vytvořena následující finanční analýza celého procesu digitalizace faktur, který v podniku proběhl. Finanční analýza procesu digitalizace faktur je zobrazena v Tab. 2. (Hlinák, 2023)

Tab. 2: Finanční analýza procesu digitalizace faktur (Hlinák, 2023).

Proces digitalizace faktur	
Osobní schůzky	6 hod.
Komunikace přes e-mail	5 hod.
Návrh a odsouhlasení datové struktury a předávání dat	5 hod.
Vytvoření cloudového úložiště pro obě účetní	2 hod.
Zaškolení personálu pro předávání dat	4 hod.
Tvorba databáze	5 hod.
Vytvoření nástroje v Power Apps	20 hod.
Zajištění toku dat	2 hod.
Zadání historických dat do databáze	7 hod.
Propojení databáze a aplikace v Power BI	2 hod.
Tvorba aplikace v Power BI	20 hod.
<b>Celkem hodin</b>	<b>78 hod.</b>
Mzda pro zaměstnance	1 500 Kč/hod.
<b>Celkem</b>	<b>117 000 Kč</b>

Kromě samotné tvorby tohoto systému je také nutná jeho správa a potřeba licence, které se platí nejčastěji měsíčně. Finanční analýza správy tohoto systému je zobrazena v Tab. 3.

Tab. 3: Finanční analýza správy a licencování systému (Hlinák, 2023).

Správa a licencování	
Časová náročnost	20 hod./měs.
Mzda pro zaměstnance	1 500 Kč/hod.
Cena licence Microsoft 365 Business Standard	274 Kč/měs.
Cena licence Power BI Pro	220 Kč/měs.
<b>Celkem</b>	<b>30 494 Kč/měs.</b>

## 5 Možnosti dalšího rozvoje

Výsledkem projektu je také funkční databáze, která obsahuje reálná data z příchozích faktur podniku. Tato databáze může následně sloužit jako zdroj dat při tvorbě dashboardů a reportů. Jako další možnost rozvoje této aplikace se nabízí nahrazení dvou pozic účetních nástrojem v Power BI, který je schopen vytvářet dashboardy a reporty automaticky. (Hlinák, 2023)

Náklady spojené se zaměstnáváním pracovních pozic dvou účetních jsou zobrazeny v Tab. 4. Hodnoty hrubých mzdových nákladů jsou určeny jako průměrné hrubé mzdové náklady na pracovní pozici účetní v České republice.

Tab. 4: Náklady na původní stav (Národní Soustava Povolání, 2023).

Původní stav	
Počet zaměstnanců	2
Hrubé mzdové náklady	40 500 Kč/měs./zam.
Sociální pojištění	10 044 Kč/měs./zam.
Zdravotní pojištění	3 645 Kč/měs./zam.
<b>Celkem</b>	<b>108 378 Kč/měs.</b>

V současné době nelze celý proces automatizovat úplně. Je tedy potřeba, aby tento systém někdo spravoval a nahrával do něj potřebná data z faktur a kontroloval je. Náklady spojené se správou nástroje včetně ceny potřebných licencí jsou zobrazeny v Tab. 5.

Tab. 5: Náklady na navrhovaný stav (Hlinák, 2023).

Navrhovaný stav	
Časová náročnost	20 hod./měs.
Mzda pro zaměstnance	1 500 Kč/hod.
Cena licence Microsoft 365 Business Standard	274 Kč/měs.
Cena licence Power BI Pro	220 Kč/měs.
<b>Celkem</b>	<b>30 494 Kč/měs.</b>

Porovnání původního a navrhovaného stavu je zobrazeno v Tab. 6. Pomocí nově navrženého systému by mohl podnik ušetřit až **77 884 Kč** měsíčně. Podnik však v současnosti nechce pracovní pozice účetních rušit. Jedná se tak spíše o doporučení a ukázkou toho, jakou finanční a časovou úsporu by mohl nový systém přinést.

Tab. 6: Kalkulace finanční úspory (Hlinák, 2023).

Finanční úspora	
Původní stav	108 378 Kč/měs.
Navrhovaný stav	30 494 Kč/měs.
<b>Celková úspora</b>	<b>77 884 Kč/měs.</b>

## 6 Změna paradigmatu ve zpracování dat

Z výše uvedené case study můžeme pozorovat, jak se mění klasické smýšlení ve sběru, ale i zpracování dat. Na začátku 21. století se pro business intelligence řešení a tvorbu individuálních aplikací na klíč pro podniky musela sejít skupina programátorů a manažerů. Avšak současně, zejména u self-service business intelligence nástrojů, jak už z názvu vypovídá, stačí, když si manažer položí otázku, na kterou by rád našel odpověď a může připravit jak aplikaci pro nasbírání dat, tak nástroj pro následnou vizualizaci a prezentaci.

Je zřejmé, že pro komplexnější systémy je stále potřeba programovacích jazyků např. R nebo Python, které jsou schopné data transformovat, jakkoliv si uživatel usmyslí. Limitace nástrojů, které mají předdefinované rozhraní jsou právě omezené možnosti volby. Jednoduše řečeno, tým připravující aplikace jako jsou Power Apps a Power BI zahrnou co nejobecnější transformace a funkce, aby měly nástroje co nejširší skupinu uživatelů.

Budoucí myšlenkou ve výzkumu je tedy nalézt co nejlepší způsob standardizace a zobecnění především datového modelu, tak aby opravdu stačilo použít jen základní grafické rozhraní takových programů a vytěžit z dat maximum i bez velkých finančních a lidských zdrojů.

### Závěr

Publikace přibližuje čtenářům jak teoretickou stránku problematiky digitalizace a low-code platformem, tak i konkrétní projekt z praxe, který přinesl reálné a pozitivní výsledky. Součástí případové studie byla také tvorba nástroje v prostředí Power Apps. Tento nástroj přináší časovou úsporu, a to konkrétně **2 minut** při zpracování každé faktury. Pro lepší časovou a finanční alokaci podobných projektů v budoucnosti byla vytvořena analýza tvorby celého projektu. Projekt trvalo vytvořit **78 hodin** a stálo by **117 000 Kč**. Kromě vytvoření tohoto systému je důležitá také jeho správa a potřeba licencování vybraných softwarů. Celkem by toto řešení stálo podnik **30 494 Kč** měsíčně.

Dalším možným rozvojem systému, který byl vytvořen během případové studie, je zapojení umělé inteligence k automatické těžbě dat z přijatých faktur. V současnosti se však jedná o finančně velmi náročné řešení. Další překážkou je různorodost faktur od společností, které podniku fakturují, což přináší rozdílné výsledky při těžbě dat z faktur pomocí AI modelů. V budoucnosti se však pravděpodobně bude jednat o velmi časté a finančně dostupné řešení.

### Prameny

1. BOKŠOVÁ, Jiřina, Josef HORÁK, Karel PAVLICA, Jiří STROUHAL a Stanislav ŠAROCH, BOKŠA, Michal, ed. *Digitální Česko v digitální Evropě* [online]. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, 2019. ISBN 978-80-87042-75-5. Dostupné z: [https://www.vlada.cz/assets/evropske-zalezitosti/aktualne/Digitalni\\_Cesko\\_FINAL-ONLINE-VERSION.pdf](https://www.vlada.cz/assets/evropske-zalezitosti/aktualne/Digitalni_Cesko_FINAL-ONLINE-VERSION.pdf)
2. GARTNER. *Microsoft vs OutSystems vs Siemens (Mendix)*. Gartner [online]. 2023. Dostupné z: <https://www.gartner.com/reviews/market/enterprise-low-code-application-platform/compare/microsoft-vs-outsistemas-vs-siemens-mendix>
3. GREEN FOX ACADEMY. *Nový buzzword: Low-code, tohle o něm musíte vědět*. Green Fox Academy [online]. 25.8.2022. Dostupné z: <https://www.greenfoxacademy.cz/post/novy-buzzword-low-code>

4. HLINÁK, Vojtěch. *Návrh nástroje pro správu fakturace s využitím Power Apps*. Praha, 2023. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10467/110154>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze – Fakulta strojní.
5. MENDIX. *Mendix Pricing: Flexible pricing for teams of all sizes*. Mendix [online]. 2023. Dostupné z: <https://www.mendix.com/pricing/>
6. MICROSOFT. *Ceny Power Apps*. Microsoft [online]. 2023a. Dostupné z: <https://powerapps.microsoft.com/cs-cz/pricing/>
7. MICROSOFT. *What is Power Apps?* Microsoft [online]. 2023b. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-apps/powerapps-overview>
8. MICROSOFT. *Low-Code Development Platform*. Microsoft [online]. 2023c. Dostupné z: <https://powerapps.microsoft.com/en-gb/low-code-platform/>
9. NÁRODNÍ SOUSTAVA POVOLÁNÍ. *Účetní*. Národní soustava povolání [online]. 2023. Dostupné z: <https://nsp.cz/jednotka-prace/ucetni>
10. OUTSYSTEMS. *OutSystems pricing*. OutSystems [online]. 2023. Dostupné z: <https://www.outsystems.com/pricing-and-editions/>
11. PAJORSKA, Zuzanna. *Low-Code Gartner Forecasts for 2023* [online]. 23.1.2023. Dostupné z: <https://stratoflow.com/low-code-gartner-forecasts/>
12. SOFTWARE TESTING HELP. *10 Best Low-Code Development Platforms In 2023*. Software Testing Help [online]. 21.8.2023. Dostupné z: [https://www.softwaretestinghelp.com/low-code-development-platforms/#Comparison\\_Table\\_of\\_Low-code\\_Platforms](https://www.softwaretestinghelp.com/low-code-development-platforms/#Comparison_Table_of_Low-code_Platforms)
13. VEBER, Jaromír. *Digitalizace ekonomiky a společnosti: výhody, rizika, příležitosti*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-807-2615-544.
14. ŽÁK, Čestmír a Pavel KREUZIGER. *Jak fungují magické kvadranty?* 2013. INSIDE Report. 14(1), 2.

## Kontaktní údaje o autorech

Ing. Vojtěch Hlinák, Ing. Václav Kalina, Ing. Jan Lhota, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze, Ústav řízení a ekonomiky podniku

Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2 – Nové Město

+420 721 500 387, +420 605 570 422, +420 224 355 796

[vojtech.hlinak@fs.cvut.cz](mailto:vojtech.hlinak@fs.cvut.cz), [vaclav.kalina@fs.cvut.cz](mailto:vaclav.kalina@fs.cvut.cz), [jan.lhota@fs.cvut.cz](mailto:jan.lhota@fs.cvut.cz)



## AUTOMOTIVE PROJECT IN INDUSTRIAL ORGANIZATION

*Ing. Ján Holý*

### Abstract

*Since automation terminates of many dichotomies, including that between culture and technology, between consciousness and matter, spirit and nature, or reason and emotion, the future of work consists, as Marshall McLuhan observed, of learning a living in the automation age. This article seeks to connect the philosophical works of J. Habermas and A. Bogdanov to the practical domain of project management in industrial organizations with support of AI-powered language model ChatGPT. Its objectives include providing critical analysis, insights into communication, and practical recommendations to enhance project management practices in light of these philosophical perspectives. By combining insights from philosophy and project management, the article can contribute to a more interdisciplinary understanding of the challenges and opportunities of project management in industrial organizations. It may encourage scholars and practitioners to bridge the gap between philosophy and management theory.*

**Key words:** technology, automation, systems, project management, industrial organization

### Introduction

"As Habermas (1984) indicated in his work, when we use the expression "rational", we suppose that there exists a close relation between rationality and knowledge, our knowledge has a propositional structure; beliefs can be represented in the form of statements (Habermas, 1984).

Yet, this proposal has two obvious weaknesses. On the one hand, the characterization is too abstract and on the other, it is too narrow.

*"The rationality inherent in communicative practice extends over a broad spectrum,"* writes Habermas, *"it refers to various forms of argumentation as possibilities of continuing communicative action with reflective means"* (Habermas, 1984, p. 10).

It should also be added, that in context of capitalist enterprise, or in modern state administration, it is the concentration of material means of operation under control of rationally calculating entrepreneur or leader, which is according to Habermas necessary condition for purposive-rational action to be institutionalized. Habermas writes:

*"From a historical perspective too, the 'progress' towards the bureaucratic state, adjudicating and administering according to rationally established laws and regulations is very closely related to modern capitalist development. The modern capitalist enterprise rests (internally) primarily on calculation. It requires for its existence a legal and administrative system, whose functioning can be rationally calculated, at least in principle, on the basis of fixed general norms, just like the expected performance of a machine."* (Habermas, 1984, p. 218)

Modernization can thus be viewed as societal rationalization, claims the author, and asks the following question (Habermas, 1984, p. 219):

*"How is the institutionalization of purposive-rational action orientation in the domains of social labor possible?"*

## 1 Method

Connecting the philosophical works of Jürgen Habermas and Alexander Bogdanov to the practical domain of project management in industrial organizations requires an interdisciplinary approach. Both philosophers emphasize the importance of communication, rationality, and the role of individuals in collective decision-making. With help of ChatGPT, and through description of the project stages like project initiation, planning, execution, monitoring, and closure in industrial organization, described from the perspective of Bogdanov's organizational rationality and system design, where overall efficiency and effectiveness of project management processes is emphasized, I encourage a culture of continuous learning and adaptation within an industrial organizations, which can lead to more effective and ethical project management practices.

## 2 Organizational structure – theoretical background

According to Henry Mintzberg (1979), organizational structure can be defined as the sum total of the ways in which it divides its labor into distinct tasks and then achieves coordination among them.

Furthermore, elements of organizational structuring show not only tendency to appear in five's, but also suggest typology of five basic configuration which can be expressed by five coordinating mechanisms which explain the fundamental ways in which organizations coordinate their work (Mintzberg, 1984):

- **Direct supervision**, where one individual (typically a manager) gives specific orders to others and thereby coordinates their work.
- **Standardization of the work processes**, where the work is coordinated by imposition (typically by analysts of the technostructure) of standards.
- **Standardization of outputs**, where the work is coordinated by the imposition (again often by analysts of the technostructure) of the standard performance measures or specification concerning outputs of the work.
- **Standardization of skills**, where the work is coordinated by the internalization by individuals of standard skills and knowledge usually before they begin to do the work.
- **Mutual adjustment**, where individual coordinate their own work by communicating informally with each other.

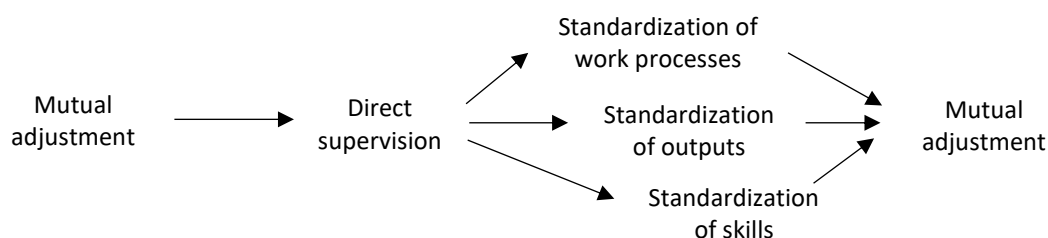


Fig. 1: Coordination Mechanisms: An Approximate Complexity Continuum (Mintzberg, 1979).

For British sociologist Anthony Giddens, the structure is the rules and resources drawn upon in the production and reproduction of the social action. "Let me summarize the argument thus far" writes Giddens, and continues: "Structure, as recursively organized sets of rules and resources, is out of time and space, save in its instantiations and co-ordination as memory traces, and is marked by an 'absence of the subject'. The social systems in which structure is recursively implicated, on the contrary, comprise the situated activities of human agents, reproduced across time and space." (Giddens, 1984, p. 25)

His theorem of the duality of structure is logically implied in Tab.1:

Tab. 1: The duality of structure (Giddens, 1984).

Structure (s)	System (s)	Structuration
<i>Rules and resources, or sets of transformation relations, organized as properties of social systems</i>	<i>Reproduced relations between actors or collectivities, organized as regular social practices</i>	<i>Conditions governing the continuity or transmutation of structures, and therefore the reproduction of social systems</i>

Analysing the structuration of social systems according to Giddens means, studying the modes in which such systems, grounded in the knowledgeable activity of situated actors, are produced, and reproduced in interaction. “*The constitution of agents and structures are not two independently given set of phenomena a dualism,*” emphasizes Giddens, “*but represent duality*” (Giddens, 1984, p. 25).

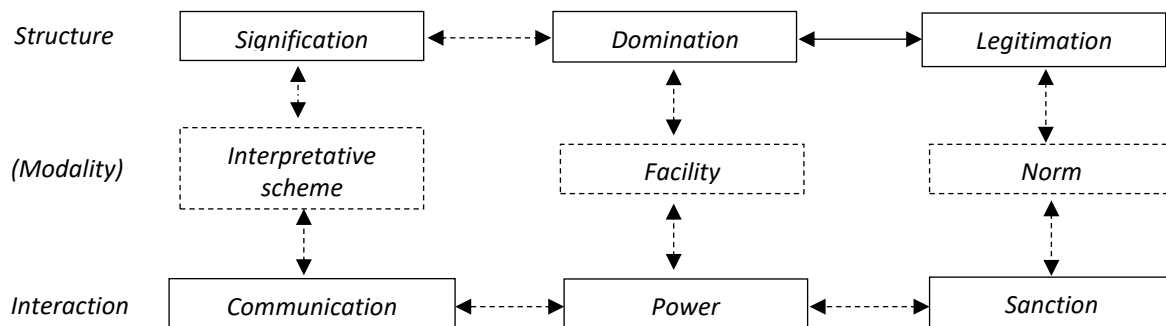


Fig. 2: Dimensions of the duality of structure (Giddens, 1984).

The duality of structure always underlies the continuity of social reproduction across time and space and presupposes the reflexive monitoring of agents in, and as constituting, the *durée* of daily social activity. However, human knowledgeability is according to Giddens always bounded, which means that the flow of action continually produces consequences unintended by actors, and these unintended consequences may also form unacknowledged conditions of action in a feedback fashion (Giddens, 1984).

According to Wanda Orlikowski (1992), through the regular action of knowledgeable and reflexive actors, patterns of interactions become established as standardized practices, e.g., ways of manufacturing a product, coordinating a meeting, or evaluating an employee. Over time, habitual use of such practices eventually becomes institutionalized, forming “*the structural properties of organizations*” (Orlikowski, 1992, p. 404).

Tab. 2: Three structural dimensions of social systems (Giddens, 1984).

Structure (s)	Theoretical Domain	Institutional Order
<i>Signification</i>	<i>Theory of coding</i>	<i>Symbolic orders/modes of discourse</i>
<i>Domination</i>	<i>Theory of resource authorization</i> <i>Theory of resource allocation</i>	<i>Political institutions</i> <i>Economic institutions</i>
<i>Legitimation</i>	<i>Theory of normative regulation</i>	<i>Legal institutions</i>

It should also be noted that the concept of structure can not only be used in a technical, but also in more general way.

When viewed in a somewhat looser fashion, structure can be spoken of as referring to the institutionalized features (structural properties) of societies. In both usages 'structure' is a generic category involved in each of the structural concepts (Giddens, 1984):

- Structural principles: Principles of organization of societal totalities,
- Structures: Rule-resource sets, involved in the institutional articulation of social systems,
- Structural properties: Institutionalized features of social systems, stretching across time and space.

### 3 Technology and its role in structuring

Although Giddens does not deal in his theory with technology in detail, his structuration paradigm has according to Orlikowski been employed to study not only technology-induced organizational change, but also applied to the group decision systems and also computer conferencing systems. However, no attempt has according to her been made to re-conceptualize the notion of technology or to reformulate the relationship between technology and organizations (Orlikowski, 1992).

*“Early research studies assumed technology to be an objective, external force that would have deterministic impacts on organizational properties such as structure,”* writes Orlikowski (Orlikowski, 1992, p. 399). In her article *The Duality of Technology*, and adds, that even later researchers focused only on the human aspect of technology, seeing it as the outcome of strategic choice and social action (Orlikowski, 1992).

Since either view is according to her incomplete, she suggests reformulation of the technology concept, and advances the structurational model of technology which allow a deeper and more dialectical understanding of the interaction between technology and organizations.

*“In suggesting that we try and understand technology from the point of view of structuration”,* continues Orlikowski further, *“I propose that it be considered as one kind structural property of organizations developing and/or using technology. That is, technology embodies end hence is an instantiation of some of the rules and resources constituting the structure of an organization”* (Orlikowski, 1992, p. 405).

Technology is thus not only created and shaped by human activity, but people also use it to perform certain activities.

This recursive notion of technology – which Orlikowski (1992) calls the duality of technology – is the first of her two theoretical assumptions. The second assumption is that technology is interpretatively flexible and therefore the interaction of technology and organization is a function of the various actors and socio-historical contexts involved in its development and use.

Her structurational model of technology includes the following components (Orlikowski, 1992):

- **Human agents** – technology designers, users, and decision-makers,
- **Technology** – material artifacts mediating task execution in the workplace,
- **Institutional properties of organizations** – including organizational dimensions such as structural arrangements, business strategies, ideology, culture, control mechanisms, standard operating procedures, division of labor, expertise, communication patterns, as well as environmental pressures such as government regulation, competitive forces, vendor strategies, professional norms, state of knowledge about technology, and socio-economic conditions

In the structural model of technology mentioned above, structuring is understood as a dynamic process that is incorporated not only historically but also contextually. This means that while the main components and nature of the relationships on which this model is based are considered relatively stable, their scope, content, and relative strength will change over time. In addition to the fact that the structuring is dynamic, it is, according to Orlikowski (1992), also understood as a dialectical process, inherently contradictory. Unlike models that connect elements linearly, her structural model assumes that individual elements that interact with each other act recursively, i.e., they can be in opposition to each other and can even interfere with each other's effects.

#### 4 Automotive project and it constrains

<! -- begin: **WHAT IS PROJECT?** <! -- cont: "The term "project" can have different meanings depending on the context, but generally, a project refers to a temporary and unique endeavor with a specific goal, set of tasks, and a defined beginning and end." (OpenAI, 2023) <! -- cont: According to Rosenau and Githens (2005) the accepted definition of a project as "temporary work effort that produces a unique result," (Rosenau and Githens, 2005 p. 2 ) can be further supplement by the following attributes:

- <! -- cont: Projects are temporary, i.e., there is a beginning and end to the project.
- <! -- cont: Projects are unique, which means that the work product or processes that create it are novel or different.
- <! -- cont: Projects are progressively elaborated, which means that a project proceeds in steps or stages. -->>

<! -- begin: From the project management perspective, a project is a time sequence of events, or a collection of interrelated tasks performed over a "period of time within a set budget or other constraints." (OpenAI, 2023) -->

A project consists of a specific organized effort motivated by a specific opportunity, a specific problem, need, desire or discomfort" (OpenAI, 2023), which seeks to create a unique and innovative solution - a product, service, process, or scientific research. <! -- cont: Project is also bound by certain constraints such as calendar, cost, and quality standards, each of which can be measured objectively during the project life cycle and exist and operate in an environment that can have a favorable or unfavorable impact on them. -->

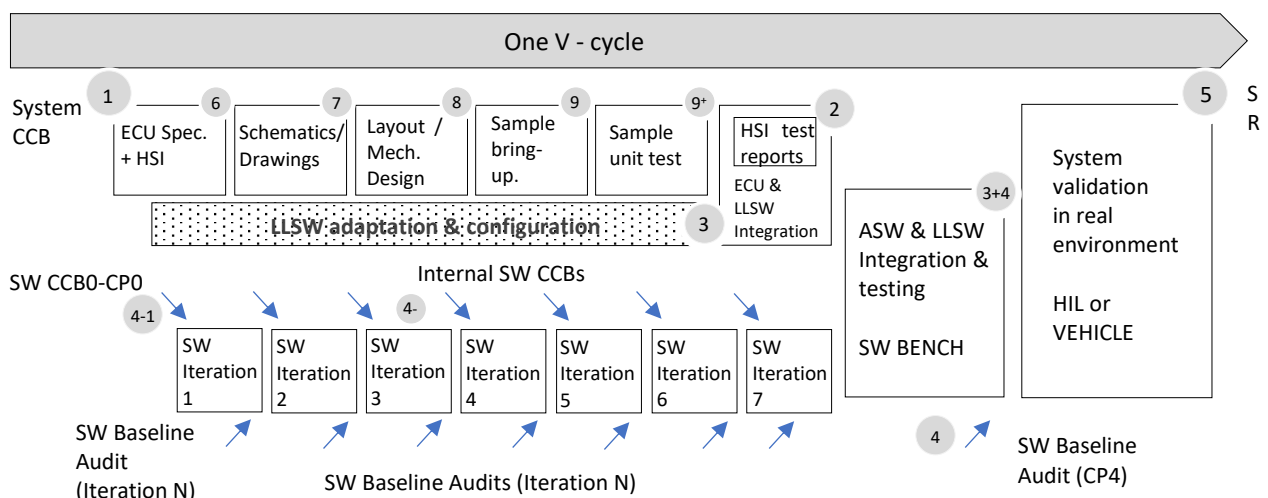


Fig. 3: A typical product development cycle in industrial organization (System principles of project management, 2022).

<!-- begin: The two main categories of structural limitations are (PMBOK, 2017):

- <!-- cont: Enterprise environmental factors (EEF) are internal and/or external conditions that are not under the control of the project team which influence, limit, or control the project.
- <!-- cont: Organizational process assets (OPA) are processes, regulations and procedures, and organizational knowledge databases. -->>

<!-- begin: In business group  $\alpha$ , a specific organizational process assets are deployed for the following project categories:

- <!-- cont: P0 – Serial life activity projects.
- <!-- cont: P1 – Customer application projects.
- <!-- cont: P2 – Advanced development & transversal projects.
- <!-- cont: P3 – Request & information projects.
- <!-- cont: P10 – Serial life activity projects using P1 manufacturing process. -->>

<!-- begin: Request & information projects (P3) demonstrate, or contribute to demonstrate, technical feasibility and the market interest, while advanced development & transversal projects (P2) improve existing standard for P1 reuse. <!-- cont: Projects from both categories create and deliver scalable and modular solutions across several product generations, with complete responsibility for the proposed solution from the beginning of the development cycle to its end. -->>

<!-- begin: Customer application projects (P1), develop product for serial production, by optimizing the re-use of existing elements, while serial life activity projects (P0) modify a product already in serial production, following the engineering change request/engineering change order (ECR/ECO) process after customer's approval. <!-- cont: Serial life activity projects using P1 process, i.e., P10 projects, modify a product already in serial production in significant way. -->>

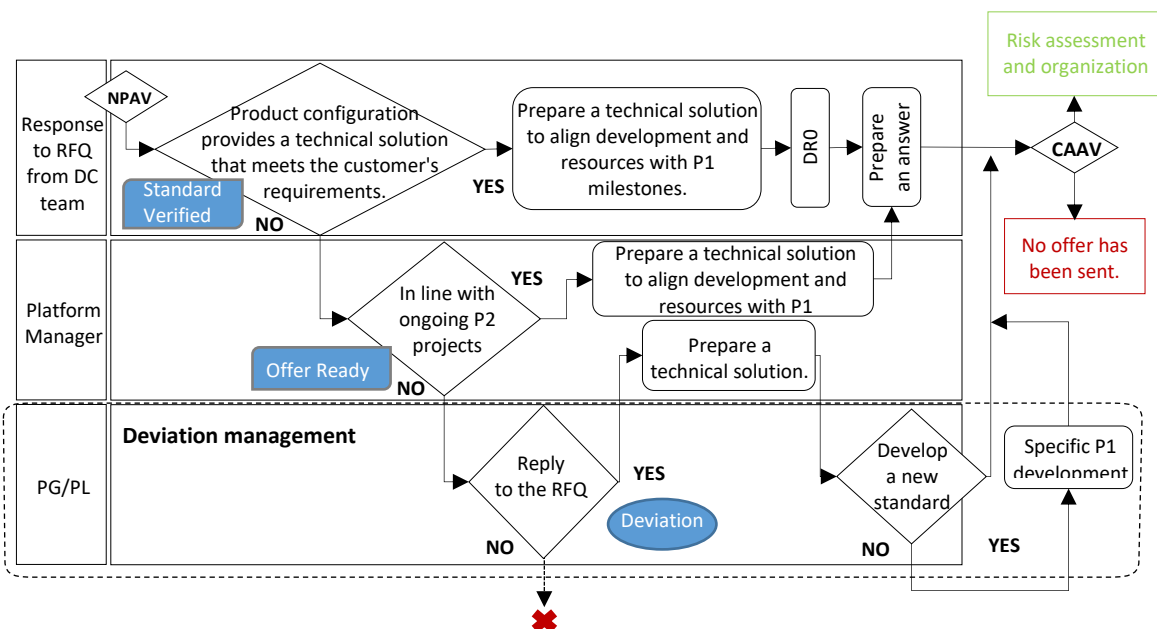


Fig. 4: Innovation integration flowchart (CLEAN Project Management, 2022).

<!-- begin: Governance bodies, i.e., project management and steering committees, are allocated at entity level and stay at entity level from project start to its closure -->

### Main () {Project management committee - PMC}

<! -- begin: Objectives of the project management committee are to review escalation points from PSC, where technical or economic issues escalated from project steering committee are presented by project manager -->

<! -- begin: Countermeasures/action plan is also presented during the committee by function managers to ensure achievement of the customer deliverables and de-escalation of the project risk is agreed and implemented under decision of the project steering committee chairman -->

<! -- begin: Project management committee takes also relevant decisions regarding (CLEAN Project Management, 2022):

- <! -- cont: business and resources decisions, i.e., decisions related to NPA / CAA / IAR validation, and project portfolio resource status – current, forecast and pending staffing authorization requests
- <! -- cont: portfolio profitability: projects portfolio economic performance review (validated potential and potential to be validated extended margin
- <! -- cont: project closure: lessons learned including customer’s feedback. -->>

<! -- begin: Tools used in the organization to execute the projects within a given methodological framework contribute to organization’s structure of signification, because the knowledge embedded in them directs the way in which problems are interpreted and work is conducted -->

<! -- begin: Similarly, tools also contribute to organization’s structure of domination because they constitute the resources, which are deployed, and to organization’s structure of legitimation because they “propagate a set of norms about what is and what is not acceptable “professional” social practice” (Orlikowski, 1992, p. 417). -->

<! -- begin: As a senior project manager in ξ noted:

*“By integrating standards and methodologies into tools, we can control what people do and how they do it. And yes, we can attract and sustain people’s attention through these extensions. It is however also true, that when you rely on tools this constrain your ability to see things from different perspective, it is quite difficult to step outside this boundary so to speak”. -->*

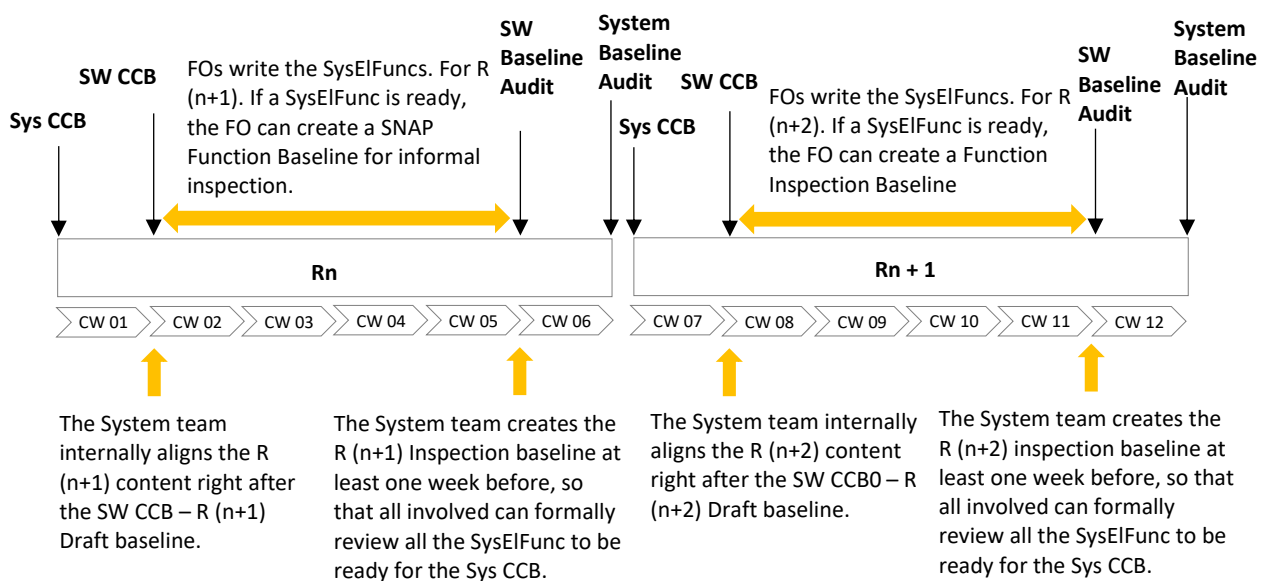


Fig. 6: Working mode of the system team (System principles of project management, 2022).

## 5 Discussion and critical reflection

Tektology as the science of the structure of living organisms, structural morphology was described by Bogdanov (1921), as a general study of the forms and laws of organization of all elements of nature, practice and thought (Gare, 2000). According to him, we, humans, are the organizers of nature, ourselves themselves and their experiences.

According to ChatGPT 3.5, Bogdanov in tektology proposed, that there are universal principles of organization that apply not only to human society but also to nature. *"He argued that nature itself is an organized system, and humans are just one part of this larger organizational framework"* (OpenAI, 2023).

*"Organizational science is characterized primarily and most of all by its point of view,"* writes Bogdanov (Bogdanov, 1921, p. 47), adding that all the peculiarities of its problems, methods and results derive from this. According to him, the difference from other contemporary sciences arises as soon as the question is uttered, and establishes two essential moments (Bogdanov, 1921):

- From an organizational point of view, any scientific question can be asked and solved, which the special sciences either do not do, or do it unsystematically, half-consciously, or only in the form of exceptions.
- The organizational point of view also raises new scientific questions that current special sciences are unable to consider, define or solve.

For example, complexes are combinations of elements with a certain structure that are able to resist the activities of other complexes, where a) if the complex has a greater effect against resistance than its elements, it is an organized complex, b) if it achieves the same effect, it is a neutral complex, and c) if its effect is less, it is considered an unorganized complex (Bogdanov, 1921).

Prof. Zelený commented on Bogdanov's concept of the complex, that it is not only a set, an aggregate (or vector) of components and their relationships'. *"It is a 'process or continuous flow of an independent component production process, chained in self-starting cycles of accumulation and degradation. ... [It] neither exists nor interacts with its environment: it is structurally connected with the environment, and thus develops its own environment and simultaneously evolves with it'."* (Gare, 2000, p. 353)

From this point of view, tektology could be, according to Gare (Gare, 2000), considered as a transcending, coordinating framework of concepts capable of guiding, and giving meaning to specific research in the entire range of sciences – physical, biological, cultural, social, and psychological.

On the other hand, it is also necessary to emphasize, that the ability of Bogdanov's tektology to predict the emergence of systems theories and complexity theories can also be used against it. According to Gare there are several fundamental features of tektology that support its radical potential. *"What is radical about seeing the world as consisting of processes rather than things or substances? What is so oppressive about conceiving the world as consisting of things and substances rather than processes"* (Gare, 2000, p. 357)?

*"The radical aspect of seeing the world as processes lies in its recognition of dynamism, interconnectedness, and temporality, while the oppressive aspect of viewing the world as things or substances lies in its potential for reductionism, static thinking, objectification, and reinforcing dualistic perspectives"* (OpenAI, 2023), answer the question ChatGPT 3.5.

*"Tektology is radical because it consistently views the world as a world of processes,"* answers the question Gare, *"whereas systems theory and complexity theory, if they have been used in the interest of the ruling powers, are inconsistent in this respect and tend to assume that what really exists, whether systems or their components, are things."*



Gare continues:

*"To begin with, the dualism that have emerged with hierarchical societies between what acts and what is acted upon, between consciousness and matter, between spirit and nature, or reason and emotion, can be overcome. All can be intelligibly conceived as aspects of processes and their relations."* (Gare, 2000, p. 357-358)

However, for this to happen, for it to be possible to realize that the development of society, culture and knowledge are themselves processes in the world, such a conception of the world requires according to Gare first reflexivity. Reflexivity holding up the view that the development of culture and knowledge must be appreciated as part of the self-creation of humanity, involving the formation of relations between people, between society and nature, and between individuals and society (Gare, 2000).

## Conclusion

The purpose of this article was to give a short description of the management of technology projects in industrial organization and by describing constraints embedded in project management methodology, through critical reflection, indicate to relevant restorative solution. From above it follows, that man and all his extensions constitute one interrelated system.

The interrelationship between man and his extensions, including language, requires therefore to pay more attention to what kind of extensions we create, since the relationship of man to his extensions, as observed also by Edward Hall, is a *"continuation and a specialized form of the relationship of organisms to their environment"* (Hall, 1982, p. 188). However, when the process becomes extended it is also possible that extension takes over.

Automation in this context is not an extension of mechanical principles of fragmentation and separation of operations, but as Marshall McLuhan noticed, *"it is rather invasion of the mechanical world by the character of electricity"* (McLuhan, 1964, p. 461-462). Our new electric technology, and computers in particular, now extends the instant processing of knowledge by interrelation that has long occurred within our central nervous system. It should however be noted, that since extensions are numb, the next logical step would be to build feedback (research) into them so that we know what is happening.

