

RECENZOVANÝ SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ



**ROČNÍK KONFERENCE
INTEGROVANÉ INŽENÝRSTVÍ
V ŘÍZENÍ PRŮMYSLOVÝCH PODNIKŮ**

20

20

na téma



**APLIKACE A VYUŽITÍ MODERNÍCH
NÁSTROJŮ, METOD A TECHNOLOGIÍ
V PRAXI PRŮMYSLOVÝCH PODNIKŮ**

s tematickými sekcemi



**Průmyslové
inženýrství**

**Projektování a konstrukce
strojů a mechanismů**



**Průmyslová
automatizace**

**Management průmyslových
podniků**



**Středa 7. 10. 2020
Praha, Česká republika**

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



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

VE SPOLUPRÁCI S



**Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni
Katedra průmyslového inženýrství a
managementu**



MM publishing, s.r.o.



Svaz strojírenské technologie, zájmové sdružení



**Česká technologická platforma STROJÍRENSTVÍ,
z.s.**

ISBN 978-80-01-06775-8

Autor (editor):	Ing. Pavel Scholz
Název díla:	Recenzovaný sborník příspěvků z 20. odborné konference z cyklu Integrované inženýrství v řízení průmyslových podniků na téma Aplikace a využití moderních nástrojů, metod a technologií v praxi
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:	100
Vydání:	První elektronické

Příspěvky prošly recenzním řízením.

Recenzenti sborníku:

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

doc. Ing. Theodor Beran, Ph.D. – ČVUT v Praze

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

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D. – ČVUT v Praze

Ing. František Lopot, Ph.D. – ČVUT v Praze

Ing. Karel Petr, Ph.D. – ČVUT v Praze

Ing. Patrik Budský – ČVUT v Praze

07. 10. 2020

www.rep.fs.cvut.cz

OBSAH

FINANCING INNOVATION IN PERIODS OF CRISIS: REVIEW AND ANALYSIS OF VALUATION MODELS AND ITS LIMITATIONS.....	7
Rebeca Barbosa, Hana Scholleová	
VZTAH HODNOTY PODNIKU A BUSINESS MODELU	15
Patrik Budský	
INSIGHT INTO THE CREATIVE ECONOMY'S SIGNIFICANCE	21
Olga Dobrovolschi	
DYNAMICKÁ ANALÝZA OZUBENÝCH PŘEVODŮ	30
Jan Flek, Josef Kolář, Martin Dub	
NETRADIČNÍ VYUŽITÍ ROTAČNÍCH DĚLIČŮ PRŮTOKU	37
Jakub Milan Hradecký, Antonín Bubák	
POTENTIAL OF DATA SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING – CURRENT TRENDS IMPACTING DEMAND FOR MECHANICAL ENGINEERING GRADUATES.....	43
Adam Hurta	
POPIS NÁVRHU POSTPROCESORU PRO GENEROVÁNÍ G-KÓDU 3D TISKÁRNY BUDOV Z BETONOVÝCH SMĚSÍ.....	53
Josef Kamenický, Marek Štádler	
ŽIVOTNÍ CYKLUS VÝROBKU Z POHLEDU VÝROBNÍ PERSPEKTIVY STŘEDNÍHO STROJÍRENSKÉHO PODNIKU	60
Matouš Machka, Jiří Suchomel	
KVALITA V MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT	67
Václav Michalec, Michal Kavan	
EVALUATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IMPLEMENTATION PERSPECTIVES IN AN ORGANIZATION IN THE DIGITAL TRANSFORMATION ERA	74
Alexey Ryzhkov	

TECHNOLOGIE PŘESNÉHO LEPENÍ FUNKČNÍ KOMPOZITOVÉ SESTAVY	82
Oskar Turek	
JAKÝM ZPŮSOBEM OVLIVŇUJE KRIZE ŽIVOTNÍ CYKLUS PRODUKTU	87
David Weisl	
DOPADY DIGITALIZACE A AUTOMATIZACE NA PRACOVNÍ SÍLU	92
Petr Weisser, Pavel Scholz, Zdeněk Kadlec	

FINANCING INNOVATION IN PERIODS OF CRISIS: REVIEW AND ANALYSIS OF VALUATION MODELS AND ITS LIMITATIONS

Rebeca Barbosa, Hana Scholleová

Abstract

Innovation enterprises are characterized by their originality and newness, while periods of crisis are marked by unpredictable development of events. The task of valuating innovation projects in times of high volatility is specially challenging, as it combines both lack of data and history from the enterprises with the inherent uncertainty of the period. In this work, standard valuation methodologies are reviewed and analyzed for innovative activities in the context of crisis years. The goal is to assess the current available studies and approaches on the subject to further investigate the limitations of predictive models and potential for future research.

Key words: innovation, enterprises, valuation, uncertainty, crisis

Introduction

There is an intricate relationship between investment and valuation. One will only make the rational decision of investing in a project, company or idea when expecting sustainable returns or an increase in its value [6]. This forward-looking exercise and anticipation of future reward is what motivates investors in their decision-making process. In this context, the process of estimating the future value of an asset plays a determinant role on its financing possibilities [12].

Valuation methodologies typically consider information from the past, present and expected future. Standard valuation models include a series of assumptions and often base part of the required input data on correlations with similar enterprises, historical moments, performance of markets, countries etc. [7]. However, widely used valuation approaches tend to yield to unrealistic results when the valued matter misses on clear correlations and historical data, which is often the case surrounding innovation. For this reason, it becomes especially challenging to value innovative projects, startups and idea businesses, given their particular characteristics and lack of comparative indicators [1].

The problem of assigning a value to innovative projects and companies becomes even more complex if the valuation moment includes times of critical stress, as the literature overlooks the role played by crisis periods in innovation business models [10]. In face of the recent events involving the coronavirus outbreak and the struggle of governments and businesses to make critical decisions under high uncertainty, the necessity to better address the role of unpredictable events in the decision-making process of financing and investments became evident [5].

The journey towards addressing the research gap in the field of valuating innovation enterprises in periods of crisis is expected to be challenging. This study aims to make a contribution to the topic by reviewing and analyzing the typical valuation models described in corporate finance literature and standard statistical methodologies in the context of historical periods of crisis.

1 Discounted Cash Flow as a valuation methodology: theory overview

Discounted cash flow (DCF) is a valuation methodology applied to estimate the value of an investment based on future cash flows. Because of its robust theoretical credentials, DCF valuation model is the most encountered in academia [2]. It considers the expectations of future performance

and time-value of capital. This characteristic makes DCF a useful tool to value assets that do not have history yet, which is usually the case of innovation companies and projects. For these reasons, DCF will be further elaborated in this study.

In DCF the value of an asset is obtained by discounting expected cashflows. The asset is valued as a function of the projected Free Cash Flow (FCF), discount rate (r) and time (t). The assessment is done on the basis of the actual performance of the asset, but also accounting for its expected growth and the risk associated with the cash flows [2].

$$\text{Value of Asset} = \sum_{t=1}^{t=\infty} \frac{FCF_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

where FCF = Free Cash Flow
 r = discount rate
 t = time

When a period of singularity is expected, it makes more sense to apply the DCF as a two-stage model. The first term would account for the period of particular nature and the second term considers a steady behavior for the future. In this context, the two-stage DCF approach should be a better fit for studying a period of crisis, when more attention must be paid to specific years [7].

A Terminal Value (TV) is established to account for the value of the asset at the end of the investigated period. The Eq. 1 is then rewritten in terms of the number of considered years and the discount rate is assumed to be the Weighted Average Cost of Capital (WACC) of the asset [7].

$$\text{Value of Asset} = \sum_{t=1}^{t=N} \frac{FCF_t}{(1+WACC)^t} + \frac{TV}{(1+WACC)^N}, \quad (2)$$

where N = number of Years
 TV = Terminal Value

The Terminal Value is calculated based on the expected Free Cash Flow at the end of the evaluated period of years and on the assumption of a stable constant growth rate for the investment, which cannot exceed the growth rate of the economy where it operates [2].

$$TV = \frac{FCF \times (1+g)}{(WACC - g)}, \quad (3)$$

where g = constant growth rate

1.1 Free Cash Flow (FCF)

Free Cash Flow represents the amount of cash generated by the asset that is available for distribution among its holders. In corporate finance, the FCF is an important indicator to assess the enterprise robustness, with firms increasingly preferring to increment their cash-to-asset ratio [13]. FCF can be written as a function of the Earning Before Interests and Taxes (EBIT), Tax Rate applied to the asset, Capital Expenditures, Depreciation and Change in Working Capital. In publicly traded companies these inputs are typically encountered in the financial statements of the firms [2].

$$FCF = EBIT * (1 - \text{Tax Rate}) - (\text{Cap. Exp.} - \text{Depreciation}) - \text{Change in Working Cap.} \quad (4)$$

1.2 Weighted Average Cost of Capital (WACC)

The Weighted Average Cost of Capital (WACC) is a calculation of Cost of Capital in which the parameters forming the capital of the asset are proportionately weighted [12].

$$WACC = \left(\frac{E}{V} * Re \right) + \left(\left(\frac{D}{V} * Rd \right) * (1 - T) \right), \quad (5)$$

where E = Market Value of Equity
 D = Market Value in Debt
 V = Total Value of Capital
 Re = Cost of Equity
 Rd = Cost of Debt
 T = tax rate

For public companies the Market Value of Equity can be assumed to be the Market Capitalization, while the Market Value of Debt may be estimated from the book value of debt, by summing up the current part of long-term debt and the non-current part of long-term debt reported in the public financial statements of the firms.

The Cost of Equity can be calculated from the Capital Asset Pricing Model (CAPM) as a function of the risk-free rate, Equity Beta (β) and market risk premium. The Cost of Debt can be estimated by dividing the Interest Expense reported at the financial statements by the total debt related to the asset.

The risk-premium is the return expected from the market above the risk-free rate, obtained by subtracting the risk-free rate from the annual return of the market. One usual way to estimate the risk-free rate is by assuming it to be equivalent to a 10-year governmental bond yield, while the risk-premium may be obtained from historical data on the basis of the country ratings.

$$Re = Rf + \beta * RP, \quad (6)$$

where Rf = risk-free rate
 β = coefficient of risk
 RP = risk-premium

Equity Beta is a coefficient that measures the risk associated to an investment. In case of public companies, β is estimated by regressing the returns of the stock against returns of an index over a period of time. The slope of this regression is the β of the stock.

2 Statistical Analysis: When Data is not Available

When dealing with innovative activities, it is expected that recorded data is inexistent or unavailable. In this case, it becomes necessary to apply statistical tools to estimate or predict values. Time-series analysis is used to understand the underlying forces behind generated data and it is often employed in economic forecasting, market analysis, processes and quality control etc. [9], therefore it will be further addressed in this work.

Single-moving-average is a smoothing and predictive time-series methodology commonly applied to analyze data which is not susceptible to significant trend or seasonality [11]. These are important assumptions to periods of crisis, when a particular market behavior is expected due to uncoordinated actions of investors and unpredictable development of events.

Another common way to obtain or predict data is based on the sample-mean of measurements. A sample-mean is achieved by summing up the total value from the measurements and dividing by the

number of measurements. Despite its popularity, this method might be overly simplified to cover periods of crisis, when outlier values and peaks can be expected [4]. In this chapter the error associated with sample-mean will be compared to the error associated with single-moving-average to assess the performance of both methods in periods of high uncertainty.

In single-moving-average the data is obtained from the average of a smaller set of past data. The process is applied successively and every new point is calculated from the average of the same amount of previous points. The single-moving-average presumes a stationary series, when the data is not susceptible to significant trend or seasonality [11].

$$M_t = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-N+1}}{N}, \quad (7)$$

where M = new calculated point
 N = number of points in the smaller set of data
 X = original value observed
 t = period evaluated

The Mean Squared Errors (MSE) was applied with the purpose to compare the error related to the approximation methods. The MSE is the average squared difference between the estimated values (S) and the observed value (Y) [4]. Because the MSE is a function of squared values, it is always a non-negative number with the capacity to assign more weight to the estimations with higher errors. The lower the MSE, the lower the error.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - S_i)^2, \quad (8)$$

where S = estimated value
 Y = observed value

2.1 Single-moving-average and sample-mean in periods of crisis

For the purpose of this work, two historic crisis periods were evaluated: September 11th 2001, which was the date of the World Trade Center attacks in New York and March 23rd 2020, when the stock markets dropped sharply following the prospects of economic recessions caused by the worldwide lockdowns and government measures in the context of covid-19 containment.

These two events were selected due to their unpredictable character. There have been many recession periods in history and many crashes in the stock markets. However, when looking at the past from the future, most of these developments may be traced back to imminent causes and understood as consequences of underlying circumstances [8]. This is not the case of the coronavirus outbreak and the World Trade Center attacks, which share the fact that they could not have been forecasted or anticipated. The S&P 500 index was selected for data analysis. The USA-based index was chosen because of its capacity to better reflect the consequences of the World Trade Center attacks in the markets and because it provides a broader perspective of the market, given the number and variety of companies it tracks.

Each crisis event was evaluated into two intervals. The first interval provides a year-round outlook into the distress periods, which enables a broader perspective into the market behavior through the crisis periods. The second interval focuses on a two-month time frame, with the data gathered from one month before the event and one month after the event. This choice was made to assess the cases of limited available data across the periods of uncertainty. The data was gathered weekly for both intervals to increase the sample randomness and discount possible trends.

Tab. 1: Compared Values of MSE from Single Moving Average and Simple Average in 2001 and 2020.
Source: [own]

Mean Squared Errors (MSE)	2001		2020	
	Year-long	Two-month	Year-long	Two-month
Single-moving-average [-]	MSE = 461.01	MSE = 1 735.92	MSE = 6 618.38	MSE = 32 408.95
Sample-mean [-]	MSE = 3 445.23	MSE = 4 755.96	MSE = 44 046.46	MSE = 73 938.67

The observation of Tab. 1 suggests that in periods when the markets are exposed to unpredictable events, the single-moving-average should provide an overview market behavior susceptible to lower errors than the estimation obtained based on the sample-mean. There is a significant difference when comparing the MSE values of 2001 with the ones of 2020. In both cases the year-long observations are considerably more accurate than the two-month observation, but the MSE for the year 2001 was much lower than the ones of 2020 and this is probably caused by the character of the crisis events evaluated.

When it comes to minimizing the associated errors, the single-moving-average outperforms the sample-mean in both long-term and short-term observations. This outcome is valid even when the amount of available data is rather limited, as in the case of the two-month period, when the data was recorded weekly, providing only nine observed points. For this reason, single-moving-average is the statistical approach applied in this study to obtain estimated values whenever the required input data for DCF valuation is inexistent or unavailable.

3 DCF Model applied to periods of crisis: an analysis of well-established enterprises

While it may be impossible to anticipate a period of global financial stress, it is important to assess the reliability of predictive models when an extended period of market uncertainty is expected [8]. In order to study the Discounted Cash Flow (DCF) valuation approach in periods of crisis, the methodology was first tested in robust public firms operating in a resilient industry. The goal was to investigate the strengths and limitations of the methodology in well established enterprises prior to addressing the cases where the valuated companies and projects lack data, history and belong to a more volatile sector, such as the cases surrounding innovation [1].

In this study, three chemical multinationals from different continents were selected to be valued in periods of financial instability, namely Air Products and Chemicals (USA, North America), BASF (Germany, Europe) and Asahi Kasei (Japan, Asia). The chemical industry has been chosen for analysis because of its particular cycle characteristics and response to macroeconomic frictions [3].

The periods of evaluation were in the vicinity of the years 2001 and 2007/2008, following the respective events of terrorist attacks in the World Trade Center in New York and Global Financial Crisis. Both periods were selected because of their potential for correlation with the current crisis caused by the coronavirus outbreak: The World Trade Center attacks shares the same unpredictable character as the 2020 pandemic and the fact that none of the two events could have been anticipated, while the 2007/2008 crisis reflects its deep and lasting impact on the economy and society in a global scale.

3.1 Assessment of DCF performance in public firms: strengths and limitations

The Discounted Cash Flow valuation methodology was applied based on the available public data of the companies. Beta values were obtained in reference to a different index for each region: S&P 500 for North-America; DAX for Europe and Nikkei for Asia. The WACC was calculated with input data from the beginning of crisis periods, i.e. 2001 (World Trade Center attacks) and 2007 (Global Financial Crisis), when the development of the financial markets in the following years was still unknown.

The Terminal Values and Total Value of Firm were calculated based on the actual data reported on financial statements of the companies in the years following the crisis events. This approach was

chosen to minimize the error caused by estimating the future cash flows and better assess the reliability of DCF valuation for periods of crisis. However, in reality, the estimation of future cash flows plays a key role in the DCF valuation methodology, which may be accomplished by statistically extrapolating the trend of past cash flows.

The actual Enterprise Value was calculated at the end of the evaluated periods by including the value of net debt to the market capitalization. The following tables show the data collected and calculated to value the companies BASF, Asahi Kasei and Air Products & Chemicals during periods of crisis.

Tab. 2: Input parameters and calculation of WACC. Source: [own]

Company	BASF		Asahi Kasei		Air Products & Chemicals	
Year	2001	2007	2001	2007	2001	2007
Market Value in Equity (E) [Bi USD]	14.12	93.44	8.295	9.593	8.639	14.39
Market Value in Debt (D) [Bi USD]	7.41	14.74	2.20	3.43	2.45	3.00
Total Value of Capital (V) [Bi USD]	21.53	108.18	10.495	13.023	11.089	17.39
Percent of Capital in Equity (E/V) [-]	0.66	0.86	0.79	0.74	0.78	0.83
Percent of Debt in Equity (D/V) [-]	0.34	0.14	0.21	0.26	0.22	0.17
Risk-Free Rate (Rf) [%]	5 %	4 %	1.30 %	1.80 %	5 %	4.50 %
Market Risk Premium (RP) [%]	5.51 %	4.91 %	6.11 %	6.11 %	5.51 %	4.91 %
Beta (β) [-]	0.654	1.047	0.149	0.931	0.745	1.017
Cost of Equity (Re) [-]	0.09	0.09	0.02	0.07	0.09	0.09
Interest Expense (IE) [Bi USD]	0.67	0.781	0.056	0.035	0.125	0.162
Cost of Debt (Rd) [-]	0.090	0.053	0.025	0.010	0.051	0.054
Corporate Tax (T) [%]	38.30 %	29.50 %	42 %	40.69 %	35 %	35 %
Weighted Average (WACC) [-]	0.0756	0.0840	0.0206	0.0568	0.0783	0.0846

Tab. 3: Free Cash Flow of Firm estimated for an interval of four years following the periods of crisis
Source: [own]

FCFF [Bi USD]	2001	2002	2003	2004	2007	2008	2009	2010
BASF	-0.440	-0.092	3.172	3.203	4.843	3.991	5.015	5.787
ASAHI KASEI	0.004	-0.064	0.038	0.280	0.414	-0.009	-0.497	0.855
AIR PRODUCTS	0.375	0.436	0.423	0.399	0.442	0.716	0.245	0.623

Tab. 4: Calculated Terminal Values at the end of four years interval following periods of crisis. Source: [own]

Firm	BASF (g=2.2%)		Asahi Kasei (g=1.2%)		Air Products (g=3.0%)	
Period [years]	2001-2004	2007-2010	2001-2004	2007-2010	2001-2004	2007-2010
Terminal Value [Bi USD]	58.73	77.13	6.81	10.06	9.54	9.22
Value of Firm [Bi USD]	48.33	71.85	5.69	8.72	8.41	8.32

Tab. 5: Average Enterprise Values of Firms in the years 2004 and 2010. Source: [own]

Firm	BASF		Asahi Kasei		Air Products	
Period	2004	2010	2004	2010	2004	2010
Average Enterprise Value [Bi USD]	65	80	6	10	12	18

When comparing the actual Average Enterprise Value of the firms at the final year of the evaluated periods with the calculated Value of Firm with Discounted Cash Flow Method, it was possible to observe that the values differed from each other in a large scale. The Average Enterprise Value was fairly similar to the estimated value of firm in the case of Asahi Kasei, with numbers differing less than

20 %. On the other hand, the Average Enterprise Value was more than 100 % higher than the estimated value of Air Products and Chemicals in the year 2010. This wide range of results reinforce the assumption that the study of valuation methodologies during periods of crisis have considerable limitations and should be deepened and further investigated.

Conclusion

This work overviewed the theory of DCF valuation methodology in the context of periods of crisis. The assessment was focused on innovation activities, when their unique character induces an extra challenge to the valuation task, caused by the lack of historical data and comparable indicators with similar enterprises. Predictive statistical methods were reviewed for periods of uncertainty with the purpose to minimize the errors associated to estimated values. The single-moving-average time-series model showed better results than the sample-mean model through MSE analysis.

DCF was applied to robust and well-documented multinational companies based at three different continents during two periods of crisis. The estimated valued numbers were compared to the actual enterprise values at the end of the investigated periods to assess the limitations of traditional valuation methodology. The wide range of results supports the hypothesis that valuation models should be further researched, especially in the cases of innovative activities under the high-volatile and high-risk scenarios that offer an even greater obstacle to the valuation task.

Future work in this subject will aim to address some of the knowledge gaps regarding valuation in the context of innovation activities, including revised and modified methods, through the adjustment of WACC and based on Real Options Analysis. Next steps should also consider a closer look into the financing models and decision-making process applied by incubators and accelerators to assess innovation cases, followed by a historical analysis of tax-revenues generated by successful cases.

This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS19/106/OHK2/2T/12.

References

1. DAMODARAN, Aswath. *The Dark Side of Valuation: valuing young, distressed and complex businesses*. 3rd Ed. Pearson Education LTD, 2019. 800 pp. ISBN 978-0-13-485410-6
2. DAMODARAN, Aswath. *Valuation Approaches and Metrics: A Survey of the Theory and Evidence* [online]. Stern School of Business. 2006. 77 pp. Available at <http://people.stern.nyu.edu/adamodar>
3. DASCALU, Elena-Doina, et. al. The Influence of Business Cycles on the European Chemical Industry. *Revista de Chimie-Bucharest*. 2016, 67, ISSN 0034-7752
4. DEKKING, Frederik, et. al. *A modern Introduction to Probability and Statistics: understanding why and how*. 1st Ed. Springer. 2005. 473 pp. ISBN 1-85233-896-2
5. FONG, Simon, et. al. Composite Monte Carlo decision making under high uncertainty of novel coronavirus epidemic using hybridized deep learning and fuzzy rule induction. *Applied Soft Computing*. 2020, 93, ISSN 15684946
6. HENSMAN, Ann and SADLER-SMITH, Eugene. Intuitive decision making in banking and finance. *European Management Journal*. 2011, 29(1), pp. 51-66. ISSN 0263-2373
7. KUMAR, Rajesh. *Valuation: theories and concepts*. Academic Press, 2016, 514 pp. ISBN 9780128023037
8. MULLINS, John. Are your cash-flow tools recession ready? *Business Horizons*. 2020, ISSN 0007-6813
9. NIST/SESMATECH, *e-Handbook of Statistical Methods* [online]. 2013. Available at doi.org/10.18434/M32189

10. RITTER, Thomas and PEDERSEN, Carsten Lund. Analyzing the impact of the coronavirus crisis on business models. *Industrial Marketing Management*. 2020, 88, pp. 214-224. ISSN 0019-8501
11. SHUMWAY, Robert and STOFFER, David. *Time Series Analysis and Its Applications*. 3rd Ed. Springer. 2011. 576 pp. ISBN 978-1-4419-7864-6
12. THAM, Joseph and VELEZ-PAREJA, Ignacio. *Principles of Cash Flow Valuation*. 1st Ed. Academic Press, 2004, 350 pp. ISBN 978-0126860405
13. ZHAO, Jake. Accounting for the corporate cash increase. *European Economic Review*. 2020, ISSN 00142921

Contacts

Ing. Rebeca Barbosa

Department of Management and Economics, Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague

Karlovo nám. 13, 121 35 Prague 12

Rebeca.MoraesBarbosa@fs.cvut.cz

VZTAH HODNOTY PODNIKU A BUSINESS MODELU

RELATION BETWEEN BUSINESS VALUE AND BUSINESS MODEL

Patrik Budský

Abstrakt

Tento příspěvek je zaměřen na vztah obchodního (business) modelu a hodnoty podniku. Zkoumá, zda business model společnosti má vliv na hodnotu podniku a růstovou opci. Příspěvek je koncipován jako výzkumná sonda. Pracuje s šesti business modely, ke kterým je přiřazeno šest odvětví. Konkrétně se jedná o business modely: Producenti výrobků s nízkou přidanou hodnotou, Poskytovatelé služeb, Producenti výrobků s vyšší přidanou hodnotou, Retailové obchodníci, Producenti nehmotných aktiv, Poskytovatelé infrastruktury a odvětví: Auto Parts (výrobci automobilových dílů), Business & Consumer Services (konzultační služby), Drugs (Pharmaceutical) – (výrobci léčiv), Retail (Grocery and Food) – (prodejci potravin), Software (System & Application) – (vývojáři softwaru) a Telecom. Services (telekomunikační služby) jako jejich typičtí zástupci. Proto jsou výsledky pouze indikativního charakteru. Nicméně na provedená zjištění lze dále navázat v dalších výzkumech.

Klíčová slova: obchodní model, hodnota podniku, růstová opce

Abstract

This paper focuses on the relationship between business model and firm value. It examines whether the company's business model affects the company's value and growth option. The paper is conceived as a research probe. Paper examines six business models, to which six industrial sectors are assigned. Specifically, these are the business models: Producers of low value-added products, Service providers, Producers of higher value-added products, Retail traders, Producers of intangible assets and Infrastructure providers, and industrial sectors: Auto Parts, Business & Consumer Services, Drugs (Pharmaceutical), Retail (Grocery and Food), Software (System & Application) and Telecom. Services as their typical representatives. Therefore, the results are indicative only. However, the findings can be further studied in further research.

Key words: business model, enterprise value, growth option

Úvod

Svět se nyní vyrovnává s ekonomickými dopady pandemie nemoci covid-19. Jsme svědky útlumu ekonomik, opětovného kvantitativního uvolňování a fiskální expanze. Vlády subvencují podniky a snaží se udržet zaměstnanost. Tato fáze ekonomického cyklu ale nebude trvat věčně. Po době koronavirové přijde doba obnovy. Mnohé vlády již ohlašují investiční programy, které mají za cíl modernizovat ekonomiku. Soukromé podniky také budou hledat nové příležitosti s vyšší mírou návratnosti. Ukazuje se, že investice do nových produktů a procesů jsou poměrně nejisté. Výzkumy společností Economist Intelligence Unit [4] a IBM [14] zjistily, že investice do obchodních modelů jsou manažery upřednostňovány, protože je vidí jako možný zdroj konkurenční výhody. Společnosti mají možnost si vytvořit svůj obchodní model podle vlastního uvážení anebo se mohou inspirovat u konkurenčních společností. Manažeri po celém světě dnes porovnávají, které obchodní modely jsou nejúspěšnější a jak implementovat jejich jednotlivé části do chodu jimi vedené společnosti [10].

Cílem tohoto příspěvku je indikativně prověřit autorem definované hypotézy „Moderní obchodní modely typu producenti nehmotných aktiv nebo Network Orchestrators (správci a tvůrci sítí) mají při stejné výši kapitálu vyšší hodnotu než zástupci tradičních obchodních modelů typu producenti výrobků s nízkou přidanou hodnotou, retailoví obchodníci nebo poskytovatelé služeb.“ a „Vyšší dosažená hodnota je způsobena většími růstovými příležitostmi moderních obchodních modelů pracujících s téměř nulovými mezními náklady (marginal costs)“. Svým pojetím se jedná o výzkumnou sondu.

1 Definice business modelu a současný výzkum

První zmínka o obchodních modelech v literatuře pochází z 60. let minulého století [6]. Zjednodušeně se dá říct, že obchodní model je jakýsi kompletní přístup k podnikání. Popisuje klíčové aspekty podnikání, obchodní zájmy, cílové zákazníky, podnikové strategie a celkovou firemní politiku. Účelem business modelu je zjednodušit pochopení této komplexní struktury a provázanosti mezi jednotlivými faktory [13]. Dnes již existuje mnoho modelů, které mají spoustu podobných rysů, ale v jiných se diametrálně liší. Proto je složité je klasifikovat. Business model nemá ani jednoznačnou definici. Business model by se dal hodně zjednodušeně popsat jako postup nebo přístup firmy k vytváření hodnoty [5]. Existují mnohé další definice pojmu business model, protože mnoho autorů, kteří se touto problematikou zabývají, má své vlastní definice, které se dají lépe aplikovat v závislosti na povaze měření nebo zkoumání, které u své práce používají [13]. Mezi nejznámější autory patří například Alexander Ostewalder, který definuje business model jako souhrnný popis způsobů vytváření, doručování a zachycování hodnot v podniku [12]. Michael Lewis nabízí nejspíš nejjednodušší definici, podle které znamená obchodní model plán, jak firma vygeneruje finanční prostředky [8]. Podle autorů Christopha Zotta, Raphaela Amita a Lorenza Massy může být hlavní účel obchodních modelů chápán jako prvek k analyzování podnikové činnosti, k pochopení interních a externích činností nebo také jako popis postupu, jak vytvářet a udržovat hodnotu podniku [1].

Současný výzkum business modelů na světových univerzitách je podle co-citační analýzy autorů Li, Qiao, Wang [9] zaměřen na inovace business modelů, digitální business modely, tvorbu hodnoty, e-business modely a design business modelů. Na vliv business modelu na výkonnost podniku se už částečně zaměřila publikace „Do Some Business Models Perform Better than Others? A Study of the 1000 Largest US Firms“ [11], která zkoumala vliv business modelu na předem vybrané ukazatele. Na tu navázala studie „Do Business Models Matter“ [7], která za pomoci analýzy Components of Variance došla k závěru, že použitý business model ovlivňuje výkonost podniku. Konkrétně ukazatele ROA a ROS. Další publikací zabývající se tématem byl příspěvek na konferenci „Value Creation – 10 Years of Evolution Across Industries and Business Models“, který se zabýval počtem výskytů jednotlivých odvětví a business modelů u 50 největších společností obchodovaných na amerických burzách podle tržní kapitalizace [3]. Uváděl i podíl jednotlivých business modelů na celkové tržní kapitalizaci vzorku. Problémem kvantitativních výzkumů je ale třídění business modelů. V článku „Do Some Business Models Perform Better than Others? A Study of the 1000 Largest US Firms“ se vyskytuje dobře popsaná metodika třídění business modelů. Další možné třídění nabízí Rappa [15], Berger a Hess [2], Ribauda [16], Budský a Dvořák [3]. Stejně jako v případě definice business modelů, tak ani kategorizace business modelů nemá jednoznačně široce přijatý rámec (framework). Studie jsou poté hůře navzájem porovnatelné.

2 Metodika

Tato kapitola popisuje použitá data, rozdělení business modelů, přiřazení odvětví k business modelu a zpracování dat.

2.1 Použitá data

V rámci výzkumné sondy byla použita data z veřejně přístupné databáze profesora Damodarana. Konkrétně se jednalo o podklady pro výpočet FCF (Free Cash Flow – volné hotovosti), diskontní míry a hodnoty multiplikátoru z burz vyspělých států Evropy (EU + Norsko, Švýcarsko, GB atd.) z let 2015 až 2019. Data byla agregována na úroveň průmyslových sektorů.

2.2 Dělení obchodních modelů a přiřazení zástupců

V rámci příspěvku je použito dělení obchodních modelů autorů Budský a Dvořák [3], kteří ve své publikaci z roku 2019 identifikovali devět typů obchodních modelů. Jsou jimi:

1. producenti výrobků s nízkou přidanou hodnotou,
2. retailoví obchodníci,
3. poskytovatelé služeb,
4. poskytovatelé infrastruktury,
5. producenti výrobků s vyšší přidanou hodnotou,
6. producenti nehmotných aktiv,
7. Network Orchestrators (správci a tvůrci sítí),
8. společnosti s více oddělenými obchodními modely,
9. technologické platformy (Big Tech).

K těmto business modelům bylo přiřazeno typické odvětví, které daný obchodním model využívá (viz Tab. 1). Odvětví byla vybírána tak, aby se jednalo o reprezentativního zástupce daného business modelu. Navíc se autor vyhýbal odvětvím, kde se nacházejí rozvíjející se společnosti, které ještě nedosáhly ve svém životním cyklu zralosti (například biotechnologie). Průmyslové odvětví „Auto Parts“ (výrobci automobilových dílů) bylo zvoleno z důvodu struktury České ekonomiky.

Tab. 1: Přiřazení odvětví k business modelu. Zdroj: [vlastní]

Business model	Odvětví
Producenti výrobků s nízkou přidanou hodnotou	Auto Parts; (automobilové díly)
Poskytovatelé služeb	Business & Consumer Services; (konzultační služby)
Producenti výrobků s vyšší přidanou hodnotou	Drugs (Pharmaceutical); (výroba léčiv)
Retailoví obchodníci	Retail (Grocery and Food); (prodejci potravin)
Producenti nehmotných aktiv	Software (System & Application); (vývojáři softwaru)
Poskytovatelé infrastruktury	Telecom. Services; (telekomunikační služby)

Vzhledem k charakteru použitých dat nelze přiřadit zástupce k obchodním modelům: Network Orchestrators, společnostem s více oddělenými obchodními modely a technologickým platformám. Je to způsobeno nemožností separace těchto obchodních modelů z podkladových dat. Navíc v případě obchodního modelu typu „technologická platforma“ (Big Tech), nemá Evropa na burze žádného zástupce. Tento obchodní model lze nalézt u společností Alphabet (Google), Apple, Microsoft, Amazon, Alibaba a Tencent.

2.3 Zpracování dat

Pro srovnání jednotlivých obchodních modelů byla u každého business modulu určena stejná výše kapitálu v hodnotě 1 000 milionů \$. Z investovaného kapitálu byly odvozeny tržby pomocí ukazatele Sales/Capital. Jedná se vždy o průměrnou výši ukazatele daného odvětví. Z výše tržeb byl následně vypočítán provozní zisk po zdanění (EBIT(1-TR)) za pomoci EBIT (provozní) marže upravené o vliv daní, leasingu a výdajů na výzkum a vývoj (After-tax Lease & R&D adj. Margin). Tento postup byl opakován

u všech obchodních modelů ve všech sledovaných letech. Vždy se použily příslušné ukazatele daného odvětví, které reprezentovalo určitý business model.

Z dat bylo následně vypočítané normalizované Free Cash Flow to the Firm (FCFF). Jelikož je cílem určit hodnotu současných aktiv bez růstu není potřeba provádět žádné reinvestice. Proto v tomto případě lze ztotožnit EBIT(1-TR) s FCFF. Normalizace FCFF byla provedena mocí váženého průměru:

$$FCFF_N = \frac{5 \cdot FCFF_{2019} + 4 \cdot FCFF_{2018} + 3 \cdot FCFF_{2017} + 2 \cdot FCFF_{2016} + 1 \cdot FCFF_{2015}}{15}, \quad (1)$$

kde $FCFF_N$ = normalizované FCFF

Normalizace tak dává vyšší váhu posledním výsledkům, ale zároveň omezuje jednorázové výkyvy. Na základě normalizovaných FCFF byla poté vypočítána současná hodnota aktiv na úrovni Enterprise Value (Value of Assets in Place to EV) dle vzorce:

$$VAP_{EV} = \frac{FCFF_N}{WACC}, \quad (2)$$

kde VAP_{EV} = současná hodnota aktiv na úrovni EV (Value of Assets in Place to EV)
 $FCFF_N$ = normalizované FCFF
 $WACC$ = průměrné vážené náklady kapitálu (Weighted Average Cost of Capital)

Jedná se o upravený Gordonův vzorec na podobu bez růstu. Jde vlastně o perpetuitu. Jako diskont poté slouží vážené náklady kapitálu z roku 2019. Opět byly použity průměrné hodnoty WACC příslušného odvětví.

Hodnota podniku (EV – Enterprise Value) zjištěná z burzovních dat byla určena jako multiplikátor EV/S z počátku roku 2020 (data k 5. 1. 2020) krát velikost tržeb v roce 2019.

Velikost růstové opce (Growth Option to EV) byla potom určena na základě vzorce:

$$GO_{EV} = \frac{EV_{Burza} - VAP_{EV}}{EV_{Burza}}, \quad (3)$$

kde GO_{EV} = hodnota Growth Option to EV (růstové opce)
 EV_{Burza} = Enterprise Value zjištěná pomocí burzovních dat
 VAP_{EV} = současná hodnota aktiv na úrovni EV (Value of Assets in Place to EV)

3 Výsledky

Výsledky výzkumné sondy ukazuje Tab. 2. Výsledky indikují, že business model ovlivňuje hodnotu podniku. I velikost růstové opce (Growth Option) se odvíjí od použitého business modelu tak, jak bylo předpokládáno.

Tab. 2: Výsledky průzkumné sondy. Zdroj: [vlastní]

Obchodní model	Současná hodnota aktiv na úrovni EV	Enterprise Value zjištěná z burzovních dat	Hodnota Growth Option to EV
Producenti výrobků s nízkou přidanou hodnotou	1 272,12 mil. \$	1 403,69 mil. \$	9 %
Poskytovatelé služeb	3 550,86 mil. \$	5 704,03 mil. \$	38 %
Producenti výrobků s vyšší přidanou hodnotou	1 544,35 mil. \$	2 519,93 mil. \$	39 %
Retailoví obchodníci	1 523,21 mil. \$	2 162,54 mil. \$	30 %

Obchodní model	Současná hodnota aktiv na úrovni EV	Enterprise Value zjištěná z burzovních dat	Hodnota Growth Option to EV
Producenti nehmotných aktiv	2 893,62 mil. \$	6 682,02 mil. \$	57 %
Poskytovatelé infrastruktury	2 174,13 mil. \$	1 861,01 mil. \$	-17 %

4 Omezení výzkumu a diskuze

Omezením výzkumu je prozatím rozsah zkoumaných dat. Výzkum byl proveden na omezeném vzorku dat, a proto nemohou být závěry zobecnovány. Byly také použity průměrné hodnoty odvětví. Do úvahy se musí vzít neznámé směrodatné odchylky a další skutečnosti, které ovlivňují hodnoty jednotlivých veličin použitých v rámci výzkumné sondy. Proto by bylo vhodné při rozsáhlejší výzkumu business modelů zpracovat přímo akciové indexy.

