

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v PRAZE
Fakulta strojní
Ústav Přístrojové a řídicí techniky



Sborník odborného semináře

NOVÉ METODY A POSTUPY V OBLASTI PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY,
AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ A INFORMATIKY
2011



19. – 21. května 2011

Herbertov, Česká republika

Obsah

The Design of Strategy for Monitoring of Ecosystems.....	3
<i>Jiří Bila, Jakub Jura</i>	
Multiscale Analysis Approach: Trend in Evaluation of Measurements and in Signal Processing.....	11
<i>Ivo Bukovsky</i>	
Experimentální metody 3D tisku biologických scaffoldů pro tkáňové inženýrství	17
<i>Aleš Gregor</i>	
Příprava mikrostruktur procesem elektroeroze	29
<i>Jan Hošek</i>	
Aktuální stav realizace transportabilní terénní měřicí stanice	33
<i>Vladimír Jirka, Josef Zicha</i>	
Analýza odezev nevytápěných budov na přirozené klimatické cykly	39
<i>Ivana Krestýnová</i>	
Vozítko umožňující péči o dítě navržené pro imobilní osoby	45
<i>Karolina Macúchová, Karel Muzika, Iveta Pilařová, Pavel Trnka, Josef Zicha</i>	
Komponenty pro přesnou pointaci a justáž experimentálních zařízení.....	49
<i>Karolina Macúchová</i>	
Relation of GDOP Coefficient on Satellite Distribution.....	53
<i>Martina Mironovova</i>	
Experimental setup with high speed PMSM - Theoretical analysis.....	59
<i>Martin Novák, Jaroslav Novák, Ondřej Stanke, Jan Chyský</i>	
Experimental setup with high speed PMSM - Result analysis.....	65
<i>Martin Novák, Jaroslav Novák, Ondřej Stanke, Jan Chyský</i>	
Optimalizace provozních podmínek malého kotle na biomasu	71
<i>Cyril Oswald, Bohumil Šulc</i>	
Odhad toku tepla do různých typů půdního prostředí	77
<i>Růžena Petrová</i>	
Weight Adaptation Stability of Static Quadratic Neural Unit.....	83
<i>Ricardo Rodriguez, Ivo Bukovsky, Jiri Bila</i>	
Vyhodnocení metody rozpoznávání.....	89
<i>Jiří Rošický, Pavel Studenovský</i>	
On-line empirická modální dekompozice	93
<i>Pavel Trnka, Milan Hofreiter</i>	
svařitelnost hliníkových slitin	97
<i>Marie Válová, Ladislav Kolařík</i>	
Co je a co nyní znamená strojařina? Lze vůbec vrátit strojařinu na strojařinu?	107
<i>Josef Zicha</i>	

THE DESIGN OF STRATEGY FOR MONITORING OF ECOSYSTEMS

Návrh strategie monitorování ekosystémů

Jiří Bíla a Jakub Jura

Abstrakt: Článek obsahuje několik pohledů k výběru typu modelů pro sledování narušení Malého vodního cyklu v Třeboňské pánvi a pro monitorování vývoje krajiny v dané oblasti. V článku jsou referovány a komentovány práce týmu Ústavu přístrojové a řídicí techniky k danému tématu a práce širokého okruhu odborníků celého světa přispívajících k diskutované problematice.

Key words: Ecosystems function, small water cycle, qualitative modeling.

1. Introduction

The Trebon region in South Bohemia is known for its picturesque landscape and for its large pond systems, which were constructed mainly in the 13th to 16th centuries. Only a few of the fishponds originated at a later time. As an example of a man-made landscape that has maintained its biodiversity and a well-functioning ecosystem, the greater part of the Trebon Basin was declared a Biosphere Reserve in 1977, and became part of the UNESCO world network in the MAB Program. Legislation introduced in former Czechoslovakia in 1979 established this same area of 700 km² as the Trebon Protected Landscape Area. The Trebon fishponds and mires are now included among the wetlands listed in the Ramsar Convention (since 1990), and they are also considered as an Important Bird Area (Kvet et al., 2002).

Few people would suspect that the Trebon ecosystem is impacted by continuous parasitic dehumidification and dehydration which attacks the Small Water Cycle. The Small Water Cycle (SWC) refers to the behavior of the local ecosystem (e.g., the Trebon region), in which the volume of water that comes into the ecosystem is evaporated and falls back into this system, e.g., in (Kravcik et al., 2008). In the Trebon ecosystem, the evaporated water rises quickly inside the zone and does not have time to recondense before it is transported outside the ecosystem to the distant mountains, where it condenses spontaneously in the rising air streams. (Due to the enormous volumes of vapor that are transported, the condensation is very dynamic and sometimes leads to torrential downpours).

Two phenomena are usually adduced as the basic reason for these phenomena, e.g., in (Ripl, 1995):

- Overheating of the landscape surface due to the extensive drained areas (cornfields, depleted peat-extraction fields, concrete parking places, roofs of towns, etc.) and, as a consequence, a high stratum of overheated air above the surface of the landscape.
- Increased transport velocity (in comparison with stable SWC roughly 100 years ago) in a non-condensation zone (with a single prevailing direction of the streams).

Since SWC has been violated in the Trebon region for a period of about 30 years, we consider that the problem is not trivial, and that a solution should not be attained using a classical modeling approach and decision principles. The basic motivation for this paper is to open up novel ways for modeling situations relevant to the violation of SWC and to stability of the landscape development.

2. Issues associated with transpiration, evapotranspiration and the balance of energetic flows in ecosystems relevant to SWC.

We analyzed the results of a study of the velocity of evapotranspiration on wetlands (Rejskova, Brom, Cizkova, Pokorny, 2008) with reference to ways of absorbing humidity in the atmosphere, conservation of the water cycle, e.g., in canopy forests (Makarieva, Gorshkov, 2006), and the special development of evapotranspiration in green roofs (He, Jim, 2010).

We studied approaches to modeling the energy flows in an ecosystem taking into account the seasons of the year (Baldocchi, Vogel, 1997), with the use of remote sensing (Loiselle et al., 2001) and taking into account system concepts (Odum, 2002). The influence of energy flows on the control of SWC was recognized as very important (Ripl, 1995), (Pokorny, Rejskova, 2008).

The improvement of situations induced by violation of SWC bring some general natural mechanisms – e.g., biotic pump. Makarieva and Gorshkov (Makarieva, Gorshkov, 2007) reinterpreted the relationship between forests and precipitation. After examining the correlation between levels of annual rainfall in info rested regions in various continents (savannah, semi-desert) and their distance from the sea as well as of rainfall in naturally forested areas, they came to conclusion that in unforested parts of continents annual rainfall gets rapidly lower. Makarieva and Gorshkov formulated the so-called “biotic pump” principle, whereby a horizontal flow of moist air arises from a region with lower evaporation and moves into an area of higher evaporation. Temperature inversion (a higher temperature in the crown of the trees than at ground level) is another important feature which helps to retain almost 100% of the air humidity above the surface soil. The balance of humidity and temperatures under the crowns of trees is directly proportional to the density and height of the vegetation.

3. What models can be utilized for modeling of SWC violation and for modeling of the landscape stability development ?

The application of models in the form of so-called “oriented elements” (or “input/output elements”) seems to be problematic for most ecosystems. The number of measurable inputs is rather high, and some potential inputs are unavailable or not measurable. The influencing of outputs by inputs is not clearly mapped, and for this reason classical schemes with crossed transfer lines appear only very rarely. Oriented element models are therefore used mainly as simulation models. However, it is very exacting to develop these models, due to the number of values of constants and parameters that need to be computed and set up very precisely at the start of the simulation process (He, Jim, 2010), or e.g., in simulation of evapotranspiration by the Bowen method (Pokorny, Bila, 2008). In the field of modeling of ecosystem functions appear reductionist models, that represent behavior of ecosystems by means of relations among a small number of measurable variables. Well known is the model “Temperature/Moisture” or the model “Temperature/Moisture/Radiation” used also in quoted project (Pokorny, Bila, 2008). These are local models, and their success depends on defining their area of validity, and on knowing the actual quantities of the constants and parameters. (Railsback, 2001) investigated the usability of concepts from the field of complex adaptive systems for individual modeling. In addition to using classical concepts for individual modeling (e.g., Adaptation, Fitness and Strategy, Prediction), he devoted great attention to the concept of Emergence. The systems with emergent phenomena need special modeling tools. Classical balance models are violated by self-organization processes and the goals of such processes are usually unknown and can be negative for us. We quote in this context works (Forest, 1990), (Waldrop, 1992), (Holland, 1998), (Reid, 2007).

We deal in (Bila, Pokorny, Jura, Bukovsky, 2010) especially with qualitative models that use special concepts extracted from quantitative models with the help of qualified experts. Respecting the known theory and practice we underline the approaches published, e.g., in works (Kuipers, 1989), (Ishida, 1992), (Leitch, Shen, 1993), (Jianliang, Da Ruan, Pengfei, 2001).

Formulation and computation problems introduced in this beginning of the paragraph for quantitative models were partially simplified in recent time by new computation means, as are artificial neural networks and genetic algorithms (Huse, Strand, Giske, 1999), but have not been completely solved. The question arises whether ecological models have the potential to form a new computation paradigm (Huston, DeAngelis, Post, 1988), similarly as in the case of so-called chemical programming (Matsumaru, Lenser, Hinze, Dittrich, 2007). If a new paradigm can be formed, it would also affect the position of our qualitative models.

4. Integrated models for the landscape stability development.

The integrated models for the landscape stability development that are appropriate for integrating the enormous volumes of data measured in ecosystem functions are needed nowadays. An important issue here concerns concentrating the density of information and integrated models that can also be utilized for higher executive levels (districts, regions, countries):

Visualization approaches are very simple and effective. Visualization is either done directly or some associated formal means are applied (e.g., cellular automata - (Wang, Zhang, 2001)), (Lo, Faber, 1997), (Flamm, Turner, 1994). These examples investigated the influence of man on changes in landscapes.

The development of special software systems for observing and monitoring landscape changes raises questions about how typical (or atypical) these software systems are, and, if they are typical, questions about the utilization of modern information technologies (especially software engineering) for designing and developing such systems, (Reynolds, Acock, 1997), (Rotmans, Dowlatabadi, 1998), (Argent, Grayson, 2001), (Hinkel, 2009). We can refer to long files of systems that combine special methodologies for the development of software systems with means for integrated assessment of landscape changes (Verweij, Knapen, Wien, 2007), (Villa, Athanasiadis, Rizzoli, 2009), (Wien, Rizzoli, Knapen, 2010).

These models show how to apply various tools for integrating and compressing the information dispersed in large databases. This is also the goal for applying qualitative models.

The qualitative models discussed in (Bila, Pokorny, Jura, Bukovsky, 2010) compress the information contained in the data, and they will form the basis and background for developing SIAT-type software systems (Verweij at al., 2010).

5. Conclusions

The conclusions of this paper do not bring information how to monitor the development of ecosystem and the landscape but they contributes to question “How to form such a monitoring system?”. We summarize it in the following points:

1. Not to use only quantitative models. The nature works with algorithms that are hard to measure.
2. In addition – the measurement of ecosystems and ecosystem functions produces enormous volumes of data that are hard to process with needed efficiency.
3. The effective implications from quantitative models needs very precise knowledge about special constants and parameters. This is rather difficult to satisfy in case of ecosystems.
4. In ecosystems govern processes of self-organization and co-operative phenomena. This is the reason why no exact rigid model is successful.
5. One way how to overcome the previous points is to apply qualitative models. The development of these models requires cooperation with qualified experts. The advantages of application of these models are in quick responses and comprehensive results. Unlike these advantages are not standard properties of some quantitative models, as introduced, e.g., in (Grimm, 1999), (Rose, 2000).
6. Other very effective models for monitoring are visualization models not dependent on measurement and computations.
7. Monitoring processes for ecological systems have to be very flexible. Not only in the level seen in user interface but also in the level of software development. Highly recommended is to apply means of software engineering (CASE systems) and their methodologies and meta-languages (e.g., Object Modeling Technique (OMT) and Unified Modeling Language (UML).

Acknowledgement

This paper has been written within the framework of the research project “The development of methods for computation of energy flows in the selected ecosystems,” supported by grant No. 2B06023, MSMT, Czech Republic, 2008.

Reference

- [1] Argent, R.M., Grayson, R.B., 2001. Design of information system for environmental managers: an example using interface prototyping. *Environ. Model. Software* 16, 433–438.
- [2] Baldocchi, D.D., Vogel, C.A., 1997. Seasonal variation of energy and water vapor exchange rates above and below a boreal jack pine forest canopy. *Journal of Geophysical Research* 102, 28939-28951.
- [3] Bila, J., Jura, J., 2010. Unexpected versus ill separable situations. In: Proc. of 4th IMECO International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions – ISHF 2010, Prague, 96-101.
- [4] Bila, J., Jura, J., Bukovsky, I., 2009. Qualitative Modeling and Monitoring of the Selected Ecosystem Violated with Parasitic Dehumidifying and Dehydrating. In: Proc. of 10th WSEAS Int. Conf. on Automation and Information, Prague, 211-219.
- [5] Bila, J., Jura, J., 2007. Fuzzy Concepts in the Detection of Unexpected Situations. *Acta Polytechnica*, 5, 47-51.
- [6] Bila J., 2010. Modeling and Interpretation of Artifacts in the support of Problem Solving. (Submitted for Advanced Engineering Informatics in July, 2010.)
- [7] Bila, J., Pokorný, J., Jura, J., Bukovský, I., 2010. Qualitative Modeling and Monitoring of Ecosystem Functions, Ecological Modelling. (In review process. Submitted in 2010).
- [8] Ehrlich, P.R., 1988. The loss of diversity: cause and consequences. In: Wilson, E.O. (Ed.), *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, DC, pp. 21–27.
- [9] Flamm, R.O., Turner, M.G., 1994. Alternative model formulations for a stochastic simulation of landscape change. *Landscape Ecology*, 9, 37–46.
- [10] Forrest, S., 1990. Emergent computation: self-organizing, collective, and cooperative behavior in natural and artificial computing networks, Introduction to the proceedings of the ninth annual CNLS conference. *Physica D* 42, 1–11.
- [11] Grimm, V., 1999. Ten years of individual-based modeling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? *Ecol. Model.* 115, 129–148.
- [12] He, H., Jim, C.Y., 2010. Simulation of thermodynamic transmission in green roof ecosystem. *Ecol. Model.* 221, 2949-2958.
- [13] Hinkel, J., 2009. The PIAM approach to modular integrated assessment modeling. *Environ. Model. Software* 24, 739–748.
- [14] Holland, J.H., 1998. *Emergence: From Chaos to Order*. Helix Books, Reading, Massachusetts, p. 258.
- [15] Huse, G., Strand, E., Giske, J., 1999. Implementing behavior in individual-based models using artificial neural network and genetic algorithms. *Evol. Ecol.* 13, 469–483.

- [16] Huston, M., DeAngelis, D., Post, W., 1988. New computer models unify ecological theory. *BioScience* 38, 682–691.
- [17] Ishida, Y., 1992. A Qualitative Analysis on Dynamical Systems? *Sign Structure*. Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ. Vol. 54, No.1., 21-32.
- [18] Jianliang Z. Yi., Da Ruan Z., Pengfei, S., 2001. Interesting Rough Lattice-based Implication Rules Discovery. In: Da Ruan, Kacprzyk, J., Fedrizzi, M. (eds.), *Soft Computing for Risk Evaluation and Management*. Heidelberg: Springer-Verlag; p. 155-169.
- [19] Kuipers, B., 1989. Qualitative Reasoning, Modeling and Simulation with Incomplete Knowledge, *Automatica*, 4, 571-578.
- [20] Kravcik, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kovac, M., Toth, E., 2008. Water for the Recovery of the Climate: A New Water Paradigm. Kosice: Typopress-publishing house s.r.o.
- [21] Kvet, J., Jenik, J., Soukupova, L. (eds.) 2002. Freshwater wetlands and their sustainable future, A case study of Trebon Biosphere Reserve. *Man and the Biosphere, Series Vol. 28*, Paris: UNESCO, Parthenón Publ. Group; p. 495.
- [22] Leitch, R., Shen, Q., 1993. Fuzzy Qualitative Simulation. *IEEE Trans. On Syst., Man and Cybernet.*, 4, 1038-1061.
- [23] Lo, C.P., Faber, B.J., 1997. Integration of Landsat thematic mapper and census data for quality of life assessment. *Remote Sensing of Environment* 62, 143–157.
- [24] Loiselle, L., Bracchini, L., Bonechi, C., Rossi, C., 2001. Modeling energy fluxes in remote wetland ecosystems with help of remote sensing. *Ecol. Model.* 145, 243–261.
- [25] Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G., Li, B.L., 2006. Conservation of water cycle on land via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional planning. *Ecological Research* 21, 897.
- [26] Makarieva, A. M., Gorshkov, V.G., 2007. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1013-1033.
- [27] Matsumara, N., Lenser, T., Hinze, T., Dittrich, P., 2007. Toward Organization-Oriented Chemical Programming: A Case Study with Maximum Independent Set Problem. In: Dressler, F. and Carreras, I.(Eds.), *Advances in Biologically Inspired Information Systems*, Springer, Berlin, 147-164.
- [28] Odum, H.T., 2002. Explanation of ecological relationships with energy systems concepts. *Ecol. Model.* 158, 201-211.
- [29] Pokorný J, Bila J, et al. 2008. Partial Report to project 2B 06023, MSMT, Czech Republic.
- [30] Pokorný, J., Rejskova, A., 2008. Water Cycle Management. In: Jorgensen SE, Brian DF, editors. *Ecological Engineering: Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, Oxford, 3729-3737.
- [31] Railsback, S.F., 2001. Concepts from complex adaptive systems as a framework for individual-based modeling. *Ecol. Model.*, 139, 47–62.
- [32] Reid, R.G.B., 2007. An Emergence Theory. In: *Biological Emergences. Evolution by Natural Experiment*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, USA, 361-400.

- [34] Rejskova, A., Brom, J., Cizkova, H., Pokorny, J., 2008. Is the transpiration and evapotranspiration rate of herbaceous wetland dominated by *Phalaris arundinacea* limited by extreme temperatures? In: Proc. Of the Meeting of the Specialist Groups "Desert Ecology" and "Experimental Ecology" (Gfö) in cooperation with the German Society of Limnology (DGL), Tharant, Germany.
- [35] Reynolds, J.F., Acock, B., 1997. Modularity and genericness in plant and ecosystem models. *Ecol. Model.*, 94, 7–16.
- [36] Ripl, W., 1995. Management of Water Cycle and Energy Flows for Ecosystems Control – The Energy Transport Reaction (ETR) Model. *Ecol. Model.*, 78, 61-76.
- [37] Rose, K.A., 2000. Why are quantitative relationships between environmental quality and fish populations so elusive? *Ecol. Appl.*, 10, 367–385.
- [38] Rotmans, J., Dowlatabadi, H., 1998. Integrated assessment modeling. In: Raynor, S.,
- [39] Malone, E. (Eds.), *Human Choices & Climate Change*. Batelle Press, Columbus, pp. 291–377.
- [40] Waldrop, M.M., 1992. *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. Simon & Schuster, New York, p. 380.
- [41] Verweij, P., Knapen, M., Wien, J., 2007. The use of OpenMI in model based integrated assessments. In: MODSIM 2007 International Congress on Modeling and Simulation. Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand Christchurch, New Zealand.
- [42] Verweij, P.J., F.M., Knapen, M.J. R., de Vinter, W.P., Wien, J.J.F., te Roller, J.A., Sieber, S., Jansen, J.M.L., 2010. An IT perspective on integrated environmental modeling: The SIAT case. *Ecol. Modeling*, 221, 2167-3178.
- [43] Villa, F., Athanasiadis, I., Rizzoli, A., 2009. Modeling with knowledge: a review of
- [44] emerging semantic approaches to environmental modeling. *Environ. Model. Software* 24, 577–587.
- [45] Wang, Y., Zhang, X., 2001. A dynamic modeling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes. *Ecol. Model.* 140, 141–162.

MULTISCALE ANALYSIS APPROACH: TREND IN EVALUATION OF MEASUREMENTS AND IN SIGNAL PROCESSING

Přístup vícerozměrové analýzy: Trend ve zpracování měření a zpracování signálů

Ivo Bukovsky

Abstract: This paper discusses fundamentals of multi-scale analysis that is a trend in evaluation of multi-setup measurements and signal processing techniques today.

Key words: power law, characterizing exponent, multiscale analysis, multifractal analysis

1. Introduction

Using the power-law concept (e.g. [1]), this paper reviews fundamentals idea of multi-scale analysis approach that is the important trend in signal processing and computational evaluation methods today. A comprehensive summary of many multiscale measures is provided by Kinsner [2] to [4].

2. Fundamentals on Multiscale analysis

Multiscale analysis importantly originates from power-law concept (e.g. [1]), that is widely applied today in various areas, and its influence is rapidly progressing today. The fundamental idea is that if some real world quantity depends on a parameter, it is usually nonlinear function of the parameter. Note, linear approximations are usually well applicable to mainly only technical systems due to their limited complexity in comparison with natural (biological, sociological, economical) systems.

To explain the concept of the power law for readers new to multiscale analysis, we introduce the following example. Imagine three circles with radius of 2, 4, and 8 meters centered into two fish ponds as shown in Fig. 1. Each fish pond has the same number of fish but with distinct spatial distribution of individuals.

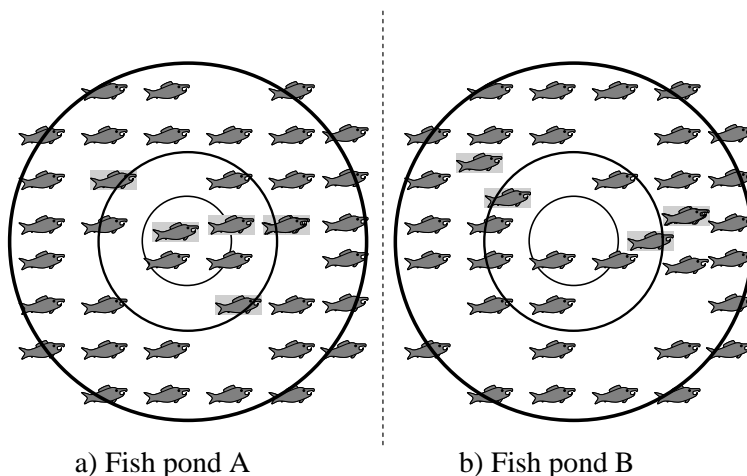


Fig. 1: In nature, observed quantity change with a parameter (here radius) nonlinearly. The objective is to characterize the quantity over the extensive ranges of values of a parameter (radius) by a single parameter.

The number of individuals that (at least partly) can be found within a circle of radius $r(k)$ can be expressed as the following exponential relation

$$q(k) = c \cdot r(k)^H \quad \square 1 \square$$

where q is the quantity of individuals found within the radius $r(k)$, H is the power exponent that characterizes the space distribution along selected radii in the vicinity of the center, c is a constant, and k is a discrete index.

Usually, the characterizing exponent H is obtained as a limit slope of a line in a log–log plot from logarithm of (1) as follows

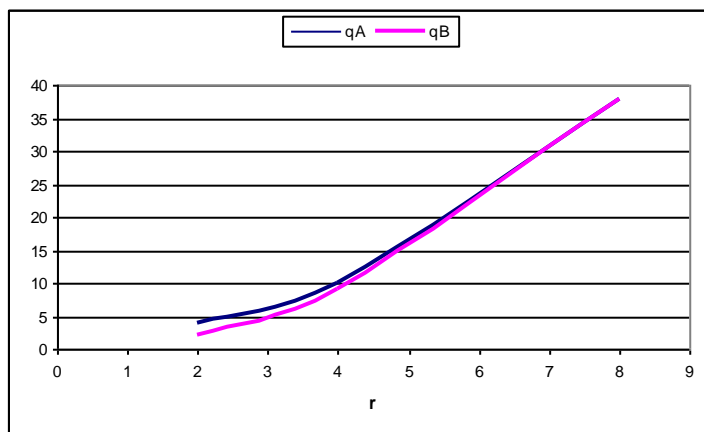
$$H = \lim_{r(k) \rightarrow 0} \frac{\log q(k)}{\log(r(k))} \quad \square 2 \square$$

For the fish ponds in Fig. 1, the counts of individuals within the circles are in Tab 1. The log–log plot in Fig. 3 then shows the estimations for the power–law exponents for fish pond A and B.

k	$r(k)$	q_A	q_B
1	2	4	2
2	4	10	9
3	8	38	38

Tab. 1: The counts of individuals within the radii $r(k)$ in Fig. 1.

In summary, the exponents H_A and H_B characterizes distribution of individuals in each pond along the multiple values of radius $r(k)$ from the center and not just for a single value of $r(k)$.



Tab. 2: The counts of individuals within the radii $r(k)$ in Fig. 1.

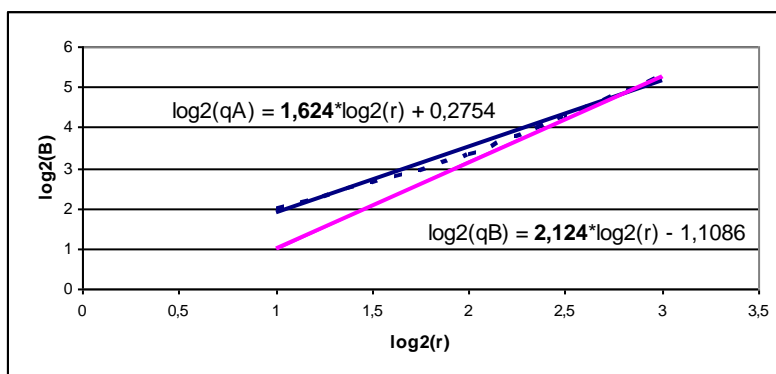


Fig. 2: The log–log plot for fish ponds in Fig. 1, $H_A=1.624$ and $H_B=2.124$.

Assuming the equal number of fish in pond A and B, we might conclude only from the estimated exponents $H_A=0.85$ and $H_B=1.06$ that the density of fish is more uniform in a fish pond A (along the radius r from the center), while a fisherman standing in the middle of pond B needs to cast the bait to longer distances as the fish density increases with radius more rapidly in pond B.

3. Discussion and Examples of Multiscale Analysis Approaches

The use of the power-law and multi-scale approach is very broad. A typical need for such kind of analysis is in clustering and related false neighbor evaluation, where the count of false neighbors in measured data depends on the distance definition that defines similar or distinct system state. Usually, it is not easy to clearly decide what system states are similar and what are distinct. That is why multi-scale evaluation of false neighbors over the whole interval of distances is more useful than if only a single count for false neighbors is made. Multi-scale false neighbor analysis for comparison of estimations of system state vectors of complicated dynamic systems was introduced in [5].

Another example of multi-scale approach is multi-fractal analysis of complicated signals, i.e., so called variance fractal dimension trajectory (VFDT - Kinsner et al.). Examples are given in Fig. 3 and Fig. 4.