Only then it will be possible to create extensions paralleled by condition of speechlessness, which could confer, as McLuhan noted, a perpetuity of collective harmony and peace.

## Literature

1. BOGDANOV, Aleksander. *Essays in Tektology: The General Science of Organization*. 2. California: Intersystem Publications. 1980. 291 p. ISBN 0-914106-06-X.
2. *CLEAN Project Management*. R 3.1. Internal Standard. Creteil, France. 2022. 90 p.
3. *CPM2*. ver. 4.2. Internal Standard. Bietigheim-Bissingen, Germany. 2022. 38 p.
4. GIDDENS, Anthony. *The Constitution of Society: Outline of the Theory of Structure*. Cambridge: Polity Press. 1984. 402 p. ISBN 978-0-7456-0006-2.
5. GARE, Arran. *Aleksandr Bogdanov and Systems Theory (online)*. 2000. 6(3), p. 341-359 [cit. 6. 8. 2023]. ISSN 1085-5661, Available from: doi: 10.1080/10855660020020230.
6. HABERMAS, Jürgen. *The theory of communicative action: Reason and the rationalization of society*. Boston, Massachusetts: Beacon Press. 1984. 465 p. ISBN 0-8070-1507-5.
7. HALL, Edward T. *The Hidden Dimension*. 2. New York: Anchor Press. 1982. 210 p. ISBN 0-385-08476-5.
8. IBM. *What is automation?* IBM (online). United States: ibm.com, 2022. [cit. 6. 8. 2023]. Available from: <https://www.ibm.com/topics/automation>.
9. MCLUHAN, Marshall, *Understanding media: the extensions of man*. Berkeley: Gingko Press. 1964. 616 p. ISBN 978-1584230731.
10. MINTZBERG, Henry and BERNIKER, Eli. *Structure in fives: Designing effective organizations*. Administrative Science Quarterly [online]. 1984, 29(2) [cit. 6. 8. 2023]. ISSN 00018392. Available from: doi:10.2307/2393181.
11. MINTZBERG, Henry. *The Structuring of Organizations: The Theory of Management Policy Series*. New Jersey: Prentice-Hall. 1979. 512 p. ISBN 0-13-855270-3.
12. ORLIKOWSKI, Wanda J. *The Duality of Technology: Rethinking the Concept of Technology in Organizations*. Organization Science (online). 1992, 3(3), 398-427, p. 301-441 [cit. 6. 8. 2023]. ISSN 1047-7039, Available from: doi:10.1287/orsc.3.3.398.
13. ORLIKOWSKI, Wanda J. and Scott Susan V. *The entanglement of technology and work in organizations*. LSE Research online. London, 2008, 47 p. [cit. 6. 8. 2023]. Available from <http://eprints.lse.ac.uk/33898/>
14. PMBOK Guide. *A guide to the project management body of knowledge*, Sixth Edition. Newtown Square: Project Management Institute. 2017. 573 p. ISBN 978-1-62825-184.
15. ROSENAU Milton and GITHENS Gregory. *Successful Project Management: A Step-by-Step Approach*. New Jersey: J. Wiley & Sons, 2005. 384 p. ISBN 0-471-68032-X
16. *System principles of project management*. Internal Standard. Bietigheim-Bissingen, Germany. 2022. 78 p.

## **Autor's contact details**

Ing. Jan Holý

VALEO Schalter und sensoren GmbH

Laiernstraße 12–74321 - Bietigheim-Bissingen (GERMANY)

[jan.holy@valeo.com](mailto:jan.holy@valeo.com), [jan.holy@fs.cvut.cz](mailto:jan.holy@fs.cvut.cz)

## ZÁKLADNÍ DLOUHODOBÉ PROBLÉMY MANAGEMENTU

### ČESKÝCH PRŮMYSLOVÝCH PODNIKŮ

#### BASIC LONG-TERM MANAGEMENT PROBLEMS OF CZECH INDUSTRIAL ENTERPRISES

*Jan Horejc, Pavel Machala, Petr Pergner*

#### Abstrakt

*Příspěvek upozorňuje na opakující se chyby, kterých se dodnes dopouští část managementu českých průmyslových podniků, a který je nutno se zbavit i při uplatňování moderních manažerských nástrojů a metod. Jeho vznik byl inspirován současnými požadavky představitelů managementu uvedených podniků na českou vládu a odstraňování uvedených problémů má zlepšit výkonnost na úrovni podniků.*

**Klíčová slova:** dlouhodobé problémy managementu českých průmyslových podniků, jejich výčet a příčiny, základní kroky k jejich odstranění.

#### Abstract

*The paper draws attention to recurring mistakes, which are still being committed by part of the management of Czech industrial enterprises, and which must be eliminated even when applying modern management tools and methods. Its creation was inspired by the current demands of the management representatives of the listed companies on the Czech government, and the removal of the listed problems is intended to improve performance at the level of the companies.*

**Key words:** long-term management problems of Czech industrial enterprises, their enumeration and causes, basic steps to eliminate them.

#### Úvod

Česká ekonomika (vlastně celá česká společnost) nyní stojí – či spíše přešlapuje – na křižovatce a snaží se hledat další správnou cestu. To platí – zjednodušeně řečeno - jak na úrovni státu, tak na úrovni jednotlivých ekonomických celků (v našem případě průmyslových podniků), tak často i na úrovni jednotlivců. Na všech těchto úrovních se dosavadní užívané modely fungování (či dokonce existence) vyčerpaly, je třeba zvolit nové, a to za situace, kdy před námi stojí nové technické či ekonomické a sociální výzvy, s nimiž se budeme při hledání nových modelů zároveň vyrovnat (např. digitalizace, výzvy v oblasti Green Deal, důsledky dosavadní globalizace a v Česku i silně dominantního působení oligarchických struktur v některých odvětvích, kolabující trh práce, problémy financování státu v situaci, kdy bude neustále klesat podíl jeho ekonomicky aktivních obyvatel apod.). Společným jmenovatelem většiny problémů je fakt, že Česko nemá nebo příliš často diametrálně mění svoje strategické záměry v jednotlivých oblastech, přičemž komplexní celková strategie prakticky neexistuje a dlouhodobě neřešených problémů ve společnosti přibývá.

Na úrovni státu se nyní vláda – ale až pod silným tlakem představitelů podnikatelské sféry, nového vedení Hospodářské komory ČR (HK ČR), Svazu průmyslu a dopravy ČR (SPD ČR) a dalších institucí – bude snažit o nápravu – viz závěry Konference Česko na křižovatce – Vize a strategie pro dalších 30 let,

konané dne 1. 9. 2023 za účasti předsedy vlády Petra Fialy, zářijová schůzka členů vlády s představiteli HK ČR, SPD ČR, Konfederace zaměstnavatelských a podnikatelských svazů (KZPS) a dalších institucí s tématem Vize a strategie ČR na 10 a více let, vytvoření pracovní skupiny pro strategické investice ze členů Národní ekonomické rady vlády (NERV) apod. Co však mohou dělat průmyslové podniky v situaci, kdy tyto celostátní strategické dokumenty zatím neexistují či nejsou využívány. Úkoly jsou podobné úkolům vlády – pokusit se co nejrychleji a co nejefektivněji řešit dlouhodobé problémy, které zde existují a byly zatím nedostatečně řešeny.

## **1 Desatero základních dlouhodobých manažerských problémů českých průmyslových podniků**

Samozřejmě, že následující výčet těchto problémů je subjektivním stanoviskem autorů tohoto článku, svůj názor si však autoři vytvořili jednak na základě dat Českého statistického úřadu, Eurostatu, OECD a podobných institucí, na základě článků, analýz a dalších materiálů Ministerstva průmyslu a obchodu ČR (MPO), HK ČR, SPD ČR a různých poradenských institucí a v neposlední řadě i na základě rozhovorů s představiteli některých průmyslových podniků ČR.

### **1.1 Schází nám vize a strategie, scházejí nám vizionáři a strategické chování**

Českou ekonomiku vždy táhli osobnosti, které měli jasnou představu o svém podnikání (Baťa, Škoda, Kolben atd.), dnes sice máme takového osobnosti v oblasti start-upů (např. Dáme jídlo, Livesport, Kiwi.com, Zásilkovna, Průša Research apod. – viz např. (Mareš, 2021)), ale v sektoru průmyslových podniků takoví lídři obvykle scházejí. Často se postupně vyčerpávají faktory růstu, podniky postupně ztrácejí možné konkurenční výhody, objem zahraničních investic začal zhruba od roku 2014 klesat, rovněž ziskovost produkce klesá, zatímco mzdy a náklady neustále rostou, podíl high-tech produkce se pohybuje okolo 10%, takže se dostáváme se do stavu, označovaného jako past středních příjmů. Přitom zatím stále platí, že průmysl je tahounem ekonomiky.

Bez jasných vizí a vhodně zvolených strategií se tento stav (jak ukázaly studie a experimenty) ani změnit nemůže. Příliš jsme se podřídili modelu dodavatelské, resp. subdodavatelské ekonomiky, příliš často se omlouváme velikostí naší ekonomiky. Příliš často jen stáváme součástí evropských obchodních modelů, a nesmažeme se být v něčem první a originální. Zčásti proto, že nám scházejí ta potřebná vize a strategie, zčásti proto, že se v podnikání spokojujeme jen s kopírováním určité evropské praxe, a to v situaci, kdy Evropa sama má občas své strategické problémy a kdy se, bohužel, pomalu snižuje její podíl na světové ekonomice. V roce 1960 tvořilo 28 zemí, které jsou v současnosti v EU, více než třetinou světového HDP. V roce 2020 to bylo už pouze 22,4% a do roku 2100 se podle prognózy Centra Pardee na University of Denver očekává, že budou tvořit pouhou desetinu.

Jak celostátně, tak i v kategorii průmyslových podniků je třeba najít komodity či oblasti, v nichž chceme a můžeme být první (= řízení příležitostí) a zde vynaložme všechny síly pro získání a udržení této pozice. Také však nepodporujeme tendence k tomu, snažit se být první ve všem, neboť součástí správné strategie je i rozhodnutí čím se naopak podnik zabývat nebude. Nutnou součástí strategie musí být nejen stanovení naprosto konkrétních základních podnikových cílů (e jejich metrik), ale i vytvoření jednoznačné představy, jak toho konkrétně dosáhnout. Největší slabinou českého strategického managementu není je časté nekonkrétní stanovení cílů („chceme být mezi nejlepšími“), ale i skutečnost, že šance na výběr té nejvhodnější další strategie významně roste, pokud ji vybíráme z více možných (tj. reálně uplatnitelných) strategií. Poslední faktorem, který často způsobuje nechuť ke strategickému uvažování, je skutečnost, že tvorba strategie je vždy (přes užití nejrůznějších objektivních metod a nástrojů) zčásti subjektivní a je vždy spojena s určitými nejistotami, ale i riziky a jejich zvládnutím. Je třeba proto hledat nové cesty k provozování a zvládnutí strategického chování, s tím, že učení se na příkladech z minulých období nemusí být vždy postačující, neboť podmínky

(zejména okolí podniku) se neustále vyvíjejí a mění, k čemuž musí jak tvůrci, tak realizátoři podnikových strategií neustále přihlížet.

## 1.2 Neumíme implementovat nezpochybnitelné vývojové trendy

Náš pracovní (ale i soukromý) život nepochybně ovlivňují vývojové trendy ve třech, respektive čtyřech oblastech: v oblasti technologií (produkčních, ale v poslední době zejména informačních a komunikačních), v oblasti ekonomiky a jejích modelů, v oblasti sociální a v neposlední řadě i v oblasti přírodního okolí. Vývoj v těchto oblastech je třeba neustále sledovat a jeho výstupy promítat do naší činnosti.

To sledování nemusí být nutně osobní, neboť jednoznačné vývojové trendy se (s jistým zpožděním) obvykle promítnou do nejrůznějších předpisů či iniciativ a výzev, které se pak mohou nebo musí vztahovat k naší činnosti, přičemž rychlost jejich uplatňování nestále roste.

Mezi nejvýznamnější výzvy v poslední době, které se týkají průmyslových podniků, patří zejména výzva Průmysl 4.0, digitalizace veškeré činnosti, využití umělé inteligence a Zelená dohoda pro Evropu (Green Deal). Všechny byly vyhlášeny již před několika lety, ale jejich obsah se často ještě nestal vodítkem pro naši činnost. Náš přístup k novým, nezpochybnitelným vývojovým trendům je totiž stále stejný a dal by se (s lehkou nadsázkou) popsat takto:

- Nejprve je zkritizujeme (byť byli obvykle schváleni i českými zástupci), ačkoliv jsme si je zatím detailně nepřečetli či neprostudovali, někdy i s takovou znalostí hned vytýkáme těmto materiálům jejich chyby nebo nedostatky.
- Pak se formálně (slovně či písemně) k myšlenkám těchto materiálů (obvykle na doporučení vyšších míst) formálně přihlásíme a stejně formálně je začneme realizovat, ale v podstatě jen získáváme čas a čekáme na vyhlášení nových iniciativ či výzev, které pak mohou i částečně odvrátit pozornost od výzev, námi již formálně realizovaných.

Přitom si, bohužel, často neuvědomujeme základní a podstatnou věc: tyto výzvy jsou reakcí na celosvětové změny v oněch čtyřech výše uvedených oblastech a naše reakce na tyto změny by měla být jednoznačná: respektovat tyto nezpochybnitelné vývojové trendy, pokusit se z jejich rychle realizace vytěžit co nejvíce a promítnout je do veškeré naší činnosti. Dosavadní výsledky realizace záměrů iniciativy Průmysl 4.0, vyhlášené v srpnu 2016, zatím, bohužel, příliš neodpovídají stanoveným záměrům. Pokud se stejně postavíme k již zmíněnému procesu digitalizace (a český stát se, bohužel, tak zatím chová!), může to poměrně rychle poznamenat naši účast v mezinárodní dělbě práce, což si jako subdodavatelská ekonomika rozhodně nemůžeme dovolit.

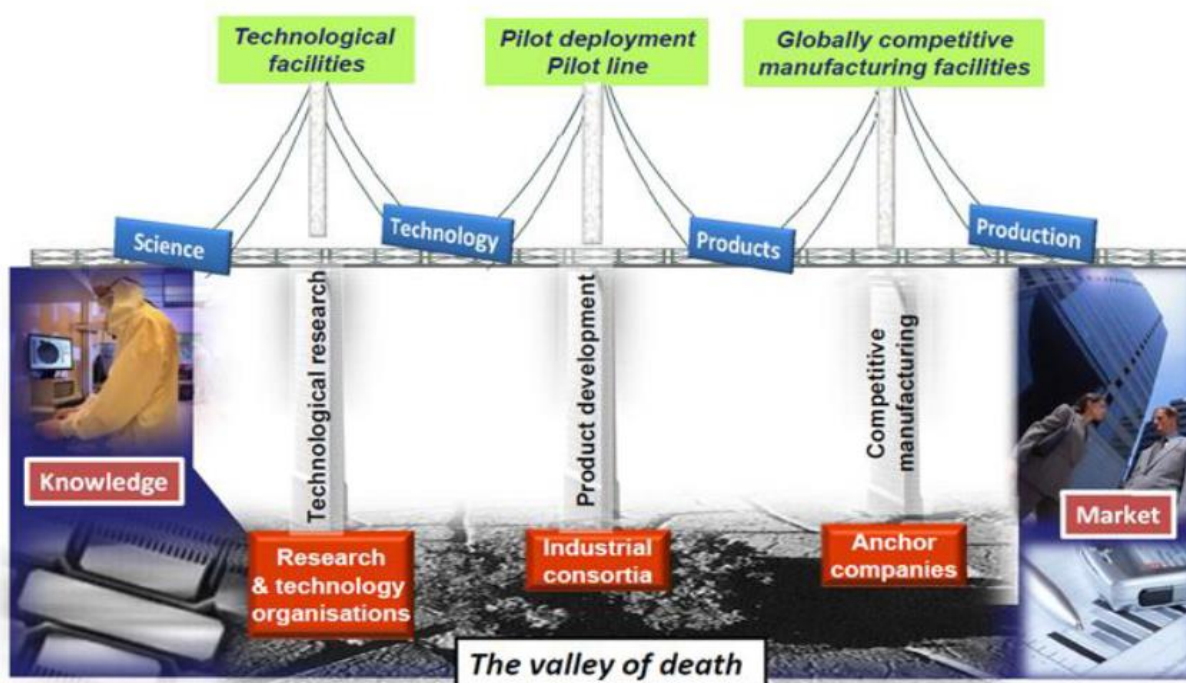
## 1.3 Neumíme integrovat výzkum a vývoj s praktickou aplikací

Český stát, ale i většina českých podniků má výrazné problémy při řízení oblasti výzkumu a vývoje, neboť tato oblast dlouhodobě netrpí ani tak nedostatkem vložených prostředků (i když zde v mezinárodním srovnání rozhodně nepatříme na první místa), ale spíše nedostatečnou koordinací jednotlivých aktivit v této oblasti a neefektivním využíváním prostředků v ní.

Prvním problémem efektivity v této oblasti je neexistence dlouhodobého plánu strategických investic (vzdělávání, energetická infrastruktura, dálnice, dopravní infrastruktura, věda a výzkum, vysokokapacitní datové sítě, výraznější digitalizace agend státní správy apod.), což je sice záležitostí státu, ale neefektivita v této oblasti ovlivňuje podstatně i efektivitu podnikových činností. Navíc jsme pro tuto sféru nedokázali (díky prokázanému korupčnímu jednání určitých osob a institucí) trestuhodně využít relativní dostatek prostředků, získaných z evropských rozvojových fondů. Rovněž jsme nedokázali uplatnit ve světě užívaný model smíšeného financování těchto akcí, kdy se vzájemně propojí (a také vzájemně hlídá využití) prostředky státu, organizací či dokonce i soukromých osob. Není náhoda, že s iniciativami v této oblasti nyní přicházejí před vládu představitelé nových vedení HK ČR, SPD ČR, KZPS a dalších institucí, neboť jejich analýzy prokazují, jak se neexistence uvedených

strategických investic projevuje i v ekonomice jednotlivých průmyslových podniků. A není náhoda, že jednou z nejvyšších priorit je otázka kvalitního vzdělání pro potřeby praxe na všech úrovních.

Samotný výzkum a vývoj a jejich vztahy charakterizuje nejlépe následující obrázek:



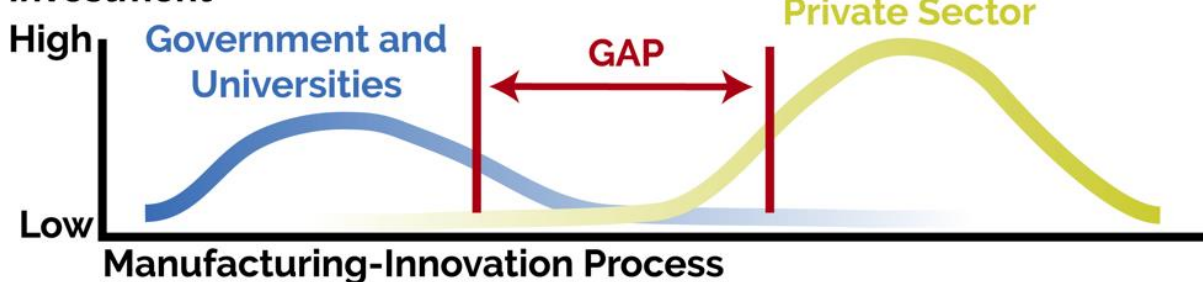
Source: EU KET HLG Final Report

Obr. 1 – Úzký most přechodu od výzkumu až po prodejné aplikace (Horizon, 2020)

Jednotlivé oblasti jsou řízeny a financovány samostatně, bez znalosti potřebných návazností na ostatní procesy postupu vzniku a realizace produktu. O tom, že to tak v praxi probíhá, svědčí nejen desítky názorných příkladů, ale i graf, který se v nejrůznějších podobách objevuje v analýzách této problematiky (viz obr. 2):

### Market Failure in Pre-Competitive Applied Manufacturing R&D

#### Funding/ Investment



Obr. 2 - Schéma vzniku reálného „údolí smrti“ při tvorbě produktu (NIIMBL, 2021)

Tzv. údolí smrti se samozřejmě při tvorbě produktu nelze zbavit, ale lze účinnými (kooperačními) manažerskými kroky jeho rozsah zkrátit a ošetřit i vznik možných rizik.

#### 1.4 Nezvládáme potřebnou inovaci podnikových zdrojů

Stejně jako na úrovni státu (viz současné aktuální téma strategických investic), tak i v podnicích se často dopouštíme chyby, že nedbáme o rozvoj a co nejvyšší využívání disponibilních zdrojů v našich podnicích, ačkoliv se toto téma stalo postupným vývojem jedním ze základních témat podnikání v 21. století. My sice často hovoříme o „plánování podnikových zdrojů“, což vzniklo převzetím, v česku příliš nepřekládaného pojmu ERP (Enterprise Resources Planning), který dominuje v procesech podnikových informačních systémů, ale o skutečném hospodaření s disponibilními podnikovými zdroji zatím, bohužel, příliš hovořit nemůžeme. Hospodaření se zdroji sice nepatří – dle ekonomické teorie – mezi hlavní procesy, ale jeho zanedbávání v delším časovém horizontu se vždy vymstí. Navíc při jejich pořizování velmi často sáhneme po těch ekonomicky dostupnějších (např. levné pracovní síle), a to na úkor pořízení ekonomicky efektivnějších zdrojů (např. moderních technologií).

Navíc se vzájemné postavení těchto zdrojů v čase rovněž vyvíjí: zatímco ve 20. století byla pozornost věnována především finančním a materiálně technickým zdrojům, pak v 21. století postupně přebírají dominantní postavení vedle moderních technologií zdroje informační (a dnes už i zdroje znalostní) a zdroje lidské. Dnes však nestačí jen samostatně řídit jednotlivé druhy podnikových zdrojů, ale je nutné usilovat o jejich vzájemné propojování a obohacování, které pak vede k synergickým efektům.

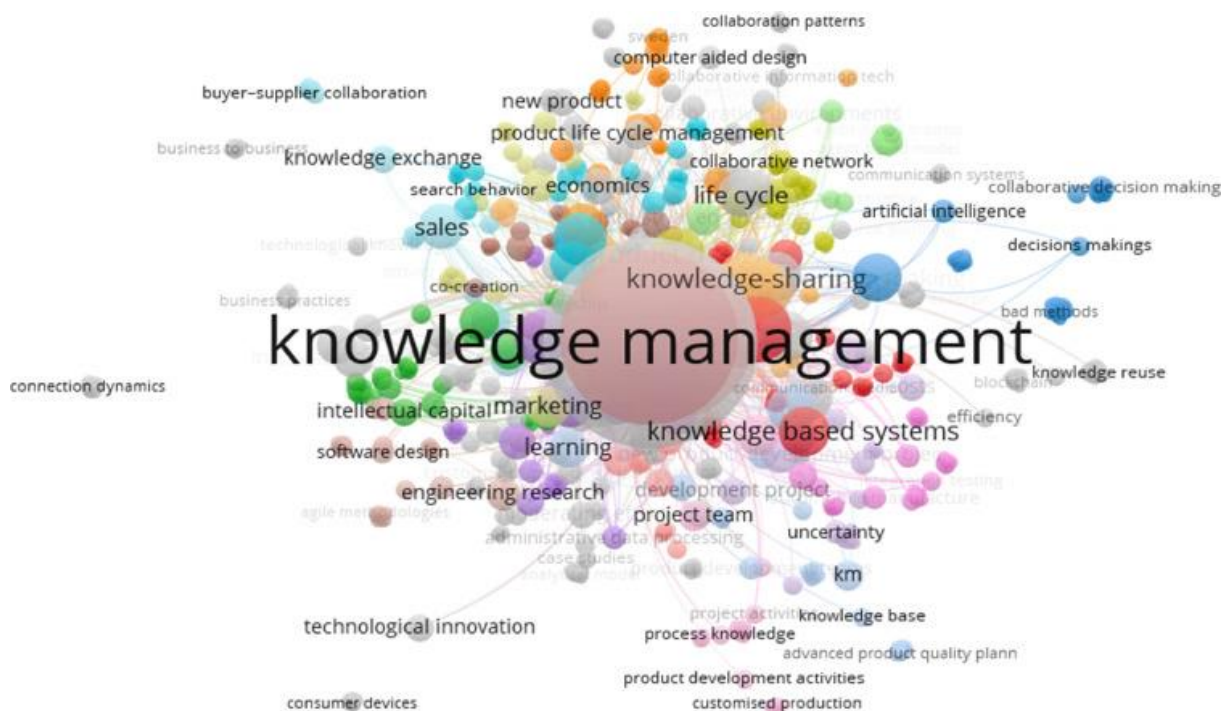
Otázky řízeného rozvoje podnikových zdrojů, využívání neformálních zpětných vazeb, neustálé sledování jejich efektivity a jejich včasná obměna (zde s malou výjimkou zdrojů lidských) tedy patří do procesů existenčních. Svěbytné a nejvýznamnější postavení mezi těmito procesy má pak rozvoj lidských zdrojů a v návaznosti na to i rozvoj znalostního managementu.

#### 1.5 Namísto znalostního managementu košatíme byrokracií

Důvody uplatňování znalostního managementu v podniku byly již mnohokrát popsány, ale přesto uveďme alespoň ten zcela bazální: zatímco ostatní zdroje podniku se jejich využitím spotřebovávají, a tedy nutné je pro příští produkci znovu (zcela či částečně) pořizovat, znalosti se jejich použitím nejen nespotebují, ale ještě velmi často zmnoží o poznatky, vzniklé s jejich minulým použitím. Navíc je zde kategorie v podnicích dosud sporadicky využívaných znalostí tacitních, jejichž získání a další využívání je sice poměrně náročné, ale ekonomicky velmi efektivní, což potvrzují i příklady z jiných, neprůmyslových odvětví. Úspěšné zavedení znalostního managementu však není jen otázkou kvalitní práce s lidmi, ale také i otázkou pořízení a zvládnutí moderních informačních technologií i softwarových nástrojů a jejich soustavné a efektivní využívání všemi zaměstnanci i managementem. Ale složek znalostního managementu je mnohem víc (viz obr. 3), ale jejich zvládnutí brání mj. i nedostatek českých literárních či elektronických zdrojů v této oblasti.

Pokud však zaměstnanci nemají dostatek znalostí či zkušeností s vlastní činností anebo jsou příliš pohodlní, nahrazují ji obvykle byrokracií, tj. neefektivním nasazováním formulářů, komisí či jiných porad





Obr. 3 – Hlavní oblasti znalostního managementu (Indres, Xu, Tehseen, 2023)

## 1.6 Podceňujeme vliv netechnických a obtížně kvantifikovatelných faktorů

Na jedné straně u nás existují průmyslové podniky, které se rigidně drží zásady: co nelze změřit, nelze ani řídit, a dokonce někteří jejich představitelé se domnívají, že většinu jejich charakteristik lze bezesbytku spočítat a nechťejí se ani zabývat věcmi, které vyčíslit nelze, na straně druhé existují i někteří příslušníci managementu, kteří se zoufale brání managementu na základě dat. V obou případech jde o extrémní postoje, které pak praxe (má-li být úspěšná) zkoriguje.

Zatímco představitelé té druhé skupiny dříve či později eliminuje sama praxe, u zastánců té první skupiny je podstatné, aby jednak využívali ukazatele a metriky, které mají skutečný vliv na výkonnost jejich podniku, jednak musí připustit opakovaně prověřenou pravdu: konkurenceschopnost podniku zčásti ovlivňují i faktory, které jsou zatím pro nás neměřitelné či obtížně měřitelné, ale které významně ovlivňují konkurenceschopnost podniku. Jako příklad uvedme tři z této množiny: firemní kultura, schopnost změn a inovací a v neposlední řadě důvěryhodnost managementu.

Důležité při práci s těmito faktory jsou tři podstatné věci: uvědomovat si a připustit existenci těchto faktorů jako prvků konkurenceschopnosti, pokoušet se je vhodným způsobem měřit či odhadovat (jde zejména o jejich vývoj!) a pamatovat si významnou a opakovaně prokázanou skutečnost: možná ztráta konkurenceschopnosti začíná vždy devalvací těchto obtížně kvantifikovatelných faktorů, teprve následně se pak začne projevovat ve výsledcích faktorů kvantifikovatelných.

## 1.7 Nedokázali jsme převzít vhodné metody a nástroje světového managementu

Zatím ne příliš úspěšnému přebírání moderních zahraničních manažerských metod a nástrojů bohužel brání tři skutečnosti: za prvé jejich poznání a reálné (nikoliv pouze učebnicové) pochopení, zčásti je tento stav ovlivněn tím, že prakticky téměř identické metody mohou být jejich autory či podniky, které s nimi přicházejí, různě označeny a není pak jednoduché se v záplavě těchto metod a nástrojů orientovat.

Druhou skutečností, které významně ovlivňuje úspěšnost implementace těchto metod, je fakt, že vycházejí vždy z jistých předpokladů a nejsou-li tyto předpoklady alespoň z větší části splněny, nutně pak implementace nemůže skončit úspěšně, což ovšem není chybou dané metody či nástroje, ale jejich uplatňovatelů. Je jistou poťouchlostí vzpomenout při této příležitosti některé zapálené zastánce reengineeringu jako univerzální vše-řešící metody, kteří se po několika neúspěšných implementacích zněbili v dehonestátory této metody. Oba extrémy jen dokazovaly jejich nepochopení metody.

Třetím faktorem, ovlivňujícím významně úspěšnost implementace nových manažerských nástrojů a metod je jejich kompatibilita s prostředím, do něhož jsou přenášeny. Tak například nepříliš úspěšný přenos uznávaných a prověřených japonských metod, používaných v jejich vyspělých průmyslových podnicích, naráží v Česku na jinou filosofii vedení těchto podniků a zejména na jinou mentalitu jejich zaměstnanců. Navíc tyto metody vznikly ve velkých a celosvětově působících společnostech, zatímco v Česku 99% průmyslových podniků je zařazeno v kategorii malých a středních podniků.

Uvedené tři bariéry by však neměly být zábranou před dalším studiem těchto metod a snahou o jejich uplatnění v českém prostředí.

### **1.8 Zavádíme své tzv. vědecké metody, ale zapomínáme na prověřené manažerské zásady**

Smyslem tohoto osmého upozornění není boj proti současným manažerským metodám typu Lean production, Six sigma, Kaizen apod., které – jsou-li správně implementovány – nesporně přinášejí vysoce pozitivní výsledky, ale obhajoba skutečnosti, že tyto metody musejí být vkládány do konzistentních svébytných (specifických) manažerských systémů, aby je obohatili a doplnili.

Každý podnik – i v době ovládané globalizačními tendencemi – by měl mít svůj specifický systém řízení, který má:

- a) Svoji vlastní filosofii podnikání a jeho řízení – viz vzorová ukázka v podobě podniků Tomáše Bati, dnešní Toyoty, Googlu, Amazonu apod.. Jednotlivé průmyslové revoluce – a dnes jsme na počátku té čtvrté, řekněme digitální – vyžadují své specifické myšlení, s tím, že zároveň jako podpůrné využívají nejlepší přínosy revolucí předcházejících.
- b) Své specifické cíle – které vyhovují jak byznysovému pojetí daného podniku, tak přinášejí nesporné přínosy pro své zákazníky či společnost jako celek
- c) Své specifické uspořádání – které reflektuje podmínky podniku, současný stav ekonomiky i vlastního oboru, specifické přístupy managementu daného podniku,
- d) Své specifické manažerské zásady – každé době mají odpovídat i vhodné manažerské zásady, které se však s časem vyvíjejí, počínaje 14 zásadami Henri Fayola, přes byrokratickou organizaci Maxe Webera, zásady H. Forda a A. Sloana, přes vizi dokonalých podniků, vizi podniků hospodařících v podmínkách chaosu, Toyota Production System, učící se organizaci, znalostní organizaci, až po současné konsensuální digitalizované podniky.

### **1.9 Nezvládáme vhodné komunikační nástroje ani motivaci zaměstnanců**

Prováděné výzkum problémů managementu v nejrůznějších institucích a tedy i v průmyslových podnicích ukazují, že nejčastějším prvotním původcem nejrůznějších problémů je nešťastná či nevhodná komunikace, což, bohužel potvrzuje i současná situace v české ekonomice a státě. Jsou sice k dispozici stále novější a modernější komunikační prostředky a nástroje a jejich využívání je jistě žádoucí, ale ani jejich implementace nemůže odstranit problémy, o nichž se chceme stručně zmínit. A nezapomeňme ani, že každá komunikace je relativně složitým procesem, který má tři základní vrstvy: verbální, non-verbální a významovou (např. tón, způsob a frekvence řeči), kdy druhá a třetí vrstva komunikace jsou i využití technických prostředků mírně upozaděny, ačkoliv v osobní komunikaci dominují.

Jasná a srozumitelná komunikace je nástrojem, který je nutno využívat neustále. V případě úspěšné činnosti seznamuje zaměstnance s úspěchy, vzbuzuje v nich hrdost ze své práce i z příslušnosti k jejich podniku. V dobách nejistot usměrňuje jejich činnost a slaďuje ji k potřebné součinnosti, ale nejpotřebnější a i nejintenzivnější musí být v období problémů a krizí. Tehdy musí management nezkresleně informovat o jejich skutečném stavu a o krocích, jež povedou k jejich nápravě či odstranění a zároveň musí dát zaměstnancům najevo, že věří v jejich eliminaci a nápravu. Výrazná část této komunikace musí mít podobu osobní komunikace a nelze ji nahradit jakýmkoliv komunikačními prostředky, což platí pro všechny úrovně podnikového řízení. Schovávání se za nic neříkající obecné tiskové zprávy či komentáře a citování stanovisek jiných osob vede jen k růstu nedůvěry a ztrátě ochoty pomoci při řešení těchto krizí. Uvedené stanovisko však nechce nijakým způsobem zlehčovat či bagatelizovat potřebu nasazení a využívání moderních komunikačních prostředků, jde jen o to, aby jejich volba byla vždy adekvátní dané situaci a naopak: dobře vytvořená vizuální prezentace často dokáže více, než obsáhlá výklad či diskuse.

Dalším – podle názoru autorů typicky specificky českým – problémem je motivace zaměstnanců. Ačkoliv nezpochybňujeme obecně rozšířený názor i praxi, že nejsilnějším motivačním nástrojem jsou peníze, domníváme se, že jednak je třeba usilovat o co nejširší spektrum motivačních nástrojů, jednak jsme přesvědčeni o tom, že motivace (či spíše stimulace) penězi u nás není používána vždy účelně a že má i své – objektivně zjištěné – limity.

Manažer by měl znát a užívat jednak více prostředků ne-finanční motivace a uvědomovat si i jednu významnou skutečnost: motivací je správně označování vnitřní potřeba dané osoby k dosažení určitého výsledku či stavu, a tuto motivaci, bohužel, často nevyužíváme. Přitom platí, že znalost teoretických přístupů zde mnoho nepomáhá, motivace je záležitostí originální, jež se zároveň obvykle mění i s časem či okolními podmínkami. Zde by se manažeři měli dát inspirovat kupříkladu příklady ze sportu, a to jak u úspěšných jednotlivců, tak i v případech motivace týmové. A ještě jeden poznatek z tohoto prostředí: motivaci sice může snižovat nespokojenost s určitými jevy, ale motivace nepodporuje spokojenost, nýbrž výkonovou (v našem případě pracovní) úspěšnost.

V případě stimulace penězi je třeba věnovat pozornost zejména těmto aspektům:

- Stanovení vhodného poměru pevné a pohyblivé složky mzdy,
- Zvyšování pevné složky zvyšuje motivaci jen do určité míry,
- V každém případě je třeba se vyhýbat rovnostářskému odměňování
- Odměny je třeba dávat jak za splnění plánovaných úkolů, ale i (vhodně odstupňované) za vykonání činností nadstandardních či mimořádných.

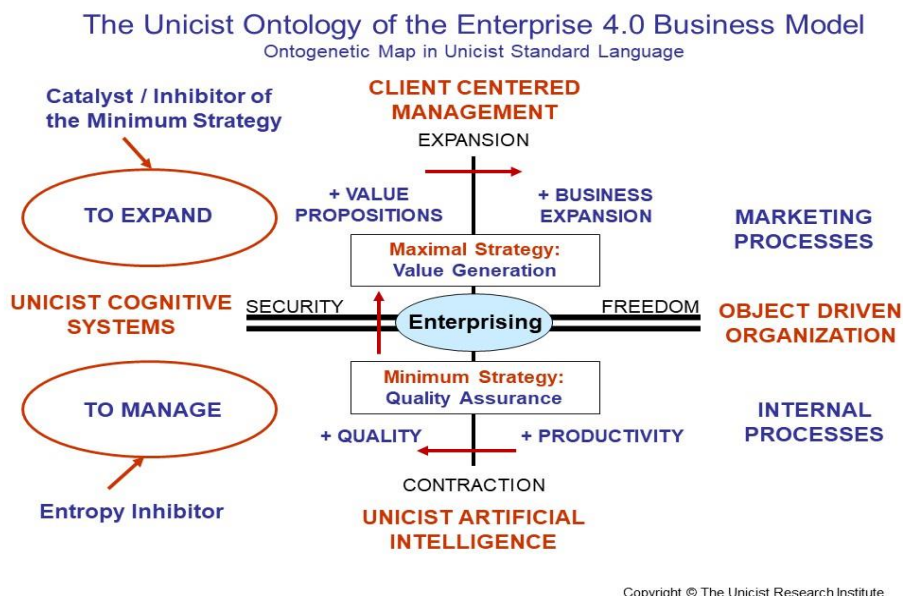
Uvedené poznámky k tématu komunikace a motivace, nechť jsou brány jako výchozí do další diskuse.