Na základě výsledků výzkumu nebyl nejspíše zvolen nejvhodnější reprezentant business modelu „poskytovatelé infrastruktury“, kde jako zástupce tohoto business modelu bylo zvoleno odvětví „Telecom. Services“ (telekomunikační služby). Záporná hodnota Growth Option (růstové opce) může být způsobena postupnou demokratizací trhu. (Tyto společnosti vlastní licence na rádiové spektrum, ve kterém poskytují hlasové služby a služby mobilního internetu.) Jedná se o silně regulované trhy, na kterých existuje společenský zájem s nástupem digitalizace snižovat ceny tarifů. Tento fakt se poté může projevit v očekávaném poklesu budoucí marže a tím i v nižší budoucí hodnotě společností v tomto odvětví. To nejspíše způsobuje zápornou hodnotu Growth Option. Otázkou je, zdali je to případ i dalších odvětví s business modelem „poskytovatelé infrastruktury“, jako jsou například vodovody a kanalizace nebo provozovatelé kolejí.

Závěr a nástin dalšího výzkumu

Na zkoumaném vzorku je patrné, že producenti nehmotných aktiv mají vyšší hodnotu i vyšší Growth Option než například producenti výrobků s nízkou přidanou hodnotou a retailoví obchodníci. To indikuje potvrzení hypotéz vyřčených v úvodu. Potvrzení obou hypotéz ale brání charakter výzkumné sondy. Pro potvrzení hypotéz je potřeba zpracovat rozsáhlejší vzorek dat včetně popisu statistických charakteristik. Problémem je i dělení business modelů do jednotlivých kategorií. Každá společnost má poměrně unikátní business model a jejich kategorizace bude vždy spjatá s určitou chybou. Bez agregovaných kategorií ale nelze business modely systematicky kvantitativně zkoumat a výzkum by se musel omezit jen na kvalitativní výzkumy typu Case Study nebo konceptuální a jiné teoreticky zaměřené výzkumy. Proto by bylo vhodné nadefinovat kategorizaci business modelů, která by byla přijata i dalšími autory, což ale převyšuje možnosti tohoto příspěvku. Výsledky ale zavádějí důvod se tématem dále podrobněji zabývat. Nicméně cíl příspěvku – indikativně prověřit hypotézy „Moderní obchodní modely typu producenti nehmotných aktiv nebo Network Orchestrators mají při stejné výši kapitálu vyšší hodnotu než zástupci tradičních obchodních modelů typu producenti výrobků s nízkou přidanou hodnotou, retailoví obchodníci nebo poskytovatelé služeb.“ a „Vyšší dosažená hodnota je způsobena většími růstovými příležitostmi moderních obchodních modelů pracujících s téměř nulovými mezními náklady (marginal costs).“ byl v rámci výzkumu splněn.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS19/106/OHK2/2T/12.

Prameny

1. AMIT, Raphael., ZOTT, Christoph., & MASSA, L.. The business model: recent developments and future research. *Journal of Management*, 2011, **37**(4), 1019-1042.
2. BERGER, Benedikt a Thomas HESS. The Convergence of Content and Commerce: Exploring a New Type of Business Model. *Twenty-first Americas Conference on Information Systems*, Puerto Rico, 2015.
3. BUDSKÝ, Patrik a Jan DVOŘÁK. Value Creation – 10 Years of Evolution Across Industries and Business Models. In: JINDŘICHOVSKÁ, Irena a Bruce DEHNING. *Global Rules and Local Use – Beyond the Numbers* [online]. 1. Praha: Metropolitan University Prague Press a Anglo-American University, 2019, 210 - 218 [cit. 2019-12-09]. ISBN 978-80-87956-96-0. Dostupné z: <https://www.mup.cz/data/files/2019-IFRS-conference-proceedings-v5.pdf>
4. "Business 2010: Embracing the Challenge of Change," white paper, *Economist Intelligence Unit*, New York, February 2005, p. 9.
5. HEDMAN, Jonas and Thomas KALLING. "The business model concept: theoretical underpinnings and empirical illustrations." *European journal of information systems* **12**(1), 2003, 49-59.
6. JONES, G. M.. Educators, Electrons, and Business Models: A Problem in Synthesis. *Accounting Review*, 1960, **35**(4), 619-626.
7. LAI, Richard; WEILL, Peter; MALONE, Thomas. Do business models matter. 2006, 1-35.
8. LEWIS, Michael. *The New Thing: A Silicon Valley Story*, W. W. Norton & Company Publishers, 2014.
9. LI, Xuerong; QIAO, Han; WANG, Shouyang. Exploring evolution and emerging trends in business model study: a co-citation analysis. *Scientometrics*, 2017, **111**.2: 869-887.
10. MAGRETTA, J. Why business models matter. *Harvard business review*, 2002, **80**.5: 86-92, 133.
11. MALONE, Thomas W., et al. Do Some Business Models Perform Better than Others?. 2006.
12. OSTERWALDER, Alexander. *The business model ontology a proposition in a design science approach*. 2004. PhD Thesis. Université de Lausanne, Faculté des hautes études commerciales.
13. OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves; TUCCI, Christopher. Clarifying business models: origins, present, and future of the concept. *Communications of the association for Information Systems*, 2005, **16**(1), 1-25.
14. POHLE G. and M. Chapman, "IBM's Global CEO Report 2006: Business Model Innovation Matters," *Strategy & Leadership*, 2006, **34**(5), 34-40.
15. RAPPA, Michael. Business Models on the Web: Managing the Digital Enterprise. 2004.
16. RIBAUDO, William. Technology is Changing How We View Industry, Value Companies, and Develop Strategy. *SNS Subscriber edition* [online]. 2016, **21**(16), [View. 2019-03-08]. ISSN 1093-8494. Available from: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/risk/us-ers-global-report-on-technology-and-the-economy.pdf>

Kontaktní údaje

Patrik Budský

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

Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2 – Nové Město

+420 224 355 791

patrik.budsky@cvut.cz

INSIGHT INTO THE CREATIVE ECONOMY'S SIGNIFICANCE

Olga Dobrovolschi

Abstract

The rise of the creative economy is reflective due to the shift from economies based on the production of goods to economies based on the provision of services. The Creative and Cultural Industries constitute one of the fastest-growing sectors globally and are set to become an increasingly important contributor to GDP growth. This article's aim is to appeal management of industrial companies to take discussion of the Creative Industries focusing on the role as well as the technological innovations within creative organizations. Main purpose is to explore the topics in the literature to inform with a more detailed understanding of the sector.

Key words: creative economy, creative industries, innovations, creativity, business model

Introduction

In the context of globalization as important source of economic development are increasingly acknowledged creative sectors. Step by step it developed big interest to innovative sectors and other industries and the topic has been strongly reflected in the recent years by economics mainly in EU countries. With the rise of creative economy, reflected in a significant way within the global economy, an unexpected big change appeared as transformation in industrial societies [1]. Developed countries all over the world have started to transition into new format of work where information and knowledge are the most important driver of economic growth. In brief, that means that from an economy solely based on the production of goods we lead to an economy significantly fueled by ideas and innovation. As the result of this transformations we can confirm the following issue: the role of creativity in shaping and fueling that growth can no longer be ignored.

Current project's aim is to introduce interested parts into the topic of importance of Creative Industries and its economic impact. Main body of paper starts with exploring the main concepts, definition of creative class and creative cities. This paper is a brief summary of a literature review connected to project, the purpose of which is to determine the correct links between the content of creative media and the degree of digitization of modern technologies associated with the term Industry 4.0 by economic and structural analysis. As own innovative activities are a key driver for supporting Innovation, one part of the literature review is dedicated for an analysis of Business Models literature applied to the Creative Industries to identify level of studying this tool within the CCIs.

Concerning about the actual status of research we can state that it is on relatively high level as the topic is getting better estimated as relevant inside of number of organizations in Czech Republic. In cooperation with Ministry of Culture are developing projects that deal with the analysis of opportunities and definition of potential goals for the industry. A detailed overview of actual projects running by Czech enterprises will be a part of further research.

1 Key Concepts

In this chapter we are focusing to describe basic concepts related to the research field. As a first part will be described Creative economy in general, and its mention in the literature. The next part provides fundamentals of Cultural and Creative Industries targeting to its consequences to society, meaning the process of defining creative class and further – creative cities.

1.1 What is the Creative Economy?

The creative economy concept has emerged as a means of focusing attention on the role of creativity as a force in contemporary economic life. The term first appeared in John Howkins' 2001 book, *The Creative Economy: How People Make Money From Ideas*, where he defined the creative economy as *"the transactions of creative products that have an economic good or service that results from creativity and has economic value"*. Author demonstrates how economy and society have been changing and believes that the creative economy will be the predominant form of economy in the 21st century. In detail is described the relationship between creativity and the economy, the formation and development of the creative sector in the new economy based on intellectual resources [2].

For the United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), **the creative economy is an evolving concept based on creative assets potentially generating economic growth and development** [3]. It can foster income generation, job creation and export earnings while promoting social inclusion, cultural diversity and human development, at the same time embracing economic, cultural and social aspects interacting with technology, intellectual property and tourism objectives. As a heart of the creative economy are considered Creative Industries that are feasible development option for innovation, multidisciplinary policy responses and inter-ministerial action.

In order to clarify development of creative economy indicators, it is important to establish when the discourse concerning the creative economy emerged and examine how it has developed, in addition to its accompanying interpretive horizon [4]. Fig. 1 provides an overall synthesis of the general evolution of the creative economy.

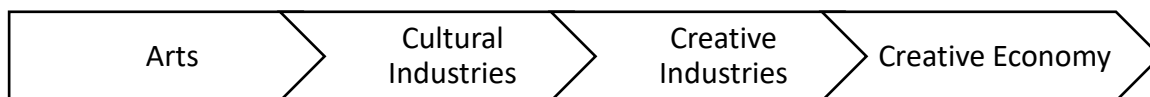


Fig. 1: Evolution of the Creative Economy. Reference: [own]

1.2 Cultural and Creative Industries

For the majority word combination Creative Industries is still a something slow-witted due to its novelty. The term Creative Industries have different meanings and uses throughout the world that confuses researchers more and more day by day. In its broadest sense it is used to refer to all the industries that generate copyright, patents and trademarks, then in other review it is used to refer only to such industries that produce creative and artistic content [5].

The concept of Creative Industries has its origins in the UK with Tony Blair New Labour's government of the late Nineties. A true interest for the topic was raised with Adorno and Horkheimer's (1947) discussion upon *"the culture industry"*, which later evolved in the plural form of *"cultural industries"* and, lastly, *"Creative Industries"* [6]. While first state definition of Creative Industries appears in DCMS 1998 template and was formulated as: **"Creative Industries" is a new analytic definition of the industrial components of the economy in which creativity is an input and content or intellectual property is the output** [7]. Nowadays it is the most accepted definition at an international level.

According to UNESCO, the term *"cultural industry"* applies to those industries that combine the creation, production and marketing of content that is by nature cultural and intangible. Content is protected by intellectual property rights and can take the form of goods and services [8]. Diversity of the definitions makes comparisons difficult, both within countries and internationally. The lack of an agreed framework for researchers to follow leads to widely varying estimates on the scale of the sector.

Creative Industries (CI) is a wider definition than cultural industries that extends to include the ostensibly commercial fields of architecture, advertising, video games, software, and R&D Florida's

[2002] occupation rather than industry-based classification goes further still to include all problem-solving work, thus further including broadly the white-collar as well as the no-collar workforce [9]. A more extensive literature review on the topic of CIs was published by Professor Justin O'Connor (2010) and linked the debate around earlier Adorno and Horkheimer's "culture industry" studies to the evolution of technological reproduction. According to O'Connor, stages of technological reproduction started with the minting of coins in the age of antiquity, along with other artisan and artistic reproduction of three-dimensional artifacts [10].

Later creative economy has spread around the world and international organizations, such as UNESCO and UNCTAD started to underline the importance of a sustainable strategy built on creative economy. To be more specific in report is mentioned "culture is a driver and enabler of economic, social and environmental development" which in a small way makes emphasis of the topic's significance [11]. Australian art economist David Throsby contributed to the theoretical debate, suggesting a traditional concentric circle model of the cultural industries that has been widely adopted over the years [12, 13].

Another interesting model was the one proposed by NESTA composed a model which better suites the complex ecosystem of the Creative Industries because Creative Industries are segmented in four different areas: creative service providers, creative content producers, creative experience providers and creative originals producers. Authors of the NESTA report did not mention the words "Business Model" or "value proposition", nor other blocks from the BM terminology. Indeed, the four sectors implicitly shared many ideas that have been defined throughout the debate on business modeling theory [14]. In the Tab.1. a classification proposed by Czech Institute for Digital Economy is presented, where activities are established to four main sectors.

Tab. 1: Cultural and Creative Industries by Institute for Digital Economy. Reference: [15]

Sector	Activities
<i>Media</i>	cinema, video, TV, radio, animation, games, intermedia, visual arts, light design, photography, advertisement, publishing (print and digital), digital content platforms
<i>Creative crafts</i>	architecture, design (fashion, product, industrial), art handicrafts, gastronomy
<i>Performing arts</i>	music, theatre, dance, intermedia performance
<i>Creative memory</i>	museums, galleries, libraries, archives, digital archives

1.3 Creative Class and Creative City

It was Richard Florida who introduced the term "creative class" into active use, referring to them representatives of various professions, containing creative and intellectual principles as a basis. He described how representatives of the creative class today are taking the lead and taking leading positions in various areas of life. The author showed how technology, companies and venture capital are moving today to places with a greater concentration of talented and creative people [9].

For a city to attract the creative class, Florida argues "it must possess "the three T's: **Talent** (a highly talented/educated/skilled population), **Tolerance** (a diverse community, which has a 'live and let live' ethos), and **Technology** (the technological infrastructure necessary to fuel an entrepreneurial culture)." In Rise of the Creative Class, Florida argues that "*members of the creative class value meritocracy, diversity and individuality, and look for these characteristics when they relocate.*" The Fig.2 below illustrates the intersection points of the three T's and core values. According to the UNESCO Creative Cities Network, a key ingredient is the creation of public/private partnerships that help unlock the entrepreneurial and creative potential of small enterprises, which play an important role in the new economy [11].

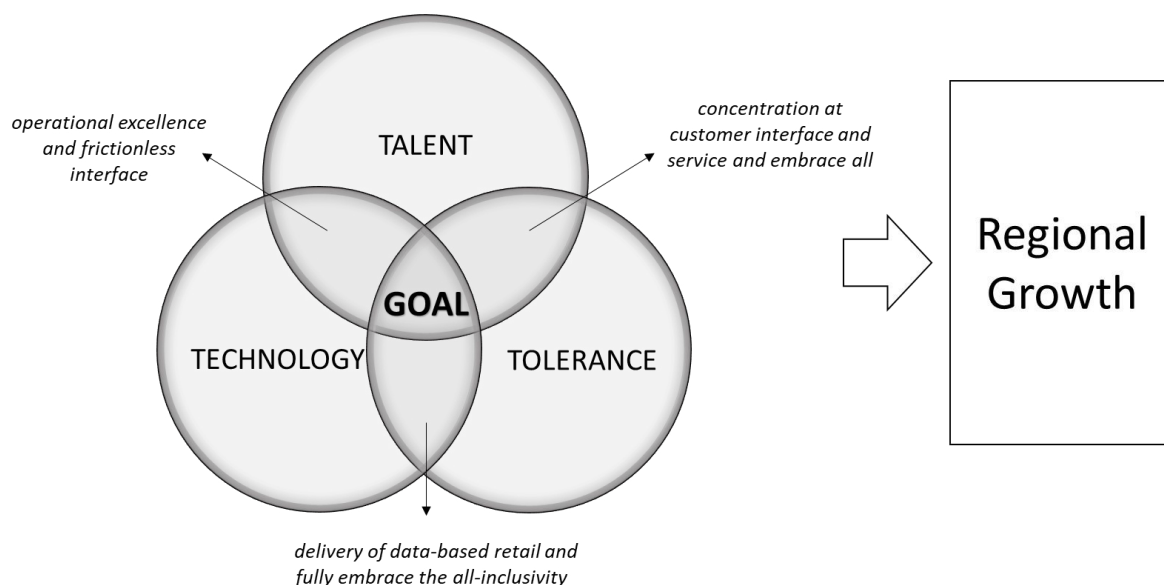


Fig. 2: The three T's and Core Values. Reference: [own]

In general, XXI century becomes the century of cities. The book of the leading British expert on urban development Charles Landry answers the question - how to make our cities the place where you want to live and spend time? It links to examples of successful world application of urban practices and is intended to familiarize with the main ways and possibilities of changing the urban environment from the production sphere to the sphere of cultural development. The author writes about the transformation of urban space using the potential of the creative class and the role of cultural innovation in urbanism [16].

2 Measuring Creativity

The Cultural and Creative Industries (CCI) are one of the world's most rapidly growing economic sectors. The sector provides 29.5 million jobs globally, and with a global revenue of 2,250 billion \$US. The first attempt to measure the value of the Creative Industries was in 1997 by newly elected Labour government in the UK. The first decade of the 21st century was marked by changes in the involvement of culture in economic development. Discussions on culture and development came to the fore in economic and political debates in 2005 with the publication of a report by the UNESCO World Commission on Culture and Culture.

Scientific and political interest in the potential of culture within the context of a "creative economy" is somewhat fed by two relatively distinct fields of study which differ, firstly, by the type of activities considered [17]. Transcending the conflicting dialectic between artistic creation and the economic value of this creativity is justified by an explosion of the cultural and media markets. In this mindset, attention is paid to the forms of production and cultural diffusion resulting from the development of information and communications technologies (ICT): digital arts, interactive media (video games, online museums, online learning with cultural content, etc.). The impact of the digital economy and information services on the growth of the global economy continues to draw attention. The field of observation is that of cultural activities and structures issuing from the cultural domain itself, according to the traditional perimeter defined by cultural politics and institutional surveys. According to the definition used by UNESCO, cultural industries are those that involve the creation, production and marketing of creative and immaterial contents of a cultural nature protected by copyright which can be related to a good or service [11].

2.1 Business Models

Creative Industries have been considered as highly innovative sectors, and in recent times, its management seems to have been reshaped by the influence of information and communication technology. A lot of factors, as the challenges of globalization, the opportunities of digitization, have already pushed the creative sectors to develop and implement new approaches and new business models. The entire digital revolution has been, indeed, a story of intellectual creativity that involved many disruptive knowledge workers [9, 18]. Number of processes have changed business models in Creative Industries and that encourages us to identify in future research incoming ways of creating business. This part of article discusses briefly business models innovation caused by digital technologies and describes radically new ways of doing business that have being developed in creative economy.

The roots of Business Model concept go to early 2000s and for the space of last twenty years numerous literature reviews on this subject appeared. The whole historical overview of different ways for describing the Business Models concept is not the main target of this paper but we will try to focus on the most significant references. The biggest contribution on the themes of business strategy and innovations were performed by Joseph Schumpeter [19]. The words “business model” were firstly introduced in an article only in 1957 and in almost twenty years Richard Normann mentioned in a modest way management [20, 21]. Generally, the concept of Business Modeling is computed as relatively young.

At the end of XX century, within the development of Internet Industry, topic begun to be analyzed again. In these times definitions such as “New business models”, “e-business models”, “Internet business models” started to be commonly used. In the process of looking for a clear and understandable definition a lot of scholars were involved. In 2001 Porter wrote an important sentence on the Business Model that contributed a lot to the topic: “[an] invitation for faulty thinking and self-delusion” [22]. Later, Osterwalder suggested a layered structure including an upper level made by strategy and a lower level for the processes with the BM level in the middle of both. In Osterwalder’s mind the BM layer would merge the two levels together along with technology. The general scheme should have resulted in a triangular model [23].

Nowadays, all appropriate studies tent to a statement that in every organization and project is used Business Modeling, which is incontestable from our point of view. New sectors, including Cultural and Creative Industries, are up to any changes and updated in Business Model Innovation, mainly of the reason that the way of doing business is changes nowadays with regards to big challenges brought to technology world by Industry 4. implementation. In mentioned above new sectors we can clearly observe intersection of IT and economics, that sets engineers to review used methodologies and develop new models considering objectives of Creative Industries and its contribution to society in general. Most of the studies revealed that the Business Model within the CIs is mostly studied in certain specific industries, for example digital images, software, videos, songs, articles, novels and other contents that can be distributed over the Internet. During literature review a first notice made is that less studied industries such as (software, galleries, museums) should be better analyzed with further investigations of Business Models within Creative Industries. In order to create a common successful Creative Industries Business Model there will be done a wider literature analysis, as the topic is relatively new and not well known for all the researchers.

2.2 Role and Contribution of Creative Industries

The Creative Industries represent untapped economic potential and make a positive contribution to the innovation economy and other sectors of the economy through supply chain effects. In a research provided by Centre for European Economic Research from the analysis of more than 2000 Creative Industry enterprises from Austria is shown that the Creative Industries are among the most

innovative sectors in the economy nowadays [24]. Survey results present the amount of novel product innovations conducted by creative efforts and state their importance for contributing in the wider economy. While mentioning cooperation among industries it is necessary to underline the role of networking among creative enterprises, that means to purchase creative input from other creative enterprises and to develop, produce and deliver products and services.

Unconditionally, Creative Industries has quite a meaningful contribution to GDP of each country and this work is going to be focused on economic contribution of it. There are many profitable businesses operating in this competitive sector, using appropriate technology, that covers the whole province and makes a valuable contribution to GDP.

A well-known thing is that by creativity and its expressions is equally available to any country in the world. For smaller and developed countries an effective recruitment of creativity holds a competitive advantage in the global marketplace, at the same increasing importance in the postindustrial knowledge economy. As a result of scientific literature analysis there was defined an underdeveloped area of scientific interest, which is the impact of CI on national economy. In the greatest number of publications are used three main indicators allowing evaluation of the CIs impact on national economy. The following areas: Fighting unemployment, Value added part in GDP, Foreign trade, gather significantly more attention and are of a wider nature, being able to contain some narrower indicators within [25]. In 2014 a study published by L. Benzoni confirms the importance of the creative sector for Europe, representing 6.8 % of European GDP (approximately €860 billion) and 6.5% of European employment (approximately 14 million) [26].

Regarding economic contribution of the Creative Industries to EU GDP and employment the first report was published in March 2010, based on 2008 data – “Building a Digital Economy: The Importance of Saving Jobs in the EU’s Creative Industries” [23]. The new report published by TERA Consultant proposed an update covering the period from 2008 to 2011, year for which Eurostat statistics are available since the end of 2013. During this period, EU countries have faced a major economic and financial crisis. Key findings are the followings:

1. In 2011, the core Creative Industries in the 27 countries of the EU generate €558 billion in value added to GDP, approximately 4.4% of total European GDP.
2. The value added by the total Creative Industries (core Creative Industries plus non-core Creative Industries) is approximately €860 billion, representing a 6.8% share of GDP.

Another work from the year 2018 published by Rafael Boix-Domènech and Pau Rausell-Köster analyzed the economic impact of the Creative Industry in the European Union, differentiating between direct and total effects [26]. One of the conclusions made by authors the direct contribution of the creative manufacturing industries is relatively small. The direct contribution of the creative manufacturing industries does not exceed 1% of the GDP and 1.6% of the employment.

However, the Creative Industries not only have direct effects but also generate spillovers that affect the rest of the European economy through indirect, induced and evolutionary mechanisms. These mechanisms include supply and demand effects on production growth, and, indirect effects related to the capacity of the Creative Industries to create technical progress and modify the evolutionary growth path of the economy. Later research using more robust theoretical models and controlling the specification biases has proven that the response elasticities would be in a range of between 4 and 13%, which continues to be a high impact and deserves the attention of economic policies [25, 26]. In future research we will focus on contribution of the CIs divided by the contribution of all industries, in terms of value added and of employment, in the economy of Czech Republic and other EU countries.

Conclusion

As a conclusion, we would like to emphasize a general definition of the CI: it creates jobs and wealth by employing personal skill, talent and creativity. We can reach the higher economic success targeting to social and cultural goals. Creative Industry has become a postindustrial knowledge-based economy. This review has indicated key concepts of CI and its impact on economics, but there are, however, barriers to the development of creativity in modern society and engineering industries. As a good start to minimize risks can be implementation of a strong support such as trusting relationship between children and teachers as a necessary condition for creative acts. Access to a range of technologies to support creative practices is important and sizeable government resources have been given to support the development of ICT in schools, libraries, museums and community spaces. Teachers need not only access to technologies, but also a framework to promote understanding and confidence in their own creative teaching practice and professional development.

It is important to note that digital technologies make nowadays the greatest support to create new ideas in almost all sectors. Not all of us can be taught to be creative, but if we concentrate on a specific group of educated stakeholders in each organization and support them in their ideas to make it real, we will contribute to the raise of GDP and economic indexes in all regions. From our point of view societies and cultures should have the ability to both enhance and detract from creativity. Through the identification of the value of culture and creation, both as cultural expression as well as its contribution to the economy or region will give the greater visibility to the sector. CI impact on national economy might be measured by its role in fighting unemployment, contributing to GDP and foreign trade amongst other indicators. As a result, it is obvious that as new sector provides new employment opportunities and it is extremely necessary to create common definitions and methodologies. Trends in cultural consumption and infrastructure provide the context for future development.

One of the parts of future research is considered to develop a strategic framework for design and innovation skills to ensure continuous product innovation, as now these resources are under-utilized. The study will be targeting to emphasize the importance of improving access to resources to upgrade product quality and production efficiencies. Engineering companies are the first who can contribute a lot in identification of the institutions that are able to support the growth of the sector, as well as the role-players within the creative sector as well as the stakeholders in the creative community. We believe that purposing in stimulation of organizations of individuals & companies of the creative and cultural sectors will persuade others in their recognition, positioning & empowerment as an economically important sector.

As another significant gap in studied literature remains a well-established model to quantify effects of creative and cultural industries, its benefits and impacts on the development of the economy and society. Analysis and research of cross innovations and spillover effects mechanisms is part of the following research. We see as an opportunity for own solution the development of a new analytical tool to support the updating and design of a strategy for the development and support of the cultural and creative industries, which will be based on the concept of added value. Another opportunity is the development of a process for correctly identifying digital content that brings the greatest value to business and industry.

This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS19/106/OHK2/2T/12 - Analysis of changes in business models in the digitized and automated economy.

References

1. KEA & PPMI 2019, Research for CULT Committee – Culture and creative sectors in the European Union key future developments, challenges and opportunities, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels
2. HOWKINS, J. (2001): *The creative economy: How people make money from ideas*. London: Penguin Books, 2001. ISBN-10 : 0141977035
3. UNCTAD, UNDP. "Creative Economy Report: A Feasible Development Option." (2010).
4. ROY-VALEX, M. (2010). *Ville attractive, ville créative : la plus-value de la culture au regard des « créatifs » du jeu vidéo à Montréal*, Thèse de doctorat, Montréal, Institut national de la recherche scientifique, Centre – Urbanisation Culture Société.
5. *Four types of intellectual property to protect your idea and how to use them*. Patent Attorney - Orange County - OC Patent Lawyer. Patent Attorney - Orange County, CA - OC Patent Lawyer .
6. HORKHEIMER, M., ADORNO, T. W., & KELLERMANN, R. (2015). *Kulturindustrie: Aufklärung als Massenbetrug*. Reclam. ISBN-10 : 3150192730
7. DCMS [1998], *Creative Industries Mapping Document*, DCMS, London.
8. UNDP/UNCTAD (2010). *Creative Economy Report 2010: Creative Economy: A Feasible Development Option*. New York: UN. Accessed in June 2011. http://unctad.org/en/docs/ditctab20103_en.pdf
9. FLORIDA, Richard. *Cities and the creative class* [online]. Routledge, 2005. ISBN 9780415948869; 041594886X;.
10. O'Connor, Justin. *The cultural and creative industries: a literature review*. Creativity, Culture and Education, 2010.
11. UNESCO-UIS (2009). *The 2009 UNESCO Framework for Cultural Statistics (FCS 2009)*. Montreal: UNESCO Institute for Statistics. Accessed in June 2011.
12. THROSBY, David. *Economics and Culture* [online]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000;2005;. ISBN 9780521584067;9780521586399;0521586399;052158406X;.
13. THROSBY, David. *Development Strategies for Pacific Island Economies: Is There a Role for the Cultural Industries?*. Asia & the Pacific Policy Studies. 2015, vol. 2, no. 2, s. 370-382. ISSN 2050-2680.
14. NESTA. (2006). *Creating growth: How the UK can develop world class creative businesses*.
15. IDE | Institut pro digitální ekonomiku. IDE | Institut pro digitální ekonomiku [online]. Available from: <http://www.digitalniekonomika.cz/en/creative-industries>
16. LANDRY C. (2000) *The Creative City: A Toolkit for Urban Innovators*. London: Earthscan. ISBN-13 : 978-1844075980
17. LIEFOOGHE, C. (2010). «Économie créative et développement des territoires : enjeux et perspectives de recherche». *Innovations*, 1.31, 181-197.
18. Friedman, Walter A., and Geoffrey Jones. "Creative Industries in History." *The Business History Review* 85, no. 2 (2011): 237-44. Accessed September 21, 2020. <http://www.jstor.org/stable/41301390>.
19. Amit, Raphael, and Christoph Zott. "Value Creation in E-Business." *Strategic Management Journal* 22, no. 6/7 (2001): 493-520. Accessed September 21, 2020. <http://www.jstor.org/stable/3094318>.
20. DASILVA, Carlos M. a Peter TRKMAN. *Business Model: What It Is and What It Is Not. Long Range Planning*. 2014, vol. 47, no. 6, s. 379-389. ISSN 0024-6301.
21. Normann, Richard. "Management and Statesmanship." *International Studies of Management & Organization* 7, no. 3/4 (1977): 20-36. Accessed September 21, 2020. <http://www.jstor.org/stable/40396819>.

22. PORTER, M.E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York: Free Press. ISBN-13 : 978-0684841472
23. OSTERWALDER, Alexander, Yves PIGNEUR a Christopher L. TUCCI. Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept. *Communications of the Association for Information Systems*. 2005, vol. 16. ISSN 1529-3181.
24. The Role of Creative Industries in Industrial Innovation - Free Download PDF. SILO of research documents [online]. Dostupné z: <https://silo.tips/download/the-role-of-creative-industries-in-industrial-innovation>
25. DAUBARAITE, U., & STARTIENE, G. (2015). *Creative industries impact on national economy in regard to sub-sectors*. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 213, 129-134.
26. The Economic Contribution of the Creative Industries to the EU in terms of GDP and Jobs | FUTURIUM | European Commission. European Commission | Choose your language | Choisir une langue | Wählen Sie eine Sprache [online]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/economic-contribution-creative-industries-eu-terms-gdp-and-jobs>

Contacts

Jméno: Ing. Olga Dobrovolschi

Pracoviště: Ústav řízení a ekonomiky podniku, Fakulta Strojní, ČVUT v Praze

Adresa: Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2, Česká republika

E-mail: olga.dobrovolschi@fs.cvut.cz

DYNAMICKÁ ANALÝZA OZUBENÝCH PŘEVODŮ

DYNAMIC ANALYSIS OF SPUR GEARS

Jan Flek, Josef Kolář, Martin Dub

Abstrakt

Obsah tohoto příspěvku je zaměřen na problematiku torzní dynamiky ozubení, vliv časově proměnlivé tuhosti zubů v záběru a výrobní nepřesnosti (úchytky převodového poměru), jakožto vnitřních budících účinků, které mají vliv na celkové výsledky frekvenční analýzy. Časově proměnlivá tuhost ozubení, která je stěžejním zdrojem buzení převodové soustavy byla popsána teoretickými vztahy, jež byly identifikovány a porovnány s MKP simulačním modelem.

Klíčová slova: dynamická analýza převodu, frekvenční analýza, tuhost ozubení, kinematická úchytky převodu, MKP analýza

Abstract

The content of this text deals with the torsional dynamics of gearing, the effect of time-varying meshing stiffness of teeth in engagement and manufacturing inaccuracy (gear ratio deviations), as internal excitation effects that affect the overall results of frequency analysis. The time-varying stiffness of the gears, which is the main source of excitation of the transmission system, was described by theoretical relationships, which were identified and compared with the FEM simulation model.

Key words: dynamic analysis of gear, frequency analysis, stiffness of gear, transmission error, FEM analysis

Úvod

V dnešní době je v oblasti problematiky ozubených kol důležité kromě respektování vysoké výrobní kázně především sledování a vyhodnocování jejich dynamického chování, potažmo frekvenčního spektra již při návrhu. To se děje hlavně za účelem co nejnižších hlukových emisí či identifikaci poškození převodového uzlu, kterému se snažíme předejít v budoucím provozu.

Téma dynamické analýzy ozubených převodů dává možnost zabývat se ozubenými koly z hlediska jejich provozu, kde na pastorky a kola, která jsou ve společném záběru, nahlížíme i z pohledu vlastních frekvencí. Dokážeme vizualizovat vliv geometrie kol a jejich zubů i „chybových“ veličin, pod kterými si můžeme představit různé výrobní nepřesnosti či únavové poškození zubů, např. trhliny v patě zubů a následně můžeme tato data vyhodnocovat.

Dosavadním cílem bylo zaměření na teoretická východiska, čerpaná ze světové i domácí technické literatury, týkající se dynamického modelování torzních kmitů, modelování tuhosti ozubení a kinematické úchytky převodového poměru. Součástí prozatímních závěrů je analýza ozubených kol v záběru, která byla provedena pomocí analýzy metodou konečných prvků (MKP) a slouží pro identifikaci tuhosti ozubení a možné porovnání s teoretickým modelem, kterým je simulováno časově proměnlivé střídání zubů v průběhu záběru.

1 Teoretická východiska

V této kapitole jsou shrnuty zásadní teoretické nástroje, výpočtové vztahy a poznámky, díky kterým je možné následně přistoupit k modelování dynamického chování ozubených kol.

1.1 Torzní kmitání dynamické soustavy a analýza vlastních frekvencí

Za účelem popisu dynamického chování je zapotřebí sestavit dynamické rovnice rovnováhy metodou uvolňování nebo pomocí Lagrangeových rovnic druhého druhu, popřípadě smíšeného typu. Řešením takových rovnic získáme průběhy výchylek, rychlostí či zrychlení mechanické soustavy (ozubeného převodu).

Vzniklou soustavu lze zapsat v obecné symbolické formě – rovnicí (1). [4]

$$M\ddot{\varphi} + K\varphi = f(t), \quad (1)$$

kde M = matice hmotnosti
 K = matice tuhosti
 φ = vektor úhlových výchylek
 $f(t)$ = vektor vnějšího zatížení

Problematicku vlastních frekvencí lze vyřešit pomocí modálního rozkladu (platí pro lineární systémy), nebo frekvenční analýzou, která je založena na teorii Fourierovy transformace (platí pro nelineární systémy). V tomto případě byla využita druhá varianta, tedy frekvenční analýza, která rozkládá kmitavý pohyb do frekvenčních složek. Výsledkem jsou frekvenční spektra, jejichž jednotlivé složky, tzv. harmonické, jsou charakterizovány kmitočtem a amplitudou.

1.2 Dynamika ozubení

V moderním pojetí se na problematiku dynamických zatížení ozubených kol nahlíží jako na ustálená kmitání dynamické soustavy, buzené periodickou změnou tuhosti ozubení a jeho kinematickými úchyly. [5] Pod tím si lze představit zuby o určité tuhosti v záběru, které jsou vlivem rotace ozubených kol vystavovány střídavému kontaktu v párech. V případě přímého ozubení se střídají jeden a dva páry zubů v záběru. U šikmého ozubení jsou to dva a tři páry v záběru. Dále jsou dynamické vlastnosti ozubených kol značně ovlivněny výrobní technologií, tedy rozměrovými úchyly a výškovou modifikací ozubení. Tyto úchyly se simulují vsouváním fiktivního klínu o šířce $\Delta(t)$ mezi ideální evolventní boky zubů. [1]

Tuhost jednoho páru zubů závisí především na počtu zubů pastorku a kola, úhlu záběru a korekcích ozubení. Experimentálně stanovený vzorec pro výpočet jednopárové tuhosti je dán empirickým vztahem (2). [2]

$$\frac{1}{c'} = C_1 + \frac{C_2}{z_1} + \frac{C_3}{z_2} - C_4 \cdot x_1 - C_5 \cdot \frac{x_1}{z_1} - C_6 \cdot x_2 - C_7 \cdot \frac{x_2}{z_2} + C_8 \cdot x_1^2 + C_9 \cdot x_2^2, \quad (2)$$

kde z_1 = počet zubů pastorku
 z_2 = počet zubů kola
 x_1 = jednotková korekce pastorku
 x_2 = jednotková korekce kola

Jednotlivé konstanty jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Konstanty pro výpočet jednopárové tuhosti. Zdroj [2]

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
0,04723	0,15551	0,25791	0,00635	0,11654	0,00193	0,24188	0,00529	0,00182

Tuhost dvou párů zubů se pro výpočty obchází zavedením pojmu záběrová tuhost, která se přibližuje hodnotám dvoupárové tuhosti a je dána empirickým vztahem (3). [5]

$$c_\gamma = c' \cdot (0,75 \cdot \varepsilon_\alpha + 0,25), \quad (3)$$

kde c' = jednopárová tuhost
 ε_α = součinitel záběru

Periodicita střídání těchto tuhostí je dána Fourierovou řadou a lze ji zapsat v obecném tvaru rovnici (4). [3]

$$k(t) = k_0 + \sum_{n=1}^{\infty} k_n \cdot \cos n\omega t, \quad (4)$$

kde k_0 = střední hodnota z tuhostí jednoho a dvou párů zubů
 k_n = amplituda tuhosti závislá na n násobku zubové frekvence ω
 ω = zubová frekvence

Kinematická úchylka převodového poměru je pro výpočty modelována dle jednoho z možných vztahů (5). [6]

$$\Delta(t) = \Delta \sin(\omega t), \quad (5)$$

kde Δ = chybová amplituda
 ω = zubová frekvence
 t = čas

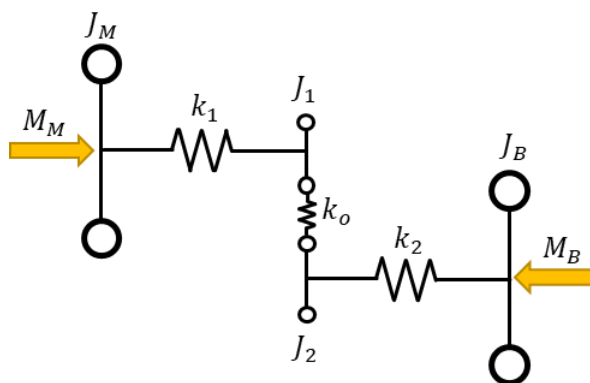
2 Simulační výpočet a MKP analýza

Na základě nastíněných teoretických východisek byl proveden simulační výpočet v softwaru Matlab, díky němuž byly získány časové průběhy kmitající soustavy (převodu), z nichž bylo možné získat informace o frekvencích simulované soustavy.