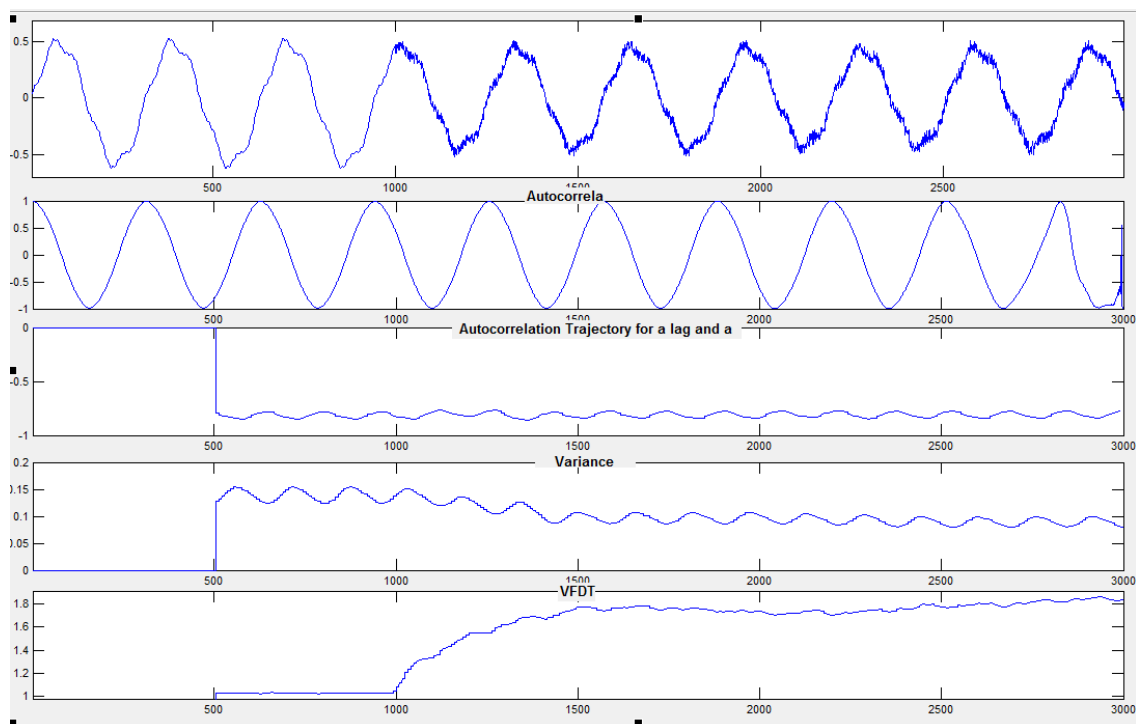


Fig. 3: Example of the Variance Fractal Dimension Trajectory (VFDT) of a sinus signal with gradually increasing noise level and comparison with its autocorrelation function, windowed autocorrelation for the window size of 512 samples and lag 128 samples, and variance trajectory in window of 512 samples the bottom is VFDT – VFDT increases with the level of noise in a signal (level of fractality).

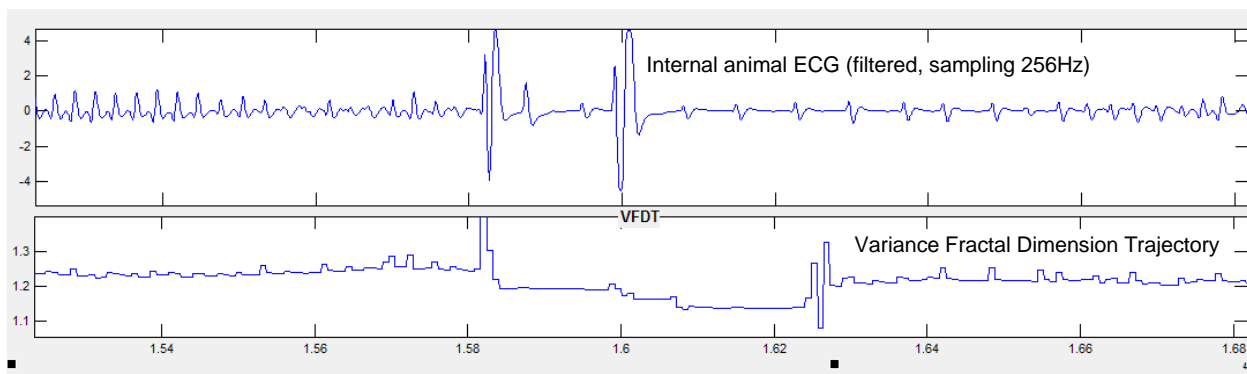


Fig. 4 Example of the Variance Fractal Dimension Trajectory (VFDT) of a real ECG signal, VFDT decreases when the ECG signal becomes smoother, i.e., less complicated, after the ongoing life threatening arrhythmia was treated by cardio-defibrillator at sample 15820 and 16000 (ECG signal data were obtained courtesy Hokaido University Hospital and Yoshizawa-Homma lab, Tohoku University, Japan).

Another interesting area for multi-scale approaches is information measures such as the evaluation of mutual information [6] that is a very popular technique today also for evaluation of nonlinear correlations between two variables (mutual cross information), e.g., between measured inputs and output of the model. The basic formula of mutual information is as follows

$$MI(x, y) = \sum_{y \in Y} \sum_{x \in X} p(x, y) \cdot \log \left(\frac{p(x, y)}{p_x(x) p_y(y)} \right), \quad (3)$$

where $p(x,y)$ is the joint probability density function of X and Y , and $p_x(x)$ and $p_y(y)$ are the marginal probability density functions of X and Y respectively.

The example of mutual information of two signals x and y , where x is a white noise signal and y signal is calculated as $y = \cos(x)$.

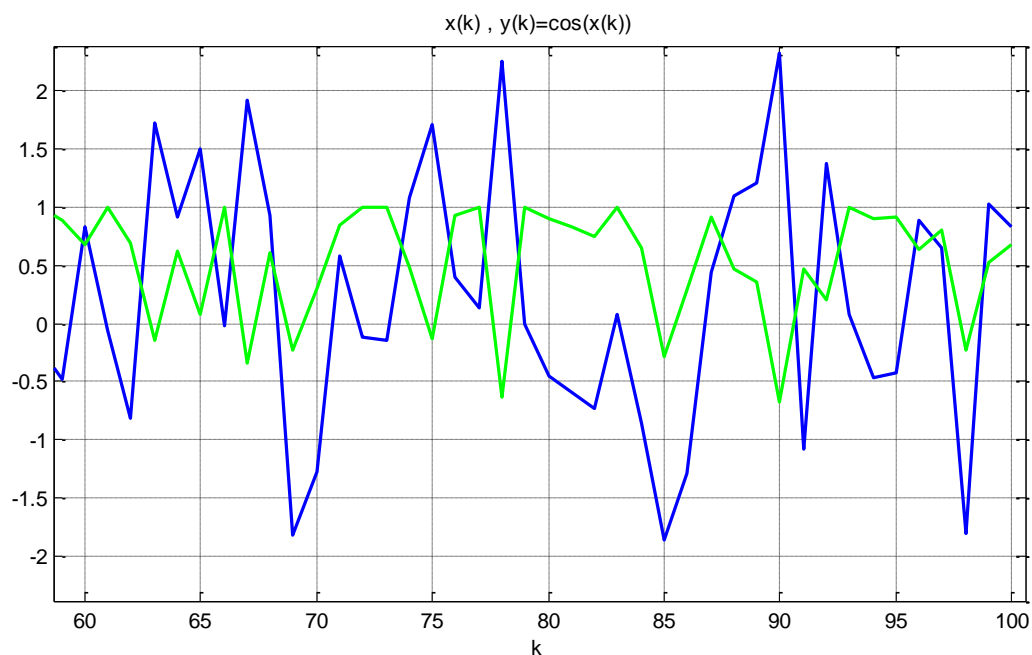


Fig. 5: The blue signal is random variable x and y is nonlinearly correlated with x .

Then estimations of mutual information are $MI(x,y)= 1.1023$ [bits] while $MI(x,x)= 1.5994$ [bits] and $MI(y,y)= 1.4470$ [bits] and this indicates strong nonlinear correlation of signals x and y in contrary to linearly limited correlation coefficient $r(x,y) = -0.1117$ that is not capable to reveal the nonlinear correlation between x and y . (MI of two white noise signals was 0.216)

However, the reliable calculation of mutual information relies on reliable estimation of probabilities in (3). If those probabilities are calculated by histograms or by some means of clustering, then it is normally case of a single scale analysis as we clearly define the border between bins or between clusters by a single value (distance, radius). However, the multi-scale approach is capable to evaluate mutual information over the whole interval of distances (that are necessary for calculation of probabilities), and thus mutual information may be evaluated in more general way.

4. Summary

This paper introduced fundamentals on multi-scale analysis approach that is useful for evaluation of multi-setup measurements where measured quantity varies nonlinearly with

linearly varying parameters, and the paper discussed some examples of multi-scale analysis use in signal processing techniques that are useful also for real-data based modeling of complicated dynamic systems.

Acknowledgement

This work was supported by grants SGS10/252/OHK2/3T/12 and SGS11/049/OHK2/1T/12.

I am very pleased to express my gratitude to Professor Witold Kinsner from the University of Manitoba for his invitation in 2010 and cooperation in the fields of neural networks and multi-scale approaches.

References

- [1] Schroeder, M., R.: *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise*, pub. by W. H. Freeman Co (Sd), pp. 429, 1991, ISBN-13 / EAN: 9780716721369
- [2] Witold Kinsner, "A unified approach to fractal dimensions," *Intern. J. Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, vol. 1, no. 4, pp. 26-46, October-December 2007.
- [3] Witold Kinsner, "Is entropy suitable to characterize data and signals for cognitive informatics?" *Intern. J. Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, vol. 1, no. 2, pp. 34-57, April-June 2007.
- [4] Witold Kinsner, "Towards cognitive machines: Multiscale measures and analysis," *Intern. J. Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, vol. 1, no. 1, pp. 28-38, January-March 2007.
- [5] Bukovsky, I., Kinsner, W., Maly, V., Krehlik, K.: "Multiscale Analysis of False Neighbors for State Space Reconstruction of Complicated Systems", in proceedings of *2011 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, IEEE Workshop CompSens 2011: ISBN 978-1-4577-0470-3, Paris 2011, pp. 35-41
- [6] Claude E. Shannon, Warren Weaver: *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, 1949. ISBN 0-252-72548-4

EXPERIMENTÁLNÍ METODY 3D TISKU BIOLOGICKÝCH SCAFFOLDŮ PRO TKÁŇOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Experimental methods for 3D printing of biological scaffolds used in tissue engineering

Aleš Gregor

Školitel: doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D.

Abstrakt: Tkáňové inženýrství je odvětvím biomedicíny, které se primárně zabývá substitucí a regenerací poškozených tkání. Používány jsou k těmto účelům mimo jiné biodegradabilní porézní matrice (scaffoldy), vsazené do místa poškození a osazené buněčnými kulturami. Tyto buňky postupně prolifерují porézní strukturou scaffoldu a vytváří novou tkáň. Materiály užívané pro tvorbu scaffoldu podléhají v organismu biologické degradaci a postupně tak ustupují nově se tvořící tkáni. Tato práce se zabývá možnostmi automatizované tvorby scaffoldů ze syntetických a biologických polymerů ať už separátně nebo v jejich kombinaci. Provedeny byly experimenty tvorby scaffoldu z fibrinového gelu metodou tisku vrstvy po vrstvě za využití mikrodispensoru Ultimus 2400. Fibrin je biopolymer patřící do kaskády koagulačních faktorů a ve tkáňovém inženýrství je hojně užívaným materiálem. Dále byly provedeny experimenty, při kterých byla použita 3D tiskárna Rap Man 3.1 využívající pro tvorbu modelů princip FED(Fused Deposition Modeling). V případě 3D tiskárny byl materiálem pro tvorbu scaffoldu PLA(Poly Lactic Acid), který je v medicíně často užívaným materiálem pro svou schopnost podléhat v organismu hydrolytické a enzymatické degradaci. Výsledkem práce jsou reálně vytvořené modely scaffoldů, které budou podstoupeny dalšímu výzkumu a vývoji pro oblast náhrad chrupavčité tkáně.

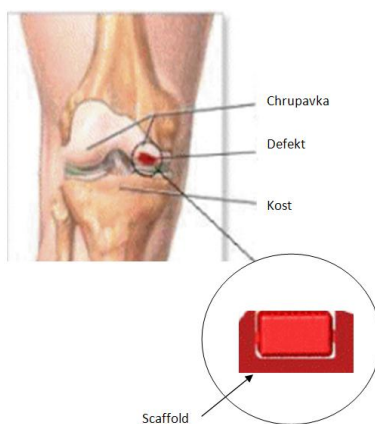
Key words: tkáňové inženýrství, scaffold, 3D printing, fibrin, polylactic acid (PLA), Rap man 3.1, Ultimus 2400

1. Úvod

Princip tzv. scaffoldingu je v současné době velice rozšířeným odvětvím tkáňového inženýrství. Scaffoldy jsou uměle vytvořené porézní struktury předem definovaných tvarů, které slouží jako nosiče buněčných kultur. V závislosti na typu poškozené tkáně je scaffold osazen vhodnými buňkami, zpravidla nejprve in vitro a poté celý implementován in vivo na místo poškození. Zde dochází k postupnému množení a prorůstání buněk porézní strukturou scaffoldu a tím k tvorbě nové tkáně. Příklad využití je uveden na obrázku 1. Vzhledem k uvedeným účelům využití musí scaffold splňovat určité podmínky. Měla by být zajištěna dostatečná pórovitost pro rovnoměrnou proliferaci buněk jak v prostoru scaffoldu, tak v čase. Zásadním požadavkem je také biodegradabilita (rozložitelnost) materiálu, tedy jeho vstřebání

okolní tkáni tak, aby se předešlo potřebě chirurgického odstranění. Aby byla zajištěna dokonalá substituce novou tkání, poměr rychlostí proliferace buněk a degradace materiálu by měl být v ideálním případě rovnoměrný[1]. Materiály využívané pro tvorbu těchto podpůrných matic jsou obecně dvojího typu. V prvním případě se jedná o biologické polymery jako fibrin, kolagen, hydrogel, citosan [2]. V případě syntetických polymerů se může jednat např. o PLA (poly lactic acid) - polymer kyseliny mléčné nebo podobné materiály jako jsou PGA (poly glycolic acid) - polyglykolová kyselina a PCL (polycaprolactone) - polykaprolaktonová kyselina. Publikace zmiňují také experimenty s tvorbou scaffoldů kombinací těchto materiálů[3]. Vzhledem k tomu, že aplikace scaffoldů bude v blízké budoucnosti v medicíně často užívaným nástrojem léčby, soustředí se v posledních letech světový výzkum na možnosti automatizované tvorby těchto struktur. Jednou ze zkoumaných metod je také princip tvorby scaffoldu metodou inkoustového tisku tzv. layer by layer printing, kdy nanášení jednotlivých mikrostruktur na sebe je tvořena 3D struktura požadovaných tvarů. Problémem této technologie stále zůstává negativní vliv vysoké teploty a mechanických sil na buňky a biologické polymery, které procházejí tiskovou hlavou [4][5]. Dalším slibným automatizovaným způsobem tvorby scaffoldu se jeví využití principu FDM (Fused Deposition Modeling) a to v případech aplikace syntetických polymerů [6].

První z provedených experimentů vychází z předpokladu, zda by bylo možné pro scaffoldu vytvořeného z fibrinového gelu využít mirkodispensoru Ultimus 2400. Zcela zásadní výhodou této technologie je předpoklad, že tlak vzduchu, který je hnacím médiem pro depozici dávek, nemá žádný negativní vliv na biologické vlastnosti použitých materiálů. Navíc přístroj sám o sobě je natolik sofistikovaný, že úprava vlastností vstřikování media se může libovolně v široké škále možností upravovat bez jakýchkoli technologických zásahů do přístroje. Tyto vlastnosti jsou nespornou výhodou oproti použití například tiskových hlav inkoustových tiskáren. Vzhledem k mému zaměření na tvorbu scaffoldu pro chrupavčitou tkáň je dále nutné zajistit určité primární mechanické vlastnosti, jako je především pevnost (i když se nepředpokládá, že by bylo místo poškození namáháno ihned po implementaci scaffoldu). Proto byly v závěru experimenty zaměřeny na možnost tvorby hybridního scaffoldu, kdy základní matici by tvořil PLA v kombinaci s fibrinovým gelem. Zkoumány byly proto také nejprve možnosti tvorby scaffoldu z PLA pomocí komerční 3D tiskárny Rap Man 3.1.

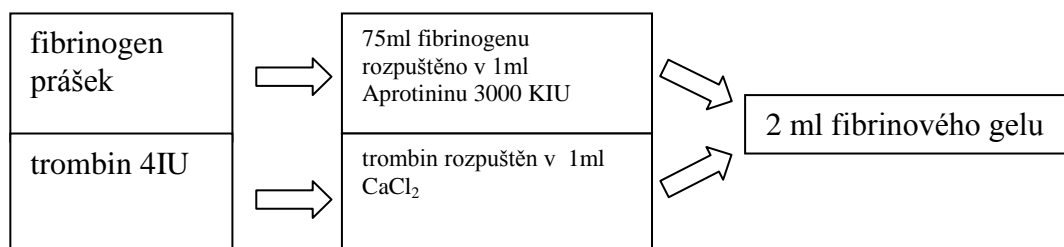


Obr. 1. Příklad implementace scaffoldu

2. Použité materiály a přístroje

Fibrin je nerozpustný protein, který „in vivo“ vzniká při koagulaci krve smícháním proteinu fibrinogen a enzymu trombin. Po smíchání těchto dvou složek dochází ke štěpení aminokyselinových řetězců fibrinogenu a vzniká tak na „nano“ úrovni vzniklého gelu síťová struktura, která slouží pro uchycení buněk. Tyto buňky se postupně množí (proliferují) a vytvářejí novou tkáň, zatímco fibrin pozvolna podléhá biodegradaci. Obě dvě složky (fibrinogen, trombin) jsou komerčně dostupné a mohou tak sloužit pro výrobu fibrinového gelu in vitro. Tento se v lékařské praxi využívá mimo jiné jako tkáňové lepidlo v rámci chirurgických zákroků, ale může být také využit pro rozvoj buněčných kultur[7]. Rychlost tuhnutí fibrinu závisí na koncentraci trombinu. Pro pomalé tuhnutí je obvykle používán trombin v koncentraci 4IU, pro rychlé až 500IU. V mém případě byl využit první případ a obě složky fibrinogen, trombin byly míchány v poměru 1:1.

Následující schéma znázorňuje postup míchání a poměr všech zúčastněných složek.



Seznam položek pro výrobu 2ml fibrinového gelu:

- Porcine Fibrinogen 75mg (Sigma-Aldrich)
- Trombin 4IU (Sigma-Aldrich)
- CaCl₂ – 4,4 mg/ml
- Aprotinin 3000KIU 1ml

Před provedením experimentů byly empiricky naměřeny některé vlastnosti fibrinového gelu. Vzhledem k tomu, že ve fibrinovém gelu po smíchání obou složek probíhají fyziologicko-chemické procesy po delší dobu, byla předpokládána změna hmotnosti vzorku v čase a tím i změna jeho hustoty. Následující měření ukazují, že předpoklad byl správný.

Tabulka 1. – Měřeno bylo 5 vzorků o objemu 200μl – hmotnost v závislosti na čase

Čas - t (min)	0	10	15	20
1. vzorek – hmotnost (kg)	0,000199	0,000194	0,000189	0,000185
2. vzorek – hmotnost (kg)	0,000199	0,000193	0,000187	0,000182
3. vzorek – hmotnost (kg))	0,000199	0,000194	0,00019	0,000185
4. vzorek – hmotnost (kg)	0,000199	0,000195	0,00019	0,000186
5. vzorek – hmotnost (kg)	0,000199	0,000194	0,00019	0,000185

Tabulka 2. – Hustota byla vypočítána z naměřených hmotností – hustota v závislosti na čase

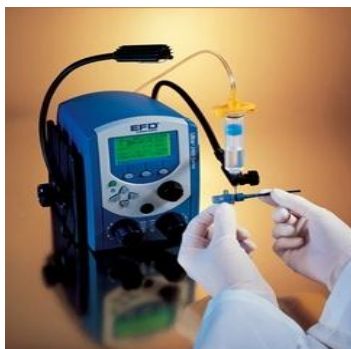
Čas - t (min)	0	10	15	20
1. vzorek – hustota (kg/ m ³)	993,5	969	945	924
2. vzorek – hustota (kg/ m ³)	997	964	936,5	910
3. vzorek – hustota (kg/ m ³)	994,5	971,5	947,5	925,5
4. vzorek – hustota (kg/ m ³)	997	972,5	951,5	927,5
5. vzorek – hustota (kg/ m ³)	993	969,5	948,5	925
Průměrná hustota (kg/ m ³)	995	969,3	945,8	922,4

Pozn. fibrinový gel vykazoval homogenní vlastnosti

Tabulka 3. – Hustota jednotlivých složek fibrinového gelu

Složka	Hustota (kg/m³)
75ml Fibrinogenu rozpuštěno v 1ml Aprotininu 3000 KIU	1040
Trombin rozpuštěn v 1ml CaCl ₂	1002

Přístroj Ultimus 2400 je mikrodispenser od společnosti Nordson EFD. Hnacím médiem dávkování je tlak vzduchu. Svými technickými parametry se blíží parametrům inkoustového tisku. Je možné současné připojení dvou trysek s různou velikostí vnitřního průměru hrotů (nejmenší komerčně dostupný - 100μm). Vestavěný displej a ovládací prvky umožňují regulaci frekvence dávkování, tlaku vzduchu a ukládání dávkovacích programů do paměti přístroje. Dále je zde možnost nastavení vakua, které zajišťuje přesnější dávkování a odtržení dávky od hrotu trysky. Jedná se v podstatě o princip „meniskus efekt“, který je běžný u mechanismu trysek inkoustových tiskáren a slouží pro zpřesnění objemu dávky.

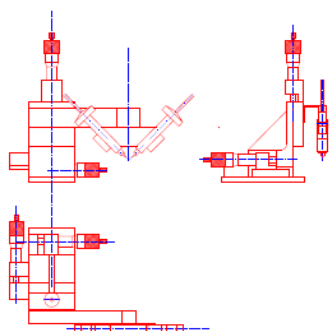


Základní parametry přístroje

Tlak vzduchu: 0 – 1.1 bar
Frekvence dávkování: 0.0001 až 999.9999 s
Vnitřní průměr trysky (hrotu): 100 μ m
(**při experimentech:** 150 μ m)

Obr. 2. Mikrodispensor Ultimus 2400, zdroj: <http://www.efd-inc.com>

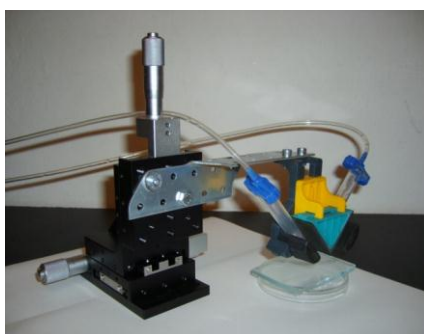
Pro tvorbu scaffoldu z fibrinového gelu pomocí mikrodispensoru byl zkonstruován speciální přípravek umožňující uchopení dvou trysek v úhlu 45° a jejich polohování v osách X,Y,Z. Schéma a reálné provedení jsou zobrazena na obrázcích 3 a 4. Polohování je zajištěno manuálně, pomocí mikrometrických hlavice.



Základní parametry přístroje

Polohování: manuální - X, Y, Z
Mikrometrické hlavice: 10 μ m
Úhel sevření trysek: 45°
Náplň trysek: Fibrin, Thrombin

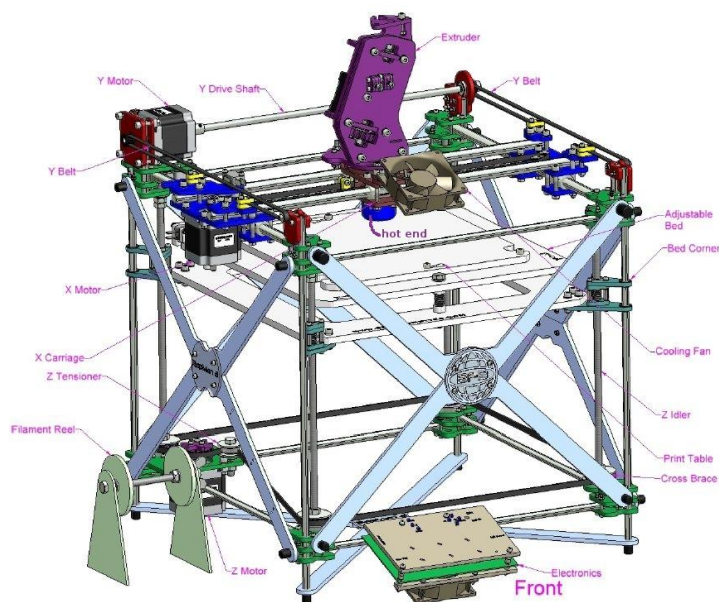
Obr. 3. Schéma přípravku pro uchopení a polohování trysek mikrodispensoru.



Obr. 4. Přípravek pro uchopení a polohování trysek mikrodispensoru.

Kromě přípravy scaffoldů z fibrinu s využitím dávkování pomocí mikrodispensoru byla testována i alternativní možnost a to tvorba scaffoldu z PLA pomocí 3D tiskárny RapMan 3.1. Jedná se o přístroj od společnosti Bits From Bytes, který je schopen vytvářet 3D modely z tavného materiálu. Materiál je nataven v extruderu a poté nanášen na tiskovou plochu, kdy vrstvením materiálu na sebe je tvořen 3D model požadovaných tvarů. Polohování přístroje v osách X,Y,Z je zajištěno ozubenými řemeny, které jsou poháněny krokovými motorky.

Grafický software NetFab, dodávaný k přístroji, umožňuje snadný převod návrhu 3D modelu v některé z CAD aplikací (v mém případě byl použit program Rhinoceros 4.0) do G kódu a zároveň vykreslí grafický model a pohyb trysky při jeho tvorbě. G kód je nahrán na SD kartu, která je vložena do ovládacího panelu přístroje. Přístroj tyto data načte a následně vytvoří model v relativně krátkém čase v závislosti na jeho složitosti.



Základní parametry přístroje

Polohování: X,Y,Z

Pohon: krokové motory – ozubený řemen

Přesnost: 10 μ m

Vnitřní průměr trysky: 500 μ m

Obr. 5. 3D tiskárna RapMan 3.1, zdroj: <http://www.efd-inc.com>

Pro scaffold vytvořený pomocí 3D tiskárny RapMan 3.1 byl použit materiál PLA (Poly Lactic Acid). PLA je biodegradabilní, termoplastický, alifatický polyester odvozený z obnovitelných zdrojů. Pro mé experimenty byl využit PLA ve formě drátu o průměru 3mm, který je při tisku taven v extruderu a postupně navíjen do trysky.

Tabulka 4. – Souhrn vybraných vlastností materiálu[9]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Teplota tání	150-160	°C
Hustota	1210-1430	kg/m ³
Absorbce vody	0,5-50	%
Teplota skelného přechodu	45-65	°C
Youngův modul	350 - 2800	MPa
Pevnost v tahu	10- 60	MPa
Tažnost	1,5 - 380	%
Pevnost v ohybu	0,89 – 1,03	MPa
Rázová pevnost	0,16 -1,35	J/cm

3. Teorie a metodika jednotlivých experimentů

Scaffold z Fibrinového gelu

Zkonstruovaný přípravek primárně tvořil zkušební zařízení pro zjištění vhodných parametrů dávkování fibrinu a uchopení trysek mikrodispensoru pro případ vývoje automatizované tiskové hlavy. Bylo nutné zjistit parametry vhodného dávkování a uchopení trysek v závislosti na čase, tlaku, vzdálenosti a úhlu nastavení trysek vůči dopadové (tiskové) ploše. Některé z parametrů byly stanoveny předem na základě logických předpokladů. Úhel dopadu dávky byl předem jednoznačný vzhledem k uchopení trysek v přípravku pod úhlem 45°. Vyloučení dalšího parametru bylo založeno na předpokladu, že čím menší bude dávka, tím menší bude mít hmotnost, a proto bude nutné překonat adhezní síly, aby došlo k jejímu odpoutání od hrotu trysky. Z tohoto důvodu byl tlak nastaven na maximální hodnotu 1,1 bar.