### **1.10 Nedostatečný trh práce blokuje péči o talenty a propojení vzdělávání s praxí**

S předcházejícím problémem souvisí i problém poslední: jak získat a udržet pracovníky nejen schopné, ale i talentované. Dokonce se v této oblasti nyní vede poměrně silný teoretický spor: zda-li hledat a pečovat zvláště o talenty o určitých oblastech nebo zda talent není rozhodující pro následné dosahované výsledky. Autoři tohoto článku se přiklánějí spíše k prvnímu názoru, a proto si dovoluují tuto poznámku:

Práce s talenty se vyplácí a nemusí být pro podnik ani příliš zatěžující. Problémem je skutečný talent (pro jakoukoliv oblast) nalézt, ale jejich vedení již tak složité není, protože skutečný talent nepátrá ani tak po penězích, ale po příležitosti, kdy by mohl svůj talent uplatnit či dokonce rozvíjet. Touží získávat nové zkušenosti a zároveň předvést svůj talent. Velmi často touží po úkolech, které jsou něčím zvláštní

nebo které jej provokují svojí náročností, přitom je problémem, zda-li dokáže dobře kvantifikovat svoje schopnosti. O tom, jaké problémy by měl přitom řešit, svědčí mj. i následující model (obr. 4):



Obr. 4. - Enterprise 4.0: For Grow, Profitability and Sustainability (The Unicist Research Institut, 2023)

Talent management je dnes svébytnou částí řízení lidských zdrojů, a jestliže chce průmyslový podnik hledat a pracovat s talenty. Měl by využít spolupráce se školami, kdy vedle tradičních forem (zadávání kvalifikačních prací, spoluúčast v projektech, podpora školních či akademických soutěží studentů) sáhnout dokonce až ke stipendiím, které se však v budoucnu vyplatí.

Stárnutí populace v České republice může v příštích letech vést k nedostatku zkušených pracovníků, vzhledem k demografickému vývoji je potřeba klást důraz na automatizaci a modernizaci současných výrobních procesů. Udržení talentu je díky konkurenci o kvalifikované pracovníky pro společnosti klíčové. Mělo by se vytvářet atraktivní pracovní prostředí a příležitosti rozvoje. Společnosti by měly mít nastavené programy pro rozvoj talentovaných zaměstnanců, díky kterým zajistí svou atraktivitu pro tyto klíčové zaměstnance.

## 2 Jaké jsou cesty k řešení uvedených problémů

Původní koncepce tohoto článku počítala s tím, že v jeho druhé části autoři alespoň naznačí, jak řešit vytipované problémy. Rozsah článku však tuto koncepci neumožňuje, takže načrtneme alespoň základní kroky tohoto řešení. Aby bylo úspěšné a účinné, musí se zároveň, ale s návaznostmi a velkou rychlostí odehrát:

- a. **Změna celostátní filosofie** – stát musí opustit roli pouhého regulátora a jasně definovat základní cíle v ekonomice, a tedy i v průmyslové oblasti, a garantovat dlouhodobější neměnnost podmínek, aby se je podnik mohl naučit respektovat a využívat,
- b. **Změna filosofie zaměstnavatelů** – zaměstnavatelé musí (při chudém trhu práce) hledat cesty k získání a udržení menšího počtu zaměstnanců, s tím, že budou výrazněji vytvářet podmínky pro jejich další rozvoj a využívat více jejich iniciativy, zároveň však musí využívat další osoby na zkrácené úvazky a hledat cesty i rozumnému zaměstnávání zahraničních osob,

- c. **Změna filosofie zaměstnanců** – zaměstnanci musí opustit představu zaměstnání jako místa pro získání potřebných peněz pro své osobní aktivity, ale vnímat zaměstnání jako prostor pro rozvinutí jejich osobního potenciálu,
- d. **Integrace uvedených tří úrovní filosofie** – teprve integrace změny všech tří uvedených filosofí (a to jistě nebude krátkodobá záležitost) může vytvořit potřebné synergické efekty, které mohou způsobit, že se Česko stane opět atraktivní a nepřehlédnutelnou ekonomikou.

## Závěr

Příspěvek se pokouší upozornit na podstatné a dlouhodobě se opakující chyby v managementu českých průmyslových podniků. Zdroji k jeho vytvoření byly jak obdobné pokusy, ale materiály a závěry výzkumů a prováděných analýz a v neposlední řadě i rozhovory s představiteli managementu těchto podniků. Výsledek má sloužit i poučení jak studentů doktorského studia, tak i začínajících příslušníků podnikového managementu. Zároveň má být i úvodem do diskuse s těmito i dalšími zájmovými skupinami, jež mají přispět i k udržení pozice českého průmyslu v evropské ekonomice.

## Prameny

1. BERSIN, Josh. *What s Talent Management?* Josh Bersin Academy. Published July 16, 2007. In: <http://www.joshbersin.com/2007/07/What-is-talent-management/>,
2. GONCHAROVA, N.A., KONDRATENKO, I. S., ZAMARAEVA, E. N.: *Economic Mechanism of Industrial Enterprise Resources Management Efficiency Assessment*. The Journal of Social Sciences Research , Academic Research Publishing Group, sv. 4(12), strany 470-477, 12-2018.
3. Horizon 2020: Key Enabling Technologies (KETs), Booster for European Leadership in the Manufacturing Sectors, In: [https://europaparl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2014/536282/IPOL\\_STU%282014%29536282\\_EN.pdf](https://europaparl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2014/536282/IPOL_STU%282014%29536282_EN.pdf)
4. INDRES, Hisham, XU, Jin, HAIDER, Syed Arslan, TEHSEEN, Shehnaz: *A systematic review of knowledge management and new product development projects: Trends, issues, and Challenges*. Journal of Innovation & Knowledge, svazek 8 (2023), 100350, In.: <https://www.elsevier.com/journal-of-innovation-and-knowledge>.
5. MAREŠ, Michael. *Nápad za miliardu. Nejinspirativnější příběhy českých startupistů*. Vydání druhé. Zlín. KNIHA ZLÍN, 2021. 291 s. ISBN 978-80-7662-384-2.
6. NIIMBL: *NIIMBL valley fo death. 2021*, Dostupné z: <https://www.nist.gov/image/niimbl-valley-death>;
7. URBAN, Jan. *40 manažerských mýtů, které škodí vašemu byznysu*. Praha: Grada Publishing, 2018. 190 s. ISBN 978-80-271-0571-7.
8. ----: *Enterprise 4.0: For Growth, Profitability and Sustainability*. The Unicist Research Institute, 2023. In: <https://www.unicia.net/management/enterprise-4-0/>.
9. ----: *STRATEGICKÉ INVESTICE. Závěrečná zpráva*. Zpracoval Ipsos na základě výzkumu pro HK ČR, SPD ČR a KZPS jako materiál konference Česko na křižovatce – Vize a strategie pro dalších 30 let, konané dne 1. 9. 2023 v Praze.

## Kontaktní údaje o autorech

Jméno Doc. Ing. Jan Horejc, Ph.D.  
Pracoviště Ústav ekonomiky a managementu Fakulty strojní ČVUT  
Adresa Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2  
Telefonní číslo 22435-5784  
E-mail jan.horejc@fs.cvut.cz

Jméno Ing. Pavel Machala  
Pracoviště doktorand Ústavu ekonomiky a managementu Fakulty strojní ČVUT; zam.: NKT s. r. o., Kladno  
Adresa Průmyslová 1130, 272 01 Kladno  
Telefonní číslo 725/647 411  
E-mail pavel.machala@gmail.com

Jméno Ing. Petr Pergner  
Pracoviště doktorand KPV fakulty strojní ZČU v Plzni; zam.: Doosan Škoda Power, s. r. o.  
Adresa Tylova 1/57, 301 28 Plzeň 3  
Telefonní číslo 737/268 786  
E-mail petr.pergner@doosan.com

# Optimizing Economic Efficiency in Industrial Maintenance Management: A Comprehensive Systematic Literature Review

*Birkan Isik, Miroslav Zilka*

## Abstract

*In today's industrial factory, maintenance management goes beyond ensuring the continuous functionality of equipment; it plays a pivotal role in optimizing economic efficiency. This systematic literature review (SLR) examines the evolution of industrial maintenance management systems covering the period from 2015 to 2023. The studies, which were selected from 571 articles at the beginning, were reduced to 45 basic articles, especially considering maintenance, optimization and economic efficiency in the industrial field. Central research inquiries include the integration and application of Industry 4.0 tools within maintenance systems, optimization techniques employed to enhance economic efficiency, decision-making methodologies utilized in maintenance, and the distribution of research across sectors and machines. Our findings elucidate the profound impact of Industry 4.0 on maintenance management. Emphasis is placed on novel optimization strategies and decision-making techniques driving economic productivity. Additionally, a sectoral and machine-based analysis sheds light on areas of research concentration and potential gaps, offering insights for future exploration. The research provides valuable perspectives, serving as a cornerstone for academics and industry professionals interested in the intricate nexus between maintenance management, economic efficiency, and decision-making in the context of Industry 4.0. With a spotlight on current trends, methodologies, and potential avenues for further investigation, this review seeks to foster a deeper understanding and stimulate further innovation in the domain.*

**Key words** : maintenance management, optimization, decision-making, Industry 4.0

## Introduction

With the development of technology the fourth industrial revolution, sometimes referred to as Industry 4.0, has initiated a transformative movement marked by the harmonious integration of digital technologies, artificial intelligence (AI), sensors, machine learning (ML), and the Internet of Things (IoT) within different industrial applications. This rising growth indicates not just a technical transformation but also a reinvention of traditional industrial practices, bringing creative ways meant to boost efficiency, streamline operations, and improve decision-making processes. Maintenance and maintenance management systems are one of the most significantly impacted fields of this industrial revolution (Lee et al., 2020).

One of the crucial steps in the production process is maintenance. Ineffective and improper maintenance procedures have a detrimental impact on the efficiency of the production process as well as the final product's quality (Nasr et al., 2023). The goal of maintenance procedures is to successfully complete the manufacturing processes with the desired result. In terms of time, resources required, labour, technical tools, and spare parts, maintenance is a significant expense in the production process. The cost of maintenance workers, replacement parts, downtime, and production losses are some of the factors used to calculate maintenance costs. There are studies in the literature on the use of various optimization techniques to integrate Industry 4.0 technologies into maintenance management systems, automatically select the best maintenance policy, and provide economic efficiency in maintenance costs (Nacchia et al., 2021).

According to our systematic literature research, it has been shown that the use of AI especially use of ML techniques in mathematical models, may increase the cost efficiency of maintenance management systems (Nguyen et al., 2022). However, although these models have mostly been applied theoretically, there seems to be a lack of application in practice. Theoretically, studies have been conducted to economic efficiency of maintenance management system of different machines such as CNC machines (Adu-Amankwa et al., 2019), yoghurt machines (Simon et al., 2018), and fan motors (Chen et al., 2022), notably in sectors like automotive (Rahman et al., 2022), aerospace, medical products, and food. Despite the literature's emphasis on the importance of rotating equipment maintenance (Lee et al., 2020), it has been seen that no research has been done to improve the economic efficiency of the maintenance management system, particularly for compressed air systems that have rotary equipment as part of their system. In order to reveal the recent developments in maintenance management systems, the literature published in Scopus and the Web of Science in the last eight years has been systematically researched with our research questions. With our research questions, newly developed maintenance policies, the use of maintenance decision-making techniques, maintenance optimization and maintenance cost parameters were questioned. As a result of our research, optimization approaches applied for economic efficiency in maintenance management systems were discovered, and it was seen which sectors and machines could have the potential to work.

The remainder of this article's sections are organised as follows: An introduction to maintenance, maintenance policy, and maintenance management systems is provided in Chapter 1. The systematic research methodology process for doing a literature review is presented in Chapter 2. In Chapter 3, answer of research questions is highlighted and the changing framework of maintenance by Industry 4.0 is discussed, along with a thorough study of the results. Final part, study's conclusion.

## 1 Theoretical Background

This section outlines (1.1) maintenance and maintenance policy, (1.2) maintenance management systems.

### 1.1 Maintenance and Maintenance Policy

A system or object has to be maintained in order to function properly or, if required, to be restored. Maintenance is described as a combination of technical and administrative operations. In addition, maintenance goals are broken down into four categories: guaranteeing system security, ensuring system lifespan, and ensuring human well-being. Maintenance is defined as all scheduled and unforeseen routine tasks performed on operational equipment in a production plant (Lee et al., 2020).

For the purpose of assuring continuing equipment maintenance and addressing related problems, maintenance planning is essential. The structuring of associated jobs and the choice of maintenance strategies form the foundation of this process. It is clear from the literature that maintenance strategies are also known as maintenance policies. The perceived significance of a piece of equipment shapes the maintenance policies that are organization-specific and direct the maintenance chores that go along with it. The structure used to schedule maintenance jobs, the maintenance decision-making platform, is supported or revitalized by these policies (Nasr et al., 2023). The identification, inspection, maintenance, replacement, and repair of equipment are essential tasks that fall under scheduled equipment maintenance. In the literature, there is no single maintenance policy accepted by everyone. Several categories of maintenance policies such as reactive, preventive, predictive, condition-based, time-based, reliability-center, total productivity have been established by various authors (Lee et al., 2020). This situation is explained in Tab. 1.



## 1.2 Maintenance Management Systems

In industrial companies, maintenance management systems are used to implement ideal maintenance policies and ensure optimum operation of equipment. For economic efficiency in maintenance, maintenance management systems should provide the necessary optimizations and the right maintenance policy selection should be made. Maintenance management systems (Passath & Mertens, 2019) started to be implemented as Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) in the past and then continued as Computerised Maintenance Administration System (CMMS) with the development of computer and software technologies. In recent years, with the use of Industry 4.0 technologies, data analysis has been carried out, and with the formation of predictive models in maintenance, it has begun to be called intelligent maintenance, information-based maintenance and, decision-based maintenance management systems (Sharma & Govindaraju, 2020).

A systematic method called FMEA is used to recognise, assess, and rank probable failure modes in goods or processes (Prasad & Radhakrishna, 2019). A Risk Priority Number (RPN) is derived by evaluating the seriousness, frequency, and detectability of each failure mode. The RPN value ( $RPN = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \times \text{Detection}$ ) directs corrective efforts to reduce the greatest risks, thereby improving safety and dependability.

Tab. 1: Maintenance Policy (illustrated by Author).

Maintenance Policy	Core Principles	Advantages	Disadvantages
<b>Reactive</b>	Wait for a failure then repair	No planning needed, Simple approach	Unexpected downtimes, High repair costs
<b>Corrective (CM)</b>	Repair the failed part	Addresses the root cause of failure	Can lead to unexpected downtimes
<b>Preventive (PM)</b>	Scheduled maintenance	Extends equipment lifespan, Reduces downtimes	Potential unnecessary maintenance activities
<b>Condition-Based (CBM)</b>	Maintenance based on equipment condition	Cost savings, Based on real condition	Requires condition monitoring systems
<b>Time/use-based (TBM)</b>	Maintenance based on time or usage	Predictable, Simple approach	Can overlook the actual condition of the equipment
<b>Predictive (PdM)</b>	Maintenance based on equipment condition predictions	Higher equipment uptime, Cost-effective	Requires predictive algorithms
<b>Prognostic</b>	Predict when equipment might fail	Provides advanced planning	Requires complex algorithms
<b>Prescriptive</b>	Suggests best maintenance actions based on predictions	Automated suggestion, Better decision support	Needs sufficient data and analysis
<b>Reliability Centered (RCM)</b>	Systematic approach to evaluate and define maintenance requirements	Improved system reliability and efficiency, Risk management	Requires significant upfront analysis and expertise
<b>Business Centered (BCM)</b>	Maintenance aligned with business goals	Positive impact on overall business performance	Requires more complex initial planning and analysis

A specialised piece of software called a CMMS is created to support and improve the administration and monitoring of Operations & Maintenance (O&M) operations. By automating various logistics tasks, CMMS simplifies the tasks of management and maintenance personnel. Its features include keeping a historical record of these orders as well as creating, prioritising, and monitoring work orders according to equipment or component. CMMS can plan maintenance tasks, keep track of pertinent protocols, technical documents, and warranty situations for all components of the system. Additionally, CMMS offers real-time information, automates the development of work orders for preventative

maintenance based on the calendar or run-time, and keeps tabs on both labour and capital expenses (Vilarinho et al., 2017).

## 2 Research Methodology

A procedure used to find, examine, and assess studies published within a certain study subject is called a systematic literature review. Using this technique, existing gaps in this field are found and potential research directions are highlighted. Preliminary studies are research studies that were included in the review. SLRs use an evidence-based methodology to summarise the body of knowledge in a certain field and offer a secondary assessment based on primary data. We used the SLR approach that Kitchenham (2004) and her team demonstrated in this work. First, the research begins by defining and clearly stating the research questions that the review aims to answer. Then, the scientific resources and research strategies used in scanning related articles are presented. Finally, the standards used in the selection of suitable articles are explained.

### 2.1 Research Objectives

This research aims to analyze and evaluate the research conducted in the last eight years on the improvement of maintenance management and increasing its economic efficiency in the industrial field. In addition to the literature review, the main purpose is to learn about the new maintenance policies and optimization techniques developed in maintenance management systems with the effect of Industry 4.0 technologies and to observe which techniques are used to decide on ideal maintenance policies. In addition, it is the discovery of areas where research is carried out in sectoral and machine-based areas and can be studied.

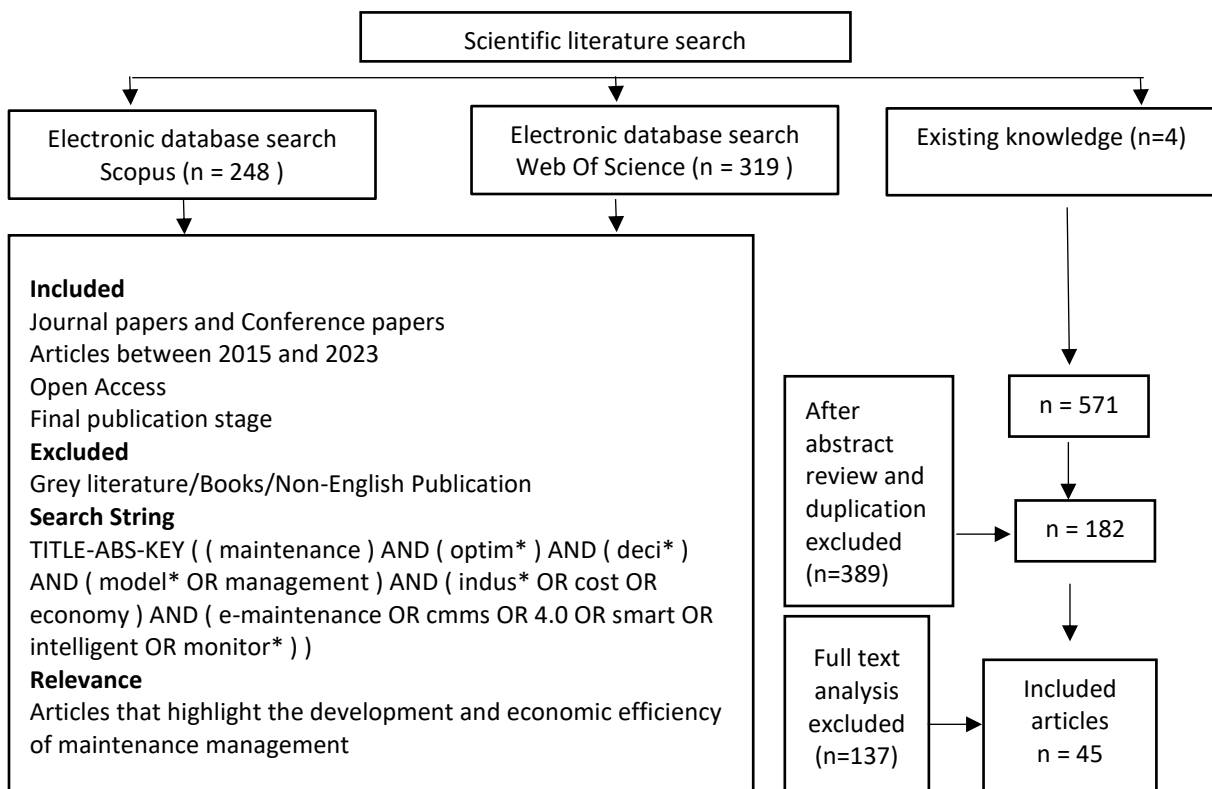


Fig. 1: Research Strategy (illustrated by Author).

## 2.2 Research Questions

- Q1. Which parameters should be considered in order to ensure economic efficiency in maintenance management?
- Q2. What developments have occurred in maintenance management systems that may have an impact on economic efficiency?
- Q3. Which optimization and decision-making techniques are used for economic efficiency of maintenance management system?
- Q4. In which field and with which methodology have the studies that will provide economic efficiency in maintenance management systems been carried out?

## 2.3 Research Strategy

Research data sources were searched on Scopus and WOS index. Keywords related to the subject were determined. Boolean operators "AND" and "OR" were used for keywords. Our research limit as title, abstract and keyword is "(( maintenance) AND (optim\*) AND (deci\*) AND (model\*OR management ) AND ( indus\* OR cost OR economy ) AND ( e-maintenance OR cmms OR 4.0 OR smart OR intelligent OR monitor\* ) )". It is explained in detail in the Fig. 1.

## 3 Results

In this section, a comprehensive analysis has been provided in light of findings from the literature, aiming to address the research questions posed.

### 3.1 Which parameters should be considered in order to ensure economic efficiency in maintenance management?

Tab. 2: Cost Category of Maintenance (Van Horenbeek et al., 2010; Zhang et al., 2018; Dmitriev & Novikov, 2019; Chen et al., 2022; de Lima Munguba et al., 2023)

Cost Category	Description	Calculation Methodology
<b>Labor Costs</b>	Direct costs for on-site workers and indirect costs for management and support staff.	$(\text{Hourly Rate}) \times (\text{Hours Worked})$
<b>Material Costs</b>	Includes expenses for spare parts, consumables, and other direct materials.	$(\text{Unit Cost}) \times (\text{Quantity Used})$
<b>Tools and Equipment</b>	Costs associated with purchasing, operating, and maintaining necessary tools and equipment.	$(\text{Purchase Price}) + (\text{Operational Costs})$
<b>Contract Services</b>	Expenditures related to external specialized maintenance services.	$(\text{Service Fee}) \times (\text{Frequency})$
<b>Overhead</b>	Indirect costs such as utilities, rental spaces, and administrative overheads.	$(\text{Fixed Costs}) + (\text{Variable Costs})$
<b>Inventory</b>	Expenses linked to the storage and management of spare parts.	$(\text{Storage Cost}) / (\text{Item} + \text{Management Fee})$
<b>Downtime</b>	Financial implications stemming from production losses due to equipment unavailability.	$(\text{Lost Production Value}) / (\text{Unit Time} \times \text{Duration})$
<b>Training</b>	Costs involved in updating the skills and knowledge of maintenance personnel.	$(\text{Training Fee} + \text{Materials Cost})$
<b>Documentation and Software</b>	Expenses related to the maintenance of technical documentation and the acquisition or licensing of relevant software systems	$(\text{License Fee/Year} + \text{Update Costs})$

Efficient maintenance management systems in industrial companies are an important factor for organizations aiming to extend the life of assets in the plant, minimize equipment downtime, and

reduce costs. This multi-faceted domain ranges from cost-effectiveness, where the equilibrium between the expenses and benefits of maintenance activities is continually assessed to ensure value for money, to the adoption of lifecycle costing methodologies, providing a holistic perspective on total asset expenses throughout its operational span. The main goal of maintenance management is to constantly focus on the constantly accessible, reliable, quality, and efficient operation of assets. With Industry 4.0 capabilities at their disposal, maintenance procedures enable companies to proactively identify and prevent prospective equipment problems, thereby reducing downtime and related costs (Van Horenbeek et al., 2010). The complex interplay between routine (preventive) and sensitive (corrective) maintenance is continually evaluated with methodologies tailored to asset importance, historical performance, and failure trends. At the heart of these practices is the optimum use of resources. This encompasses the continuous training of staff to align with modern techniques and the efficient allocation of physical resources, like state-of-the-art tools, to guarantee uninterrupted operations. Industrial companies continue to provide meaningful outputs by regularly observing the goal of reducing maintenance costs, key performance indicators, and key metrics, and analyzing data (Zhang et al., 2018) (Tab. 2).

### 3.2 What developments have occurred in maintenance management systems that may have an impact on economic efficiency?

Maintenance management systems have experienced tremendous modification, particularly with the advent of Industry 4.0. Industry 4.0 capabilities, including augmented reality, autonomous robots, big data analysis, cloud computing, cyber security, IoT, and AI have started to be applied in maintenance management systems to improve economic efficiency (Teoh et al., 2021). Important developments in maintenance management systems the following;

**Prescriptive Maintenance Policy:** In recent years, especially with the inclusion of AI in maintenance policies, the concept of prescriptive maintenance has emerged as a more significant development than predictive maintenance. Prescriptive maintenance recommends specific steps to minimize equipment failure as well as predict when it may occur (Ansari et al., 2019).

**Internet of Things:** With IoT-enabled devices and connections to the system, physical assets can be monitored continuously in real time, and ensuring that up-to-date data is collected in the continuous management system. The IoT integration of the system gains importance at the point of performing dynamic data analysis, as constantly flowing data from the equipment to be maintained will vary (Lee et al., 2020).

**Cloud Computing:** The rise in the influence of maintenance management systems on operational effectiveness in the industrial sector and the reliance of decision-making processes on data have been aided by cloud computing. Cloud computing provides high-capacity data storage as well as infrastructure for advanced data mining, complex statistical analysis, time series forecasting, and ML methods, making maintenance data more accurate and useful (Lee et al., 2020).

**Cybersecurity:** Guard against possible intrusions that can cause expensive system failures or downtime (Lee et al., 2020).

**Horizontal and Vertical System Integration:** In order to ensure that all manufacturing equipment operates in harmony and effectively shares data, horizontal integration places a strong emphasis on fostering a cohesive environment across related processes or activities within an organization. Vertical integration, on the other hand, deals with lining up various hierarchical levels inside the business, from lower-level enterprise resource planning (ERP) systems to field devices on the factory floor (Ansari et al., 2019; Burduk et al., 2022).

**Smart Maintenance Management System:** Maintenance management systems called CMMS have started to be called Smart Maintenance Management System, Knowledge Base Maintenance Management System or Decision Support System in the literature with their integration into new

technological developments. This model is shown in the Fig. 2. The system basically works as follows: Assets in the physical layer of the system are the key components where operations take place. The sensors and IoT devices on these assets continuously collect and record various types of data (maintenance records, machine data, fault data, task request data, quality data). This collected data is quickly transferred to a central database thanks to cloud computing technology. Here, the analysis of the collected raw data is carried out using methods such as data mining and ML. The meaningful information obtained as a result of this analysis is presented to users by concretizing it with data visualization tools. Deeply analyzed and visualized information is integrated into decision-support models to optimize maintenance. This integrated structure increases economic efficiency by allowing organizations to make more effective, rapid, and informed maintenance decisions (Guizzi et al., 2019; Meissner et al., 2021; Abadi et al., 2022).

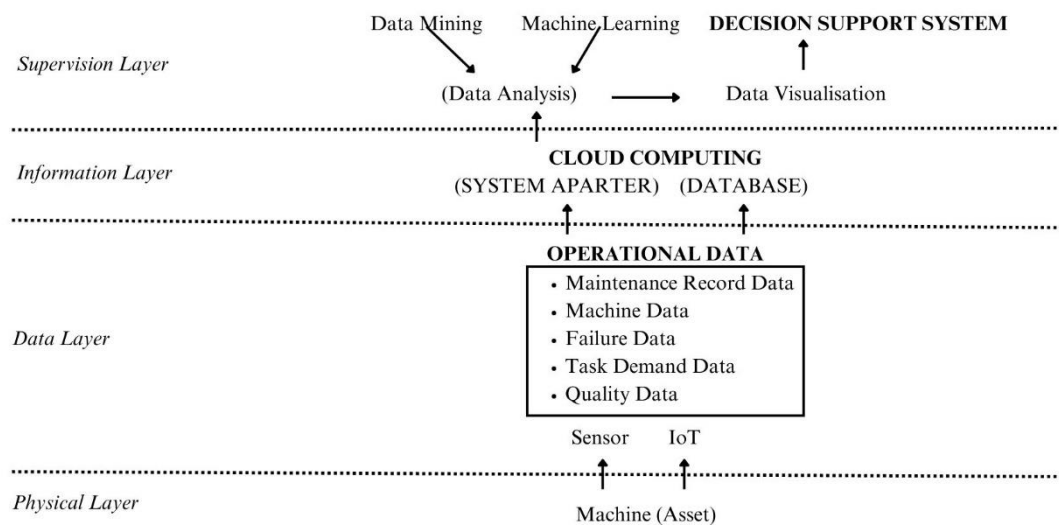


Fig. 2: Smart Maintenance Management System (illustrated by Author).

### 3.3 Which optimization and decision-making techniques are used for economic efficiency of maintenance management system ?

Optimization and decision-making techniques are essential to increasing the economic efficiency of maintenance management systems. Based on a blend of traditional operations research and modern computational methods, these techniques allow organizations to optimize resources, minimize downtime, and increase the economic efficiency of equipment (Van Horenbeek et al., 2010). Looking at the relevant literature, the optimization and decision techniques used in maintenance management are given below.

#### 3.3.1 Prediction Methods

**Statistics:** In industrial maintenance applications, Statistical Quality Control (SQC) utilizes statistical techniques to identify premature equipment anomalies, guaranteeing efficient performance. On the other hand, the Support Vector Machine (SVM) approach operates as a supervised ML model designed for both classification and regression tasks. SVM assists in equipment failure prediction during maintenance, enabling quick and proactive action. On the other hand, the moving averages technique enables maintenance personnel to regularly assess the equipment's performance, enabling the early detection of potential flaws (Ansari et al., 2019).

**Degradation Modeling:** Thanks to deterioration models, we can better predict when equipment will fail. The Exponential Distortion Model is suitable for components that initially show rapid deterioration but then become stable. The logarithmic model is ideal for equipment that initially requires frequent maintenance but these needs decrease over time. The Weibull Distribution is used in reliability and life data analysis. When planning maintenance policies, Weibull analysis provides information about the

life of the equipment, the possible timing of failures, and when maintenance interventions will be effective (Van Horenbeek et al., 2010) (Tab. 3).

Tab. 3: Degradation Models for Maintenance

Model / Distribution	Description	Calculation Methodology
<b>Exponential Degradation</b>	Assumes degradation is proportional to its current state.	$dD(t)/dt = kD(t)$ $D(t)$ : Degradation level at time $t$ . Represents the accumulated wear or degradation of the component at a specific time point. $k$ : Rate of degradation. This constant describes how fast the degradation occurs.
<b>Logarithmic Degradation</b>	Degradation rate decreases over time.	$D(t) = a + b \ln(t)$ $a$ : Represents the initial degradation when time is very close to zero. $b$ : Determines the rate of slowdown in degradation over time.
<b>Weibull Distribution</b>	Used in reliability; models various life behaviors.	$f(t; \lambda, k) = k\lambda(\lambda t)^{k-1}e^{-(\lambda t)^k}$ $t$ : Time. $\lambda$ : Scale parameter. $k$ : Shape parameter

**Machine Learning:** ML has started to be used in industrial factories as an optimization techniques in maintenance with the integration of Industry 4.0 tools into systems. In particular, subcategories of ML such as supervised and unsupervised learning are used in the automation of maintenance processes, early detection of faults, and real-time monitoring of equipment status. Dynamic Bayesian Networks (DBN), on the other hand, are used to predict the future state of equipment in complex systems and time-varying relationships (Nacchia et al., 2021). When several parameters need to be examined at once in multivariate industrial systems, this is extremely helpful. A growing number of maintenance applications employ artificial neural networks (ANN) to swiftly analyse massive data volumes and resolve non-linear issues. ANNs are renowned for their capacity to recognize trends in equipment deterioration and precisely forecast maintenance requirements. Combining these technical methods provides an industrial maintenance strategy that is proactive and predictive, decreasing downtime, lowering operating costs, and prolonging equipment life (Ansari et al., 2019). According to the literature, these strategies may significantly reduce costs and boost manufacturing efficiency when used appropriately.

**Markov Chain:** Markov Chains are mathematical constructs used to describe random processes in which the next state of a particular system depends only on its current state. This principle of "memorylessness" implies that when predicting a future state, past states do not need to be considered. Discrete Time Markov Chains are employed in situations where time progresses at defined intervals, such as hourly or daily. Specifically, the probabilities of transitioning between various states at certain time steps are analyzed with this type of chain, much like weather forecasts. On the other hand, Continuous Time Markov Chains are used to model scenarios where time progresses uninterruptedly. A typical application might be modeling the likelihood of an industrial machine malfunctioning within a certain period of time (de Lima Munguba et al., 2023).

### 3.3.2 Decision-making Methods

The decision-making methods used in maintenance are detailed in Tab. 4.

Tab. 4: Decision-making Methods for Maintenance

Method	Description
<b>Linear Programming</b>	Both the objective function and the constraints are linear. It is often used for issues such as allocation of maintenance resources maintenance planning or cost optimization (Nacchia et al., 2021).
<b>Non-linear Programming</b>	The objective function or at least one of the constraints is non-linear. It is used when the performance of the equipment or the probability of failure changes non-linearly over time (Manzini et al., 2015).
<b>Stochastic Dynamic</b>	Determines optimal decisions under uncertainty (Vilarinho et al., 2017)
<b>Semi-Markov Decision Process</b>	A Markov process considering time distributions. It allows us to predict how long equipment will remain in a given state and how long it will take to transition to the next state (Ansari et al., 2019).
<b>Partially Observable Markov</b>	Addresses decisions in Markov processes where states aren't directly observable (Ansari et al., 2019).
<b>IF-THEN</b>	Rule-based method that checks a condition's truthiness (Ansari et al., 2019).
<b>Event Condition Action</b>	Checks event, then tests a condition before acting (Chen et al., 2022)
<b>Decision Trees</b>	Flowchart-like structures for decisions/tests (Nacchia et al., 2021)
<b>Multi-Criteria Decision Analysis</b>	Decision-making with multiple, often conflicting, criteria. The most appropriate maintenance strategy is determined by summing the evaluations and weightings made according to the criteria (Simon et al., 2018)
<b>Neural Networks</b>	Systems for forecasting and pattern recognition (Nguyen et al., 2022)
<b>Fuzzy Logic</b>	Logic system reasoning in degrees of truthiness (Simon et al., 2018)
<b>Genetic Algorithms</b>	It is used when making maintenance decisions where uncertainty and complexity are high (Zhang et al., 2018)
<b>Bayesian Networks</b>	Graphical models using Bayesian inference (Galar et al., 2012)
<b>Analytic Hierarchy Process (AHP)</b>	Decision-making tool that breaks down a complex problem into a hierarchy (Bumblauskas et al., 2017)

### 3.4 In which field and with which methodology have the studies that will provide economic efficiency in maintenance management systems been carried out?

Research aiming to increase economic efficiency in maintenance management systems is carried out in different sectors using many methodologies. This section will review the various studies found based on our SLR and provide an overview of the areas they target and the methodologies they use for optimal maintenance management. Combining Genetic Algorithms with ML algorithms such as Decision Trees and Random Forests , (Teoh et al., 2021) the study is particularly focused on the manufacturing industry and the production equipment used therein (e.g., die casting machines, laser cutting machines, and plasma cutting). This methodology aims to optimize three performance measures of time, energy and cost for more economically efficient maintenance management systems. CNN algorithms (Zhou et al., 2023), a sub-branch of ML, and Monte carlo decision technique were used for optimization in maintenance with deep learning. In the maintenance decision support system application (Rosati et al., 2023) on robotic machines in production, Python software was supported by the RF algorithm, and an Azure program was used for ML. Markov decision processes (de Lima Munguba et al., 2023) were used to model the optimal maintenance policy on refrigeration systems, and a reinforcement learning (RL) algorithm was used to develop an optimal maintenance policy. In the study to optimize the operation and maintenance of wind turbines (Saleh et al., 2023), RL algorithms are used as the basis, in addition, other mathematical and computational methods such as genetic algorithms, neural networks, and Petri nets are also used in this optimization process. In the study for the maintenance optimization of production lines (Paraschos et al., 2023), a model that combines dynamic programming and RL methods is proposed. While dynamic programming is used to solve optimization problems mathematically, RL is used to optimize decision-making processes. In order to reduce the maintenance costs of the water bottling production line (Nasr et al., 2023), a

mathematical model has been developed with data mining and optimization techniques, and this model aims to minimize the expected total cost per unit time. Another study on production machinery (Abidi et al., 2022) in the manufacturing industry used ML techniques such as Hidden Markov Models and the Weibull-SAX framework for predictive maintenance planning. A blockchain-based system and a hybrid ML approach have also been developed for secure information sharing. According to Arena et al. (2022) statistical methods such as stochastic process models, probability density functions and Sequential Monte Carlo (SMC) were used in the research on Remaining Useful Life estimation. In the study on turbofan motors (Chen et al., 2022), ML techniques such as ANNs and Random Forests are used to optimize maintenance schedules and reduce costs. Analytical, simulation and meta-heuristic approaches are discussed for the maintenance management optimization of the hydroelectric power plant (Nasrfard et al., 2022). While dealing with stochastic and dynamic systems, multi-criteria decision-making methods are used for maintenance decisions. Genetic Algorithm was used in a maintenance optimization for fully mechanized equipment for the mining industry (Cao et al., 2021). Failure rates of equipment are modeled with Weibull distribution (He et al., 2018), this distribution is used in industrial failure analysis. Weibull parameters (scale and shape parameters) of the equipment were determined and maintenance decisions were made based on these failure rates. In summary, research on optimizing maintenance management systems spans multiple industries and employs a diverse array of methodologies, ranging from ML (Cho et al., 2018) and genetic algorithms to analytical and statistical approaches, all aimed at enhancing economic efficiency and operational effectiveness.