Následně byl vytvořen model zubového záběru, který posloužil pro MKP analýzu tuhostí zubů během jejich odvalu. Výsledkem je tedy průběh torzní periodické tuhosti ozubení, který posloužil pro porovnání teoretických a empirických vztahů se simulačně ověřenými průběhy tuhostí.

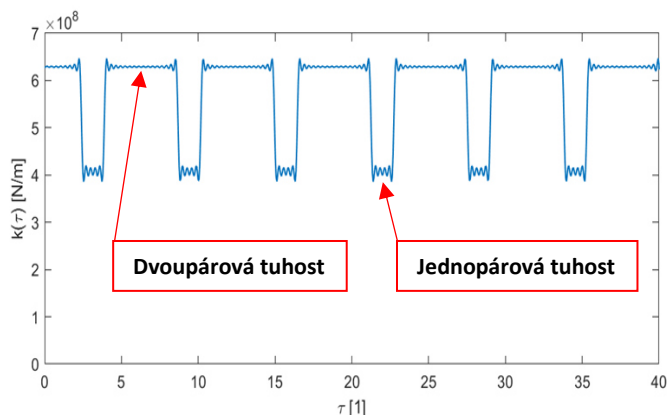
2.1 Dynamický model a frekvenční analýza

Pro názornou ukázkou modelování dynamické soustavy převodu byl vybrán model jednostupňové převodovky, který zahrnuje pouze tuhost samotného ozubení a je schematicky zobrazen na Obr. 1.



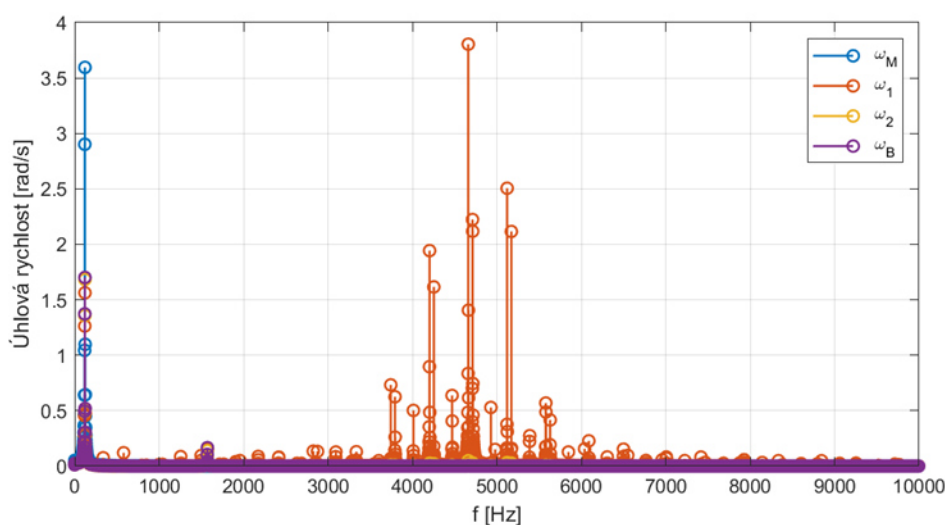
Obr. 1: Dynamický model jednostupňové převodovky s uvažováním tuhosti ozubení

Dynamické rovnice vycházejí z obecných rovnic (1), ve kterých figuruje kromě tuhosti spojky k_1 a tuhosti výstupního hřídele k_2 , též periodická tuhost ozubení k_o , která byla modelována pomocí vztahů (2), (3) a (4). Střídání průběhu jednopárové a dvoupárové tuhosti během odvalu lze vidět na Obr. 2.



Obr. 2: Tuhost ozubení reprezentovaná Fourierovou řadou

Pomocí Fourierovy transformace byla provedena tzv. frekvenční analýza, která spočívá v převodu výsledného časového průběhu kmitání soustavy do frekvenční oblasti. Výsledky frekvenční analýzy jsou zobrazeny na Obr. 3.



Obr. 3: Fourierova amplitudo-frekvenční charakteristika (z úhlových rychlostí)

Z Obr. 3. je možné odečíst vlastní frekvence převodové soustavy, které dosahují hodnot: 122 Hz a 1572 Hz odpovídající amplitudám výstupu ω_B . Dále jsou patrné frekvence příslušící amplitudám soukolí ω_1 , případně ω_2 , a to 3744 Hz, 4204 Hz, 4662 Hz, 5122 a 5580 Hz. Jednotlivé frekvence, způsobené záběrem pastorku a kola, mají mezi sebou rozdíl 458 Hz, což odpovídá zubové frekvenci soukolí ω , která se objevuje ve vztahu (4).

2.2 MKP model a identifikace tuhostí

Pro výpočet a simulaci záběru ozubeného kola a pastorku byl nejprve v softwaru Autodesk Inventor vytvořen model ozubení s reálným tvarem zubů (viz Tab. 2), dle návrhového výpočtu ozubených kol.

Tab. 2: Základní parametry soukolí

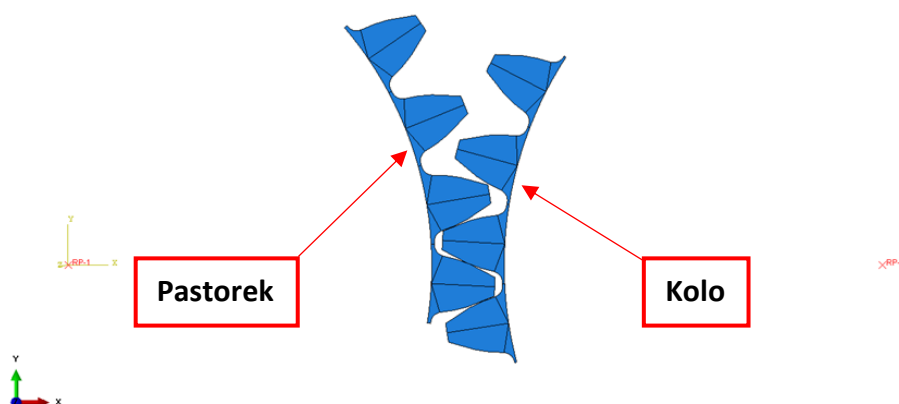
m_n [mm]	z_1 [-]	z_2 [-]	x_1 [-]	x_2 [-]	α_n [°]	α_w [°]	β [°]
1,5	29	30	0,269618	0,260631	20	22,48	0

Dále byl model pro následný výpočet zjednodušen tím, že nebyla modelována celá kola, ale pouze jejich výseče, které obsahují pro pastorek i kolo čtyři zuby, které přicházejí do společného záběru (viz Obr.4). Na těchto čtyřech párech zubů byl zrealizován jednopárový a dvoupárový kontakt zubů, a to definováním kontaktů boků zubů a následným odvalem pastorku a kola.

Jednotlivé členy soukolí převodovky (pastorek a kolo) byly převedeny z objemových těles na plochy, a tyto plochy byly dále rozčleněny na menší úseky, a to převážně z důvodu lepšího vysíťování ploch převedených do softwaru Abaqus CAE, ve kterém byl výpočet proveden.

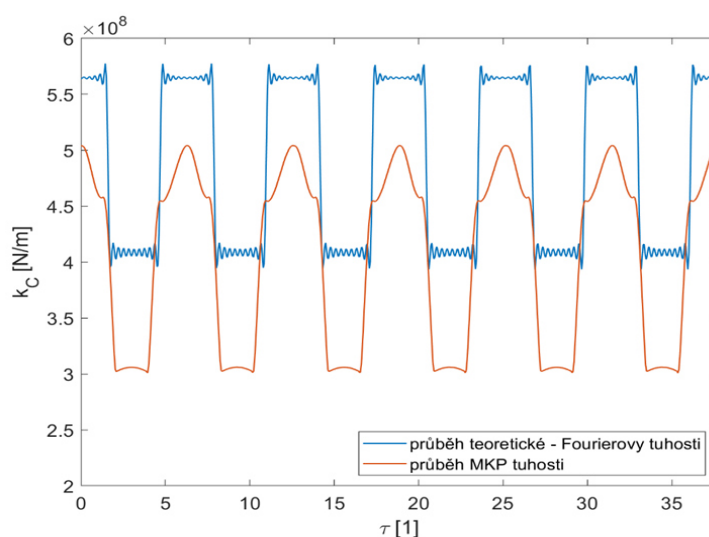
Pro výpočet byly stanoveny okrajové podmínky, které zahrnují uložení pastorku a kola (povolené pouze natočení kolem vlastní osy rotace) a dále obsahují předem definovaná natočení pastorku a kola, která jsou využita pro vymezení zubové vůle a následně pro společný odval. Ve třech výpočetních krocích jsou postupně realizovány okrajové podmínky a zatížení kola kroutícím momentem.

Velmi jemná síť pastorku (111 968 elementů) a kola (83 952 elementů) je tvořena elementy typu CPS8R, tedy čtyřúhelníkovými elementy, vhodnými pro rovinnou napjatost.



Obr. 4: Modelové soukolí v softwaru Abaqus CAE

Na základě MKP analýzy bylo zjištěno deformační natočení pastorku a kola, které bylo následně přepočítáno na tuhost náhradních tlačných pružin vložených mezi dokonale tuhé zuby pro lepší porovnání s teoretickým průběhem daným vztahem (4) (Obr. 5.).



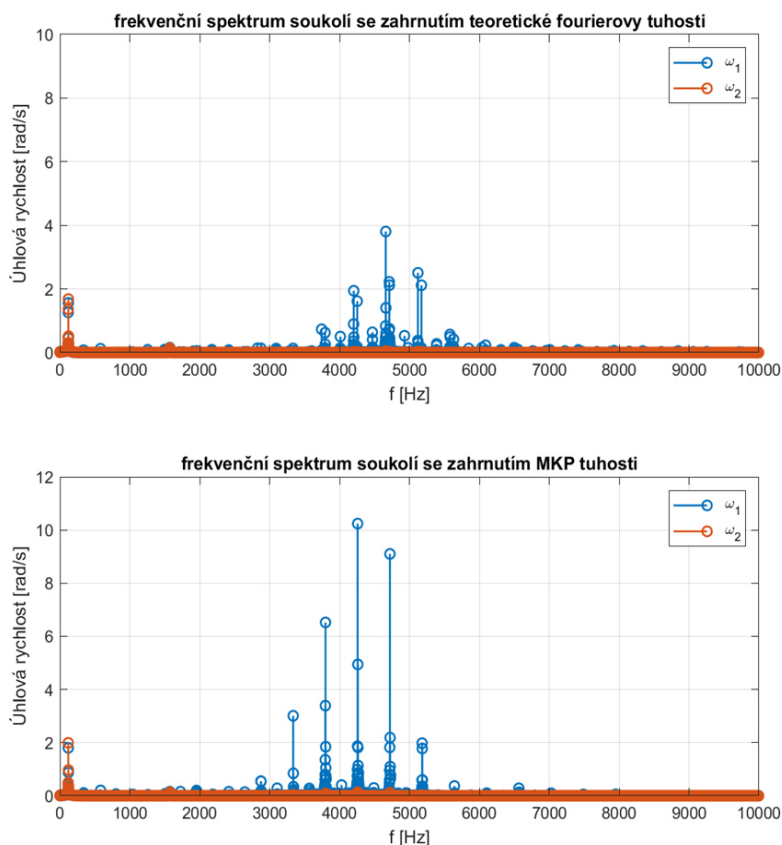
Obr. 5: Porovnání teoretické tuhosti s průběhem získaným z MKP

Z Obr. 5. je patrné, že tvar průběhu tuhosti ozubení, který byl získán MKP výpočtem (červená křivka), je v souladu s průběhem teoretické tuhosti. Hodnoty obou tuhostí se pohybují ve stejném řádu,

tedy 10^8 [N/m]. Rozdílnost v hodnotách jednopárové a dvoupárové tuhosti může být způsobena tvarem paty zubů, který má na výsledky značný vliv a není zahrnut v teoretickém modelu.

2.3 Porovnání frekvenčních spekter

Pro dva získané průběhy tuhostí (teoretický a MKP) byl proveden nový dynamický výpočet, díky kterému lépe porovnáme výsledná frekvenční spektra. Viz Obr. 6.



Obr. 6: Porovnání frekvenčních spekter zahrnujících teoretickou a MKP tuhost ozubení

Při porovnání vlastních frekvencí na Obr. 6. jsou vidět patrné rozdíly. Na první pohled je vidět, že při **zohlednění teoretické Fourierovy tuhosti** dynamický systém dosahuje **vyšších vlastních frekvencí**, než tomu je v případě použití průběhu tuhosti z výpočtu MKP.

Dále je zřejmé, že **soukolí s MKP tuhostí** dosahuje při svých vlastních frekvencích **vyšší amplitudy úhlových rychlostí**, než tomu je v případě výpočtu s teoretickou tuhostí.

Tyto poznatky vyčtené z Obr. 6. lze odůvodnit skutečností, že se mezi sebou tuhosti teoretické a simulované pomocí softwaru Abaqus liší, jak je vidět z porovnávacího grafu (Obr. 5.). Jelikož je výsledná tuhost získaná z MKP výpočtu hodnotově nižší, než tuhost teoretická – Fourierova, soukolí se chová poddajněji. Takto lze vyhodnotit i skutečnost, že vlastní frekvence soukolí s MKP tuhostí ozubení jsou nižší. Opět to souvisí s menší tuhostí ozubení v případě zahrnutí MKP tuhosti.

Ve frekvenčním spektru zahrnujícím teoretickou tuhost je patrné, že okolo výrazných vlastních frekvencí se vyskytují méně výrazné přidružené frekvence, na rozdíl od spektra, které vzniklo dynamickým výpočtem s MKP tuhostí. Odůvodnění vychází z porovnávacího grafu na Obr. 5. Průběh Fourierovy řady přináší do časových průběhů výchylek nové průběhy sinů a cosinů, a ty se následně projeví ve frekvenčním spektru právě těmito přidruženými frekvencemi k frekvencím vlastním.

Závěr

V článku je představeno teoretické modelování časově proměnné tuhosti ozubených kol a kinematické úchytky převodového poměru. Tomuto tématu se věnují autoři z různých univerzit na světě z mnoha jiných úhlů pohledu na samotnou dynamiku ozubených kol.

Mým cílem zde byla především identifikace tuhosti ozubení pomocí analýzy MKP a porovnání frekvenčních spekter zahrnujících teoretický průběh tuhosti ozubení i průběh tuhosti získaný na základě MKP výpočtu (viz Obr. 6.). Dalším výstupem tohoto článku je porovnávací graf na Obr. 5, na kterém je názorně vidět rozdíl výsledných průběhů tuhostí teoretické a získané z MKP výpočtu.

Dále bylo zjištěno, že teoretický model proměnlivé tuhosti je možné využít pro poměrně omezenou škálu ozubených kol, pro které musí korekce splňovat podmínky: $x_1 \geq x_2$ a zároveň součtová korekce musí být z intervalu $(-0,5; 2)$. Vztah (2) popisující výpočet jednopárové tuhosti nerespektuje libovolné tvary patních přechodů ozubených kol. Pracuje s korekcemi, kterými je ve vztahu zohledněno pouze rameno, na kterém působí silový účinek a způsobuje ohyb zubů, nikoliv však skutečný tvar paty zubů.

Toto téma bude dále rozvíjeno s cílem vytvořit komplexnější modelový vztah, který by zachoval geometrii celé řady různorodých ozubených kol, včetně šikmého ozubení. Použitý model tuhosti ze zdroje [2] je ve velké míře vhodný jen pro soukolí se zuby přínými. Tuhost ozubení se zuby šikmými lze výpočtem popsat jen za cenu využití tzv. virtuálního kola, které převádí šikmé ozubení na ozubení přímé. Čili dochází k dalšímu zkrácení skutečnosti.

Prameny

1. HAJŽMAN, Michal, Miroslav BYRTUS a Vladimír ZEMAN. *Dynamická analýza a optimalizace převodových ústrojí*. Katedra mechaniky, Univerzitní 22, 30614, Plzeň, 2004. Závěrečná výzkumná zpráva z řešení projektu FRVŠ 2282/2003/G1. Západočeská univerzita v Plzni.
2. MORAVEC, Vladimír. *Konstrukce strojů a zařízení II.: čelní ozubená kola: teorie, výpočet, konstrukce, výroba, kontrola*. Ostrava: Montanex, 2001. ISBN 80-722-5051-5.
3. SLAVÍK, Jaromír, Vladimír STEJSKAL a Vladimír ZEMAN. *Základy dynamiky strojů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-010-1622-6.
4. STEJSKAL, Vladimír a Miroslav OKROUHLÍK. *Kmitání s Matlabem*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2435-0.
5. ŠALAMOUN, Čestmír, Žofie RYZCOVÁ a Miloš SUCHÝ. *Čelní a šroubová soukolí s evolventním ozubením*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-030-0532-9.
6. YI, Yong, Kang HUANG, Yangshou XIONG a Meng SANG. Nonlinear dynamic modelling and analysis for a spur gear system with time-varying pressure angle and gear backlash. *Mechanical Systems and Signal Processing* [online]. 2019, 18-34 [cit. 2020-01-26]. DOI: 10.1016/j.ymssp.2019.06.013. ISSN 08883270. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0888327019303966>

Kontaktní údaje o autorech

Ing. Jan Flek, doc. Ing. Josef Kolář, CSc., Ing. Martin Dub, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12113 – Ústav konstruování a částí strojů

Technická 4, 166 07 Praha 6

721 439 742

Jan.Flek@fs.cvut.cz

NETRADIČNÍ VYUŽITÍ ROTAČNÍCH DĚLIČŮ PRŮTOKU

UNCONVENTIONAL USE OF FLOW DIVIDERS

Jakub Milan Hradecký, Antonín Bubák

Abstrakt

Rotační děliče průtoku jsou využívány pro synchronizaci dvou a více hydromotorů, ať už lineárních, tak rotačních. Mohou také sloužit k rozdělení průtoku, který je odváděn do primárního okruhu agregátu a dalších sekundárních. Rotační dělič průtoku je ale možné také použít k řízení tlaku, průtoku a regeneraci průtoku jednoho hydraulického spotřebiče. Předkládaný článek se zaměřuje na bližší popis právě těchto aplikací.

Klíčová slova: rotační dělič průtoku, přímočarý hydromotor, rozvaděč

Abstract

Flow divider is used for synchronization of two or more hydraulic motors. Or they can be used for flow dividing which is directed to the primary and secondary circuits. If some of the outlets are not under the pressure, there is a transformation of the mechanical energy via coupling shaft to the rest of the outlets and increases the amount of the pressure. If there is a divider built from two sections and there is the first outlet of a section under the pressure and the second one without, the amount of the inlet pressure is one half of the outlet pressure. Thanks to these principles is allowed to use flow dividers in another applications like pressure multiplying, speed control or flow regeneration.

Key words: flow divider, linear hydraulic motor, directional valve

Úvod

Širší technické veřejnosti je známo, že se rotační děliče průtoku využívají zejména k synchronizaci pohybu dvou a více hydromotorů, především přímočarých. Avšak jsou zde i jiné možnosti. Za určitých podmínek zapojení hydraulického okruhu je možné rotační dělič využít jako násobič tlaku nebo násobič průtoku. Své využití může najít také v rámci regenerace průtoku.

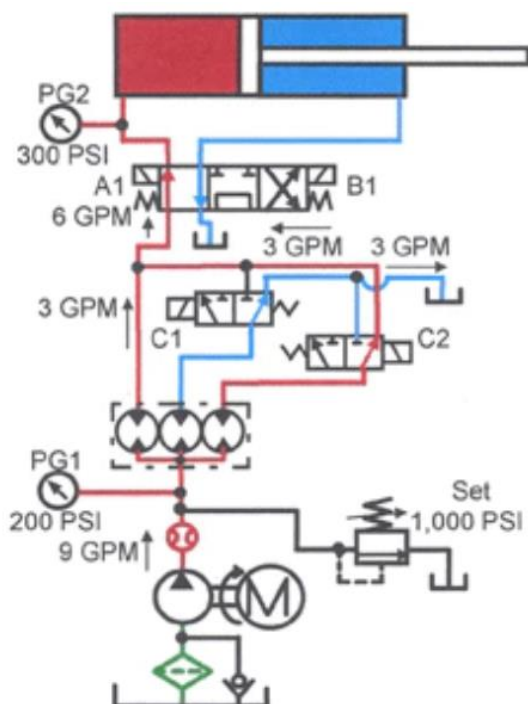
Jelikož hodnoty průtoků a tlaků v okruzích, určených k těmto novým vytipovaným aplikacím, zjištěné v teoretické řešební části problematiky nezahrnují účinnosti, ztráty a přesnosti rozvádění průtoků do jednotlivých hydraulických větví, je v první fázi cílem vyzkoušet a změřit reálné hodnoty v těchto okruzích a tyto hodnoty porovnat s teoretickými.

1 Teorie

Rotační děliče průtoku je možné využít v různých aplikacích. K synchronizaci hydromotorů, rozdělení průtoku pro primární a sekundární okruhy nebo je možné využít při násobení tlaku, rozdělování nebo regeneraci průtoku.

1.1 Rotační dělič určený k řízení rychlosti

Rotační dělič průtoku je také možné využít k řízení rychlosti s minimálním generováním ztrátového tepla. Obr. 1 naznačuje možné zapojení. Tyto typy okruhů nám poskytují fixně nastavené stupně rychlostí beze změn v hardwaru.



Obr. 1: Rotační dělič určený k řízení střední rychlosti. Zdroj: [1]

Obr. 1 zobrazuje zapojení děliče pro nastavení tří rychlostí přímočarého hydromotoru. Konkrétně se zde píst vysouvá na druhý rychlostí stupeň. Pokud je okruh nastaven podle tohoto schématu, tak snižuje rychlost na dvě třetiny rychlosti oproti pohonu samotným čerpadlem. Všimněme si, že zde nejsou zapojeny žádné prvky pro řízení průtoku. Při použití rotačního děliče rozdělíme průtok z čerpadla rovnoměrně a redukuje na minimum tepelné ztráty. Dle Obr. 1 vidíme, že každý výstup z děliče má průtok 3 GPM.

V Obr. 1 tedy pracujeme se dvěma výstupy, tedy 6 GPM. Pokud bychom chtěli píst vysouvat plnou rychlostí a využít plný průtok čerpadla, připojíme i třetí sekci děliče.

Při zasouvání pístnice jsou všechny sekce děliče spojeny a sloučeny, aby se píst vracel do výchozí pozice nejvyšší možnou rychlostí.

Jiná kombinace poměru násobení rychlosti vlivem jiných průtoků z výstupů je možná v případě, že dělič disponuje více sekcemi nebo sekcemi nestejných geometrických objemů.

Tento typ řízení rychlosti je také odolný proti neoprávněné manipulaci. V případě, že bychom chtěli změnit přednastavené rychlosti, musel by být vyměněn dělič průtoku.

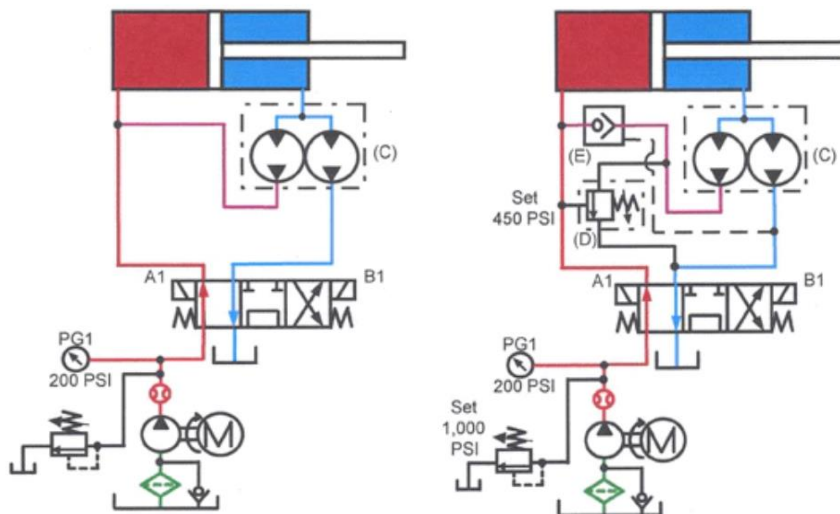
Velikosti rychlostí jsou vyvozeny z poměru geometrických objemů jednotlivých sekcí a počtu těchto sekcí.

Oproti řízení pomocí ventilové techniky je výhodou minimální generování tepla a redukce energetických ztrát. Typem děliče je fixně přednastavená stupnice rychlostí, do které nemá možnost zasahovat nequalifikovaná osoba. Rychlost spotřebiče je řízena pouze sepnutím cívky na rozvaděči a změna rychlostního stupně probíhá bez větších prodlev.

1.2 Dělič průtoku v regeneračním okruhu

Obr. 2 zobrazuje regenerační okruh s děličem. Dělič průtoku má dvě sekce stejných geometrických objemů. Jeden výstup děliče je přiveden přímo do rozvaděče, druhý je přiveden na vstup do

přímočarého hydromotoru. Vstup děliče je spojen s výstupem pístnicového prostoru přímočarého hydromotoru.



Obr. 2: Regenerační okruhy s děličem průtoku. Zdroj: [1]

Na Obr. 2 vlevo je zobrazena situace, kdy je rozvaděč ve své levé poloze, takže průtok z čerpadla míří přímo do prostoru pod pístem. Jak se píst vysouvá, kapalina z pístnicového prostoru se díky děliči dělí a výstup levé sekce děliče putuje zpět na vstup při tlaku dostatečně velkém, aby se připojila k větvi putující přímo z čerpadla (díky spojení těchto dvou větví jsou tedy nižší požadavky na průtok generovaný čerpadlem). Druhá polovina je přečerpána do nádrže bez odporu. Jak se píst dále vysouvá, rychlost roste na skoro dvojnásobnou hodnotu. Maximální rychlost nepřímo závisí na velikosti pístnice – čím větší průměr pístnice, tím menší rychlost. A jako u všech regeneračních okruhů platí, že když se rychlost zvyšuje, tlak se snižuje.

Při vracení pístnice do své výchozí polohy funguje levá sekce děliče jako generátor, jehož sání je spojené s pístním prostorem přímočarého hydromotoru. Čerpadlo tedy opět generuje poloviční průtok.

Pokud bychom chtěli využívat dva stupně rychlosti pístu nebo zvyšovat tlak v průběhu vysouvání, musíme mezi regenerační (spojení levé sekce děliče a vstupu do přímočarého hydromotoru) a odpadní větev připojit hydraulické prvky, které zamezí regeneraci a svedou průtok levé sekce děliče do nádrže. Například na Obr. 2 vpravo je na regenerační větev připojen hydraulický zámek a přepouštěcí ventil. Tyto komponenty jsou řízeny pilotním tlakem, pokud vzroste zátěž na přímočarém hydromotoru, pilotní tlak otevře přepouštěcí ventil. Ve stejnou chvíli se zavře zámek a tlak čerpadla je soustředěn pod píst, který je tlačěn maximálním možným tlakem, který je možné v okruhu vytvořit.

Při regeneraci při zpětném chodu pilotní tlak z větve mezi čerpadlem a pravou sekcí děliče, zapříčiňuje otevření zámku a následnou možnost levé sekce děliče čerpat kapalinu z levé větve vedoucí k pístovému prostoru.

Výhodami tohoto zapojení je snížení nutného požadovaného průtoku na čerpadlo, tedy objemové zmenšení čerpadla. Ostatní komponenty jako rozvaděč nebo potrubí mohou být dimenzovány na nižší průtoky. Oproti jiným regeneračním okruhům (jako je například regenerační okruh pomocí regeneračního ventilu) je rozdělení výstupního průtoku daným poměrem. Je zde možnost dimenzovat průtok v regenerační větvi. Část výstupního průtoku je vždy odváděna do nádrže, pracovní kapalina je tedy přes nádrž více ochlazovaná. Výhodou také je, že k regeneraci také dochází v obou směrech chodu.

1.3 Dělič jako zesilovač

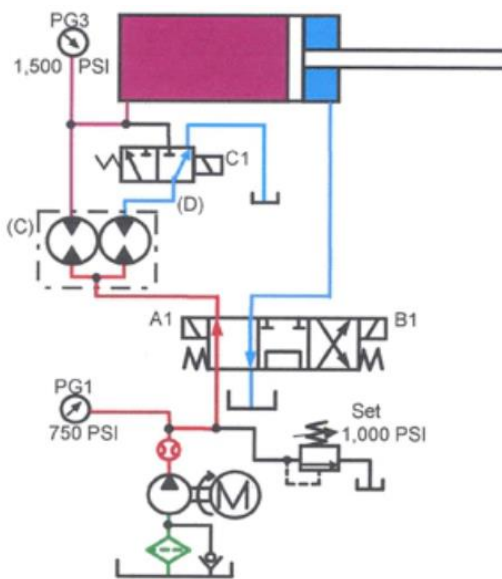
Rotační dělič zesiluje tlak na jednom výstupu, pokud jsou ostatní větve odvedené bez odporu do nádrže nebo mají malý odpor. Například dvousekční rotační dělič, který má obě sekce stejného geometrického objemu – pokud je vstupní tlak do děliče 1000 PSI a v případě, že jeden z výstupů jde do nádrže s tlakem 0 PSI, pak druhý výstup disponuje tlakem 2000 PSI. Průtok výstupu s dvojnásobným tlakem je tedy poloviční než na vstupu. Energie z výstupu s nulovým tlakem se transformuje do druhé sekce díky pevnému spojení hřídelů, tedy zesiluje a násobí tlak.

V případě čtyřsekčního děliče, kdy jsou tři výstupy svedeny do nádrže, bude mít poslední výstup znásobený tlak čtyřikrát. Avšak průtok zde bude čtvrtinový oproti průtoku na vstupu do děliče.

Další možnost, jak dosáhnout vyššího násobení tlaku, je dělič se sekcemi jiných geometrických objemů. Pokud má jedna sekce průtok 3 GPM a druhá 1 GPM, pak násobící poměr bude stále 4:1.

Na Obr. 3 je zobrazen okruh využívající dělič jako násobič. Je zde také využit třípolohový a dvoupolohový rozvaděč.

Na Obr. 3 je tedy zobrazena situace, kdy se píst vysouvá poloviční rychlostí při vysokém tlaku. Nastavením dvoupolohového rozvaděče do jeho pravé polohy zajistíme, že se průtok rozdělí na polovinu. Průtok levé sekce pohání přímočarý hydromotor a průtok pravé sekce je volně přepouštěn do nádrže. Pokud budeme chtít vysouvat píst velkou rychlostí s malým tlakem, přepneme dvoupolohový rozvaděč do jeho levé polohy.



Obr. 3: Dělič jako násobič. Zdroj: [1]

Tento okruh pracuje nejlépe u pohonů, které nestojí.

Výhodami je tlakově méně namáhané čerpadlo, tedy vyvíjený menší kroutící moment, je tedy zapotřebí menší hnací motor a závěrem tedy menší spotřeba energie.

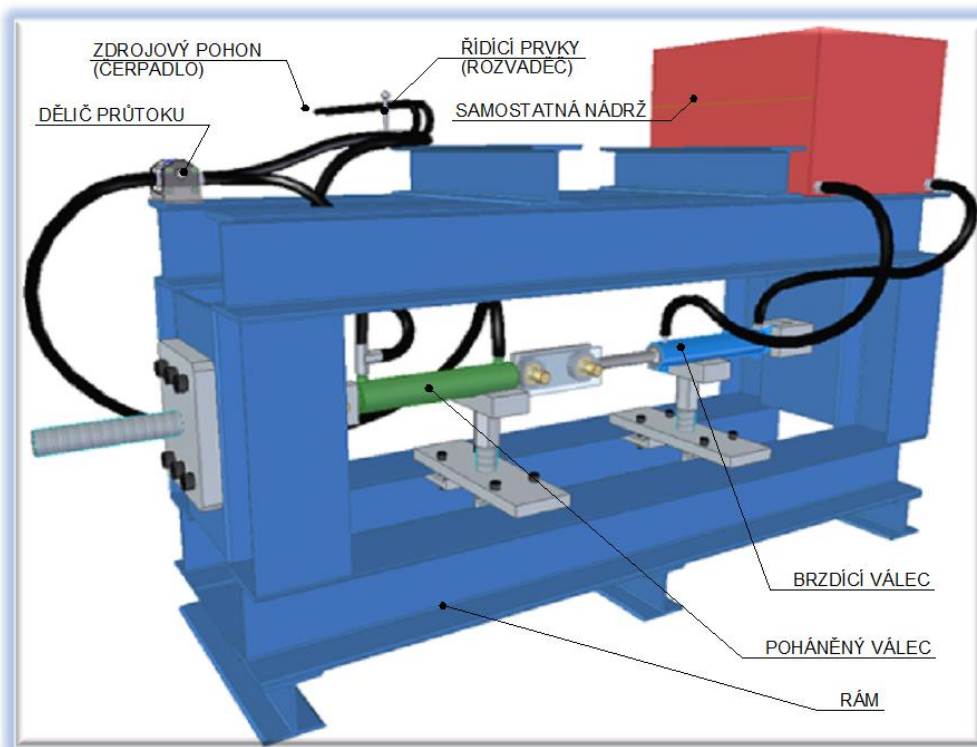
Oproti jiným násobičům tlaku je zde výhodou kompaktnost a malé zástavbové rozměry, jednoduchost dimenzování se spotřebiči a kontinuita provozu (lineární násobič je například omezen maximální délkou válce).

2 Zkušební stanoviště

Prvním cílem je vyzkoušet, změřit a porovnat hodnoty výše zmíněných zapojení s děliči. Porovnat teoretické hodnoty nezahrnující účinnosti a přesnost dělení děliče s hodnotami naměřenými na zkušebním standu.

Simulování zátěže bude na hydraulické bázi, kde bude válec (hnaný čerpadlem) brzděn druhým válcem stejného objemu (Obr. 4).

Brzdící válec bude brzděn pomocí škrťacích nebo pojišťovacích ventilů, a to v obou směrech tak, aby zatěžoval první poháněný válec jak při jeho vysouvání, tak při vracení do nulové polohy.



Obr. 4: Layout zkušebního stanoviště

Brzdící válec bude připojen na samostatnou nádrž s pracovní kapalinou a hnací agregát (čerpadlo, dělič a ostatní řídicí prvky) bude připojen ke komplexnímu pohonu, který disponuje vlastní nádrží, pohonem a regulačními prvky.

Měřeny budou tlaky a průtoky na všech větvích děliče. Dále budou také tyto veličiny měřeny na brzděném válci z důvodu monitoringu zátěžné síly.

Dojde k porovnání teoretických a reálných hodnot, z jejichž poměrů plynou účinnosti, energetická bilance a úspory. Vznikne také souhrnná databáze přesností dělení pro různé módy zapojení a zatěžování rotačního děliče. Firmy zabývající se touto problematikou sice uvádějí přesnosti dělení svých výrobků, ty ale nemusejí odpovídat hodnotám po konkretizaci využití.

Z naměřených hodnot budou vyvozeny závěry pro hodnoty výkonu při klasickém pohonu a při šetření energie se zapojením pomocí děličů.

Celý projekt probíhá v úzké spolupráci s firmou Jihostroj Velešín a.s., kde je také vytvářeno celé zkušební stanoviště a budou zde probíhat veškeré zkoušky a měření.

Jsou zde naplánované zkoušky rozděleny do kategorií dle použití. Jsou to kategorie násobení tlaku, řízení rychlosti a regenerace. V prvních dvou kategoriích budou zkoušeny děliče dvousekční a třísekční. U třísekčních děličů budou dále děleny zkoušky dle sekcí s nulovým odporem. Bude odpojena jedna sekce, a to buď krajní nebo prostřední, dále budou odpojeny dvě sekce v různých kombinacích.

Do kategorie řízení rychlosti budou také zařazeny zkoušky v kombinaci s Fan-drive motory. Tyto motory budou v okruhu zkušebního stanoviště nahrazovat přímočaré hydromotory.

Poslední kategorie je regenerace. Jsou zde naplánovány zkoušky pouze s dvojsekčním děličem. Vícesekční dělič by zde nebyl vhodným řešením, protože poměr dělení průtoku je možné zajistit jednodušeji pomocí různých objemů jednotlivých sekcí.

Závěr

Po konfrontaci naměřených hodnot a konkretizování funkce systému je cílem vývoj kompaktního zařízení zastávajícího vytipovanou funkci pro konkrétní komplexní systém. Zde jsou různé možnosti, jakými směry je možné se ubírat. Je zde možnost spojení a zkompaktnění řídicího agregátu a zubového čerpadla ať už v podobě rozšíření čerpadla děličem v podobě „další sekce“ zahrnující zbylé komponenty agregátu či vrtaného víka s vývody a komorami pro rotační komponenty.

Výše zmiňované okruhy nemusí být zacíleny pouze jako nové, výhodnější nebo kompaktnější řešení pro systémové aplikace. V úpravách čerpadla a násobení tlaku je možné uvažovat také o alternativě například k pístovým čerpadlům, které disponují vyššími hodnotami tlaků, než které je možné generovat samotným zubovým čerpadlem, které má naopak bezesporne výhody například v nižší cenové náročnosti.