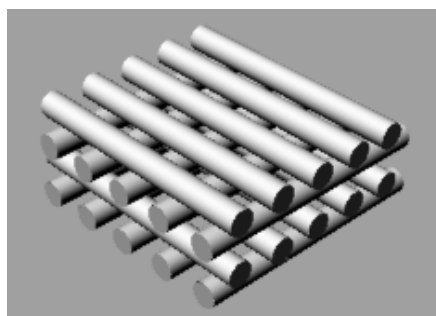
Po vyloučení těchto parametrů zbyly pouze následující tři významné parametry, které bylo nutné zjistit experimentálně:

- Doba aplikace dávky
- Hodnota vakua
- Vzdálenost trysky od plochy dopadu

Pro zjištění vhodných parametrů dávkování byla nejprve použita voda a po té komponenty fibrinového gelu. V první fázi experimentu s vodou byla použita pouze jedna tryska a hodnota vakua byla nastavena na nulu. Při maximální hodnotě tlaku 1,1 bar byla postupně navyšována doba aplikace dávky. Počáteční hodnota byla zvolena 0,0001s a krok navýšení času také 0,0001.

Scaffold z PLA

V úvodu tohoto článku jsou zmíněny parametry, které by měl scaffold splňovat pro řádnou proliferaci buněk. Jedním z nich je zajištění dostatečné poréznosti, pravidelné velikosti pórů a jejich průchodnost mezi sebou. Z tohoto důvodu bylo pro tvar a strukturu scaffoldu zvolen systém křížně se lemuujících vláken vrstvených na sebe, jak je zobrazeno na obrázku 6.



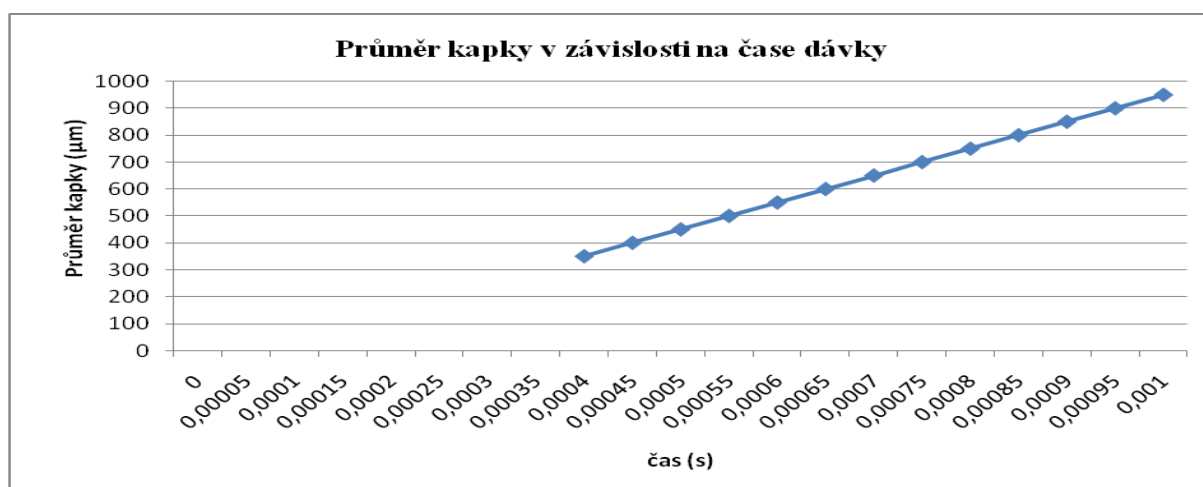
Obr. 6. Schéma struktury scaffoldu vytvořeného pomocí 3D tiskárny RapMan 3.1

Cílem prováděného experimentu bylo zjištění nejmenšího možného průměru vlákna, které je schopen RapMan 3.1 vytvořit v rámci svých výrobních technických parametrů tak, aby zachoval předem definovanou strukturu scaffoldu. Model vzorku scaffoldu byl vytvořen pomocí programu Rhinoceros. Výrobce přístroje RapMan uvádí, že vzhledem k vnitřnímu průměru trysky 500 μm je software přístroje nastaven tak, aby ignoroval stěny menší než 501 μm . Experimentálně bylo tedy potřeba zjistit skutečný nejmenší průměr vlákna, který je možné vytisknout. Bylo postupně vytvořeno několik vzorků s průměrem vlákna 500, 550, 600, 650 a 700 μm .

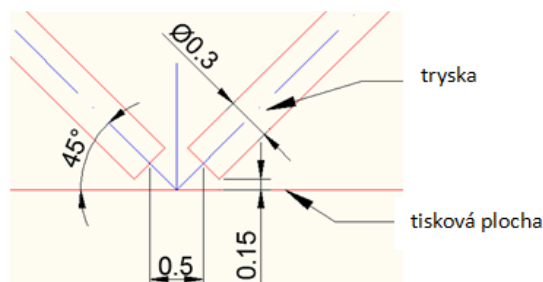
4. Výsledky experimentů

4.1 Tvorba fibrinového scaffoldu - výsledky

V první fázi experimentů bylo nutné optimalizovat polohu trysky a parametrů dávkování tak, aby bylo zajištěno „přetržení“ kapky vylétající z hrotu trysky a tím její odpoutání se od trysky. Tímto je eliminována nutnost případné manipulace s tryskou během depozice dávky. Nastavení odpovídající hodnoty vakua bylo nalezeno v rozmezí 3 až 3,5 in H_2O . Graf níže ukazuje experimentálně zjištěnou závislost průměru jednotlivé kapky na čase dávky.

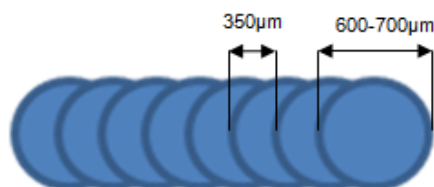


Po zjištění uvedených parametrů mohl být experiment rozšířen o použití obou trysek. Poloha trysek byla nastavena dle obrázku 7.



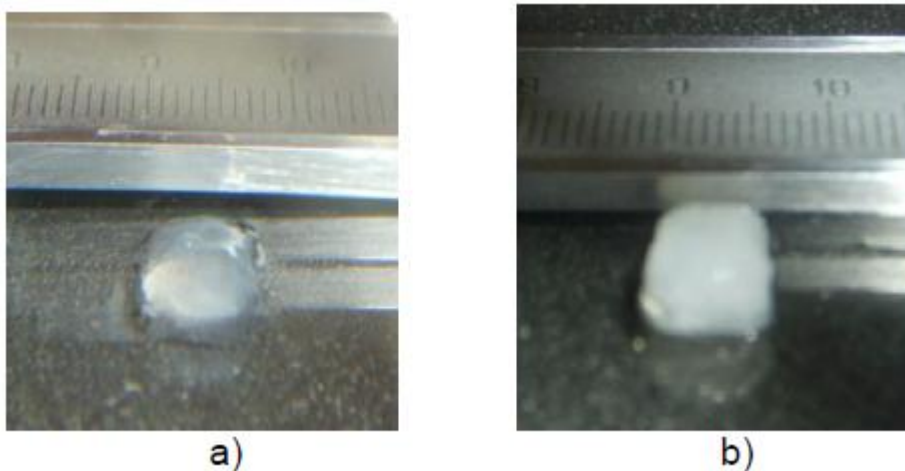
Obr. 7. Schéma polohy trysek pro vytvoření ideální dávky

Opakovanými pokusy bylo zjištěno, že průměr smíchané kapky se pohybuje v rozmezí od 600 do 700 μm . Pro vytvoření linie kapek byl zvolen posun 350 μm , aby bylo zajištěno dostatečné spojení jednotlivých kapek.



Obr. 8. Rozměrové schéma depozice jednotlivých kapek

Za stejných podmínek jako při pokusech s vodou byly provedeny experimenty s fibrinovým gelem. Na základě experimentů bylo zjištěno, že vlastnosti jednotlivých dávek mají stejné pracovní parametry, jako voda. Následoval experimenty, v nichž byly obě složky injektovány společně. Bylo pozorováno smíchání obou složek a měřena rychlost tuhnutí dávky v čase. Na závěr byl vytvořen 3D scaffold o rozměrech 7x7x3 (x, y, z) mm³ vytvořen z 3860 jednotlivých kapek, který je zobrazen na obrázku 9.



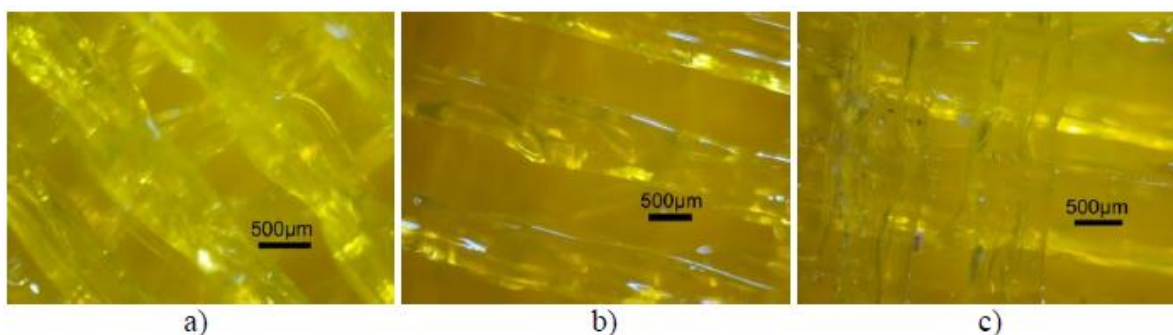
Obr. 9. Vytištěný scaffold a) 14 vrstev – 7x7x1.5mm, b) 30 vrstev – 6x6x3mm, je patrné, že postupem času dochází k vysychání vody obsažené ve vzorku a proto je výsledný produkt menší než bylo původně plánováno.

Tabulka 5. – Souhrn parametrů ideálního dávkování za použití dvou trysek

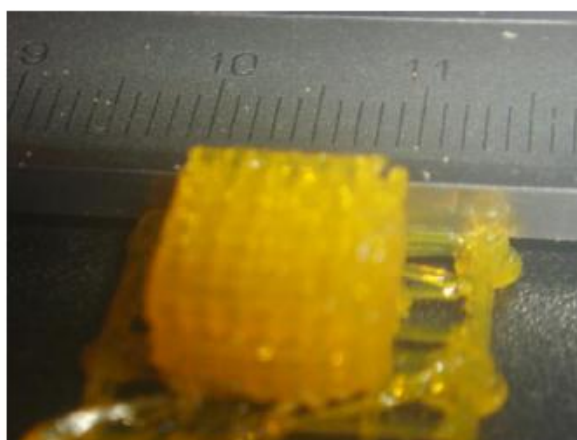
Tlak (bar)	Vakuum (in H₂O)	Čas dávky (s)	Vzdálenost od dopadové plochy (μm)	Vzdálenost mezi hroty trysek (μm)	Průměr výsledné kapky (μm)	Posun (μm)
1.1	3.0-3.5	0.0004	150	500	600-700	350

4.2 Scaffold z PLA - výsledky

Po vytvoření návrhů tvaru a struktury scaffoldů o průměru vlákna 500 a 550μm v programu Rhinoceros 4.0, byly tyto modely převedeny do aplikace NetFab. Bylo zjištěno, že takto tenké stěny (vlákna) program v souvislosti s defaultními parametry přístroje ignoruje a tisk tedy neumožní. V případě dalších modelů s průměrem vlákna 600, 650 a 700μm je tisk již umožněn. Ukázky reálně vytištěných scaffoldů focených pod mikroskopem ukazují obrázek 10.



Obr. 10. Mikroskopický pohled na scaffold z PLA o průměru vlákna, a) 600μm, b) 650μm, c) 700



Obr. 11. Celkový pohled na scaffold z PLA

5. Diskuze a závěr

Byly provedeny experimenty dvojího způsobu tvorby scaffoldu pro tkáňové inženýrství.

V prvním případě byl jako stavební materiál použit fibrinový gel míchaný z komerčně dostupných složek fibrinogenu a trombinu. Tvorba scaffoldu z fibrinového gelu byl založena na principu tisku vrstvy po vrstvě, kdy jednotlivé kapičky produkované mikrodispensorem byly deponovány vedle sebe a následně vrstveny na sebe, za účelem vytvoření 3D struktury.

V druhém případě byly experimenty zaměřeny na tvorbu scaffoldu z biologického polymeru kyseliny mléčné (PLA). Použitým přístrojem byla v tomto případě 3D tiskárna RapMan 3.1 a architektura 3D scaffoldu byla tvořena křížujícími se mikro vlákny vrstvenými na sebe.

Výsledky prokázaly, že způsob tvorby scaffoldu za použití mikrodispensoru se jeví jako reálný nicméně vykazuje určité zásadní negativní aspekty. Prvním z nich je fakt, že složka fibrinogen po určitém čase v řádech několika desítek minut tuhne. Bylo zjištěno, že rychlost tuhnutí je dále výrazně ovlivněna třepáním se vzorkem fibrinogenu. Tento efekt se proto projevuje i v kontejneru trysky mikrodispensoru, kde je tato složka obsažena. Rázové vlny tlaku simulují třepání a urychlují tak tuhnutí fibrinogenu. Toto má za následek ucpání trysky a nepravidelné dávkování. Dalším problémem je příliš dlouhá doba tvorby tohoto scaffoldu a nestabilita jeho struktury v čase. V případě 3D tiskárny RapMan výsledky naznačují, že při vnitřním průměru trysky 500 μ m a současném defaultním nastavení přístroje je možné tisknout zvolenou strukturu scaffoldu o síle vlákna přibližně od 600 μ m výše. Uspokojivé výsledky tak, aby bylo dosaženo nejmenšího možného průměru vlákna a zároveň zachovány požadované vlastnosti jako jsou rovnoměrný průměr vlákna a tvar interní struktury scaffoldu, prokazuje obzvláště vzorek s průměrem vlákna 650 μ m. Naproti tomu vzorek s průměrem vlákna 600 μ m vykazuje nepravidelné rozestupy a tloušťku vláken. Vzorek s průměrem vlákna 700 μ m je kvalitativně pravděpodobně nejlepší, nicméně účelem je dosáhnout kompromisu mezi kvalitou a co nejmenšími rozměry. Z tohoto pohledu je proto v rámci smyslu provedeného experimentu tento vzorek hodnocen negativně.

V souvislosti s oběma experimenty se jeví slibně alternativa tvorby určitého hybridního scaffoldu, kdy by byly oba materiály a technologie kombinovány. Scaffold z PLA by tvořil matici a v podstatě formu pro scaffold z fibrinového gelu. Následující experimenty budou proto zaměřeny na následující cíle: Konstrukční zmenšení průměru trysky extruderu 3D tiskárny RapMan tak, aby bylo možné tisknout vlákna o průměru 100-150 μ m nebo případně méně. Modifikace softwaru tiskárny, aby byl tisk takto tenkých vláken umožněn systémem řízení přístroje. Celkové zmenšení rozměrů struktury scaffoldu je nutné pro zaručení vhodnějšího prostředí pro uchycení a proliferaci buněk, které dosahují rozměrů maximálně několika desítek mikrometrů. Dále, v oblasti fibrinového gelu budou provedeny experimenty určující schopnost průtoku strukturou matrice z PLA v souvislosti s tlakem a dalšími parametry dávkování mikrodispensoru. V této souvislosti bude také zkoumána možnost lepení jednotlivých vrstev scaffoldu na sebe pomocí fibrinového gelu. Výsledky těchto experimentů povedou k určení vhodného způsobu distribuce buněk do scaffoldu. Následně bude zkoumána proliferace buněk a tvorba nové tkáně, jak in vitro, tak in vivo. V konečné fázi by mělo dojít k propojení obou technologií a vytvoření prototypu přístroje, který by byl schopen zajistit automatizovaný tisk funkčního scaffoldu použitelného v medicínské praxi.

Poděkování:

Tento výzkum byl realizován za podpory grantu: SGS10/051/OHK2/1T/12

Seznam použité literatury

- [1] Ma P.X., Elisseeff J., Scaffolding in Tissue Engineering, CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, 2006, ISBN 1-57444-521-9
- [2] Ang T.H., Sultana F.S.A., Hutmacher D.W., Wong Y.S., Fuh J.Y.H., Mob X.M., Loh H.T., Burdet E., Teoh S.H., Fabrication of 3D chitosan–hydroxyapatite scaffolds using a robotic dispensing system, *Materials Science and Engineering C* 20, 2002
- [3] Munirah S., Kim S.H., Ruszymah B.H.I., Khang G., The use of fibrin and poly(lactic-co-glycolic acid) hybrid scaffold for articular cartilage tissue engineering: an in vivo analysis, *European Cells and Materials* Vol. 15, 2008
- [4] Mironov V., Trusk T., Kasyanov V, Little S., Swaja R. and Markwald R., Biofabrication: a 21st century manufacturing paradigm, *Biofabrication* 1, 2009
- [5] Ye Q, Zünd G, Benedikt P, et al., Fibrin gel as a three dimensional matrix in cardiovascular tissue engineering, *European Journal of Cardio-thoracic Surgery* 17 (5), 2000
- [6] Moronia L., de Wijna J.R., van Blitterswijk C.A., 3D fiber-deposited scaffolds for tissue engineering: Influence of pores geometry and architecture on dynamic mechanical properties, *Biomaterials* 27, 2006
- [7] <http://www.ceskamedicina.cz/cz/ceska-medicina-novinky/tkanova-lepidla>
- [8] <http://www.efd-inc.com>
- [9] <http://www.matbase.com/material/polymers/agrobased/polylactic-acid-pla/properties>

PŘÍPRAVA MIKROSTRUKTUR PROCESEM ELEKTROEROZE

Microstructures Machining Using Electrodischarge Process

Jan Hošek

Abstrakt: Elektroerozivní technologie je jednou z metod umožňující, díky svému bezkontaktnímu charakteru, přípravu různých typů mikrostruktur do libovolných elektricky vodivých materiálů. Přesto je použitelnost jednotlivých obráběných materiálů a dosažitelných tvarů omezena výrazně vyšším poměrem úběru elektrody ve srovnání s klasickou EDM technologií. Tento článek tak přináší přehled dosažených výsledků přípravy mikrostruktur a elektrod za první rok experimentální činnosti na nově zakoupeném stroji SODICK AP1L.

Key words: Microstructures, electrodischarge machining, conditions, wear.

1. Úvod

Elektroerozivní technologie je jednou z metod umožňující, díky svému bezkontaktnímu charakteru, přípravu různých typů mikrostruktur do libovolných elektricky vodivých materiálů. Přesto je použitelnost jednotlivých obráběných materiálů a dosažitelných tvarů omezena výrazně vyšším poměrem úběru elektrody ve srovnání s klasickou EDM technologií, kdy se hodnota relativního úběru elektrody pohybuje mezi hodnotami 0,02-2. Tento jev nemá vliv pouze na přípravu výsledných mikrostruktur, ale ovlivňuje již i proces přípravy elektrody, kdy stejným způsobem dochází k opotřebování brusného kamene a tím i ke zkrakování cílových hodnot připravovaných elektrod. Hodnota opotřebenění elektrody pak je závislá nejen na použitém materiálu obrobku, ale také na rozměru elektrody, což do značné míry komplikuje celý proces přípravy mikrostruktur. Proto byly optimalizovány pracovní podmínky, které dávají nejlepší výsledky pro jednotlivé typy materiálů a byly připraveny různé tvary elektrod pro jejich obrábění.

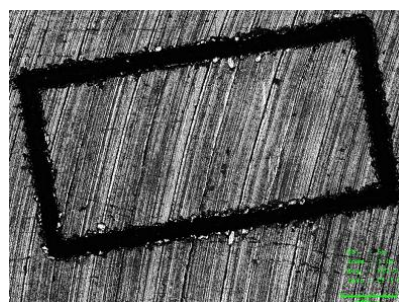
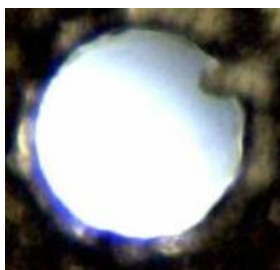
2. Optimalizované pracovní podmínky pro různé typy obráběných materiálů

Za první rok experimentálních prací na elektroerozivním stroji SODICK AP1L bylo testováno obrábění několika typů materiálů a to konkrétně dural (AlMg5), mosaz, ocel, molybden 99,8%, cín 99,98%, zinek, 98%. Pro jednotlivé uvedené materiály byly nalezeny optimální pracovní podmínky poskytující minimální opotřebenění obráběcí elektrody při rozumně dlouhém obráběcím čase. Přehled uvedených vybraných pracovních podmínek je shrnut v příložené tabulce:

Tabulka 1. Přehled optimalizovaných technologických podmínek pro hloubení do různých materiálů.

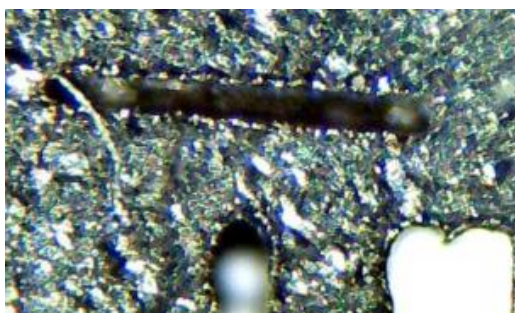
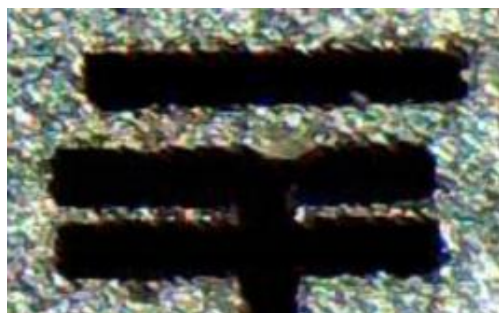
Materiál	D (μm)	PL	ON	OFF	IP	V	Ew (%)	Jm (μm)
Ocel	100	+	0015		000.2	21	2	49
Ocel	50	-	0002		000.2	11	29	
AlMg5	100	-	1002		000.5	21	0,6	22
AlMg5	50	-	0005		000.2	11	1	
Mosaz	100	-	0010	0065	001.1	21	1,1	36
molybden	60	-	1000	0050	000.3	42	21	5
Cín	200	-	1001	0050	000.0	42	0,5	10

Přestože se podařilo nalézt optimální podmínky pro obrábění uvedených materiálů, je zřejmé, že hodnota úběru elektrody pro materiály jako je ocel nebo molybden výrazně ovlivňuje celý proces. V případě materiálů s nízkou teplotou tavení je sice optimalizovaný úběr elektrody nízký, ale na druhou stranu je geometrie tvořených mikrostruktur ovlivněna nataveným materiálem, který zhoršuje jak jejich tvar tak i drsnost povrchu, jak je zobrazeno na obrázku 1.



Obr. 1: Ukázky vlivu neodplavené taveniny na tvar a povrch tvořených mikrostruktur.

Přesto se podařilo vytvořit několik v současné době limitních velikostí detailů, které jsme schopni na stroji vytvářet, jak je zobrazeno na obrázku 2.



Obr. 2: Nosník o šířce 31 μm – vlevo, drážka o šířce 25 μm – uprostřed, elektroda o tloušťce 13 μm – vpravo.

Schopnost reprodukovatelně vytvářet uvedené a podobné typy mikrostruktur nám umožní další rozvoj výroby mikrosystémů a následně i vývoj metod jejich replikace.

Acknowledgement

Projekt byl podpořen projektem SGS 11/048/OHK2/1T/12

AKTUÁLNÍ STAV REALIZACE TRANSPORTABILNÍ TERÉNNÍ MĚŘICÍ STANICE

Current State of the Mobile Measuring Stand

Vladimír Jirka, Josef Zicha

Abstrakt: Technické řešení se týká zařízení pro měření energetických toků v přírodě, které umožňuje vytvořit teplotní mapu zkoumaného biotopu o velikosti řádu stovek m² a na základě měření a výpočtů s vysokou pravděpodobností popsat energetické toky na rozhraní zemského povrchu a atmosféry, tj. rozložení a transport energie slunečního záření, dopadajícího na zemský povrch. Zařízení je určeno pro absolutní a komparační měření teplot a především pro posouzení vlivu dopadajícího slunečního záření na jednotlivé typy porostů. Umožňuje porovnat metody a čidla pro měření radiačních teplot, teplot vzduchu nad porosty i teplot povrchů porostu a určit energetické toky v přízemní vrstvě atmosféry. Zařízení slouží ke změření a pochopení fyzikální podstaty dějů, odehrávajících se v přízemní vrstvě atmosféry. Zařízení je především určeno k porovnání rozložení teplot a následně energetických toků v rozdílných porostech v rámci biotopu a tím k popsání odezvy porostu na zásahy lidské činnosti.

Key words: Ecology, measurement of the energetical change, application of the thermographic camera.

1. Úvod

Základní myšlenkou projektu TOKENELEK je studium a sledování toků vody, živin a energie přírodou s tím, že konečným cílem má být m.j. odhad dlouhodobé stability sledované části krajiny a pokus o definici kvalitně měřitelných markerů, které by upozornily na eventuální nestability ve vývoji krajiny a na její možnou degradaci na ekologicky nižší úroveň. Nutnou podmínkou pro dosažení tohoto cíle je měření relevantních parametrů na dostatečně dlouhých časových škálách a na různých místech sledované krajiny.

Na tomto místě je nebytné upozornit na to, že s ohledem na co možná nejjednodušší matematickou simulaci se obecně předpokládá lineárnost studovaných dějů, což však je pravda jen v počátečním stavu zkoumání. Dříve či později se musíme smířit s tím, že skutečnost je mnohem složitější, jevy v přírodě nejsou lineární a důsledkem je možnost překotného rozvoje jevu, který podle počátečních náznaků takovou dynamikou nedisponoval. Z toho plyne povinnost měřit co možná přesně, kvalitními přístroji s požadavkem na vysokou reprodukovatelnost měření, s očekávanou křížovou kontrolou získávaných dat a samozřejmě s jejich kvalitním matematickým zpracováním a vyhodnocením. Dalším rozumným předpokladem jsou měření na dlouhých časových škálách, protože to je jediná cesta, jak

odlišit náhodné fluktuace od signálů, které mohou být tou příslovečnou a trpělivě hledanou jehlou v kupce sena.

V současnosti lze data nutná pro zmíněnou diagnostiku získávat ze stacionárních pozemních měřicích stanic, ze snímků pořizovaných ze vzducholodi (z výšky cca 150 m), z leteckého průzkumu (z výšky do 2 000 m) a také z družic. Uvedené možnosti rozšiřuje dále popsáný systém transportabilní měřicí stanice, která dovoluje komplexní měření potřebných dat na vybraných místech (zpravidla u pozemních měřicích stanic), dále umožní svázat data z „bodových“ měření z pozemních stanic s daty získanými na plošných elementech krajiny vzniklé zobrazením krajiny na detektory složené z plošných elementů (pixel) a konečně snadné přestěhování systému a měření na různých místech podle plánu výzkumu.

Realizovaná stanice je plně autonomní pracoviště a k doposud měřeným datům dává data další, jiným způsobem neměřitelná. Příkladem může být výškové rozložení rychlosti větru, jehož vliv na odpařování vody (z energetického hlediska jeden z klíčových jevů v přírodě probíhajících) je zřejmě velice důležitý.

2. Základní informace

Principiální konstrukční řešení měřicí stanice je výsledkem podrobných úvah, jejichž tématem byl převod dat získávaných různými metodami „na společného jmenovatele“ a specifikace dalších zdrojů dat chybějících k co nejdokonalejšímu popisu energetických dějů v přírodě probíhajících. Výsledkem diskusí byl návrh na vývoj a realizaci demontovatelného a na přívěsu za osobním autem transportovatelného stožáru vysokého cca 30 m, který umožní bezpečnou instalaci termografické kamery s další sadou podpůrných měřidel. Informace získané termografickou kamerou jsou doplněny ještě daty z kamery pracující ve vizuální oblasti, takže je možné snadné přiřazení obou souborů obrazových informací.

Samozřejmě existuje řada možností, jak umístit kameru do potřebné výšky. Problém však spočívá v tom, že se jedná o poměrně „těžkou techniku“ (např. výsuvné montážní plošiny), která by značně zdevastovala terén a prostředí, jehož parametry se mají měřit. Neméně významným faktorem je to, že měření se budou odehrávat z velké části na soukromých pozemcích, takže i z toho důvodu si nemůžeme dovolit způsobit nějaké škody.