## Conclusion

The systematic literature review examines in depth the economic efficiency of maintenance management systems in industrial companies between 2015 and 2023. It shows new developments, areas of new research and research gaps in maintenance management through the use of optimization and decision-making techniques. While creating our research, first of all, 571 publications were found according to selected keywords. Among these publications, 45 important studies were selected according to our research methodology. While addressing our research questions, we first identified the primary cost factors in maintenance as labor, materials, tools, contracted services, overhead, inventory, downtime, training, documentation, and software costs. We have seen that Industry 4.0 technology is integrated into maintenance management systems to ensure savings in economic parameters in maintenance. As we have seen from our results recently, with the rise of prescriptive maintenance, there has been an increase in the popularity of smart maintenance management systems supported by data analytics and ML techniques. However, despite the growing role of ML in maintenance management, we observed a lack of studies on the effectiveness of theoretical optimization models in practice. In our sectoral and machine-specific reviews, we identified studies in areas such as laser cutting, CNC, food machinery, and fan motors. Yet, despite the emphasis on rotary machines, there are no studies on compressed air systems. This assessment illustrates the current situation and suggests possible future research avenues. It will be an important reference source for academics and industrial sector professionals interested in optimization and decision-making techniques in maintenance management within the scope of Industry 4.0 technologies. Future research should consider addressing gaps to advance research in the field. Focusing on currently used maintenance management systems and new methods evolving with Industry 4.0, this review aims to inspire further innovation and understanding at the intersection of maintenance management, economic efficiency and Industry 4.0.

## Acknowledgement

This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS23/165/OHK2/3T/12.



## References

1. Abadi, M.; Chaimae, A. B. A. D. I.; Asmae, A. B. A. D. I.; Hussain, B. A. A smart decision making system for the optimization of manufacturing systems maintenance using digital twins and ontologies. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2022, 13(8).
2. Abidi, M. H.; Mohammed, M. K.; Alkhalefah, H. Predictive maintenance planning for industry 4.0 using machine learning for sustainable manufacturing. *Sustainability*. 2022, 14(6), 3387.
3. Adu-Amankwa, K.; Attia, A. K.; Janardhanan, M. N.; Patel, I. A predictive maintenance cost model for CNC SMEs in the era of industry 4.0. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019, 104, 3567-3587.
4. Ansari, F.; Glawar, R.; Nemeth, T. PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2019, 32(4-5), 482-503.
5. Arena, M.; Di Pasquale, V.; Iannone, R.; Miranda, S.; Riemma, S. A maintenance driven scheduling cockpit for integrated production and maintenance operation schedule. *Advances in Manufacturing*. 2022, 1-15.
6. Azar, K.; Hajiakhondi-Meybodi, Z.; Naderkhani, F. Semi-supervised clustering-based method for fault diagnosis and prognosis: A case study. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022, 222, 108405.
7. Bajic, B.; Suzic, N.; Moraca, S.; Stefanović, M.; Jovicic, M.; Rikalovic, A. Edge Computing Data Optimization for Smart Quality Management: Industry 5.0 Perspective. *Sustainability*. 2023, 15(7), 6032.
8. Bumblauskas, D.; Gemmill, D.; Igou, A.; Anzengruber, J. Smart Maintenance Decision Support Systems (SMDSS) based on corporate big data analytics. *Expert systems with applications*. 2017, 90, 303-317.
9. Burduk, A.; Musiał, K.; Balashov, A.; Batako, A.; Safonyk, A. Solving scheduling problems with integrated online sustainability observation using heuristic optimization. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2022, p. e143830-e143830.
10. Cao, X. G.; Zhang, M. Y.; Gong, Y. R.; Jia, X. L.; Zhang, R. Y. Maintenance decision method considering inspection of mining equipment. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*. 2021, 12, 21.
11. Chen, C.; Shi, J.; Lu, N.; Zhu, Z. H.; Jiang, B. Data-driven predictive maintenance strategy considering the uncertainty in remaining useful life prediction. *Neurocomputing*. 2022, 494, 79-88.
12. Chen, Y.; Ma, X.; Wei, F.; Yang, L.; Qiu, Q. Dynamic scheduling of intelligent group maintenance planning under usage availability constraint. *Mathematics*. 2022, 10(15), 2730.
13. Chen, Z.; He, Y.; Zhao, Y.; Han, X.; Liu, F.; Zhou, D.; Wang, W. Mission reliability-oriented selective maintenance optimization for intelligent multistate manufacturing systems with uncertain maintenance quality. *IEEE Access*. 2019, 7, 109804-109816.
14. Cho, S.; May, G.; Tourkogiorgis, I.; Perez, R.; Lazaro, O.; de La Maza, B.; Kiritsis, D. A hybrid machine learning approach for predictive maintenance in smart factories of the future. In *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2018, Seoul, Korea, August 26-30, 2018, Proceedings, Part II*. 2018, pp. 311-317. Springer International Publishing.

15. de Lima Munguba, C. F.; Leite, G. D. N. P.; Ochoa, A. A. V.; Droguett, E. L. Condition-based maintenance with reinforcement learning for refrigeration systems with selected monitored features. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023, 122, 106067.
16. Dmitriev, O. N.; Novikov, S. V. Economic optimization of the modular structure of complex objects. *Russian Engineering Research*. 2019, 39, 503-506.
17. Gabbar, H. A.; Yamashita, H.; Suzuki, K.; Shimada, Y. Computer-aided RCM-based plant maintenance management system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2003, 19(5), 449-458.
18. Galar, D.; Palo, M.; Van Horenbeek, A.; Pintelon, L. Integration of disparate data sources to perform maintenance prognosis and optimal decision making. *Insight-non-destructive testing and condition monitoring*. 2012, 54(8), 440-445.
19. Guizzi, G.; Falcone, D.; De Felice, F. An integrated and parametric simulation model to improve production and maintenance processes: Towards a digital factory performance. *Computers & Industrial Engineering*. 2019, 137, 106052.
20. He, Y.; Han, X.; Gu, C.; Chen, Z. Cost-oriented predictive maintenance based on mission reliability state for cyber manufacturing systems. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018, 10(1), 1687814017751467.
21. Ismail, F. B.; Randhawa, G. S.; Al-Bazi, A.; Alkahtani, A. A. Intelligent Optimization Systems for Maintenance Scheduling of Power Plant Generators. *Information Sciences Letters*. 2023, 12(3), 1319-1332.
22. Kaur, K.; Selway, M.; Grossmann, G.; Stumptner, M.; Johnston, A. Towards an open-standards based framework for achieving condition-based predictive maintenance. In *Proceedings of the 8th International Conference on the Internet of Things*. 2018, pp. 1-8.
23. Kitchenham, B. *Procedures for performing systematic reviews*. Keele, UK, Keele University. 2004, 33(2004), 1-26.
24. Kumar, R.; Narula, V. Application of Structured Maintenance Reliability Programme in Oil and Gas Industry-a Case Study (No. 2361). *EasyChair*. 2020.
25. Lee, J.; Ni, J.; Singh, J.; Jiang, B.; Azamfar, M.; Feng, J. Intelligent maintenance systems and predictive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2020, 142(11), 110805.
26. Manzini, R.; Accorsi, R.; Cennerazzo, T.; Ferrari, E.; Maranesi, F. The scheduling of maintenance. A resource-constraints mixed integer linear programming model. *Computers & Industrial Engineering*. 2015, 87, 561-568.
27. Meissner, R.; Rahn, A.; Wicke, K. Developing prescriptive maintenance strategies in the aviation industry based on a discrete-event simulation framework for post-prognostics decision making. *Reliability Engineering & System Safety*. 2021, 214, 107812.
28. Nacchia, M.; Fruggiero, F.; Lambiase, A.; Bruton, K. A systematic mapping of the advancing use of machine learning techniques for predictive maintenance in the manufacturing sector. *Applied Sciences*. 2021, 11(6), 2546.
29. Nasr, M. M.; Naji, F.; Amrani, M.; Ghaleb, M.; Alqahtani, K. N.; Othman, A. M.; Abualsauod, E. H. Integrated Optimization Model for Maintenance Policies and Quality Control Parameters for Multi-Component System. *Machines*. 2023, 11(4), 435.

30. Nasrfard, F.; Mohammadi, M.; Rastegar, M. Probabilistic optimization of preventive maintenance inspection rates by considering correlations among maintenance costs, duration, and states transition probabilities. *Computers & Industrial Engineering*. 2022, 173, 108619.
31. Nguyen, V. T.; Do, P.; Vosin, A.; lung, B. Artificial-intelligence-based maintenance decision-making and optimization for multi-state component systems. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022, 228, 108757.
32. Paraschos, P. D.; Koulinas, G. K.; Koulouriotis, D. E. A reinforcement learning/ad-hoc planning and scheduling mechanism for flexible and sustainable manufacturing systems. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2023, 1-23.
33. Passath, T.; Mertens, K. Decision making in lean smart maintenance: criticality analysis as a support tool. *IFAC-PapersOnLine*. 2019, 52(10), 364-369.
34. Prasad, N.V.P.R. D.; Radhakrishna, C. Decision Support System and Integrated Asset Optimization (DSS & IAO). *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2019, 1070-1077.
35. Rahman, M. A.; Rahim, M. A.; Rahman, M. M.; Moustafa, N.; Razzak, I.; Ahmad, T.; Patwary, M. N. A secure and intelligent framework for vehicle health monitoring exploiting big-data analytics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2022, 23(10), 19727-19742.
36. Rosati, R.; Romeo, L.; Cecchini, G.; Tonetto, F.; Viti, P.; Mancini, A.; Frontoni, E. From knowledge-based to big data analytic model: a novel IoT and machine learning based decision support system for predictive maintenance in Industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2023, 34(1), 107-121.
37. Saleh, A.; Chiachío, M.; Salas, J. F.; Kolios, A. Self-adaptive optimized maintenance of offshore wind turbines by intelligent Petri nets. *Reliability Engineering & System Safety*. 2023, 231, 109013.
38. Sharma, R.; Govindaraju, N. Maintenance planning activity using intelligent support system. *International Journal*. 2020, 5(2), 2.
39. Simon, J.; Trojanova, M.; Zbihlej, J.; Sarosi, J. Mass customization model in food industry using industry 4.0 standard with fuzzy-based multi-criteria decision making methodology. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018, 10(3), 1687814018766776.
40. Susto, G. A.; Schirru, A.; Pampuri, S.; Beghi, A.; De Nicolao, G. A hidden-Gamma model-based filtering and prediction approach for monotonic health factors in manufacturing. *Control Engineering Practice*. 2018, 74, 84-94.
41. Teoh, Y. K.; Gill, S. S.; Parlikad, A. K. IoT and fog computing based predictive maintenance model for effective asset management in industry 4.0 using machine learning. *IEEE Internet of Things Journal*. 2021.
42. Van Horenbeek, A.; Pintelon, L.; Muchiri, P. Maintenance optimization models and criteria. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2010, 1, 189-200.
43. Vilarinho, S.; Lopes, I.; Oliveira, J. A. Preventive maintenance decisions through maintenance optimization models: a case study. *Procedia Manufacturing*. 2017, 11, 1170-1177.
44. Zhang, C.; Zhu, H.; Wu, J.; Cheng, Y.; Deng, Y.; Liu, C. An economical optimization model of non-periodic maintenance decision for deteriorating system. *IEEE Access*. 2018, 6, 55149-55161.
45. Zhou, K. L.; Cheng, D. J.; Zhang, H. B.; Hu, Z. T.; Zhang, C. Y. Deep learning-based intelligent multilevel predictive maintenance framework considering comprehensive cost. *Reliability Engineering & System Safety*. 2023, 237, 109357.

## Contact details of the authors

Name : Ing. Birkan Isik,MBA / Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.

Organization: Czech Technical University in Prague

Adress: Karlovo náměstí 13, Praha 2, 121 35

Telephone Number: +420 224 355 798

E-mail: birkan.isik@cvut.cz / miroslav.zilka@fs.cvut.cz

# TRVALE UDRŽITELNÁ MODULÁRNÍ KONSTRUKCE DOPRAVNÍCH TRATÍ PŘI RESPEKTOVÁNÍ DĚDIČNOSTI A ZÁSAD TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE

## SUSTAINABLE MODULAR CONSTRUCTION OF TRANSPORT TRACKS WHILE RESPECTING THE INHERITANCE AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF CONSTRUCTION

*Antonín Kanaval*

### Abstrakt

*Cílem práce je zhodnotit zásadní ekonomické, konstrukční a technologické aspekty při návrhu technologických dopravních tratí. Důraz je kladen na trvale udržitelnou modulární konstrukci a rovněž na ekologická hlediska. Jako příklad je uveden návrh válečkové trati s točnou. Hlavní částí práce je návrh nové konstrukční varianty válečkové trati s točnou. Návrh je zpracován formou 3D modelu vypracovaném v SW „Autodesk Inventor Professional 2023“ a 2D sestavných výkresů. V práci jsou provedeny MKP deformační a napěťové analýzy rámců dopravníků v SW „Ansys 2023 R1“. Další kontrolní výpočty jsou vypracovány s použitím SW „MITCalc“.*

**Klíčová slova:** výrobní náklady, technologičnost konstrukce, udržitelnost, válečková trať s točnou

### Abstract

*The aim of the thesis is to evaluate the fundamental economic, structural, and technological aspects in the design of technological transport tracks. Emphasis is placed on sustainable modular design as well as on ecological aspects. The design of a roller track with a turntable is given as an example. The main part of the thesis is the design of a new design variant of a roller conveyor with a turntable. The design is prepared in the form of a 3D model developed in software "Autodesk Inventor Professional 2023" and 2D assembly drawings. FEM deformation and stress analyses of the conveyor frames are performed in SW "Ansys 2023 R1". Further control calculations are developed using "MITCalc" software.*

**Key words:** Production Costs, Technological Design, Sustainability, Roller Track with Turntable

### Úvod

Přeprava materiálu v naprosté většině průmyslových výrobních je v současnosti těžko představitelná bez použití transportní techniky, především různých druhů dopravníků a tratí. Dopravníky lze rozdělit podle dopravního prvku na pásové, řetězové, válečkové, modulární, řemenové, lanové, magnetické pásové, vakuové pásové a JET vzduchové dopravníky. Pro přepravu kusového materiálu v technologických procesech jsou nejčastěji používány válečkové dopravníky. Mezi hlavní důvody pro jejich začlenění do technologických procesů výrobních, montážních a expedičních linek patří jednak odstranění náročné fyzické práce pro obsluhu a současně i podstatné urychlení samotného technologického procesu. Válečkové dopravníky se obvykle vyznačují značnou únosností, a proto jsou často upřednostněny před pásovými. Točny válečkových dopravníků umožňují výrazné zjednodušení sestavení dopravní cesty, a tak šetří současně i nároky na prostory v halách a ve skladech.

Přepravovaný kusový materiál je obvykle uložen na manipulačních jednotkách (paletách). Palety mohou být buď normalizované, tzv. europalety, nebo vyráběné dodavatelem přepravovaného materiálu. S paletami vyráběnými dodavatelem se lze nejčastěji setkat například u velkých ocelových profilů a plechů, kde rozměry a nosnost europalet již nejsou vyhovující. Podle stupně automatizace provozu mohou být palety opatřeny RFID identifikačním systémem. Tento systém poskytuje informace o pohybu materiálu v procesu. Hlavním kritériem pro použití palet je tvar stykové plochy přepravovaného materiálu, nebo přesné polohování při dopravě v obráběcím procesu.

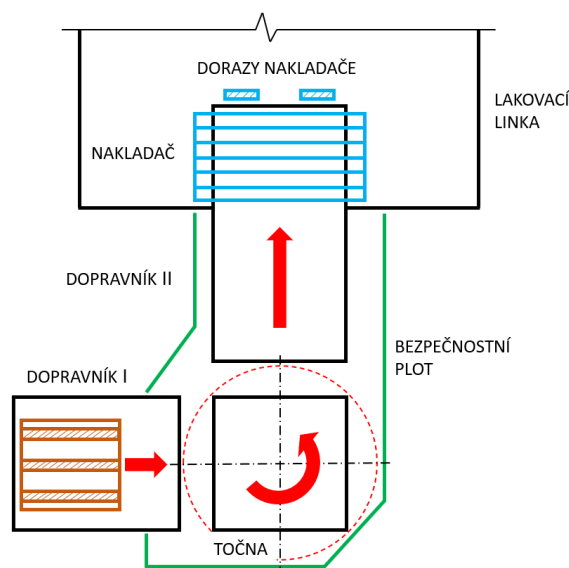
Vzhledem ke stálému nárůstu výrobních nákladů jsou průmyslově orientované podniky nuceny navyšovat výrobní kapacity. V případě, že jsou výrobní kapacity technologického procesu omezeny limity technologické dopravní trati, je v současnosti často požadováno nahrazení stávajícího konstrukčního řešení řešením novým. Nové konstrukční řešení musí vždy respektovat nejen požadavky na navýšení kapacity dopravní trati, ale také zásady technologičnosti konstrukce, dostupnost strojního vybavení, technologické zvyklosti výrobce a možnosti případných kooperací. V současné době roste také zájem o využití řízení a robotizaci pracovišť ve středních a menších průmyslově orientovaných podnicích.

## 1 Konstrukční návrh válečkové trati s točnou

Tento konstrukční návrh byl vypracován v rámci vysokoškolské kvalifikační práce ve spolupráci se společností „STR Praha“, která se specializuje na výrobu jednoúčelových strojů a zařízení především v oblasti obalového průmyslu. Společnost „STR Praha“ je důležitým dodavatelem nejen tuzemských, ale i významných zahraničních společností, její výrobky se proto nachází téměř po celém světě. V následujících podkapitolách je proveden rozbor konstrukčního uspořádání a volby pohonů válečkové trati s točnou, využití zjednodušené bodovací metody pro volbu optimálního konstrukční varianty a detailního rozpracování zvolené konstrukční varianty točny s pohonem.

### 1.1 Konstrukční uspořádání a volba pohonu válečkové trati s točnou

Konstrukční uspořádání s točnou vždy vyplývá z prvotního návrhu dispozičního řešení (viz Obr. 1). Toto řešení musí vždy respektovat a zachovat navazující technologická zařízení a respektovat rozměry používaných manipulačních jednotek (dřevěných palet). Je také nezbytné zamezit přístupu obsluhy do těch částí trati, kde je obtížné zajistit bezpečnost při provozu trati.



Obr. 1: Dispoziční řešení manipulační trati s naloženou paletou (Kanaval, 2023).

Pohon válečkové trati s točnou je jedním z jejích základních konstrukčních uzlů. Volbou pohonu lze významně ovlivnit mnoho charakteristik, na kterých jsou v konečném důsledku závislé provozní a výrobní náklady. Proto je při volbě pohonu nutno vycházet nejen z kapacitních požadavků provozu, mezi které patří přepravní rychlost nebo nosnost, ale je také vhodné uvažovat vybrané charakteristiky pohonu, které jsou uvedeny v následující kapitole.

## 1.2 Využití rozhodovacích analýz při volbě optimálních konstrukčních variant

Různé typy pohonu válečkových dopravníků mají přímý vliv na nosnost dopravníku. (McGuire, 2009)

Stanovení vhodného typu pohonu je klíčovým aspektem při konstrukci zařízení. Volba pohonu se zpravidla provádí na základě zkušeností, nebo s použitím vybrané metody vícekriteriální analýzy. Důležitým krokem před, nebo během vypracování vícekriteriální analýzy v menších společnostech je také průzkum trhu, kdy konstruktér sleduje na trhu nabízená řešení, diskutuje jejich výhody a nevýhody s vedoucím pracovníkem konstrukčního oddělení a případně zjišťuje předběžné cenové nabídky konkurence. Pro vyjádření hodnoty jednotlivých kritérií lze využít stupnic a škál, nebo vah. Zejména v menších společnostech se, díky její jednoduchosti, používá bodovací metoda. Bodovací metoda je založena na dílčím hodnocení navržených koncepčních variant a je vhodná především pro hodnocení projektů na základě stanovených kvalitativních kritérií. Hodnotitel stanoví pro kritériím jednotlivých koncepčních variant určitý počet bodů podle zvolené stupnice. Počet bodů přiřazený jednotlivým kritériím se odvíjí od odbornosti (ekonom, konstruktér) a zkušeností hodnotitele, přičemž tyto nemusí být pro všechna kritéria shodné. Minimální a maximální počet bodů, který lze podle zvolené stupnice udělit, se nesmí napříč jednotlivými koncepčními variantami a kritérii lišit. (Soukopová, 2023)

V současné době patří mezi nejpoužívanější konstrukční varianty realizace pohonu válečkových dopravníků (otočných ústrojí válečkových dopravníků s točnou):

- varianta „V1“: pohon točny ozubenými koly (elektropřevodovka, hnací pastorek s hnaným ozubeným věncem připevněným k točně),
- varianta „V2“: pohon točny řetězovým převodem (elektropřevodovka, hnací řetězka, řetěz a hnaný věnec řetězky připevněný k točně),
- varianta „V3“: pohon točny třecími koly (elektropřevodovka, hnací ocelová rolna s hnaným ocelovým prstenem připevněným k točně).

Jednotlivé varianty pohonu jsou v tomto případě charakterizovány následujícími kritérii. Tato kritéria jsou dále vyhodnocena s použitím velmi zjednodušené rozhodovací metody. Nevýhodou použití tohoto postupu je skutečnost, že není rozlišena důležitost jednotlivých kritérií. Lze ji aplikovat pouze za předpokladu, že společnost má dostatečný počet vysoce kvalifikovaných expertů s bohatými zkušenostmi v oblasti návrhu a konstrukce daného typu jednoúčelových zařízení.

Tab. 1: Vybraná kritéria pro návrh vhodné varianty válečkové trati s točnou (Kanaval, 2023).

Kritérium	Charakteristika
K1	Spolehlivost pohonu
K2	Životnost pohonu
K3	Náročnost montáže a četnost údržby pohonu
K4	Složitost konstrukce pohonu
K5	Energetická náročnost pohonu (účinnost)
K6	Výrobní náklady
K7	Hlučnost
K8	Výrobní zvyklosti, dědičnost konstrukce

Hodnocení stanovených kritérií uvedených v Tab. 1 je provedeno 4 zkušenými experty z oblasti konstrukce, provozu a údržby dopravníků a jednoúčelových strojů, viz (Tab. 2 až Tab. 5).

Tab. 2: Návrhy od experta č. 1. (Kanaval, 2023).

Varianta	Kritérium							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
V1	5	4	3	4	5	1	3	1
<b>V2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
V3	2	2	2	2	3	1	4	1

Tab. 3: Návrhy od experta č. 2 (Kanaval, 2023).

Varianta	Kritérium							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
V1	5	5	3	5	5	2	3	1
<b>V2</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
V3	2	3	3	2	2	1	5	1

Tab. 4: Návrhy od experta č. 3 (Kanaval, 2023).

Varianta	Kritérium							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
V1	4	4	2	4	5	2	2	1
<b>V2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
V3	2	3	1	4	3	1	5	1

Tab. 5: Návrhy od experta č. 4 (Kanaval, 2023).

Varianta	Kritérium							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
V1	5	5	3	4	5	2	3	1
<b>V2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
V3	3	3	1	4	2	1	4	1

Tab. 6: Celkový počet bodů pro jednotlivé varianty podle hodnotících expertů (Kanaval, 2023).

Varianta	Kritérium			
	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4
V1	26	29	24	28
<b>V2</b>	<b>29</b>	<b>32</b>	<b>30</b>	<b>29</b>
V3	17	19	20	19

Na závěr mohou být sečtena výsledná hodnocení jednotlivých expertů uvedená v Tab. 6 pro jednotlivé varianty. Celkové výsledné hodnocení jednotlivých variant všemi experty dohromady je uvedeno v Tab. 7.

Tab. 7: Závěr vícekritériální rozhodovací analýzy podle všech expertů (Kanaval, 2023).

Varianta č. 1 získala od všech hodnotících expertů dohromady	107	bodů
<b>Varianta č. 2 získala od všech hodnotících expertů dohromady</b>	<b>120</b>	<b>bodů</b>
Varianta č. 3 získala od všech hodnotících expertů dohromady	75	bodů

Na základě zvolených kritérií uvedených v Tab. 1 přiřadili experti jednotlivým variantám počty bodů, jejichž součet pro každou variantu je uveden v Tab. 6. Nejvyšší počet bodů byl přiřazen všemi experty současně variantě č. 2, tedy v konstrukčním návrhu byl jakožto optimální řešení použit pohon točny elektropřevodovkou s přidaným řetězovým převodem. Lze konstatovat, že každé jiné konstrukční řešení by znamenalo překonání „nových“ konstrukčních a technologických problémů, a tím by došlo k navýšení výrobních nákladů a dalších komplikací v dodavatelském řetězci, což by vyžadovalo další investice zákazníka, a to není přípustné.



Řetězem poháněné válečkové dopravníky mohou mít maximální nosnost i více než 4 500 [kg]. Jedná se proto o velmi často používané dopravníky pro manipulaci s těžkými břemeny v technologických procesech. Používají se dva základní typy pohonu válečků. První používá průběžný řetěz k pohonu více válečků. Pohon válečků průběžným řetězem je používán u dopravníků s nižší nosností v této kategorii. Druhým a nejčastěji používaným pohonem je typ, u kterého řetězy spojují každý váleček se sousedními válečky. V obou případech jsou válečky poháněny řetězovými koly, která jsou připevněna (nejčastěji přivařena) k jednomu nebo oběma koncům pláště válečku. Pohon válečků může být připevněn k nosnému rámu na konzole shora, nebo zdola. Případně může být pohon válečků umístěn přímo na hřídeli válečku, tento případ umístění pohonu bývá často doplněn momentovou vzpěrou. (McGuire, 2009)

Při umístění pohonu pod dopravní je nutné dávat pozor, aby mohl být pohon účinně chlazen. Toto řešení může přinášet i obtíže z hlediska prašnosti, která bývá v blízkosti podlahy nejvyšší. Pokud je použito řetězu k pohonu válečků, musí uchycení převodovky umožňovat napínání řetězu, nebo musí být použita napínací řetězka. Umístění pohonu přímo na hřídel válečku představuje, přestože vyžaduje provedení precizní montáže, z hlediska údržby optimální řešení v porovnání s umístěním pohonu na konzole shora, nebo zdola dopravníku.

### 1.3 Detailní rozpracování zvolené konstrukční varianty

Na základě parametrů zadání, navrhnutého dispozičního řešení a výsledků vícekritériální analýzy je dále proveden detailní návrh válečkové trati s točnou, kdy k pohonu válečků a otočného mechanismu dopravníku s točnou je použit válečkový řetěz. Při prvotním návrhu zařízení musí konstruktér, mimo požadovaných parametrů zadání jako jsou nosnost zařízení, zástavbové prostory, dopravní výška, výstupní otáčky, převodový poměr a výkon elektropřevodovky, respektovat také další parametry. Mezi tyto parametry patří například rozběhový moment, momentová přetížitelnost elektromotoru při rozběhu (doběhu) a provoz pohonu s použitím frekvenčního měniče. Použití frekvenčního měniče přináší řadu konstrukčních výhod, jako je možnost použití převodů s menším převodovým poměrem (méně robustní konstrukce). Pro stanovení rozběhového momentu je pak klíčová znalost doby rozběhu (doběhu) a setrvačných momentů válečků, nebo otočného svršku s naloženou paletou pro případ návrhu pohonu dopravníku s točnou. Během konstrukčního zpracování konstruktér respektuje technologické a výrobní zvyklosti společnosti, kdy zařízení navrhuje tak, aby bylo zaručeno optimální vytížení všech zaměstnanců provozu v návaznosti na další zpracovávané zakázky. Již během návrhu je nutno respektovat bezpečnostní požadavky na realizovatelná zakrytí otáčejících se prvků zařízení, zejména pak řetězových převodů. V případě, že není možné zajistit bezpečnost v okolí rotujících částí stroje během provozu, je nutné zamezit přístupu obsluhy do okolí tohoto stroje mechanickými zábranami (oplocením), případně optickými závorami. Konstrukční návrh je tedy podřízen také požadavkům na zajištění co možná nejvyšší bezpečnosti při provozu zařízení.

Pozn.: výstupní otáčky elektropřevodovky a převodový poměr jsou dány požadovanou rychlostí pro přepravu manipulační jednotky a rychlostí otáčení otočného svršku v případě válečkového dopravníku s točnou.

Nosné konstrukce válečkových dopravníků jsou navrženy jako svařence z konstrukční oceli S235JR (11 375). Základ rámu je svařen za použití tupých a koutových svarů z nerovnoramenných „L“-profilů podle ČSN EN 10056 rozměrů L100x65x10, a rovnoramenných rovněž podle ČSN 10056 rozměrů L50x50x5 a laserem opracovaných plechových dílů. Spodní rám konstrukce točny je svařen z „U“-profilů rozměru 50 [mm] podle ČSN 42 5570 v kombinaci s deskou z ocelového plechu tloušťky 10 [mm] a laserem opracovaných výpalků o tloušťce (10 až 15) [mm]. Horní otočný rám konstrukce točny je svařen z „L“-profilů rozměru L100x65x10 podle ČSN EN 10056, dále „U“-profilů rozměru 50 [mm] podle ČSN EN 10365 a laserem opracovaných plechů tloušťky 10 [mm]. V bočnicích na horní straně rámu jsou upevněny válečky pomocí šroubových spojů se šrouby M12x30 pevnostní třídy 8.8.

Všechny části dopravníkové trati jsou poháněny elektropřevodovkou „SAZ57pDRN80M4/TF“ od společnosti „SEW-EURODRIVE“. Pohon má tyto parametry: jmenovitý výkon 750 [W], jmenovité otáčky elektromotoru 1 440 [min<sup>-1</sup>], převodový poměr elektropřevodovky 44,22 [1], výstupní otáčky 33 [min<sup>-1</sup>] a výstupní točivý moment 196 [N·m]. Rotující části pohonů, včetně všech řetězových převodů jsou zakryty plechovými bezpečnostními kryty. Nebezpečné prostory kolem válečkové trati (točny) jsou chráněny zástěnou s pletivem. Základní nosné rámy jsou opatřeny stavitelnými patkami M16, které umožňují horizontální seřízení celé válečkové trati. Po seřízení jsou patky kotveny k betonové podlaze výrobní haly pomocí chemických kotev pro kotevní šrouby M10x130. Válečkový dopravník I je vybaven bezpečnostním dorazem. Válečkový dopravník I a část válečkového dopravníku II jsou mezi válečky vybaveny pochozím profilem, který umožní pohybovat se po válečkové trati při údržbě. V koncové části válečkového dopravníku II jsou mezi válečky obdélníkové drážky pro spodní část nakladače, který naloženou paletu s balením ocelového plechu zvedne z dopravníku k podavači lakovací linky.

Každý dopravník válečkové trati má vlastní ovládání, kdy zpětný chod válečků je bez bezpečnostní pojistky možný pouze na válečkovém dopravníku I, který je vybaven dříve zmíněným bezpečnostním dorazem. Elektropohony jsou řízeny frekvenčními měniči. Řídící program zajišťuje společnost „Newte“. Krajní polohy a zastavení pohybů palety s nákladem 3po dopravnících jsou zajištěny běžně dostupnými koncovými spínači a optickými čidly.

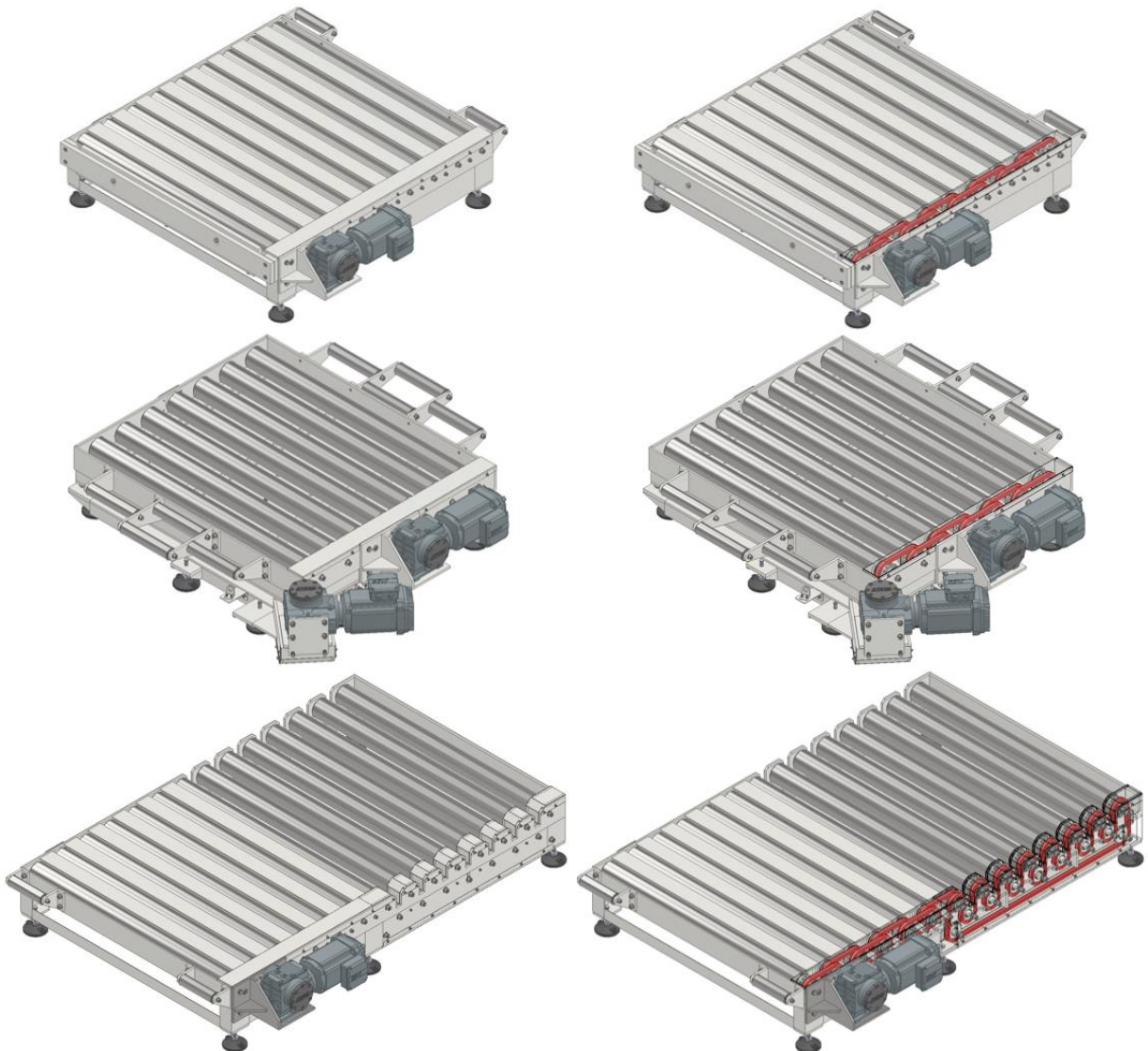
Na Obr. 2 jsou znázorněny jednotlivé dopravníky válečkové trati s točnou, kdy vpravo jsou vždy zobrazeny dopravníky s nastavením průhledné textury krytů smyček řetězů (pohonu válečků) a vybraných částí rámu 3D modelu. Model a vybraná výkresová dokumentace byly vyhotoveny v SW „Autodesk Inventor“. Nahoře je zobrazen válečkový dopravník I, uprostřed je znázorněn válečkový dopravník s točnou (točna) a dole je vyobrazen válečkový dopravník II s obdélníkovými otvory pro spodní část nakladače lakovací linky. Manipulace s jednotlivými dopravníky je realizována buď odmontováním vybraných pochozích profilů a provléknutím vázacích kurtů profily rámu, nebo v případě točny provléknutím vázacích lan do zhotovených vázacích ok spodního rámu točny, vždy tak, aby bylo břemeno při manipulaci vyváženo a nedocházelo k jeho nežádoucímu kývání (4 vázací body).

V menších společnostech často bývá zvykem, že konstruktér úzce spolupracuje s ekonomickým oddělením, případně jednatelem společnosti, musí proto splňovat některá doporučení uvedená v následujícím odstavci.