Spojení zubového čerpadla a řízení rychlosti může být také alternativou pro stávající řešení řízení Fan-drive motorů.

Tyto a další možnosti využití budou dále zkoumány a budou porovnávány jejich výhody a nevýhody.

Prameny

- [1] Book 2, Chapter 11: Flow divider circuits. *Www.hydraulicspneumatics.com* [online]. 2009 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/other-technologies/article/21883443/book-2-chapter-11-flow-divider-circuits>

Kontaktní údaje

Ing. Jakub Milan Hradecký
České vysoké učení technické v Praze – Fakulta Strojní
Technická 4 Praha
Jihostroj Velešín a.s.
Budějovická 148 Velešín
722 934 435
Jakub.hradecky@gmail.com

POTENTIAL OF DATA SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING – CURRENT TRENDS IMPACTING DEMAND FOR MECHANICAL ENGINEERING GRADUATES

Adam Hurta

Abstract

Data science related buzzwords such as Big Data, artificial intelligence or machine learning have gained popularity in most fields of science and technology and the field of mechanical engineering is no exception. This paper uses an example of a wind turbines producer in order to demonstrate an increasing role of data science and the possibility of its application in various areas of the example company such as materials research, reliability and maintenance, project office or operations. With the current trends in data science and its expected further positive development, there will be a growing interest in machine engineers equipped with data science skills on the market. In order to meet the still evolving demand for specialists with skills addressing machine learning or Python, technical universities should take this evolution on the market into account when updating their study plans.

Key words: data science, big data, machine learning, python, mechanical engineering

Introduction

If the 20th century was dominated by crude oil then the main commodity of this century is undoubtedly data. Rapid spread of devices with internet connection referred to as Internet of Things (IoT), increasing popularity of social media and the use of information services, all these advancements generate data growing in size at a staggering pace.

Domo company (part of NASDAQ) providing cloud services predicted that there would be 1.7MB of data produced each second by one person on average in 2020 [40]. This phenomenon, which can be characterized mainly by an exponential growth of global data size, is being referred to as Big Data.

1 Understanding the term data science

We will start with the term Big Data which is the main driver of the rapid development of data science. Many definitions exist. Their common characteristics include a big volume of unstructured data requiring advanced database solutions and special techniques in order to transform the data into a usable output [11,36].

Quite popular is the definition made by IBM which describes Big Data from the point of four factors. These are listed in the Tab. 1.

Tab. 1: Factors defining Big Data. Source: [41]

Factor	Description
Volume	Volume of data increases at an exponential speed.
Velocity	Data flows at a high speed in real time.
Variety	Both structured and unstructured data of various formats.
Veracity	Data can be of poor quality and can not be trusted.

Big data closely relates to the field of data science in general and it is a key driver of development of this field. Data science can be categorized into three main domains as depicted in the Fig. 1.

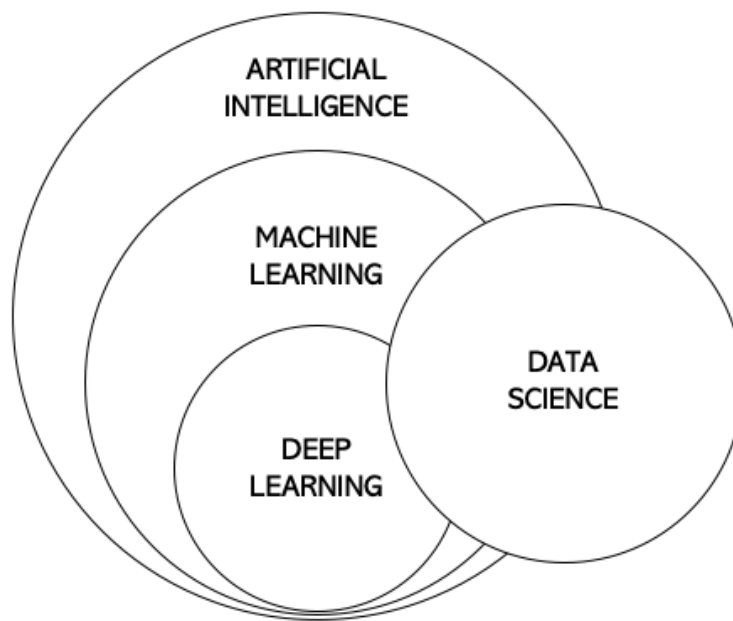


Fig. 1: Data science domains. Source: author

- **Artificial Intelligence (AI)** – ability to simulate human cognitive functions by a computer. Based on quality of the simulation two major types of AI can be distinguished [20, 42]:
 - **Narrow AI** – aims at a particular task of human activity and tries to execute this task on a similar or even higher level of quality compared to a human being. Most current practical applications of AI can be categorized as narrow AI. Examples of narrow AI include autonomous driving or face recognition, in other words areas where a certain level of adaptability and autonomy is necessary.
 - **General AI** – compared to the narrow AI it does not focus on just one specific task but it is able to cover all cognitive functions of a human being. This creates substantial requirements for performance of computers. It can be expected that general AI would be at the centre of focus as the performance of computers makes progress.
- **Machine learning (ML)** – subarea of AI expressing ability of a computer to learn from historical data. The learning ability in this sense is ability to recognize patterns in input data and use them for solving a specified problem, typically classification or prediction. It can be stated that all ML algorithms are at the same time part of AI which is not valid the other way around [1]. Based on labelling of data used for search for the patterns we can distinguish between supervised and unsupervised ML. Special subcategory is then deep learning.
 - **Supervised ML** – in case of supervised ML the data is categorized with the use of attributes (e.g. length, diameter, type of material etc.), we know the output of the function and we expect the algorithm to learn to approximate the function in order to reach the output with input data. Subsequently the resulting function can be used for new input data. Most of the currently used ML applications belong to this category [25].
 - **Unsupervised ML** - the latter category, on the other hand, does not need data to be categorized. This is expected to be done by a computer instead with the goal to identify hidden patterns. This category has not been used extensively so far but it is expected to grow in popularity in the foreseeable future and to become a main area of interest within AI [25].

- **Deep learning** – is an area of ML where 'deepness' is given by the number of layers. Each layer enables a different representation which can be learned by the computer with the use of neural networks (NNs) [20]. Output of one layer is an input for a following layer. Applying nonlinear transformation, a signal proceeds through layers where it is being gradually modified. Deep learning is widely used in applications such as autonomous driving and face or speech recognition [26].

2 Data science in mechanical engineering

In order to confirm the hypothesis of increasing importance of data science also in mechanical engineering, a literature review will be carried out with the aim to map latest developments and trends in data science, especially applications of AI and ML, in the field of mechanical engineering. As this field is broad, we will consider a company with a business scope of development, manufacturing, installation and operation of wind turbines. For the purpose of this review it will not be necessary to specify the wind turbine anyhow, meaning wind turbines with both horizontal and vertical axis will be included, as well as onshore and offshore wind turbines.

Standard materials used for construction of the wind turbine will be considered – steel, fiberglass, resin, plastic, iron, copper and aluminium [43].

IEEE Xplore digital library including extensive literature from fields of science and technology such as electrical engineering, computer engineering and other technical fields will be used as the main literature source.

Subsequently, based on the review, 5 areas, where research has been made lately, can be defined. These areas are accompanied by description of relevant papers as summarized in the Tabs 2-6.

2.1 Materials engineering

Due to the nature of a typical location of a wind turbine, its blades are exposed to a varying temperature, wind speed and UV radiation which are transformed mostly into stress and strain effecting the blades. These variables must be reflected when developing the hard but light materials used for construction. The papers on research in materials engineering are listed in the Tab 2.

Tab. 2: Area of materials engineering. Source: [17, 6, 12, 8, 7]

Area/Subarea	Application	Source
ML	Reinforcement of carbon fibre polymer and reduction of defects in the manufacturing process thanks to better understanding of material structure.	[17]
NNs	Research on molecular dynamics of epoxy resulting in a better prediction of mechanical properties of epoxy.	[6]
ML	Definition of ideal composition of epoxy resins.	[12]
NNs	Determination of impact of deformation force on fatigue life of fiberglass/epoxy composites.	[8]
NNs	Mechanical behaviour of fibre-reinforced polymeric composite materials.	[7]

2.2 Maintenance

In order to bridge the typically remote locations of wind turbines and an operation centre, there is a significant volume of data which is gathered. This data is used as input for predictive maintenance which has the goal to predict the need for maintenance in advance so there is enough time left for ordering the critical faulty part and also to be able to plan the maintenance for time of a low speed wind and/or low market price of electricity. Gathered data is used not only for health monitoring of critical components such as blades, gearboxes or power converters but is also used for further improvement of construction of these parts. Extensive overview of the current trends in the area of maintenance can be found in the literature listed in the Tab 3.

Tab. 3: Area of maintenance. Source: [28, 31]

Area/Subarea	Application	Source
ML	Using up to 128 real-time parameters as input for extreme learning machine with the objective to improve reliability of a wind turbine and reduce maintenance costs.	[28]
ML	Review of ML applications in the area of maintenance of wind turbines.	[31]

2.3 Operations

Papers included in the Tab 4 discover how the received data can be used for optimization of operation in order to maximize performance of the wind turbine during changing weather conditions.

Tab. 4: Area of operation. Source: [35, 15, 10]

Area/Subarea	Application	Source
ML	Pitch angle optimization in conditions of a variable wind speed and the requirement to provide a constant energy output.	[35, 15]
ML	Individual pitch angle control.	[10]

2.4 Output prediction

With the knowledge of historical data on performance and weather development of other wind turbines, machine learning can be used for selection of the most appropriate location for both a wind farm location and a wind turbine layout. There has been extensive research in this area that is demonstrated in the papers in the Tab 5.

Tab. 5: Area of prediction of output. Source: [24, 13, 34, 22, 33, 18, 32, 9, 29, 19]

Area/Subarea	Application	Source
NNS	Prediction of day-ahead power output.	[24]
ML	Optimization of the layout of wind turbines within a wind farm based on wake losses.	[13, 34]
ML	Wind speed extrapolation in the height of a gondola with objective to reduce costs of location survey and accuracy improvement of input data for capital investment appraisal.	[22]
ML	ML models for the power curves of small wind turbines.	[33]
ML	Prediction of power output losses due to icing on rotors.	[18]
ML	Adjustment of a power curve in conditions of a complex terrain.	[32]
ML	Power output prediction based on meteorological variables.	[9]
ML	Identification of optimal regions for wind farms construction based on definition of major meteorological determinants of wind power output.	[29]
NNs	Improvement of wind speed prediction.	[19]

2.5 Other areas

There are other areas where data science can be deployed to receive a positive impact on the example company. Some of these areas are captured in the Tab 6.

Tab. 6: Other areas. Source: [14, 37]

Area/Subarea	Application	Source
AI	Removal of wind turbine generated detections from a radar.	[14]
Big data	Determination of impact of wind turbine energy production on an electricity price.	[37]

2.6 Summary of literature review

The literature review confirms the hypothesis of the importance of data science, specifically machine learning, in the field of machine engineering. Machine learning is applicable in all areas of the model company ranging from development of a material used for manufacturing the rotor blades up to forecasting of power output.

The example demonstrates that the domain of data science has achieved a solid position in the field of mechanical engineering. It can be expected that the domain will increasingly grow in importance and it will become one of the key determinants of competitiveness. This will be reflected on the labour market in the growing demand for specialists equipped with skills necessary for handling big data and the domain of data science in general. Only a company equipped with skilled human capital will be able to effectively deploy the data science applications and fully benefit from abundance of data.

When it comes to a supply of experts with the needed data-science-oriented skills there has been already a gap between supply and demand identified. Study focusing on the graduates of the programmes of electronic engineering and computer engineering at the Boston University concluded that there is a significant excess demand for graduates having data science skills [21]. The same study predicts that the data science occupation will be the most sought-after occupation of a foreseeable future, a situation similar to the 1990s when the market was dominated by IT experts.

The potential of 'understanding data' has been recognized not only by individuals and businesses but also by countries and international organizations. For example, China has set itself the goal of becoming a world leader in Big Data ML-AI by 2030 [16].

The topic is popular also at the European level. The European Commission supports the European data science industry with grants such as the EDISON project carried out in the years between 2015 and 2017. This project had the objective to systematize the data scientist profession and to help incorporate a data scientist skill set into university study plans [39].

3 Data scientist

In order to better understand expectations related to the profession of a data scientist, we begin with a definition of a data scientist.

Various definitions are in place. EDISON data science framework, which has been implemented with the goal to define competences and skills in accordance to professional profiles, enjoys popularity in Europe [38]. The framework distinguishes the following profiles:

- Managers
- Professionals
- Professional (data handling/management)
- Professional (database)
- Technicians and associate professionals
- Clerical support workers

In the context of the model company, there is a need for a role which is in general able to transform a digital information hidden in the data into an output usable in different departments such as R&D, project office, maintenance or operations. The delivered information can be further processed and transferred here into a value.

To be able to perform such a transformation, several domains need to be mastered. The author recommends address the following areas:

- Big Data frameworks (e.g. Apache Hadoop, Apache Spark)
- Databases (e.g. SQL, noSQL)
- Scripting language (e.g. Python, R)
- Data visualization tool (e.g. ggplot2, d3.js, Tableau)

3.1 Python – basic skillset for entry into data science

When evaluating the skills of a data scientist, the ability to write scripts can be highlighted as one of the core skills a data scientist should possess. There are several popular scripting languages but Python currently stands out as the most popular one.

In the poll conducted in 2018, 65.6% out of the 2300 voters chose Python as their main scripting language [27]. Similar results are visible in the PYPL index which tracks popularity of programming languages in accordance to a number of search queries in Google for tutorials. As can be seen in the Tab. 7 containing the July results, even by using this metric is Python the most popular programming language with an increasing trend.

Tab. 7: Three most popular programming languages: July 2020 and a yearly change. Source: [2]

Rank	Language	Share	Trend
1	Python	31.73%	+3.9%
2	Java	17.13%	-2.7%
3	Javascript	7.98%	-0.3%

Among the reasons behind the popularity of Python is simplicity of the code which was one of the ideas which gave birth to this language. The simple syntax enables a quick mastering of this object-oriented language. The code is easy-to-read and it is being interpreted dynamically resulting in the possibility to run even a code containing an error.

The founder of Python, Guido van Rossum, was developing the language with the goal to come up with a language that could be easily used for educational purposes. This had really been realized as Python has been adopted by IT faculties as a popular way of introduction into the world of programming languages [23].

Existence of open-source libraries, including those providing a sophisticated graphical output, makes Python an ideal environment for acquiring familiarity with data science.

There are multiple libraries which can be utilized especially for data science such as the Scikit-Learn offering numbers of both supervised and unsupervised types of algorithm [4]. The advantage of the Scikit-Learn library is its compatibility with the NumPy library, the most popular library covering the area of linear algebra and scientific calculations supporting a multidimensional space [23]. Combination of these two libraries presents an easy way of writing solid machine-learning scripts.

3.2 Data scientist in mechanical engineering

The knowledge of scripting languages such as Python has become an essential part of the skillset of a professional who would like to be able to compete in the increasingly complex environment of data science.

However, an isolated knowledge of programming languages is not sufficient. The key to mastering data science in a specific industry requires not only IT knowledge but rather a combination of IT knowledge together with an industry-specific knowledge [21]. This stems from the requirement to be able to apply data science and tailor it to the specific needs of the industry which requires a solid knowledge of the industry. Besides that, a successful data scientist should be able to interpret

the results to colleagues and managers which again require a knowledge of the given industry. Based on this we can induce that in order to meet the future demand for data scientists in the field of mechanical engineering it is necessary to equip the graduates of bachelor and master programmes in mechanical engineering with the data science skills. To expect to look for the data science knowledge among graduates of programmes such as computer science or mathematics and physics could lead to limitations of the supply of suitable graduates for the modern Czech mechanical engineering industry of the century of data resulting in impact on competitiveness of the Czech companies when assessing the industry on a world scale.

It should also be mentioned that besides the knowledge of a scripting language, a database language and the basics of machine learning, it should not be forgotten that soft skills also play an important role as there is often necessity to be able to communicate the results to management. This should also be kept in mind when assessing study programmes.

Conclusion

This paper has confirmed the hypothesis of an increasing importance of data science in the field of machine engineering. The example of a wind turbine producer demonstrated the possibility of deployment of data science techniques in various spheres of the company which would have a positive impact on competitiveness of the example company. In regards to the ongoing positive trend in data science in the field of machine engineering, study plans of related study programmes should be reviewed in order to provide graduates equipped with the necessary data science oriented skills such as a knowledge of a scripting language (e.g. Python), databases and machine learning. This will secure the demanded specialists for machine engineering in the century of data.

References

1. BERRY, Michael W., Azlinah MOHAMED a Yap BEE WAH, 2020. *Supervised and Unsupervised Learning for Data Science* [online]. 2020. Switzerland: Springer Nature Switzerland [cit. 2020-08-23]. ISBN 978-3-030-22475-2. Dostupné z: <https://www.springer.com/gp/book/9783030224745>.
2. CARBONNELLE, Pierre, 2020. PYPL Popularity of Programming Language. *PYPL Index* [online]. [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: <http://pypl.github.io/PYPL.html>
3. CHOLLET, François, 2019. *Deep learning v jazyku Python: knihovny Keras, Tensorflow* [online]. Praha: Grada Publishing [cit. 2020-08-23]. Knihovna programátora (Grada). ISBN 978-802-4731-001.
4. CID-FUENTES, J. Álvarez, S. SOLÀ, P. ÁLVAREZ, A. CASTRO-GINARD a R. M. BADIA, 2019. Dislib: Large Scale High Performance Machine Learning in Python: Large Scale High Performance Machine Learning in Python. In: *2019 15th International Conference on eScience (eScience)*. s. 96-105. DOI: 10.1109/eScience.2019.00018.
5. DAVENPORT, Thomas H. a D. J. PATIL, 2012. Data Scientist: The Sexiest Job of the 21st Century. *Harvard Business Review* [online]. Harvard: Harvard Business School [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: <https://hbr.org/2012/10/data-scientist-the-sexiest-job-of-the-21st-century>.
6. DUAN, Ke, Yonglyu HE, Yijun LI, et al., 2019. Machine-learning assisted coarse-grained model for epoxies over wide ranges of temperatures and cross-linking degrees. *Materials & Design*. **183**, 108130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108130>. ISSN 0264-1275. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127519305684>.
7. EL KADI, Hany, 2006. Modeling the mechanical behavior of fiber-reinforced polymeric composite materials using artificial neural networks—A review. *Composite Structures*. **73**(1), 1-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2005.01.020>. ISSN 0263-8223. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822305000243>.

8. EL KADI, H. a Y. AL-ASSAF, 2002. Energy-based fatigue life prediction of fiberglass/epoxy composites using modular neural networks. *Composite Structures*. **57**(1), 85-89. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(02\)00071-5](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(02)00071-5). ISSN 0263-8223. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822302000715>.
9. EYECIOGLU, O., B. HANGUN, K. KAYISLI a M. YESILBUDAK, 2019. Performance Comparison of Different Machine Learning Algorithms on the Prediction of Wind Turbine Power Generation. In: *2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*. s. 922-926. DOI: 10.1109/ICRERA47325.2019.8996541. ISSN 2572-6013.
10. GAO, Feng, 2012. Individual pitch control of windturbine based on blade element theory. In: *International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012)*. s. 1218-1221. DOI: 10.1049/cp.2012.1198.
11. GOKALP, M. O., K. KAYABAY, M. A. AKYOL, P. E. EREN a A. KOÇYİĞİT, 2016. Big Data for Industry 4.0: A Conceptual Framework: A Conceptual Framework. In: *2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. s. 431-434. DOI: 10.1109/CSCI.2016.0088.
12. GUAN, Qiyuan, Kang GUO, Weihong TAN a Yonghong ZHOU, 2019. Rapid Decomposition of Epoxy Resins via Raman Spectrometry in Combination with Machine Learning Algorithms. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. **4**(2), 130-134. DOI: <https://doi.org/10.21967/jbb.v4i2.217>. ISSN 2369-9698. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S236996982030027X>.
13. JAPAR, F., S. MATHEW, B. NARAYANASWAMY, Chee Ming LIM a J. HAZRA, 2014. Estimating the wake losses in large wind farms: A machine learning approach: A machine learning approach. In: *ISGT 2014*. s. 1-5. DOI: 10.1109/ISGT.2014.6816427.
14. KASSAB, R., G. G. de CHARNACE a C. ADNET, 2019. Classification of the Wind Turbine Generated Radar Detections by Artificial Intelligence. In: *2019 International Radar Conference (RADAR)*. s. 1-2. DOI: 10.1109/RADAR41533.2019.171386. ISSN 2640-7736.
15. KHAN, S., A. KHAN, M. IRFAN a S. HUSSAIN, 2012. Aerodynamic analysis and dynamic modeling of small horizontal axis wind turbine. In: *2012 International Conference of Robotics and Artificial Intelligence*. s. 117-124. DOI: 10.1109/ICRAI.2012.6413406.
16. KING, S. O., 2019. How Electrical Engineering and Computer Engineering Departments are Preparing Undergraduate Students for the New Big Data, Machine Learning, and AI Paradigm: A Three- Model Overview: A Three- Model Overview. In: *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. s. 352-356. DOI: 10.1109/EDUCON.2019.8725152. ISSN 2165-9567.
17. KONSTANTOPOULOS, Georgios, Elias P. KOUMOULOS a Costas A. CHARITIDIS, 2020. Classification of mechanism of reinforcement in the fiber-matrix interface: Application of Machine Learning on nanoindentation data: Application of Machine Learning on nanoindentation data. *Materials & Design*. **192**, 108705. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108705>. ISSN 0264-1275. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127520302392>.
18. KREUTZ, Markus, Abderrahim AIT-ALLA, Kamaloddin VARASTEH, Stephan OELKER, Andreas GREULICH, Michael FREITAG a Klaus-Dieter THOBEN, 2019. Machine learning-based icing prediction on wind turbines. *Procedia CIRP*. **81**, 423-428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.073>. ISSN 2212-8271. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119303786>.
19. LIU, M., P. QIU a K. WEI, 2019. Research on Wind Speed Prediction of Wind Power System Based on GRU Deep Learning. In: *2019 IEEE 3rd Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. s. 1699-1703. DOI: 10.1109/EI247390.2019.9061976.
20. MEHROTRA, Dheeraj, 2019. *Basics of Artificial Intelligence & Machine Learning* [online]. Chennai: Notion Press [cit. 2020-08-23]. ISBN 978-1-64587-283-2. Dostupné z: https://play.google.com/store/books/details?id=QSybDwAAQBAJ&rdid=book-QSybDwAAQBAJ&rdot=1&source=gbs_vpt_read&pcampaignid=books_booksearch_viewport.
21. MIKALEF, P., M. N. GIANNAKOS, I. O. PAPPAS a J. KROGSTIE, 2018. The human side of big data: Understanding the skills of the data scientist in education and industry: Understanding the skills of the data scientist in

- education and industry. In: *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. s. 503-512. DOI: 10.1109/EDUCON.2018.8363273. ISSN 2165-9567.
22. MOHANDES, M. A. a S. REHMAN, 2018. Wind Speed Extrapolation Using Machine Learning Methods and LiDAR Measurements. *IEEE Access*. **6**, 77634-77642. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2883677. ISSN 2169-3536.
23. NAGPAL, A. a G. GABRANI, 2019. Python for Data Analytics, Scientific and Technical Applications. In: *2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*. s. 140-145. DOI: 10.1109/AICAI.2019.8701341.
24. NETSANET, S., J. ZHANG, D. ZHENG, R. K. AGRAWAL a F. MUCHAHARY, 2018. An aggregative machine learning approach for output power prediction of wind turbines. In: *2018 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*. s. 1-6. DOI: 10.1109/TPEC.2018.8312085.
25. PATEL, Ankur, 2019. *Hands-On Unsupervised Learning Using Python: How to Build Applied Machine Learning Solutions from Unlabeled Data* [online]. Sebastopol, CA: O'Reilly Media [cit. 2020-08-23]. ISBN 978-1-492-03564-0. Dostupné z: <https://www.oreilly.com/library/view/hands-on-unsupervised-learning/9781492035633>.
26. PEREZ, C., 2019. *DEEP Learning Using Matlab. Neural Network APPLICATIONS* [online]. Morrisville (CA): Lulu Press [cit. 2020-08-23]. ISBN 9781794835559. Dostupné z: <https://www.lulu.com/en/gb/shop/c-perez/deep-learning-using-matlab-neural-network-applications/ebook/product-1pg9vy48.html>.
27. PIATESKY, Gregory, 2018. Python eats away at R: Top Software for Analytics, Data Science, Machine Learning in 2018: Trends and Analysis. *Information4all* [online]. Information4all [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: <http://information4all.com/2018/05/24/python-eats-away-at-r-top-software-for-analytics-data-science-machine-learning-in-2018-trends-and-analysis>.
28. QIAN, P., X. MA a Y. WANG, 2015. Condition monitoring of wind turbines based on extreme learning machine. In: *2015 21st International Conference on Automation and Computing (ICAC)*. s. 1-6. DOI: 10.1109/ICAC.2015.7313974.
29. SABITHA, A. S. a R. PUNHANI, 2019. Identification of Potential Regions for Wind Power Development Using Data Mining. In: *2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon)*. s. 306-313. DOI: 10.1109/COMITCon.2019.8862192.
30. SALTZ, J. S. a N. W. GRADY, 2017. The ambiguity of data science team roles and the need for a data science workforce framework. In: *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. s. 2355-2361. DOI: 10.1109/BigData.2017.8258190.
31. STETCO, Adrian, Fateme DINMOHAMMADI, Xingyu ZHAO, Valentin ROBU, David FLYNN, Mike BARNES, John KEANE a Goran NENADIC, 2019. Machine learning methods for wind turbine condition monitoring: A review: A review. *Renewable Energy*. **133**, 620-635. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.047>. ISSN 0960-1481. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811831231X>.
32. SU, Y., Z. XIAO, M. TAN, Z. WU, J. YU a J. HU, 2019. Modeling Wind Turbine Power Curve in Complex Terrain: An Efficient Approach Using Big Data and Machine Learning: An Efficient Approach Using Big Data and Machine Learning. In: *2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*. s. 1-6. DOI: 10.1109/ICEMS.2019.8921437. ISSN 2642-5513.
33. VEENA, R., V. FEMIN, S. MATHEW, I. PETRA a J. HAZRA, 2016. Intelligent models for the power curves of small wind turbines. In: *2016 International Conference on Cogeneration, Small Power Plants and District Energy (ICUE)*. s. 1-5. DOI: 10.1109/COGEN.2016.7728965.
34. WILSON, B., S. WAKES a M. MAYO, 2017. Surrogate modeling a computational fluid dynamics-based wind turbine wake simulation using machine learning. In: *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*. s. 1-8. DOI: 10.1109/SSCI.2017.8280844.
35. YESILBUDAK, M., E. KABALCI, S. SAGIROGLU a I. COLAK, 2013. Very short term pitch angle optimization in wind turbines: A machine learning approach: A machine learning approach. In: *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*. s. 886-889. DOI: 10.1109/PowerEng.2013.6635727. ISSN 2155-5532.

36. ZAIB, N. A. M., N. E. N. BAZIN, N. H. MUSTAFFA a R. SALLEHUDDIN, 2017. Integration of system dynamics with big data using python: An overview: An overview. In: *2017 6th ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*. s. 1-4. DOI: 10.1109/ICT-ISPC.2017.8075337.
37. ZAMANI-DEHKORDI, P., L. RAKAI, H. ZAREIPOUR a W. ROSEHART, 2016. Big Data Analytics for Modelling the Impact of Wind Power Generation on Competitive Electricity Market Prices. In: *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. s. 2528-2535. DOI: 10.1109/HICSS.2016.316. ISSN 1530-1605.
38. Edison Project, 2015. *Edison* [online]. Brussels: Edison [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: <https://edison-project.eu/data-science-competence-framework-cf-ds>.
39. Education for Data Intensive Science to Open New science frontiers, 2015. *European Commission* [online]. Brussels: European Commission [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/project/id/675419>.
40. Everyone on the same page, all the time. *Domo* [online]. [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: <https://www.domo.com/solution/data-never-sleeps-6>.
41. The Four V's of Big Data, 2018. *IBM Big Data & Analytics Hub* [online]. IBM [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: <https://www.ibmbigdatahub.com/infographic/four-vs-big-data>.
42. Výzkum potenciálu rozvoje umělé inteligence v České republice: Analýza právně-etických aspektů rozvoje umělé inteligence a jejích aplikací v ČR, 2018. In: *Vláda ČR* [online]. Praha: Úřad vlády České republiky [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: https://www.vlada.cz/assets/evropske-zalezitosti/aktualne/AI-pravne-eticka-zprava-2018_final.pdf.
43. What materials are used to make wind turbines?, 2020. *USGS* [online]. USGS [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: https://www.usgs.gov/faqs/what-materials-are-used-make-wind-turbines?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products.

Contacts

Ing. Adam Hurta

Department of Management and Economics, Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague

Karlovo nám. 13, 121 35 Prague 12

00420732430010

adam.hurta.adam@gmail.com

POPIS NÁVRHU POSTPROCESSORU PRO GENEROVÁNÍ G-KÓDU 3D TISKÁRNY BUDOV Z BETONOVÝCH SMĚSÍ

DESIGN DESCRIPTION OF POSTPROCESSOR FOR G-CODE GENERATING OF 3D CONCRETE PRINTER

Josef Kamenický, Marek Štádler

Abstrakt

Technologie 3D tisku má přínos v automatizaci stavby budov. V současnosti již existují vytištěné budovy určené ke každodennímu užití. Pohyby 3D tiskáren jsou řízeny pomocí G-kódu. Budovy mají geometrický popis, který se transformuje do G-kódu pomocí postprocesoru. Postprocesor vhodný pro tisk budov musí respektovat vlastnosti tiskové směsi. Práce navrhuje vytvoření nového postprocesoru pro tisk budov. Ten musí obsahovat matematický model materiálu, dle kterého bude generovat G-kód pro danou geometrii budovy. V práci jsou navrženy experimenty pro zjištění parametrů pro matematický model materiálu.

Klíčová slova: 3D tisk budov, 3D tiskárna betonu, informační model budovy

Abstract

3D printing technology has contribution in building automatization. Today, printed buildings for everyday usage already exist. 3D printers movements are controlled by G-code. These buildings are described geometrically and then it's transformed in G-code by postprocessor. That one for building printing must respect the properties of printing mixtures. This work designs new postprocessor for building printing. It must include mathematical model of material according to which G-code for specific building geometry will be generated. In the work are proposed experiments to find out parameters for mathematical material model.

Key words: 3D printing of building, 3D concrete printer, building information modeling

Úvod

V dnešní době hojně rozšířeného 3D tisku a stále se rozšiřující oblasti použití této technologie výroby není překvapením, že se tento způsob využívá také ke stavbě budov. Technologie 3D tisku má přínos v automatizaci stavby budov. V současné chvíli se ještě nejedná o masové použití, ale na řadě míst po celém světě se v omezeném množství budovy již tisknou. Některé příklady jsou zobrazeny na Obr. 1.

Stále se ještě jedná spíše o experimenty pro ověření možností této technologie v oblasti tisku budov a dalších parametrů, jako jsou např. vlastnosti a možnosti hmot používaných pro tisk. Nicméně některé projekty již odpovídají požadavkům každodenního využití. Například společnost Apis Cor vytiskla administrativní budovu v Dubaji, která je největší vytištěnou stavbou na světě [4], viz Obr. 2.



Obr. 1: Vlevo vytištěná napodobenina hradu od Andreye Rudenka z roku 2014 Zdroj: [2]. Vpravo čínský projekt vily společnosti HuaShang Tengda. Zdroj: [5]



Obr. 2: Tisk největší budovy na světě v Dubaji společnosti Apis Cor. Zdroj: [4]

Materiálem používaným při tisku budov jsou nejčastěji betonové směsi. Základem směsí je písek o malé frakci a různé druhy cementů.

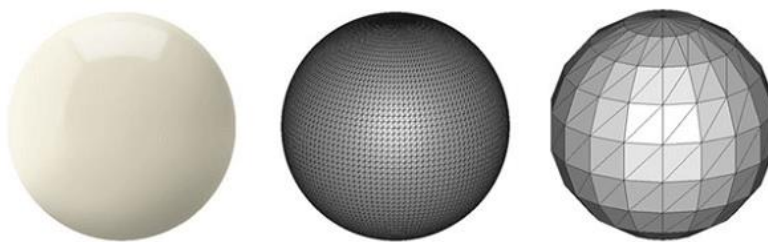
1 Postproces

Postprocesem se rozumí transformace dat o geometrii budovy do podoby příkazů pro pohyb 3D tiskárny. V praxi se běžně k řízení 3D tiskáren, robotů a víceosých zařízení používá tzv. G-kód. Pro zvýšení automatizace celého procesu stavby, od návrhu až po realizaci, je vhodné použít odpovídající postprocesor - algoritmus pro generování G-kódu.

1.1 Geometrický popis budovy

V současné době se při návrhu budov stále více prosazuje 3D navrhování. Celá stavba je tak popsána pomocí digitálních dat, tzv. BIM (Building Information Modeling/Informační model budovy). Data obsahují mimo jiné také informace o objektech definujících budovu a jejich vlastnostech. Při běžném 3D tisku z plastových materiálů (např. hobby tisk) je výtisk definován pouze povrchem. K takovému popisu je vhodný nejpoužívanější formát souborů STL, který popisuje plochy složené z malých trojúhelníkových plošek, viz Obr. 3. Přesnost plochy je závislá na množství trojúhelníkových ploch. V tomto formátu není definice objemu vůbec obsažena, jako je tomu např. u formátu souborů STEP.

Budovu je možné popisovat pomocí formátu STL, viz [1]. Formát STL je sice univerzální formát pro popis 3D objektů, ale ztrácí informace o přesné geometrii budovy a struktuře stěn.



Obr. 3: Popis kulové plochy (vlevo) pomocí formátu STL (vpravo). Zdroj: [6]

1.2 Postprocessor

Při generování G-kódu v postprocesoru, tedy odpovídajícím softwaru (u 3D tisku tzv. sliceru), probíhá kontrola uzavřenosti ploch a tím je v podstatě určován objem uzavřené plochou. Nejdříve jsou generovány trasy po povrchu a poté je prostor uzavřený definovanou plochou vyplněn předem zvolenou strukturou, např. mřížkou, gyroidem nebo může být i bez výplně. Vzhledem ke specifikům 3D tisku se stěny budov netisknou plné, ale využívá se prostorových struktur, pomocí nichž je možné konstrukci odlehčit. Stěny budovy mají zpravidla výplň podobnou příhradové konstrukci, která vychází z pevnostních požadavků. Taková struktura je vidět na Obr. 2.

Běžně používané slicery pro generování G-kódu nedokážou zcela vyhovět vlastnostem tiskového materiálu pro tisk budov, např. při přemostování. Vygenerovaná vnitřní struktura stěn není optimální, je pouze nahodile umístěná nebo neuspořádaná. Z toho vyplývá, že běžně používané software pro generování G-kódu nejsou zcela vhodné pro oblast 3D tisku budov. Postprocessor musí respektovat nejen geometrii budovy určené k tisku, ale také vlastnosti tiskového materiálu a podmínky tisku. Řešením je tedy vytvoření nového speciálního popisu geometrie budovy a postprocesoru (generátoru G-kódu) pro řízení 3D tiskárny pro tisk budov, který musí obsahovat matematický model materiálu, jehož parametry budou ovlivňovat generování G-kódu. To umožní přenos informací přímo z návrhových dat (BIM) do G-kódu pro tiskárnu.

2 Matematický model materiálu

Na výtisk je kladeno několik požadavků, jako např. stabilita, pevnost / únosnost, tvarová přesnost atd. Tyto požadavky jsou kromě geometrie a struktury stěn závislé především na vlastnostech tiskové směsi.

2.1 Materiál pro tisk

Při tisku budov se používá technologie podobná FDM (Fused Deposition Modeling), kdy se tiskne vrstva po vrstvě. Pro zvýšení pevnosti vytištěného objektu je možné do směsi přidat výztuž, buď vlákna (např. ocelová nebo polymerová) nebo konvenční skládanou ocelovou výztuž. Směsi jsou speciálně určené pro 3D tisk a mají specifické vlastnosti. Především musí být tisknutelné, čímž je myšlena schopnost směsi téct a vázat se, tendence k trhání, stabilita vytištěné vrstvy atd. Příklad vytištěné vrstvy splňující tyto požadavky je zobrazen na obrázku Obr. 4.

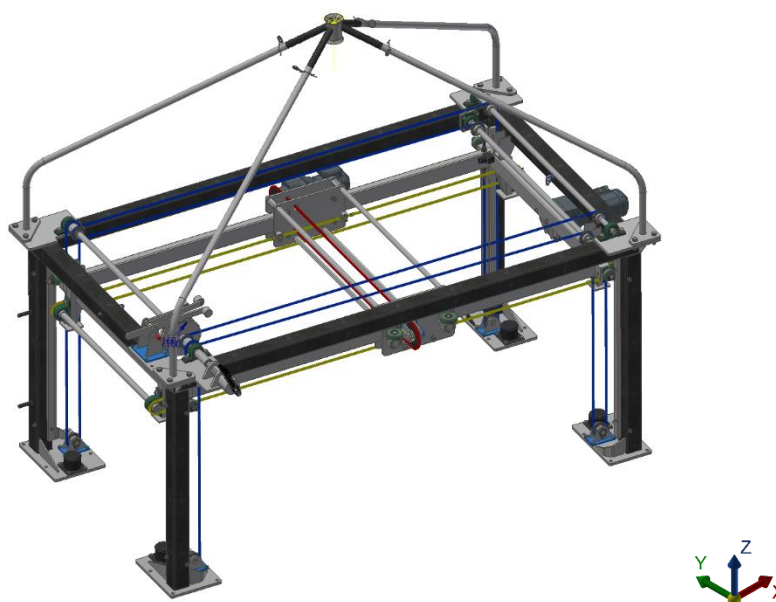


Obr. 4: Pokládání vrstvy betonové směsi při tisku budovy. Zdroj: [3]

Dalším požadavkem na směs je přesně definovaný průběh vytvrdnutí vrstvy do požadované pevnosti v čase. Právě naladění směsi do výše zmíněných parametrů je poměrně náročné, záleží na poměrech jednotlivých složek směsi a lze k tomu využít také speciálních chemických látek, které urychlí, případně zpomalí nástup tvrdnutí směsi. Tištěná vrstva musí být již při pokládání dostatečně stabilní a v ideálním případě u ní musí dojít k nástupu tvrdnutí ihned po uložení. Na druhou stranu nesmí vytvrdnout příliš rychle, aby se s následující vrstvou mohla spojit a byla tak zajištěna stabilita celé tištěné konstrukce.