S ohledem na požadovanou pružnost používání a dále kvůli omezeným lidským zdrojům je nezbytné, aby montáž i demontáž probíhala s malým počtem lidí – po získání potřebné rutiny se očekává dvoučlenná (lépe dvoumužná) obsluha, z čehož resultuje maximální hmotnost přenášených dílů na cca 50 kg. Toto kritérium vyžaduje, aby nejdůležitější prvek navrhované konstrukce byl vyroben uhlíkového kompozitu, jehož materiálové konstanty jsou pro dané použití optimální.

Při hledání způsobu technického řešení jsme našli firmu, která vyrábí sportovní lodě (např. katamarány) s veškerým příslušenstvím (stěžně) a má zkušenosti i s armádními zakázkami při realizaci podpůrných sloupů a podobných zařízení. Zde jsme získali řadu důležitých informací o způsobu používání kompozitových produktů a zejména výpočet s dokumentací důležitou pro podrobné konstrukční řešení.

Před zahájením konstrukčních prací bylo potřeba rozhodnout, zda stožár má být teleskopický a nebo zdvíhaný z vodorovné montážní polohy. Obě řešení mají své klady

a zápory, nakonec (a také v souladu s doporučením výrobce) bylo rozhodnuto ve prospěch druhé alternativy.

3. Popis konstrukce

Hlavní součástí realizovaného zařízení je stožár vyrobený z uhlíkového kompozitu, přičemž základními jednotkami jsou čtyři trubky o světlosti 230 mm a délce 7 620 mm, na koncích vybavených zesílenými patkami pro spojení čtyřmi svorníky se závitem M 14. Mezi jednotlivými trubkami jsou vloženy středící příruby k usnadnění vzájemné centráže při montáži. V konstrukci existují celkem 4 typy přírub. Prvním typem je přír. č. 1 zabezpečující spojení spodní trubky s kardanovým kloubem na základním kříži. Příruby č. 2 a 4 jsou jednoduché a shodné. Příruba č.3 je složená ze dvou texgumoidových částí, mezi kterými je vložen duralový prsteneček. Toto vyztužení je nutné z toho důvodu, že přírubou je na stožár přenášený silový účinek spodního systému kotvicích lan. 5. příruba je tvořena centrovacím texgumoidovým věncem vyztuženým duralovým prstencem. Kromě přenosu sil vrchního systému kotvicích lan na stožár zprostředkovává tato příruba také připojení krakorce ke stožáru.

Pro dosažení potřebné stability jsou podstatné části systému svázány dohromady základnou ve tvaru kříže. Podélná část je tvořena ocelovým jeklovým profilem 180 x 100 mm dlouhým 4 000 mm, ke které je přišroubována příčná část dlouhá 3 000 mm. Další podélná část je svařenec ze dvou jeklových profilů 80 x 60 mm dlouhý 4 000 mm. Změna profilu souvisí s menším namáháním. Na volných třech koncích dvou prvních prvků jsou oka, která slouží k ukotvení kříže zemními vruty.

Pata stožáru je spojena s volným koncem podélné části základny kardanovým kloubem. Osy kloubu jsou orientovány tak, aby bylo možné vztyčení stožáru (rotace kolem 1. osy z montážní polohy ve směru „vpřed“, tedy od základny) a výkyvy kolem 2. osy. Kardanův kloub vylučuje rotaci kolem podélné osy stožáru, což je nutné z hlediska udržení směrové stability kamer.

Ke kotvení je použito dvou systémů vytvořených dvěma pěticemi ocelových lanek o průměru 6,3 mm, která se upevňují jednak k přírubě ve výšce 15 300 mm a dále k přírubě na vrcholku stožáru. Lana jsou připojena k příslušným zemním vrutům ručními navijáky pracujícími jako napínačky. Lana stejného průměru slouží též ke vtyčení stožáru. Je při tom splněno několik dalších podmínek :

- Eliminace bočních výkyvů je zajištěna tím, že zemní kotvy dvou párů lan leží na 1. ose Kardanova kloubu.

- Další dva páry lan jsou kotveny v předním poloprostoru tak, že svislé roviny (procházející stožárem) svírají úhel 60°.

- Zdvih stožáru je zabezpečen lanem vedeným tak, že jeho konce jsou upnuty na vrcholku a uprostřed stožáru. Tahová síla vyvozená dvoububnovým navijákem je na toto lano přenášena diferencíální kladkou, která zabezpečuje rovnost sil působících na vrcholku a uprostřed stožáru. Tato lana svým účinkem zvyšují bezpečnost ukotvení stožáru směrem do zadního poloprostoru, protože naviják je vybaven brzdou a tudíž jsou zdvihací lana trvale napjatá.

- Pro zabezpečení rovnosti sil působících na oba bubny navijáku je použito druhé diferencíální kladky. Délková kompenzace odchylek způsobených např. terénními faktory může být v případě potřeby zabezpečena čtyřkladkovým kladkostrojem vloženým mezi obě diferencíální kladky.

Při zahájení zdvihu stožáru musí zdvihová síla vyvinout potřebný moment vůči kardanovu kloubu na patě stožáru. Ten vzniká tak, že obě větve zdvihadího lana jdou na počátku zdvihu vedeny přes pomocné kladky umístěné na vrcholu pevné vzpěry ukotvené k základně. Vzpěra je tvořena dvěma duralovými trubkami, jejichž paty jsou otočně uloženy na volných koncích příčného nosníku základny a horní konce jsou spojeny nosičem obou pomocných kladek. Vzpěra se montuje ve vodorovné poloze ve směru „vzad“, ke zdvihu slouží pomocný ruční naviják.

Krakorec pro umístění obou kamer je přišroubován na vrcholku stožáru s vyložení 3 m ve směru „vpřed“. Pro kompenzaci vzniklého momentu je krakorec protažen směrem „vzad“ o 1 m. Zadní konec krakorce je lankem ukotven ke 4. přírubě.

S ohledem na cenu termovizní kamery je nezbytně nutné, aby obsluha – zejména případně nestandardní povětrnostní situace - měla možnost spustit nosič s oběma kamerami během několika desítek sekund na zem. Důležitá okrajová podmínka spočívá v tom, že kamery se musí dát zdvihnout do reprodukovatelné polohy na krakorci. To je zabezpečeno tak, že nosič kamer je vybaven třemi kuličkami které dosedají do třech rybinových drážek na krakorci. Korespondující kuličky a drážky jsou spojeny ocelovými lanky, která zavedou při zdvihání nosič vždy do stejné polohy. Ruční naviják lanek je upevněn na základně. Ke konstrukci krakorce je použito tří trubek z uhlíkového kompozitu a Al jeklových profilů.

Krakorec je montován na stožár krátce po zahájení zdvihu, nosič kamer je zdvižen do pracovní polohy až po úplném dokončení vztyčování stožáru a jeho ukotvení.

4. Instalovaná měřidla

Již dříve byly pro potřeby meteorologie, kartografie i klasifikace ekologické zátěže využívány prostředky dálkového průzkumu Země (DPZ), především družicové a letecké snímky v různých spektrálních oblastech. Nejnověji se experimentuje se snímky pořízenými ze sofistikovaně říditelných vzducholodí. Existují zavedené postupy na kalibraci získaných fyzikálních veličin z těchto podkladů. Vzhledem k výšce oběžné dráhy družic 350 – 750 km jsou jejich detekční soustavy schopné dodávat globální plošná data s rozlišením 30 – 1000 m na pixel. Hustota těchto dat je dostatečná pro postižení chování ekosystémů v regionálním měřítku a jejich popisu na úrovni desítek km². Z letadel lze dosáhnout rozlišení 0,5 – 2 m na pixel a ze vzducholodí 0,1 – 1 m. Zásadním problémem je vysoká cena služeb specializovaných leteckých společností a tedy i snímků získaných speciálně upravenými letadly a vzducholoděmi. Nevýhodou řešení využívajících prostředků DPZ je i jejich nízká plošná rozlišovací schopnost ve srovnání s pevnou pozemní stanicí a diskontinuita v čase. Východiskem všech doposud známých řešení jsou měření vykonaná z pohyblivých nosičů senzorů (družice, letadlo, vzducholod'), které je limitují v čase. Družice je schopna sledovanou lokalitu monitorovat jednou za dva dny, letadlem je možno lokalitu monitorovat dvakrát až pětkrát za den a vzducholodí přibližně až dvacetkrát. K nevýhodám těchto zařízení patří jejich malá operativnost, nemožnost ovlivnění okamžiku přeletu nad měřeným územím a tudíž nemožné či velmi obtížné zajištění přesné periodicity měření pro zaznamenání dynamiky jevů ve studovaném porostu. Další nevýhodou je závislost na meteorologických podmínkách, které podstatně omezují využitelnost prostředků DPZ a obtížná interpretace kalibrace pixelu vzhledem k jeho velkému rozměru a tedy značné variabilitě.

Úkolem technického řešení proto bylo vyvinout a realizovat zařízení pro měření energetických toků na rozhraní zemského povrchu a přízemní vrstvy atmosféry, které odstraní výše uvedené nedostatky, bude mít zvýšenou rozlišovací schopnost důležitou pro pochopení mikroklimatických jevů a časovou souvztažnost mezi samotným měřením a výsledky doručenými ke zpracování. Zařízení by se dále mělo vyznačovat nízkými výrobními i provozními náklady a tudíž nízkou cenou snímků a naměřených hodnot.

Výše uvedené nevýhody do značné míry odstraňuje měřicí systém, využívající transportabilní měřicí stožár s termovizní kamerou na zjišťování rozdílu mezi radiační teplotou, teplotou povrchů porostu a teplotami vzdušné hmoty (masy) v porostu a nad porostem a umožňující popis dynamiky energetických toků v přízemní vrstvě atmosféry. Čidla jsou umístěna jednak na transportabilním měřicím stožáru a také na výzkumné ploše monitorované termovizní kamerou. Podstata technického řešení spočívá v tom, že je průběžně zaznamenávána teplotní scéna, snímaná svisle, ovlivněná změnou směru dopadajícího přímého slunečního záření, způsobenou pohybem Slunce po obloze. Data jsou doplněna bodovými měřeními na kalibrační pozemní meteo-energetické stanici a vizuálními snímky, získanými ze stožáru.

K měření meteorologických dat ve výškovém profilu je využito členění stožáru na sekce. Čidla jsou umístěna na držácích, které jsou upevněny k přírubám, vloženým mezi jednotlivé sekce. 1. příruba je umístěna ve výšce 0,5 m nad terénem, další příruby jsou ve výškách 8,1, 15,7, 23,3 a 30,9 m. Na každé sekci jsou měřeny teplota a relativní vlhkost v meteorologickém radiačním krytu a rychlost a směr větru. Na vrcholu stožáru je umístěn krakorec, který nese dosedací platformu pro nosič termovizní kamery a fotoaparátu, které lze během několika desítek sekund spustit k operátorovi nebo vytáhnout do pracovní polohy. Tato možnost je využívána pro sběr dat z paměťové karty kamery a při náhlé změně meteorologických podmínek. Na severní straně krakorce je umístěn také NET radiometr, který snímá dopadající i odražené záření v IR a VIZ spektrální oblasti a teplotu čidla. Čidlo má aperturu 180°. Termovizní kamerou lze snímat zemský povrch s aperturou 12°, 24°, 45°. Hodnoty jsou důležité pro posouzení vlivu délky expozice a především směru dopadajícího slunečního záření na vyhodnocování družicových snímků v IR oblasti. Na stožáru je tak přímo měřena energie dopadající a odražené krátkovlnné složky globálního slunečního záření ve spektrální oblasti 300 - 2800 nm. Součástí měřicí instrumentace stožáru jsou dva snímače tepelného toku v půdě. Na stanici jsou měřeny také dopadající a odražené záření v tepelné oblasti 4500 – 42 000 nm a teplota čidla, ze kterých je počítána efektivní teplota oblohy pro daný region a tlak vzduchu pro stanovení tlaku vodních par.

Pro určení komplexní meteorologické a energetické situace je systém doplněn o stanici měřicí standardní meteorologické podmínky ve výškách 0,3 a 2 m doplněnou měřením směru a rychlosti větru, záznamem množství srážek, dopadající a odraženou radiací. Pro výpočet energetického toku do půdy je měřeno 8 hodnot teplot v půdním profilu a vlhkost půdy. Čidla jsou obsluhována automatickou záznamovou a řídicí jednotkou, která v sobě zahrnuje univerzální datalogger, telemetrickou stanici s vestavným GSM/GPRS modulem, programovatelný řídicí automat a energetický zdroj nezávislý na síti, využívající sluneční záření. Jednotka umožňuje kontinuální celoroční záznam a přenos dat na server, odkud je dostupný všem uživatelům.

Podle potřeby lze měření doplňovat dalšími systémy, jako je např. měřidlo absolutní vlhkosti vzduchu, atd.

5. Závěr

Realizací shora popsaného zařízení byly vytvořeny předpoklady k exaktnímu měření mikrometeorologických parametrů zkoumané krajiny a zejména byla otevřena cesta k poznávání dynamiky dějů probíhajících účinkem slunečního záření ve volné přírodě na libovolně dlouhých časových škálách.

Nezanedbatelné nejsou ani ekonomické aspekty, neboť po počáteční investici do vývoje a výroby zařízení jsou následující náklady na měření velice nízké – jde v podstatě jen o dopravu, běžnou údržbu kontinuální vylepšování celého systému. V tomto směru lze očekávat významný účinek na výuku na FS ČVUT v Praze, kde lze zainteresovat posluchače nižších ročníků na analýzách konstrukce z hlediska pevnosti, tuhosti a stability a na konstrukci nových uzlů usnadňujících montážní a demontážní postupy.

Autoři projektu jsou zavázáni srdečnými díky všem spolupracujícím firmám a jednotlivcům, kteří jakýmkoliv způsobem přispěli k pozitivnímu výsledku výzkumu a realizace předmětného zařízení. V abecedním pořadí jsou to dále uvedené firmy a jednotlivci :

Firmy : AirshipClub Praha, ALUPLUS Dolní Jirčany, BMD Teplice, Compotech Sušice, DAMA Praha, EBK Eret Bernard, Plzeň – Bolevec, Feron Praha, KRINNER Praha, OZET Ondřejov, Zámečnictví Marek Bouček Říčany, ZUKOV Praha

Jednotlivci : Bouček L., Červený J., Janoušek F., Macúchová K., Muzika K., Sloup J., Šourek B., Vácha A.

Za morální podporu děkujeme kolegům řešícím ve firmě ENKI Třeboň a na FS ČVUT v Praze grant MŠMT č. 54-06001. Díky finančním zdrojům poskytnutým GA MŠMT bylo možné vyvinout a vyrobit popsané zařízení.

Reference

- [1] Patentová přihláška : Jirka V. at al.: Zařízení pro měření energetických toků na rozhraní zemského povrchu a atmosféry, Třeboň 2011

ANALÝZA ODEZEV NEVYTÁPĚNÝCH BUDOV NA PŘIROZENÉ KLIMATICKÉ CYKLY

Analysis of the unheated buildings to the natural climate cycles

Ivana Krestýnová

Abstrakt: Práce se zabývá frekvenční analýzou odezev vnitřní teploty v nevytápěných budovách na změny vnější teploty způsobené přirozenými denními a ročními cykly. Nejdůležitějším úkolem je stanovení zesílení, fázového posunu a offsetu vstupního signálu (vnější teploty) a výstupního signálu (vnitřní teploty), které jsou získány porovnáním těchto dvou sinusových funkcí a vykreslením Lissajousovy elipsy.

Key words: frekvenční analýza, zesílení, fázový posun, offset, amplituda, fáze, Lissajousovy obrazce, nevytápěné budovy, vnější teplota, vnitřní teplota.

1. Úvod

V prezentovaném příspěvku je stručně popsána metodika získání významných bodů frekvenční charakteristiky teplotních závislostí nevytápěných budov. Motivace pro prezentovanou analýzu vychází z problematiky řešené v rámci projektu Climate for Culture , který je mj. zaměřen na analýzu vlivu globálních změn klimatu a její projekce do vnitřního prostředí budov, za účelem projekce vnějšího klimatu a jeho změn do mikroklimatu budovy.

Pokud se blíže budeme zabývat průběhem přirozených ročních teplotních cyklů, můžeme pozorovat oscilace jak vnějších, tak i vnitřních teplot. Jestliže dostaneme naměřená data těchto dvou teplot za daný časový úsek (v našem případě za rok), můžeme odezvu aproximovat harmonickými signály. Jejich vzájemným porovnáním poté můžeme získat jeden bod frekvenční charakteristiky systému – nevytápěné budovy. Obdobným způsobem můžeme získat bod frekvenční charakteristiky odpovídající dennímu cyklu změn teplot. Analýza denního cyklu je ale poněkud složitější, jelikož střední teplota, ke které jsou oscilace vztaženy, vykazuje výraznější výkyvy, než je tomu v případě ročního cyklu.

2. Časově-frekvenční analýza

Průběh signálu v daném čase lze popsat určitým frekvenčním spektrem. Časový průběh našich naměřených dat se velmi podobá průběhu sinusovému, proto jsme se rozhodli provést aproximaci pomocí sinusové funkce [1]. Protože je potřeba určit dvě funkce (jednu pro vnější – venkovní – teplotu a jednu pro teplotu vnitřní), musí se provést dvě aproximace

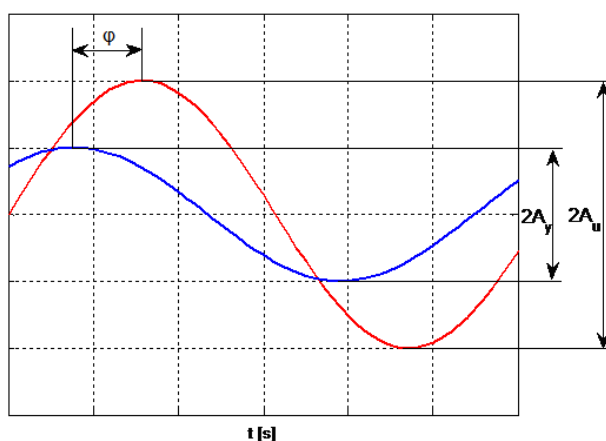
pomocí sinusové funkce – pro vstup systému a pro jeho výstup. Následně tyto dva signály porovnat, což je patrné na obr. 1, kde je vykreslena odezva výstupního signálu (v tomto případě vnitřní teploty) na signál vstupní (vnější teplota) [1], [2], [3].

Jednoduchá definice sinusového vstupního signálu (u) s amplitudou oscilace A_u (v čase t , s frekvencí signálu ω) je:

$$u = A_u \sin \omega t \quad (1)$$

Výstupní signál (y) pak bude mít obecně jinou amplitudu A_y a fázový posuv φ a bude popsán rovnicí:

$$y(t) = A_y \sin(\omega(t - \varphi)) \quad (2)$$



Obr. 1. Odezva výstupního signálu (y) na oscilaci vstupního signálu (u), které jsou popsány rovnicemi (1) – vstupní signál (modře) a (2) – výstupní signál (červeně).

Ze vzájemného frekvenčního posunu pak lze stanovit zesílení (poměr amplitud) jako:

$$A(\omega) = \frac{A_y}{A_u} \quad (3)$$

a fázový posun:

$$\Phi(\omega) = \varphi\omega \quad (4)$$

3. Lissajousovy obrazce

Naměřená data bývají ovlivňována způsobem jejich měření (může dojít k nepřesnostem měření) a šumem, což přináší jisté obtíže při výpočtu zesílení a fázového posunu pomocí předchozích rovnic (3) a (4), proto bývá často výhodnější stanovit zesílení a fázový posun pomocí Lissajousových obrazců, které vzniknou skládáním dvou kolmých

harmonických kmitů. Jejich tvar je jednoznačně zadán poměrem úhlových frekvencí a velikostí počáteční fáze. [1], [4]

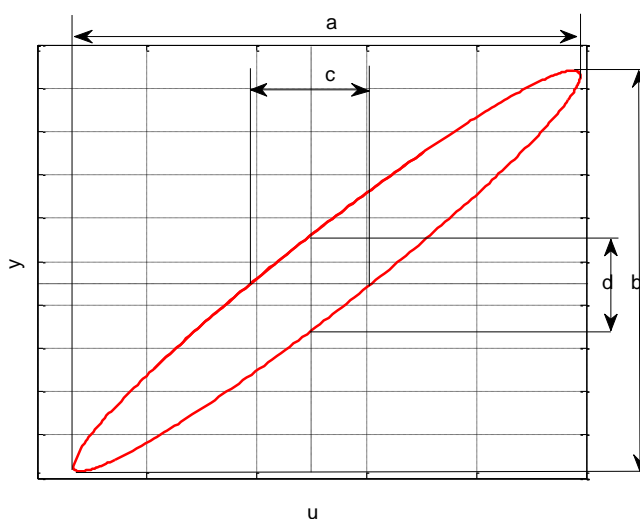
Pokud stanovíme vstupní signál (u) pro osu ve směru x a výstupní signál (y) ve směru y , pak pro pozici kmitajícího bodu lze použít rovnice (1) a (2). Pomocí amplitud se určují hranice rozsahu křivek, kde důležitý je i vzájemný poměr úhlových frekvencí signálu, který určuje uzavřenost či otevřenost obrazce. Trajektorie bodu se uzavře po uplynutí doby jedné periody složených kmitů. Fázový posun ovlivňuje natočení Lissajousova obrazce. [1], [4]

Dle obr. 2 lze stanovit zesílení (5) a fázový posuv (6) následovně:

$$A(\omega) = \frac{A_y}{A_u} = \frac{b}{a} \quad (5)$$

$$\Phi(\omega) = \arcsin \frac{b}{d} = \arcsin \frac{c}{a} \quad (6)$$

Parametry a , b , c , d se odměřují z Lissajousova obrazce ve tvaru elipsy tak, jak je naznačeno na obr. 2.



Obr. 2. Znárodnění naměřených dat pomocí Lissajousovy elipsy za použití (1) a (2)

4. Výpočet roční oscilace z naměřených dat

Následný postup výpočtu roční oscilace z naměřených dat vychází z výše uvedených principů. Zpracovaná data byla poskytnuta Florianem Antretterem z Fraunhofer Institut. Měření probíhalo od 1. 1. 1995 do 1. 1. 2010. Nejprve je třeba interpolovat naměřená data pomocí sinusové funkce. K jejich interpolaci lze použít metodu nejmenších čtverců:

$$T_{Y_{out}}(t) = \bar{T}_{Y_{out}} + \Delta T_{Y_{out}} \sin(\omega_Y t + \Phi_{Y_{out}}) \quad (7)$$

$$T_{Y_{in}}(t) = \bar{T}_{Y_{in}} + \Delta T_{Y_{in}} \sin(\omega_Y t + \Phi_{Y_{in}}), \quad (8)$$

kde T_{Yout} představuje vnější (venkovní) teplotu, T_{Yin} teplotu vnitřní a \bar{T} průměrnou teplotu v daném časovém úseku. [1]

Frekvence signálu daná pro jeden rok byla určena jako: $\omega_Y = 2\pi/8765,8$ [hod⁻¹]. Zesílení a fázový posun pak dopočítáme dle následujících vzorců:

$$A(\omega_Y) = \frac{\Delta T_{Yin}}{\Delta T_{Yout}} \quad (9)$$

$$\Phi(\omega_Y) = \Phi_{Yin} - \Phi_{Yout} \quad (10)$$

Pro naměřená data byly interpolací pomocí sinusové funkce za použití metody nejmenších čtverců (v Matlabu) vypočteny následující hodnoty, naměřená a interpolovaná data byla vynesena do grafu na obr. 3 a obr. 4, jejich porovnáním byla vykreslena Lissajousova elipsa (obr. 5):

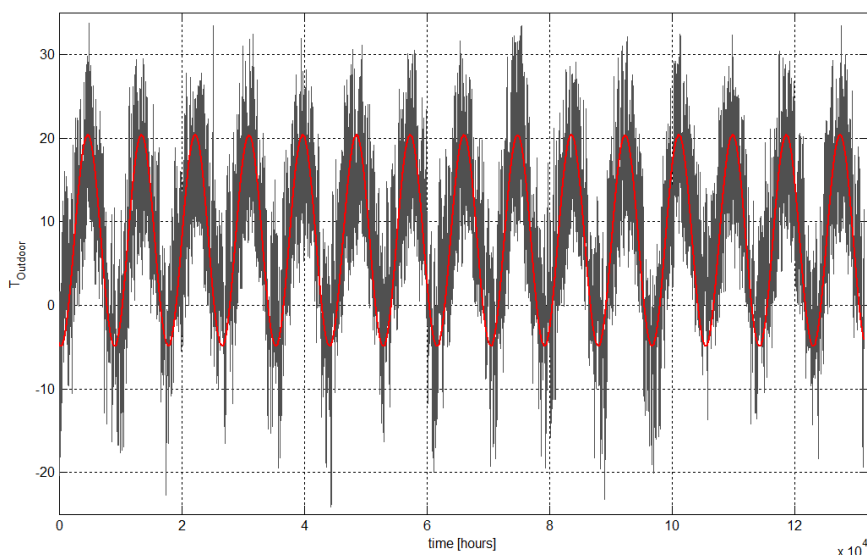
$$\bar{T}_{Yout} = 7.7^\circ\text{C}; \Delta T_{Yout} = 9.7^\circ\text{C}; \Phi_{Yout} = 1.82$$

$$\bar{T}_{Yin} = 8.7^\circ\text{C}; \Delta T_{Yin} = 8.8^\circ\text{C}; \Phi_{Yin} = 2.13$$

Zesílení a fázový posun budou pak následující:

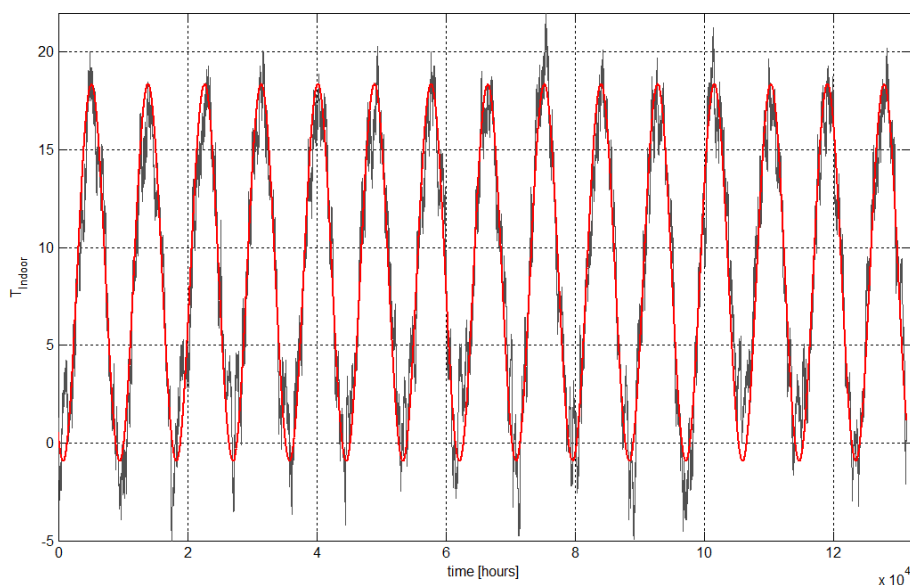
$$A(\omega_Y) = \frac{\Delta T_{Yin}}{\Delta T_{Yout}} = 0.91; \Phi(\omega_Y) = \Phi_{Yin} - \Phi_{Yout} = 0.31.$$

Průměrnou vnější (venkovní) teplotu interpolujeme pomocí sinusové funkce metodou nejmenších čtverců (7) :



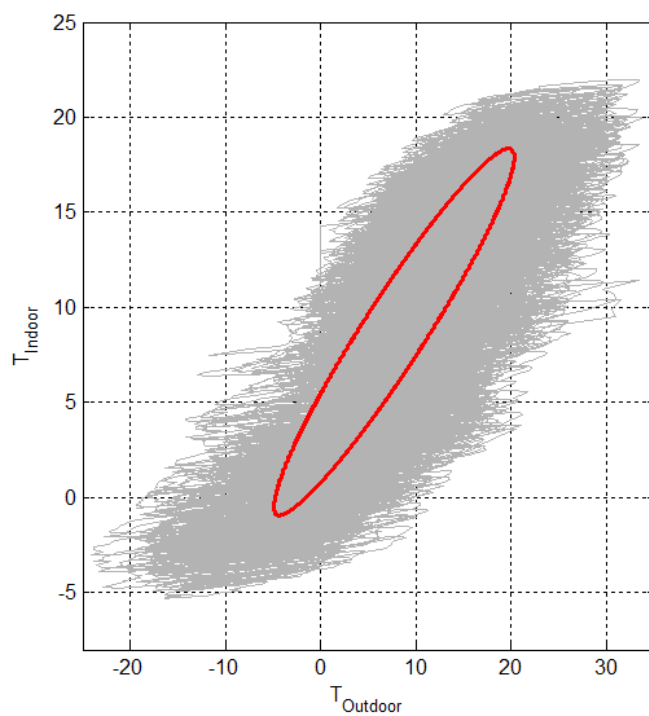
Obr. 3. Průměrná vnější teplota: černá – denní naměřená data, červená – metoda nejmenších čtverců denní oscilace sinusového signálu (7)

Průměrnou vnitřní teplotu interpolujeme pomocí sinusové funkce metodou nejmenších čtverců (8):



Obr. 4. Průměrná vnitřní teplota: šedá – denní naměřená data, červená – metoda nejmenších čtverců denní oscilace sinusového signálu (8)

Lissajousova elipsa:



Obr. 5. Lissajousova elipsa: šedá – naměřená data, červená – vnější a vnitřní teplota

5. Závěr

Na odezvu vnitřní teploty na teplotu vnější má velký vliv izolace budov, tloušťka a vlastnosti venkovních stěn, konstrukce oken a větracích systému atd. Lépe izolované budovy mohutnější konstrukce mají menší zesílení (poměr amplitud) a delší fázový posun. Na první pohled je zřejmé, že fázový posun udává důležitou informaci, a to za kolik dnů ovlivní vnější teplota teplotu uvnitř nevytápěné budovy.