Pro konstruktéra je při návrhu nového konstrukčního řešení nezbytná také schopnost provedení alespoň orientační kalkulace nákladů. Základní rozdělení nákladů je na fixní, variabilní, přímé a nepřímé náklady. Konstruktér by tedy měl být schopen provést orientační ocenění interních nákladů (HNS strojů, pracovníků), současně je pro konstruktéra nepostradatelná orientace v rozpočtu celého projektu. Neméně důležitá je pro konstruktéra schopnost stanovit činnosti, které jsou klíčové z hlediska proveditelnosti projektu, dále pak dovednost stanovit návaznosti mezi jednotlivými činnostmi, stanovit dobu trvání jednotlivých činností, a nakonec z výše uvedeného plynoucí sestavení harmonogramu projektu, včetně přiřazení zdrojů na jednotlivé činnosti (kontrola kapacit). Přestože nové návrhy často respektují a vychází z dědičnosti konstrukce, je vhodné, aby konstruktér dovedl odhalit případná rizika spojená s realizací projektu.

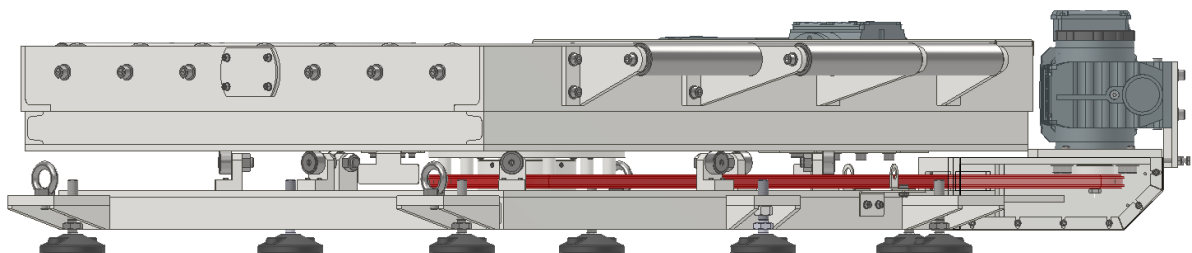
Již během konstrukčního návrhu se musí konstruktér zabývat otázkou udržitelnosti. Udržitelnost technologických tratí spočívá v jejich modularitě, stavebnicové konstrukci v rámci jednoho výrobního programu a přestavitelnosti pro již do provozu uvedená jednoúčelová zařízení. Modulární a přestavitelnou konstrukcí lze výrazně omezit budoucí náklady spojené s potřebou modifikace návrhu technologické trati. Příkladem budiž, po drobných konstrukčních úpravách návrhu, dopravník s točnou, kdy v případě potřeby lze přestavit konzolu s pohonem válečků a přidružené konstrukční prvky tak, aby mohl být realizován opačný smysl otáčení (pravý, nebo levý) o 90 [°]. Tímto konstrukčním přístupem lze výrazně ušetřit také náklady na návrh nových zařízení, neboť tento přístup je základním

předpokladem pro možné využití dědičnosti konstrukce. Ze stejného důvodu jsou unifikovány také pohony jednotlivých částí trati, protože použití daného typu elektropřevodovky je rozšířeno napříč výrobním portfoliem technologických válečkových dopravních systémů.



Obr. 2: Detailní rozpracování zvolené konstrukční varianty (Kanaval, 2023).

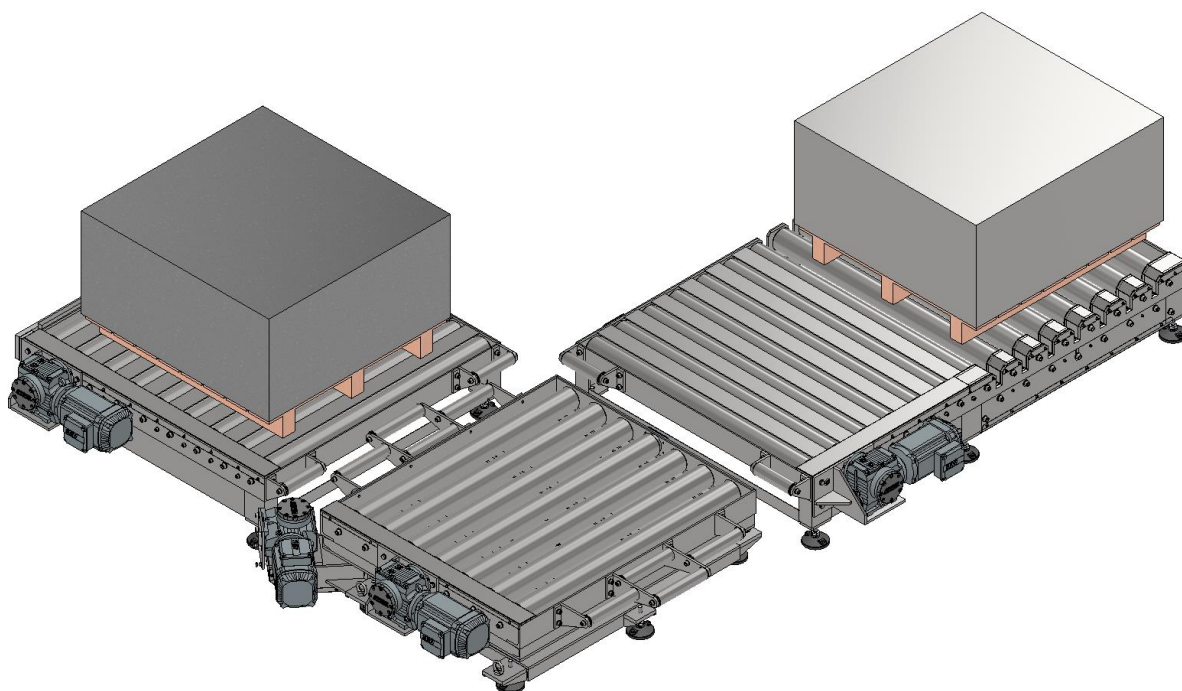
Pro účely lepšího znázornění konstrukčního provedení válečkového dopravníku s točnou je níže uveden Obr. 3, na kterém lze vidět např. vázací oka spodního rámu točny, část smyčky řetězu točny, podpěrné rolny a držáky pro optické snímače polohy.



Obr. 3: Celkové uspořádání válečkové trati s točnou (Kanaval, 2023).

Na Obr. 4 je znázorněno celkové uspořádání válečkové trati s točnou, kdy točna je ve výchozí poloze. Na válečkovém dopravníku l může být předem naložena paleta se zásobou 3 tun ocelových plechů pro

lakovací linku. Po spotřebování plechů vrátí nakladač prázdnou paletu na válečkový dopravník II a proškolená obsluha tuto paletu z boku nakladače manuálně odstraní. Odstranění prázdné palety mimo prostory nakladače je možné v budoucnu realizovat také s využitím průmyslového robota.



Obr. 4: Celkové uspořádání válečkové trati s točnou (Kanaval, 2023).

Při konstrukci válečkové trati je brán zřetel na možnost přepravy manipulačních jednotek větších rozměrů, zejména pak při případné technologické dopravě hliníkových plechů do lakovací linky. Proto je převáděcími válečky vybaven nejen válečkový dopravník s točnou (točna), ale také válečkový dopravník I a válečkový dopravník II. V případě potřeby je v konstrukčním návrhu počítáno s možností dodatečného dohotovení stavitelného bočního dorazu válečkového dopravníku I. Tento by byl zhotoven jako svařenec z ocelových plechů tloušťky (10 až 15) [mm] vyřezaných podle požadovaných rozměrů laserem. Uchycení i stavitelnost bočního dorazu by bylo realizováno pomocí obdélníkového šroubového pole s použitím šroubů M12, pevnostní třídy 8.8. Použití stavitelného bočního dorazu válečkového dopravníku I, v případě požadavku zákazníka na tuto konstrukční úpravu, by vedlo k výraznému zjednodušení procesu navážky materiálu pro obsluhu technologické dopravní trati.

## 2 Technologičnost konstrukce a její význam pro modernizaci a udržitelnost

Hlavním úkolem konstruktéra je navrhnout konkurenceschopný výrobek s dokonalou funkcí, vysokými technickoekonomickými parametry, odpovídající životností (fyzickou i morální), vysokou mírou spolehlivosti, dokonalým designem a promyšlenou ergonomií (bezpečnost práce, ovladatelnost, psychologické působení). Výrobek navíc musí vyhovovat ekologickým požadavkům, a to nejen z hlediska vlastního provozu, ale také z hlediska druhotného využití materiálů. (Kratochvílová, 1993)

Technologičnost konstrukce může konstruktér ovlivnit ve 3 etapách: (Kratochvílová, 1993)

- při návrhu výchozí koncepční varianty (vždy je nutné srovnání několika koncepcí řešení, nedostatky v této fázi jsou zpravidla neopravitelné),
- při zpracování konstrukčního řešení vybrané koncepční varianty (navržená konstrukce se rozdělí na montážní podskupiny, stanoví se jejich funkce, vzájemné vazby a návaznosti, v této fázi konstruktér výrazně ovlivňuje kvalitu výrobku a výrobní náklady),

- při detailním zpracování 3D modelů a 2D výkresové dokumentace jednotlivých součástí (etapa se vyznačuje možností korekčních zásahů do konstrukce za účelem zlepšení technologičnosti konstrukce, např. úprava tvarů, volba polotovarů, volba materiálů nebo tepelného zpracování).

Mezi obecné požadavky na technologičnost konstrukce patří: (Kratochvílová, 1993)

- dimenzování součástí podle výpočtu s přijatelnou mírou bezpečnosti v závislosti na míře nejistoty,
- volba počtu součástí (v konstrukčním celku), která odpovídá charakteru výroby (pro automatizovanou výrobu volen minimální možný počet součástí),
- unifikace a typizace za účelem zajištění dědičnosti konstrukce, snaha o využití normalizovaných součástí a tvarových prvků v nově navrhované konstrukci,
- volba tvarů součástí s ohledem na výrobní technologii, rychlé, přesné a bezpečné upnutí při výrobě, snadnou a bezpečnou manipulaci, snadnou montáž a šetrné materiálové hospodářství,
- zajištění minimální hmotnosti součásti a potřebné tuhosti konstrukce,
- použití pouze nezbytně nutné přesnosti rozměrů, geometrických tvarů, vzájemné polohy funkčních ploch a pouze nezbytnou jakost povrchu,
- vhodná volba materiálu a jeho chemicko-tepelného zpracování za účelem omezení použití dražších materiálů, kdy materiál musí být volen také s ohledem na jeho technologické vlastnosti (např. obrobiteľnosť a svařitelnost),
- stanovení optimálních přídavků na opracování (příliš malé přídavky vedou k nárůstu počtu neopravitelných zmetků, příliš velké přídavky jsou v rozporu s šetrným materiálovým hospodářstvím).

Z výše uvedeného je zřejmé, že požadavky na obecnou technologičnost konstrukce jsou v souladu s otázkou dlouhodobé udržitelnosti konstrukcí válečkových dopravníků a tratí, kdy základním předpokladem pro udržitelnost je snaha navrhovat konstrukce modulární a přestavitelné v rámci jednoho výrobního programu. Tímto lze snížit nejen výrobní náklady a minimalizovat budoucí náklady v případě potřeby modifikace nově navržené varianty po uvedení do provozu, ale také významně omezit dopad těchto jednoúčelových strojů na životní prostředí. Nutností je dále skutečnost, že jednoúčelové zařízení, při jehož návrhu jsou respektovány zásady technologičnosti konstrukce, je zároveň konstruováno s ohledem na environmentální odpovědnost.

V současné době je i v konstrukcích menších společností standardem používání nejen 3D CAD SW (např. SW „Autodesk Inventor“), ale také cenově dostupného výpočetního SW (např. SW „MITCalc“). Využití SW „MITCalc“ pro návrhové a kontrolní výpočty umožňuje značně zrychlit fázi návrhu zařízení, a tedy výrazné snížení výrobních nákladů. Snadná a efektivní kontrola dílů navržených zařízení navíc vede k omezení rizika poruchy zařízení během provozu, a tím je také minimalizován počet případných reklamací od zákazníka. Budoucností ve zpracování konstrukčního návrhu je bezesporu tzv. „bezvýkresová“ dokumentace (veškerá konstrukční a technologická data jsou v digitální formě), která značně usnadní komunikaci napříč odvětvími a v neposlední řadě také implementaci nových konstrukčních návrhů do dnes stávajících technických řešení. V současné době převládá způsob zhotovení výkresové dokumentace podle dnes zaběhnutých standardů (např. ISO 2768), postupně se přechází na normy nové (např. ISO 22081 nebo ISO 21920). Tento trend umožňuje zpřesnění výroby při výrobě zejména na CNC řízených obráběcích strojích.

Spolu s navyšováním kapacitních možností stávajících technologických válečkových tratí se nabízí také otázka robotizace pracovišť. Přestože digitalizace pracovišť a řízení procesů je bezesporu budoucností moderních provozů v Evropě a ve světě, stále zůstává faktem, že konstruktér určuje cca z 90 [%] úspěšnost nové konstrukce a výši výrobních nákladů. Ze zkušenosti je známo, že projektoví manažeři mají obvykle na vývoj nového výrobku vyhrazeno cca 10 [%] z celkového projektového

rozpočtu. Konstrukční tým svým návrhem navíc určuje nejen spolehlivost nového zařízení, ale také stanovuje bariéry pro digitalizaci a řízení procesu, do něhož je toto zařízení začleněno. Již při návrhu nového konstrukčního řešení musí tedy konstrukční tým v rámci technologičnosti konstrukce podřídit konstrukční prvky nového zařízení možné digitalizaci (robotizaci) procesu tak, aby omezil výskyt bariér pro její budoucí implementaci do tohoto procesu. Nárůst výkonu výpočetní techniky a navyšování možností SW používaných v konstrukci při návrhu nových technických řešení (modernizaci stávajících) umožňuje konstruktérům zefektivnit postup návrhu a usnadňuje vzájemnou komunikaci mezi konstruktéry, technology, ekonomy a elektroinženýry. Je nutno podotknout, že bez vzájemné mezioborové spolupráce (kooperace) je digitalizace pracovišť jen těžko realizovatelná.

## Závěr

Práce pojednává o problematice trvale udržitelné modulární konstrukce dopravních tratí při respektování dědičnosti a zásad technologičnosti konstrukce včetně použití rozhodovacích analýz při výběru optimálních konstrukčních variant. Postup návrhu nové konstrukce je uveden na příkladu válečkové trati s točnou. V práci je rovněž zmíněn faktor ekologických přístupů při návrhu nové konstrukce. Přestože digitalizace pracovišť a řízení procesů je bezesporu budoucností moderních provozů v Evropě a ve světě, stále zůstává faktem, že konstruktér určuje cca z 90 [%] úspěšnost nové konstrukce a výši výrobních nákladů. Ze zkušenosti je známo, že projektoví manažeři mají obvykle na vývoj nového výrobku vyhrazeno cca 10 [%] z celkového projektového rozpočtu. Nárůst výkonu výpočetní techniky a navyšování možností SW používaných v konstrukci při návrhu nových technických řešení (modernizaci stávajících) umožňuje konstruktérům zefektivnit postup návrhu a usnadňuje vzájemnou komunikaci mezi konstruktéry, technology, ekonomy a elektroinženýry. Je nutno podotknout, že bez vzájemné mezioborové spolupráce (kooperace) je digitalizace pracovišť jen těžko realizovatelná.

Budoucností ve zpracování konstrukčního návrhu je bezesporu tzv. „bezvýkresová“ dokumentace (veškerá konstrukční a technologická data jsou v digitální formě), která značně usnadní komunikaci napříč odvětvími a v neposlední řadě také implementaci nových konstrukčních návrhů do dnes stávajících technických řešení. V současné době převládá způsob zhotovení výkresové dokumentace podle dnes zaběhnutých standardů (např. ISO 2768), postupně se přechází na normy nové (např. ISO 22081 nebo ISO 21920). Tento trend umožňuje zpřesnění výroby při výrobě zejména na CNC řízených obráběcích strojích.

## **Prameny**

1. KANAVAL, Antonín. Návrh válečkové trati s točnou. Praha, 2023. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Eliška Cézová.
2. MCGUIRE, Patrick M. Conveyors: Application, Selection, and Integration. Boca Raton (United States): CRC Press, 2009. ISBN 978-1-4398-0388-2.
3. SOUKOPOVÁ, Jana. Vícekriteriální metody. Výuková prezentace [online]. Masarykova univerzita v Brně, [cit. 2023-09-10]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1456/jaro2013/MPV\\_VZVP/um/31766814/Vicekriterialni\\_metody\\_hodnoceni\\_1.pdf](https://is.muni.cz/el/1456/jaro2013/MPV_VZVP/um/31766814/Vicekriterialni_metody_hodnoceni_1.pdf)
4. KRATOCHVÍLOVÁ, H., ŘEZNÍČKOVÁ, J. Základní konstrukční prvky. Nosné konstrukce – sešit 1. Vydání první. Vydavatelství ČVUT Praha, 1993, ISBN 80-01-00928-9.

## **Kontaktní údaje o autorech**

Antonín Kanaval

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav konstruování a částí strojů

Technická 4, 166 07 Praha 6 - Dejvice

+420 224 352 416

Antonin.Kanaval@fs.cvut.cz

## EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA TUHOSTI OZUBENÍ

### EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE MESH STIFFNESS OF GEARS

*Tomáš Karas, Jan Flek*

#### Abstrakt

*Příspěvek se zabývá metodikou měření tuhosti ozubení, analytickými modely pro odhad tuhosti ozubení a simulací zatěžovacího stavu pomocí metody konečných prvků. Příspěvek je rozdělen do tří hlavních částí. Teoretická část je zaměřena na rešerši jednotlivých analytických a simulačních modelů. V praktické části byl nejprve popsán základní princip měřícího standu a byly využity analytické a simulační modely pro odhad tuhosti sady vzorků ozubených kol. Experimentální část se pak zabývá samotným měřením a finalizací metodiky měření tuhosti ozubení. Jsou v ní také vysvětleny jednotlivé problémy spojené s experimentem. Poslední část zahrnuje diskusi výsledků, vyhodnocení a závěry.*

**Klíčová slova:** Přímé ozubení, Tuhost ozubení, Model deformační energie, Metoda konečných prvků, Experimentální analýza

#### Abstract

*The contribution deals with the methodology of measurement of gearing stiffness, analytical models for estimation of gearing stiffness and simulation of the loading condition using the finite element method. The contribution is divided into three main parts. The theoretical part is focused on the research of the different analytical and simulation models. In the practical part, the basic principle of the measuring stand was first described and the analytical and simulation models were used to estimate the stiffness of a set of gear specimens. The experimental part then deals with the actual measurement and finalization of the gear stiffness measurement methodology. It also explains the various problems associated with the experiment. The last part includes a discussion of the results, evaluation and conclusions.*

**Key words:** Spur gears, Mesh stiffness of gears, Deformation energy model, Finite element method, Experimental analysis

#### Úvod

V dnešní době se průmyslový sektor i legislativní rámce stále více zaměřují na regulování produkce emisí strojů a zařízení. Emise nelze chápat pouze z hlediska nadměrného produkování škodlivých spalin vznikajících spalováním paliva v benzinových či dieselových agregátech. Emise lze chápat i ve smyslu produkce nepřiměřeného akustického tlaku, tedy hluku vyzařovaného do okolí.

Významným zdrojem hluku pohonných mechanismů jsou i samotné ozubené převody v převodovkách automobilů, strojů a strojních zařízeních. Tento hluk je způsoben změnami tuhosti v soukolí, tedy vnitřním buzením převodové soustavy. Průběh tuhosti ozubení je periodicky opakující se děj závislý na střídání počtu párů zubů v záběru, (Moravec, 2001), (Šalamoun, 1990) a je důležitým parametrem pro návrh převodových systémů např. v automobilech, či návrh zubových čerpadel, apod.

Analytickým modelováním tuhosti ozubení se zabývá řada autorů. Z českých autorů je to například V. Moravec (Moravec, 2001), který využívá ke stanovení tuhosti ozubení standardizovanou normu ISO 6336 (ISO 6336, 2006). Ze zahraničních autorů je nutné zmínit C. Webera a K. Banaschecka (Weber,



1953), kteří zvolili více teoretický přístup modelování tuhosti ozubení založený na výpočtu ohybové deformace zubu z deformační práce. Tohoto výpočtového modelu využívá návrhový software KISSsoft (KISSsoft,2023), ale je také základním stavebním kamenem pro aktuálně nejrozšířenější model založený na deformační energii ozubení.

Model deformační energie se vyskytuje ve značném množství variant, ale vždy obsahuje čtyři základní složky tuhosti (ohybová, axiální-tlaková, smyková a Hertzova kontaktní), které jsou doplněny o další komponenty tuhosti na základě požadavků autorů (tuhost patní oblasti, modelování trhliny v patě zubu a další). Mezi tyto autory patří například X. Tian (Tian,2004), P. Sainsot (Sainsot, 2004) a X. Liang (Liang 2014).

Neopomenutelným nástrojem je také metoda konečných prvků, která je zástupcem simulačního modelování nejen tuhosti ozubení. Přináší tedy další možnost pro porovnání a verifikaci jak analyticky vypočtených dat, tak experimentálně měřených hodnot.

V neposlední řadě je nutné provést experimentální ověření analytických a simulačních modelů. Takovým měřením se věnovali autoři Naresh K. Raghuvanshi a Anand Parey (Raghuvanshi,2015), (Raghuvanshi,2016), (Raghuvanshi,2017), (Raghuvanshi,2018), kteří využili několik různých experimentálních metod. Nejprve za použití plexisklových vzorků a na základě zkušeností s nimi pokračovali v měření na vzorcích ocelových.

Experimentální stanovení tuhosti ozubení přináší možnost zohlednit vliv reálné geometrie zubu a ozubeného věnce, vliv nepřesnosti a deformace ozubení. A to vše může být využito k verifikaci a zpřesnění analytických a simulačních modelů.

## 1 Teoretická východiska

Z hlediska namáhání zubů ozubených kol, lze jednotlivé zuby uvažovat jako vetknuté nosníky (Moravec, 2001), (Šalamoun, 1990). Každý zub jako vetknutý nosník v místě patního přechodu je pak deformován působením zatížení od druhého zubu v daném páru. Zatížení vyplývá ze silového rozkladu v bodě záběru v daném okamžiku. Ze známého silového působení a ze známé deformace zubů lze stanovit tuhost jednotlivých zabírajících párů zubů v záběru. Tuhost ozubení  $c$  je tedy dána vztahem (Rov. 1) a je udávána ve specifické jednotce, která lépe reflektuje rozdíl mezi šířkou zubu v [mm] a výrazně menší deformací v [ $\mu\text{m}$ ].

$$c = \frac{w}{\delta} \left[ \frac{N}{\text{mm} \cdot \mu\text{m}} \right], \quad (1)$$

kde  $c$  = tuhost ozubení  
 $w$  = poměrné zatížení vztaženo k šířce ozubení  
 $\delta$  = deformace ozubení

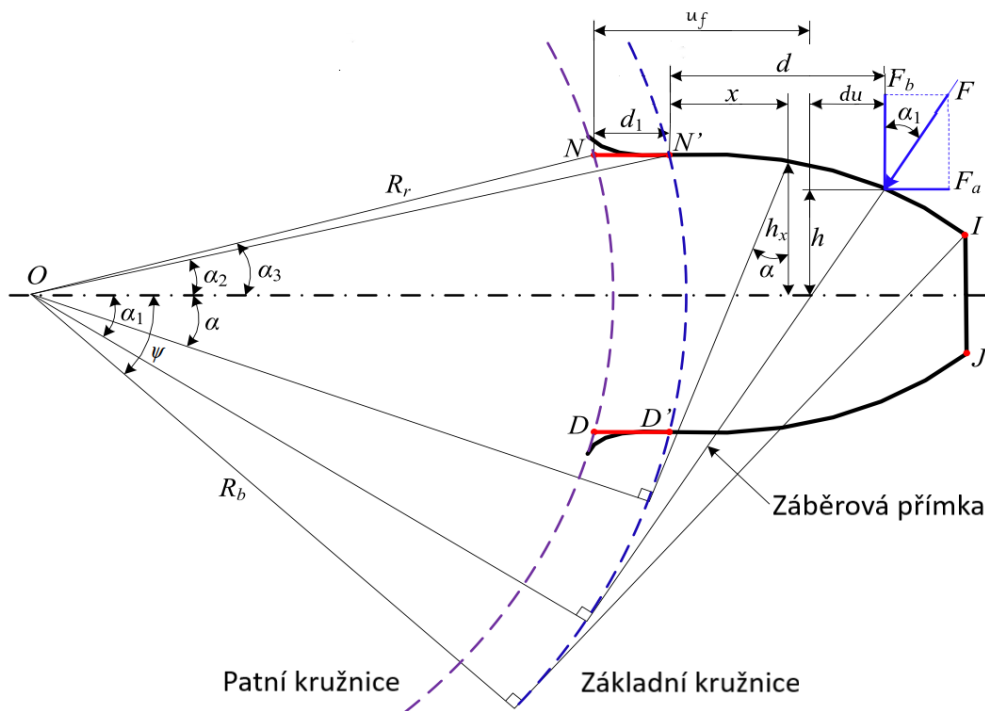
Při otáčení soukolí dochází k periodickým změnám záběru jednoho a dvou párů zubů, kde délka periody závisí na součiniteli celkového záběru  $\varepsilon_v$ .

### 1.1 Model deformační energie

Model je založen na teorii nosníků a v rámci teorie pružnosti uvažuje, že zub na ozubeném věnci je možné modelovat jako vetknutý nosník, který je vetknutý v místě základní kružnice (Tian,2004). Novější práce tento model zpřesňují a uvažují vetknutí v místě patní kružnice (Liang 2014). Zatížení uvažuje jako normálovou sílu vůči evolventě  $F$  (viz Obr. 1). Od této síly je odvozeno zatížení ohybem, smykem a axiálním tlakem. Pro tyto tři druhy zatížení je stanovena deformační energie s ohledem na konkrétní geometrii ozubení. Následně jsou z těchto deformačních energií vypočteny dílčí tuhosti (Rov. 2, Rov. 3,

Rov. 4), které tvoří základ celkové tuhosti ozubení. Tyto složky jsou také standartně doplněny o Hertzovu kontaktní tuhost (Rov. 5) (Tian,2004) a tuhost ovlivněné oblasti disku kola pod patní kružnicí (Sainsot, 2004).

Celková tuhost jednoho páru zubů se vypočítá jako sečtení převrácených hodnot dílčích tuhostí. Analogicky se skládáním sériových pružin. Celková tuhost dvou párů zubů se stanoví obvyčejným sečtením tuhostí jednotlivých párů v záběru. Opět analogie se sčítáním paralelních pružin.



Obr. 1: Namáhání zubu jakožto vetknutého nosníku (Liang 2014), upraveno.

$$\frac{1}{K_b} = \int_0^d \frac{[(d-x) \cdot \cos(\alpha_1) - h \cdot \sin(\alpha_1)]^2}{E \cdot I_x} dx, \quad (2)$$

$$\frac{1}{K_s} = \int_0^d \frac{1,2 \cdot \cos^2(\alpha_1)}{G \cdot A_x} dx, \quad (3)$$

$$\frac{1}{K_a} = \int_0^d \frac{\sin^2(\alpha_1)}{E \cdot A_x} dx, \quad (4)$$

$$\frac{1}{K_h} = \frac{4 \cdot (1 - \nu^2)}{\pi \cdot E \cdot b}, \quad (5)$$

Kde rozměry  $d$ ,  $x$ ,  $h$  a  $\alpha_1$  jsou vyznačeny v Obr. 1, dále

- E = modul pružnosti v tahu
- G = modul pružnosti ve smyku
- $\nu$  = Poissonova konstanta
- $A_x$  = plocha průřezu odříznuté části zubu
- $I_x$  = moment setrvačnosti odříznuté části zubu
- $b$  = šířka zubu
- $K_b$  = ohybová tuhost
- $K_s$  = smyková tuhost
- $K_a$  = axiální-tlaková tuhost
- $K_h$  = Hertzova kontaktní tuhost

## 1.2 Model KISSsoft

KISSsoft je softwarový nástroj pro strojírenský návrh a analýzu převodovek, ložisek, hřídelí a dalších mechanických součástí. Umožňuje uživatelům provádět výpočty, simulace a optimalizace různých mechanických součástí a systémů. Je široce používán v automobilovém, leteckém a strojírenském průmyslu a je známý svou přesností a spolehlivostí při předpovídání chování mechanických součástí a systémů.

KISSsoft umožňuje provést kontaktní analýzu ozubení, ta je zaměřena na výpočet deformace zatíženého zubu. Z vypočtené deformace umí následně stanovit průběh celkové tuhosti ozubení i tuhost jednotlivých párů zubů. Kontaktní analýza je založena na teorii deformace  $\delta$  páru ozubených kol, popsána v pracích Webera a Banascheka (Weber, 1953).

Tuto deformaci je možné rozdělit na tři komponenty (KISSsoft,2023):

1. Bending (ohyb zubu)
2. Tilting (deformace základního materiálu kola – naklopení zubu)
3. Hertzian flattening (stlačení boků zubů vlivem Hertzových tlaků)

Software také umožňuje jednoduchou MKP simulaci, které bylo využito k předběžnému návrhu maximálního zatížení vzorků.

## 2 Použité měřicí zařízení a vzorky

Navazuje na příspěvek Návrh konstrukce experimentálního zařízení pro identifikaci tuhosti ozubení (Flek, 2022), který se zabýval návrhem experimentálního zařízení a jeho osazení měřicími prvky (instrumentace). Zabývá se také návrhem sady vzorků.

### 2.1 Funkce měřicího zařízení

Je zde tedy měřena deformace zubu, nikoliv například napětí v patě zubu. Ozubení je zatěžováno statickým momentem vyvozeným závažím na páce.

Měřicí zařízení se skládá z nosné konstrukce vybavené ložiskovými domky. Na straně kola jsou také v konstrukci umístěny zastavovací šrouby. Ty zabraňují pootočení kola při zatěžování a jsou nezbytné pro oddělení deformace zubů od celkového natočení kol. V kluzných ložiskových domcích jsou následně umístěny hřídele s objímkou, nesoucí měřené vzorky. Na straně pastorku je tato objímka doplněna o zatěžovací páku, která slouží k umístění závaží. Tímto způsobem tedy vstupuje do měření zatěžovací moment.

Obě části (část s pastorkem a část s kolem) jsou upevněny ke stolu pomocí T-matic, tím je zajištěna schopnost posuvu, a tedy nastavení osové vzdálenosti. Tento požadavek vyplývá z navržené řady vzorků.

### 2.2 Sada vzorků

Skládá se vždy z pastorku, který je vyroben jako segment ozubení, obsahující 6 zubů. To je dostatečný počet pro experimentální měření a zároveň umožňuje snížení výrobních nákladů. Druhou částí sady je "Multikolo", které je půlené, opět z důvodu snížení nákladů a zjednodušení výměny. Každá polovina přísluší jedné sadě vzorků.

Sady vzorků se pak liší šířkou, osovou vzdáleností, a hlavně celkovou korekcí soukolí. Byly navrženy řady vzorků o dvou šířkách a to 5 a 8 mm, za účelem pozorování závislosti tuhosti na šířce kola. Pro každou šířku byla následně vytvořena řada vzorků s osovou vzdáleností 174,5 mm, 176 mm a 183 mm. Tímto jsou uvažovány všechny typy korigování (V-, N a V+). Parametry vzorků jsou naznačeny v Tab. 1.

Tab. 1: Parametry sady vzorků

Osová vzdálenost $a_w$ [mm]	Jednotková korekce pastorku $x_1$ [1]	Součinitel záběru profilu $\epsilon_\alpha$ [1]	Šířka vzorku $b$ [mm]
174,5	-0,1813	1,639	5 / 8
176	0	1,579	5 / 8
183	0,8368	1,316	5 / 8

Zbýlé parametry soukolí jsou stejné pro všechny vzorky. Jedná se o soukolí s převodovým poměrem  $i = 1$ , počtem zubů  $z = 22$  a normálovým modulem  $m_n = 8$  mm. "Multikolo" je vždy nekorigované.

Materiálem vzorků je polymethylmetakrylát (PMMA) s obchodním označením Extrudovaný Plexiglas® XT. Důležité materiálové konstanty jsou shrnuty v Tab. 2.

Tab. 2: Materiálové konstanty

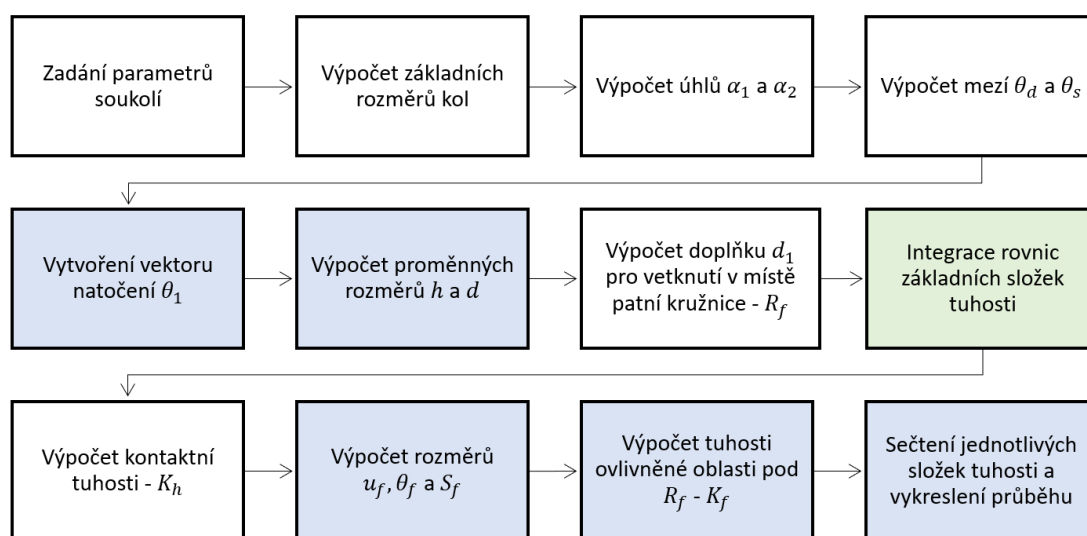
Modul pružnosti v tahu $E$ [MPa]	Mez pevnosti v tahu $R_m$ [MPa]	Poissonova konstanta $\nu$ [1]	Měrná hmotnost $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]
3200	72	0,4	1,19

### 3 Praktická příprava experimentu

Tato kapitola se zabývá přípravou na experimentální měření, a to hlavně z toho důvodu, že je nezbytné, aby průběhy tuhostí z analytických a simulačních modelů byly vypočteny před začátkem měření a mohly tak být použity k ověření správnosti funkce měřícího zařízení. Dále je nutné provést přípravu měřícího prostředí. Měřenou hodnotou je zde natočení vlivem deformace zubů, které je nutné převést na průběh tuhosti. Je tedy nutné vytvořit nástroj, který zajistí převod a vyhodnocení měřených dat.

#### 3.1 Výpočet tuhosti pomocí modelu deformační energie

Výpočtový model deformační energie byl upraven pro uvažování korekcí ozubení a rozdílů mezi případem kdy má patní kružnice větší nebo menší průměr než kružnice základní. Výpočet byl automatizován v softwaru MATLAB a jeho postup je shrnut na Obr. 2.