2.2 Zkušební zařízení

Pro testování tiskové směsi bylo navrženo zkušební zařízení, viz Obr. 5. Zařízení sestává z pevného rámu, rámu osy Z pohyblivého ve svislém směru, osy X, která pojíždí v podélném směru a příčně pohyblivé osy Y. Kombinací pohybů těchto os je zajištěn pohyb tiskové trysky v pracovním prostoru. Do zařízení vstupuje tisková směs z míchacího zařízení hadicí uloženou v horním průvlaku a připojenou k tiskové trysce.



Obr. 5: Zkušební zařízení pro testování tiskové směsi

2.3 Experiment pro zjištění parametrů materiálu

Matematický model materiálu je tvořen parametry zjištěnými z experimentů provedených na zkušebním zařízení. Je navržena metodika pro zjištění sledovaných parametrů směsi. Sledované parametry jsou:

- Pevnost v tlaku
- Kvalita vrstvy v závislosti na rychlosti posuvu
- Tisknutelnost po přerušení tisku

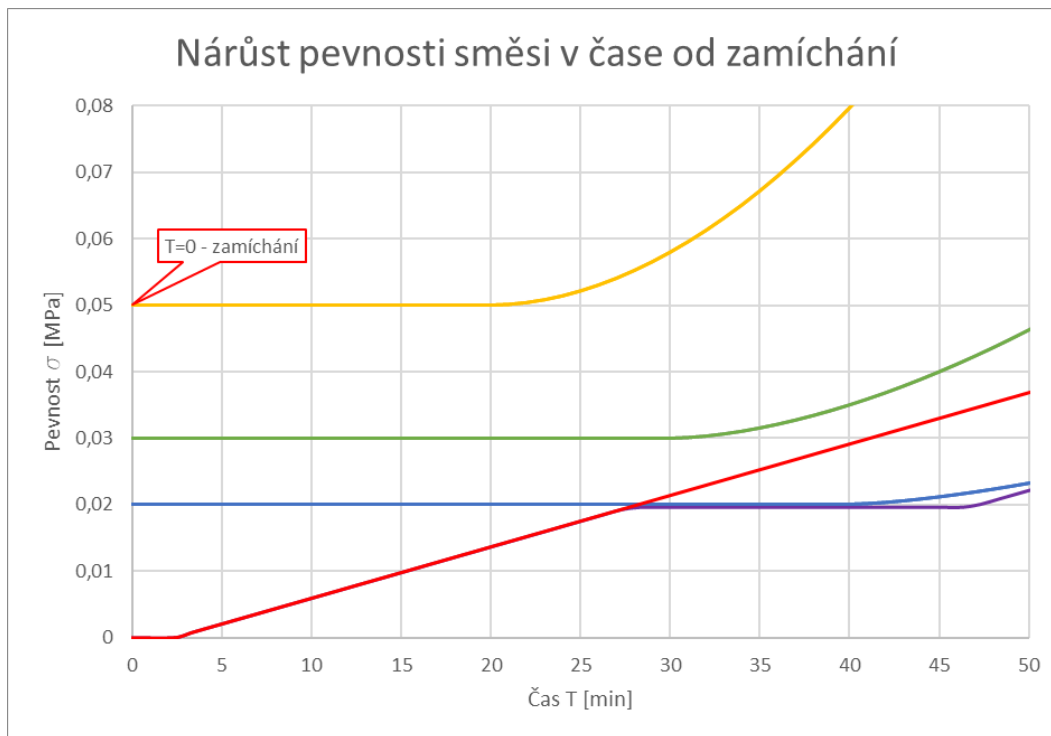
Při prvním experimentu je měřena pevnost v tlaku vytisknuté směsi v čase. Během tvrdnutí vytištěné směsi dochází k nárůstu pevnosti v tlaku. Tento údaj je důležitý z hlediska únosnosti vrstev, záleží na něm rychlost tisku a také vůbec realizovatelnost tisku s danou směsí při dané velikosti výtisku = délce dráhy jedné vrstvy. Pokud bude výtisk příliš malý a vrstva nestihne dostatečně rychle vytvrdnout a získat dostatečnou pevnost, aby unesla další vrstvu, dojde ke zhroucení.

Druhý experiment spočívá v testování různých rychlostí posuvu a sledování kvality vrstvy. Při určité rychlosti posuvu se projeví např. tendence k trhání směsi při pokládání.

Třetí experiment sleduje tisknutelnost po přerušení tisku. Postupně se zvyšuje čas přerušení tisku a je sledována vhodnost směsi pro tisk, zda nedegraduje a zda nezatvrdne v dopravní cestě k trysce. Daný experiment v podstatě simuluje přerušení tisku při přejezdech nebo během technologické přestávky. Údaj o tisknutelnosti je důležitý také z hlediska nárůstu požadovaného výkonu 3D tiskárny.

2.4 Matematický model vytisknuté vrstvy

Na Obr. 6. lze vidět předpokládaný výsledek prvního experimentu. Výchozím okamžikem je zamíchání, kdy dojde k promísení všech složek směsi.



Obr. 6: Nárůst pevnosti směsi v čase od zamíchání

V grafu jsou zobrazeny tři průběhy (žlutá, zelená a modrá), ty představují nárůst pevnosti směsi s různou rychlostí tvrdnutí. Žlutá je nejrychlejší a modrá naopak nejpomalejší směs. V určitém časovém horizontu dosáhnou všechny směsi přibližně shodné konečné pevnosti. Červená linka znázorňuje nárůst tíhy vytištěných vrstev. Na počátku je časová prodleva představující dopravu směsi do trysky dopravní cestou, po tento časový úsek nepůsobí na směs tíha následujících vrstev. Od okamžiku uložení směsi v dané vrstvě narůstá zatížení způsobené tíhou následujících vrstev. Při reálném tisku narůstá toto zatížení skokově, ve zmíněném grafu je nárůst uvažován kontinuální, lineární ihned od uložení směsi.

Výsledky dalších dvou experimentů nelze zobrazit v grafu. Druhý experiment je hodnocen na základě kvalitativních parametrů vytištěné směsi. Výsledkem třetího experimentu je maximální doba přerušení tisku.

3 Vliv parametrů matematického modelu na generování G-kódu

Postprocesor na základě matematického modelu musí umět rozhodnout o vhodnosti směsi pro daný výtisk, resp. danou vrstvu ve výtisku. Volba druhu směsi bude probíhat především na základě velikosti tištěného objektu, resp. délky dráhy dané vrstvy. Směs vyznačená modrou linkou na Obr. 5. má počátek tuhnutí nastaven na 40 minut. Lze vidět, že pokud bude výtisk příliš malých rozměrů (délka dráhy bude příliš krátká), bude docházet při konstantní rychlosti tisku k rychlému kladení jednotlivých vrstev, tj. k rychlému nárůstu zatížení dané vrstvy. Přírůstek zatížení bude tak veliký, že po cca 28 minutách dojde k překročení pevnosti vrstvy a ke zborcení výtisku.

Naopak směs, jejíž průběh tuhnutí je vyznačen zelenou linkou je pro shodně veliký výtisk a rychlost tisku vyhovující. V případě, kdy průběh zatížení od následujících vrstev (červená linka) leží pod průběhem nárůstu pevnosti příslušné směsi, stabilita výtisku není ohrožena.

Také zdánlivě nevyhovující směs (modrá linka) dle výše zmíněných parametrů je za určitých podmínek použitelná, nicméně její aplikace nebude z časového hlediska efektivní. Pokud bude maximální doba přerušení tisku pro směs označenou modře dostatečně dlouhá, je možné při mezní pevnosti tisk přerušit a vyčkat na počátek tvrdnutí již vytištěných vrstev a poté pokračovat v tisku (fialová linka). Podobně je možné dynamicky měnit rychlost tisku pro efektivní využití vlastností směsi, pokud při daných rychlostech zůstane kvalita vytištěné směsi vyhovující (viz kap. 2.3).

Závěr

Použitím běžných postprocesorů pro generování G-kódu se ztrácí informace o přesné geometrii budovy a struktura stěn není optimální. V práci je navrženo vytvoření nového postprocesoru určeného přímo pro tisk budov ze směsi na bázi cementu. Postprocesor získává data o tištěné budově z BIM, po jejich analýze, návrhu dráhy tisku a optimalizaci generuje G-kód. Snaha o optimální využití směsi a možností 3D tiskárny klade výrazné požadavky na postprocesor a vygenerovaný G-kód. Postprocesor vhodný pro tisk budov obsahuje komplexní matematický model materiálů, z nichž nejvhodnější přiřadí pro tisk dané vrstvy.

Tato práce byla podpořena grantem TH04010143 3D TISKÁRNA BUDOV A PREFABRIKOVANÝCH KOMPONENT PRO STAVEBNICTVÍ 4.0.

Prameny

1. MEHMET, Sakin, Yusuf Caner KIROGLU. 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia* [online]. October 2017, 134, str. 702-711. [cit. 20.8.2020]. ISSN 1876-6102. Dostupné z: doi 10.1016/j.egypro.2017.09.562
2. 3D Castle Completed [online]. Andrey Rudenko. [cit. 21.8.2020]. Dostupné z: <http://www.totalkustom.com/3d-castle-completed.html>
3. 3D Printed House/Construction Materials: What Are They? | All3DP [online]. All3DP. [cit. 20.8.2020]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printing-in-construction-what-are-3d-printed-houses-made-of/>
4. Apis Cor 3D printed in Dubai [online]. Apis Cor. [cit. 20.8.2020]. Dostupné z: <https://www.apis-cor.com/dubai-project>
5. This On-Site 3D Printed House Took Only 45 Days | All3DP [online]. All3DP. [cit. 20.8.2020]. Dostupné z: <https://all3dp.com/21776-2/>
6. STL File Format (3D Printing) – Simply Explained | All3DP [online]. All3DP. [cit. 20.8.2020]. Dostupné z: <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing/>

Kontaktní údaje o autorech

Ing. Josef Kamenický

Ústav konstruování a částí strojů, FS ČVUT

Technická 4, 160 00 Praha 6

+420 606 353 517

josef.kamenicky@fs.cvut.cz

Ing. Marek Štádler

Ústav konstruování a částí strojů, FS ČVUT

Technická 4, 160 00 Praha 6

+420 728 071 457

marek.stadler@fs.cvut.cz

ŽIVOTNÍ CYKLUS VÝROBKU Z POHLEDU VÝROBNÍ PERSPEKTIVY STŘEDNÍHO STROJÍRENSKÉHO PODNIKU

PRODUCT LIFE CYCLE BASED ON PRODUCTION PERSPECTIVE WITHIN MEDIUM-SIZED INDUSTRIAL ENTERPRISE

Matouš Machka, Jiří Suchomel

Abstrakt

Tento článek je zaměřen na životní cyklus výrobku z hlediska výrobní perspektivy v rámci středního strojírenského podniku, kterým je společnost Jetty, a. s. Důležitým úkolem souvisejícím s touto problematikou je kalkulace nákladů na životní cyklus výrobku. Pro provedení kvalitní kalkulace je nutné znát aktivity, při kterých vznikají náklady. Tato publikace dokumentuje výrobní fázi a všechny činnosti, které s ní souvisejí. Dobrá znalost výrobní fáze nám umožní posílit všechny složky managementu a odhalit nedostatky během výrobního procesu. Cílem této práce je teoretický popis životního cyklu výrobku v konkrétním středním podniku. Získané výstupy budou použity pro další výzkum v této oblasti.

Klíčová slova: životní cyklus výrobku, výrobní management, strojírenská výroba

Abstract

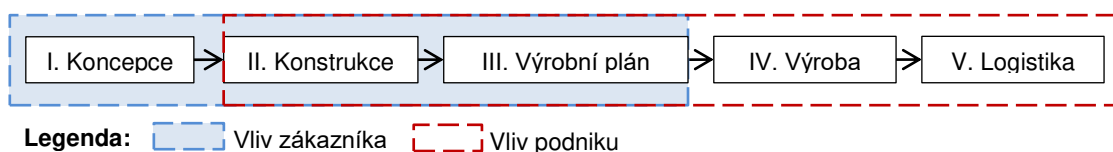
This paper is focused on product life cycle based on production perspective within medium-sized industrial enterprise. The research was executed with cooperation of mentor from Jetty company. Important object of research is calculation of costs on product life cycle. For realization of good calculation, we need know all activities which are associated with costs. This paper describes the phase of production and all activities associated with it. By knowing of these activities, we can improve all management sectors and reveal weaknesses during production. The main goal of this paper is theoretical description of activities connected with products within Jetty company. Gained knowledge will use in another exploration focused on this topic.

Keywords: product life cycle, production management, manufacturing

Úvod

Na životní cyklus výrobku lze pohlížet dle Emblemsvaga [1] ze tří perspektiv, a to z tržní, výrobní a zákaznické. Každá z těchto perspektiv se skládá z několika životních fází, mapujících životní cyklus výrobku. Tržní perspektiva se zaměřuje především na vývoj postavení výrobku na trhu. Výrobní zkoumá vývoj z hlediska výroby. Zákaznická perspektiva sleduje životnost v rámci provozu, údržbu a následnou likvidaci. Obecný model životního cyklu výrobku zahrnuje dle Jana Emblemsvaga [1] několik fází podmíněných výrobní a zákaznickou perspektivou. Do fází podmíněných výrobní perspektivou spadá například těžba nerostných surovin, zpracování materiálu nebo výrobní proces. Tento článek je zaměřen na střední strojírenský podnik, zabývající se výrobou a montáží strojních součástí. To znamená, že na životní cyklus výrobku budeme pohlížet z perspektivy výrobce. Zaměříme se na výrobní proces, protože zajištění plynulého chodu je zásadní. Tuto fázi si rozdělíme na další pod fáze (viz Obr. 1, kde jsou jednotlivé životní fáze výrobku označeny římskými číslicemi), kterým se budeme věnovat v následující kapitole. Na Obr. 1 jsou také zakresleny sféry vlivu působící na jednotlivé životní fáze výrobku. Znalost jednotlivých životních fází a popis aktivit probíhajících v každé

z nich nám poslouží jako dobrý vstup pro kalkulaci nákladů na životní cyklus výrobku, posílení managementu podniku či odhalení nedostatků v rámci chodu firmy [6,7,8]. Další otázkou vztahující se k životnímu cyklu výrobku je celková ekologičnost procesu [2,3]. S tím souvisí vliv na životní prostředí, spotřeba energie, následná likvidace i recyklace odpadů vzniklých při výrobních operacích a po jejich dokončení. Vše ovlivňuje zároveň pracovní prostředí. Je nutné dodržovat zásady BOZP a prevenci rizik [3]. Tyto aspekty mají velký vliv na kvalitu a rychlost vykonané práce. Je nezbytné klást větší důraz na informační propojení jednotlivých fází dle Obr. 1. Kvalitní průchod informačních toků mezi jednotlivými odděleními podniku má nemalý vliv na zvýšení podnikového výkonu [4]. Pro kalkulaci nákladů můžeme aplikovat například metodu procesní kalkulace ABC (Active Based Costing) [1], pro jejíž správné využití je zapotřebí důkladný popis jednotlivých aktivit podniku podílejících se na životním cyklu výrobku [6]. Práce je zaměřena především na popis jednotlivých fází dle Obr. 1, v rámci středního strojírenského podniku Jetty, a. s.



Obr. 1: Základní schéma životního cyklu výrobku z hlediska výrobní perspektivy z pohledu výrobce, dle Emblemsvaga. Zdroj: [1]

1 Popis jednotlivých fází životního cyklu výrobku v rámci společnosti Jetty, a. s.

Vstupním kritériem pro přijetí zakázky a zahájení výroby je předem stanovená cena. Její velikost je také klíčová pro přijetí nového zákazníka. Velikost ceny stanovuje marketingový management na základě jednání se zákazníkem. Jako zákazníky označujeme další strojírenské podniky, které si u naší firmy nechávají zpracovávat výrobky potřebné pro jejich další výrobu. Společnost Jetty člení zákazníky do tří kategorií dle objemu zakázek, tj. velikosti jejich poptávky. Velikostí zakázky rozumíme především velikost jejího výnosu pro náš podnik. Tyto kategorie popisuje Tab. 1.

Tab. 1: Podnikové členění zákazníků podle velikosti zakázek. Zdroj: [vlastní]

Číslo kategorie	Velikost zakázky	Definice dané kategorie
1	malá	Většinou se jedná o individuální zakázky malých nebo středních podniků, které firma může splnit.
2	střední	Na výnosech firmy se podílí asi ze čtyřiceti procent. Jedná se zejména o střední nebo velké české podniky.
3	velká	Tvoří největší podíl na výnosech firmy. Jedná se o velké, z větší části zahraniční podniky.

1.1 První fáze činnosti podniku

První fáze činnosti podniku nastává tehdy, když podnik od zákazníka obdrží zakázku. Fungování našeho podniku lze stručně popsat následujícím způsobem. Činnost našeho podniku je závislá na dalších zúčastněných stranách, které představují další strojírenské podniky. Tyto strojírenské podniky lze rozdělit do čtyř skupin, které můžeme označit písmeny A, B, C, D. Nyní si jednotlivé skupiny popíšeme. Pro podniky A jsou zhotovovány zakázky, tudíž se jedná o naše zákazníky. Podniky B se přímo podílí na výrobě výrobků, z důvodů absence potřebných strojů v našem podniku. Podniky C nám dodávají hrubý materiál potřebný pro výrobu. Do poslední skupiny D řadíme podniky, které mají strategický význam z environmentálního hlediska jako je odběr třísek po obrábění a dalšího zbytkového materiálu. Poslední tři kategorie B, C a D budeme označovat jako sekundární podniky. Zakázka může být formulována třemi způsoby, které spadají do zabarvené oblasti vlivu zákazníka dle

Obr. 1. Výrobek se do podniku dostává už v určité životní fázi, která spadá do sféry vlivu zákazníka. Úkolem podniku je přivést výrobek do poslední fáze, ve které se hotový výrobek už jen uskladní a čeká na distribuci. Lepší přiblížení požadavků zákazníka ilustruje Tab. 2. Z ní je patrné, že firma přijme výrobek v určitém počátečním stavu, a to buď ve formě nějakého konceptu, nebo polotovaru. Tento stav je přímo závislý na zákazníkovi a definuje, v jaké životní fázi se výrobek nachází. Počáteční stav je také klíčový pro kalkulaci nákladů na výrobu a její náročnost. Zakázku může tvořit i seznam několika výrobků, nacházejících se v různých životních fázích a množstvích. O zpracování zakázek a jejich vyhodnocení dle náročnosti se stará výrobní management složený ze zkušených technologů a konstruktérů. V Tab. 2 je uveden i sloupec, kde je definována forma zadání zakázky, která má pouze informativní charakter. Tyto informace se zakládají na nejčastějších formách zakázek. Není však vyloučeno, že zákazník může zadat podniku pouze koncept, ale s přidaným výrobním postupem ve formě kódu pro NC stroj atd. Jak již bylo zmíněno, může jedna zakázka obsahovat i několik požadovaných výrobků, u nichž se používají různé technologie. Podnik musí nastavit, takovou strategii, která umožní zvládnout požadovanou zakázku v daný čas a žádané kvalitě. Tento problém většinou řeší zkušení členové managementu výroby. Pro usnadnění tohoto úkolu a zároveň lepší optimalizaci výroby může posloužit vybraný software pro digitální simulaci výroby [5] například FlexSim. Takový software může být užitečným nástrojem pro začínající manažery, ale zejména i k predikci kalkulace nákladů.

Tab. 2: Stručná ilustrace požadavků zákazníka ve formě vstupní podmínky pro zahájení první fáze činnosti podniku. Zdroj: [vlastní]

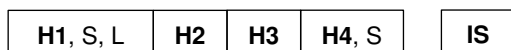
Životní fáze	Vstup	
	Počáteční stav výrobku	Forma zadání zakázky
I.	koncept	návrhový výkres pro CAD
II.	polotovar	návrhový výkres pro CAD
III.		model pro CAM, zadaný kód pro NC a CNC stroje

1.2 Druhá fáze činnosti podniku

Poté co podnik přijme zakázku, nastává druhá fáze jeho činnosti, a tou je zpracování vstupních podmínek a přesné určení dalších kroků. Předtím než si začneme definovat jednotlivé životní fáze výrobku, popíšeme si schematicky jednotlivé části zkoumaného podniku.

Schematický náčrt jednotlivých částí podniku je zobrazen na Obr. 2 a popis činností probíhajících v jednotlivých výrobních halách popisuje Tab. 3.

Ve druhé fázi činnosti podniku už můžeme začít popisovat životní cyklus výrobku z hlediska jeho výroby. Firma přijímá ročně několik zakázek, které jsou různě formulované, a tak výstup tvoří i několik výrobků, jejichž průběhy životních fází se mohou vzájemně lišit. V následujících sub sekcích budou obecně popsány jednotlivé životní fáze v souladu s Tab. 2. Nejčastějšími výstupy společnosti Jeti jsou výrobky z plechů, které tvoří 80 % veškerých zakázek, dále rotační součásti (hřídele) a atypické sestavy.



Legenda: H: výrobní hala, S: skladovací prostor, L: logistika IS: izolovaný skladovací prostor

Obr. 2: Schématické znázornění jednotlivých částí naší firmy zabývající se zhotovením výrobku. Zdroj: [vlastní]

Tab. 3: Popis funkcí jednotlivých výrobních hal z technologického a logistického hlediska. Všechny haly disponují moderním vybavením, jako jsou NC a CNC stroje. Zdroj: [vlastní]

Výrobní hala	Technologické hledisko				Logistické hledisko
	Obrábění	Tváření	Spojování materiálu	Povrchové úpravy	
H1	-	-	svařování nerezů	moření malých výrobků	skladovací prostor pro hotové výrobky, kancelář managementu logistiky
H2	-	ohraňování, stříhání a vysekávání	svařování černého kovu, bodové svařování a nýtování	-	-
H3	řezání pomocí pily a laseru, soustružení, frézování, vrtání a broušení	-	-	odmašťování a čištění	výdejna materiálu potřebného pro potřeby obrábění a ochranných pomůcek
H4	-	-	-	lakování	skladovací prostor pro hutní materiál (profilové tyče) a plechy z černého hliníku

Koncept

Obdrží-li firma zakázku formulovanou jako koncept, nachází se výrobek v první životní fázi (viz Obr. 1). To vyžaduje přípravu výrobních výkresů, volbu vhodné technologie a sestavení výrobního plánu, to znamená, že je vyžadováno plné zapojení výrobního managementu. Dále je nutné oslovit podniky (viz Kap. 1.1), které nám dodají hrubý materiál, pokud ho neposkytne sám zákazník. Nejčastěji se jedná o dodávané tabulové plechy a hutní materiál v podobě profilových tyčí. Snahou je, aby byl materiál dodán z co nejkratší vzdálenosti, a tím se snížily náklady a zkrátil čas. Dále musí naše společnost zajistit bezproblémový průběh mezi jednotlivými životními fázemi. Dle Obr. 1 se bude jednat o čtyři fáze. Můžeme předpokládat, že takový proces bude pro podnik nejnáročnější a nejnákladnější. Ale vše závisí na daném typu výrobku a jeho množství. V tomto případě se jedná o kompletní výrobu rotačních součástí, zejména hřídelí nebo výrobků z plechu.

Výrobek v druhé fázi svého životního cyklu

Za této podmínky zákazník firmě předá dané množství polotovarů s výkresem hotového výrobku. Firma musí zajistit vhodnou výrobní technologii a výrobní plán.

Tento proces se příliš neliší od předchozího procesu, kdy vstupem je pouze koncept. Vše opět záleží na náročnosti a objemnosti výstupních výrobků a kolik sekundárních podniků bude během výroby zapojeno. V tomto případě se může jednat například o operace, jako jsou výroba drážek pro hřídele na CNC frézkách, zhotovení svařovaných konstrukcí nebo dokončovací operace, například broušení, lakování či odhroťování.

Výrobek ve třetí fázi svého životního cyklu

V této fázi firma obdrží od zákazníka opět určité množství polotovarů s předem daným výrobním postupem ve formátu programového kódu pro daný NC nebo CNC stroj. Primárnímu podniku už zbývá jen sestavit vhodný plán výroby a zahájit operaci. Tato fáze urychluje zejména operace před zahájením obrábění, kde jen stačí nainstalovat kód do příslušného stroje. V rámci dokončovacích operací se situace nijak nemění. Tento proces se ovšem může stát velice nákladným a náročným v

případě výsledných objemných výrobků, kdy dokončovací nebo doplňkové operace probíhají v sekundárních podnicích.

1.3 Třetí fáze činnosti podniku

V této fázi zmíníme pojem logistika. Na Obr. 1 je pojem logistika uveden v poslední životní fázi výrobku, v rámci výrobní perspektivy. Jedná se zejména o skladování hotových výrobků ve výrobní hale H1. Za správné uskladnění hotových výrobků a jejich konzervaci, tj. ochranu povrchu materiálu, zodpovídá management logistiky. Dalším úkolem managementu logistiky je komunikace s dodavateli hrubého materiálu nebo výrobků, u kterých byla provedena doplňková technologie. Doplňkovou technologií může být moření velkých výrobků nebo pískování. Jedná se o technologie, které společnost Jeti nemůže v rámci svých výrobních hal zajistit. Správné uskladnění materiálu je naprosto klíčové pro zachování jeho kvality. Proto jsou materiály podléhající korozi skladovány v hale H4. Odolnější materiály jsou skladovány z kapacitních důvodů ve „venkovních“ prostorách (izolovaný sklad na obrázku 3), většinou se jedná o povrchově upravené plechy.

Dalším prvkem logistiky je propojení jednotlivých výrobních hal za účelem usnadnění a urychlení výroby a provozu podniku. Výrobek je v rámci jednotlivých životních fází vystavován neustálé manipulaci mezi jednotlivými výrobními halami, ve kterých probíhají různé operace, jak je patrné z Tab. 3. Toto mezi halové propojení je v naší firmě zajišťováno pomocí různých transportních strojů (manuální vozíky, menší transportní stroje, vysokozdvizné vozíky, pásové dopravníky, jeřáby atd.).

1.4 Environmentální hledisko výrobní činnosti podniku

Je obecně zřejmé, že během výroby bude docházet k velké spotřebě energie. A to zejména u NC a CNC strojů, kde je vyžadován neustálý provoz. Také je třeba zdůraznit, že při dokončovacích operacích, jako je například lakování, dochází k úniku jedovatých plynů do okolí. Zde je nutné dodržovat přísná pravidla bezpečnosti práce všemi zaměstnanci. Pro zajištění zdravého prostředí pro zaměstnance na jednotlivých halách je zapotřebí přesně definovat ekologickou náročnost jednotlivých výrobních procesů, které v nich probíhají. K tomuto účelu lze použít tabulku 3. Je zřejmé, že s jednotlivými životními fázemi se pojí environmentální otázky. Snaha být co nejekologičtější v každé fázi bude vyžadovat i určité investice, které se projeví také v kalkulaci celkových nákladů.

Obráběcí procesy

Během třískového obrábění dochází ke vzniku třísek, které se v podniku ukládají a skladují ve speciálních skladech. Právě tak se uskládňuje zbytkový materiál vzniklý při beztržkovém obrábění. Zbytkový materiál je skupován podniky, které jsme v Kap. 1.1 označili písmenem D. Takový proces je důležitý nejen pro podnik, když se mu tak vrací část nákladů na nákup materiálu, ale odráží se to pozitivně i při šetření přírodních zdrojů v rámci recyklace.

Obráběcí centra pro svůj chod vyžadují i určitý objem chladicích kapalin a mazacích olejů. Tyto oleje mohou být použity několikrát. Poté jsou ukládány do speciálních kontejnerů a odvázeny k recyklaci v rámci spolupráce se sekundárními podniky.

Je důležité zmínit, že personál obsluhující tyto stroje je neustále v kontaktu s těmito oleji. Tyto oleje zapáchají a dráždí kůži, proto jsou zaměstnanci vybaveni ochrannými rukavicemi a rouškou. Dalším problémem je, že po dokončení procesu obrábění, a to zejména u CNC strojů, je zapotřebí daný obrobek zbavit chladicí kapaliny, která na něm ulpí. Toho dosáhneme pomocí kompresoru se stlačeným vzduchem, ale tato činnost je doprovázena silným hlukem. Proto by měli zaměstnanci v této hale nosit zátky do uší.

Závěr

Pokud chceme provádět kvalitní kalkulaci jakýkoliv nákladů v rámci středního strojírenského podniku, musíme nutně znát principy jeho fungování. Které můžeme definovat pomocí procesů složených z aktivit vyvolávající náklady. Ty v našem případě můžeme označit za procesy předvýrobní (konstrukce, plánování výroby atd.), výrobní, logistické a distribuční. Mezi těmito procesy musejí existovat kvalitní informační toky, které zaručí dobrou informovanost všech složek zaměstnanců. Tím můžeme předejít možným rizikům způsobeným nedostatečnou informovaností. Důležitá je také existence sekundárních podniků v blízkosti primárního podniku. Čím blíže podniky jsou, tím menší jsou problémy s dopravou a s jejich vzájemnou komunikací. Tato podmínka je v rámci společnosti Jeti splněna. Týká se to především těch výrobků, u nichž je požadována speciální technologie, kterou naše firma nemůže poskytnout, anebo pokud jde o dovoz hrubého materiálu. Tento problém nastává především při moření velkých výrobků. Pro takové výrobky musí být zajištěn sekundární podnik zabývající se touto technologií. Obdobný problém nastává při dalších povrchových úpravách, například při pískování. Použití této technologie však není příliš náročné, proto by se firma měla pokusit zajistit ji přímo na místě. Pokud by se tak stalo, odpadl by problém spolupráce s dalším sekundárním podnikem, firma by ušetřila čas a náklady na dopravu. Závěrem lze říci, že čím méně je sekundárních podniků, tím méně bude práce pro primární podnik, tj. společnost Jeti. Důležitým prvkem kvalitní výroby je i kvalitní personál, kterému by podnik měl zaručovat zdravé a příjemné prostředí, případně školení potřebné k výkonu práce. Cílem tohoto článku bylo zaměřit se na životní cyklus výrobku z hlediska výrobní perspektivy, teoreticky jej aplikovat na konkrétní firmu a provést určité zhodnocení. Článek tento cíl naplňuje a nabízí základ pro budoucí kalkulace nákladů životních cyklů jednotlivých výrobků vyráběných firmou Jeti. Článek vznikl v rámci studentské grantové soutěže ČVUT.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/163/OHK2/3T/12.

Prameny

1. EMBLEMSVAG, Jan. Life-Cycle Costing. Hoboken (New Jersey): John Wiley, 2003. ISBN 0-471-35885-1.
2. FREIBERG, František. Management of Life-Cycle Costing. *Transfer inovací* [online]. 2008, **11**, 10-14 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovaci/pages/archiv/transfer/11-2008/pdf/10-14.pdf>
3. KUMAR, Manish a Monto MANI. A systems-based sustainability assessment framework to capture active impacts in product life cycle/manufacturing. *Procedia Manufacturing*. 2019, **33**, 647-654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.081>. ISSN 2351-9789. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919305608>
4. KURILOVA-PALISAITIENE, Jelena, Louise LIND-KVIST a Erik SUNDIN. Towards Facilitating Circular Product Life-Cycle Information Flow via Remanufacturing. *Procedia CIRP*. 2015, **29**, 780-785. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.162>. ISSN 2212-8271. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115004758>
5. KUTIN, Andrey, Vitalii DOLGOV a Mikhail SEDYKH. Information Links between Product Life Cycles and Production System Management in Designing of Digital Manufacturing. *Procedia CIRP*. 2016, **41**, 423-426. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.126>. ISSN 2212-8271. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115012056>
6. MIKOVCOVÁ, Hana. Activity Based Costing. *Acta Oeconomica Pragensia*. 2008, 16(4), 22-28. DOI: 10.18267/j.aop.127.

7. VOGL, Jan. Product Life Cycle Cost Analysis. Transfer inovací [online]. 2012, 24, 245-247 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovaci/pages/archiv/transfer/24-2012/pdf/245-247.pdf>
8. WOODWARD, David G. Life cycle costing—Theory, information acquisition and application. International Journal of Project Management. 1997, 15(6), 335-344. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(96\)00089-0](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(96)00089-0). ISSN 0263-7863. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786396000890>
9. Jetti, a. s. [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.jetti.cz>

Kontaktní údaje o autorech

Ing. Matouš Machka

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

Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2 – Nové Město

+420 775 993 153

matous.machka@email.cz

Bc. Jiří Suchomel

Mentor společnosti Jetti

KVALITA V MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT

QUALITY IN VALUE STREAM MAPPING

Václav Michalec, Michal Kavan

Abstrakt

Současný růst popularity zavádění konceptu štíhlé výroby, jehož cílem je maximálně uspokojit požadavky zákazníka a zajistit neustálé zlepšování celé organizace skrze odstranění plýtvání, je v dnešním rychle se měnícím světě téměř nutností nejen pro výrobní společnosti, ale i společnosti z ostatních odvětví. Jedním z nástrojů štíhlé výroby, který slouží k analýze, vizualizaci, identifikování příčin úzkých míst a plýtvání v daném procesu, je mapování toku hodnot, v anglickém jazyce Value Stream Mapping (VSM), který je možné použít jak na celou společnost, tak na její jednotlivé části. Cílem příspěvku je poukázat na limity nástroje z hlediska měření kvality a představit možnosti, jak zdokonalit tento nástroj skrze zaměření se na kvalitu výstupu celého procesu či jeho jednotlivých činností.

Klíčová slova: kvalita, štíhlá výroba, mapování toku hodnot, VSM

Abstract

The current increase in the popularity of implementing a lean manufacturing concept that aims to satisfy customer requirements and ensure continuous improvement of the entire organization through the elimination of waste is almost a necessity not only for manufacturing companies but also for companies in other industries due to today's rapidly changing world. One of the lean manufacturing tools being used to analyze, visualize, identify causes, bottlenecks and waste of a process is Value Stream Mapping (VSM), which can be applied to the entire company or its individual sections. The aim of the paper is to point out the limits of VSM in terms of quality measurement and to present possibilities of how to improve this tool by focusing on the quality of the output of the whole process or its individual activities.

Key words: quality, lean manufacturing, value steam mapping, VSM

Úvod

Cílem tohoto článku je poukázat na měření kvality pomocí mapování toku hodnot jako na nástroj štíhlé výroby vhodný pro vizualizaci a identifikaci slabých míst procesu. První kapitola definuje kvalitu z hlediska výrobních společností a věnuje se výši a rozdělení nákladů spojených s nekvalitou, společně se stručným popisem štíhlé výroby. V druhé kapitole je popsán stávající přístup k mapování toku hodnot, na který navazuje kapitola popisující dosavadní možnosti měření kvality ať už v jednotlivých činnostech, tak v celém zmapovaném toku, společně s možnými nedostatky a omezeními. Následující kapitola popisuje jiné možnosti měření kvality přispívající k lepší identifikaci problémů. Závěr článku shrnuje zjištěné poznatky a diskutuje nad možnostmi rozvoje nástroje mapování toku.