Tato data byla naměřena pouze v krátké časové periodě a ne všechna byla synchronní (často se objevovaly hodnoty měřené v jiném čase pro vnější teplotu a v jiném pro vnitřní, či pro některé dny byly občas vynechány). Pro lepší analýzu bychom potřebovali více dat, které budou měřeny nejlépe v pravidelných časových intervalech, pak bude možné pokračovat i s denní analýzou. Rovněž by bylo dobré naše postupy vyzkoušet na více objektech, abychom prověřili správnost a použitelnost dat vyplývajících z naší analýzy. V rámci spolupráce na projektu Climate for Culture byla dále zpracována data z následujících měření: v kostele Frari v Benátkách, v Palazzo Grimani v Benátkách a v muzeu v Cremoně. Podobným způsobem budou zpracována data z ostatních objektů zahrnutých do projektu Climate for Culture (např. Kaple svatého Kříže na Karlštejně).

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS11/150/OHK2/3T/12 a projektem Climate for Culture podporovaným Evropskou komisí v rámci programu FP7-ENV-2008-1 Theme 6. Environment (including climate change), Project no. 226973. Poděkování též náleží Dipl.-Ing. Florianu Antretterovi - Fraunhofer-Institute for Building Physics, Branch Holzkirchen za poskytnutí naměřených dat.

References

- [1] Krestýnová, I.; Vyhliđal, T. Frequenzanalyse der Antworten von Innentemperatur der unbeheizten Gebäude auf die Änderung der Außentemperatur. *Konference studentské tvůrčí činnosti (STČ)*. 2011
- [2] SMUTNÝ, J.; PAZDERA, L. Časově frekvenční analýza reálných signálů. Brno: ECON publishing, 2003. 191 s.
- [3] CLAUSEN, M.; MÜLLER, M. Zeit-Frequenz-Analyse und Wavelettransformationen. Vorlesungsskript. Bonn: Universität Bonn, 2001. 186 s.
- [4] PAUK, J.; KRČMÁŘ, M. Lissajousovy obrazce. 2009, [cit. 2011-03-16]. Dostupný z WWW: <<http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2008-2009/Zima08/proc/lissa.pdf>>.

VOZÍTKO UMOŽŇUJÍCÍ PÉČI O DÍTĚ NAVRŽENÉ PRO IMMOBILNÍ OSOBY

Wheelchair which Enables Child Care for People with Physical Disabilities

Karolina Macúchová, Karel Muzika, Iveta Pilařová, Pavel Trnka, Josef Zicha

Abstrakt: Pro účely výstavy v Galerii VŠUP a další použití v praxi byl vytvořen funkční prototyp vozítka, které umožňuje péči o malé dítě osobě s fyzickým handicapem. Inovace spočívá ve vybavení standardního vozítka pro fyzicky postiženého sedačkou pro dítě. Bezpečnost malého pasažéra je zajištěna popruhy a senzory. Popruhy chrání před uvolněním sedačky či dítěte. Senzory chrání před nechtěným nárazem do zdí, kolemjdoucích osob, atd. Vozítko má splnit přání handicapované matky být se svým dítětem volně venku.

Klíčová slova: handicap, pomůcka, řízení, elektrický vozík, proximální senzory, péče o dítě.

1. Úvod



Obr. 1 – Grafický návrh vozítka

Cílem projektu je prezentace nového objektu, jenž je propojením elektrického vozíku a kočárku pro miminko. Objekt vozítka se sajdkárou pomáhá eliminovat rozdíly mezi možnostmi zdravé a handicapované matky.

U mnohých dianóz (obrna, roztroušená skleróza mozkomíšní, poškození mozečku s důsledkem zhoršení koordinace pohybu, cévní mozková příhoda, různá neurologická onemocnění, v jejichž důsledku dochází k poškození hybného aparátu jedince), hraje velkou roli zharmonizování jak potřebné aktivity, tak důležité relaxace a odpočinku a to každý den. Pohybově znevýhodněné matce umožní snížit míru její závislosti na pomoci druhých, pomůže jí k efektivnějšímu rozložení si své energie, dopřeje jí důležitý pocit samostatnosti, důstojnosti své péče o dítě a určitého osobního vítězství.

Realizace tohoto prototypu vozítka učiní z pouhé představy reálné splnění přání handicapované matky být samostatně venku se svým malým dítětem. Způsob designového řešení vozítka je hravé, zajímavé, společensky a esteticky velmi dobře přijatelné.

2. Elektrický skútr

Upravované vozítko byl elektrický skútr HS-589 firmy C.T.M. pro zdravotně postižené. Technická realizace se rozděluje na dvě problematiky: úprava řízení a konstrukce sedačky pro dítě.

Výsledný upravený skútr je na obr. 2.



*Obr. 2 – Elektrické vozítko, foceno na výstavě
Esperanto*

3. Pohyb a řízení vozítka

Pro účely prezentace se upravila mechanická část řízení kol vozíku a vybavila se kontrolérem, který jednak směřoval vozík po předepsané dráze (dle dispozic prostoru může být elipsovitá, či po lemniskátě) a dále zajistil interakci vozíku s okolím.

Na vozítku vpředu na košíku se nacházely 4 ultrazvukové senzory. Logika interakce byla následující: pokud bude nějaká překážka ve vzdálenosti 30 cm až 50 cm, vozík se sám zastaví. Po odstranění překážky vozík pokračuje po dané trajektorii. Rozjíždění a zastavování vozíku je řízeno modelářským servem HS-311, které ovládá rychlostní páčku. Pohyb vozíku

po stanovené trajektorii řídí osmibitový mikrokontrolér ATMEL AT89552. Vozík je možné také řídit dálkovým ovládáním. K zatáčení vozíku byl použit stejnosměrný elektromotor japonské výroby.

Řízení motoru je zajištěno dalším modelářským servem HS – 311 přes silový H – můstek.

Jako poslední je k vozíku připevněn elektro-mechanický snímač ujeté vzdálenosti (na obr. 3). Pohyb je snímán z levého předního kola přes ozubený převod. Jedno ozubené kolo je pevně spojené s kolem vozíku a druhé se snímačem.



Obr.3 – Ozubené kolečko s kolem

4. Sedačka pro dítě

Druhá úprava zahrnovala modifikaci běžného elektrického skútru, aby vyhovoval potřebám pohybově postižených osob, které se zároveň starají o malé dítě. Pro tyto potřeby je k vozítku připevněn držák odnímatelné sedačky pro dítě (viz obr. 2). Osoba jedoucí na vozítku může mít sedačku po své pravé i levé straně. Pro realizace vozítka v Galerii VŠUP jsme sedačku umístili na levou stranu. Tato varianta více vyhovuje pravákům, protože je pravá strana volná pro řízení.

Sedačka pro dítě je zajištěná, přesto odnímatelná. Umožňuje snadnou manipulaci sedačkou zdravému partnerovi/partnerce postižené osoby, například po příjezdu domu.



Obr.4 – Vyhodnocovací jednotka

Aby byla zajištěna bezpečnost malého pasažéra v sedačce, použili jsme ultrazvukové senzory, které vyhodnocují blízkost okolních předmětů. Řidič je údajem na displeji varován před nechtěným nárazem do zdi, sloupu, nebo kolemjdoucích lidí. Ultrazvukové senzory jsou integrovány do konstrukce držáku sedačky. Senzory snímají oblast kolem sedačky, která není běžně pokryta pozorností řidiče – tj. zadní a levoboční prostor kolem vozítka.

Vyhodnocovací jednotka (na obr. 4) zobrazuje směr, ve kterém se potenciálně nebezpečný předmět nachází, a minimální vzdálenost od něj. Senzory a vyhodnocovací jednotka jsou napájeny odděleným bezpečným stejnosměrným 12 V napětím.

5. Výstava ESPERANTO

Ve dnech od 24. března do 16. dubna 2011 proběhla výstava s názvem ESPERANTO v Galerii VŠUP v Praze. Hlavním exponátem bylo popisované elektrické vozítko a dva videoarty. Tématem výstavy bylo přiblížit návštěvníkům svět fyzicky handicapovaných osob, jehož prostředí je autorce výstavy bohužel velmi blízké.

Promítané videoarty zobrazovaly autorku a další při každodenním boji se svou nemocí, se svými těly a se sebou samými.

Čistě pro účely výstavy bylo řízení vozítka upraveno, jak popisujeme v druhé kapitole. Provedená úprava umožňovala, aby bylo vozítko říditelné na dálku, tzn, bez řidiče. Svou choreografii s pohybem vozítka na vernisáži sladila skupina Dance2XS.



Obr.5 – Z vernisáže

6. Závěr

Popisované vozítko je výsledkem práce konstrukčního týmu z Ústavu přístrojové a řídicí techniky ČVUT podle nápadu Ivety Pilařové, která má projekt je součástí své dizertační práce. Vozítko bylo prezentováno na výstavě ESPERANTO v Galerii VŠUP. Po skončení výstavy bude dále používáno navrženým způsobem.

Reference

- [1] Černocho S.: Strojně technická příručka, Svazek 2 SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1977
- [2] produktová dokumentace výrobců použitých komponent

KOMPONENTY PRO PŘESNOU POINTACI A JUSTÁŽ EXPERIMENTÁLNÍCH ZAŘÍZENÍ

Components for Precise Pointation and Adjustment of Experimental Devices

Karolina Macúchová

Abstrakt: Vibrace, mechanická hystereze, tření a další vnější vlivy přinášejí nestability a odchylky od správného nastavení zařízení. Cílem tohoto článku je ukázat některé možnosti řešení přesného polohování a justáže optických a mechanických systémů. Byly navrženy původní komponenty na míru vědeckým experimentům. Tyto experimenty, jako je například výzkum subatomárních částic, kladou extrémní nároky a požadavky na konstrukci vývíjených zařízení. Stabilita a přesnost nastavení je zásadní pro dosažení kvalitních a spolehlivých naměřených dat. Popisované komponenty najdou obecné uplatnění i v jiných aplikacích. Hlavním principem konstrukce navrhovaných přesných mechanických částí je použití pružných kloubů.

Klíčová slova: Přesná justáž, pointace, pružné klouby, Solární tracker, šesti-paprskový kloub.

1. Úvod

Hlavním úkolem inženýrů, kteří se starají o technickou podporu experimentů v oblasti základního nebo aplikovaného výzkumu, je zajistit nejlepší možnou funkci měřicího nebo detekčního systému.

Stabilita nastavení systému je často narušována negativními vnějšími vlivy. Při návrhu a správě experimentu je potřeba takové vlivy nejdříve analyzovat a pak jim následně buď předcházet, nebo je kompenzovat, aby byla lépe zajištěna požadovaná funkce. Správně navržené a použité justážní součástky vylepšují spolehlivost experimentálního zařízení s očekávanou přesností po rozumně dlouhou dobu. Spolehlivost zařízení je navíc úzce spjata s kvalitou a přesností vyrobených součástek všech podsystémů.

2. Vnější vlivy

Stabilita nastavení systému je závislá na provozních podmínkách i konstrukci samotné. Hlavní námi sledované vnější vlivy (a jejich kombinace), které způsobují nejčastější změny v nastavení optických systémů a vedou k nepřesnostem v justáži jsou následující:

- vibrace – mechanické, akustické

- tření, stick-slip efekt (Coulombovo tření), mechanická hystereze
- namáhání, creep, stárnutí materiálu, deformace, únava, lom
- změna vstupní veličiny
- změny pracovního prostředí: tepelná roztažnost a další změny fyzikálních vlastností v důsledku změny teploty, denní/roční cyklus, podnebné a klimatické změny
- elektromagnetické pole, parazitní odrazy, a další fyzikální efekty

Některé vlivy lze eliminovat vhodnou volbou materiálu. Jiné lze potlačit konstrukčně. Speciální kombinací materiálu a chytrého designu lze docílit dlouhodobé stability a funkční spolehlivosti, což je klíčový aspekt, abychom získali robustní experimentální data použitelná ke zpracování.

3. Justážní komponenty na bázi pružných kloubů

Justáž můžeme provádět staticky, nebo dynamicky. Statická justáž se používá v experimentech, kde postačuje přesné nastavení před spuštěním. Rušivé vnější vlivy se projevují minimálně a nemají vliv na stálost nastavení systému. Zato dynamická justáž umožňuje interaktivní změny a zásahy do systému v průběhu experimentu. Vyhodnocují se sledovaná data a na jejich základě se zpětnovazebně upravují parametry.

Statická justáž zpravidla nevyžaduje aktuátory a podobná aktivní zařízení narozdíl od dynamické justáže. V konstrukci justážního zařízení lze použít přesné šrouby s jemnými závity, nastavitelné držáky, polohovatelné stolky, mikro a nano aktuátory, piezo aktuátory; ovládané ručně či automaticky.

Pružné klouby jsou vyvíjeny od počátku jako komponenty pro přesnou justáž. Pro malá posunutí a rotace bývá užitečnější ohyb, než tření, protože pružnost v ohybu má lineární závislost popisovanou Hookovým zákonem. Jejich hlavní výhodou je vysoká pružnost v ohybu a vysoká axiální tuhost. Pracují bez vůlí a tření. Hystereze je zanedbatelná. V závislosti na konstrukčním návrhu je možné je vyrábět elektro-erozivním obráběním, soustružením a frézováním. Materiálem mohou být kovové či plastové kompozity nebo slitiny.

Nevýhodou je malý rozsah pohybů daný maximálním dovoleným namáháním v oblasti pružné deformace použitého materiálu. Problémy, které se mohou projevit zvýšením hystereze, při montáži pružných kloubů do konstrukce lze potlačit monolitickou strukturou kloubu. Zvýšení spolehlivosti konstrukce však bývá za cenu zvýšení nákladů výroby mnohem komplikovanějšího konstrukčního dílu.

4. Příklady použití pružných kloubů

Prvním příkladem je řešení pointačních pohybů v návrhu sledovacího zařízení Sluneční koróny. Cílem bylo zajistit správnou pozici CCD detektoru s přesností jednoho pixelu, která odpovídá úhlovému rozlišení $0^{\circ}0'2,4''$. Statická justáž se provádí nastavením deklinační a polární osy. Jejich přesná poloha se zaaretuje předepjatými planžetami a aretačním mechanismem. Předpokládá se, že rám zařízení je dostatečně pevný a stabilní,

aby udržel zafixovanou polohu po minimální požadované době, která odpovídá maximální době snímání Sluneční koróny, tj. několik desítek minut.

Dynamická justáž zajišťuje správnou funkci sledovacího zařízení. Navigace kombinuje přesný pohon s korekčním mechanismem. K zamezení vůlí v kinematické řetězci se k přenosu hybného momentu ze šnekové převodovky na naváděný detektor používá šestipaprskový kloub (na obr. 1).

Materiálem pro výrobu byl letecký dural. Princip mechanismu je v šesti planžetách, které se spojí, aby vytvořily



Obr. 1 – Šestipaprskový kloub



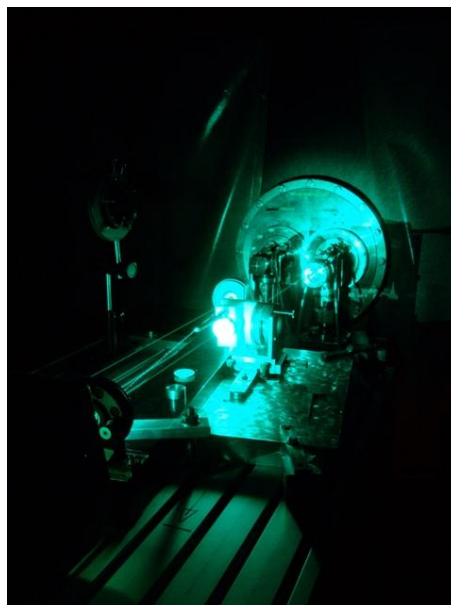
Obr. 2 – Paralelogram

Dalším příkladem použití justážních a aretačních mechanismů jsou mechanismy vyvíjené pro optický systém laserového experimentu OSQAR (Optical Search for QED vacuum magnetic birefringence, Axions and photon Regeneration, CERN), který slouží k detekci nových subatomárních částic. Laserové experime Podle provedené analýzy stávajícího stavu experimentu byly zhodnoceny rušivé vlivy. Cílem všech inovací je zlepšit poměr signálu ku šumu.

Optický systém se skládá z kolimačních čoček, beam expanderu, zrcadel, šedých filtrů, $\lambda/2$ vlnové destičky a dalších. Tyto komponenty je třeba justovat ve třech prostorových směrech a dvou, či třech rotacích. Z kinematického hlediska se jedná o mechanismy s pěti, či šesti stupni volnosti. Rozsah pohybů je povětšinou velmi malý, pohybující se v jednotkách mm. Prostorové kombinace pružných kloubů jsou schopny plnit požadovanou funkci s potřebnou přesností.

Držáky optických součástí musí být robustní a dostatečně tuhé, aby nepřenášely běžné vibrace vznikající z provozu a chladicích zařízení v hale a byly teplotně stálé (přestože

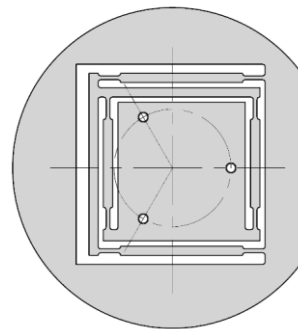
vnější a vnitřní okruh. Hybný moment se přenáší z vnějšího kruhu kotviček na vnitřní. Kinematicky umožňuje rotaci s jedním stupněm volnosti. Během experimentu se vyhodnocuje živý signál z detektoru. Je-li potřeba vnést korekci polohy detektoru, použije se mechanismus složený z aktuátoru, pohybového šroubu a dvou monolitických paralelogramů (na obr. 2), které vůči sobě natočí kotvičky šestipaprskového kloubu.



Obr. 3 – optická dráha laseru

stabilní pracovní podmínky na experimentu jsou během roku zajišťovány klimatizací). Všechny justážní prvky musí být snadno dostupné. V konstrukci se použijí piezo aktuátory.

Jednoduchá verze držáku optických komponent umožňuje pohyb ve dvou osách (na obr. 4). Princip mechanismu spočívá ve dvou spojených paralelogramech, které tvoří monolitickou strukturu. Posun vnitřního nosného dílu je vyvozen dvěma mikrometrickými šrouby, které lze nahradit za aktuátory a řídit pohyby počítačem. Obecně platný optimální způsob je jeden šroub či aktuátor na každý stupeň volnosti. Vnější tvar držáku lze libovolně tvarovat podle upevnění k dalším sestavám. Upevnění optické komponenty k držáku je řešeno osvědčenou tří-bodovou montáží justážními šrouby, umístěnými po 120° kolem optické osy. Tento držák je také dostatečnou náhradou za křížové stolky, protože je prost vůle v lineárním vedení.



Obr.4 – Držák

5. Závěr a poděkování

Pružné klouby již byly úspěšně použity v konstrukci Solárního trackeru. Aktuální směr výzkumu a vývoje justážních zařízení pro experiment OSQAR ukazují první slibné výsledky jejich opětovné aplikace. Navrhované konstrukční prvky jsou kontrolovány experimentálně a početně metodou konečných prvků.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS 11/048/OHK2/1T/12. Výroba šestipaprskového kloubu byla sponzorována firmou BMD, a.s. (Teplice).

References

- [1] Macuchova K., Zicha J., „Use of Flexural Hinges in the Design of Terrestrial Telescope”, Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mecatronics, vol. 20, no 37, pp 47-50.
- [2] Santos, I. et al „High accuracy flexural hinge development", Proceedings of the 11th European Space Mechanisms and Tribology Symposium, ESMATS 2005, 21-23 September 2005, Lucerne, Switzerland
- [3] Macúchová K. „Pohon hodinové osy astronomického dalekohledu s využitím pružného prvku”, Sborník Konference studentské tvůrčí činnosti, FS ČVUT 2008, 22. dubna 2008, Praha, Česká republika.
- [4] Kittel D. „Precision Mechanics”, Morrisville: Happiness Tech. 1989
- [5] Maršík J. „Pružné klouby a MKP”, ČVUT, Strojní fakulta, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Odbor Přesné mechaniky a optiky, interní materiál.

RELATION OF GDOP COEFFICIENT ON SATELLITE DISTRIBUTION

Závislost koeficientu GDOP na rozmístění satelitů

Martina Mironovova

Supervisor: Prof. Ing. Jiří Bíla DrSc.

Abstrakt: Účelem této práce je ukázat závislost koeficientu GDOP (Geometrical Dilution of Precision), představující chybu určení polohy uživatele na povrchu Země, na rozmístění satelitů na obloze. Úkolem je statisticky určit střední hodnotu a odchylku hodnoty GDOP pro 100 měření pozic uživatele na třech různých kvalitních rozmístěních satelitů.

Abstract: The purpose of this work is to show the relation of a GDOP coefficient (Geometrical Dilution of Precision), that determines the error of the position of observer on the Earth surface, on the distribution of satellites above the Earth. The task is to statistically determine the mean value and the variance of GDOP value for 100 measurements of user's position within three situations with different quality of satellite distribution.

Key words: GDOP, satellite navigation, genetic algorithm.

1. Introduction

The main motivation for this work is a derivation of GDOP coefficient, practical example of its calculation and use of GDOP coefficient for determining positions of arbitrary number of satellites above the sky. MATLAB software is used for the calculation and simulation of satellites positions and for GDOP coefficient calculation. The whole task is

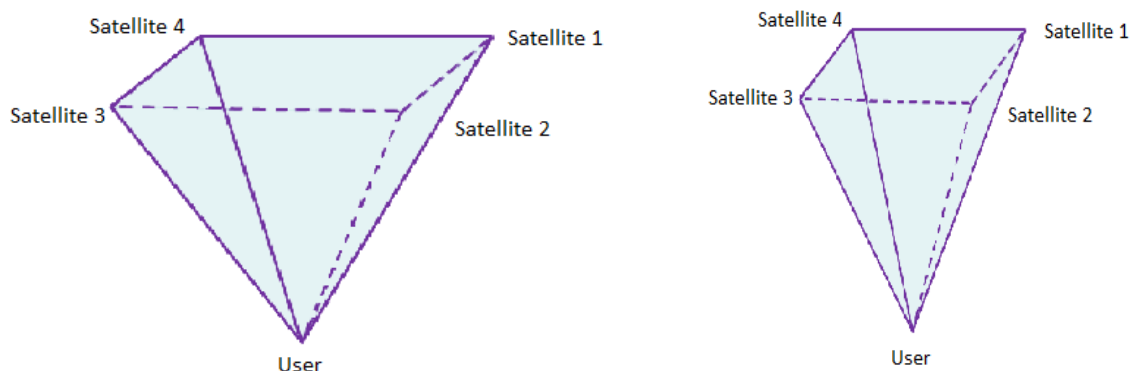


Figure 1: Imaginary pyramids with four satellites in corners of the base and user placed at the tip. Pyramid on the left shows satellite distribution that yields a lower value of GDOP coefficient and is better than configuration of satellites distributed according to the pyramid on the right that shows worse (higher) value of the coefficient.

divided into three sections. The first part is theoretical and shows the derivation of GDOP coefficient. In the second part the use of a genetic algorithm is shown. The algorithm is used to find the most optimal setup of satellite positions so that the lowest value of GDOP is reached. The third part includes calculation of the coefficient due to positions of satellites previously calculated by a genetic algorithm.

A GDOP coefficient (Geometric Dilution of Precision) is used in satellite navigation and positioning and represents a ratio of the position error to the range error [1]. The coefficient reflects the dilution of precision in position in three dimensions (PDOP) and dilution of precision in time (TDOP). To compute these four dimensions – position in x,y,z and time – four satellites are needed. The receiver position is computed from satellites positions, the measured pseudo-ranges and receiver position estimate.

Let's imagine that a square pyramid is formed by lines joining four satellites with the receiver placed at the tip of the pyramid (see *Figure 1*). The volume of the shape described by the unit-vectors from the receiver to the satellites used in a position fix is inversely proportional to GDOP. The larger is the volume of the pyramid, the better (lower) the value of GDOP coefficient is. Conversely, the smaller volume of the pyramid is, the worse (higher) the value of GDOP will be. Similarly, the greater number of satellites is used for position estimation, the better the value of GDOP coefficient is [1], [2].

The importance of satellite distribution can be also seen in *Figure 2* that shows three

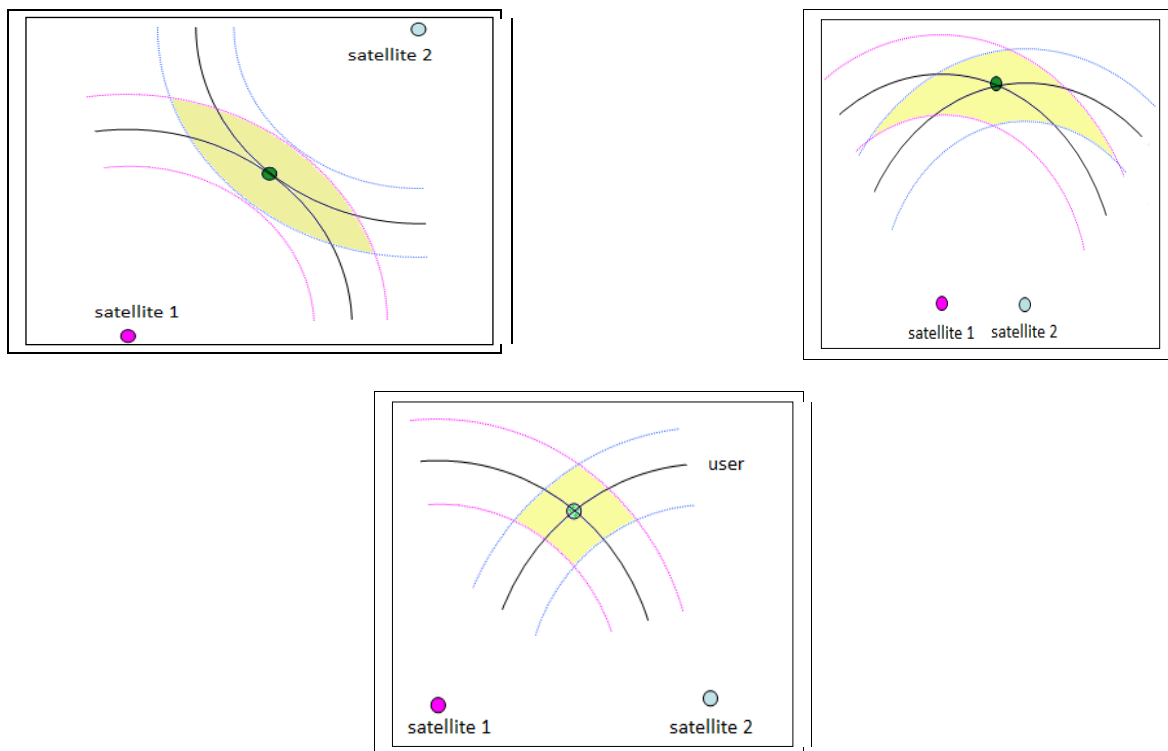


Figure 2: Distribution of two satellites above the receiver (user) - top left and right image show bad distribution with large pseudo-ranges, bottom image displays optimal pseudo-range.