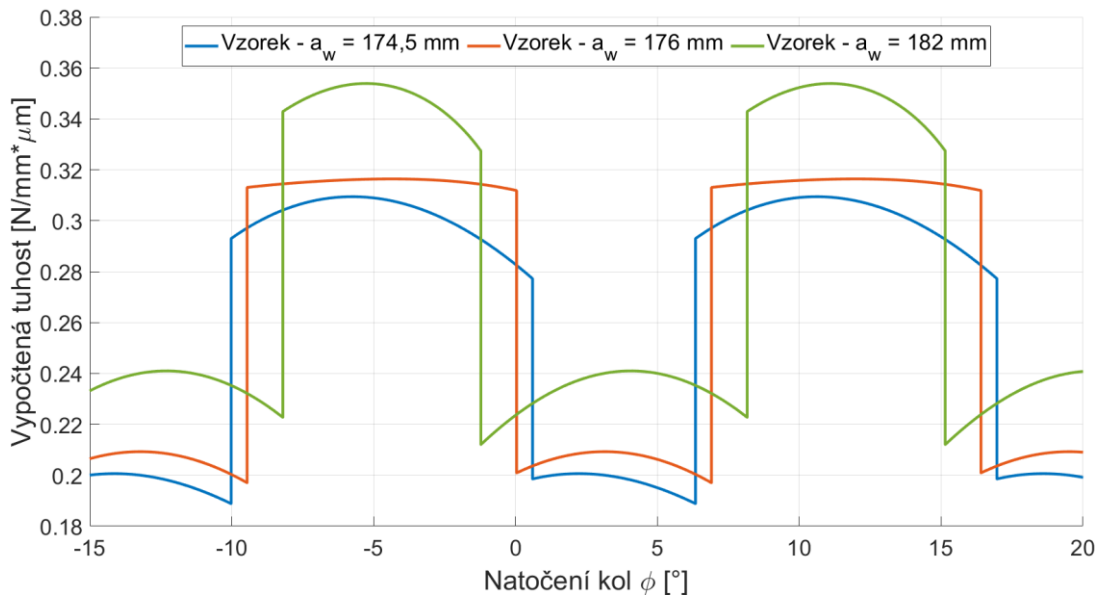
Obr. 2: Diagram postupu výpočtu modelu deformační energie

Během odvalu ozubených kol dochází k posuvu záběrového bodu po teoretické záběrové přímce. S tímto úzce souvisí změna výpočtových rozměrů modelu deformační energie, které jsou naznačeny na

Obr. 1. Je tedy zaveden úhel pootočení kol  $\theta_1$  a v závislosti na něm jsou vyjádřeny všechny proměnné rozměry. Počáteční polohou, tedy  $\theta_1 = 0$  je začátek záběru dvou párů zubů a periodu odvalu je tak možno rozdělit na část záběru dvou párů zubů omezenou úhlem  $\theta_d$  a část záběru jednoho páru zubů omezenou úhlem  $\theta_s$ . Perioda je také závislá na počtu zubů kola  $z$ , což je naznačeno v Rov. 6.

$$perioda = \frac{360^\circ}{z} = \theta_d + \theta_s, \quad (6)$$

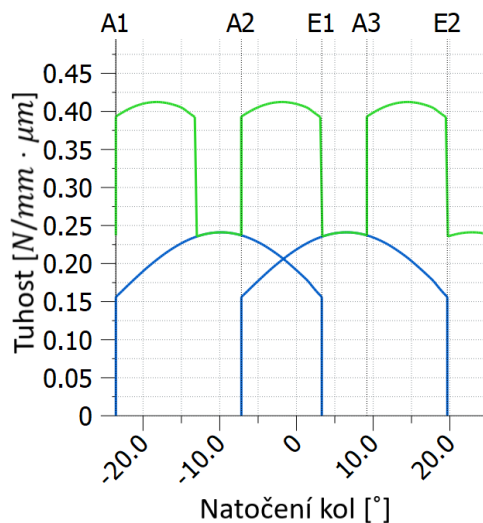
Výstupem tohoto výpočtového modelu je průběh tuhosti ozubení v závislosti na úhlu pootočení  $\theta_1$ , které odpovídá vzájemnému natočení kol (viz Obr. 3).



Obr. 3: Průběhy tuhostí vzorků, vypočteno modelem deformační energie

### 3.2 Výpočet tuhosti pomocí modelu KISSsoft

Software KISSsoft byl využit již k návrhu vzorků, ke stanovení tuhosti tedy stačí doplnit materiálové parametry vzorků a spustit výpočet kontaktní analýzy. Výstupem je průběh tuhosti ozubení v závislosti na natočení kol (viz Obr. 4). V obrázku je také zvýrazněna tuhost jednotlivých párů zubů (modré průběhy) a jejich součet, který představuje průběh celkové tuhosti ozubení (vyznačen zeleně).



Obr. 4: Průběhy tuhostí vzorku, vypočteno modelem KISSsoft

Byla také využita jednoduchá MKP analýza, kterou tento software umožňuje. Po nastavení zátěžného momentu (odhadnut na 50 Nm, což přibližně odpovídá zavěšení závaží o hmotnosti 18 kg) a spuštění MKP simulace se maximální Misesovo napětí v patě zubu pohybovalo na mezi kluzu. Tímto způsobem bylo stanoveno limitní závaží pro 5 mm vzorky na 18 kg. Stejný postup byl využit pro vzorky s šířkou 8 mm.

### 3.3 Využití metody konečných prvků ke stanovení tuhosti ozubení

Metoda konečných prvků je velmi často využívána k verifikaci měření, a to hlavně z důvodu variability a velkého množství možností nastavení výpočetního modelu. Je možné věrohodně vystihnout reálný zatěžovací stav, samozřejmě s jistým zjednodušením. Jako jediný z modelů umožňuje zahrnutí vlivu deformování zubů během zatěžování do výpočtu tuhosti ozubení. Vliv deformování se projeví pozvolnou změnou tuhosti mezi záběrem jednoho a dvou párů zubů. U ostatních modelů (KISSsoft Obr. 4 a deformační energie Obr. 3) je tento přechod skokový. Výhody tohoto modelu jsou však omezeny značnou časovou náročností.

Zvoleným softwarovým nástrojem pro tento model je Abaqus CAE, a to hlavně pro možnost detailního nastavení síťování součástí a definování okrajových podmínek. Model je nastaven ve výpočtovém prostředí 2D planar- deformable a je zatěžován kroutícím momentem na straně pastorku. Odval je následně zajištěn pomocí okrajové podmínky pro natočení vložené do osy "Multikola". Dále jsou vytvořeny kinematické vazby mezi osami kol a příslušnými vnitřními průměry. Pro definování kontaktu mezi evolventními plochami zubů bylo využito funkce Surface to Surface contact. Následně byly vytvořeny výpočtové kroky a nastaveno síťování součástí pomocí CPS4R elementů.

Výstupem z výpočetního modelu je pak natočení pastorku zahrnující i natočení způsobené deformací zubů v závislosti na výpočetním kroku. Tento výstupní průběh je nutné rozdělit na část natočení definované okrajovou podmínkou a námi hledanou část způsobenou deformací zubů. Pomocí následujících rovnic jsou vypočteny základní parametry vstupující do výpočtu tuhosti (Rov. 1).

$$\varphi = t \cdot |\varphi_{max}| \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (7)$$

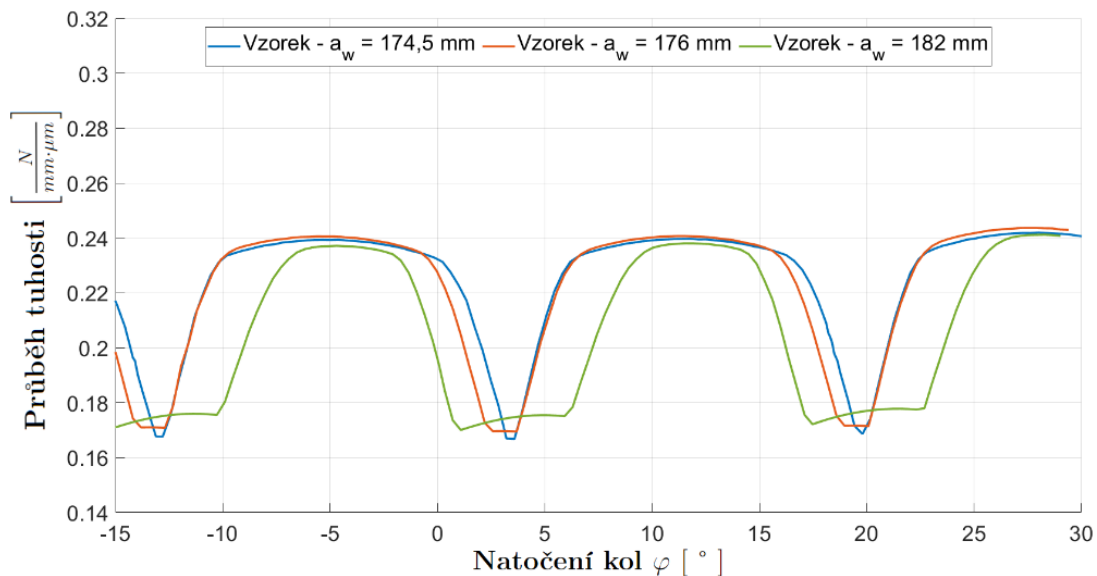
$$\delta = \frac{a_w}{2} \cdot \tan(\delta_\varphi) \cdot 1000, \quad (8)$$

$$w = \frac{M_k}{\frac{a_w}{2} \cdot b}, \quad (9)$$

kde	$\varphi$	=	natočení kol
	t	=	čas výpočetního kroku
	$\varphi_{max}$	=	natočení kol dané okrajovou podmínkou
	$\delta_\varphi$	=	natočení kol způsobené deformací zubů
	$a_w$	=	valivá osová vzdálenost soukolí
	$M_k$	=	zátěžný kroutící moment
	b	=	šířka kola
	$\delta$	=	deformace ozubení
	w	=	šířkové zatížení

Obdobným způsobem je přepočteno měřené natočení na tuhost ozubení během experimentálního měření.

Výsledný průběh tuhosti ozubení v závislosti na natočení kol viz Obr. 5



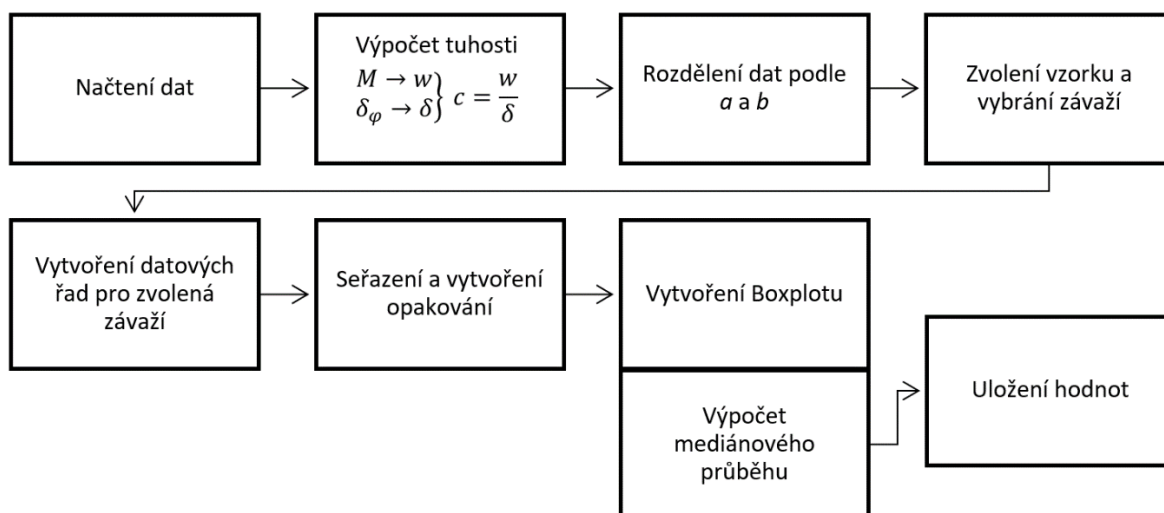
Obr. 5: Průběhy tuhostí vzorků, vypočteno metodou konečných prvků

### 3.4 Práce s daty

V rámci přípravy měření bylo vytvořeno pracovní prostředí v softwaru LabVIEW, které je připojeno k měřicí ústředně NI – cDAQ – 9174 od firmy National Instruments. Toto prostředí slouží k zobrazení aktuální hodnoty natočení hřídele pastorku, ale především k zapisování měřených dat a parametrů vzorku. Je zde tedy vytvořena datová sada (viz Tab. 3), která je výstupem z měření a je s ní dále pracováno během vyhodnocení.

Tab. 3: Struktura výstupní datové sady, s příkladem hodnot

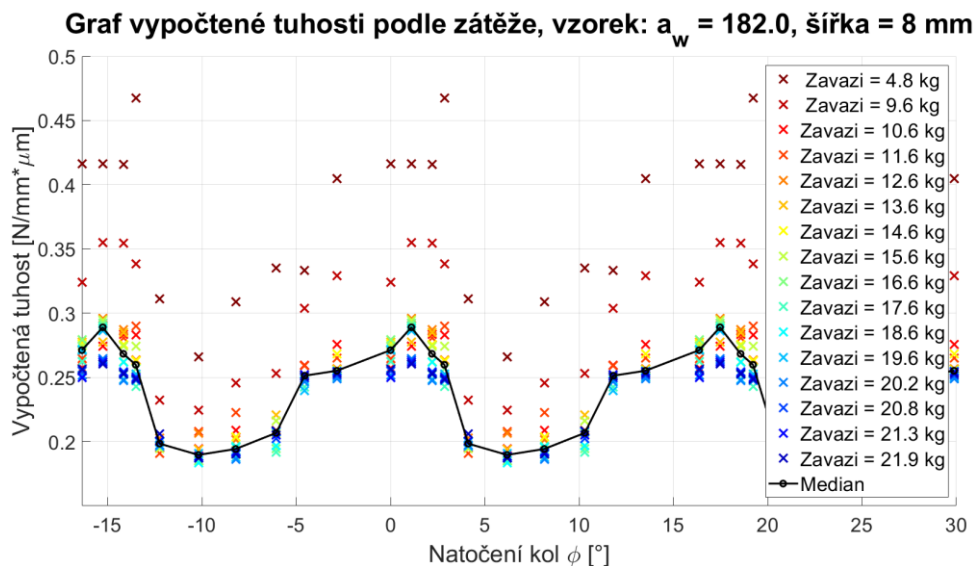
Osová vzdálenost $a_w$ [mm]	Šířka vzorku $b$ [mm]	Natočení kol $\varphi$ [°]	Hmotnost závaží $m_z$ [kg]	Deformace $\delta_\varphi$ [°]
176	5	2,3	12,15	0,126



Obr. 6: Diagram funkce nástroje pro zpracování dat

Pro práci s daty byl vytvořen nástroj v softwaru MATLAB, který má za úkol převést měřenou deformaci na tuhost ozubení, dále rozdělit data podle příslušných vzorků. Tedy na základě osové

vzdálenosti a šířky. Dále pro zvolený vzorek vytvoří datové řady pro jednotlivá závaží, která byla během měření použita. Z jednotlivých datových řad je vypočten mediánový průběh, který byl zvolen jako vhodný pro reprezentaci měřených dat. A to, jelikož představuje nejpravděpodobnější hodnotu a není výrazně ovlivněn extrémními hodnotami. Strukturní diagram tohoto nástroje je představen na Obrázku 6 a výstupní graf z tohoto zpracování dat je na Obrázku 7.

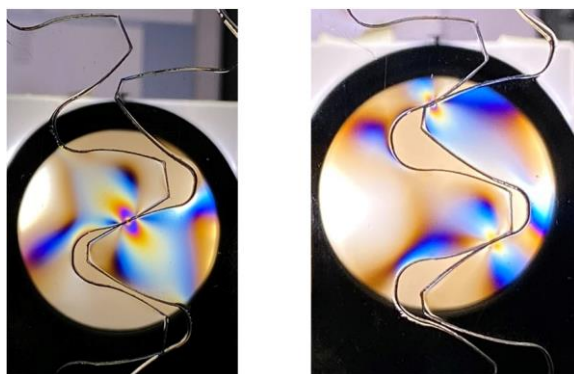


Obr. 7: Výstupní graf tuhosti s vyznačeným mediánovým průběhem (černě)

#### 4 Experimentální měření tuhosti ozubení

Úvodní sada měření byla zatížena několika problémy, na které bylo nutné reagovat. Během těchto měření byly uvažovány původně navržené ocelové vzorky.

Prvním z nich byla problematika rozpoznání typu záběru, jelikož i ve stavu záběru jednoho páru zubů není mezera mezi nezabírajícími zuby příliš velká a je proto náročné opticky rozpoznat kolik párů zubů aktuálně vstupuje do záběru. Tento problém byl vyřešen změnou materiálu na plexisklo a využitím jednoduchého polariskopu k rozpoznání typu záběru viz Obr. 8.



Obr. 8: Rozdíl záběru jednoho páru zubů (vlevo) a dvou párů zubů (vpravo)

Druhým problémem byla pomalá reakce měřícího zařízení a vzorků na umístění závaží (viz Obr. 7, kde pro malé hmotnosti závaží je měřená tuhost velmi vzdálená od mediánové hodnoty), která je způsobena vůlemi měřícího standu a také materiálovými vlastnostmi plexiskla. Jako řešení tohoto problému se ukázalo přidání předzatěžovacího cyklu, během kterého dojde k sesednutí součástí standu ve směru měřené deformace.

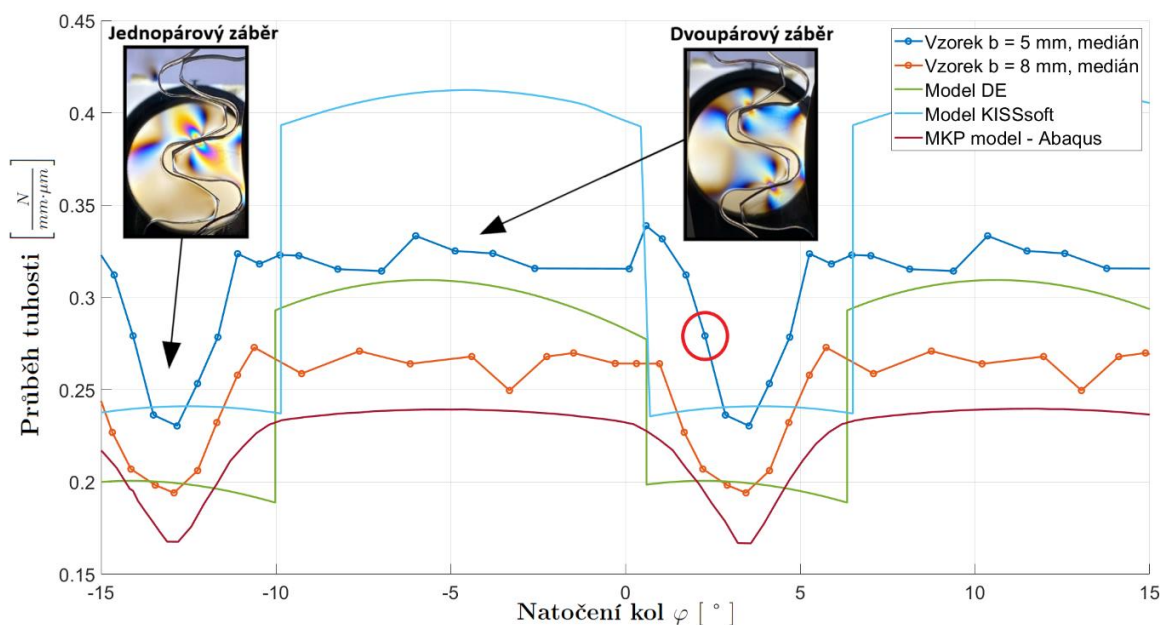


Na závěr byla metodika shrnuta do doporučeného pořadí jednotlivých kroků:

1. Volba vzorku, návrh maximálního zatížení, návrh řady závaží a příprava analytických modelů
2. Ustavení vzorků
3. Nastavení osové vzdálenosti a srovnání šířek vzorků
4. Nastavení referenční polohy IRC snímače do vodorovné polohy zátěžného ramene
5. Zjištění rozsahu jednotlivých typů záběrů
6. Předběžná úvaha vhodného odstupňování zátěžných bodů
7. Natočení kol do prvního zátěžného bodu
8. Zapsání hodnoty úhlu natočení kol  $\varphi$  a typu záběru
9. Nastavení nulové hodnoty IRC snímače
10. Provedení předzatěžovacího cyklu
11. Postupné přidávání závaží a měření deformace zubů
12. Vyfocení kontaktních ploch zubů a záběru
13. Uložení dat a odebrání závaží
14. Natočení kol do dalšího zátěžného bodu
15. Opakování postupu od bodu 8.

## Závěr a diskuse výsledků

V rámci diskuse výsledků nutné využít veškerých modelů představených v tomto příspěvku k porovnání s měřenými daty, a tedy provést vzájemné ověření měřených dat a analyticko-simulačních modelů. Toto srovnání bude představeno na vybraném vzorku ( $a_w = 174,5$  mm a  $b = 8$  mm), chování ostatních vzorků je velmi podobné. Experimentální data byla s analyticko-simulačními modely porovnána nejprve graficky (viz Obr. 9) a následně procentuálně (viz Tab. 4).



Obr. 9: Porovnání vzorku  $a_w = 174,5$  mm s analyticko-simulačními modely

Tab. 4: Porovnání měřeného vzorku, průměrná tuhost v  $[N/mm \cdot \mu m]$

	<b>b = 5 mm</b>	<b>b = 8 mm</b>	<b>Model DE</b>	<b>Model KISSsoft</b>	<b>Model MKP</b>
<b>Průměr (jeden pár zubů)</b>	0,233	0,196	0,197	0,243	0,167
<b>Porovnání s 8 mm vzorkem</b>	18,9 %		0,6 %	23,6 %	-15 %
<b>Průměr (dva páry zubů)</b>	0,323	0,261	0,300	0,406	0,237
<b>Porovnání s 8 mm vzorkem</b>	23,6 %		14,9 %	55,2 %	-9,5 %

Na základě výsledků z měření (viz Obr. 9 a Tab. 4) můžeme prohlásit model deformační energie a model MKP za relativně přesné, jelikož se jejich rozdíl od měřeného vzorku se pohybuje v rozmezí 15%. Zatímco model KISSsoft se pohybuje ve vyšších procentuálních rozdílech (20 až 55 %). Vzorky o šířce 5 mm se jeví více tuhé než vzorky 8 mm, tento jev přisuzujeme malé mezi pevnosti materiálu, tedy dochází k lomu při příliš malém zatížení. Z tohoto důvodu je vhodné provádět měření na širších vzorcích, pokud je použitým materiálem polymethylmetakrylát (plexisklo).

Je rovněž vhodné provést srovnání výsledků s podobným výzkumem dalších autorů. Jak již bylo zmíněno v úvodu, experimentálnímu měření se věnovali autoři Naresh K. Raghuwanshi a Anand Parey (Raghuwanshi,2015), (Raghuwanshi,2016), (Raghuwanshi,2017), (Raghuwanshi,2018). Je nutné upozornit na rozdíly těchto experimentů. Autoři se zabývali především měřením ozubení s trhlinou v patě zubu a měření ozubení mělo odlišné parametry (viz kapitola 2.2). Kvůli těmto rozdílům není možné porovnat přímo hodnoty měřené tuhosti, ale můžeme porovnávat procentuální rozdíly mezi experimentem a analytickými modely. Autoři využívali analytický model založený na deformační energii (podobný modelu Deformační energie z kapitoly 1.1), tento model je popsán v článku (Wu,2008).

Tab. 5: Výsledky měření autorů Naresh K. Raghuwanshi a Anand Parey

Velikost trhliny	(Raghuwanshi,2015)	(Raghuwanshi,2016)	(Raghuwanshi,2017)	(Raghuwanshi,2018)
Metoda	Fotoelasticimetrie	Tenzometrie	DIG	LDS
Bez trhliny		24,29 %	14,08 %	20,56 %
1 mm		12,07 %	16,46 %	20,79 %
3 mm	-27,63 %	-11,06 %	20,92 %	26,68 %
5 mm	-39,94 %	-22,51 %	31,67 %	33,46 %

Shrnutí výsledků z měření (Tab. 5) udává představu o přesnosti jednotlivých experimentů. Porovnání je provedeno pro průměrnou hodnotu tuhosti, tedy pro experiment popsáný v tomto příspěvku je procentuální rozdíl oproti modelu DE byl roven 8,75 % (viz hodnoty Tab.4, pro  $a_w = 174,5$  mm a  $b = 8$  mm, bez trhliny). Přesnost experimentu je tedy velmi dobrá v porovnání jinými autory.

Experimentální měření bude dále směřovat k měření na širších vzorcích z plexiskla, s cílem ověření výsledků. Ale hlavním cílem je návrat zpět k vzorkům ocelovým a využití nabytých zkušeností s měřením.

Poděkování:

Tento příspěvek vzniknul díky finanční podpoře ČVUT v Praze – projektu Studentské grantové soutěže – SGS23/107/OHK2/2T/12

## Prameny

- MORAVEC, Vladimír. Konstrukce strojů a zařízení II. čelní ozubená kola: teorie, výpočet, konstrukce, výroba, kontrola. První. Ostrava: Montanex, 2001. ISBN 80-722-5051-5.
- ŠALAMOUN, Čestmír; SUCHÝ, Miloš. Čelní a šroubová soukolí s evolventním ozubením. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-030-0532-9.
- ISO 6336-1-2006 Calculation of load capacity of spur and helical gears–Part 1: Basic principles, introduction and general influence factors. Standard. International Organization for Standardization.
- WEBER, C; BANASCHEK, K. Formänderung und Profilrücknahme bei Gerad-und Schrägverzahnten Antriebstechnik. Vieweg, Braunschweig. 1953, roč. 11, č. 4.

5. KISSsoft- User manual. 2023. Dostupné také z: <https://www.kisssoft.com/en/products/technical-description/brochures/kisssoft-release-2023-user-manual>.
6. TIAN, Xinhao. Dynamic simulation for system response of gearbox including localized gear faults. 2004.
7. LIANG, Xihui; ZUO, Ming J.; PANDEY, Mayank. Analytically evaluating the influence of crack on the mesh stiffness of a planetary gear set. *Mechanism and Machine Theory*. 2014, roč. 76, s. 20–38. issn 0094-114X. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2014.02.001>.
8. SAINSHOT; VELEX, P.; DUVERGER, O. Contribution of Gear Body to Tooth Deflections—A New Bidimensional Analytical Formula. *Journal of Mechanical Design*. 2004, roč. 126, č. 4, s. 748–752. issn 1050-0472. Dostupné z doi: 10.1115/1.1758252.
9. RAGHUWANSHI, Naresh K.; PAREY, Anand. Mesh stiffness measurement of cracked spur gear by photoelasticity technique. *Measurement*. 2015, roč. 73, s. 439–452. issn 0263-2241. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.05.035>.
10. RAGHUWANSHI, Naresh K.; PAREY, Anand. Experimental measurement of gear mesh stiffness of cracked spur gear by strain gauge technique. *Measurement*. 2016, roč. 86, s. 266–275. issn 0263-2241. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.03.001>.
11. RAGHUWANSHI, Naresh K.; PAREY, Anand. Experimental measurement of spur gear mesh stiffness using digital image correlation technique. *Measurement*. 2017, roč. 111, s. 93–104. issn 0263-2241. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.07.034>.
12. RAGHUWANSHI, Naresh K.; PAREY, Anand. Experimental measurement of mesh stiffness by laser displacement sensor technique. *Measurement*. 2018, roč. 128, s. 63–70. issn 0263-2241. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.06.035>
13. WU, Siyan; ZUO, Ming J.; PAREY, Anand. Simulation of spur gear dynamics and estimation of fault growth. *Journal of Sound and Vibration*. 2008, roč. 317, č. 3, s. 608–624. issn 0022-460X. Dostupné z doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.03.038>.
14. FLEK, J., M. DUB a J. KOLÁŘ. Návrh konstrukce experimentálního zařízení pro identifikaci tuhosti ozubení. In: Recenzovaný sborník příspěvků z 22. odborné konference z cyklu Integrované inženýrství v řízení průmyslových podniků na téma Udržitelné moderní výrobní systémy v praxi průmyslových podniků. P. 25-33. Praha: Czech Technical University in Prague, 2022. ISBN 978-80-01-07054-3.

## Kontaktní údaje o autorech

Ing. Tomáš Karas

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav konstruování a částí strojů

Technická 4, 166 07, Praha 6

+420 602 817 592

[tomas.karas@fs.cvut.cz](mailto:tomas.karas@fs.cvut.cz)

Ing. Jan Flek

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav konstruování a částí strojů

Technická 4, 166 07, Praha 6

+420 224 352 443

[jan.flek@fs.cvut.cz](mailto:jan.flek@fs.cvut.cz)

## VELKÉ JAZYKOVÉ MODELY A.I. & KOMUNIKACE S NIMI

### LARGE LANGUAGE MODELS & COMMUNICATION WITH THEM

*Michal Matějka*

#### Abstrakt

*Velké jazykové modely A.I. představují revoluční pokrok v oblasti komunikace s umělou inteligencí. Tento článek se zaměřuje na jejich význam v komunikačním prostředí. Velké jazykové modely A.I., jako GPT-3.5, nabízejí schopnost generovat lidský text s ohromující přesností a rozmanitostí. Tato technologie mění způsob, jakým lidé komunikují s počítači a stroji za užití nových disciplín. Průzkum vyjádřený v tomto článku ukazuje, že velké jazykové modely A.I. mají potenciál zásadně změnit způsob, jakým lidé komunikují s technologií, a jak ji využívají k naplnění vlastních nejenom pracovních povinností. Shrnutím článku je zdůraznění, jak je důležité pečlivě zkoumat a řešit etické a praktické otázky spojené s touto novou formou komunikace tak, aby byla zajištěna maximální užitečnost a bezpečnost pro uživatele.*

**Klíčová slova:** umělá inteligence, chatbot, velký jazykový model, komunikace

#### Abstract

*Large language models A.I. represent a revolutionary advancement in the field of artificial intelligence communication. This article focuses on their significance in the realm of communication. Large language models A.I., such as GPT-3.5, possess the ability to generate human text with astonishing accuracy and diversity. This technology is reshaping the way people interact with computers and machines, employing novel disciplines. Introduced research within this article indicates that large language models A.I. have the potential to fundamentally alter how individuals communicate with technology and leverage it to fulfill not only their professional but also personal responsibilities. The summary of the article is to emphasize the importance of carefully researching and solving the ethical and practical issues associated with this new form of communication in order to ensure maximum usefulness and safety for users.*

**Key words:** artificial intelligence, chatbot, large language model, communication

#### Úvod

Problematika digitálního světa dnes prostupuje všemi odvětvími, a to na úrovni národní, podnikatelské i mezi jednotlivými občany. Jedním s těchto odvětví je právě digitální ekonomika a umělá inteligence, která se řeší především na národní a podnikatelské úrovni. V dnešní době výrazně i ve strategických investicích státu. Jelikož se jedná o důležitý pilíř české strategie, zabývá se se jim také přímo ministerstvo průmyslu a obchodu a konkrétně odbor digitální ekonomiky a chytré specializace (MPO, 2023). Tento odbor se zaměřuje na podporu digitální ekonomiky prostřednictvím inovací a využití moderních technologií. Jeho hlavním cílem je posílení konkurenceschopnosti českých podniků na globálním trhu. Digitální ekonomika nabízí mnoho příležitostí pro růst a rozvoj, avšak současně vyvolává i různé výzvy, jako například ochrana osobních údajů či kybernetická bezpečnost. Ministerstvo průmyslu a obchodu spolupracuje s dalšími ministerstvy a institucemi, aby tyto výzvy úspěšně řešilo. Jednou z priorit je také podpora digitálního vzdělávání a rozvoje digitálních dovedností obyvatelstva,

aby bylo připraveno na nové technologické výzvy a mohlo efektivně využívat digitálního prostoru. Činí tak na základě strategie Evropské unie, která tyto snahy zanesla do svého programu již pro rok 2021 a 2022 (Evropská komise, 2021).

Jednou z nejperspektivnějších digitálních technologií pro efektivní řízení podniků a institucí je aktuálně umělá inteligence, potažmo velké jazykové modely. Ta patří mezi jednu z nových disruptivních technologií, která má velký potenciál zlepšit kvalitu našeho života i celé společnosti, a to skrze napodobování lidských schopností a analyzování velkého množství dat. Umělá inteligence může pomoci v automatizaci procesů, zvýšení produktivity a snížení chyb. Její využití může být přínosné například v oblasti zdravotnictví, dopravy nebo dokonce ve tvorbě uměleckých děl (Altman, 2023). Přestože umělá inteligence přináší mnoho příležitostí, je důležité dbát na etické otázky a zabezpečení. Ačkoli je umělou inteligenci složité jednoduše definovat, jde o velice aktuální a často diskutované téma. Zejména v posledních letech byl rozvoj této technologie velice dynamický a její využití v praxi se rozšířilo do mnoha oblastí, od zemědělství přes průmysl až po služby. I když si to mnozí neuvědomují, s umělou inteligencí se setkáváme v našem každodenním životě. Systémy umělé inteligence se často používají například pro komunikaci prostřednictvím virtuálních asistentů jako např. chatboty, pro překlady psaného a mluveného textu nebo v rámci biometrického rozpoznávání obličejů. Velký potenciál má umělá inteligence také pro rozvoj ekonomiky a konkurenceschopnosti, a to především díky její schopnosti zefektivnit práci.

## 1 Dynamický vývoj A.I. ChatGPT pro veřejnost

Umělá inteligence, respektive interaktivní pokročilý algoritmus strojového učení ve formě chatbotů pro širokou veřejnost je stále poněkud novinkou. Od 30. listopadu 2022 společnost **OpenAI** začala dobývat internet svým vlastním algoritmem – chatbotem **ChatGPT 3** širokou veřejnost a postupně se začalo zjišťovat, že tímto inovačním fenoménem je možné dobývat různé sféry lidských činností. OpenAI je neziskovou společností, která se zaměřovala především na vývoj a výzkum využití umělé inteligence, ale na rozdíl od většiny se zaměřovala i na zpřístupnění algoritmu právě široké veřejnosti a běžné společnosti. Vizí společnosti založené v roce 2015 současným CEO **Samem Altmanem** a Elonem Muskem (opustil společnost v r. 2018) bylo a stále je udělat svět trochu bezpečnější a udržitelnější právě pomocí umělé inteligence (Pohůdka, 2023). Předchozí modely byly vydány i léta před a první GPT-3 model byl vydán již v roce 2020, nebyl ale představen široké společnosti.

Obrovský potenciál byl však objeven právě u generování textu, výpomoci v rozhodování, reakcích na vizuální podněty a simulace, na základě, kterých byl algoritmus schopen vytvořit stabilní základny pro každodenní práci. Zjišťuje se tak i praktické využití v podnicích a pro manažerské rozhodování. Zde je však nutnost řešit informační a kybernetickou bezpečnost, jelikož žádný ze zmíněných chatbotů není nezávislý a hrozí zde únik dat. ChatGPT je používán v mnoho jiných aplikacích a platformách než pouze na v „rodném“ OpenAI prostoru. Algoritmus je využíván i jako základ pro virtuální asistenty, webové a mobilní aplikace a celkově se pole působnosti posunulo i do oblastí jako jsou zákaznický servis, marketingové výzkumy a průzkumy trhů.

OpenAI jakožto nezisková organizace samozřejmě spolupracuje s dalšími společnostmi a institucemi v rámci vývoje umělé inteligence. Není tedy překvapením, že zde existuje konkrétní spolupráce právě s korporátem Microsoft. Ten je právě jedním z největších investorů OpenAI a pomáhá s integrací do internetového prostředí například ve výzkumu a vývoji jazykového prostředí nutného k interakci s uživateli. Spolupráce je vidět i na integraci ChatGPT do Microsoft modulů viz. MS Teams, MS Power Platform a dnes již mnoho dalších integrací i s dalšími produkty od dalších společností. V současné době je pokročilý algoritmus GPT-4 již aplikován i do internetových vyhledávačů typu Bing a Edge. Jiné vyhledávače mají zaintegrované své algoritmy na stejném principu.

## 1.1 Konkurenční Chatboti

Velkého rozmachu a vlnu příležitosti rozpoutal ChatGPT od OpenAI a dále se čeká, že nebude trvat dlouho a konkurence přijde s novými chatboty, kteří budou něčím odlišní, lepší, jiní. Kooperace Microsoftu s OpenAI a současným využitím ChatGPT v prohlížeči Bing již má nějakou dobu konkurenci se společností **Google**, která přišla s vlastním asistentem využívajícím umělou inteligenci – **Bard (Pichai, 2023)**

. Tento textový generátor zastupuje kreativního kolegu, který navyšuje produktivitu a nabádá k lepším nápadům a podporuje představivost. Výhodou jeho užívání je přímé propojení s největším vyhledávačem, kteří lidé využívají a mají jej propojený např. s Gmailem a produkty nabízené v portfoliu Google. Bard má všechny tyto moduly k sobě a dokáže je navzájem propojit. Uživatelé se tak mohou využívat velmi širokou škálu příkazů. Od klasických příkazů do vyhledávače, přes sepsání a plánování odeslání e-mailu, naprogramování kódu, po naplánování víkendové dovolené po grafický návrh loga a finální vizualizaci (Svoboda, 2023). Pro nás Evropany byl Bard z počátku nedostupný, jelikož se nesetkal kladně se nařízením EU, konkrétně nařízením GDPR (EU) 2016/679. Oproti ChatGPT byl Bard zabrzdněn údajně z důvodů nedodání dostatečných informací a dopadu textového generátoru na ochranu uživatelských dat. Toto léto se však Bard dostal již i do EU a je možné jej trénovat i v dalších jazycích.

Princip obou Chatbotů funguje na stejném principu jazykových modelů. Bard od Googlu, který nevyužívá principy GPT, ale PaLM 2. U toho uživatelé tvrdí, že lépe chápe slovní spojení, a tak generuje relevantnější obsah než GPT (Portakal, 2023, přel. z ang.). Je důležité zmínit, že obojí jsou jazykové modely (LLM – Large Language Model). Lze říci, že tyto jazykové modely jsou si značně podobné rozdíly jsou v současné době malé. Očekává se, že do budoucna nás čeká velký rozvoj těchto asistentů, které nám mohou ulehčit práci napříč spektrem profesí, oborů a že žádný nezůstane netknutý (Abidi, 2023, přel. z ang.).

Nemluvě pouze o jazykových modelech (chatbotech), které respondují pouze textovým obsahem, je nutné zmínit, že již jsou na veřejné síti dostupné až stovky nových modelů, které dokáží podle zadaných příkazů vytvořit výstup v jakémkoli počítačovém souboru. Jsou webové i mobilní aplikace, které na základě příkazu vytvoří pdf, nebo naopak udělají shrnutí pdf a uživatel nepotřebuje přečíst několikastránkový článek. Je možnost na základě příkazu vygenerovat powerpointovou prezentaci, či po vložení excelovského souboru si vyžádat konkrétní data. Nevelkým překvapením bude grafický design, který se dá po vytvoření dále editovat do finální podoby. Je i možnost si nechat po vložení základního příběhu vytvořit krátkou e-knihu. Pro mnoho profesí je možnost si vygenerovat návrhy, skicy, výpočty, ze kterých je možné vytvořit ucelené výstupy vhodné pro publikování i rozhodování v podnicích. Tyto jazykové modely jsou i velice nápomocné ve věcech legislativy a zákona, kdy je možné zákony velice jednoduše vysvětlit k případům a urychlit tím i proces jednání s úřady.