1 Kvalita a štíhlá výroba

Kvalita je definována mnoha způsoby, ale při zaměření se na její definici z hlediska výroby, je ve většině případů označována jako shoda požadavků zákazníka neboli poptávky s nabídkou neboli technickým výstupem společnosti, který plní slíbený návrh či konkrétní specifikace. Z tohoto stanovení

vyplývá, že jakákoliv odchylka od předem definovaného výstupu je snížením kvality. Jedná se tedy o plnění specifikací či návrhu, které tak určitým způsobem zjednodušuje výrobu. Zjednodušení probíhá díky včasnému vyřazení odchylek, a to jak ze strany vývoje a výroby produktu díky analyzování komponent, tak ze strany druhé pomocí identifikace možných způsobů selhání společně s navržením zvýšení spolehlivosti skrze kontrolu kvality. Výstupem výrobních metod je tak klást důraz na zvyšování kvality neboli snížení počtu odchylek skrze prevenci výskytu vadných výrobků pomocí důkladnějšího navrhování a testování prototypů společně s četnější kontrolou komponentů a jejich následného vyřazení s cílem snížení nákladů spojených s přepracováním, šrotováním a reklamacemi, které výrazně převyšuje náklady na prevenci vad. [1]

1.1 Náklady kvality

Ve většině společností se náklady spojené s nekvalitou pohybují v rozmezí od 5 do 30 % obratu společnosti, ale můžeme se setkat i s až 36 % u výrobních společností a 40 % u společností poskytujících služby. [2] Náklady se obecně rozdělují do čtyř následujících kategorií:

- *Interní* – náklady, které vznikají před dodáním finálního produktu zákazníkovi. Příčinami těchto nákladů jsou činnosti jako přepracování, opravy, špatná kvalita materiálu či komunikace nebo nedostatečné zásoby, které všechny přispívají k neplánovaným prostojeům.
- *Externí* – náklady vznikající po dodání produktu nebo při poskytování služby zákazníkovi. Příkladem mohou být náklady spojené se záruční lhůtou, reklamace, vrácení produktu, ale i nutnost snížit cenu z důvodu nedodržení požadavků zákazníka.
- *Paušální* – náklady spojené se všemi činnostmi souvisejícími s inspekci, zkouškami, údržbou, kalibrací a testováním.
- *Preventivní* – náklady vynaložené na prevenci s cílem minimalizace nákladů spojených se selháním jakýchkoliv procesů v celé společnosti, ale také paušálních nákladů spojených s kvalitou. Do této kategorie patří například revize návrhů, hodnocení firemních procesů, ale i průzkumy a hodnocení dodavatelů a v neposlední řadě vzdělávání, školení a tréninky. [3]

Pokud bychom měli stanovit poměr těchto nákladů, uvádí se, že 90 % nákladů spojených s nekvalitou se skrývá v interních a externích nákladech. Z účetního hlediska se pro společnost jedná o přímou ztrátu zisku. Podíváme-li se na příčiny vzniku těchto interních a externích nákladů spojených s nekvalitou, stojí za nimi nízké preventivní náklady, kdy právě špatná kontrola dodavatele, nedostatečné zaškolení pracovníků, nedostatek materiálu či nástrojů, neefektivní plánování výroby, nedostatečná kontrola procesů anebo špatná komunikace jsou hlavními příčinami výše uvedených 5 až 40 % obratu společnosti. [4]

1.2 Štíhlá výroba

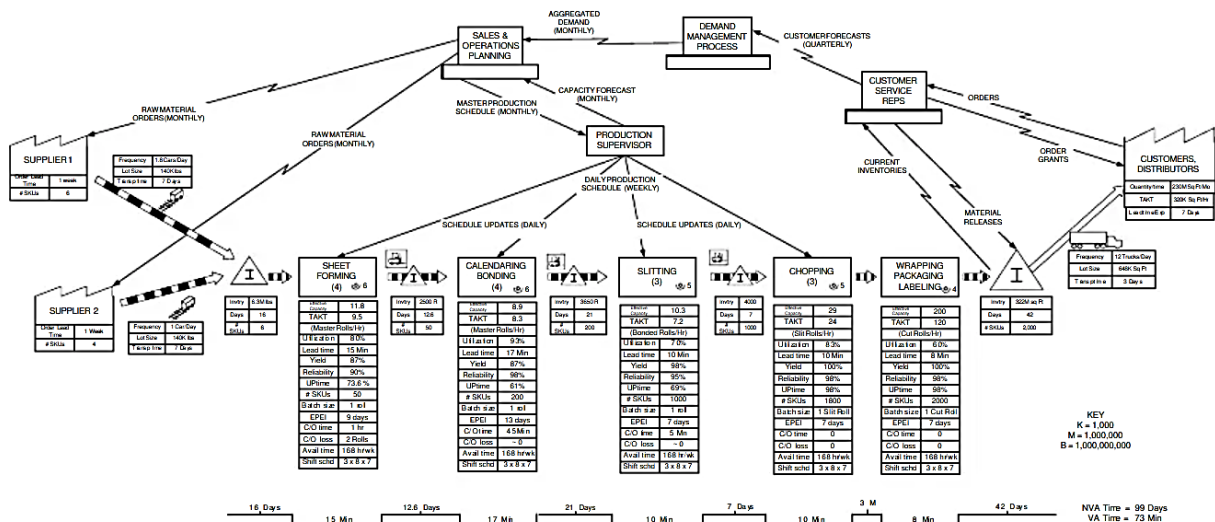
Cíl dodávat kvalitní výrobky, které plní požadavky zákazníka s maximálním využitím zdrojů skrze odstranění plýtvání, si klade i metodologie štíhlé výroby. Metodologie, která vznikla jako součást výrobního systému Toyoty v polovině 20. století a která se od té doby rozšířila do různých průmyslových odvětví po celém světě. Tlak na redukci všech druhů plýtvání a plnění požadavků zákazníků roste s rostoucí konkurencí a díky empiricky prokázaným schopnostem si metodologie štíhlé výroby získává čím dál více následovníků a stává se tak nedílnou součástí firemních kultur. [5] Zároveň, jak popisuje Rufe, v současné době neexistuje žádný argument proti potřebě zapojit se do činností neustálého zlepšování, má-li společnost zůstat životaschopná a konkurenceschopná na globálním trhu. [6]

Jak již bylo popsáno výše, jednou z příčin vzniku nekvality jsou špatně nastavené procesy uvnitř společnosti, společně s jejich nedostatečnou kontrolou. Pro odstranění plýtvání a odchylek v procesech uvnitř společnosti existuje řada nástrojů, které štíhlá výroba aplikuje. Jsou to nástroje jako 5S, Kaizen, Kanban, SMED, Poka-Yoke, TPM, JIT či Gemba. Avšak po identifikaci procesů,

kteří z pohledu zákazníka přidávají hodnotu neboli výstupu z tzv. hlasu zákazníka (voice of customer), je nejhodnějším nástrojem analyzování současného stavu sestavení tzv. mapy toku hodnot. [7]

2 Mapování toku hodnot

Nástroj mapování toku hodnot, častěji známý ve svém anglickém překladu jako value stream map (VSM), je nejčastěji používán při aktivitách neustálého zlepšování, a to jak ve výrobních společnostech, tak i společnostech poskytujících služby. Výhodou VSM je snadné a realistické znázornění procesu od zákazníka zpět k zákazníkovi společně se znázorněním toku informací a materiálu. [8] Výstupem VSM je tak komplexní popis celého procesu od komunikace se zákazníkem, přes zpracování objednávek, výrobu až po dodávku produktů či služeb zákazníkovi. Přínosem VSM je snadná identifikace míst procesu, ve kterých je vytvářena hodnota, a kde naopak dochází k plýtvání. VSM zároveň dodává určitý nadhled nad celým procesem, díky kterému účastníci procesu mohou vidět celý tok, nikoliv jen samostatnou část, které jsou součástí, a díky čemuž často přispívá ke zlepšení komunikace a porozumění mezi jednotlivými aktivitami celého procesu, viz Obr. 1. [9]



Obr. 1: Příklad zpracování mapy toku hodnot. Zdroj: [10]

Na první pohled zpracování VSM může vypadat jako procesní diagram, avšak důraz na obchodní dopad celého procesu, založeného na štíhlém myšlení ve spojení s využitím standardizovaných symbolů, z VSM dělá pokročilý nástroj pro správu provozu. [11] Symboly jsou rozděleny do tří hlavních skupin zachycujících tok informací, materiálu a časovou osu procesu. Tok informací znázorňuje jak veškeré informační toky plynoucí od a k zákazníkovi ve smyslu řízení požadavků, co a kdy má být vyrobeno a dodáno, tak toky informací mezi podnikovými subjekty. Časová osa zachycuje a porovnává časy jednotlivých aktivit procesu, které přidávají hodnotu, tzv. value-added-time, společně s časy, které hodnotu nepřidávají, tzv. non-value-added time. Časová osa je tak jedním z klíčových identifikátorů následků plýtvání z hlediska jejich druhů, nikoliv jejich příčin. Tok materiálu z pohledu výrobních společností znázorňuje přeměnu materiálu skrze výrobní proces od jeho syrové podoby až po hotový výrobek a zaměřuje se jen na hlavní části zařízení či celkového procesu. Pro podrobnější popis a pochopení těchto hlavních částí se sestavují tzv. datová okna, která ilustrují například kapacitu, takt, utilizaci, OEE, ale také kvalitu. [12]

3 Kvalita v mapování toku hodnot

Kvalitu jednotlivých částí procesu popsaného v toku hodnot lze označovat jako „Yield“, a definovat pomocí rovnice (1):

$$Yield = \frac{výstup}{vstup} \times 100. \quad (1)$$

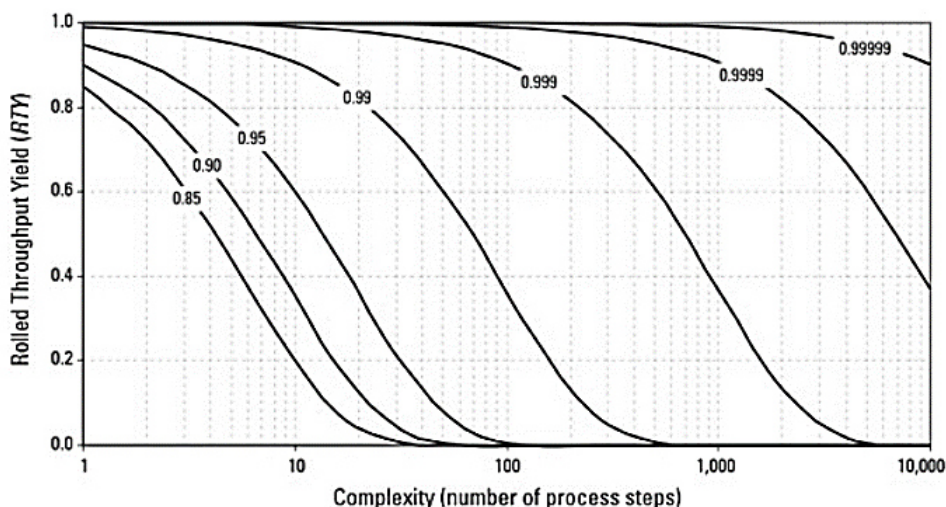
Tento postup a výpočet ovšem silně nadhodnocuje kvalitu dané činnosti z toho důvodu, že neodráží interní náklady spojené s nekvalitou, jako mohou být opravy, přepracování apod. Nadhodnocení kvality způsobuje návrat těchto opravených a přepracovaných produktů zpět do procesu s následným navýšením čitatele výše uvedeného vzorce. Již tento rozdíl dokáže způsobit snížení kvality dané činnosti o několik procentních bodů a následně pak může ovlivnit viditelnost potřeby provádět v dané činnosti zlepšení. [13]

Pokud se z měření kvality jedné činnosti mapovaného toku přesuneme na měření kvality toku, je nutné vzít v úvahu každý dílčí krok procesu. Pro získání celkové kvality, tedy procenta jednotek procházejících celým tokem, označované jako *Rolled Throughput Yield* (RTY), je nutné vynásobit kvalitu každého dílčího procesu podle rovnice (2):

$$RTY = \prod_{i=1}^n TPY_i, \quad (2)$$

kde n = počet činností mapovaného procesu
 TPY_i = výše kvality i-té činnosti mapovaného procesu.

Z uvedeného výpočtu vyplývá a lze také očekávat, že multiplikační účinek dosažený složitostí procesu bude mít negativní efekt na výši celkové kvality mapovaného procesu, a to i za podmínek, kdy bude kvalita jednotlivých dílčích činností vysoká. Jak složitost procesu snižuje celkovou kvalitu výstupu při stejné úrovni kvality jeho individuálních částí, popisuje Obr. 2. níže. [14]



Obr. 2: Pokles celkové kvality procesu při různých úrovních jeho složitosti a stabilní kvalitě individuálních aktivit. Zdroj: [14]

4 Možnosti měření kvality v mapování hodnotového toku

Při mapování hodnotového toku je kvalita zaznamenávána na jediném místě, v tzv. datových oknech, a jak blíže popisuje předchozí kapitola, nejedná se o zcela jednoznačnou hodnotu. Pro zlepšení výstupů spojených s kvalitou, a případné zdůraznění těchto výstupů ve zmapované činnosti celého toku, se nabízí několik možností. Jednou z nich je zaměření se na procentuální výši vyskytujících se vad v dané činnosti, označovanou jako *Defects per Unit* (DPU), kterou lze stanovit podle rovnice (3):

$$DPU = \frac{\text{Celkový počet vad}}{\text{Celkový počet jednotek činnosti}}. \quad (3)$$

Přínosem této hodnoty je zaměření se na veškeré možné vady, které během aktivit probíhajících v dané činnosti mohou vzniknout, a přispět tak k viditelnosti pro provedení zlepšení činností. [15]

Další možností je výpočet indexu schopnosti procesu nazývaného také jako *Process Capability Index* (Cpk), který nás vrací na úvod tohoto článku a přidává do měření kvality požadavky a specifikace definované zákazníkem ve smyslu horních, *upper specification limit* (USL), a dolních, *lower specification limit* (LSL), mezi dle rovnice (4):

$$Cpk = \min \left[\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \right], \quad (4)$$

kde USL = horní mez specifikace
LSL = dolní mez specifikace
 σ = směrodatná odchylka populace.

Index následně udává jedinou hodnotu, která slouží jako měřítko toho, jak daná činnost či celý proces produkuje výrobky nebo služby. Výsledná hodnota samozřejmě závisí na požadavcích zákazníka, průmyslovém odvětví, ale i složitosti procesu, kdy cílem je dosáhnout hodnoty vyšší než 1. [16]

Závěr

Konkurence mezi společnostmi dodávajícími zákazníkům výrobky a služby se díky vývoji průmyslu neustále zvyšuje společně s tlakem na efektivní využití jejich zdrojů a snižování nákladů. Z tohoto důvodu náklady spojené s nekvalitou v rozmezí 5 až 40 % obrátu společnosti, jak bylo uvedeno v úvodu tohoto článku, mohou být někdy až likvidující. Tento fakt přispívá k tomu, že stále více a více společností implementuje koncept štíhlé výroby, jehož cílem je maximálně uspokojit požadavky zákazníka a zajistit neustálé zlepšování celé organizace skrze odstranění plýtvání.

Jedním z nástrojů, které metodologie štíhlé výroby používá k vizualizaci a identifikování slabých míst procesů společnosti, je mapování toku hodnot (VSM). Jak ale popisuje článek, pokud je kvalita součástí VSM, dochází často k ne zcela jednoznačnému výpočtu. Důvodem může být úmyslné nadhodnocení, nedorozumění, ale i nízká kvalita zaškolení při zpracování VSM. Z tohoto důvodu článek představuje jiné možnosti měření kvality, které je možné zakomponovat do datových oken materiálového toku, a pomoci tím při identifikaci slabých míst a jejich následnému zlepšení.

Jednou z možností je hodnota DPU, která se zaměřuje na procentuální výši vyskytujících se vad z hlediska veškerých možností dané činnosti, a díky tomu pomáhá lépe přiblížit a identifikovat slabá místa procesu. Jako další možnost byl uveden index Cpk, který popisuje schopnost procesu plnit požadavky a specifikace zákazníka, které jsou definovány jako horní a dolní meze výstupu. Tyto zákazníkem definované meze, často uváděné jako *service-level agreement* (SLA), lze v praxi velmi snadno převést do *key performance indicator* (KPI) daného procesu, střediska či linky.

Mapování toku hodnot je komplexnějším nástrojem štíhlé výroby, který byl popularizován v posledních deseti letech minulého století, avšak v mnoha publikacích je často popisován jako nástroj tužky a papíru, což s sebou přináší jeho možné limity. K nedostatečnosti nástroje přispívá i stále větší složitost procesů společností, která je spojena s nutností dnešní doby plnit rozmanité požadavky zákazníka. Mapování toku hodnot se tak stává nástrojem, který nestačí složitým procesům dnešního průmyslu a je nutné hledat možnosti, jak tento nástroj dále rozvíjet.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/163/OHK2/3T/12

Prameny

1. GRAVIN, David. What Does "Product Quality" Really Mean?. Sloan Management Review [online]. 1984, 26(1), 27-28 [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <https://sloanreview.mit.edu/article/what-does-product-quality-really-mean/>
2. RUSSELL, J. ASQ Auditing Handbook. *ASQ Auditing Handbook: Principles, Implementation, and Use* [online]. 4th Edition. Milwaukee, USA: American Society for Quality (ASQ), 2013, s. 201-202 [cit. 2020-08-20]. ISBN 978-0-87389-847-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00ULYVV5/asq-auditing-handbook/categorizing-quality>
3. WESTCOTT, Russell. WESTCOTT, Russell. *Certified Manager of Quality: Organizational Excellence Handbook* [online]. 3rd Edition. Milwaukee, USA: American Society for Quality (ASQ), 2006, s. 366-371 [cit. 2020-08-20]. ISBN 978-0-87389-678-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00AQEUN1/certified-manager-quality/categorizing-quality>
4. TOOLEY, Mike. *Design Engineering Manual* [online]. First edition. Burlington, USA: Elsevier, 2010, s. 300-301 [cit. 2020-08-20]. ISBN 978-1-85617-838-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008U9714/design-engineering-manual/the-costs-of-quality>
5. NORHAZRINA, Jamil, Gholami HAMED, Saman, MUHAMAD ZAMERI MAT, Dalia STREIMIKIENE, Sharif SAFIAN a Zakuan NORHAYATI. DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping: towards a sustainable manufacturing system. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja* [online]. 2020, **33**(1), 331-360 [cit. 2020-08-18]. DOI: 10.1080/1331677X.2020.1715236. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1715236>
6. RUFÉ, Philip. *Fundamentals of Manufacturing* [online]. 3rd Edition. Michigan, USA: Society of Manufacturing Engineers (SME), 2013, s. 477-479 [cit. 2020-08-20]. ISBN 978-0-87263-870-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00BKEZ21/fundamentals-manufacturing/internal-failure-costs>
7. JACKSON, Daniel. *Statistics for Quality Control* [online]. First edition. Connecticut, USA: Industrial Press, 2015, s. 206-209 [cit. 2020-08-20]. ISBN 978-0-8311-3517-1. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010VA954/statistics-quality-control/lean-principles>
8. GULATI, Ramesh. *Maintenance and Reliability Best Practices* [online]. 2nd Edition. New York, USA: Industrial Press, 2013, s. 392-393 [cit. 2020-08-18]. ISBN 978-0-8311-3434-1. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00B0DGN6/maintenance-reliability/value-stream-mapping>
9. RUSSELL, J. *ASQ Auditing Handbook: Principles, Implementation, and Use* [online]. 4th Edition. Milwaukee, USA: American Society for Quality (ASQ), 2013, s. 236 [cit. 2020-08-20]. ISBN 978-0-87389-847-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00ULYWP6/asq-auditing-handbook/five-s>
10. KING, Peter. Value Stream Mapping: Process Industry Operations. In: *Academia.edu* [online]. Academia: Lean Dynamics LLC, 2009 [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: https://www.academia.edu/37512520/VALUE_STREAM_MAPPING_PROCESS_INDUSTRY_OPERATIONS
11. BURKE, Sarah a Rachel SILVESTRI. *Certified Quality Engineer Handbook* [online]. Fourth Edition. Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality (ASQ), 2017, s. 282-284 [cit. 2020-08-20]. ISBN 978-0-87389-944-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011FEC7C/certified-quality-engineer/value-stream-mapping>
12. KING, Peter a Jennifer KING. *Value Stream Mapping for the Process Industries: Creating a Roadmap for Lean Transformation*. 1st Edition. USA: CRC Press, 2015, s. 5-20. ISBN 978-1-4822-4769-5.
13. KUBIAK, T. a Donald BENBOW. *Certified Six Sigma Black Belt Handbook* [online]. 3rd Edition. Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality (ASQ), 2017, s. 381-387 [cit. 2020-08-20]. ISBN 978-0-87389-941-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011FCPX6/certified-six-sigma-black/throughput-yield-tpy>
14. GIGY, Craig a Bruce WILLIAMS. *Six Sigma For Dummies*. 2nd Edition. Hoboken: Wiley, 2012, s. 179-184. ISBN 978-1-118-12035-4.

15. RUGGERI, Fabrizio, Ron KENETT a Frederick FALTIN. *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability* [online]. Volumes 1-4. England: John Wiley & Sons, 2007, s. 502-503 [cit. 2020-08-23]. ISBN 978-0-470-01861-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt007NTM31/encyclopedia-statistics/defects-per-million-opportunities>
16. CROSSLEY, Mark. *Desk Reference of Statistical Quality Methods* [online]. 2nd Edition. Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality (ASQ), 2008, s. 369-381 [cit. 2020-08-23]. ISBN 978-0-87389-725-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00ATXJX1/desk-reference-statistical/confidence-interval-cpk>

Kontaktní údaje o autorech

Jméno	Ing. Václav Michalec
Pracoviště	České vysoké učení technické v Praze, Ústav řízení a ekonomiky podniku
Adresa	Karlovo náměstí 13, 121 35, Praha 2, Česká republika
Telefonní číslo	+420 605 174 943
E-mail	michava1@cvut.cz

Jméno	doc. Ing. Michal Kavan, CSc.
Pracoviště	České vysoké učení technické v Praze, Ústav řízení a ekonomiky podniku
Adresa	Karlovo náměstí 13, 121 35, Praha 2, Česká republika
Telefonní číslo	+420 732 940 072
E-mail	Michal.Kavan@fs.cvut.cz

EVALUATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IMPLEMENTATION PERSPECTIVES IN AN ORGANIZATION IN THE DIGITAL TRANSFORMATION ERA

Alexey Ryzhkov

Abstract

The paper goal is to find out what industries and functional areas are preferable to invest in Artificial Intelligence (AI) implication. The analysing data with AI technologies to maintain decision making process is the modern trend. To focus on most perspective functional areas in an organization it is needed to clarify what cases are more successful in the AI application. Based on forecasts of researchers and statistical information of Czech Statistical Office author provides ranks of functional areas of business by industries in comparison with economic forecast. The result are ranks of industries and functional areas, showed as preferable to invest in AI solutions development or implication.

Key words: digital transformation, digitalization, artificial intelligence, forecast

Introduction

Growing competition over the world forces companies to adopting best technologies and methods to maintain competitiveness. Like automation in the past, the Artificial Intelligence (AI) technologies provide possibilities to reach higher productivity and efficiency with cost optimization or adding value to products and services. The goal of research is to find a most perspective areas to invest in development and application of AI technologies in the digital transformation sustainable process in the world and applicate it to the Czech Republic.

Nowadays the digital transformation (DT) is the most popular trend and most important development direction for a country and country unions, holdings and an organization. European Union set a Digital Strategy as a part of whole strategy plan [4]. After the declining attention to the terms Industry 4.0 and Industry 5.0 the digitalization (DZ) and digital transformation (DT) are very popular concept discussed within a competitiveness and business strategy questions.

The information growth rate present in the research included 168 countries [10] and the business information volume as share of total growth is increasing at least in the same proportion. An organization should to collect, transform, store, process data to analyse and extract information for decision making. Today any company should work with big volume of data with digital technologies including AI and use modern complex software to be competitive.

The global digitization started in 2000th according to the research of digital technology and digital memory capabilities domination [9]. Nevertheless, the digitalization still is a not well-known process with high uncertainty of perspectives and advantages for a management. The literature review shows sustainable growth of the interest to this subject (Digitalization, Business Model Innovation, Sustainable Industry) in academic environment with sustainable increasing of publications [15].

1 Theoretical background

1.1 Definitions of terms

In European Commission documents and DESI reports used number of terms related to DT. It is good to separate and describe the term “digitization” from DT and DZ. Digitization means an operation of converting analog data to digital data. The last update and review of the digital transformation [14] provided by EPRS (European Parliamentary Research Service) in the June 2019 described the DT as the process which “covers both the integration of digital technologies by European enterprises and the impact on society of new technologies”.

The comprehensive research review shows how it is possible to understand the terms of a digital transformation and a digitalization [8]. The difference is in points of view on the role of these terms for academic and business or researchers and practitioners. In this paper the definitions of “digitalization” and “digital transformation” are considered to be very close. Thus, both terms are interchangeable. The concept of Digitalization in this paper is defined as a process of adaptation business processes, including social communications, and a business model of an organization to use mostly digital technologies in operations, processes management and decision making. The goals of digitalization for an organization in general are maintaining and increasing a competitiveness, increasing an added value and decreasing costs. The European AI Strategy paper [17] provides AI definition as “Artificial Intelligence refers to systems that display intelligent behaviour by analysing their environment and taking action — with some degree of autonomy — to achieve specific goals.”.

In this article the AI term includes Machine Learning, Artificial Neural Networks, Deep Learning and other fields. The AI could be understood as a complex of algorithms and methods which could be implemented in different levels of processes in the functional areas of an organization to rational and efficiency problem solving.

1.2 The state-of-art overview

In the pandemic time the digital transformation process accelerates. The McKinsey’s research shows that new challenge forces companies to review their strategies and digital strategies to fit new market state and conditions. McKinsey findings show [13] that digitalization process is forced for about 70 percent of executives from Germany, Switzerland and Austria. But the same time their earlier research of 2017 year [1] shows uncertainty will digital transformation be profitable or not.

This means that first-moved companies should take a competitive advantage in middle and long terms range, even a short-term perspective can cause decline of financial indicators like EBITDA and etc. The loss risks of pioneers could be higher in a short-term but competitive advantage could be significantly higher in a long-term horizon. Thus, a management of an organization has to understand the risk of delaying digital transformation in short and long terms. Not all companies are successful today in digitalization [5]. The academic world can try to provide a guide or methods how to implement digital transformation in an organization to decrease uncertainty of results.

In the research of digitalization “Global Digital Operations Study 2018” [6] the PwC company describes the level of digital maturity shows that EMEA region is less prepared to fast digital transformations. The research shows that EMEA region has 5% of leading category “Digital Champions” and 20% of the category “Digital Innovator” but Americas has 11% of Champions and 39 of Innovators. The leader is APAC region which has 19% of Champions and 33% of Innovators.

The automotive and electronics industries are leaders [6] in the rank of digital maturity by industry. It means that they are much more prepared to digital future. But industrial manufacturing and process industries are lagging. New technologies including AI often associated with digitalization process as integrated part of it. The IDG research “2019 Digital Business Survey” [11] demonstrates expectation

from most perspective technologies. The IDG research shows that 59% of investments will be spent on new technologies. The same time 91% of respondents declare organization's adoption of Digital-First strategy.

1.3 Digital transformation framework

Digital transformation is a complex multidisciplinary task changing internal environment [18] of an organization. It changes business model and add new opportunities and responsibilities like digital strategy management for most of functional areas. Management not only evaluate risks and advantages but should to prepare for the process of digital transformation on all organization levels. The general illustration is presented below (Fig.1):

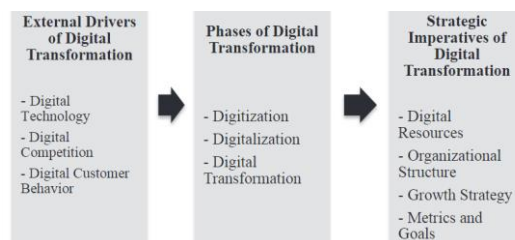


Fig. 1. Adapted: Flow Model for Discussion on Digital Transformation. Source: [3]

However, at least 35% of respondents in the IDG research are organizations have experienced revenue growth due to digital business, and on average they experience a 29% increase. The organizations that are in the digital maintenance stage are increased revenue up to 50%. The forecast of the market size of the digital transformation is about 284 billion (USD) in 2019 and is forecasted to expand from 2020 to 2027 at annual growth rate of 22.5% (CAGR) in the Digital Transformation Market Size, Share & Trends Analysis Report 2020-2027 [7] by Grand View Research. The market share could be present as costs of digital transformation for companies moving this evolutionary direction.

2 Methodology

In this paper, the author analyzes data from (CZSO) Czech Statistical Office [2], international research companies (McKinsey, BCG, Deloitte, MIT Sloan School of Management, IDC, IDG, PwC etc), European Commission research and uses ideas from the academic papers. The GDP data collected from CZSO statistics for years 2015-2019. All industries show trends close to linear. Author thinks that it is possible to forecast the same dynamics for the next years based on these trends. The Gross Added Value (GVA), modeled the potential impact of AI to industries by Accenture in association with Frontier Economics [16], are another forecast data used in this paper. It shows the economic potential of industries to grow. This forecast shows trends by industries to compare with trends based on GDP by industries. Intersection of best growing trends in both (higher, then 50%) do able to rate and select Top-5 most perspective industries. The heatmap table shows what business functions have bigger AI penetration level. Heatmap and two ranks are based on McKinsey's survey research [12] of adoption AI technologies (by percent of respondents) in the functional areas by industries. This data provides the ability to create ranks for industries and for functional areas based on the cumulative sum of adoption level percentage (Fig. 3 and Fig. 4 below). Another visualization of the data is a heatmap (Fig. 5 below) to provide a better view of the AI adoption level of each functional area by industries to show state-of-art of AI application.

The goal is to develop the approach of ranking the AI adoption level for the industries and the functional areas to evaluate perspectives of the AI application in an organization. Data were collected from different researches and mapped between them and with the GDP values from Czech Statistical Office data. Independent researches show different but close to CZSO structure of industries. Thus most of them could be mapped together by industries. The data which could not be mapped are

filtered out. The ranks based mostly on economic and other factors like Gross Domestic Product (GDP), Gross Added Value (GVA) and on the cases of the successful AI adoption usage in the organizations in percent.

3 Results

The first rank “Forecast of share 2025” based on growth rate of GDP [2] volume from 2015 to 2019 years. The trend close to linear for each industry. Thus, the growth rate from 2015 to 2019 calculated and applied to Share of GDP in 2019 to each industry. The second rank “Rank of market forecast” calculated as market volume in US\$ trillions applied to share-of-profit increase to each industry [16]. The mixed Top-5 rank as the cross of top industries in both ranks are presented as the results in column “Top preferable industries” with blue colour and value 1 (one) on the Fig. 2.

NACE (Industry)	CZSO		Forecast (based on CZSO)			Forecast based on research prediction				Results
	2015 CZ min	2019 CZ min	Share of 2019	Growth to 2019	Forecast of share 2025	US\$ trillions, AI steady	share-of-profit increase %	Forecast of market, US\$ trillions	Rank of market forecast	
TOTAL	10,634,751	12,299,104				2035	2035	2035	2035	
C Manufacturing	4,138,573	4,838,239	39.34%	16.91%	46%	12.2	39	16.96	1	1
G Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles	919,456	1,068,483	8.69%	16.21%	10%	8.4	59	13.36	2	1
H Transportation and storage	634,816	757,678	6.16%	19.35%	7%	2.9	44	4.18	9	-1
F Construction	781,524	830,621	6.75%	6.28%	7%	3.3	71	5.64	6	1
M Professional, scientific and technical activities	505,240	598,252	4.86%	18.41%	6%	9.3	24	11.53	3	1
J Information and communication	401,386	525,843	4.28%	31.01%	6%	4.7	17	5.50	7	1
K Financial and insurance activities	335,559	407,942	3.32%	21.57%	4%	4.6	31	6.03	5	-1
O Public administration and defence; compulsory social security	356,634	393,891	3.20%	10.45%	4%	4.9	27	6.22	4	-1
N Administrative and support service activities	200,389	281,668	2.29%	40.56%	3%	1.3	46	1.90	12	-1
Q Human health and social work activities	289,918	329,281	2.68%	13.58%	3%	2.7	55	4.19	8	-1
A Agriculture, forestry and fishing	263,821	291,851	2.37%	10.62%	3%	0.8	53	1.22	14	-1
P Education	226,046	247,926	2.02%	9.68%	2%	1.2	84	2.21	11	-1
I Accommodation and food service activities	169,909	209,211	1.70%	23.13%	2%	2	74	3.48	10	-1
R Arts, entertainment and recreation	100,721	125,962	1.02%	25.06%	1%	0.54	26	0.68	16	-1
E Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	115,548	132,783	1.08%	14.92%	1%	1.3	9	1.42	13	-1
S Other service activities	78,659	82,526	0.67%	4.92%	1%	0.6	36	0.82	15	-1

Fig. 2: Mixed Top-5 rank of industries by functional areas. Source: [author]

The table on Fig. 2 shows top 5 industries (blue color, last column) are more preferable to invest in AI development and integration, created by author on GDP [2] and GVA [16] data.

Two bar-charts below show ratings of AI application for functional areas by industries and for industries by functional areas. Each row calculates percent of AI application in every segment based on McKinsey's research [12]. The first ranking from low to top preference (Fig. 3) shows priority of investments in the industries.

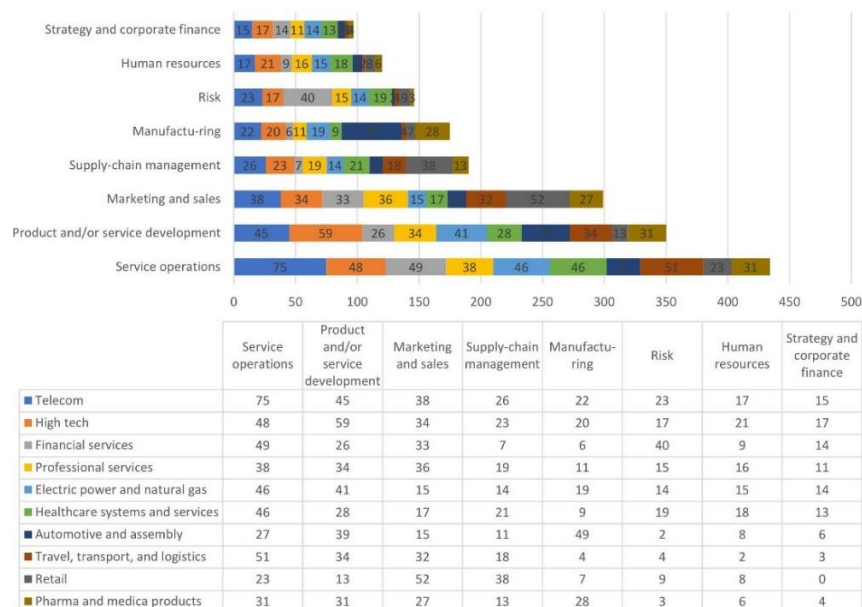


Fig. 3: Rank of functional areas with shares of industries. Source: [author], data source: [12]

The second ranking from low to top preference (Fig. 4) shows the priority of the investments in functional areas of an organization.

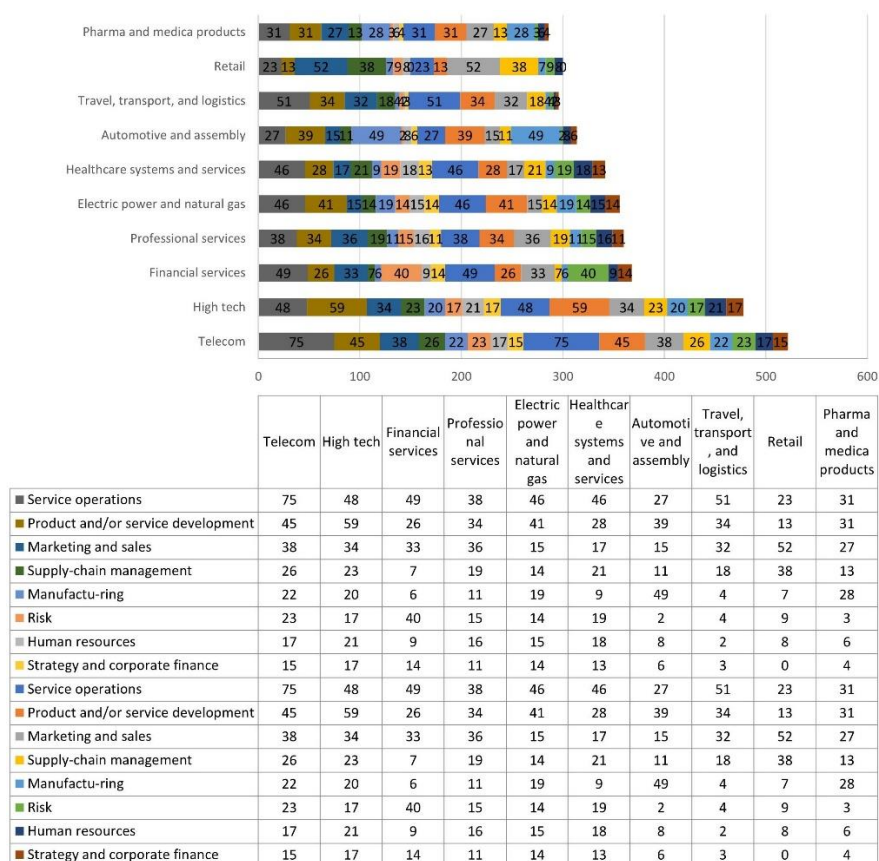


Fig. 4: Rank of industries with shares of functional areas. Source: [author], data source: [12]

The combination of these ranks provides the information to make weighted decision what function areas of business could be more perspective to invest in the development of AI technologies and solutions according the industry, which the organization is belongs to.

The heatmap (Fig. 5) of shares of AI applications by the functional areas and by industries helps to define what functional area in what industry has cases of successful AI application, presented in the result. Every industry has key functional areas which are more critical to performance and efficiency of a typical organization.

Industry \ Functional areas	Service operations	Product and/or service development	Marketing and sales	Supply-chain management	Manufacturing	Risk	Human resources	Strategy and corporate finance
Telecom	75	45	38	26	22	23	17	15
High tech	48	59	34	23	20	17	21	17
Financial services	49	26	33	7	6	40	9	14
Professional services	38	34	36	19	11	15	16	11
Electric power and natural gas	46	41	15	14	19	14	15	14
Healthcare systems and services	46	28	17	21	9	19	18	13
Automotive and assembly	27	39	15	11	49	2	8	6
Travel, transport, and logistics	51	34	32	18	4	4	2	3
Retail	23	13	52	38	7	9	8	0
Pharma and medica products	31	31	27	13	28	3	6	4

Fig. 5: Heatmap chart of industries by functional areas with share of AI application.

Source: [author], data source: [12]

The heatmap helps to check what functional area could be most preferable to an organization in the specific industry to integrate AI, based on modern experience.

4 Discussion

Author found the potential of further research in the field. The research of dynamic in AI application by industries and functional areas, DESI metrics, industries shares forecasts and basic macroeconomic statistics could be expanded with AI algorithms usage, AI implementation boundaries and limitations, workflow integration and human-to-AI communication research. The work reveal that different researchers collect data and interpret them differently. A lot of information lies out of this paper. But in general, all researchers demonstrate similar trends in evidence analysing despite a supposedly significantly different groups of respondents.

Relative to the Czech Republic, the digital economy and society index (DESI) of European Commission [3] shows in general the penetration and sustainable usage of digital technologies in the different areas of economy. The dynamic of changes for EU countries demonstrates the growth rate of a country index. The shortage or lack of specialists in the Czech Republic one of the most significant problem facing the county on the digital transformation way. The hard of fill vacancies chart shows 2nd worst place of all EU countries in the Czech Republic with 80% value. The Czechia demonstrates a middle range stagnation position and ready to change the location to top-right sector to join EU leaders.