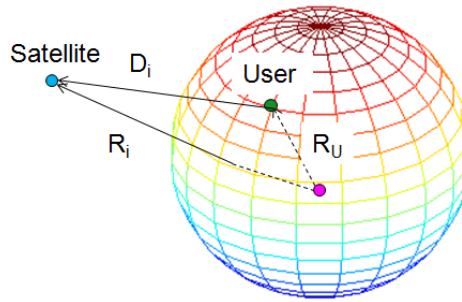


Figure 3: Geometry of vectors for position determination

cases how two satellites and their pseudo-ranges determine the area of possible occurrence of the receiver (user). Each satellite has a pseudo-range represented by (circle with a center in each satellite). However, in reality these ranges shape not just one point in the place where they cross, but an area instead. This pseudo-range can vary according to the position of satellites above the sky. While the angle between satellites is too wide, the pseudo-range where user can be present is large rather long. The similar situation occurs while the angle between satellites is too small. Optimally a smallest possible square area is required.

2. Mathematical Definition of GDOP Coefficient

For mathematical expression of GDOP coefficient it is necessary to show how the user's position is determined. The main idea is through three basic vectors according to the Figure 3 [3]. The following equation applies to determine position of the user on Earth:

$$\mathbf{R}_U = \mathbf{R}_i - \mathbf{D}_i \quad (2.1)$$

\mathbf{R}_U – position vector of the user (unknown) center of Earth - user

\mathbf{R}_i – vector from the Earth's center to the satellite

\mathbf{D}_i – vector from the user to the satellite

In order to obtain the best estimation of user's position the error in the position estimation should be minimized [4]. The error minimization can be achieved using the least squares method that derives a covariance matrix of position estimation errors:

$$\text{cov } \delta X_U = (\mathbf{G}_U^T \mathbf{G}_U)^{-1T} = (\mathbf{G}_U^T \mathbf{G}_U)^{-1} \quad (2.2)$$

This covariance appears as:

$$(\mathbf{G}_u^T \mathbf{G}_u)^{-1} = \begin{matrix} & X & Y & Z & Time \\ \begin{matrix} X \\ Y \\ Z \\ Time \end{matrix} & \begin{bmatrix} \sigma_{xx}^2 & \sigma_{xy}^2 & \sigma_{xz}^2 & \sigma_{xt}^2 \\ \sigma_{yx}^2 & \sigma_{yy}^2 & \sigma_{yz}^2 & \sigma_{yt}^2 \\ \sigma_{zx}^2 & \sigma_{zy}^2 & \sigma_{zz}^2 & \sigma_{zt}^2 \\ \sigma_{tx}^2 & \sigma_{ty}^2 & \sigma_{tz}^2 & \sigma_{tt}^2 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.3)$$

The diagonal values in matrix (2.3) represent the variance of the estimated user position in each axis and in the user time offset. The individual factors of GDOP are given as follows:

$$HDOP = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2} \quad (2.4)$$

$$VDOP = \sigma_{zz} \quad (2.5)$$

$$PDOP = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2} \quad (2.6)$$

$$TDOP = \sigma_{tt} \quad (2.7)$$

$$GDOP = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 + \sigma_{tt}^2} \quad (2.8)$$

Estimates of errors in user position or in user time are given as a product of GDOP factors and estimates of errors in range measurements.

3. Finding Positions of Satellites

For the calculation of GDOP coefficient itself it is necessary to know positions of satellites on orbit around the Earth. Because from the theory and derivation from the Chapter 2 it appears that the minimal value of the coefficient GDOP is while all satellites are distributed equally above the sky – their mutual distances are equal [3].

For equal distribution of satellites above the sky multiple heuristics can be used – from the planary coverage of the area, through random selection up to algorithms of artificial intelligence [5]. In this work a method of genetic algorithms was selected [4].

For the estimation of the quality of the solution by a genetic algorithm a so called fitness function can be used [5]. This function can take arbitrary form. In this example the fitness function is a function of distances between two closest satellites and is specified by following formula:

$$d = \min_{i,j \neq j} \left(\arccos(x_i x_j + y_i y_j + z_i z_j) \right) \quad (3.1)$$

The aim is to maximize this function as was described in [4].

4. Calculation of GDOP Coefficient

Calculation of GDOP coefficient was described in detail in Chapter 2 and uses a data “received” from satellites. In order to simulate a real situation, only some certain amount of satellites will be selected for calculation of user’s position and thus estimation of GDOP coefficient. The output of this part will be a GDOP coefficient and its parameters: PDOP (dilution of precision in position in three dimensions), HDOP (dilution of precision in two horizontal dimensions) and TDOP (dilution of precision in time).

In order to simulate a real situation, where only 4 to 11 satellites are visible for the user’s receiver, only a certain region of the sky was selected – a range of $\pi/3$ radians angle around the user’s vector \mathbf{R}_U was selected to define a cone. All satellites that are inside this cone are selected for estimation of user’s position and GDOP coefficient estimation.

The user’s position estimation (or GDOP coefficient) depend on the quality of satellites distribution. More evenly are satellites distributed, the better the value of GDOP

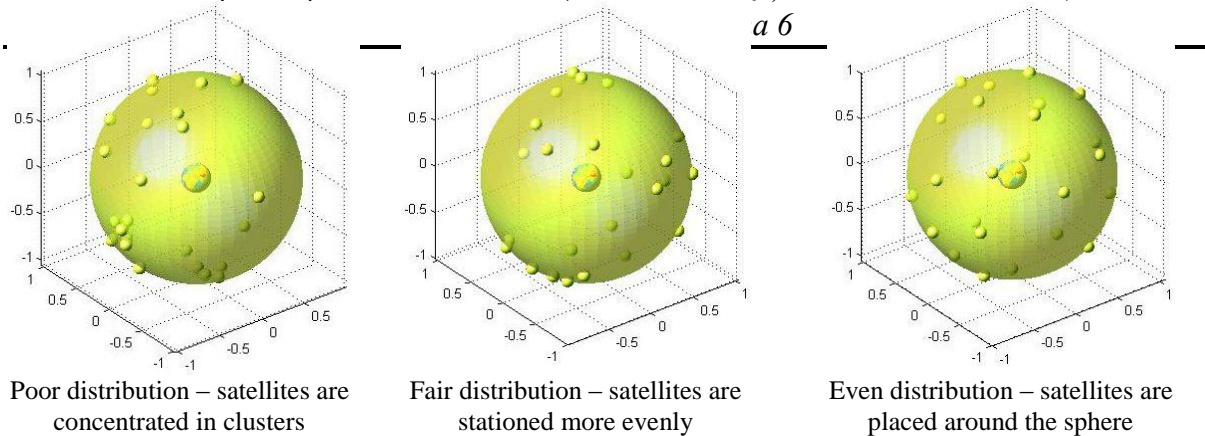


Figure 4: Various distribution of 24 satellites around the Earth

coefficient is [4]. To show statistically relevant data, it was necessary to make at least 100 measurements by placing a user randomly on Earth’s surface. With each user’s placement, a GDOP coefficient was calculated. This method was repeated for

three different satellite distribution, and obtained mean values are shown in *Table 1* while the satellite distribution is displayed in *Figure 4*.

Table 1: Results and values of GDOP coefficient and its mean value and variance

Satellite distribution	Mean(GDOP)	Variance(GDOP)	Number of failed GDOP calculations	Overall GDOP
4	22.9	42.6	11	Poor
12	12.8	22.7	6	Fair
45	5.3	2.8	0	Good

In the *Table 1* a column marked “Number of failed GDOP calculations” express an amount of calculations that failed due to the lack of satellites necessary for GDOP calculation. At least 4 satellites are needed for the estimation of user’s position (or calculation of GDOP). While this situation occurred, a value of 100 was assigned to the respective GDOP due to the rating in *Table 2* [7]. In reality, the GDOP measurement would never occur, however for statistical reasons it was necessary to express this lacking measurement.

The model presented in this paper is considerably simplified. The Earth is considered as a regular sphere with no unevenness as mountains, buildings, trees, clouds etc. All these obstacles spawn deterioration in quality of satellite visibility and signal transmission. In reality it is possible to receive signal from 4 to 11 satellites at the time [6].

Table 2: DOP ratings

DOP	Rating
1	Ideal
2 – 3	Excellent
4 – 6	Good
7 – 8	Moderate
9 – 20	Fair
21 – 50	Poor

5. Conclusion

The paper shows on statistical sample that the distribution of satellites above the Earth can influence the estimation of user's position. This can be observed on obtained data from the simulation, where for very poor distribution of satellites a value of 22.9 mean value of GDOP was obtained. Also this distribution causes that for some certain user's positions a GDOP coefficient cannot be calculated due to the lack of necessary amount of satellites. With improved distribution towards even state a mean value of GDOP coefficient lowers and amount of user's positions when GDOP cannot be calculated are eliminated.

Further work will be focused on better approximation of conditions that would approach a real situation that takes into account a loss of signal from satellites, time delays of signals, influence of terrain unevenness etc. Also the possibility of use of neural networks for GDOP approximation will be examined.

References:

- [1] Dana, P.: *Global Positioning System Overview*, available on-line [March 9, 2011] <<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>>
- [2] Zirari, S., Canalda, P., Spies, F.: *Modelling And Emulations Of An Extended GDOP For Hybrid And Combined Positioning System*
- [3] Milliken, R.J., Zoller, C.J.: *Principle of Operation of NAVSTAR and System Characteristics*
- [4] Mironovova, M., Havliš, H.: Calculation of GDOP Coefficient. Studentská tvůrčí činnost, sborník 2011 [CD-ROM]. Praha: ČVUT v Praze, FS, 2011, ISBN 978-80-01-04796-5
- [5] Majda, F.: *Využití umělé inteligence v operačním výzkumu*. Research project, FJFI CTU in Prague, 2009
- [6] Bao, J., Tsui, Y.: *Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach*. John Wiley & Sons, 2000, electronic ISBN 0-471-20054-9
- [7] Kaya, F., Saritas, M.: *A Computer Simulation of Dilution of Precision in the Global Positioning System Using Matlab*. Gazi University, Faculty of engineering and architecture

EXPERIMENTAL SETUP WITH HIGH SPEED PMSM - THEORETICAL ANALYSIS

Experimentální pracoviště s vysokorychlostním Synchroním motorem s permanentními magnety - teoretický rozbor

Martin Novák, Jaroslav Novák, Ondřej Stanke, Jan Chyský

Abstract: This paper describes the theory of high-speed permanent magnet synchronous motor control. The main goal is to create an affordable small (order of kW) power supply preferably for combined electrical energy and heat production, that could be used in households, portable power generators etc.

Key words: Microturbine; High speed permanent magnet motor; Torque control

1. Introduction

In present days there is a clearly visible trend in new energy sources. New principles and devices for power generation are created and developed like solar, wind, tidal power plants and many others. Although a discussion about their utility, environmental friendliness, ecologic impact or efficiency is quite vivid, the technologies are developed very fast and represent an interesting alternative for electrical power produced centrally in thermal or nuclear power plants. There is a boom of local energy production. Irrespectively from the impact to the grid, those solutions provide some advantages to the customer who is a producer at the same time. The locally produced energy can either be used also locally, stored in some form or sold to the power grid in case of a surplus.

One of the principles with good perspectives is the micro energy generation with a micro turbine. This solution uses a miniature gas powered turbine powered e.g. with natural gas, biogas, gasoline etc. The turbine is coupled to a generator providing electrical energy. The advantages over a classical piston based generator are significantly higher efficiency and smaller dimensions for the same output power. They are also less sensitive for fuel impurities. However there are also quite some technological challenges. The turbine is running at very high speeds, usually over 50 000 rpm and with temperatures around 800°C. To couple such a turbine with an electrical generator normally means to use some transmission to reduce the speed and only after the transmission to connect the generator. This however decreases efficiency and produces mechanical problems. One solution is to connect the generator directly to the turbine shaft. In this case the generator has to run at the same speed as the turbine. One promising implementation of the generator is to use a permanent magnet synchronous motor (PMSM) controlled with an inverter. There are some emerging PMSM allowing such high speeds. The main problems of those PMSM are presently mainly the

bearings and also the possible damage of permanent magnets with higher temperatures. Although significant, these issues are however not the scope of this paper. This paper will focus on challenges of inverter control of a high speed PMSM generator and present the experimental setup currently being created.

2. Theoretical analysis of torque control

The lowest feedback control level at high speed drive is the torque control. The standard method for torque control of PMSM goes out from Equation 1.

$$M = 1.5 \cdot p_p \cdot (\psi_d \cdot i_q - \psi_q \cdot i_d) \quad (1)$$

ψ_d is magnetic flux linkage component in axis d, ψ_q is magnetic flux linkage component in axis q, i_d is stator current component in axis d, i_q is stator current component in axis q, p_p is number of pole-pairs on the machine. Using synchronous machine mathematical model equations Equation 1 can be written as

$$\begin{aligned} M &= 1.5 \cdot p_p \cdot [(\psi_f + L_d \cdot i_d) \cdot i_q - L_q \cdot i_q \cdot i_d] = \\ &= 1.5 \cdot p_p \cdot i_q \cdot (\psi_f + L_d \cdot i_d - L_q \cdot i_d) \end{aligned} \quad (2)$$

ψ_f is rotor magnetic flux linkage, L_d is synchronous direct-axis inductance and L_q is synchronous quadrature-axis inductance. If machine works in full magnetic flux mode, the i_d (stator current component in axis d) equals zero and for the torque holds

$$M = 1.5 \cdot p_p \cdot \psi_f \cdot i_q \quad (3)$$

Equation 3 holds for field weakening regime too when $L_d=L_q$. This equality is usually fulfilled on PMSM. In field weakening mode i_d (stator current component in axis d) acts against permanent magnet flux and enables to operate the machine in high revolutions with constant stator voltage. Equation 3 is expressing an analogy with DC machine.

The armature interference given by i_d component is acting against the induced voltage in this mode and allows using the motor with an increasing speed while maintaining constant RMS stator power supply voltage.

Current and torque control can be performed either in transformed coordinate system or by controlling instantaneous stator current with respect of instantaneous rotor position. In full magnetic flux mode the current of given phase is controlled in such a way that the current amplitude occurs in time when the rotor is perpendicular with this phase.

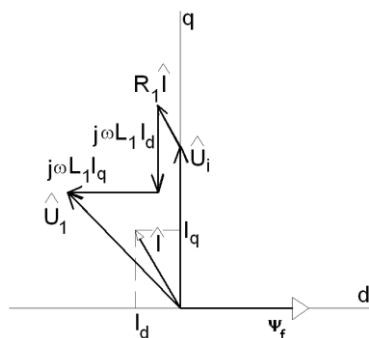


Fig. 1. Phasor diagram of synchronous motor at torque control

Other current values in remaining phases are 120° shifted. The stator current space vector is 90° ahead of the rotor. Space stator current vector of i_d (stator current component in axis d) acts against permanent magnets magnetomotive force (MMF) in field weakening regime. With other words the space vector i_d is 90° ahead according to the stator induced voltage U_i . That means the voltage drop $j\omega L_1 I_d$ has orientation against the induced voltage vector U_i . Generally in weakening regime and when $L_d=L_q=L_1$, the phasor diagram on Fig. 1 shows this situation. i_d equals zero in full flux regime and the space stator current vector lies in quadrature axis q. In Fig. 1 is R_1 stator winding resistance, and U_i is the induced voltage.

The basic feedback structure of the implemented controller is shown on Fig. 2. It is a vector control structure with parallel controllers for current components i_d and i_q . In a full magnetic flux mode current $i_d = 0$ and the spatial stator current vector is in q axis as can be seen on Fig. 1. In a flux weakening mode the control structure creates a non zero i_d current component. Its magnitude increases with increasing speed, increasing current and decreasing inverter input voltage U_{DC} . Calculation of required i_d current component value is done by a feedback controller $\text{Reg } |U|$ and a predictive calculation block. This predictive block is predicting an optimal value i_d^{**} from the instantaneous value of mechanical speed ω and from inverter input voltage U_{DC} . The resulting value of i_d is given by adding the output value from the predictive block and feedback controller. In flux weakening mode this maintains a constant and maximal inverter RMS output voltage as can be seen on Fig. 2.

The described high speed motor with the described control structure on Fig. 2. was tested both in unloaded and loaded state. A good control quality was achieved for speeds up to maximal speed 42 000 RPM.

In this system the key issue is the achievable acceleration of electric motor. A higher acceleration leads to higher required torque and to higher motor current. But higher current produces together with higher frequencies higher voltage drops on stator reactance and on reactance of serial filtering inductors.

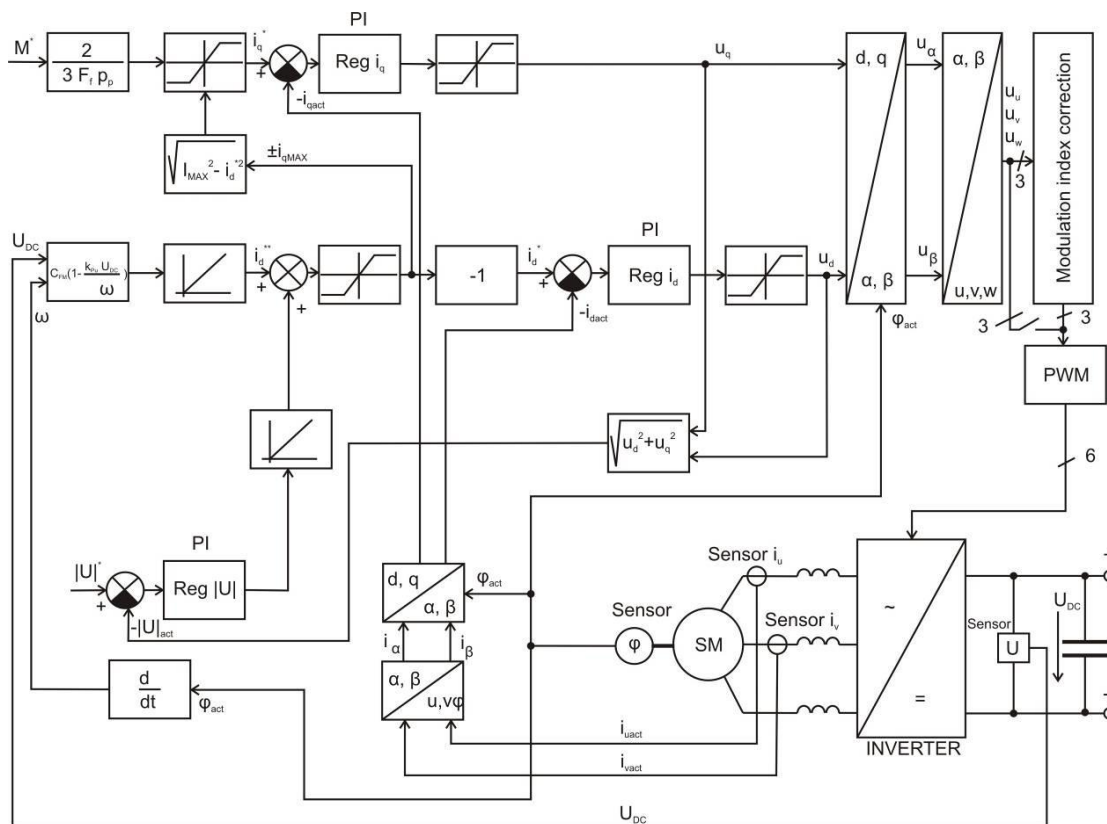


Fig. 2. Torque structure control of high speed drive

3. Load angle limiting in flux weakening mode

The controller structure has to limit the i_q stator current component as not to achieve load angle β over 90° . Also over current protection is required. Therefore also current amplitude has to be limited. The i_q current limiter on Fig. 2 calculates the maximal current based on values of i_q and β . A lower value from those two results is taken.

For high speed motors the i_q limit caused by load angle β maximal value is more common. The implemented method for i_q stator current component limiting is based on phasor diagram on Fig. 3 where stator resistance R_1 is neglected.

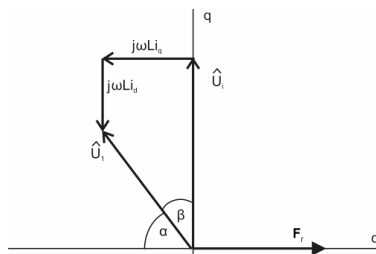


Fig. 3. Principle of load angle limiting

From calculation efficiency point of view and calculation precision and based on the tg function properties the load angle limiting is done by calculation of angle α according to equation:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_i - \omega L i_d}{\omega L i_q} = \frac{\omega F_f - \omega L i_d}{\omega L i_q} \quad (4)$$

where U_i is the induced voltage, L stator inductivity, F_f permanent magnet magnetic flux and ω stator voltage angular speed.

By simplification an equation for maximal i_q current value for a given α_{MIN} is obtained. It can be seen that $\beta=90^\circ$ corresponds to $\alpha=0^\circ$:

$$i_{q\text{MAX}} = \frac{\frac{\Psi_f}{L} - i_d}{\operatorname{tg} \alpha_{\text{MIN}}} \quad (5)$$

Based on the form of tg function and for reasons of some robustness against imprecision and non linearity caused by changes of inductance L , the value of $\alpha_{\text{MIN}}=21$ was chosen. This corresponds to limiting β to 69° and to lower torque of about 7% from the state where $\beta=90^\circ$. There is no feedback control of load angle β when this limiting is activated. The calculation is based only on analytical calculation of mathematical model of motor and motor parameters. For this reason there is some imprecision for limiting angle α calculation in the range from 16° to 26° for a desired value of 21° , $\operatorname{tg} \alpha_{\text{MIN}} = 0,4$. This causes torque fluctuations for about $\pm 3\%$. For this application however this does not pose a problem.

4. Conclusions

This paper presented some general ideas about control of a high speed micro turbine power generator. The experimental system is presently under construction. System components are being tested individually and coupled to the motor and turbocharger. Future work will therefore be the whole system testing at speeds 40 000 rpm with different power generation modes. An advantage of such system is higher efficiency and lower volume as compared to a classical piston generator. The system can also be used for cogeneration as it can provide heat and electrical energy at the same time. At the time being, a disadvantage of this system is its high price as the components are not produced in larger volumes and a more difficult control requiring a DSP. However it can be expected that if a system like this would be produced industrially, its cost would drop considerably

Acknowledgments.

This research was sponsored by the grant no. MSM6840770035 of the Czech Ministry of Education, Youth and Sport. This article is a modified version of paper Microturbine Power Generator presented at 2011 International Conference on Electric and Electronics (EEIC 2011), Nanchang, China.

References

- [1] Čambál, M., Novák, M., Novák, J.: Study of Synchronous Motor Rotor Position Measuring Methods. Zagreb. Korema 2005. p. 62-66. ISBN 953-6037-42-4
- [2] Čeřovský, Z., Mindl, P.: Electric Power Divider for Hybrid Car Propulsion Systems. Aalborg .12th European Conference on Power Electronics and Applications EPE 2007. ISBN 9789075815108
- [3] Čeřovský, Z., Novák, J., Novák, M., Čambál, M.: Digital Controlled High Speed Synchronous Motor. Poznaň. EPE PEMC 2008. p. 997-1002. ISBN 978-1-4244-1742-1.
- [4] Lettl, J., Ratz, R: Contribution to Induction Motor Vector Control. Prague. XIII. International Symposium on Electric Machinery ISEM 2005. ISBN 80-01-03328-7
- [5] Novák, L., Novák, J, Novák, M.: Electrically Driven Compressors on Turbocharged Engines with High Speed Synchronous Motors. Lille. Proceedings of The 8th Electromotion Conference, EPE Chapter "Electric Drives". HEI Graduate School. ISBN 978-2-915913-25-5
- [6] SEMIKRON. 2007. Sixpack IGBT and MOSFET Driver [on line]. [accessed 18.3.2007]. Available on:
http://www.semikron.com/internet/webcms/online/pdf/SKHI_61_71.pdf
- [7] Novotny D.W., Lipo T.A.: Vector Control and Dynamics of AC Drives, Oxford Science Publications Nr 41, 1996
- [8] Lettl, J. - Fligl, S.- Kuzmanovic, D.: Comparison of Different Types of AC/AC Converters. Electronics Device and Systems IMAPS CS International Conference EDS 2006 Proceedings, pp. 427-432, Brno, 2006, ISBN 80-214-3246-2.
- [9] Leuchter, J., Bauer, P., Bojda, P., Rerucha, V.: Bi-directional DC-DC Converters for Supercapacitor Based Energy Buffer For Electrical GEN-SETS. In Proceedings of the 12th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2007). Aalborg, 2007, p. P.1 – P.10. ISBN 9789075815108.
- [10] Shepherd, W., Zhang, L.: Power Converter Circuits, Taylor and Francis, USA, New York, 2004, ISBN 0-8247-5054-3.
- [11] Čeřovský, Z., Novák, J., Novák, M.: High Speed Synchronous Motor Control for Electrically Driven Compressors on Overcharged Gasoline or Diesel Engines, Proceedings of IECON 2009- 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Porto, Portugal 2009, ISBN 978-1-4244-4648-3
- [12] Novák, J., Čeřovský, Z.: Electrical Drive for Compressor on Turbocharged Engine, Proceedings of konference Theoretical and Practical Issues in Transport , Univerzita Pardubice 2010, ISBN 978-80-7395-245-7
- [13] Wildi, T.: Electrical machines, Drives and Power Systems. 6th ed. Pearson Prentice Hall, 2006

EXPERIMENTAL SETUP WITH HIGH SPEED PMSM - RESULT ANALYSIS

Experimentální pracoviště s vysokorychlostním Synchroním motorem s permanentními magnety - Rozbor výsledků

Martin Novák, Jaroslav Novák, Ondřej Stanke, Jan Chyský

Abstract: This paper describes experimental results for an experimental testing stand for micro turbine power generation with high-speed permanent magnet synchronous motor and its control. The main goal of this research is to create an affordable small (order of kW) power supply preferably for combined electrical energy and heat production, that could be used in households, portable power generators etc.

Key words: Microturbine; High speed permanent magnet motor; Torque control

1. Introduction

This paper follows the paper Experimental setup with high speed PMSM - Theoretical analysis and presents obtained experimental results on the previously described setup.

2. Experimental system description

As can be seen from the block diagram on Fig. 4, the experimental system is composed of several blocks. The power network voltage is rectified with an inverter to DC voltage. The inverter has to be able to transfer the energy not only from the power network, but also back. For this reason a standard diode rectifier can not be used, but the structure has to incorporate transistor switches. At the present time this block has not yet been implemented, therefore it is dashed in the diagram.

The DC voltage is supplying an insulated gate bipolar transistor (IGBT) inverter build for this purpose. The inverter is using power module SKM75GD124D and IGBT/MOSFET driver SKHI61 both from Semikron [6]. The inverter is shown on Fig. 5.