## 1.2 Bezpečnost užívání

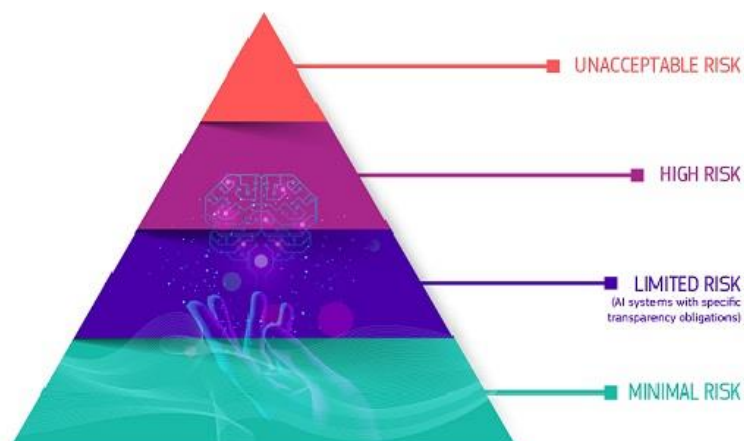
Jelikož jazykové modely jsou všemi a všude dostupné a k jejich přístupu je potřeba pouze zařízení s možností internetového připojení. Značně důležité je zmínit i bezpečnost jejich používání. V dnešní době je potřeba informační bezpečnosti nutná na každém rohu a současně i kyberbezpečnosti. Systém na ochranu svých dat by měl mít vlastní podnik sám a silný tak jak uzná za vhodné. Nicméně při rozvoji jazykových modelů využívající strojové učení a umělou inteligenci přišel **Evropský parlament** s regulačním zákonem pro členské státy s názvem **Artificial intelligence act** (Madiaga, 2023) . Jedná se o **první komplexní zákon** o regulaci technologií využívající umělou inteligenci na světě, který kdy kde někdo schválil. Původní rámec byl vytvořen již 21.4.2021 a má doplňovat digitální strategii EU. Zákon byl přijat během plenárního sezení poslanců 14.6.2023 a nyní se projednávají poslední detaily legislativy s členskými státy. Obecně jde o zákon schvalování technologií využívající A.I. na základě jejich rizika. Různé úrovně rizika budou znamenat větší nebo menší regulaci. Evropský parlament požaduje, aby systémy využívající A.I. byly bezpečné, transparentní, sledovatelné, nediskriminační a

udržitelné. Zároveň je žádoucí, aby na systémy dohlíželi sami lidé a ne automatizace, z důvodů předejít problémům vztahující se k dále zmíněným rizikům...

Madiega (2023) v briefingu uvádějící regulaci AI nástrojů představila **kategorizace rizika**:

1. **Nepřijatelné riziko** – jedná se o systémy, které jsou považovány za absolutní hrozbu pro člověka, jeho manipulaci a narušování soukromí. Výjimku tvoří zpětná biometrická identifikace v trestním stíhání například.
  - a. Kognitivní manipulace s chováním lidí nebo specifických zranitelných skupin (např. hlasem aktivované hračky, které podporují nebezpečné chování dětí)
  - b. Přidělování sociálního kreditu (klasifikace lidí na základě chování, socioekonomického statusu, osobních charakteristik)
  - c. Biometrické identifikační systémy v reálném čase a na dálku (např. rozpoznávání obličeje)
2. **Vysoké riziko** – systémy, které mají negativní dopad na bezpečnost a základní lidská práva. Jsou rozděleny do dvou kategorií
  - a. Systémy, které se používají ve výrobcích se vztahy na právní předpisy EU o bezpečnosti výrobků (hračky, letecký a kosmický průmysl, automobily, zdravotnické prostředky, výtahy)
  - b. Systémy spadající do 8 specifických oblastí registrované v databázi EU:
    - Biometrická identifikace a kategorizace fyzických osob
    - Správa a provoz kritické infrastruktury
    - Vzdělávání a odborná příprava
    - Zaměstnanost, řízení pracovní síly a přístup k samostatné výdělečné činnosti
    - Přístup k základním soukromým a veřejným službám a dávkám a jejich využívání
    - Vymáhání práva
    - Řízení migrace, azylu a ochrany hranic
    - Pomoc s právním výkladem a vymáháním práva
3. **Omezené riziko** – Systémy A.I. s omezeným rizikem by měly splňovat minimální požadavky na transparentnost, aby uživatelé mohli činit informovaná rozhodnutí. Po interakci se může uživatel aplikace sám rozhodnout, zda ji chce nadále využívat, či ne. Musí být však předem upozorněni, že jednájí s A.I.
4. **Minimální riziko** – jedná se o systémy na úrovni spamových filtrů, asistentů při vyhledávání v e-mailech, vyhledávačích, autokorekcích aj.

V ČR na základě tohoto zákona a směrnic EU spravuje bezpečnost využívání systému A.I. právě odbor digitální ekonomiky a chytré specializace Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky,



který spolupracuje i s výzkumnými institucemi a snaží se o prosazování efektivního a správného užívání těchto systémů.

Obr. 1: Kategorizace rizika A.I. systémů (Madiega, 2023)

## 2 Práce s A.I. Chatboty

Práce s jazykovými modely využívající A.I. je zcela novou disciplínou. Je důležité si uvědomit, že jsou to pouze nástroje, a ne zástupci našeho myšlení, kteří budou vytvářet vlastní výstupy pod naším jménem. Z počátku je dobré si uvědomit, že k chatbotům můžeme přistupovat jako k nejrobustnějším uložitím znalostí na internetu, ke kterým má kdokoli přístup. Každý má přístup, ale kvality výstupů je pouze tak dobrá, jako kvality vstupů, vstupních otázek. Je tedy nutnost vědět, jak k uložití přistupovat správně. Zmiňovat strach, že nás tento nástroj nahradí je momentálně zbytečné se zabývat, jelikož každý jedinec má unikátní osobnost, která má vlastní logické uvažování, kreativitu, kritické myšlení, etický úsudek, rozeznávání kontextu, intuici, emoční inteligenci, logiku, či pouze čisté porozumění věci na základě zkušeností. To jazykové modely zatím nahradit neumí. Dokáží nám však všechny tyto



Obr. 2: Základní atributy lidského rozhodování (365datascience.com, 2023)

atributy značně posílit a efektivně využít. Tato technologie tedy nenahrazuje vzdělání ani kvalifikace pracovníků a lidí celkem. Někdo bez jasných zkušeností a základu například v data science nebo software inženýrství se za pomoci Chatbotů nestane profesionálem ve zmíněné oblasti ani expertem k posouzení relevantnosti. Stejně tak jako se neučený muž nestane kovářem jenom protože dostane do ruky kladivo.

Generativní A.I. chatboti jsou však neskutečným pomocníkem pro profesionály v teoretických oborech. Jelikož ti mají právě možnost neomezeného přístupu právě do zmíněného robustního uložiště a výstupy systému jsou nejrelevantnější a nejkvalitnější se zanedbatelnými „halucinacemi A.I.“ uvedených v kapitole [2.2.](#)

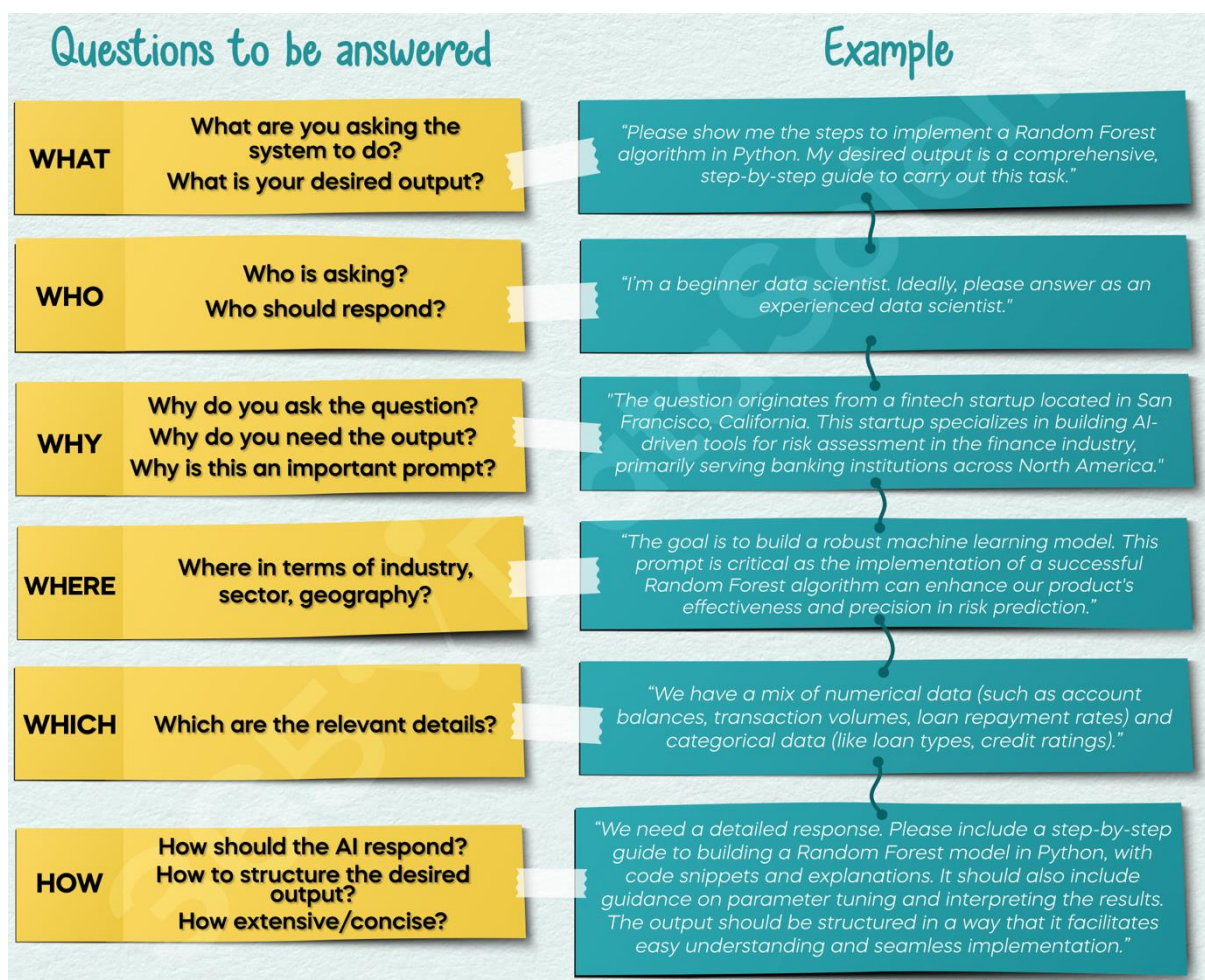
### 2.1 Prompt Engineering

Tak jako pro komunikaci mezi počítači se využívá programování na základě počítačových kódů, tak s modely využívající A.I. musíme využívat obdobných systémů. Není však nutné znát podrobně programovací jazyky. Avšak je nutné s chatbotem správně komunikovat a nevyužívat ho jako křišťálovou kouli s očekáváním odpovědi přesné budoucnosti. V této skutečnosti vznikl nový obor **Prompt Engineering**. Prompt (angl. „výzva“) je taktickým nástrojem umělé inteligence pro zpřesňování **velkých jazykových modelů** (LLM, ang. Large Language Models) se specifickými výzvami a doporučenými výstupy. Proto Prompt Engineering definuje proces zpřesňování vstupu do produktů generativní A.I. nejčastěji za generováním textu, kódů, či vizualizací. Obecně vzato je to vlastně



disciplína, která popisuje, zkoumá a zdokonaluje naši komunikaci právě s chatboty a která hodnotí naše „výzvy“ a podle nich kvalitu výstupů (Lawton, 2023).

Prompt Engineering je důležitý a klíčový prvek k vytváření nových a aktualizaci stávajících produktů generativní A.I. Mluví-li se o vytváření lepší umělé inteligence, Prompt Engineering může pomoci vyladit velké jazykové modely a řešit potíže s pracovními postupy a procesy pro konkrétní výsledky v podnicích. Například vývojáři OpenAI a spolupracujících společností mohou experimentovat s částí dotazů – vstupů při ladění jazykového modelu vytvořit firemní aplikace jako GPT-3.5/4 model určený pro klienty a zákazníky, nebo přímo pro zpracování firemních úkolů správy projektů, vytvořit projektové plány, harmonogramy, rozpočty na základě vstupů a ušetřit hodiny a dny přípravou. Model by mohl být i schopný vytvářet přímo smlouvy na základě legislativy v dané zemi a upravit je specificky přímo pro daný průmysl, pro daný projekt, pro danou zakázku. Když se ovšem podíváme na chatbota vycvičeného například pro zákaznický servis, mohl by zde být vytrénován, aby pomohl zákazníkům efektivně a rychle najít řešení vlastního problému. Když k zákazníkovi pošleme zkušeného a kvalifikovaného pracovníka, stačí mu říct základních pár skutečností a technik bude s největší pravděpodobností vědět, jak problém vyřešit. Avšak obdrží-li zákazník technika nováčka, může se dobrání problému protáhnout o podstatně delší dobu a samotná náprava se může také prodloužit. Na stejném principu slouží i prompt engineering.



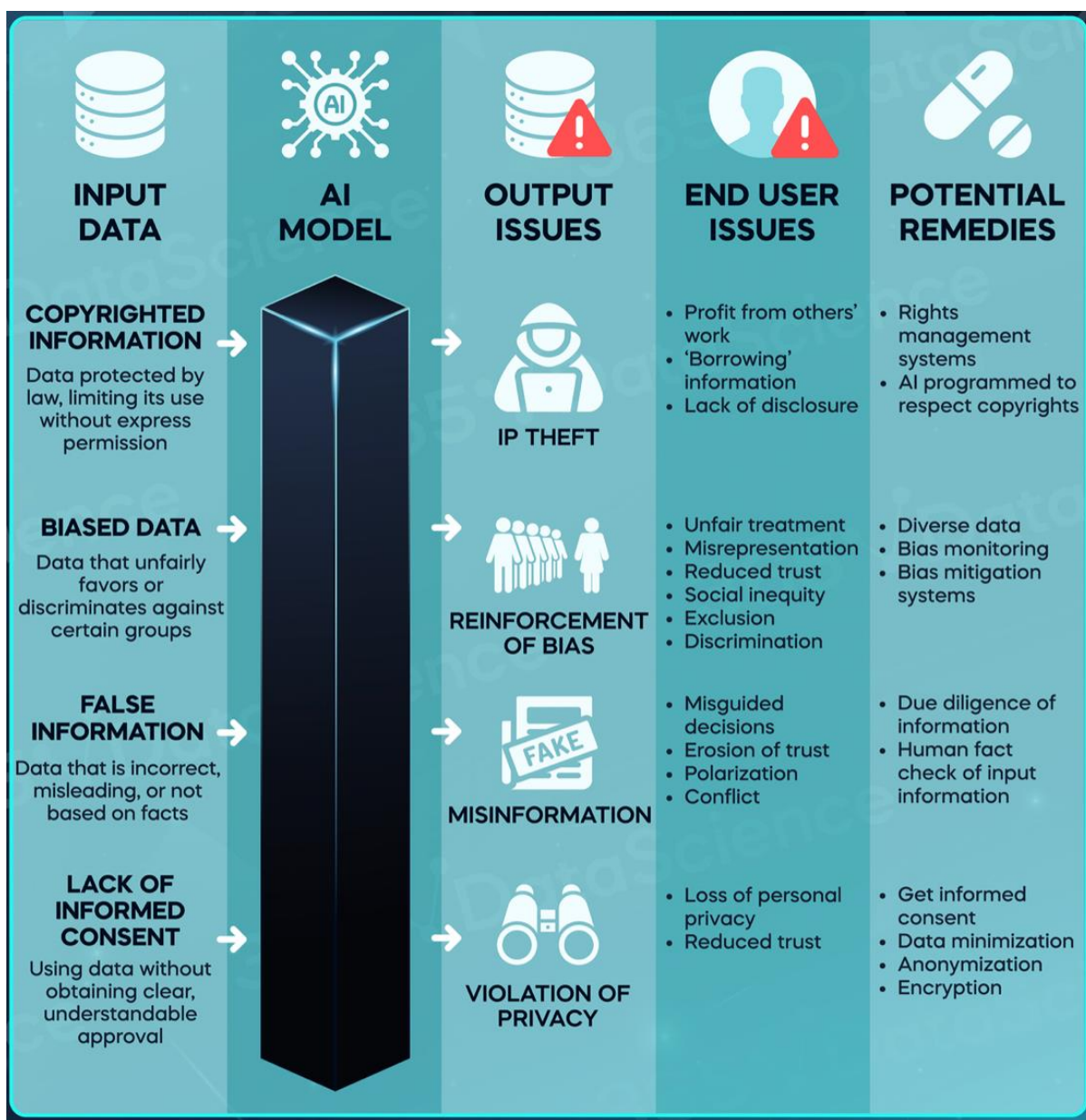
Obr. 3: Framework prompt engineeringu s LLM (365datascience.com, 2023)

Doporučeným rámcem, jak přistupovat k prvotním výzvám v začátku konverzace s jazykovým modelem je taktika **5W/1H**. Ve zkratce se jedná o využití 5 základních anglických tázacích otázek a jedné způsobové otázky. 5W stojí pro: What? Who? Why? Where? Which? a 1H stojí pro How? Jedná se o univerzální přístup ke konverzaci s chatbotem tak, aby vznikly co nejpřesnější výstupy, a přeci není

potřeba využít všechny povinně v každém případě. Někdy má některá otázka větší důraz a některá menší. Nikdy bychom však neměli opomíjet „how?“.

## 2.2 Špatné prompty, data, informace a halucinace A.I.

Práce s chatboty zasahuje do pracovního prostředí i spolupráce mezi pracovníky, kolegy, ale i konkurenty. Jazykový model, který je veřejně dostupný veřejnosti, je neustále trénován vkládanými prompty od různých uživatelů. Zjistilo se, že čím víc uživatelů „trénuje“ chatbota špatně, tím víc nerelevantních výstupů může nabízet ostatním uživatelům. Zároveň tyto jazykové modely čerpají informace, které jsou běžně dostupné z širokého internetu. Výstupy tak nejsou ověřenými informacemi nebo daty se 100% přesností a pravdivostí. Na základě výzvy chatbota je model schopný si informace přiupravit tak aby seděl podle něho co nejrelevantněji uživateli. Na těchto výstupech nelze věrohodně postavit rozhodovací proces a dají se ztěžji použít jako podklad pro inspiraci.



Obr. 4: Zřetel na A.I. etniku (365datascience.com, 2023)

Aktuálně převaha aplikací generativní A.I. nás může nutit si myslet, že je člověk na její pravidelné denní užívání připravený. Tyto systémy mají již výše zmíněny určité problémy s kooperací informací, ale jeden z těch výrazných, který nelze ignorovat jsou halucinace A.I. – umělé halucinace.

Halucinace umělé inteligence obecně odkazuje na skutečnost, kterou umělá inteligence sebevědomě prezentovala, i když není opodstatněná ve svých tréninkových datech. Obvykle jsou výsledkem anomálií v modelu AI. Přirovnání je převzato z halucinací prožívaných lidmi, ve kterých lidé vnímají něco, co není přítomno ve vnějším prostředí. I když tento termín nemusí být zcela vhodný, často se používá jako metafora k popisu neočekávané povahy těchto výstupů (MekanoTech, 2023). Halucinace umělé inteligence je možné tedy přesněji popsat jako chyby či nepřesnosti ve výstupech, což činí odpověď zavádějící nebo i nesprávnou. Lidově se v takových případech říká, že si umělá inteligence vymyslí a že nesmysly prezentuje s absolutní jistotou jako správné. Proč se tomu ale tak děje? Velké jazykové modely generativní A.I. jsou halucinující kvůli nedostatkům algoritmů, základních dílčích modelů nebo omezenou kapacitou trénovacích dat. Může se tak stát ale na základě trénovacího souboru, který nemusí být dostatečně náročný a model poté nerozezná odchylku promptu od trénovaného souboru a kvůli nutnosti odpovědi si vymyslí cestu k odpovědi. Na druhou stranu trénovací soubor může být až příliš komplexní, ten poté může do odpovědi vnášet různé chyby či šumy. Halucinace A.I. je širokým pojmem nejenom pro generativní A.I. modely, ale také pro autonomní zařízení a další systémy využívající AI. Vzniká tu i problematika nabízení podnětů pro kyberútoky na A.I. a při užívání jakýchkoli systémů asistovaných umělou inteligencí je nutné naučit se předcházet podobným podnětům zneužití a sabotáži A.I.

## Závěr

Závěrem tohoto výzkumného článku zdůrazňuji narůstající rizika, která jsou spojena s rozsáhlým využíváním velkých jazykových modelů a nové metody, jako je prompt engineering. Tato práce umožnila identifikovat skutečnost, že chatboty a generativní umělá inteligence prochází dynamickým rozvojem a stávají se součástí každodenního života a práce různých profesí. Toto zdánlivé ulehčení může přinášet i potenciální rizika a nežádoucí důsledky.

V článku byla představena diskuze o možnostech využití těchto technologií, ale také je zdůrazněna nezbytnost bezpečnostních opatření a dodržování právních nařízení, jako je evropský zákon o ochraně osobních údajů, který by měl být respektován. Dále je představen koncept prompt engineeringu jako nové disciplíny, která má potenciál transformovat způsob, jakým lidé komunikují s umělou inteligencí.

Prompt engineering tak představuje základní rámec pro komunikaci, který by měl být univerzální pro komunikaci s různými jazykovými modely využívajícími umělou inteligenci. Konečně bylo zmíněno i upozornění na negativní dopady, které mohou vzniknout při nedostatečném "tréninku" modelů a na problémy, které by mohly ovlivnit rozhodování, plánování a další funkce. Tato studie naznačuje, že důkladná pozornost a regulace jsou nezbytné, aby bylo zajištěno bezpečné a efektivní využívání těchto inovativních technologií v budoucnosti.

## Prameny

1. ABIDI, Yadullah. *Google PaLM 2 vs. OpenAI GPT-4: What's the Difference?* makeuseof.com. [Online] 15. Květen 2023. [Citace: 2. Zář 2023.] <https://www.makeuseof.com/google-palm-2-vs-openai-gpt-4/>.
2. ALTMAN, Sam. *As our systems get closer to AGI, we are becoming increasingly cautious with the creation and deployment of our models.* [Online] 24. Únor 2023. [Citace: 9. Ř 2023.] <https://openai.com/blog/planning-for-agi-and-beyond#SamAltman>
3. EVROPSKÁ KOMISE. *Digital Europe Work Programme 2021-2022.* Commission Implementing Decision on the financing of the Digital Europe Programme and the adoption of the multiannual work programme for 2021–2022. Brussels. 10. listopadu 2021. [Citace: 9. Ř 2023.] C(2021) 7914 final. Dostupné i z: [https://ec.europa.eu/newsroom/repository/document/2021-46/C\\_2021\\_7914\\_1\\_EN\\_annexe\\_acte\\_autonome\\_cp\\_part1\\_v3\\_x3qnsqH6g4B4JabSGBY9UatCRc8\\_81099.pdf](https://ec.europa.eu/newsroom/repository/document/2021-46/C_2021_7914_1_EN_annexe_acte_autonome_cp_part1_v3_x3qnsqH6g4B4JabSGBY9UatCRc8_81099.pdf)
4. KRASSTEV, Ned. *Intro to ChatGPT and Generativ AI.* 365datascience.com. [Online] 2023. [Citace: 21. Červenec 2023.] <https://learn.365datascience.com/courses/preview/intro-to-chatgpt-and-generative-ai/>.
5. LAWTON, George. *Prompt Engineering.* techtarget.com. [Online]. Květen 2023. [Citace: 3. Zář 2023.] <https://www.techtartget.com/searchenterpriseai/definition/prompt-engineering>.
6. MADIEGA TAMBIAAMA ANDRÉ. *Artificial intelligence act.* PE 698.792, 2023. Evropský parlament.
7. MEKANO TECH. *Co je to halucinace AI? Mekan0 Tech.* [Online] 2023. [Citace: 3. Zář 2023.] <https://www.mekan0.com/cs/what-is-an-artificial-intelligence-hallucination/>.
8. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU ČESKÉ REPUBLIKY. *Digitální ekonomika. Umělá inteligence.* mpo.cz. [Online] 15. Srpen 2023. [Citace: 28. Srpen 2023.] <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/digitalni-ekonomika/umela-inteligence/>.
9. NAŘÍZENÍ O GDPR. *Nařízení (EU) 2016/79 Evropského parlamentu a Rady ze dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů a o zrušení směrnice 95/46/ES (obecné nařízení o ochraně údajů).*
10. PICHAI, Sundar. *An important next step on our AI journey.* blog.google.com. [Online] 6. Únor 2023. [Citace: 3. Ř 2023.] <https://blog.google/technology/ai/bard-google-ai-search-updates/>
11. POHŮDKA, Petr. *Chatbot ChatGPT umí i česky: Jak funguje, kde ho vyzkoušet a k čemu se dá použít.* E15.cz. [Online] 31.. Březen 2023. [Citace: 2.. Zář 2023.] [https://www.e15.cz/chatgpt-cz-co-to-je-chatbot-jak-funguje-cesky#aplikace\\_chatgpt](https://www.e15.cz/chatgpt-cz-co-to-je-chatbot-jak-funguje-cesky#aplikace_chatgpt).
12. PORTAKAL, Ertugrul. *OpenAI's GPT-4 Vs. Google's PaLM 2.* textcortex.com. [Online] 23. Květen 2023. [Citace: 2. Zář 2023.] <https://textcortex.com/post/gpt-4-vs-palm-2>.
13. SVOBODA, Jiří. *Google Bard už umí česky. Konkurence pro ChatGPT je konečně dostupná i v Evropské unii.* CZECHCRUNCH. [Online] 13. Červenec 2023. [Citace: 2. Zář 2023.] <https://cc.cz/google-bard-uz-umi-cesky-konkurence-pro-chatgpt-je-konecne-dostupna-i-v-evropske-unii/>.

## Kontaktní údaje o autorovi

Ing. Michal Matějka,

ČVUT v Praze, fakulta strojní, ústav řízení a ekonomiky podniku,

Karlovo náměstí 13, Praha 2 – 120 00,

732 741 816

[matejka.michal99@gmail.com](mailto:matejka.michal99@gmail.com)

# VYUŽITÍ SIMULACE PRO ANALÝZU A NÁVRH OPTIMALIZACE VÝROBNÍCH PROCESŮ

## LEVERAGING SIMULATION FOR ANALYSIS AND DESIGN OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES

*Václav Michalec, František Truhlář*

### Abstrakt

*Tento článek se zaměřuje na základy metodologie štíhlé výroby a poté skrze praktickou ukázkou zkoumá, jak využití simulací může rozšířit nástroje štíhlé výroby tím, že umožňuje informované rozhodování, efektivní alokaci zdrojů, snadný a nenáročný popis současného výrobního procesu a následné různé testování možností zlepšení bez nutnosti reálné implementace. Prostřednictvím případové studie článek názorně ukazuje úspěšný příklad simulace v rámci výrobní linky v konkrétní společnosti. Závěr článku diskutuje a shrnuje výhody a omezení simulace jako nástroj štíhlé výroby, přičemž je zdůrazněn její potenciál způsobit revoluci v rozhodování a zvýšit tak provozní dokonalost.*

**Klíčová slova:** simulace, štíhlá výroby, lean

### Abstract

*This article focuses on the basics of lean manufacturing methodology and then, through a practical example, explores how using simulation can extend the tools of lean manufacturing by enabling informed decision-making, efficient resource allocation, easy and straightforward description of the current various manufacturing process, and subsequent testing of options without the aid of real-world implementation. Thanks to the case study, the article clearly shows a successful example within a production line in a specific company. The article concludes and summarizes the benefits and limitations of simulation as a lean manufacturing tool, highlighting its potential to revolutionize decision-making and enhance operational excellence.*

**Key words:** simulation, lean, lean manufacturing

### Úvod

V dnešním rychle se vyvíjejícím průmyslovém prostředí vedla snaha o efektivitu, snižování plýtvání a neustálé zlepšování se snahou o efektivitu výrobce k přijetí inovativních metodologií, které optimalizují jejich výrobní procesy. Mezi těmito metodikami vyniká Lean Manufacturing, Six Sigma nebo v kombinaci jako Lean Six Sigma jako základní kámen filozofie, která se snaží eliminovat činnosti bez přidané hodnoty a zároveň maximalizovat tvorbu hodnoty. V srdci štíhlé výroby leží závazek dodávat špičkové produkty s minimálním odpadem, zkrácenými dodacími lhůtami a zvýšenou spokojeností zákazníků prostřednictvím maximalizace tvorby hodnoty. K dosažení těchto cílů se podniky stále více obracejí k simulačním technikám jako k mocnému nástroji v rámci štíhlé výroby. Tento článek zkoumá spojení mezi nástroji štíhlé výroby a simulačními technikami a zdůrazňuje integraci dynamického modelování jako mocného nástroje pro vizualizaci, analýzu a navrhování optimalizace výrobních procesů. Díky simulaci reálných scénářů ve virtuálním prostředí mohou výrobci experimentovat s úpravami procesů, analyzovat výsledky a ověřovat vylepšení ještě před samotnou reálnou implementací.

Článek je uspořádán dvou hlavních částí, kdy první je zaměřena na základní koncepty štíhlé výroby a popisuje její výhody a výzvy společně s technologiemi simulací a možnou aplikací na modelování výrobních procesů a předpovídání jejich výkonnosti. Druhá část popisuje případovou studii v reálné výrobní společnosti s ukázkou úspěšné integrace a využití. Článek v závěru shrnuje klíčové poznatky a zdůrazňuje budoucí vyhlídky této dynamické spolupráce mezi štíhlou výrobou a simulací.

## 1 Metodologie

Štíhlá výroba, často označovaná jako Lean Manufacturing, je systematický přístup k výrobě, který pochází z japonského výrobního systému Toyota (TPS). Ve svém jádru se Lean soustředí na eliminaci plýtvání ve všech formách během výrobního procesu. Plýtvání zahrnuje činnosti, které nepřidávají hodnotu konečnému produktu, jako je nadprodukce, čekání, zbytečná přeprava, nadměrné zásoby a vady. (Womack, 1996) Lean se zaměřuje na zefektivnění procesů, maximalizaci činností s přidanou hodnotou a optimalizaci využití zdrojů. Metodika klade důraz na neustálé zlepšování, zapojení zaměstnanců a zákaznický orientovaný přístup k výrobě. (Liker, 2004a) Implementace principů Lean Manufacturing nabízí organizacím řadu výhod. Jednou z klíčových výhod je zlepšená provozní efektivita dosažená právě skrze odstranění činností, které nevytváří hodnotu. Toto vede ke zkrácení dodacích lhůt, snížení výrobních nákladů a zvýšení kvality produktů. Lean praktiky také přispívají ke zvýšené flexibilitě a schopnosti reagovat, což společně umožňuje rychle se přizpůsobit měnícím se požadavkům trhu. (Shah, 2003) Jedním z hlavních přínosů je zapojení zaměstnanců, které je dalším kritickým aspektem, protože Lean podporuje kulturu neustálého zlepšování a umožňuje pracovníkům v první linii identifikovat a řešit problémy. Lean navíc podporuje lepší využití zdrojů, čímž snižuje nadměrné zásoby a uvolňuje kapitál pro investice do inovací a růstu. (Jasti, 2014)

I když štíhlá výroba nabízí řadu výhod, její úspěšná implementace není bez problémů. Jednou z významných překážek je kulturní změna, která je v organizacích nutná k tomu, aby jak vedení společnosti, tak všichni ostatní zaměstnanci přijali principy a postupy štíhlé výroby. Změna zavedených pracovních postupů a myšlení může narazit na odpor zaměstnanců i vedení. (Ferdows, 1997) Přesná identifikace a eliminace plýtvání navíc vyžaduje komplexní pochopení procesů, které mohou být časově náročné a složité. Navíc nalezení správné rovnováhy například mezi snižováním úrovně zásob a uspokojením poptávky zákazníků může být složité a spoléhání společnosti na standardizované procesy se ne vždy musí hladce shodovat s měnícími se požadavky na produkty a potřebami zákazníků. (Liker, 2004b)

Ohledem simulací je jedná o výkonnou techniku používanou v různých průmyslových odvětvích, včetně výroby, zejména k modelování a analýze reálných systémů ve virtuálním prostředí. Zahrnuje vytvoření počítačové reprezentace systému, která napodobuje jeho chování v průběhu času. To umožňuje výrobcům experimentovat s různými scénáři a proměnnými, aniž by to ovlivnilo skutečné operace. (Nelson, 2000) K simulaci výrobních procesů se běžně používají techniky, jako je simulace diskretních událostí, systémová dynamika a modelování založené na agentech. Simulace diskretních událostí se například zaměřuje na modelování událostí, které se vyskytují v různých časových bodech, jako jsou poruchy stroje nebo příchod materiálu. Systémová dynamika na druhé straně zachycuje vztahy mezi různými součástmi systému, aby bylo možné pochopit, jak změny ovlivňují chování celého systému. (Serman, 2000) Modelování založené na agentech zahrnuje reprezentaci jednotlivých entit v systému jako autonomních agentů, kteří se vzájemně ovlivňují. Z hlediska možné aplikace simulačních technik ve výrobních procesech se nabízí několik výhod. Jednou z klíčových výhod je schopnost vizualizace složitých systémů a procesů, která výrobcům umožňuje získat přehled o tom, jak různé komponenty interagují a ovlivňují celkový výkon. (Pidd, 2004) Simulace také usnadňuje testování různých scénářů „co kdyby“ a pomáhá identifikovat potenciální úzká místa, omezení zdrojů a oblasti ke zlepšení před implementací změn v reálném světě. Simulace navíc pomáhá optimalizovat výrobní plány, minimalizovat doby cyklů a zlepšit alokaci zdrojů. Podporuje rozhodování založené na datech

tím, že poskytuje kvantifikovatelné výsledky a umožňuje posouzení dlouhodobých dopadů. (Robinson, 2012)

Navzdory svým výhodám není simulace prostá výzev při aplikaci ve výrobních kontextech. Sestavení přesného simulačního modelu vyžaduje hluboké porozumění procesům, systémům a proměnným, které se účastní, což může být časově náročné na zdroje. (Banks, 1998) Zajištění toho, aby simulační model odpovídal pozorování v reálném světě, vyžaduje přísnou validaci a kalibraci. Kromě toho je kritická dostupnost a kvalita dat, jelikož nepřesné nebo neúplné údaje mohou vést k nespolehlivému výsledku simulace. Interpretace výsledků simulace také vyžaduje odborné znalosti, protože složité modely mohou přinést složité poznatky, které vyžadují pečlivou analýzu. A konečně, výběr vhodné simulační techniky a softwaru může být náročný kvůli rozmanitosti dostupných možností a jejich různým možnostem. (Elsayed, 2008)

Z hlediska integrace simulace do výrobních procesů má modelování potenciál k revoluci ve způsobu řízení operací. Simulací procesů ve virtuálním prostředí mohou výrobci experimentovat s novými uspořádáními, technologiemi a pracovními postupy, aniž by narušili probíhající výrobu. To pomáhá při optimalizaci využití zdrojů, minimalizaci prostojů a předpovídání dopadu změn na celkový výkon. (ElMaraghy, 2005) Simulace také usnadňuje identifikaci produkčních úzkých míst a umožňuje proaktivní strategie k jejich řešení. Simulace navíc slouží, jako platforma pro školení pracovníků a hodnocení dopadů změn na pracovní postupy zaměstnanců. Integrace simulace je v souladu s důrazem Lean Manufacturing na neustálé zlepšování a umožňuje výrobcům činit informovaná rozhodnutí, která zvyšují provozní efektivitu a konkurenceschopnost. (Gunasekaran, 2016)

## 2 Případová studie

Studie popisuje projekt zaměřující se na měření, analýzu a návrh optimalizace výrobního procesu s využitím nástrojů štíhlé výroby a modelování. Projekt se uskutečnil na přelomu let 2022 a 2023 ve středně velkém strojírenském podniku, zabývajícím se vývojem, výrobou a montáží kontejnerů s různým objemem a konstrukcí. Společnost zaměstnává přibližně 350 zaměstnanců.

### 2.1 Představení společnosti

Během své historie firma nabízela širokou škálu výrobků, v současnosti se zaměřuje na výrobu kontejnerů na odpad a sudů. Firma se snaží plně vyhovět požadavkům zákazníků, a proto je její produktové portfolio velmi rozmanité. Pro využití volné kapacity strojů společnost poskytuje také služby lisování, obrábění, kovotlačení, lakování a dělení materiálů.