Conclusion

Any technology is the management tool to reach a goal of the organization. Most perspective technologies to support decision making lies in the area of Artificial Intelligence and its application to business processes. The main focus is digitalization of value-added chain and most critical business processes to analyse and provide information to making decisions. The results of work show industries preferable to focus on: manufacturing, wholesale and retail trade, transportation and storage, construction, professional, scientific and technical activities, information and communication. Each industry has a profile with preferable functional areas. In detail the profile shows preferences to an organization depends on its industry. The ranks of single industries and functional areas show specific general rating. Very important part of AI application is education process for investors, management and specialists to reveal possibilities, risks, limitations and boundaries of AI integration and usage on

all levels of management and operations. In the short future the productivity and the efficiency of AI technology on the first stage of application in the real organizations will be revealed to maintain or decrease believes in it. However, Czech Republic with competitive education system and entrepreneur spirit has the possibilities and capabilities to invest in AI sector and be in the leading group between EU countries.

References

1. BUGHIN, Jacques, et al. *The case for digital reinvention*. McKinsey Digital [online]. 09.02.2017 [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-case-for-digital-reinvention>
2. CZSO [Czech Statistical Office]. Output by sectors 2015-2019 (baseline year 2015). [online], 2020. [cit. 2020-08-20]. [in Czech] Retrieved from: http://apl.czso.cz/pll/rocenka/rocenka.presmsocas?jmeno_tabulka=M%203aac&rokod=2015&rokdo=2019&mylang=CZ&ceny=bc&vystup=obrazovka&priznak=M00010&typ=2&jak=1&dejarchiv=0
3. EUROPEAN COMMISSION. *Czech Republic: Shaping Europe's digital future* [online], 2020. European Commission. [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/scoreboard/czech-republic>
4. EUROPEAN COMMISSION. *The European Digital Strategy*. European Commission [online], 2020. European Commission [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/content/european-digital-strategy>
5. GARTNER. *Digitalization strategy for Business Transformation*. Gartner [online]. 22.08.2020 [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/digitalization>
6. GEISSBAUER, Reinhard, et al. *Global Digital Operations Study 2018: Digital Champions*. In: Strategy & Part of the PwC Network [online]. PwC, 2018 [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/industry4-0/global-digital-operations-study-digital-champions.pdf>
7. GVR. *Digital Transformation Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Solution, Service), By Deployment (Hosted, On-premise), By Enterprise Size, By End Use, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027*. Grand View Research [online]. 05.2020 [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-transformation-market>
8. HENRIETTE, Emily, et al. Digital Transformation Challenges. *MCIS 2016 Proceedings*. 2016, 33. Retrieved from: <https://aisel.aisnet.org/mcis2016/33>
9. HILBERT, Martin and Priscila, LOPEZ. The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. *Science*. 2011, **332**(6025), 60-65. DOI: 10.1126/science.1200970. ISSN 0036-8075. Retrieved from: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1200970>
10. HILBERT, Martin. Digital Data Divide Database. *SSRN Electronic Journal*. 2019. DOI: 10.2139/ssrn.3345756. ISSN 1556-5068. Retrieved from: <https://www.ssrn.com/abstract=3345756>
11. IDG COMMUNICATIONS, INC. 2019 *Digital Business Survey: EXECUTIVE SUMMARY*. In: HubSpot [online]. 2019 [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1624046/2019%20Digital%20Business%20Executive%20Summary_online_FINAL.pdf
12. MCKINSEY & COMPANY. *AI adoption advances, but foundational barriers remain*, 2018. McKinsey & Company [online]. 22.04.2020 [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/ai-adoption-advances-but-foundational-barriers-remain>
13. MCKINSEY & COMPANY. *Digital strategy in a time of crisis*, 2020. McKinsey & Company [online]. 22.04.2020 [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/digital-strategy-in-a-time-of-crisis#>

14. NEGREIRO, Mar and Tambiama MADIEGA. *Digital transformation: Briefing EU policies – Delivering for citizens*. 2019. European Parliamentary Research Service, European Union. Retrieved from: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633171/EPRS_BRI\(2019\)633171_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633171/EPRS_BRI(2019)633171_EN.pdf)
15. PARIDA, Vinit, et al. Reviewing Literature on Digitalization, Business Model Innovation, and Sustainable Industry: Past Achievements and Future Promises. *Sustainability*. 2019, **11**(2). DOI: 10.3390/su11020391. ISSN 2071-1050. Retrieved from: <http://www.mdpi.com/2071-1050/11/2/391>
16. PURDY, Mark and DAUGHERTY, Paul. *How ai boosts industry profits and innovation*, 2017. Accenture [online]. 22.08.2020 [cit. 2020-08-22]. Retrieved from: <https://www.accenture.com/fr-fr/acnmedia/36DC7F76EAB444CAB6A7F44017CC3997.pdf>
17. SAMOILI, Sofia, et al. AI Watch. *Defining Artificial Intelligence. Towards an operational definition and taxonomy of artificial intelligence*. No. JRC118163. Joint Research Centre (Seville site), 2020. Retrieved from: <https://ideas.repec.org/p/ipt/iptwpa/jrc118163.html>
18. VERHOEF, Peter C., et al. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*. 2019. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.09.022. ISSN 01482963. Retrieved from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0148296319305478>

Contacts

Mgr. Alexey Ryzhkov

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

Karlovo náměstí 13, Praha 2, 121 35

ORCID 0000-0001-5122-3616

E-mail Alexey.Ryzhkov@fs.cvut.cz

TECHNOLOGIE PŘESNÉHO LEPENÍ FUNKČNÍ KOMPOZITOVÉ SESTAVY

PRECISION ADHESIVE TECHNOLOGY OF FUNCTIONAL COMPOSITE ASSEMBLY

Oskar Turek

Abstrakt

Téma disertační práce, která je teprve na samém začátku, pojednává o problematice lepených spojů v aplikaci přesné a jemné mechaniky. Výzkum se bude týkat změn vlastností lepené vrstvy mezi křemíkovým modulem a PCB elektronickou deskou pro vyčítání dat. Dále se práce bude zabývat návrhem matematicko-fyzikálního modelu pro tyto spoje v závislosti na teplotě, zatížení, vrstvě lepidla, době tvrzení, na zatížení radiací a druhu použitých lepidel. Ve spolupráci s českou kolaborací ATLAS ITk CERN, do které patří Akademie věd ČR a MFF UK, proběhne testování a výzkum těchto spojů a následné vyhodnocení.

Klíčová slova: lepené spoje, lepidla, teorie lepení, křemíkové moduly

Abstract

The topic of the dissertation, which is only at the very beginning, deals with the issue of glued joints in the application of precise and fine mechanics. The research will cover changes in the properties of the glued layer between the silicon module and the PCB electronic board for reading data. Furthermore, the work will deal with the design of a mathematical-physical model for these joints depending on the temperature, load, glue layer, curing time, radiation load and the type of adhesives used. In cooperation with the Czech collaboration ATLAS ITk CERN, which includes the Academy of Sciences of the Czech Republic and the MFF UK, testing and research of these connections and subsequent evaluation will take place.

Key words: glued joints, glues, gluing theory, silicon modules

Úvod

Příspěvek pojednává o východiscích k disertační práci, která se týká lepených spojů. Lepené spoje jsou v dnešní době velmi vyhledávaným způsobem spojení součástí. Zejména je to z důvodu toho, že lepený spoj nenarušuje strukturu spojovaných povrchů nebo součástí, které mohou být velmi citlivé na poškození či jakýkoliv mechanický zásah. Z hlediska pevnosti a únosnosti jsou dnes lepené spoje na úrovni spojů pomocí dalších součástí (šroubové spoje, nýty apod). Díky neinvazivnímu způsobu provedení zde také nepředpokládáme vznik trhlin a jejich šíření. Pro použití lepidel je potřeba znát druh namáhání, vlastnosti spojovaných součástí a jejich povrchů a také vlastnosti samotného lepidla.

V přesné mechanice, přesněji ve spojení křemíkového čipu a elektronické vyčítací desky, je potřeba lepidel právě z důvodu citlivosti povrchu čipu. Do tohoto čipu nelze vrtat díry pro šrouby nebo nýty a nelze ho ani svařovat či pájet. Tyto zásahy by zásadně narušily jeho vlastnosti a radikálně by změnily data, která má poskytovat. Proto se v této problematice a v této disertační práci budu zabývat vlastnostmi lepidla používaného b tomto procesu a také změnami těchto vlastností. Proběhne výzkum závislosti mechanických a fyzikálních vlastností na teplotě, zatížení, vrstvě lepidla a dalších parametrech. Poté proběhne vyhodnocení výsledků a jejich interpretace a následně se pokusím o návrh optimálního lepidla a procesu lepení daného spojení. Výstupem práce by měl být i matematicko-fyzikální model, který zahrne všechny dané parametry.

1 Lepený spoj

Na lepené spoje lze hledět z několika úhlů – např. z pohledu vlastností spoje nebo vlastností samotného lepidla.

1.1 Vlastnosti spoje

Tyto vlastnosti se určují až poté, co je známé provozní zatížení lepeného spoje. Do zatížení se řadí mechanické zatěžování, vliv dynamických účinků, vliv změny teploty, radiace nebo třeba možnost přístupu vody.

U mechanických vlastností spoje záleží zejména na dynamice zatěžování. Podle norem je kvalita lepeného statického spoje definována z minimální pevnosti v tahu, odlupování a ve smyku. Zkoušené lepidlo a vzorek jsou pak stejné jako ty, co se následně použijí v praxi. U dynamických spojů se většinou průběh zatížení zjednoduší (např. na sinusové). Toto namáhání se vyskytuje zejména v leteckých aplikacích či u automobilů.

Vliv změny teploty může být u lepeného spoje katastrofální. Lze totiž úplně ztratit samotný spoj a součásti pak již nic nedrží u sebe. Dnešní lepidla mohou běžně pracovat i v teplotách přes 350 °C (teplotní odolnost se zvyšuje pomocí kovových přísad). Je důležité znát tedy provozní teplotu u lepeného spoje a počítat i s teplotní roztažností. V přesné mechanice je toto velmi důležité, jelikož se velmi často tolerance pohybují v řádech desítek mikrometrů.

Disertační práce se bude konkrétně zabývat lepenými spoji v detektoru částic ATLAS v CERNu, kde při běhu tohoto detektoru dochází k zásahu lepených spojů radiací. Vlivy radiace na tyto spoje jsou v současné době lehce popsány, nicméně po rešerši v disertační bude uvaženo, zdali je možné v tomto směru a v této problematice vědět nějak přispět.

Pokud je předpokládán přístup vody k lepenému spoji, je vhodné použít lepidla na bázi polymethylmethakrylátu a polybutylmethakrylátu, polystyrenu a chlorovaného PVC. Tato lepidla odolávají jak vodě, tak vlhkosti. Na druhé straně spektra jsou lepidla na bázi organického původu. Lepený spoj lze také využít přímo jako formu těsnění, kdy chceme, aby mezi dvěma součástmi nepronikla voda či vlhkost. [5]

1.2 Vlastnosti lepidla

Je několik vlastností lepidla, které určují jejich vhodnost použití, stálost při zatížení, únosnost apod. Závisí zejména na struktuře makromolekul, kdy záleží na jejím tvaru a složení. V makromolekulách lepidel se vyskytují filmotvorné látky, které mohou být strukturně buď lineární nebo trojrozměrné. Lepidla s trojrozměrnou strukturou filmotvorné látky nemají tendenci se rozpouštět.

Důležitou vlastností lepidel je struktura plniva lepidla. Plniva mohou být buď anorganická nebo organického původu. Organická jsou měkkší, což je vhodné pro následné obrábění nebo jinou úpravu lepeného spoje. Anorganická plniva mohou mít tvar destiček, vláken nebo ostrohranných útvarů. Různá plniva mají různé vlastnosti a lze díky tomu dosáhnout požadovaných vlastností lepeného spoje.

2 Teorie lepení

Teorie vzniku lepeného spoje závisí na působení vnitřních sil mezi molekulami lepidla (koheze = soudržnost) a na silách mezi lepidlem a povrchem adherendu (povrch součásti). Teorie nicméně stále zaostává za praxí, jelikož mechanismus vzniku lepeného spoje je složitým procesem. Podle molekulové struktury se popisuje nejčastěji následujících pět teorií adheze (přilnavosti).

2.1 Difuzní teorie

U této teorie se předpokládá tvorba pevnosti spoje pomocí vzájemné difuze polymerů napříč rozhraním. Některé látky difundují navzájem. Průběh difuze však závisí na čase, teplotě, viskozitě a dalších faktorech. Tento průběh pak ovlivňuje pevnost lepeného spoje. Tato teorie ale nevysvětluje, proč lze spojit navzájem nedifundující materiály jako je např. kov-sklo, ačkoli se tyto spoje běžně provádí. [2,3,4]

2.2 Elektrostatická teorie

Model této teorie je založen na analogii kondenzátoru. Lze si představit, že jeho rozdílně nabitě desky se přitahují. Po jejich oddělení se musí náboj vybit nebo vyzářit (elektronová emise). Tato teorie ale neumí uspokojivě popsat vznik adhezních sil na povrchu spojení. Je zde totiž uvažováno dvou různých substancí ve spoji. V lepených spojkách je ale velmi často užíváno polymerů s příbuznou strukturou. [2,3,4]

2.3 Chemická teorie

Pro vytvoření spoje, který by měl mít kohezivní lom a ne adhezivní, je za potřebí vzniku primárních chemických vazeb (kovalentních). Tyto vazby musí být na hranici lepidla a adherendu. I když takové vazby občas vznikají, všeobecně lze říct, že lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. [2,3,4]

2.4 Molekulová teorie

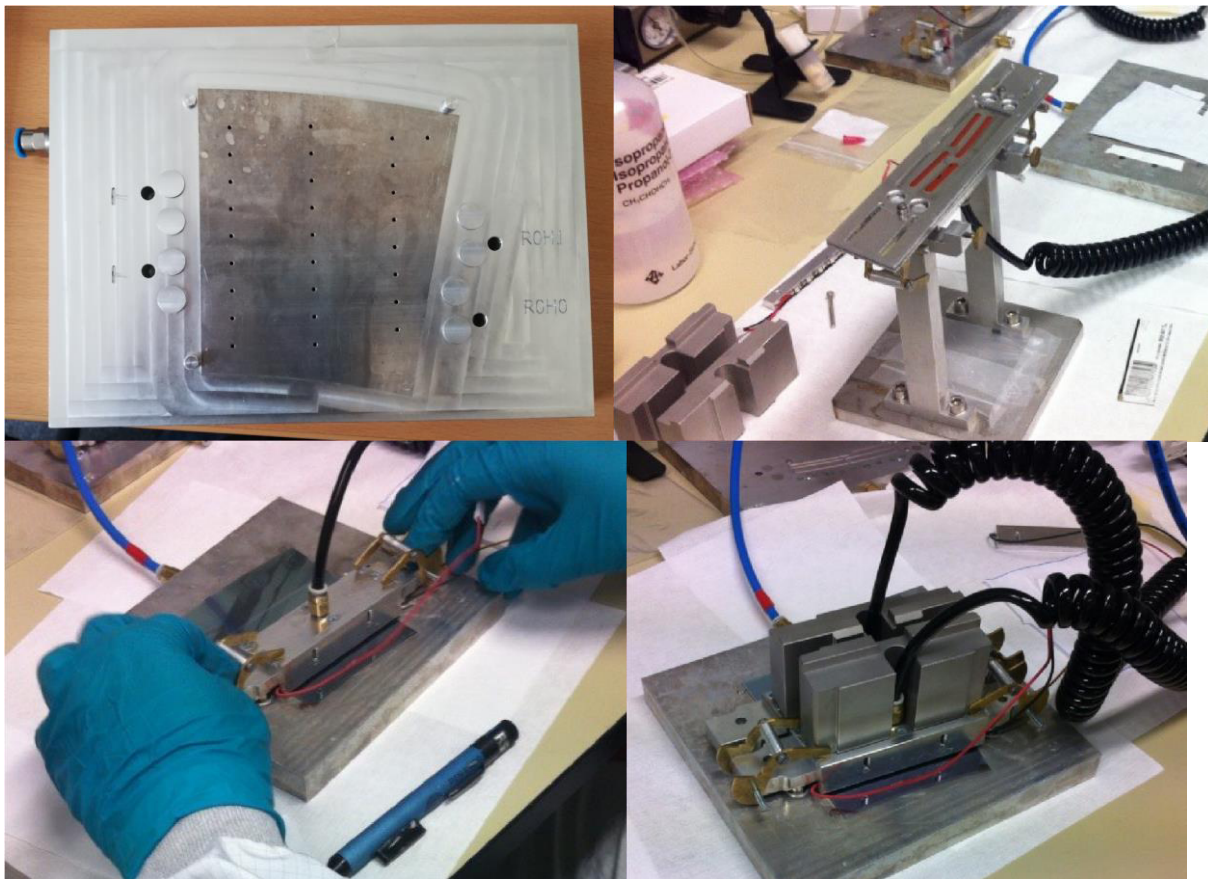
Molekulová teorie (nebo také adsorpční) je nejčastěji přijímaná teorie. Tato teorie říká, že oba materiály musí mít polární funkční skupiny schopné vzájemného působení. Nepochopitelná látka podle této teorie nemůže nikdy vytvořit adhezivní vazbu s látkou polární. Spojení vzniká postupně během dvou kroků. První je přesun molekul lepidla na povrch adherendu. Druhým krokem je pak působení van der Waalových sil, kdy jsou od sebe molekuly blíže než 0,5 nm. Poté je již adheze pevná. [2,3,4]

2.5 Reologická teorie

Tato nejnovější teorie tvrdí, že adheze je způsobena fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi adherendu a lepidla. Z praktických zkoušek a experimentů bylo zjištěno, že lom probíhá vždy kohezivně v adherendu nebo adhezivu. Podle této teorie tedy závisí na mechanických vlastnostech materiálů a na napětí ve spoji. Přestože teorie nepopisuje důvody vzniku lepeného spoje, poskytuje realistické možnosti výpočtu pevnosti spojení. [2,3,4]

3 Vlastní předmět zkoumání

Jak již bylo naznačeno v úvodu, disertační práce se bude zabývat lepenými spoji mezi křemíkovým senzorem a elektronickou vyčítací deskou. Tato součást bude použita v nové generaci detektoru částic ATLAS v CERNu. Jelikož my, jako Česká republika, budeme zajišťovat část výroby těchto senzorů, naskytla se mi možnost podílet se na tomto procesu. Ten spočívá v nanesení vrstvy lepidla (dvousložkové epoxydové lepidlo) na elektrický hybrid (PCB deska na vyčítání) a následném přesunu tohoto hybridu na křemíkový senzor. Proces lepení je znázorněn na obrázku (Obr. 1).



Obr. 1: Vlevo nahoře – vakuová podložka pro skládání senzoru. Vpravo nahoře – šablona pro nanesení vrstvy lepidla. Vlevo dole – proces přenesení na senzor (černá součást na desce). Vpravo dole – Vytvrzování lepidla. Zdroj: [vlastní]

Dvousložkové lepidlo se nejprve smíchá a poté nanese na šablonu, která zajistí správnou výšku lepidla ($120\ \mu\text{m}$). Poté se elektrická deska přenes nad senzor a zde se nechá 24 hodin vytvrdit. V tomto procesu je kladen velký důraz na čistotu prostředí, jelikož i malé částice mohou způsobit špatné vyčítání dat ze senzoru.

Díky spolupráci s institucí CERN a Akademií věd ČR bych tedy v disertační práci rád zkoumal vlastnosti lepených spojů a třeba i přišel po experimentech s vlastní teorií lepení, která bude komplexní a bude dostatečně přesná. Práce je ale zatím na samém začátku, a proto zde nepředkládám zatím žádné vlastní výstupy nebo poznatky z výzkumu.

Závěr

Daný příspěvek, který je pouze jakousi rešerší k disertační práci, pojednával o vlastnostech lepených spojů, a to jak vlastností lepidel, tak namáhání. Dále bylo shrnuto několik teorií lepení, které se využívají při kontrolách únosnosti spoje. V příspěvku je psáno pouze o pěti základních teoriích, nicméně ve vlastní disertační práci bude toto téma rozvinutější. Další kroky v disertační práci budou zahrnovat návrh testovacího zařízení, metrologické zkoumání lepeného spoje (zejména vrstvu lepidla nebo přesnou pozici na senzoru), zkoumání mechanické únosnosti a další dílčí cíle. V závěru budoucí práce by měl být znám matematicko-fyzikální popis únosnosti lepidla v závislosti na daných parametrech provozu.

Prameny

1. Der LOCTITE CS 92. První. München: LOCTITE Deutschland GmbH, 1988.
2. LANGR, Bc. Marek. Příprava povrchů kompozitů, kovů a termoplastů pro lepení. Praha, 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE.
3. KOLAŘÍK, Ladislav. Výukové materiály FS ČVUT - ústav strojírenské technologie: Prezentace - Lepení. Praha 6, 2016.
4. KOVAČIČ, Ľudomír. Lepenie kovov a plastov. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1980. Edícia chemickej literatúry (Alfa).
5. TRHOŇ, Vojtěch. Analýza lepidel ve všeobecném strojírenství. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

Seznam použitých symbolů a zkratk

PCB = printed circuit board (tištěný spoj)

MFF UK = Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy

CERN = Conseil européen pour la recherche nucléaire (Evropská organizace pro jaderný výzkum)

ITk = Inner tracker (vnitřní detektor částic)

μm = mikrometr

Kontaktní údaje o autorech

Ing. Oskar Turek

Ústav konstruování a částí strojů, Fakulta strojní ČVUT

Technická 4, Praha 6, 166 07

+420 776849000

oskar.turek@fs.cvut.cz

JAKÝM ZPŮSOBEM OVLIVŇUJE KRIZE ŽIVOTNÍ CYKLUS PRODUKTU

HOW THE CRISIS AFFECTS THE PRODUCT LIFE CYCLE

David Weisl

Abstrakt

Cílem tohoto příspěvku je zhodnotit jakým způsobem ovlivňuje krize životní cyklus produktu v rámci podniku. Na životní cyklus produktu není v tomto kontextu nahlíženo z pohledu marketingového nýbrž je kladen důraz na provázanost produktu (výrobní linky nebo vybavení) a kondice podniku při působení externích krizových činitelů. Působení externího krizového činitele je pro potřeby příspěvku popisováno jako působení, které může pozitivním, ale i negativním způsobem ovlivnit chod společnosti. V rámci hodnocení jsou pomocí scénářů uvažovány modelové situace, které mohou mít přímý vliv na životní cyklus produktu (výrobní linky nebo vybavení) a tím zásadním způsobem ovlivňovat společnost jako celek.

Klíčová slova: životní cyklus výrobku, krize, manažerské rozhodování, náklady

Abstract

The aim of this paper is to evaluate how the crisis affects the life cycle of the product within the company. In this context, the product life cycle is not viewed from a marketing point of view, but emphasis is placed on the interconnection of the product (production lines or equipment) and the condition of the company under the influence of external crisis factors. For the purposes of the paper, the effect of an external crisis factor is described as an effect that can positively as well as negatively affect the operation of the company. As part of the evaluation, scenarios are considered using model situations that can have a direct impact on the life cycle of the product (production lines or equipment) and thus significantly affect the company.

Key words: product life cycle, crisis, managerial decision making, costs

Úvod

V současném ekonomickém systému, pro nějž je charakteristická vysoká míra globalizace spolu s poměrně nestabilním prostředím pro fungující hospodářské subjekty, je růst konkurenceschopnosti klíčovým prvkem stabilního pokroku pro organizace, průmyslová odvětví a národní hospodářství obecně.

Pozitivní působení globalizace je charakterizováno ekonomickými výhodami, plynoucími z možnosti využití pokročilého vědeckého, technického, technologického a kvalitativního potenciálu lokálních ekonomik, v celosvětovém kontextu, díky čemuž je možné nová řešení implementovat rychleji a z nákladového pohledu efektivněji. [2]

Všechny tyto aspekty významným způsobem podporují změny životního cyklu výrobku. At už se jedná o efektivnější výzkum a vývoj v první fázi, či možnosti jeho plného využití díky možnostem mezinárodní dopravy, které dovoluje produkty nabízet globálně a tím zvětšovat objemy produkce. Avšak díky krizi způsobené šířením pandemie COVID-19 v roce 2020 víme, že stejným způsobem, jakým globalizace pomáhá, může i významně prohlubovat krizi a lokální nedostatek produkce, na který je

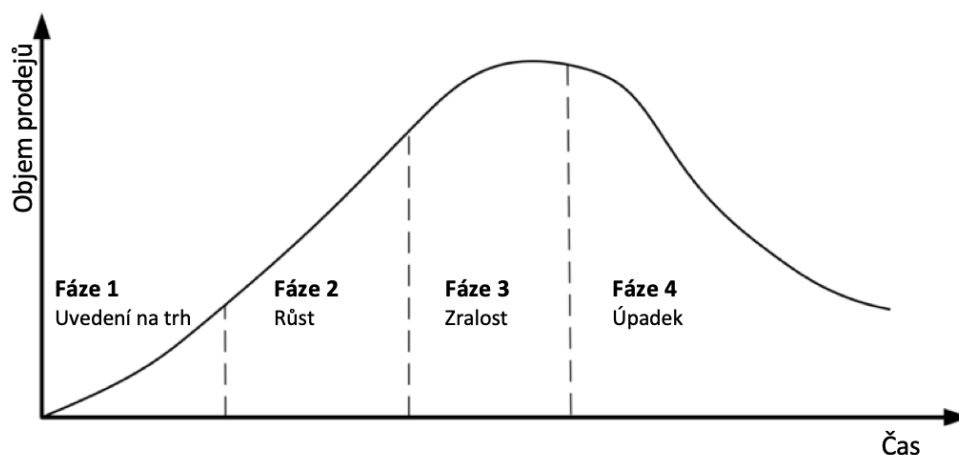
nutné reagovat implementací inovací různého typu a úpravami výrobních linek, čímž dochází k významnému ovlivňování životních cyklů výrobků.

1 Vymezení pojmu životní cyklus produktu

Pojem životní cyklus produktu je dnes používán ve dvou pojetích: Nejčastěji je prezentován jeho marketingový model, který souvisí se stádiem zavádění daného výrobku na trh. Druhým možným pojetím je jeho inženýrský model, který monitoruje fáze tvorby, výroby i užití a následné likvidace produktu. Tento příspěvek se zabývá životním cyklem produktu jako takového a přihlíží více k jeho inženýrskému modelu, který spíše ovlivňuje nákladovou strukturu podniku a interní kapacity.

1.1 Marketingový model životního cyklu produktu

V marketingovém pojetí životního cyklu produktu jsou signifikantními parametry objem prodeje (příjem) a čas, který je sledován ve čtyřech základních životních fázích výrobku, jak je patrné na Obr. 1 (fáze vývoje a uvedení na trh, růst, zralosti a ústupu). Výstupy tohoto modelu jsou jedním ze vstupních informačních podkladů sloužících k návrhu marketingových a obchodních strategií podniků, které slouží jako podklad pro predikci výše příjmů.



Obr. 1: Obecná podoba marketingového modelu životního cyklu výrobku podle Kotlera. Zdroj: [1]

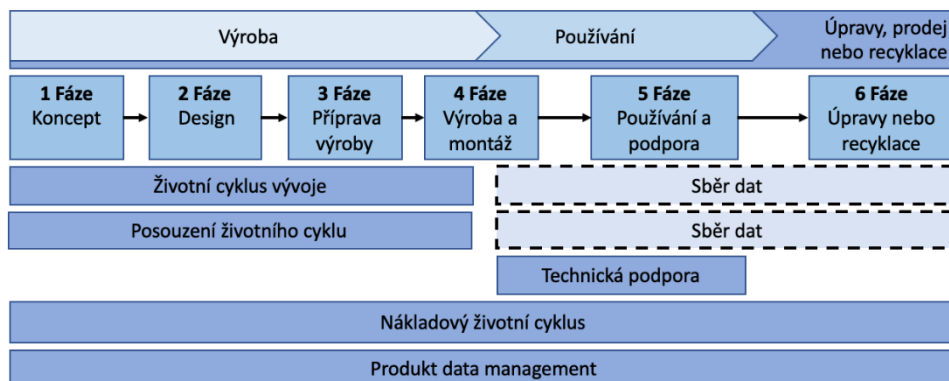
1.2 Inženýrský model životního cyklu produktu

Inženýrský model životního cyklu produktu (Obr. 2) se zaměřuje na jednotlivé fáze tvorby, výroby a užití produktu a oproti marketingovému pojetí řeší konkrétní produkt jako jeden kus nebo sestavu produktů jako celku. Příkladem může být obráběcí stroj či výrobní linka.

V inženýrském modelu životního cyklu je možné identifikovat tři základní komponenty. Tedy vývoj a realizace, který zpravidla probíhá u producenta, uživatel jej následně hradí formou kupní ceny. Vývoj a návrh produktu může probíhat i formou participace, kdy se uživatel intenzivně podílí na vývoji produktu, tak aby plně reflektovat potřeby uživatele a byl v souladu s jeho vizí. Druhá komponenta je tvořena časem užívání, který zpravidla nejvíce ovlivňuje kalkulační vzorec výrobků uživatele. Poslední oblast je věnována úpravám a redesignu vybavení či jeho demontáži za účelem dalšího prodeje nebo likvidace. Z nákladového pohledu je nejdůležitější první komponenta, v níž se formují veškeré výrobní náklady, ale i rozhodují o výši nákladů provozních.

Model se nezaměřuje na prodej výrobku, ale spíše sleduje náklady s ním spojené do celou dobu jeho existence, tedy od koncepční fáze, až po jeho likvidaci, respektive recyklaci. Díky tomuto pohledu je model využívaným nástrojem při rozhodování o investicích do nového strojního vybavení, protože

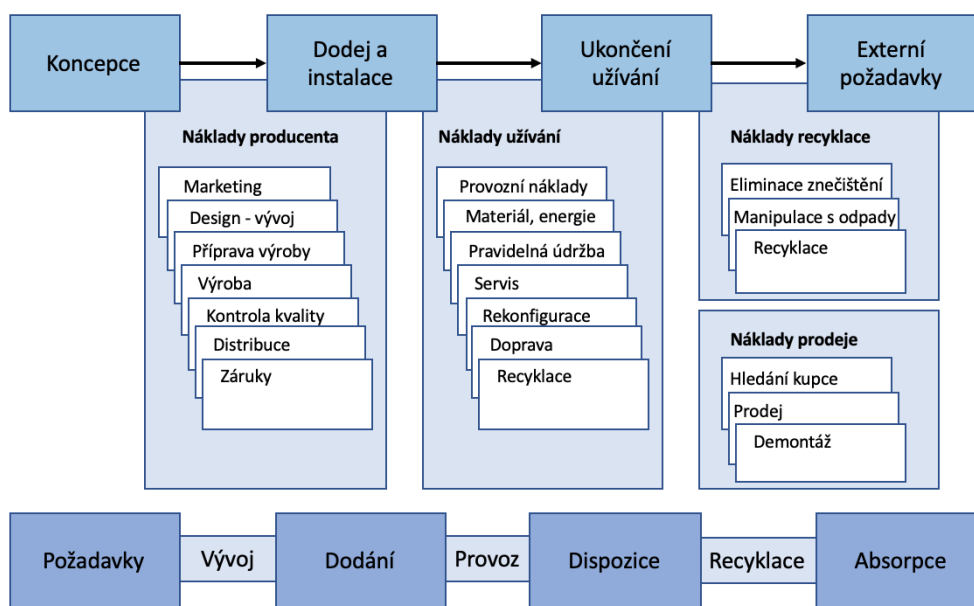
dovoluje věrohodně přiřadit provozní náklady vybavení pro celou produkční dobu včetně nákladů na vyřazení stroje z užívání.



Obr. 2: Obecná podoba inženýrského modelu životního cyklu výrobku. Zdroj: [4]

2 Postavení životního cyklu produktu v kontextu podniku

Aby bylo možné dále posuzovat, jakým způsobem může krize ovlivňovat životní cyklus produktu, je nezbytné přesně definovat, jaký jev bude v tomto kontextu hodnocen. V rámci tohoto příspěvku se bude posuzovat životní cyklus produktu z pohledu nákladů. Podíváme-li se na tři základní oblasti řízení nákladů životního cyklu produktu, znázorněné na Obr. 3, budeme pozorovat dopady krize na oblasti s názvem náklady uživatele a náklady společnosti. Na obrázku jsou tyto oblasti znázorněny spolu s hlavními nákladovými položkami, které je utvářejí.



Obr. 3: Oblast řízení nákladů životního cyklu Zdroj: [3]

Oblast s názvem „Náklady uživatele“ je z pravidla tvořena náklady spojenými s užíváním produktu, tyto náklady vznikají provozovateli produktu a zahrnují období od okamžiku převzetí produktu do okamžiku likvidace či postoupení výrobku jiné osobě, kdy vlastnictví produktu končí. Mohou sem patřit také náklady na recyklaci a likvidaci prováděné v režii uživatele. Třetí oblast s názvem „Náklady společnosti“ jsou náklady, které zatěžují společnost ve fázi užívání produktu, převážně náklady spojené s bezpečnou recyklací či likvidací produktu. Převážně se jedná o náklady spojené s recyklací materiálů a dopadů na životní prostředí.

3 Jakým způsobem může krize ovlivňovat životní cyklus produktu

Krize je pouze jedním z externích parametrů, které působí na podnik z externího prostředí. Na krizi je vždy nutné pohlížet objektivně a při hodnocení rizik souvisejících s krizí brát v úvahu specifika daného podniku.

Proto aby bylo možné predikovat jakým způsobem bude ovlivněn životní cyklus produktu v podniku, je nejprve nezbytné monitorovat dopady krize na podnik a převážně na poptávku po jejich výrobcích, a to v krátkodobém, střednědobém ale i dlouhodobém horizontu. Výsledkem analýzy by měla být predikce budoucích příjmů, na jejímž základě bude možné sestavit predikci CF, která bude zahrnovat i výdajovou stránku predikce vztahenou k objemům produkce a fixním závazkům.

Krize působí na každý podnik unikátním způsobem, což se odráží i ve způsobu, jakým bude ovlivněn životní cyklus produktu v dané firmě. V tomto kontextu je vhodné identifikovat jakým způsobem může být životní cyklus výrobku krizí ovlivněn. Životní cyklus bude v kontextu tohoto příspěvku ovlivněn v rovině své délky, tedy může být zkrácen oproti původně zamýšlené ekonomické i faktické životnosti.

V další části této kapitoly jsou pomocí třech scénářů popsány možné dopady krize na životní cyklus produktu. Scénáře byly sestaveny na základě charakteristik, kterých může poptávka podniku nabývat a tím ovlivňovat vnitropodnikové ukazatele a chod společnosti. Samotná výše poptávky není jediným hybatelem ovlivňujícím životní cyklus výrobku, v tomto kontextu je vždy důležitý i aspekt manažerského rozhodování a strategie konkrétního podniku a vlastníka.

3.1 Vliv snižující se poptávky na životní cyklus produktu

Predikce snižující se poptávky je současně předpokladem snižující se výše příjmů. Krátkodobý pokles je mnoha případech možné saturovat z vlastních zdrojů a není nutné přistupovat ke krokům, které by vyžadovaly signifikantní změny ve struktuře nabízených výrobků nebo v nákladové struktuře podniku, které by mohli ovlivnit životní cyklus významného produktu využívaného v podniku.

V případě, že je predikován dlouhodobý pokles poptávky, který významně sníží podnikové příjmy. Je nejprve nutné eliminovat zbytečné výdaje podniku, které zpravidla nesouvisí s jeho hlavním zdrojem příjmů. Následně je v relativně krátkém čase nutné shromáždit informace, které umožní vlastníkům a managementu podniku přijímat strategická rozhodnutí spjatá s budoucností podniku.

V případě přijetí strategického rozhodnutí zachovat produkci i při predikci dlouhodobě snížené poptávce, bude nutné upravit i nákladovou stranu kalkulace, tak aby byla zachována pozitivní bilance příjmů a výdajů. Nákladovou strukturu je možné upravovat několika nástroji, avšak v kontextu tohoto článku bude primárně uvažována možnost úpravy životního cyklu produktu, tedy případnou inovaci produktu či jeho výměnu za produkt efektivnější a nákladově racionálnější. Při těchto úvahách je nutné toto rozhodnutí podložit finančním propočtem, který bude zahrnovat projekci CF pro předem stanovené časové období. Ekonomické zhodnocení by mělo brát v potaz mimo pořizovacích i a provozních nákladů i případné odpisy, které by nebyly čerpány v případě likvidaci či prodeje výrobku.

3.2 Vliv konstantní poptávky na životní cyklus produktu

V případě, že nebude krizi poptávka ovlivněna nemuselo by v kontextu životního cyklu produktu docházet k žádným změnám za předpokladu, že je nákladový vzorec nastaven efektivně a racionálně.

3.3 Vliv zvyšující se poptávky na životní cyklus produktu

Při predikci zvyšující se poptávky je vždy nutné zhodnotit časový rámec v němž je pravděpodobné, že poptávka bude růst. Při krátkodobém předpokladu růstu pravděpodobně nebudeme pozorovat žádný vliv na životní cyklus výrobku, protože nebude činit tlak na dlouhodobý růst produkce. Zvyšující se poptávka může být doprovázena snahou zvýšení ceny případně dle potřeby prodloužením dodacích lhůt. Při dlouhodobém růstu poptávky bude pravděpodobné, že bude v souladu se strategickými

záměry společnosti zvýšit svou produkci což bude znamenat investice do modernizace, či rozšíření výrobních kapacit a tím ovlivnění jejich životního cyklu.

Závěr

Na základě provedeného zhodnocení vlivů poptávky je možné sledovat, že krize může životní cyklus produkt ovlivňovat, vždy je však nezbytné při provádění manažerských rozhodnutí pohlížet na širší souvislosti v podniku. Zásadní změny v životním cyklu produktu mohou ve společnosti ovlivnit mnoho finančních ukazatelů počínaje okamžitým CF až po obrátové ukazatele, ale i další hodnoty jako, například dlouhodobou nákladovou strukturu podniku. V obecné rovině lze tvrdit, že krize má především vliv na délku životního cyklu, kdy je možné pozorovat dva protichůdné efekty v podobě zkracování a prodlužování životního cyklu. Tyto stavy jsou ovlivněny vždy kondicí společnosti při nástupu krize, dlouhodobou strategií společnosti a příležitostmi, které v období krize spatřují na trhu.