For the purposes of control and efficiency measurement, the system is equipped with current and voltage sensors in the DC intermediate circuit and on the three phase output of the inverter. The inverter is connected to PMSM with the following parameters: type 2AML406B-S from VUES Brno, nominal voltage 179V, nominal torque 1,2Nm, nominal current 12,2A, nominal speed 25 000 rpm, maximal speed 40 000 rpm, maximal torque 7Nm. The motor is shown on Fig. 6.

As the control algorithm necessitates information about PMSM rotor position a resolver is embedded into the motor and connected to a developed resolver to digital unit. This unit provides 4096 positions per one revolution [1].

A DSP controller based on TMS320F2812 is used for the control of the whole system. A more detailed description can be found in [3]. This system is shown on Fig. 6.

The turbine is created by means of a standard car turbocharger. This has the advantage of good availability, high reliability and low price. For the purpose of system testing the turbocharger is connected to a compressed air supply, in the future a combustion chamber will be build. Also some other alternatives for the turbine have been considered like a model aircraft turbine or a real aerospace turbine.

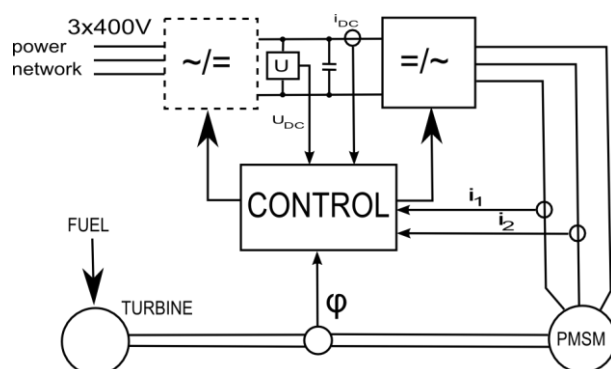


Fig. 4. Block diagram of experimental system



Fig. 5. Experimental IGBT converter



Fig. 6. Used high speed PMSM



Fig. 7. DSP controller with resolver to digital add-on on the top

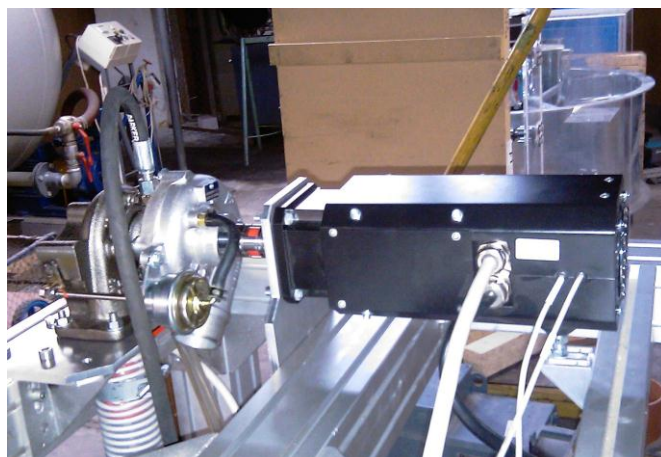


Fig. 8. Coupled high-speed motor with automotive supercharger

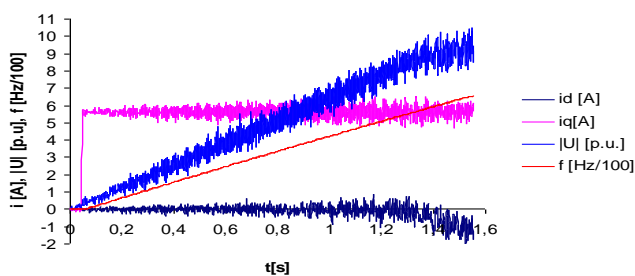


Fig. 9. Current components i_d , i_q , reference voltages and speed(frequency) amplitudes for unloaded startup to 42 000 min

3. Dynamic and energetic motor properties

During experiments with high speed motor startup time for an unloaded motor to 42 000 RPM was measured. This was done for various values of i_q current component and for a high and low internal resistance power supply. In range where flux weakening is not used, the motor dynamic torque is proportional to requested value of i_q current component and with

increasing i_q the startup time reduces significantly. After the transition to flux weakening mode it is necessary to limit also the load angle β and this will limit also i_q current component. The requested i_q current component value will no longer affect acceleration. The higher the requested value of i_q is, the higher the motor current is and the higher are voltage drops on serial inductors and on motor inductance. This reduces motor speed where load angle β limiting starts. This limits partially the influence of higher startup current.

Fig. 10 show waveforms of startup time for unloaded motor. Described dependency UDC 1 was obtained for a high internal resistance power supply and those described as UDC 2 for a low internal resistance power supply. From this figure it can also be seen that a higher internal resistance of the power supply causes longer startup times as a sooner transition to load angle β limiting is required. Fig. 11 show the dependence of energy required for startup based on various values of i_q . The required energy was measured by integrating the product of input current and voltage on the inverter input before the filtering capacitor with a voltage and current probe and a storage oscilloscope.

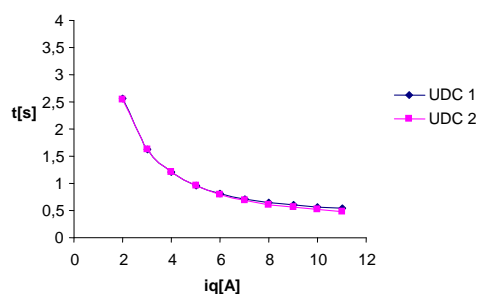


Fig. 10. Dependence of motor startup time on requested value of i_q current component

It can be seen that there is not a significant trend in the dependence and fluctuations are caused by imprecision of measurement. The average energy required for unloaded motor startup is 1400 J.

Motor's moment of inertia was calculated from a motor startup on Fig. 9. In this experiment where the motor was powered with a constant current without field weakening speed 440 Hz ($26\,400\text{ min}^{-1}$) was reached in 0,24 s. The startup current was 11A, this corresponds to torque 1,2Nm. Considering the relatively high current and torque, mechanical losses were neglected in the calculations.

Moment of inertia is

$$J = M \frac{\Delta t}{\Delta \omega_m} = 1,2 \frac{0,24}{2\pi 440} = 0,000104 \text{kgm}^2 \quad (6)$$

Kinetic energy of motor for speed $42\,000\text{ min}^{-1}$ is:

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega_m^2 = \frac{1}{2} 0,000104 \cdot (2\pi 700)^2 = 1005 \text{J} \quad (7)$$

Average efficiency of energy conversion to mechanical energy calculated from average power supply conversion is:

$$\eta = \frac{E_k}{E} = \frac{1005}{1400} = 0,72 \quad (8)$$

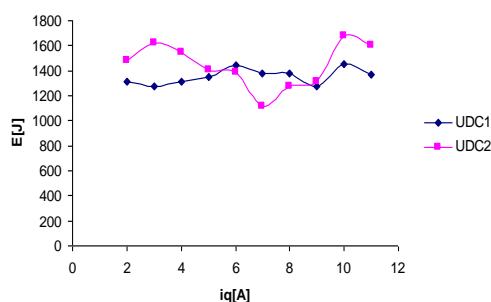


Fig. 11. Dependence of energy required for unloaded startup on requested value of iq

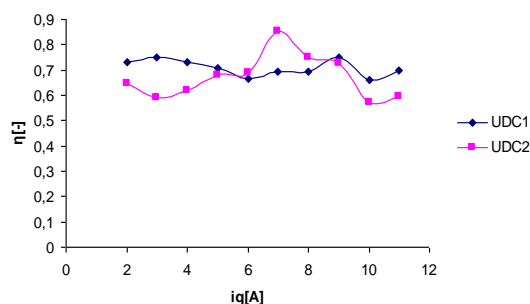


Fig. 12. Dependence of energy conversion efficiency η for dynamic motor startup on iq current component

Fig. 12 shows dependence of energy conversion efficiency η for dynamic motor startup on i_q current component . It can be seen that the variance is probably caused only by uncertainties of measurement and the efficiency is constant around 70%.

4. Conclusions

This paper presented some experimental results from a high speed micro turbine power generator experimental setup. The experimental system is presently under construction. System components are being tested individually and coupled to the motor and turbocharger. Future work will therefore be the whole system testing at speeds 40 000 rpm with different power generation modes.

Acknowledgments.

This research was sponsored by the grant no. MSM6840770035 of the Czech Ministry of Education, Youth and Sport. This article is a modified version of paper Microturbine Power Generator presented at 2011 International Conference on Electric and Electronics (EEIC 2011), Nanchang, China.

References

- [1] Čambál, M., Novák, M., Novák, J.: Study of Synchronous Motor Rotor Position Measuring Methods. Zagreb. Korema 2005. p. 62-66. ISBN 953-6037-42-4
- [2] Čeřovský, Z., Mindl, P.: Electric Power Divider for Hybrid Car Propulsion Systems. Aalborg .12th European Conference on Power Electronics and Applications EPE 2007. ISBN 9789075815108
- [3] Čeřovský, Z., Novák, J., Novák, M., Čambál, M.: Digital Controlled High Speed Synchronous Motor. Poznaň. EPE PEMC 2008. p. 997-1002. ISBN 978-1-4244-1742-1.
- [4] Lettl, J., Ratz, R: Contribution to Induction Motor Vector Control. Prague. XIII. International Symposium on Electric Machinery ISEM 2005. ISBN 80-01-03328-7
- [5] Novák, L., Novák, J, Novák, M.: Electrically Driven Compressors on Turbocharged Engines with High Speed Synchronous Motors. Lille. Proceedings of The 8th Electromotion Conference, EPE Chapter "Electric Drives". HEI Graduate School. ISBN 978-2-915913-25-5
- [6] SEMIKRON. 2007. Sixpack IGBT and MOSFET Driver [on line]. [accessed 18.3.2007]. Available on:
http://www.semikron.com/internet/webcms/online/pdf/SKHI_61_71.pdf
- [7] Novotny D.W., Lipo T.A.: Vector Control and Dynamics of AC Drives, Oxford Science Publications Nr 41, 1996
- [8] Lettl, J. - Fligl, S.- Kuzmanovic, D.: Comparison of Different Types of AC/AC Converters. Electronics Device and Systems IMAPS CS International Conference EDS 2006 Proceedings, pp. 427-432, Brno, 2006, ISBN 80-214-3246-2.
- [9] Leuchter, J., Bauer, P., Bojda, P., Rerucha, V.: Bi-directional DC-DC Converters for Supercapacitor Based Energy Buffer For Electrical GEN-SETS. In Proceedings of the 12th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2007). Aalborg, 2007, p. P.1 – P.10. ISBN 9789075815108.
- [10] Shepherd, W., Zhang, L.: Power Converter Circuits, Taylor and Francis, USA, New York, 2004, ISBN 0-8247-5054-3.
- [11] Čeřovský, Z., Novák, J., Novák, M.: High Speed Synchronous Motor Control for Electrically Driven Compressors on Overcharged Gasoline or Diesel Engines, Proceedings of IECON 2009- 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Porto, Portugal 2009, ISBN 978-1-4244-4648-3
- [12] Novák, J., Čeřovský, Z.: Electrical Drive for Compressor on Turbocharged Engine, Proceedings of konference Theoretical and Practical Issues in Transport , Univerzita Pardubice 2010, ISBN 978-80-7395-245-7
- [13] Wildi, T.: Electrical machines, Drives and Power Systems. 6th ed. Pearson Prentice Hall, 2006

OPTIMALIZACE PROVOZNÍCH PODMÍNEK MALÉHO KOTLE NA BIOMASU

Small Scale Biomass-Fired Boiler Operating Condition Optimization

Cyril Oswald, Bohumil Šulc

Abstrakt: Regulace energetického zařízení, jako je například malý kotel na biomasu, obecně vyžaduje, aby generovaný tepelný výkon pokrýval spotřebovávaný výkon při měnících podmínkách spalování a zátěže. Vyrovnaná bilance se nejčastěji indikuje teplotou otopné vody, která se udržuje na požadované hodnotě nastavením množství paliva. Jak je prezentováno v článku, lze dosáhnout rozšíření této základní regulační funkce o optimalizaci provozních podmínek jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska ekologického. K tomuto účelu je navržen optimalizační algoritmus minimalizující spotřebu paliva a produkci CO s využitím nastavení spalovacího vzduchu. Jedná se o speciální uplatnění principu extrémní regulace doplňující standardní regulaci teploty otopné vody.

Klíčová slova: regulace, extrémní regulace, kotel, biomasa, optimalizace, provozní podmínky

1. Úvod

Při řízení spalování v malém kotli pro ohřev otopné vody je hlavním úkolem regulace udržet teplotu ohřívání vody na žádané hodnotě. Hodnocení kvality regulace a její dosažení seřizováním regulátoru se řeší standardním postupem. Nicméně kvalitní regulace teploty není v tomto případě jediným cílem. Protože produkci tepla potřebnou k udržení teploty lze dosáhnout za rozdílných podmínek spalování, stává se zajímavým a důležitým úkolem, jak dosáhnout tohoto úkolu co nejefektivněji a to jak z hlediska ekonomického (minimální spotřeba paliva) tak i z hlediska ekologického (minimální množství sledovaných škodlivin ve spalinách).

Ukazuje se, že jednou z možností, jak dosáhnout z ekonomického hlediska kvalitnější regulace, je například použití PI regulace dodávky paliva místo obvykle využívané dvoupolohového dávkování. Dosažení dalšího zlepšení spalovacích podmínek je možné pomocí regulace množství přiváděného spalovacího vzduchu, tedy nalezením jeho optimálního přebytku. Úkolem takového regulátoru s rozšířenou funkcí je zajištění, nalezení a udržení optimálních podmínek spojených s dosažením extrému na zvolené sledované veličině (účinnost, množství CO apod.), jež je funkcí přebytku vzduchu.

2. Extremální regulace

Cílem standardní extremální regulace je dosáhnout pomocí akčního zásahu extremálního regulátoru maxima nebo minima veličiny sloužící jako hodnotící kritérium. Jde tedy v podstatě o samočinnou optimalizaci, jejímž cílem je dosáhnout chování jako u optimálních systémů. Realizace extremální regulace se opírá o dva vzájemně se ovlivňující obvody: základní regulační obvod v klasickém zpětnovazebním zapojení regulátoru a regulovanou soustavou do jednosmyčkového obvodu a obvodu extremální regulace, v němž regulátor pro dosažení extrému využívá další vstupní veličiny soustavy, která má vliv na dosažení extrému zvolené hodnotící funkce (obvykle uvažované jako statická závislost, např. u spalovacího procesu k dosažení jako závislost maximální teploty plamene na poměru palivo – vzduch.

Extremální regulace se dělí na několik typů dle metody, jakou extremální regulátor využívá k vyhledání extrému [1]:

- extremální regulace s periodickým pokusným signálem
- extremální regulace s krokovou změnou akční veličiny
- extremální regulace s vyhodnocením znaménka derivace

Extremální regulace s periodickým pokusným signálem

Při použití postupu s periodickým pokusným signálem je k akční veličině extremálního regulátoru přičítán harmonický signál. Informaci o tom, v kterém bodě statické charakteristiky se řízený proces nachází, lze získat vyhodnocením přenosu přičítaného periodického signálu na regulovanou veličinu.

Extremální regulace s krokovou změnou akční veličiny

Hodnota akční veličiny extremálního regulátoru se v tomto případě mění v pravidelných intervalech o daný malý přírůstek v kladném či záporném směru. Po vyhodnocení dopadu poslední změny akční veličiny extremálního regulátoru na řízenou veličinu se odpovídajícím způsobem přizpůsobí znaménko následujícího přírůstku. Dosažení extrému je signalizováno pravidelnými změnami znaménka přírůstku.

Extremální regulace s vyhodnocováním znaménka derivace

Při tomto přístupu se pravidelně vyhodnocuje podíl derivací akční veličiny extremálního regulátoru u_e a regulované veličiny y dle času (2.1) a akční veličina se mění lineárně dle tohoto podílu.

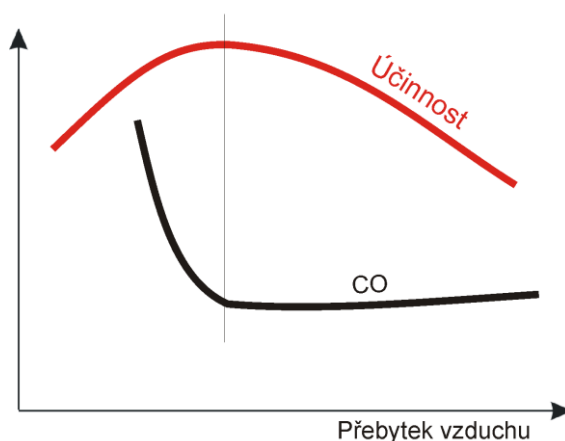
$$v = \frac{\dot{y}}{\dot{u}_e} \quad (2.1)$$

3. Princip extremalizace při optimalizaci provozních podmínek malého kotle na biomasu

Základní optimální pracovní bod u spalovacího procesu je zřejmě ten, v němž je dosaženo maximální účinnosti spalování. U malých kotlů na biomasu má závislost účinnosti na přebytku vzduch podle obrázku 1 takovou vazbu na produkované množství CO, že při

dosažení maximální účinnosti spalování je zároveň dosaženo i minimálního množství CO. Společně s dosažením ekonomického optima je dosaženo i jednoho z ekologických optim.

Tohoto optimálního bodu lze tedy dosáhnout buď nalezením maxima účinnosti spalování, nebo nalezením minima množství produkovaného CO. Přímé hledání obou z ukazatelů extrému je technicky a cenově náročné a pro malé kotle tudíž nevhodné. Byl proto navržen originální nepřímý způsob vyhodnocování založený na předpokladu, že závislosti účinnost spalování je spojena s množstvím dodávaného paliva nutného k udržení potřebného výkonu. Zřejmě množství dodávaného paliva bude minimální, když účinnost spalování je maximální. K dosažení optimálního pracovního bodu lze dosáhnout minimalizací spotřeby paliva, tedy minimalizací akční veličiny hlavního regulátoru teploty.



Obr. 1: Závislost účinnosti a množství CO ve spalínách na přebytku vzduchu

K tomuto účelu jsme navrhli optimalizační algoritmus kooperace změn akční veličiny regulující teplotu s akčními změnami v dodávce vzduchu. Na místo nalezení extrému regulované veličiny je jeho úkolem nalezení minima akční veličiny hlavního regulátoru – minima aktuální dodávky paliva, dosahované změnami aktuální dodávky spalovacího vzduchu. K tomu se však nepředpokládá, že bude mít tento optimalizační algoritmus k dispozici absolutní množství právě dodávaného vzduchu. Jeho akční veličinou jsou tedy žádané otáčky ventilátoru. Vzhledem k tomu, že extremalizovaná funkce závislosti účinnosti spalování na přebytku vzduchu není známá, a je proměnná v závislosti na vlastnostech paliva a aktuální zátěži kotle, byl optimalizační algoritmus navržen tak, aby realizoval malé krokové změny otáček regulátoru a vyhodnocoval jejich dopad na akční veličinu regulátoru teploty.

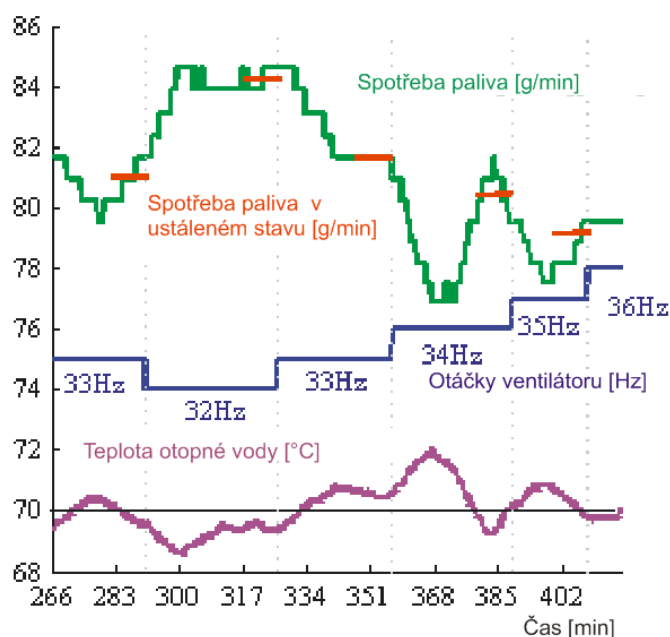
Přebytek vzduchu řízeny přes optimalizační algoritmus a množství dodávaného paliva potřebného k udržení žádané teploty otopné vody řízené regulátorem teploty se navzájem ovlivňují. Důležitá a zároveň nejsložitější je koordinace těchto dvou činností, která je zatím prováděna přes detekci ustálené teploty. Regulace tedy vykonává dvě hlavní činnosti:

- udržení žádané teploty otopné vody
- vyhodnocování ustáleného stavu

Z toho, že navržený algoritmus pracuje jen v ustáleném stavu, navíc vyplývá, že je vhodný pro režimy, kdy nedochází k častým krátkodobým změnám poruchových veličin.

Z důvodu velké časové náročnosti navržené optimalizace, kdy jeden krok trvá 30 – 60 minut, byl navržený algoritmus nejdříve testován na velice zjednodušeném lineárním matematickém modelu kotle a na reálném zařízení byl vyzkoušen zatím jen jednou. Výsledek tohoto experimentu na reálném zařízení je na obrázku 2.

Z tohoto experimentu vyplývá, že navržený algoritmus v zásadě funguje. Jako hlavní problémy se jeví hlavně problematika vyhodnocení ustáleného stavu a vyhodnocení aktuální spotřeby paliva. U vyhodnocení ustáleného stavu bylo zatím použito jednoduchých pravidel, kdy se vyhodnocovalo, zda je regulační odchylka hlavního regulátoru po danou dobu v daných mezích. U vyhodnocení aktuální spotřeby bylo použito jednoduchého plovoucího průměru.



Obr. 2: Výsledek experimentu – optimalizace spalovacího poměru prostřednictvím změny otáček ventilátoru na základě vyhodnocování aktuální spotřeby paliva

4. Závěr

Navržený postup optimalizace provozních podmínek malého kotle na biomasu je už nyní z principu funkční. Je potřeba vylepšit postup vyhodnocování ustáleného stavu a dopadu změny akční veličiny optimalizačního algoritmu na spotřebu paliva. Dále je cílem učinit navržený algoritmus více „inteligentní“ tak, aby byl schopen odhadnout kromě směru i potřebnou velikost změny, nebo aby byl schopen částečně ustoupit z nalezeného extrému tak, aby bylo dosaženo kompromisu i s jinými možnými ekologickými optimy (např. NO_x). Pro tyto účely je zkoušena implementace umělé inteligence.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS10/252/OHK2/3T/12.

Literatura

- [1] Švec, J., kol.: *Příručka automatizace a výpočetní techniky*. Praha: SNTL, 1971.
- [2] B. Šulc, C. Oswald. *Enhanced PID Controllers in Combustion Control*, In: Proceedings of International Conference on development, Energy, Environment, Economics (DEEE '10). Puerto De La Cruz, Tenerife: WSEAS Press. 2010. pp. 44-49. ISSN: 1792-6653. ISBN: 978-960-474-253-0.
- [3] J. Haapa-aho, T. Korpela, T. Björkqvist, J. Hrdlicka, V. Placek, S. Vrána, B. Šulc. *Continuous Kontrol Issues Concerning Operation Improvement of Small-Scale Biomass Boilers*. Submitted for 18th IFAC World Congress, Milano, Italy.
- [4] C. Oswald, B. Šulc: *Achieving Optimal Operating Conditions in PI Controlled Biomass-fired Boilers*. Submitted for 12th International Carpathian Control Conference - ICC 2011.
- [5] C. Oswald, S. Vrána, B. Šulc. *Evaluation of Frequency Responses from Simultaneous Multiple Harmonic Excitation in a Closed Control Loop*. In: Sborník příspěvků XXXV. semináře ASR'2010. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, pp. 281-286. ISBN 978-80-248-2191-7.
- [6] S. Vrána, B. Šulc, C. Oswald. *Evaluation of Open-Loop Frequency Indicators in a Closed Loop for PID Controller Autotuning*. In: Proceedings of the 49th IEEE Conference on Decision and Control [CD-ROM]. Madison: Omnipress. 2010. pp. 4649-4654. ISBN 978-1-4244-7744-9.

ODHAD TOKU TEPLA DO RŮZNÝCH TYPŮ PŮDNÍHO PROSTŘEDÍ

The Estimation of the Heat Flux into the Variously Enviroments

Růžena Petrová

Abstrakt: Podmínky přirozené rovnováhy ekosystémů jsou narušovány současným dynamickým vývojem společnosti. K popisu této rovnováhy je standardně využívána tzv. základní energetická bilanční rovnice, kde rozhodující energetické vlivy představují celková čistá radiace, evapotranspirace, zjevné teplo a tok tepla do půdy. Tepelná energie se z povrchu do půdy šíří vedením. V článku je popsán možný model odhadu tepelného toku z povrchu půdy do třech různých prostředí – tzv. rostlé země, rašeliny a písku. Vypočítaná hodnota tepelného toku je porovnána s jeho naměřenými hodnotami v odpovídající hloubce.

Klíčová slova: Energetická bilance, Fourierův zákon vedení tepla, tok tepla do půdy v různých prostředích.

1. Úvod

Při matematickém popisu rovnováhy ekosystému je nutné vycházet z jeho energetické a hmotnostní bilance, resp. sledovat dynamický vývoj veličin, které do ní vstupují a významně ji ovlivňují. Na území Třeboňska o rozloze několika desítek km² bylo instalováno 17 meteorologických stanic, které prostřednictvím instalovaných čidel snímají v intervalu 10ti min. hodnoty reprezentativních veličin. V rámci sítě GSM jsou tato data 2x denně vysílána a archivována na datovém serveru. Společnost Fiedler a Mágr, které server patří, k nim umožňuje přístup registrovaným uživatelům prostřednictvím Internetu.

2. Teplotně vlhkostní model toku tepla do půdy

Na přenosu tepla do půdy se podílí především kondukce – vedení tepla v důsledku konečného rozdílu teplot v pevné fázi hmoty [1]. Intenzita vertikálního tepelného toku v půdě G [W.m⁻²] vlivem vedení tepla, tj. množství tepelné energie, které následkem vedení tepla za jednotku času projde horizontálně orientovanou jednotkou plochy, je přímo úměrná vertikálnímu gradientu [2]

$$G = -\lambda \frac{dT(z)}{dz} \quad (2.1)$$

Ve sledovaného objemu přílivem tepla vedením vzroste za jednotku času teplota půdy $T(z)$. Tuto změnu lze pro příslušnou hloubku a čas s pomocí tzv. materiálových konstant λ , resp. c a ρ stanovit následujícím vztahem

$$\frac{\partial T(z)}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{\partial^2 T(z)}{\partial z^2} \quad (2.2)$$

λ koeficient tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],

c měrné teplo [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$],

ρ měrná hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

$T(z)$ teplota v hloubce [K],

z hloubka [m],

kde výraz

$$\frac{\lambda}{c \cdot \rho} = \frac{\lambda}{C} = a \quad (2.3)$$

představuje tepelnou difuzivitu a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] a $C = c\rho$ [$\text{JK}^{-1}\text{m}^{-3}$] tepelnou kapacitu. Substitucí výrazu (2.3) do (2.2) rovnice vedení tepla získá tvar

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (2.4)$$

Řešení rovnice vývoje teploty $T(z)$ (2.4) pro příslušnou hloubku v půdě z vyjadřují následující vztahy (2.5) a (2.6) [3]. Pro odhad vývoje teploty „povrchu“ půdy ($z = 0$ m) tak lze použít rovnici

$$T(0, t) = T_\phi + A(0) \sin[\omega(t - t_0)] \quad (2.5)$$

vývoj teploty v hloubce z pak představuje výraz

$$T(z, t) = T_\phi + A(0) \exp\left(-\frac{z}{D}\right) \sin\left[\omega(t - t_0) - \frac{z}{D}\right] \quad (2.6)$$

kde

$$D = \sqrt{\frac{a\tau}{\pi}} \quad (2.7)$$

D [m] útlum šíření teplotní vlny,

τ [s] perioda teplotních změn,

ω [s^{-1}] úhlová frekvence teplotních změn.