V současné době má společnost čtyři divize, z nichž dvě jsou výrobní. Tyto divize vyrábějí odlišné produkty, mají své vlastní zákazníky, dodavatele, umístění a každá divize je řízena vlastním ředitelem. Obě výrobní divize jsou odpovědné za svou vlastní činnost v oblasti zásobování, výroby, obchodu a spolupráce s ostatními divizemi. Další dvě divize jsou nevýrobní. Jednou z nich je divize vedení společnosti, která je vedená generálním ředitelem a zajišťuje účetnictví, finanční řízení, plánování, údržbu informačního systému, personalistiku a další aspekty jako ekologie.

Společnost se zaměřuje jak na trhy B2B, tak i na B2C. Produkty se distribuují po celé Evropě a Asii. Firma prodává své výrobky prostřednictvím dceřiných společností a zástupců ve více než 25 zemích. V České republice společnost patří mezi hlavní zákazníky města a obce.

Technologický proces probíhá následovně: Z nakoupeného materiálu se nejprve vytvářejí díly jako například pláště, trubky, dna kontejnerů nebo kapsy. Tyto díly jsou následně skládány do podsestav (např. tělo kontejneru, víko apod.), které procházejí povrchovou úpravou zinkováním. Tento proces je prováděn u externího dodavatele, který se nachází v jižní části objektu. V případě potřeby lakování jsou produkty přesunuty na lakovací linku v jižní části firemního objektu. Po dokončení povrchových úprav

projdou kontejnery procesem čištění a kontroly a jsou následně montovány v jedné z montážních hal. Po montáži jsou kontejnery skladovány a následně expedovány.

### 3 Krok 1: Definování

Při setkání s vedením společnosti a vedoucím technické přípravy výroby proběhlo seznámení s celým areálem divize a následně byl stanoven očekávaný výstup práce. Obecným cílem společnosti byl provést studii konkrétního střediska, které se specializuje primárně na velkoobjemové kontejnery, a navrhnout možnou automatizaci laseru, vysekávacího a ohraňovacího lisu. Společnost zmínila, že je ochotná investovat do nového ohraňovacího stroje, a podle potřeby by zde bylo možné upravit i samotné rozvržení jednotlivých pracovišť.

Při tvorbě studie a návrhu se vycházelo z aktuálních dat společnosti a při vytváření studie bylo využito přístupu DMAIC, kde jako vstupy posloužili informace poskytnuté společností. Zejména se jednalo o strukturované kusovníky obsahující výrobní postupy, ale také samotné pozorování ve výrobě a další informace poskytnuté z rozhovorů se zaměstnanci daných pracovišť, tak i s vedením společnosti.

Již při definování bylo zjištěno, že jednou z komplikací bude velký počet pracovišť, z nichž každé bylo označeno vlastním číslem a zároveň jednoduše popisy operací prováděných na těchto pracovištích nebyly přesně definovány a lišili se v závislosti na druhu výrobku. Z tohoto důvodu bylo nezbytné provést transformaci dat, aby bylo možné získat požadované výsledky. Pro tento účel byl použit program MS Excel, který umožnil filtrovat potřebné informace pomocí kontingenčních tabulek.

Při volbě vhodného přístupu ke studii přišli v úvahu tři přístupy, které umožnili komplexně porozumět organizační struktuře výroby.

První přístup se zaměřil na vybraný výrobek nebo skupinu výrobků. Provedení tohoto přístupu zahrnovalo identifikaci nejčastěji vyráběného výrobku a optimalizaci toku výrobku. Druhý přístup se zaměřil na výrobní pracoviště, kterým prochází vybrané výrobky. Pracoviště jsou rozdělena do skupin na základě toho, jaké typy operací se na nich provádí. Poté se zaměřuje na identifikaci nejvíce vytíženého pracoviště a odhalení jeho problematických míst s cílem optimalizovat tok materiálu a pohyb uvnitř střediska, s plánovaným přispěním ke snížení časové náročnosti výrobního procesu. Třetím přístupem byla kombinace dvou předešlých principů, a právě tento přístup umožnil komplexní pohled na výrobní systém.

### 4 Krok 2: Měření

Dalším krokem bylo porozumění daného provozu s primárním zaměřením se na pracoviště určené společností (2840), tedy na pracoviště laseru, vysekávacího a ohraňovacího lisu za pomoci stanovených kroků z předchozí kapitoly.

Společností dodaná data obsahovala celé produktové portfolio podniku s výrobními skupinami, které podnik vyrábí nejčastěji. Z výrobních postupů bylo komplikované přesně určit, do které rodiny výrobků spadá konkrétní výrobek, a proto pro další postup bylo nezbytné seskupit výrobky na základě jejich podobnosti sledu výrobních činností a mezinárodních standardů EN 840 – 2, EN 840 – 3 a EN 12574, EN 12574 – 1, viz tabulka níže.

#### 4.1 Určení skupin výrobků

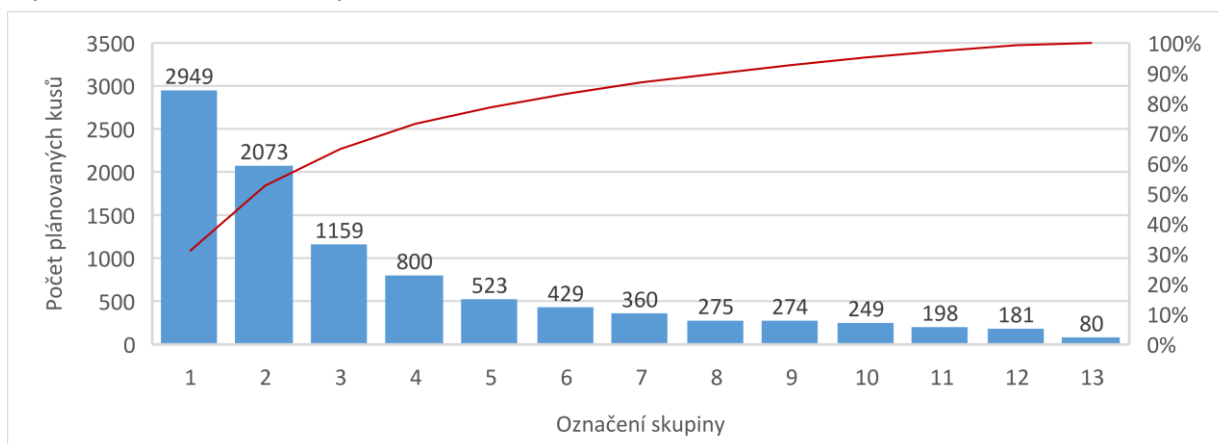
Dále byly určeny zájmové skupiny výrobků podle stanoveného kritéria, které bylo v tomto případě množství kusů v plánu výroby. K tomu byl využit Paretův diagram s příslušnou Lorenzovou křivkou, kde jednotlivé sloupce na tomto diagramu zobrazují množství výrobků a kumulativní četnosti těchto množství slouží jako základ pro vytvoření Lorenzovy křivky.



Tab. 1: Rozdělení výrobků do skupin (vlastní).

Označení skupin	Hlavní výrobní středisko	Výrobky ve skupině	Označení skupiny
1	2820	1132E01R1-1; 1136E	EN 840-3
2	2820	1282	1282
3	2840	1332	1332
4	2840	1152	1152
5	2840	1232X	1232X
6	2840	1173KXZ5; 127302	EN 12574-1
7	2840	110132	110132
8	2840	1100 O; 1107H2AVPJ	EN 840-2
9	2820	5200	5200
10	2820	15209	15209
11	2820	1190SAE - 1; 1190	EN 12574-2
12	2840	1380/I	EN 12574-1 - FUB
13	2820	16271 - 1,0	16271-1,0

Z Parettova diagramu je zřejmé, že 80 % všech zkoumaných skupin tvoří skupiny 1, 2, 3, 4, 5, 6. Tyto skupiny jsou nejpočetnější a zaměřením na zlepšení výroby v těchto skupinách lze dosáhnout významného celkového zlepšení.



Obr. 1: Paretův diagram skupin výrobků (vlastní).

Po stanovení si skupin produktů na základě podobnosti sledu výrobních činností, bylo zjištěno, že 80 % všech zkoumaných skupin tvoří skupiny 1, 2, 3, 4, 5 a 6. Výrobní proces skupin 1 a 2 nicméně probíhá primárně ve středisku 2820, ale zájem společnosti směřuje na středisko 2840. Z tohoto důvodu tyto dvě nejpočetnější skupiny nebyly brány v úvahu a pro další kroky bude pozornost zaměřena na skupinu 3, ve které se nachází produkt s označením 1332.

## 4.2 Výrobní pracoviště

Z předešlé kapitoly, bylo druhým krokem zaměřením se na pracoviště podniku, kterými procházejí skupiny výrobků z předchozí analýzy společně se zaměřením se na kritérium vytížení podle časové náročnosti.

Tab. 2: Vytížení pracovišť střediska 2840 (vlastní).

Číslo Pracoviště	Název Pracoviště	Časové vytížení strojů [min]	Procenta
12752	Svařování 2	1277,34	58 %
9539	Montáž	426,47	19 %
9993	Čištění	116,63	5 %
33823	Haco – lis	116,04	5 %
8441	Vrtání, broušení, začištění	64,52	3 %
82191	Laser	56,12	3 %
12799	Svařování 1	40,00	2 %
5967	Řezání	30,00	1 %
53191	Vysekávací lis	22,88	1 %
3870	Ohýbání 2	22,00	1 %
4612	Odjehlení a vrtání	12,51	1 %
9990	Expedice	10,28	0 %
3880	Ohýbání	10,00	0 %
23922	Stříhání 3	6,27	0 %
5968	Řezání 3	1,71	0 %
9835	Řezání 2	0,99	0 %
3990	Vrtání	0,80	0 %
23963	Stříhání 2	0,30	0 %

Výsledkem této analýzy s pomocí se strukturovaných kusovníků pak bylo možné stanovit časové vytížení jednotlivých pracovišť, tedy pracovišť laseru, vysekávacího a ohraňovacích lisů. Pomocí stanovení vytíženosti pracovišť jsme zjistili, že v tomto úseku výroby tráví produkty zhruba 9 % celkového času výroby.

Tab. 3: Vytížení pracovišť (vlastní).

Číslo Pracoviště	Název Pracoviště	Časové vytížení strojů [min]	Procenta
33823	Haco – lis	116,04	5 %
82191	Laser	56,12	3 %
53191	Vysekávačka	22,88	1 %

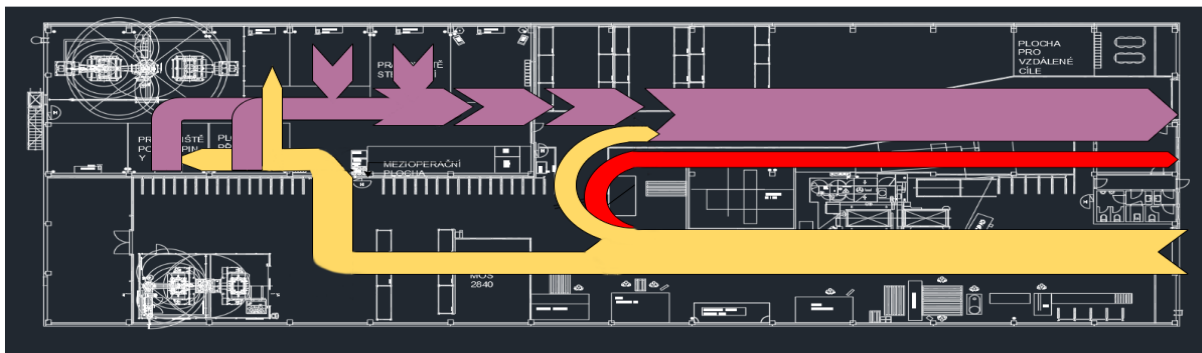
Již z těchto výsledků je patrné, že ohýbání plechů, které probíhá na ohraňovacím lisu Haco, je značně časově náročnější ve srovnání s pracovišti laseru a vysekávacího lisu. Detailnějším popisu těchto pracovišť se budeme věnovat v následující části práce. Tento celkový výsledek následně posloužil v následujících krocích pro vytvoření a ověření správného fungování simulačního modelu výrobního procesu.

### 4.3 Mapování toku materiálu

Kromě analyzování samotných výrobků, plánované výroby a kusovníků byla nedílnou součástí i reálná návštěva pro porozumění a pochopení jednotlivých činností, tak i toku materiálu a polotovarů. Pro tuto část byly využity nástroje štíhlé výroby jako Sankeyův diagram a Spaghetti diagram.

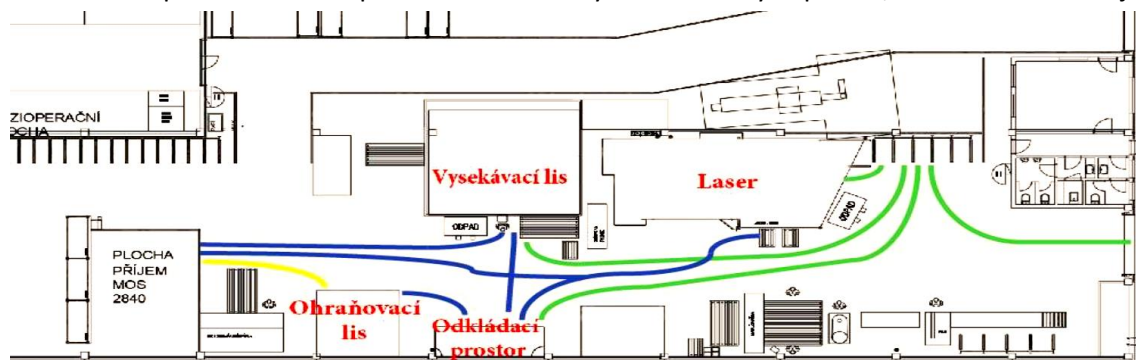
Z hlediska toku materiálu vybraným pracovištěm prochází většina nejpočetnějších skupin definovaných v předchozí části, a to především skupiny 3, 4, 5 a 6. Zařízení v hale jsou umístěna v souladu s pořadím výrobních operací produktů, které touto halou procházejí.

Hmotný tok je v hale uspořádán do tvaru písmene U, viz Sankeyův diagram, který byl použit pro grafické znázornění tohoto toku. Šířka pruhu na diagramu představuje množství materiálu, který prochází halou. Na diagramu jsou části vstupující do svařování znázorněny žlutou barvou, svařené díly jsou fialové a odpad vzniklý během zpracování je znázorněn červeně.



Obr. 2: Sankeyův diagram toku materiálu (vlastní).

Pohyb uvnitř haly je znázorněn na Spaghetti diagramu, kde je zobrazena pouze zájmová část, tedy od meziskladu před laserem až po mezisklad ohnutých a nařezaných plechů, které se dále svářejí.



Obr. 3: Spaghettiho diagram pohybu materiálu (vlastní).

Materiál je do haly dopraven na paletách pomocí manipulační techniky a je umístěn do meziskladu. Odtud je materiál odebírán na pracoviště laseru a vysekávacího lisu. Některé palety s materiálem, které nevyžadují operace vysekávání a dělení putují hned do odkládacího prostoru na ohýbání (tyto pohyby materiálu jsou značeny zelenou křivkou). Jakmile je operace na laseru a vysekávacím lisu dokončena, rozpracované díly, které nevyžadují ohýbání jsou přesunuty do mezioperačního prostoru. Pokud je potřeba díly ohýbat, přesunou se do odkládacího prostoru na ohýbání, odkud se díly přesouvají k pracovišti ohraňovacího lisu (značeno modrou křivkou). Po dokončení ohýbání se díly přesunou na mezisklad, kde se následně na dalším pracovišti díly svářejí (značeno žlutou křivkou).

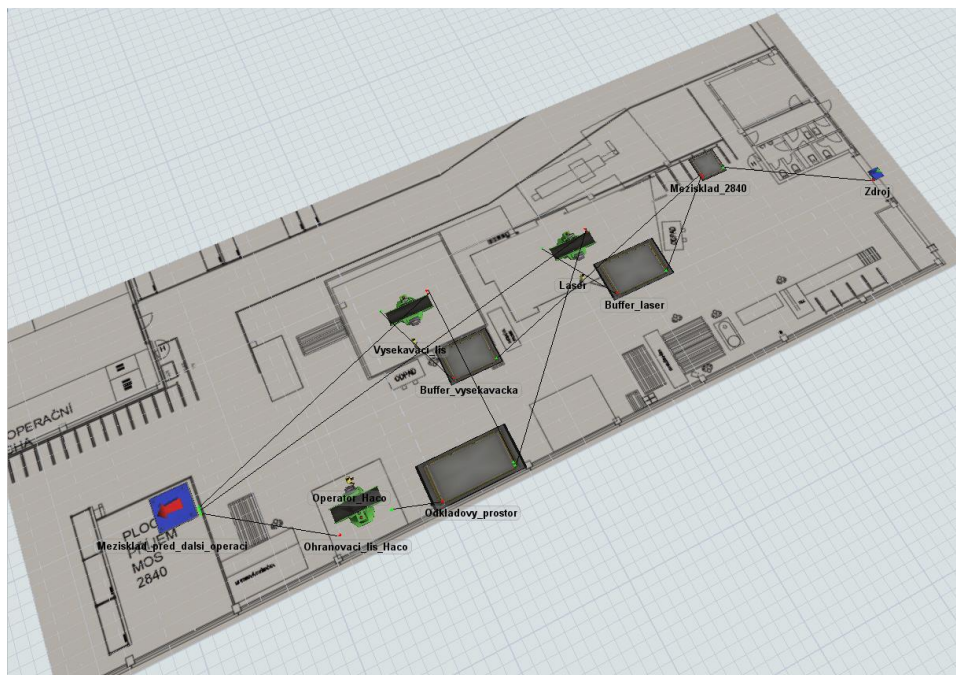
Jednou z dalších výhod návštěvy a zpracování Sankeyova a Spaghetti diagramu bylo možnost reálného provozu, a tak i případných nedostatků vyskytující se na daném pracovišti. Jednalo se zejména o palety s rozpracovanou výrobou bez jakýchkoliv rozřazení či třízení a několik nevyužívaných strojů.



Obr. 4: Nevyužité stroje a nezorganizovaný materiál (vlastní).

## 5 Modelování

Stěžejní částí tohoto kroku bylo vytvoření simulačního modelu výrobního procesu, který měl za cíl poskytnout fungování výroby při plnění současných zakázek a zároveň posloužit jako ověření výsledků kroku měření. Pro vytvoření simulačního modelu byl použit výrobní postup dodaný společností a pro realističtější podobu modelu byl využit výkresu rozložení pracovišť, který byl dodán společností společně s dalšími daty. Pro vytvoření simulačního modelu byl použit program FlexSim.



Obr. 5: Simulační model výrobního procesu (vlastní).

Pro zhotovení modelu bylo nejdříve zapotřebí stanovit procesní časy jednotlivých pracovišť. Tyto procesní časy byly určeny pomocí strukturovaného kusovníku výrobku 1332. Jistou komplikací bylo, že strukturovaný kusovník obsahoval mnoho dat a informací a z tohoto důvodu bylo nutné tato data modifikovat do vhodné kontingenční tabulky a pomocí filtrů pro potřebná data bylo možné získat časy jednotlivých operací ze které byli vytvořeny průměrné časy jednotlivých pracovišť, viz červené rámečky na obrázku níže.

33823 Haco
338231 Haco pomocník
53191 Vysekávačka
82191 Laser
0,2261
vyřezání tvaru -112 kusu z tabule 81x315 deska středová typ 1152
0,24225
vyřezání tvaru 242 kusu z tabule 81x130,4 závěs spodní levý typ 1152 závěs spodní pravý typ 1152
0,347225
vypálit tvar dle výkresu 90x50x80 mm -o-0,28m deska spodní typ 1152
0,4204995
Vysekát tvar dle výkresu pant levý (roh levý) typ:1330 pant pravý (roh pravý) typ:1330
0,85216939
vypálit tvar dle výkresu+očistit ližina (konzole pro kola) typ. 1332

Obr. 6: Úprava a filtrování dat pro vytvoření modelu (vlastní).

Procesní časy v kusovníku jsou uvedeny jako průměrné časy operací na jeden kus, ve kterých je zohledněn transport materiálu na dané pracoviště nebo meziklad, nastavení stroje a samotný

procesní čas. Proto v modelu nebyl zohledněn přesun materiálu pomocí manipulační techniky do haly a následně k jednotlivým pracovištím

Tab. 4: Průměrné procesní časy pracovišť (vlastní).

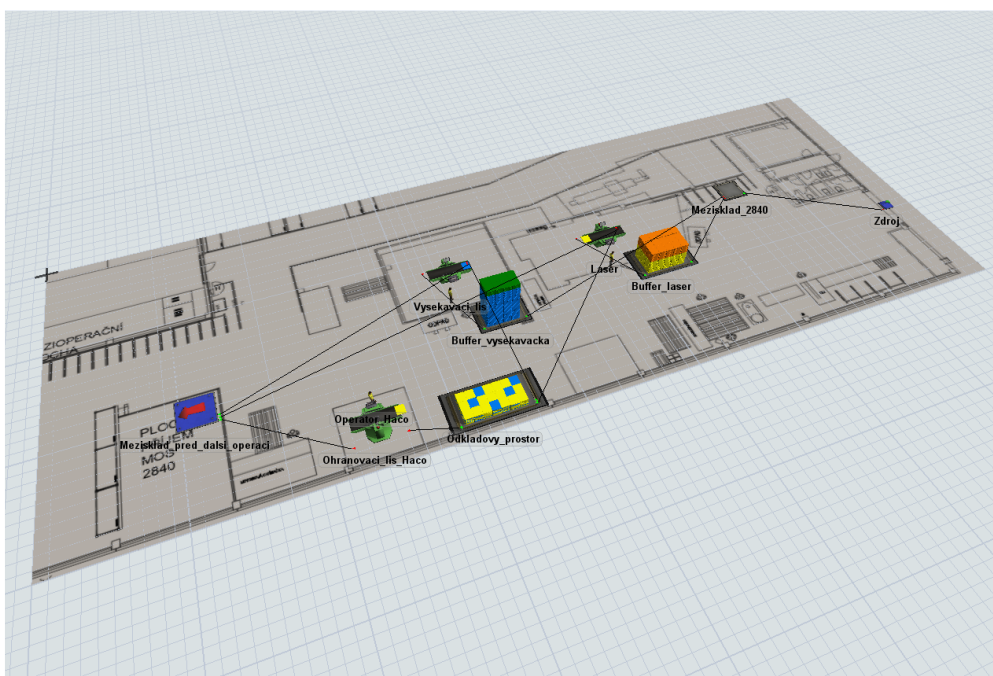
Pracoviště	Procesní časy na simulaci na kus [min]
Haco – lis	1,73
Laser	0,42
Vysekávací lis	1,23

Pro simulaci byla vybrána konkrétní zakázka, která v minulosti již proběhla, a která obsahovala 50 kusů kontejnerů s označením 1332. Právě z tohoto důvodu byla vybrána jako nejvhodnější právě z důvodu této skupiny výrobků s označením 1332, ze skupiny 3 viz krok měření, která prochází daným střediskem 2840 a jen zanedbatelné množství operací se provádí v jiných střediscích.

### 5.1 Popis modelu

Na začátku modelu se nachází Zdroj, který představuje dopravení potřebného materiálu na zakázku do meziskladu střediska 2840. Zdroj byl nastaven tak, že obsahuje čtyři druhy materiálu. První druh materiál s označením V\_L (Typ = 1, barva = žlutá) představuje výrobky, které putují z meziskladu 2840 k pracovišti Laseru a poté na ohraňovací lis, druhý druh materiálu s označením V\_V (Typ = 2, barva = modrá), který reprezentuje materiál určený pro pracoviště vysekávacího lisu a ohraňovacího lisu. Materiál označený V\_L\_F (Typ = 3, barva = oranžová) je materiál, který vyžaduje pouze vypálení na Laseru a poté putuje rovnou na Mezisklad před další operací. Materiál V\_V\_F (Typ = 4, barva = zelená) je určený pro vysekání na Vysekávacím lisu a následně putuje na Mezisklad před další operací.

Jakmile jsou procesy na pracovištích Laseru a Vysekávacího lisu jsou dokončené, vyžadují ohýbání a následně se přesune materiál na Odkladací prostor u Ohraňovacího lisu Haco. Po dokončení ohýbání se přesune materiál do meziskladu, kde čeká na další operaci.



Obr. 7: Model v průběhu simulace (vlastní).

Po spuštění simulace trvalo 1730 minut, než došlo k vyrobení všech 1250 součástí potřebných pro výrobu 50 kusů kontejnerů 1332. V kusovníku má podnik stanovený počet normohodin na tuto zakázku. Konkrétně se jedná o 253,49 normohodin.

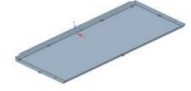
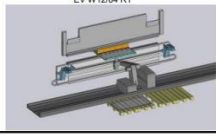

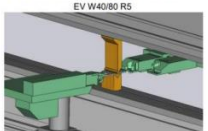
Tab. 5: Porovnání času simulace s normohodinou zakázky (vlastní).

Simulovaný čas [min]	Simulovaný čas [hod]	Procenta [%]
1730	28,83	11,37
Počet normohodin na zakázku	253,49	100

Pro ověření správnosti můžeme využít vytížení, které bylo vypočítáno v kroku měření. Zde nám vyšlo vytížení pracovišť 9 %. Jedná se tedy o rozdíl přibližně 2 %. Výsledek byl prezentován společnosti a díky tak malému odchýlení byla simulace považována za správnou. Mezi další výsledky zpracované simulace bylo získání i vytíženosti pracovišť, kdy ohraňovací lis byl vytížen na 100 %, vysekávací lis na 39 % a laser na 17 %. Nejmenší vytížení pracoviště laseru již naznačuje fakt, že na tomto pracovišti se nachází nejmodernější stroj při porovnání s pracovišti Vysekávacího lisu a Ohraňovacího lisu Haco.

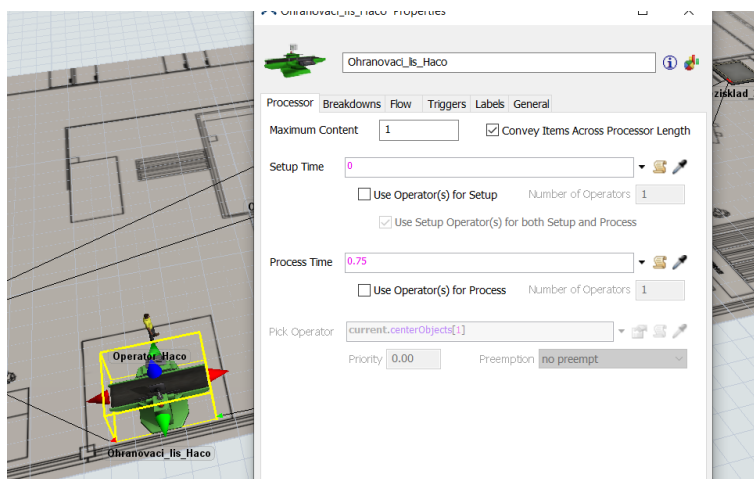
## 6 Návrh nového řešení

Po definování cílů a konkrétního pracoviště společně se zpracováním informací a dat pomocí měření a vytvoření simulačního modelu, který splňoval představy společnosti, bylo možné zaměřit se na možnosti zlepšení a návrhu nového řešení. V tomto kroku byla využita data ze studie proveditelnosti, kterou si společnost nechala v minulosti udělat u výrobce strojů Trumpf. Konkrétně se jednalo o studii proveditelnosti na automatické ohraňovací buňce TruBend Cell 5000, se zaměřením studie na výrobu třinácti nejčastěji vyráběných součástí na ohraňovacích lisech. Součástí této studie byl údaj přibližného času výroby (uvedeny v červených rámečcích), viz obrázek níže.

Drawing no.:	531131D027	comments:
Part name:	P531131D027_Bend1	feasible
Material:	S37	
Size of part:	850.94 x 1560.88 x 2.00 mm	
Weight:	20.50 kg	
No of bands:	4	
Grasper type:	VACUUM GRIPPER	Tool recommendation: OW201/S R1/B6 H220
Cycle time*:	62.5 s ± 15%	EV W12/84 R1
		
Drawing no.:	15209D029	comments:
Part name:	P15209D029_Bend1	feasible
Material:	S37	
Size of part:	140.19 x 100.00 x 5.00 mm	
Weight:	0.42 kg	
No of bands:	1	
Grasper type:	mech. gripper	Tool recommendation: OW201/S R1/B6 H220
Cycle time*:	23.5 s ± 15%	EV W40/80 R5
		

Obr. 8: Ukázka ze studie proveditelnosti (vlastní).

Pro vytvoření simulace a poskytnutí společnosti podklady kolik času by ušetřili v případě, že by stejnou zakázku prováděli za pomoci plně automatizované ohraňovací buňky byly pro návrh automatizace využity průměrné hodnoty procesních časů a jelikož se procesní časy vyráběných kusů v automatizované buňce pohybovali v rozmezí od 0,5 – 1 minuta, byl stanoven nový procesní čas pro pracoviště Haco-lis na hodnotu 0,75 a simulace byla spuštěna s novými hodnotami.



Obr. 9: Procesní čas po automatizaci pracoviště (vlastní).

Nová simulace ukázala, že po automatizaci pracoviště Haco – lis, by se zvýšilo procentuální vytížení pracovišť Laseru na 39 % z předešlých 17 % a Vysekávacího lisu na 90 % z původních 39 % a celkový čas simulace na výrobu všech potřebných kusů na zakázku by zabral 750 minut oproti předchozích 1730 minut a v porovnání se současným stavem by došlo k 57% časové úspoře na zakázce v tomto úseku výroby.

Tab. 6: Srovnání časů simulací (vlastní).

Výrobní čas	Simulovaný čas [min]	Simulovaný čas [hod]	Procenta [%]
Současný stav	1730	28,83	100
Po automatizaci	750	12,5	43

## Závěr

Synergie spojující metody štíhlé výroby a simulace odhaluje novou transformativní cestu, která slibuje předefinování prostředí moderní výroby. Jak se společnosti v dnešní době snaží orientovat ve složitých výzvách dnešních dynamických trhů, spolupráce mezi principy štíhlé výroby a metodologiemi simulace se ukazuje jako nepostradatelný přístup k dosažení provozní dokonalosti. Štíhlá výroba, zakořeněná v principech snižování plýtvání, procesů nepřinášející hodnotu, a neustálého zlepšování se zákaznický orientovanou výrobou, poskytuje holistický rámec pro přetváření výrobních procesů. Zvyšuje efektivitu, minimalizuje plýtvání a maximalizuje tvorbu hodnoty. Snaha o dokonalost štíhlé výroby však není bez překážek, od kulturních posunů v rámci společnosti, tak po složitost dat.

Simulace výrobních procesů na druhé straně nabízí neocenitelnou sadu nástrojů a technik pro zvládnutí těchto výzev. Poskytuje dynamickou platformu pro modelování, experimentování a analýzu. Díky simulaci výrobních procesů mohou organizace snadno vizualizovat či předvídat úzká místa, optimalizovat alokaci zdrojů a ověřovat navrhované změny, to vše bez narušení provozu v reálném světě. Umění simulace samotné však není bezproblémové, od přesnosti dat až po složitost interpretace.

Tento článek se zaměřil na osvětlení vztahu mezi štíhlou výrobou a simulací a ukázal, jak simulace slouží jako vhodný nástroj mezi ostatními nástroji měření, analýzy či implementace v krocích implementace štíhlé výroby. Skrze prezentaci případovou studii uskutečněnou v reálném podniku bylo možné vidět možné výhody simulace, od vizualizace procesu a ověření současného stavu po využití jako rozhodovacího nástroje pro volbu možného zlepšení pracoviště výrobního procesu.

Do budoucna má využití simulace nový nástroj štíhlé výroby obrovský potenciál. Bezproblémově je v souladu se závazkem společnosti k neustálému zlepšování, podporuje kulturu experimentování

a optimalizace. Celkově může tvořit přesah k nástrojům jako digitalizace výroby či tvorba digitálního dvojčete. Toto partnerství umožňuje výrobcům rychle reagovat na změny na trhu, bez starostí inovovat, zvyšovat spokojenost zákazníků a stát se základním kamenem výrobní dokonalosti v éře, kde jsou adaptabilita a přesnost charakteristickým znakem úspěchu.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS23/165/OHK2/3T/12

## Prameny

1. BANKS, J., 1998. Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice [online]. 1st. Wiley [cit. 2023-09-01]. ISBN 978-0471134032. Dostupné z: <https://juancarlosvergaras.files.wordpress.com/2013/09/handbook-of-simulation-principles-methodology-advances-applications-and-practice.pdf>
2. ELMARAGHY, H. A., 2005. Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems Paradigms. International Journal of Flexible Manufacturing Systems [online]. 17(4), 261-276 [cit. 2023-09-01]. ISSN 0920-6299. Dostupné z: doi:10.1007/s10696-006-9028-7
3. ELSAYED, E. A., 2008. Simulation modeling and analysis [online]. 5th. McGraw-Hill [cit. 2023-09-01]. ISBN 978-1420073093. Dostupné z: <https://industri.fatek.unpatti.ac.id/wp-content/uploads/2019/03/108-Simulation-Modeling-and-Analysis-Averill-M.-Law-Edisi-5-2014.pdf>
4. FERDOWS, K. a A. DEMEYER, 1997. Lasting improvements in manufacturing performance: in search of a new theory. Journal of Operations Management [online]. 15(4), 315-335 [cit. 2023-09-01]. ISSN 0272-6963. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/35455324.pdf>
5. GUNASEKARAN, A., T. PAPADOPOULOS, R. DUBEY, S.F. WAMBA, S.J. CHILDE a B HAZEN, 2016. Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance. Journal of Business Research [online]. 70, 308-317 [cit. 2023-09-01]. ISSN 0148-2963. Dostupné z: <https://fossowambasamuel.com/wp-content/uploads/2017/04/Big-data-and-predictive-analytics-for-supply-chain-and-organizational-performance-1.pdf>
6. JASTI, N.V. a R. KODALI, 2014. Lean production: Literature review and trends. International Journal of Production Research [online]. 53(3), 867-885 [cit. 2023-09-01]. ISSN 0020-7543. Dostupné z: doi:10.1080/00207543.2014.937508
7. LIKER, J.K., 2004a. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer [online]. 1st. McGraw Hill [cit. 2023-09-01]. ISBN 978-0071392310. Dostupné z: <https://vietnamwcm.files.wordpress.com/2008/07/mcgraw-hill-thetoyotaway-14managementprinciples.pdf>
8. LIKER, J.K. a T.Y. CHOI, 2004b. Building Deep Supplier Relationships. Harvard Business Review [online]. 82(12), 104-113 [cit. 2023-09-01]. ISSN 0017-8012. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/265659662\\_Building\\_Deep\\_Supplier\\_Relationships](https://www.researchgate.net/publication/265659662_Building_Deep_Supplier_Relationships)
9. NELSON, Barry L., NELSON a David M. NICOL, 2000. Discrete-event system simulation [online]. 3rd Edition. Prentice Hall [cit. 2023-09-01]. ISBN 978-0130887023. Dostupné z: [https://www.academia.edu/9518895/discrete\\_event\\_system\\_simulation\\_by\\_jerry\\_banks](https://www.academia.edu/9518895/discrete_event_system_simulation_by_jerry_banks)
10. PIDD, Michael, 2004. Computer Simulation in Management Science [online]. 5th. Wiley [cit. 2023-09-01]. ISBN 978-0-470-09230-9. Dostupné z: <https://www.wiley.com/en-us/Computer+Simulation+in+Management+Science%2C+5th+Edition-p-9780470092309>



11. ROBINSON, S. a R. D. KLASSEN, 2012. Conceptualizing and enacting supply chain management in complex environments. *Journal of Cleaner Production* [online]. 20(1), 8-18 [cit. 2023-09-01]. ISSN 0959-6526.
12. SHAH, R. a P.T. WARD, 2003. Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance. *Journal of Operations Management* [online]. 21(2), 129-149 [cit. 2023-09-01]. ISSN 0272-6963. Dostupné z: doi:10.1016/S0272-6963(02)00108-0
13. STERMAN, J. D., 2000. Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world [online]. 1st. McGraw-Hill Education [cit. 2023-09-01]. ISBN 978-0072389159. Dostupné z: <https://industri.fatek.unpatti.ac.id/wp-content/uploads/2019/03/007-Business-Dynamics-Systems-Thinking-and-Modeling-for-a-Complex-World-John-D.-Sterman-Edisi-1-2000.pdf>
14. WOMACK, J.P. a D.T. JONES, 1996. Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation [online]. 48(11). *Journal of the Operational Research Society* [cit. 2023-09-01]. ISBN 978-0743249270. Dostupné z: doi:10.1038/sj.jors.2600967

### Kontaktní údaje o autorech

Ing. Václav Michalec a Bc. František Truhlář

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku

Karlovo náměstí 13, Praha, 121 35

+420 605 174 943

michava1@cvut.cz

**PŘÍSPĚVKY PUBLIKOVANÉ V TOMTO SBORNÍKU VYJADŘUJÍ NÁZORY A  
STANOVISKA NEZÁVISLÝCH AUTORŮ.**

**TATO PUBLIKACE NEPROŠLA REDAKČNÍ ANI JAZYKOVOU ÚPRAVOU.**

**ISBN 978-80-01-07243-1**