Prameny

1. KOTLER, Philip. Moderní marketing: 4. evropské vydání. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 1041 s. ISBN 978-80-247-1545-2
2. CHURSIN, Alexander a TYULIN Andrey. The New Economy of the Product Life Cycle: Springer, 2020, 392 s. ISBN 978-3-030-37814-1
3. FREIBERG, František. *ŘÍZENÍ NÁKLADU ŽIVOTNÍHO CYKLU PRODUKTU*. Transfer inovací 11/2008. V Košicích: Technická univerzita v Košiciach, 2008. ISSN 1337-70-94
4. WESTKAEMPFER, E. Economic and Ecological Aspects in Product Life Cycle Evaluation. Keynote paper, CIRP General Assembly, Sydney, Proc Instn Mech Engrs Vol 215 Part B, 2001
5. CAU, Hui a FOLAN, Paul. Product Life Cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950-2009. Zdroj: <https://core.ac.uk/download/pdf/43094919.pdf> [18.8.2020].

Kontaktní údaje o autorech

Ing. David Weisl

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

Karlovo náměstí 13; 121 35 Praha 2

+420 224 355 790

david.weisl@fs.cvut.cz

DOPADY DIGITALIZACE A AUTOMATIZACE NA PRACOVNÍ SÍLU

IMPACTS OF DIGITIZATION AND AUTOMATION ON THE LABOR FORCE

Petr Weissner, Pavel Scholz, Zdeněk Kadlec

Abstrakt

Předkládaný příspěvek se zaměřuje na představení nedůležitějších dopadů digitalizace a automatizace na pracovní sílu. První část pojednává o tom, v jaké míře mohou být automatizací ovlivněna pracovní místa a profese, a kterých sektorů ekonomiky, v jakém časovém horizontu a míře se automatizace dotkne. Další část se zaměřuje na potenciál vzniku nových pracovních příležitostí a profesí. V poslední části je pak zmiňována důležitost rekvalifikace a potenciální nedostatek kvalifikovaných pracovníků.

Klíčová slova: pracovní síla, trh práce, digitalizace, automatizace

Abstract

The article focuses on the presentation of the most important impacts of digitization and automation on the workforce. The first part deals with the extent to which jobs and professions can be affected by automation, and which sectors of the economy, in what time horizon and to what extent automation will be affected. The next part focuses on the potential for new job opportunities and professions. The last part mentions the importance of retraining and the potential shortage of skilled workers.

Key words: labour force, labour market, digitization, automation

Úvod

V současnosti běžící čtvrtá průmyslová revoluce vychází ze třetí průmyslové revoluce a nacházíme se teprve na jejím začátku. Můžeme očekávat, že potrvá minimálně dalších 10-20 let. Její význam a to jak jsme v jejím průběhu uspěli vůči jiným státům, či jak jsme ji využili ve svůj prospěch a v prospěch lidstva však budeme schopni pochopit až při pohledu zpět. Čtvrtá průmyslová revoluce nepřináší (alespoň zatím) žádné zásadně nové technologie a je pravdou, že v tomto ohledu se nejedná o revoluci. Roboti, bezpilotní řízení, umělá inteligence a jiné technologie opravdu nejsou žádnou žhavou novinkou.

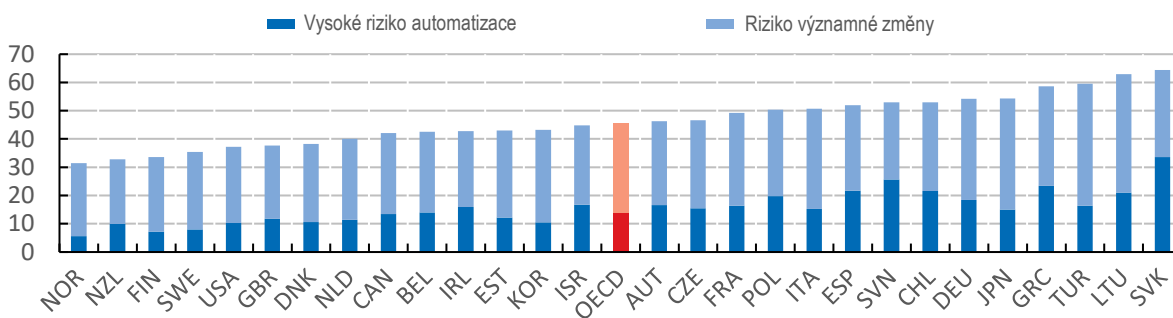
Přesto všechno si však myslíme, že se o revoluci opravdu jedná. Zásadní a revoluční je min. skutečnost, že se stírají hranice fyzického, digitálního a organického světa při nasazování kyberneticko-fyzických systémů. Postupně dochází k užšímu a užšímu propojování těchto tří světů. Ve významné míře se bude průmyslově využívat internet, rozšířená realita, aditivní technologie. Stroje a zařízení budou přebírat práci lidí nebo s nimi úzce spolupracovat. Bude se využívat strojového vnímání k řízení strojů či výrobních celků, bude docházet k autokonfiguraci a autodiagnostice. A bezpochyby bychom našli i další důvody. Proč se o revoluci opravdu jedná, shrnul rovněž pan Klaus Schwab zakladatel a prezident Světového ekonomického fóra. Důvody jsou tři – rychlost, rozsah a systémový dopad. [1]

Vzhledem k tomu, že čtvrtá průmyslová revoluce přináší výše zmíněné zásadní změny, zaslouží si v mnoha ohledech dostatečnou pozornost. V této souvislosti si zde předkládaný článek klade za cíl stručně představit vybrané možné dopady na pracovní sílu, respektive trh práce, aby se všechny ovlivněné subjekty (podniky, jejich pracovníci, státní instituce, ...) mohly na vznikající změny postupně připravit. Podrobněji se celou problematikou zabývá Studie možných změn pracovní síly v době digitalizace a robotizace, kterou autoři zpracovávali [2] a z níž tento článek vychází.

1 Pracovní místa a profese ovlivněné digitalizací a automatizací

Oproti předchozím letům, kdy odborníci ve velké míře očekávali hromadné nahrazování pracovní síly roboty, se nyní názory začínají částečně měnit. Analýza, kterou nechalo zpracovat Světové ekonomické fórum naznačuje, že v krátkodobém až středně dobém horizontu budou některé pozice vykonávané lidmi spíše posíleny prací strojů a počítačů, nežli jimi zcela nahrazeny. Nahrazení rutinních a opakujících se úkolů totiž povede k lepšímu využití lidského potenciálu a talentu a tím ke zvýšení produktivity a konkurenceschopnosti. K velké části automatizace totiž dochází na úrovni úkolů, nikoliv na úrovni celých pracovních pozic či profesí. Odhaduje se, že cca 2/3 pracovních pozic obsahuje alespoň 30 % automatizovatelných úkolů a ¼ pracovních pozic obsahuje více než 70 % automatizovatelných pracovních úkolů. Nicméně i tak je zcela jasné, že podíl úkolů zpracovávaných stroji a počítači dlouhodobě poroste – nejvíce zatíženy jsou pozice zabývající se vyhledáváním a zpracováním dat, pozice s manuální a fyzickou prací nebo administrativní pozice. [3]

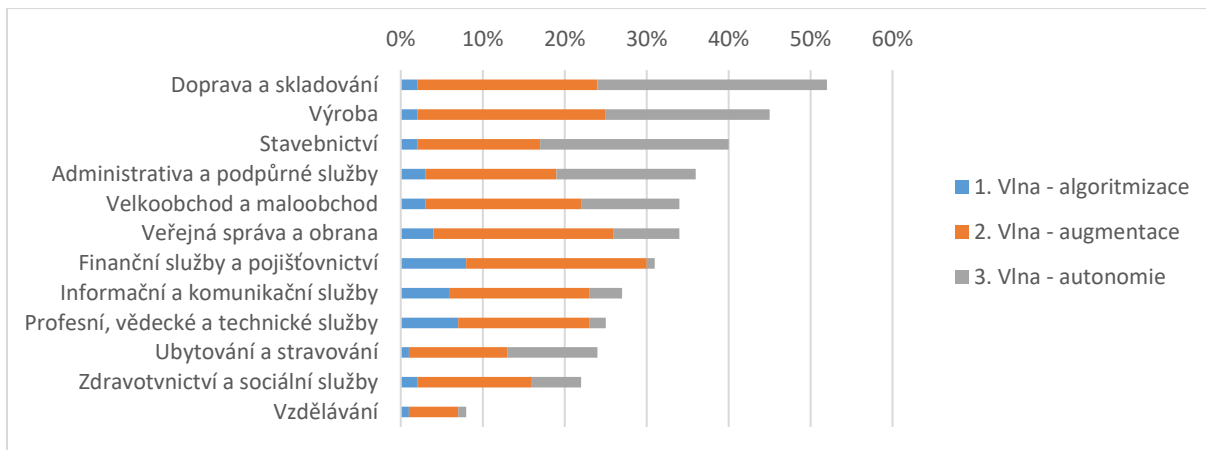
V rámci analýzy OECD z roku 2018, která zohledňovala různé faktory (mimo jiné i požadavky na úroveň dovedností a činností nutných pro výkon jednotlivých profesí), se předpokládá, že v 10-20 následujících letech bude průměrně v zemích OECD ohroženo automatizací cca 14 % pracovních míst a dalších cca 32 % profesí bude zatíženo značnými změnami (Obr. 1). Tyto odhady jsou podstatně pozitivnější, než v minulosti. Nejlépe jsou na tom severské země, USA nebo Velká Británie, kde je silně rozvinutý segment služeb, nejhůře potom Slovensko, ale také např. Německo a Japonsko. [4]



Obr. 1: Podíl míst ohrožených automatizací a rizikem změny (v %). Zdroj: [4]

Analýzou dopadů automatizace a robotizace na trh práce se zabývala v roce 2018 i poradenská společnost PwC [5], jejíž analýza je založena na podobných základech jako analýza OECD, avšak zohledňuje další faktory jako je např. úroveň vyspělosti technologií ve vztahu k jejich implementaci v praxi, různé sektory ekonomiky, různé složení pracovníků (pohlaví, věk, vzdělání). V analýze jsou rozlišovány 3 vlny automatizace a robotizace, které proběhnou postupně v obdobích do roku 2025/2030/2039. Nejvíce ovlivněna automatizací budou pracovní místa na Slovensku, v České republice a Slovinsku a to zejména v rámci druhé a třetí vlny. Důvodem je zejména to, že se jedná o země se silným zpracovatelským průmyslem. Nicméně tyto vlny se dotknou silně rovněž např. USA, kde je problém nižší vzdělanosti nebo Itálie, kde je pro změnu např. populace s poměrně vysokým věkem. Nejméně budou naopak zasaženy země jako Finsko nebo Korea.

V jednotlivých sektorech ekonomiky bude zavádění moderních technologií s ohledem na jejich různou vyspělost probíhat v různé intenzitě a v různém čase (Obr. 2). Podle již zmíněného průzkumu společnosti PwC [5] se zcela logicky očekává, že první vlna nejvíce zasáhne služby. Druhá vlna, která již zahrnuje automatizaci složitějších úkolů, zasáhne nejzřejměji opět část služeb, veřejnou správu, dopravu a skladování a zpracovatelský průmysl. Třetí vlna, v rámci které se již předpokládá automatizace fyzické a manuální práce, se pak zcela logicky týká zejména dopravy a skladování, zpracovatelského průmyslu a stavebnictví. Celkově se pak nejméně dotkne automatizace sektoru ubytovacích a stravovacích služeb, zdravotnictví a vzdělávání. Celkově nejvíce bude dotčen sektor dopravy a skladování (52 % míst ohrožení) a zpracovatelský průmysl (cca 45 % míst ohroženo).



Obr. 2: Potenciál automatizace profesí v jednotlivých sektorech ekonomiky. Zdroj: vytvořeno podle [5]

Díky studii poradenské společnosti PwC mají všechny zúčastněné subjekty konkrétnější informace o tom, které sektory, kdy a v jaké intenzitě budou automatizací zasaženy. Získávají tak čas, aby se mohly s předstihem začít postupně připravovat na nadcházející změny. Státy, vlády a jejich instituce tak budou moci např. lépe cílit podporu z hlediska rekvalifikace. Podniky a pracovníci z jednotlivých sektorů pak např. budou vědět, v kterém období je automatizace zasáhne nejvíce.

2 Vznik nových pracovních příležitostí

OECD, Světové ekonomické fórum nebo např. poradenské společnosti ve svých analýzách však zároveň dodávají, že současné změny trhu práce nemusí z dlouhodobého hlediska nutně znamenat nižší poptávku po práci a růst nezaměstnanosti. Důvodem je zejména skutečnost, že se začnou dříve či později objevovat nové úkoly a pracovní místa ať už ve stejném či jiném sektoru ekonomiky.

Z analýz vývoje v různých zemích vyplývá, že spolu s tím, jak roste technologická vyspělost zemí, se pracovní síla postupně přesouvá do terciárního sektoru (sektor služeb), jehož podíl na HDP je možno chápat jako míru vyspělosti země. Samozřejmě celý tento proces musí být doprovázen zlepšující se ekonomickou situací obyvatel a jejich ochotou utrácet za služby (např. za lepší zdravotní péči, finanční služby, vzdělávání, ...), což vede k růstu tohoto sektoru. Růst je i důsledkem volného času získaného mimo jiné díky pomoci moderních technologií v práci (dlouhodobě klesá počet hodin odpracovaných za týden). Příkladem potvrzujícím tuto skutečnost je vývoj v regionu Benátska po krizi v roce 2008 [6] nebo vývoj v USA mezi lety 1850 a 2015 [7].

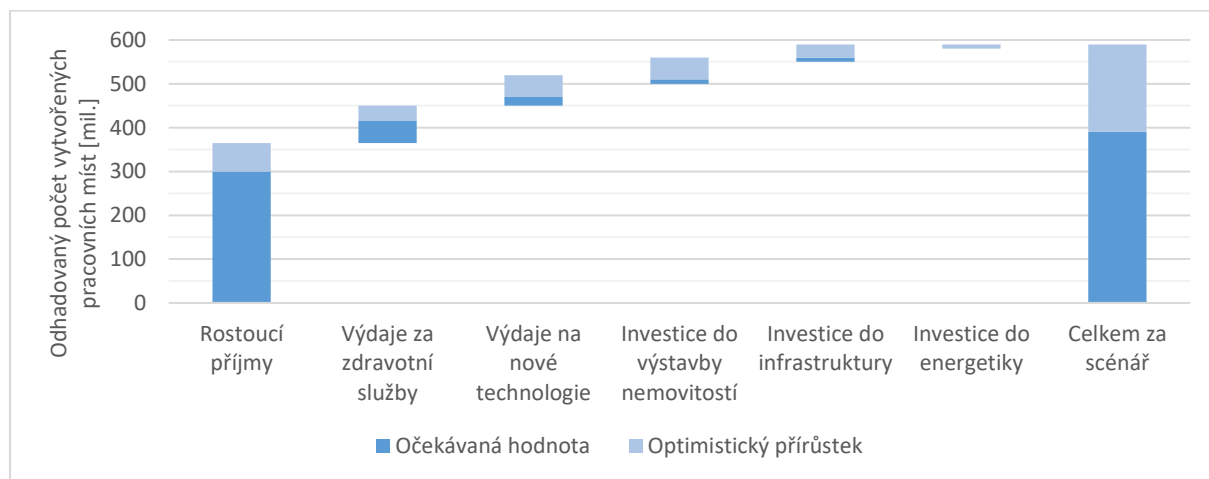
Díky technologickým změnám budou vznikat i zcela nová pracovní místa a profese přímo ve zpracovatelském průmyslu i v jiných sektorech. Ukázkou z minulosti může být např. rozvoj počítačů. McKinsey&Company ve své analýze uvádí, že díky počítačům sice v USA zaniklo přes 3,5 mil. pracovních míst, ale na druhou stranu vzniklo přes 19 mil. nových a to zejména v jiných průmyslových odvětvích a sektorech ekonomiky [7]. O práci přišly např. zapisovatelky na psacích strojích, sekretářky nebo opraváři psacích strojů. Na druhou stranu vznikla nová místa a profese jako vývojáři SW, vědci zaměřeni na vývoj počítačů, vznikla pracovní místa zaměřená na výrobu desek s plošnými spoji nebo polovodičů.

Očekává se, že podobná situace té s počítači nastane i u v současnosti moderních technologií. Hlavní otázkou je kdy, v jaké intenzitě (počtu pracovních míst) a jaký bude průběh v čase. Příkladem může být např. virtuální a rozšířená realita. Podle zprávy poradenské společnosti PwC [8] z roku 2019 by mohlo do roku 2030 vzniknout ve spojení s těmito technologiemi až cca 23 mil. pracovních míst, tedy skoro 23 krát více, než v současnosti. Přičemž v Německu a Velké Británii vznikne do roku 2030 cca 400 tis. nových prac. míst v každé z nich (cca 0,75-1,25 % celkového počtu pracovních míst).

Odhadů různých studií jaká bude situace na trhu práce celkově se samozřejmě liší. Ze studie Světového ekonomického fóra [3], do které byly zapojeny podniky z celého světa zaměstnávající přibližně 15 mil. osob, vyplývá, že do roku 2022 by mohlo zaniknout v ekonomických sektorech (kromě zemědělství) až 75 mil. pracovních míst a zároveň vzniknout 133 mil. nových pracovních míst. V analýze jsou samozřejmě zahrnuty různé faktory, jako je ekonomický růst, stárnutí obyvatelstva atd.

Rozsáhlý průzkum společnosti McKinsey&Company [7] z prosince 2017 si pak dával za cíl nikoliv přesně předpovědět potenciální budoucí změny, ale vytvořit přibližný model, který by napověděl, kde by mohla nová, budoucí místa vznikat. Model pracuje se 2 scénáři, jeden vychází z předpokladu zachování současných výdajových a příjmových trendů v různých zemích a druhý je založen na očekávaných dodatečných investicích. Neuvažují se pak dynamické interakce mezi trendy nebo napříč ekonomikou. Model odhaduje, že by mohlo do roku 2030 vzniknout podle prvního scénáře cca 390 mil. míst (v přepočtu na 1 celý úvazek) a podle druhého scénáře navíc ještě dalších 165 mil. Celkem tedy 555 mil. pracovních míst (při optimističtějších výhledu až 890 mil.). Přičemž v důsledku automatizace by mohlo o práci přijít až 400 mil. pracovníků (středně rychlé zavádění), při rychlejší implementaci moderních technologií až 800 mil. A další osoby se pravděpodobně přesunou na jiné pozice (75-375 mil.). Nejpravděpodobnější scénář pak tedy očekává pozitivní vývoj na trhu práce, kdy by mohlo do roku 2030 dojít z absolutního hlediska k vytvoření až cca 230 mil. nových pracovních míst (555 mil. + 75 mil. - 400 mil.).

Studie rovněž vymezuje hlavní oblasti/faktory, které budou generovat nová pracovní místa, což dává zemím, vládám, institucím a podnikům nebo pracovníkům alespoň obecnou představu o tom, které sektory budou z hlediska pracovních míst pravděpodobně růst a budou se tak jevit jako perspektivní a důležité. V rámci prvního scénáře (Obr. 3) budou nová pracovní místa generovat zejména rostoucí příjmy (300-365 mil.), výdaje na zdravotní služby (50-85 mil.) nebo výdaje na vývoj a rozšiřování nových technologií (20-50 mil.). Rostoucí příjmy pak budou generovat pracovní pozice zvláště v automotive a ve službách.



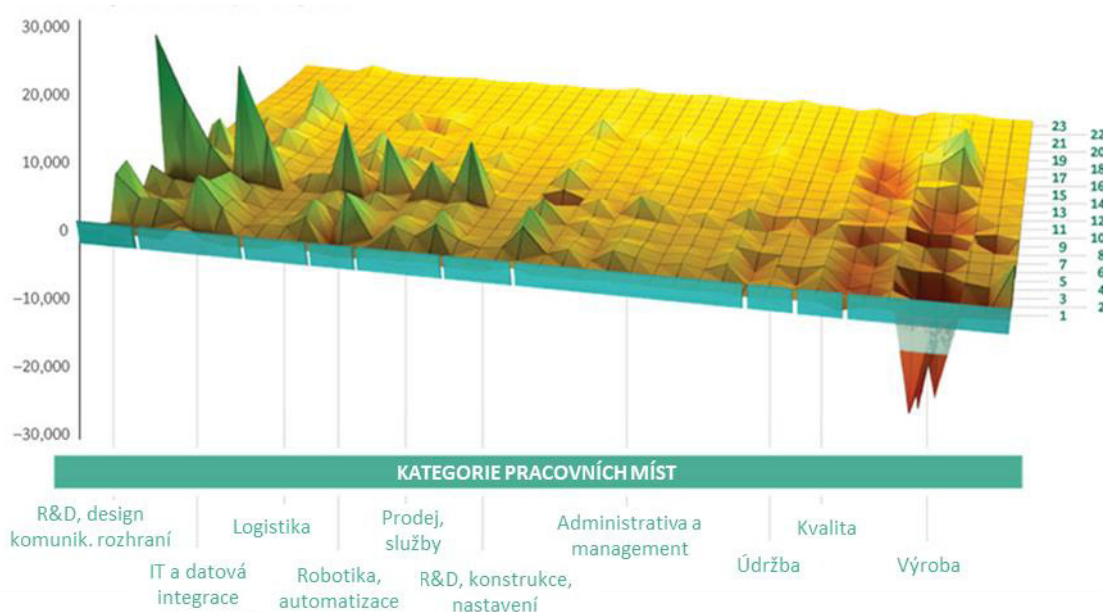
Obr. 3: Odhad nově vytvořených prac. míst v mil. v závislosti na faktoru působení. Zdroj: vytvořeno podle [7]

Poradenská společnost Boston Consulting Group (BCG) [9] pak prováděla od roku 2015 studie dopadu zavádění konceptu Průmysl 4.0 v Německu se zaměřením na zpracovatelský průmysl. Studie obsahovala i citlivostní analýzu zaměřenou na potenciální vývoj počtu pracovních míst ve zpracovatelském průmyslu v závislosti na růstu příjmů a stupni zavedení konceptu Průmysl 4.0. Pro základní situaci, kdy by růst příjmů v důsledku zavedení byl 1 % a stupeň zavedení na úrovni přibližně 50 %, by došlo k nárůstu o 350 tis. pracovních míst (cca 5 %) v letech 2015-2025. Tento nárůst by byl výsledkem propuštění přibližně 610 tis. zaměstnanců v důsledku implementace Průmyslu 4.0 a zároveň nárůstem o 960 tis. nových prac. míst spojených s náborem odborníků a s růstem příjmů a poptávkou

po produktech. V nejoptimističtější scénáři se očekával vznik až 950 tis. nových prac. míst. Nejpesimističtější scénář pak hovořil o propouštění 180 tis. pracovníků.

Při detailním pohledu na vývoj zaměstnanosti v německém zpracovatelském průmyslu do roku 2025 napříč jednotlivými sektory a profesemi společnost BCG [9] očekává v důsledku automatizace zejména zánik pracovních míst (až 170 tis.) ve výrobě a činnostech s ní spojených (kontrola kvality, údržba, plánování). Zároveň se však předpokládá např. rozšířené využívání inteligentních strojů, což vytvoří poptávku po 70 tis. pracovnících. Vznikne 70 tis. nových míst spojených s růstem důležitosti datových analýz. Rozšiřování robotů pak vytvoří novou roli koordinátora robotů, což povede k 40 tis. dalších míst. Zvýšené používání ICT také způsobí nárůst poptávky po architektech ICT řešení a designerech uživatelského rozhraní. Implementace robotiky, prediktivní údržby nebo např. rozšířené reality, umožní výrobcům zavádět nové obchodní modely, které podporují vytváření pracovních míst.

Celou situaci můžeme vidět na následujícím 3D grafu (Obr. 4). K nejzásadnějším změnám dochází zejména v prvních cca 12 sektorech zpracovatelského průmyslu (osa napravo): 1-Letecký a kosmický průmysl a obrana; 2-Oděvy, obuv; 3-Automotive; 4-Elektrotechnický průmysl; 5-Polovodiče; 6-Kovovýroba; 7-Dřevozpracovatelský průmysl; 8-Výroba strojů; 9-Zdravotnické produkty; 10-Plasty a kaučuk; 11-Tisk a nakladatelství; 12-Další diskretní průmysl.



Obr. 4: Odhad vývoje absolutního počtu pracovních míst v Německu do roku 2025 podle typu průmyslu a kategorií pracovních míst. Zdroj: upraveno podle [9]

Informace týkající se vývoje počtu pracovních míst v Německu do roku 2025 mají sice omezenou využitelnost v jiných zemích, nicméně z našeho pohledu dávají alespoň jakousi obecnou představu o možném budoucím vývoji. Všechny zúčastněné subjekty (státy, podniky, ...) si na základě této studie mohou při zohlednění některých hlavních specifík svých zemí udělat představu např. o tom, které sektory zpracovatelského průmyslu by mohly být zasaženy změnami nejvíce, a v rámci kterých kategorií pracovních míst a v jaké intenzitě bude třeba pracovníky přijímat, propouštět, případně rekvalifikovat, a na tyto změny se postupně alespoň částečně připravit. Mladým lidem a pracovníkům pak výsledky studie ukazují perspektivu různých profesí či sektorů zpracovatelského průmyslu.

3 Nové a nadbytečné profese

Jak bylo již zmíněno výše, v souvislosti se zaváděním moderních technologií budou vznikat a rozšiřovat se nové profese a zanikat jiné [3,10]. Vzhledem k tomu, že moderní technologie jsou značně

spojeny s ICT, předpokládá se rozvoj zejména profesí v této oblasti. Jedná se např. o vývojáře SW, specialisty na cloud computing, umělou inteligenci a strojové učení nebo odborníky na digitální transformaci. Spolu s rozvojem ICT a napojením na internet budou třeba rovněž specialisté na kybernetickou bezpečnost. S ohledem na rozvoj e-commerce budou potřeba specialisté na digitální marketing a strategii, sociální média, odborníci pro vzdálenou podporu pro své produkty. V podnicích rovněž dochází k významnému nárůstu podnikových dat. Podniky tedy předpokládají větší potřebu specialistů zaměřených na BigData, na datovou analýzu, specialisty na databáze nebo na tvorbu datových modelů, zpracování a vizualizaci dat. S rozvojem nových výrobních technologií roste dále potřeba pracovníků se zaměřením na inovace, obecně nové technologie (např. IoT), automatizaci, aditivní technologie a budou rovněž třeba projektanti nových výrobních procesů.

Naopak nadbytečnými či čím dál více ohroženými profesemi budou postupně zejména úředníci zadávající data, administrativní pracovníci, účetní, vybraní pracovníci ve skladech, bankovní úředníci, prodáváči, manuální pracovníci ve výrobě, opraváři strojů, účetní, telemarketéři, ...

Mezi klíčové dovednosti důležité pro jednotlivé profese bude potom patřit zejména efektivní práce s ICT, práce s daty a jejich analýza, inovační myšlení a kreativita, práce v týmu, flexibilita a adaptabilita na nové podmínky nebo např. schopnost rychle a afektivně se rozhodovat.

4 Změna pracovní pozice, rekvalifikace

Součástí přizpůsobení se nadcházejícím změnám musí být nutně i posílení oblasti rekvalifikace jako jednoho z kritických faktorů úspěšné transformace trhu práce. Nástrojů k systematickému mapování a identifikaci realistických pracovních příležitostí pro pracovníky, kteří budou ohroženi potenciálními změnami (zejména propouštěním), existuje málo. Ukázkou může být nástroj (studie) z USA [11], který čerpá data z národní databáze povolání USA (obsahuje požadované dovednosti, znalosti, schopnosti, vzdělání, školení nebo zkušenosti nutné pro výkon určité práce) a data z databáze vzniklé na základě analýzy BigData o trhu práce. Tato analýza agreguje poznatky o více než 50 mil. pracovních pozic a na ně požadovaných dovedností v USA z let 2016-2017.

Obě zkombinované databáze pokrývají 958 jedinečných typů pracovních míst, což pokrývá většinu pracovních míst v USA. Pracovní místa jsou kategorizována do skupin podle podobnosti. Pro každý typ práce jsou definovány klíčové požadavky. Jednotlivá zaměstnání pak mají index vzájemné podobnosti nabývající hodnoty 0-1, který určuje, jaká je uplatnitelnost na nové (druhé) pozici. Výsledkem je matice, která umožňuje hledat pracovní místa s dostatečnou podobností. Samotná studie se dále zaměřuje i na analýzu počtu pracovníků USA, které by mohly jednotlivé skupiny v budoucnu pojmout.

Bez hloubkové analýzy tohoto nástroje, která by významně přesáhla rámec studie [2], ze které tento článek vychází, samozřejmě není možné vyslovit konkrétní soud o možnosti využití nástroje např. v jiných zemích. Vzhledem k tomu, že nástroj byl vytvořen cíleně pro USA, dá se očekávat, že jeho využití v jiných zemích může být minimálně v některých ohledech omezené. Důvodem může být skutečnost, že tam mohou panovat např. jiné podmínky z hlediska úrovně požadovaných dovedností a znalostí na jednotlivé pracovní pozice. Dle našeho názoru však může být tento nástroj alespoň v mnohém inspirativní a poučný. Ukazuje totiž jiným zemím a subjektům v nich fungujícím jednu z cest, kterou by mohlo být vhodné se vydat za úspěšnou transformací trhu práce.

5 Potřeba kvalifikovaných pracovníků

Rozvoj, zavádění a využívání moderních technologií vyžaduje dostatek pracovníků s odpovídajícím vzděláním, zatímco potřeba méně kvalifikovaných pracovníků klesá. Nedostatek kvalifikovaných pracovníků je možné řešit rekvalifikací či školením, nicméně toto řešení není vždy možné či dostatečné.

Analýza portálu Statista [12] vycházející z údajů od Mezinárodní organizace práce, demografických údajů, míry absolventů a rostoucího počtu penzistů očekává celosvětově nárůst podílu pracovníků s vysokým vzděláním (manažeři a specialisté) ze 14 % v roce 2019 na 17 % v roce 2030 a středně vzdělaných pracovníků (technici, obchodníci, ...) z 41 % na 43 %. Naopak by mělo dojít k poklesu nejméně vzdělaných (operátoři, zemědělci, ...) a to z 45 % na 39 %. V EU28 se očekává nárůst počtu zaměstnanců s vysokým vzděláním o 3 % na 29 % a pokles těch s nízkým vzděláním o 3 % na 17 %.

Různě rozvinuté ekonomiky potom potřebují různý počet odborníků. Při pohledu na vyspělé státy se předpokládá, že do roku 2030 bude kumulativní přebytek vzdělané pracovní síly v Itálii i ve Francii cca 1,8 mil. osob. S nedostatkem kvalifikovaných pracovníků – absolventů se pak bude potýkat do roku 2030 zejména Japonsko, USA a Kanada (cca 4 mil., 3,2 mil., 2,3 mil. absolventů). V USA však bude tento nedostatek pravděpodobně i přes současnou situaci nahrazovat vzdělaná pracovní síla z Mexika (přebytek cca 7,3 mil.). Zásadní bude rovněž nedostatek v Německu, cca 1,9 mil. absolventů.

Provedená analýza se sice nezaměřovala na ČR, avšak pokud se potvrdí očekávaný vývoj v Německu, můžeme na našem trhu práce očekávat nedostatek vzdělaných pracovníků, se kterým se setkáváme v některých oblastech dokonce již nyní (např. oblast IT). Česká pracovní síla totiž stále ještě patří k levnějším, na rozdíl od Itálie a Francie, kde bude přebytek vzdělaných pracovníků (viz výše). Jelikož naše země s Německem přímo sousedí, dá se předpokládat odchod našich vzdělaných pracovníků právě do Německa. To by mohl být poměrně zásadní problém, protože nedostatek vzdělaných pracovníků by mohl znamenat zpomalení digitalizace a robotizace, což by v konečném důsledku mohlo přinést nemalé ekonomické problémy. Vzhledem k tomu, že se u nás samozřejmě nedá očekávat růst mezd na německou úroveň, bude zcela zásadní, aby se podniky zaměřily např. na zkvalitňování pracovních podmínek, které v posledních letech u zaměstnanců také hrají důležitou roli při volbě zaměstnavatele (kromě výše mezd), a rovněž aby podniky nepodcenily potenciál a důležitost rekvalifikace.

Závěr

Po období, kdy se objevovalo mnoho studií předpovídajících pesimistický vývoj na trhu práce v důsledku digitalizace a automatizace postupně přicházejí studie optimističtější. Dnes se již nepředpokládá hromadné nahrazování pracovní síly automatizací, ale v krátkodobém až střednědobém horizontu posílení práce lidí prací strojů a počítačů. Předpokládá se, že v zemích OECD je průměrně významně ohroženo automatizací 14 % míst a 32 % míst může být významně ovlivněno. Byť samozřejmě záleží na celkovém vývoji mnoha faktorů, analyzované studie předpokládají, že vznikne více nových míst, než zanikne. Nové technologie totiž generují i nová pracovní místa a nové profese. Zároveň podporují růst produktivity, což by mimo jiné znamenalo růst ekonomiky a tím pádem i vznik nových dodatečných pracovních míst s tímto růstem spojených. V neposlední řadě se pak propuštění pracovníci budou přesouvat do sektoru služeb.

Na předpokládané nadcházející změny na trhu práce je třeba nahlížet s respektem, nikoliv s přemírou obavy nebo přemírou optimismu. Zejména je však nutné se na tyto změny s co největším předstihem a v rámci možností připravit. Kdo je připraven, není překvapen! Při přípravě na tyto změny je nutná vstřícná a otevřená spolupráce všech subjektů na trhu práce včetně samotných zaměstnanců. Komunikace charakteru, důležitosti a zejména nevyhnutelnosti změn. Detailnější aktuální analýza, vývoje počtu nových a zrušených míst v jednotlivých regionech, sektorech ekonomiky, profesích. Tvorba nástroje, který by dokázal co nejlépe pomoci zaměstnancům ohroženým digitalizací a automatizací, jejich zaměstnavatelům a dalším subjektům pomoci najít co nejvhodnější profese pro rekvalifikaci. Vytváření a úpravu vzdělávacích a rekvalifikačních programů a kurzů se zacílením na nové technologie. Pamatujme na to, že význam čtvrté průmyslové revoluce a to jak jsme v jejím průběhu uspěli či ji využili ve svůj prospěch budeme schopni pochopit až při pohledu zpět.

Poznámka: Poslední měsíce byly poznamenány celosvětovou pandemií COVID, která bezpochyby další vývoj z hlediska zavádění moderních technologií ovlivní (tím bude ovlivněn i trh práce). Výsledné dopady mohou mít různou podobu a je obtížné je předvídat. Pandemie může zavádění jak uspíšit s cílem zvýšit automatizaci, tak zpomalit v důsledku souvisejícího negativního ekonomického vývoje.

Prameny

1. ZAVORAL, Petr. Druhý věk strojů, třetí platforma aneb čtvrtá průmyslová revoluce. *ICT revue: Průvodce manažera informačními a komunikačními technologiemi*. 2016, **2016** (březen), 4-7.
2. SCHOLZ, Pavel, Petr WEISSER a Zdeněk KADLEC. *Studie možných změn pracovní síly v době digitalizace a robotizace*. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku. Praha, 2020.
3. WEF. *The Future of Jobs Report 2018*. 2018. Dostupné také z: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf
4. OECD. *OECD Employment Outlook 2019*. 2019. Dostupné také z: https://www.oecd-ilibrary.org/employment/the-decline-of-the-manufacturing-sector_cc51a592-en
5. PWC. *Will robots really steal our jobs?* 2018. Dostupné také z: https://www.pwc.com/hu/hu/kiadvanyok/assets/pdf/impact_of_automation_on_jobs.pdf
6. OECD. *Job Creation and Local Economic Development 2018*. 2018. Dostupné také z: https://read.oecd-ilibrary.org/employment/job-creation-and-local-economic-development-2018_9789264305342-en#page1
7. MCKINSEY & COMPANY. *Jobs lost, jobs gained: What the future of work will mean for jobs, skills, and wages*. 2017. Dostupné také z: <https://1url.cz/yzi3t>
8. PwC. (2019). *Number of jobs enhanced by virtual reality (VR) and augmented reality (AR) worldwide from 2019 to 2030 (in millions)*. Statista. Statista Inc. Dostupné také z: <https://www.statista.com/statistics/1121601/number-of-jobs-enhanced-globally-by-vr-and-ar/>
9. BCG. *Man and Machine in Industry 4.0*. 2015. Dostupné také z: <https://www.bcg.com/publications/2015/technology-business-transformation-engineered-products-infrastructure-man-machine-industry-4>
10. Anitec-Assinform. (2019). *Most in-demand skills and professions for Industry 4.0* in Italy in 2017*. Statista. Statista Inc. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1066814/industry-four-point-zero-skills-italy/>
11. WEF. *Towards a Reskilling Revolution A Future of Jobs for All*. 2018. Dostupné také z: http://www3.weforum.org/docs/WEF_FOW_Reskilling_Revolution.pdf
12. STATISTA. *Labor Shortage: Workers with a higher education*. 2019. Dostupné také z: <https://www.statista.com/study/69261/labor-shortage/>

Kontaktní údaje o autorech

Ing. Petr Weisser, Ing. Pavel Scholz, Ing. Zdeněk Kadlec

ČVUT v Praze – Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku

Karlovo náměstí 13, Praha 2 – Nové Město, 121 35

+420 224 355 791, +420 224 355 797

Petr.Weisser@fs.cvut.cz, Pavel.Scholz@cvut.cz

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

TATO PUBLIKACE NEPROŠLA REDAKČNÍ ANI JAZYKOVOU
ÚPRAVOU.

ISBN 978-80-01-06775-8