3. Stanovení hodnoty toku tepla do půdy

Hodnota difuzivity a (2.3) spolu s tzv. tepelnou kapacitou C umožňuje stanovit hodnotu tepelné vodivosti λ prostředí, jehož tepelné vlastnosti jsou zkoumány

$$\lambda = aC \quad (3.1)$$

Použití (2.6), resp. (2.5) ve vztahu (2.1) dává možnost stanovit možný tok G ve sledované hloubce půdního prostředí z

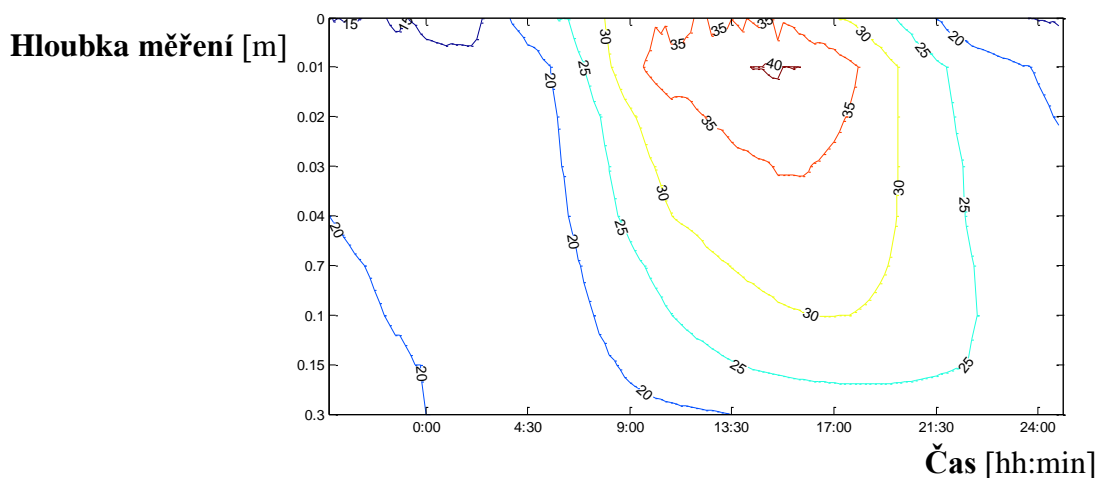
$$\begin{aligned} G(z, t) &= -\lambda \left[\frac{A_0}{D} e^{-\frac{z}{D}} \sin \left[-\omega(t - \tau_z) + \frac{z}{D} \right] - \frac{A_0}{D} e^{-\frac{z}{D}} \cos \left[-\omega(t - \tau_z) + \frac{z}{D} \right] \right] = \\ &= \frac{-\lambda A_0}{D} e^{-\frac{z}{D}} \left[\sin \left[-\omega(t - \tau_z) + \frac{z}{D} \right] - \cos \left[-\omega(t - \tau_z) + \frac{z}{D} \right] \right], \end{aligned} \quad (3.2)$$

Pro hodnotu toku z povrchu ($z = 0$) do půdního prostředí pak vyplyne následující vztah [4]

$$G(0, t) = G_0(t) = \frac{-\lambda A_0}{D} [\sin[-\omega(t - \tau_0)] - \cos[-\omega(t - \tau_0)]] \quad (3.3)$$

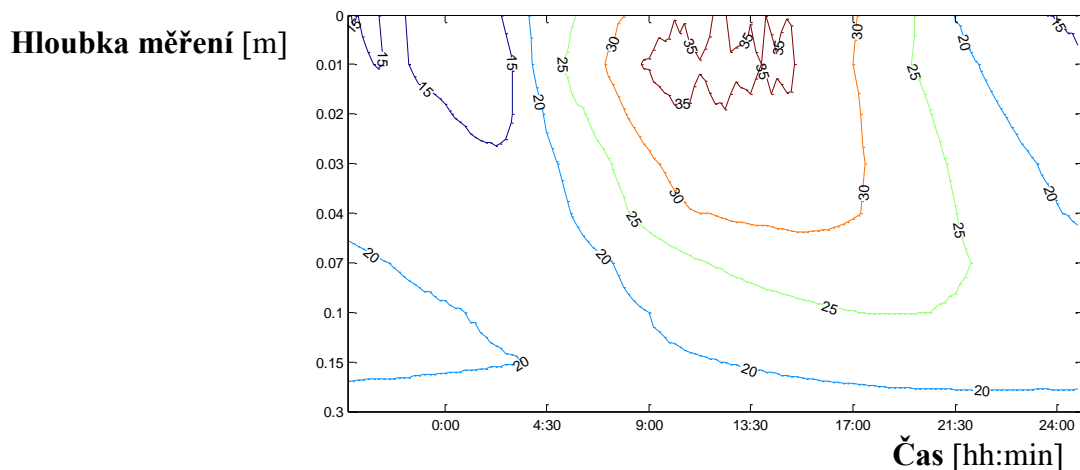
4. Odhad tepelného toku G do tří různých prostředí

V okolí meteorologické stanice vrt Domanín byly vytvořeny podmínky pro sledování teplot v půdě, objemové vlhkosti a tepelných toků ve třech různých prostředích. Do vykopaných jam byly umístěny fyzikálně rozdílné materiály (rašelina, písek), mezi kterými zůstala vrstva tzv. rostlé země. Ve všech uvedených prostředích byly umístěny sady teploměrů Pt100, v nejvyšší vrstvě po 0,01 m (-0,01; -0,02; -0,03 a -0,04 m), dále v hloubce 0,07, 0,1, 0,15 a 0,3 m. Objemová vlhkost je měřena čidlem VIRRIB a tepelný tok čidlem fy Hukseflux.

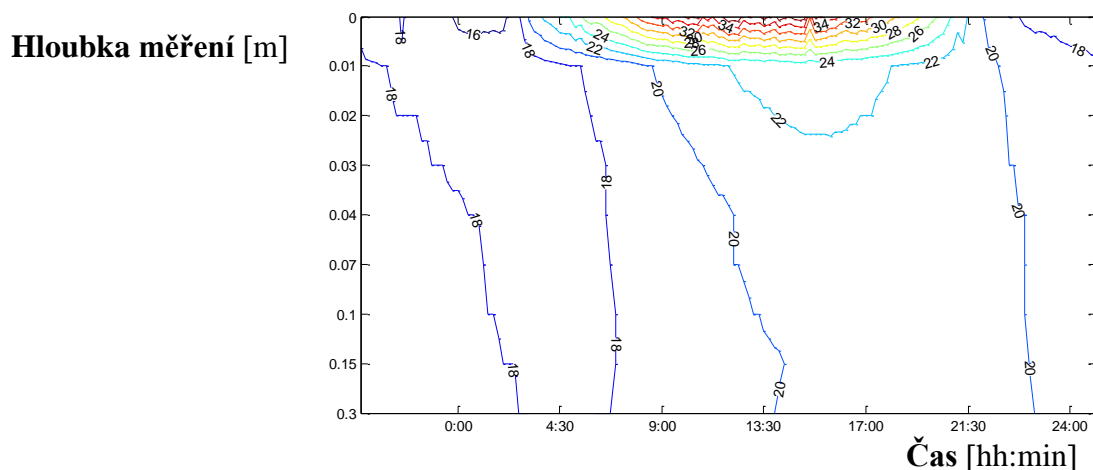


Obr. 4.1 Rozložení teplot ve vrstvě písku 2.7.2010 vrt Domanín

Obrázky (Obr. 4.1, Obr. 4.2, Obr. 4.3) naznačují rozložení teplot v uvedených prostředích dne 2.7.2010 na stanici vrt Domanín.



Obr. 4.2 Rozložení teplot ve vrstvě rašeliny 2.7.2010 vrt Domanín



Obr. 4.3 Rozložení teplot v rostlé zemi 2.7.2010 vrt Domanín

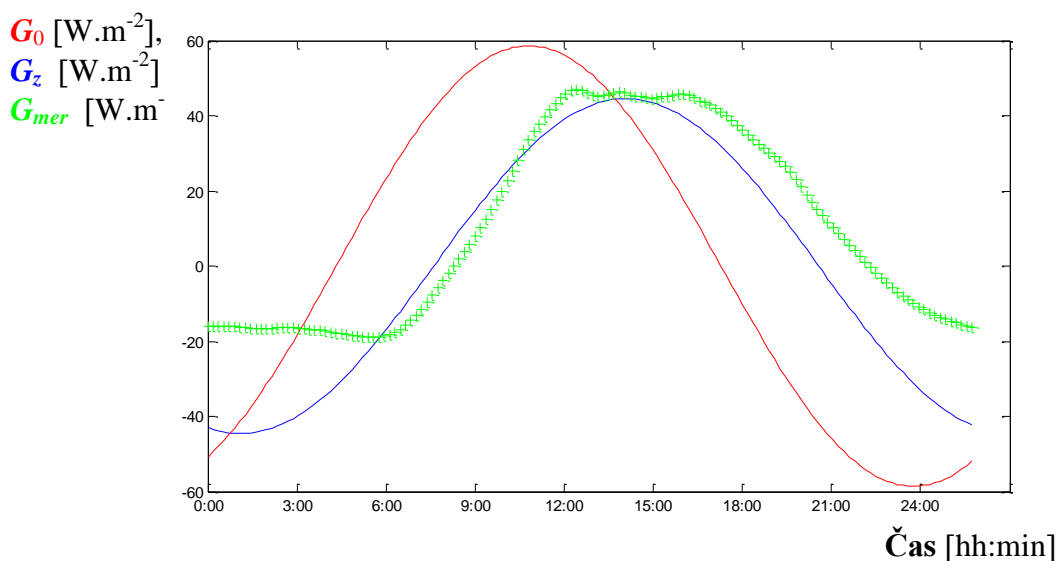
Měřené půdní teploty umožnily stanovit difuzivity všech prostředí využitím vztahu [5].

$$a = \frac{\pi}{24.3600} \left[\frac{\frac{z_{0,08}}{z_0}}{\ln\left(\frac{A_z}{A_0}\right)} \right]^2 \quad (4.1)$$

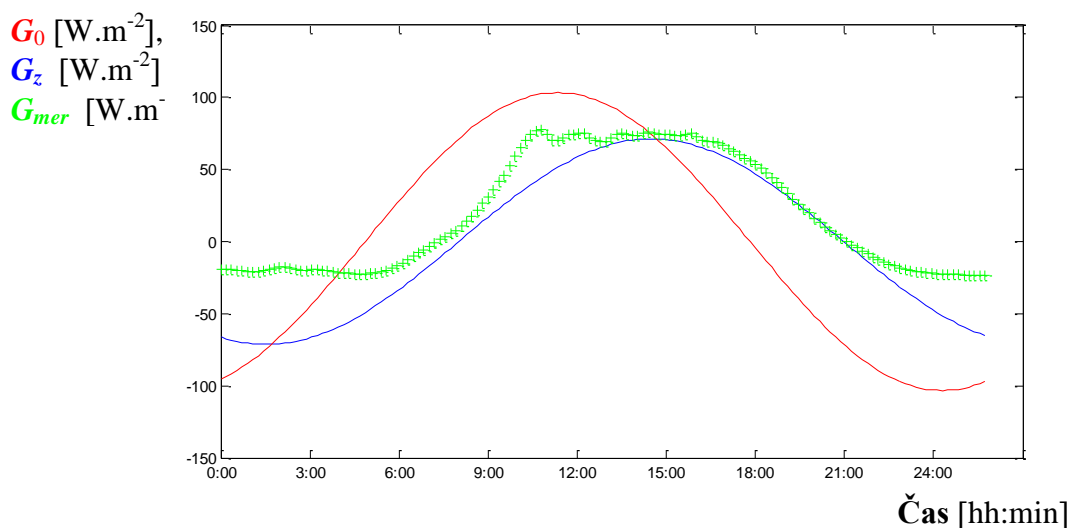
- A_0 amplituda radiační teploty povrchu $z=0$ m
- A_z amplituda teploty měřené v hloubce $z=0,04$ m.

Z obr.4.4, obr. 4.5 a obr. 4.6 jsou patrné průběhy měřených toků tepla v hloubce $z=0,04$ m, jejichž hodnoty spolu s vypočítanými difuzivitami (4.1) umožnily stanovit tepelné kapacity všech sledovaných prostředí a možný tok G z povrchu do těchto prostředí. Hodnoty tepelné

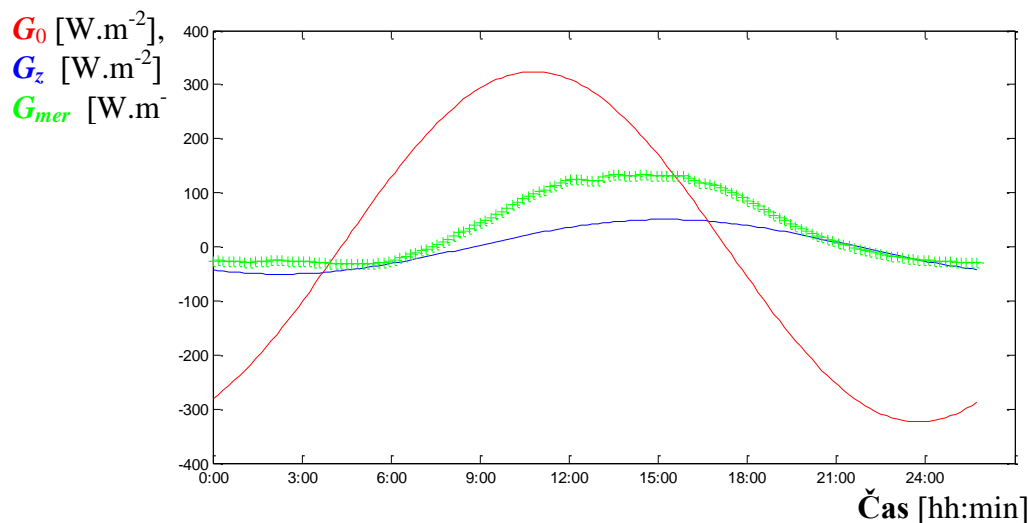
kapacity C pro písek ($0,7 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ při nízké objemové vlhkosti 12 %) a rašelinu ($1,6 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ při objemové vlhkosti 30,4 %) odpovídají předpokladům, obě prostředí jsou výrazně homogenní v porovnání s tzv. rostlou zemí. Vypočítaná hodnota tepelné kapacity rostlé země je poměrně vysoká ($2,2 \cdot 10^7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ při objemové vlhkosti 35%). Bude zpřesněna na základě fyzikální analýzy půdního prostředí, která se provádí. Stanovená hodnota měrné hmotnosti ρ umožní vypočítaný údaj zkorigovat. Hodnoty toků (3.2, 3.3) vstupujících z povrchu do půdních prostředí jsou patrné z Obr. 4.4, Obr.4.5 a Obr.4.6.



Obr.4.4 Průběh měřeného toku tepla do písku a toků dle modelu 3.2, resp. 3.3.



Obr.4.5 Průběh měřeného toku tepla do rašeliny a toků dle modelu 3.2, resp. 3.3.



Obr.4.6 Průběh měřeného toku tepla do rostlé země a toků dle modelu 3.2, resp. 3.3.

5. Závěr

Chemické a fyzikální rozborů umožní zpřesnit hodnoty měrné hmotnosti všech sledovaných půdních prostředí a tím i výpočet materiálových konstant, které ovlivňují výpočet toku. Zjištění závislosti difuzivity písku, rašeliny i rostlé země v oblasti stanice vrt Domanín na jejich objemové vlhkosti budou provedeno z měřených dat pro různá roční období.

Poděkování

Tento projekt byl podpořen grantem MŠMT Nr. 5406001.

Literatura

- [1] Sazima M., Kmoníček V., Schneller J., kol. Teplo. Praha: SNTL. 1993.716. ISBN 80-85341-42-5.
- [2] Vries D.A.. Thermal Properties of Soils. Physics of Plant Environment. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1966. ISSN: 0361-5995.
- [3] Cambel G. S., Norman J. M.. An Introduction to Environmental Biophysics. New York: Springer, 1998. ISBN 0-387-94937-2.
- [4] Montheith J., Unsworth H, M.. Principles of Environmental Physics. Oxford: Elsevier. 2008.291. ISBN 978-0-12-505103-3.
- [5] Hinkel K. M.. Estimating Seasonal Values of Thermal Diffusivity in Thawed and Frozen Soils Using Temperature Time series. *Cold Regions Science and Technology*, 1997. ISSN 0165-232X.

WEIGHT ADAPTATION STABILITY OF STATIC QUADRATIC NEURAL UNIT

Stabilita vah při adaptaci statické kvadratické neuronové jednotky

Ricardo Rodriguez, Ivo Bukovsky, Jiri Bila

Abstract: This paper is focused on weight adaptation stability analysis of static quadratic neural unit (QNU) which is considered a high nonlinear approximator. The aim of this paper is to provide verifiable conditions in which the weight system of QNU is stable during real time adaptation. The paper presents a novel approach toward stability of static QNU before we focus on stability of the dynamic type of QNU.

Key words: static quadratic neural unit, stability, weight system, matrix of dynamics, eigenvalues

1. Introduction

Dealing with nonlinearities and uncertainties has been of major interest of artificial neural networks (ANN). Due to their inherent approximation capabilities the ANN has been extensively used in modeling of high complex nonlinear dynamic systems. These architectures can approximate spatio-temporal data by providing to the input of the network past inputs and past outputs.

QNU is known as type of higher order neural unit [1][2][5], and comparing with the traditional neural networks, QNU is able to provide us with good quality of nonlinear approximation [3]. In addition, the mathematical structure is relatively comprehensible due to the minimum number of neural parameters. Basic concepts of learning and adaptation were reviewed in [4]. The QNU performs a quadratic operation using an $(1+n)(1+n)$ upper triangular weight matrix \mathbf{W} , this operation is the neural output of the QNU and can be written as (1), where the vector \mathbf{x} denotes $(1+n) \times 1$ vector with bias $x_0 = 1$, and x_i denotes individual inputs (scalars). The input vector and the weight matrix structure are shown in (2).

$$y_n = \sum_{i=0}^n \sum_{j=i}^n x_i x_j w_{ij} = \mathbf{x}^T \mathbf{W} \mathbf{x} \quad (1)$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{00} & w_{01} & \cdots & w_{0n} \\ 0 & w_{11} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & w_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} 1 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

We adapt the static QNU every k -th sample by means of sample by sample adaptation as follows

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \Delta w_{ij}(k) \quad (3)$$

Where the incremental change for the weight updating is performed by gradient descent as follows

$$\Delta w_{ij} = -\frac{1}{2} \mu \frac{\partial e^2(k)}{\partial w_{ij}} = \mu \cdot e(k) \cdot \frac{\partial (y_r(k) - y_n(k))}{\partial w_{ij}} = \mu \cdot e(k) \cdot \frac{\partial (\mathbf{x}^T \mathbf{W} \mathbf{x})}{\partial w_{ij}} \quad (4)$$

Where y_n stands for the neural output, y_r is the real value, μ is the learning rate, and the error is defined as

$$e(k) = y_r(k) - y_n(k) \quad (5)$$

According to the sample by sample adaptation presented in (3), the adaptation of all individual weights is as follows

$$\begin{aligned} w_{00}(k+1) &= w_{00}(k) + \mu \cdot e(k) \cdot x_0 \cdot x_0 \\ w_{01}(k+1) &= w_{01}(k) + \mu \cdot e(k) \cdot x_0 \cdot x_1 \\ &\vdots \\ w_{0n}(k+1) &= w_{0n}(k) + \mu \cdot e(k) \cdot x_0 \cdot x_n \\ w_{11}(k+1) &= w_{11}(k) + \mu \cdot e(k) \cdot x_1 \cdot x_1 \\ &\vdots \\ w_{1n}(k+1) &= w_{1n}(k) + \mu \cdot e(k) \cdot x_1 \cdot x_n \\ &\vdots \\ w_{nn}(k+1) &= w_{nn}(k) + \mu \cdot e(k) \cdot x_n \cdot x_n \end{aligned} \quad (6)$$

As it is shown in the adaptation of each individual weight in (6), all weights might appear as linear (when inputs in \mathbf{x} are considered as if they were time-varying parameters of weight system in (6)), so we can transform the adaptation weights into state-space form. To carry out the weight adaptation stability, we can see it in (6) that we may introduce the following column vectors

$$\mathbf{colW} = \begin{bmatrix} w_{00} \\ w_{01} \\ \vdots \\ w_{0n} \\ w_{11} \\ \vdots \\ w_{1n} \\ \vdots \\ w_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} = \begin{bmatrix} x_0 \cdot x_0 \\ \vdots \\ x_0 \cdot x_n \\ x_1 \cdot x_1 \\ \vdots \\ x_1 \cdot x_n \\ \vdots \\ x_n \cdot x_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

Where \mathbf{colW} corresponds to the transformation of the weight matrix \mathbf{W} into a long weight column vector which contains all the weights ordered from every row of the upper triangular weight matrix, and $\mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\}$ stands for a column vector of input multiplications as it was shown in the adaptation for each individual weight (6). The dimensionality of the above vectors is $(n_w \times 1)$, where n_w represents the number of weights, and it can be calculated as $n_w = \frac{(n^2 + n)}{2}$.

Then, the vector \mathbf{colW} at time $k+1$ is expressed as the linear combination of weight vector in order to be able to transform the weight system into state-space form as in (8).

$$\mathbf{colW}(k+1) = \mathbf{colW}(k) + \mu \cdot e(k) \cdot \mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} \quad (8)$$

The next section shows further substitution for error $e(k)$ that results in evaluation of weight system stability of static QNU at every sample time k .

2. Static Quadratic Neural Unit Weight Stability

In order to influence the weight adaptation stability of static QNU, let us enhance the weight adaptation system (6) to (7) using individual learning rates for each weight as follows

$$\begin{aligned} w_{00}(k+1) &= w_{00}(k) + \mu_0 \cdot e(k) \cdot x_0 \cdot x_0 \\ w_{01}(k+1) &= w_{01}(k) + \mu_1 \cdot e(k) \cdot x_0 \cdot x_1 \\ &\vdots \\ w_{0n}(k+1) &= w_{0n}(k) + \mu_n \cdot e(k) \cdot x_0 \cdot x_n \\ &\vdots \\ w_{nn}(k+1) &= w_{nn}(k) + \mu_{n_w} \cdot e(k) \cdot x_n \cdot x_n \end{aligned} \quad (9)$$

The weight system (9) can be then expressed in matrix form as follows

$$\mathbf{colW}(k+1) = \mathbf{colW}(k) + \mathbf{M} \cdot e(k) \cdot \mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} \quad (10)$$

Where \mathbf{M} is $(n_w \times n_w)$ diagonal matrix of individual learning rates, see (11).

$$\mathbf{colW}(k+1) = \mathbf{colW}(k) - \mathbf{M} \cdot \mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} \cdot \mathbf{row}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} \cdot \mathbf{colW}(k) \quad , \quad (17)$$

where

$$\mathbf{row}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} = \mathbf{col}\{\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j\}^T \quad (18)$$

Then, we can obtain a step-by-step customizable matrix representation of the weight system as follows

$$\begin{bmatrix} w_{00}(k+1) \\ w_{01}(k+1) \\ \vdots \\ w_{nm}(k+1) \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mu_0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mu_1 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & \mu_{n_w} \end{bmatrix} \cdot (\mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} \cdot \mathbf{row}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\}) \right) \begin{bmatrix} w_{00}(k) \\ w_{01}(k) \\ \vdots \\ w_{nm}(k) \end{bmatrix} \quad (19)$$

Taking into account the representation of the weight dynamics system (19), it can be rewritten as follows

$$\mathbf{colW}(k+1) = (\mathbf{1} - \mathbf{M} \cdot \mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} \cdot \mathbf{row}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\}) \cdot \mathbf{colW}(k) \quad (20)$$

where $\mathbf{A} = (\mathbf{1} - \mathbf{M} \cdot \mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} \cdot \mathbf{row}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\})$ and $\mathbf{1}$ denotes $(n_w \times n_w)$ identity matrix. Then, we apply the stability criteria using (20), if the maximum absolute value of eigenvalues of \mathbf{A} is less than 1, then we conclude that the weight system is stable (contractive) at time k . However, we are interested to maintain at least non-expansiveness of the weight system during adaptation by less strict condition of stability as

$$\text{Max} | \text{eig}(\mathbf{1} - \mathbf{M} \cdot \mathbf{col}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\} \cdot \mathbf{row}\{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j\}) | \leq 1 \quad (21)$$

Therefore, we calculate the incremental change for the weight updating by (4) and we adapt the static QNU for each k -th sample as it was shown in (3).

When the stability condition (non-expansiveness) of weight system (21) is not satisfied, we recalculate the learning rate by random vector δ of dimension $(1 \times n_w)$ and slightly modify the vectors of learning rates as follows

$$\boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\mu} * (1 - \delta / 5) \quad (22)$$

in order to maintain the condition (21).

Dividing the random vector rate δ by , e.g., 5 allows keeping the learning rate very close to the original values; however, the eigenvalues of the autonomous part of the weight update system are thus modified. Then, after recalculating the new learning rate, we evaluate again the maximum absolute eigenvalues according to condition (21). In case the new learning rate matrix influence the stability condition so (21) is satisfied, the QNU is updated. Otherwise, the learning rate matrix \mathbf{M} is changed again until we get at least non-expanding autonomous part of weight dynamic update system.

3. Conclusions

This paper introduced a stability evaluation approach to ensure the stability of weight update system of static QNU. The stability analysis is based on the eigenvalues of state-space representation of the weight update dynamic system for gradient descent adaptation rule.

Acknowledgement

This work was supported by grants SGS10/252/OHK2/3T/12 and SGS11/049/OHK2/1T/12.

References

- [1] Bukovsky I., Bila J., Basic Classification of Nonconventional Artificial Neural Units” (In Czech), In: *Proceedings of Seminar Nove Hradky*, Czech Technical University in Prague, FME, ISBN: 978-80-01-03747-8, Czech Republic, 2007, p. 76-80.
- [2] Bukovsky, I., Hou, Z-G., Bila, J., Gupta, M. M., Foundation of Nonconventional Neural Units and their Classification, *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence (IJCiNi)*, 2(4), October-December 2008, IGI Publishing, Hershey PA, USA, p. 29-43, ISSN 1557-3958.
- [3] Bukovsky, I., Homma, N., Smetana, L., Rodriguez, R., Mironovova M., Vrana S., Quadratic Neural Unit is a Good Compromise between Linear Models and Neural Networks for Industrial Applications, *ICCI 2010 The 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics*, Tsinghua University, Beijing, China, July 7-9, 2010.
- [4] Gupta M. M., Liang J., Noriyasu H. (2003). *Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Bukovsky, I., Bila, J., Gupta, M., M, Hou, Z-G., Homma, N., Foundation and Classification of Nonconventional Neural Units and Paradigm of Nonsynaptic Neural Interaction, in *Discoveries and Breakthroughs in Cognitive Informatics and Natural Intelligence* within the series of the Advances in Cognitive Informatics and Natural Intelligence (ACINI), ed. Y. Wang, IGI Publishing, Hershey PA, USA, 2010. ISBN: 978-1-60566-902-1, p.508-523.

VYHODNOCENÍ METODY ROZPOZNÁVÁNÍ

Recognition Method Benchmarking

Jiří Rošický, Pavel Studenovský

Abstrakt: Práce popisuje vyhodnocení metody rozpoznávání. Vyhodnocení spočívá v odhadu chyby I. druhu. Objekty, které metoda rozpoznává, jsou bodové množiny. Bodové množiny reprezentují fyzické objekty. Rozpoznávání probíhá na dvou bodových množinách a výsledkem je číslo vyjadřující míru podobnosti těchto množin. Vyhodnocení metody vychází z testu provedeného na sto objektech. Byla odhadnuta chyba I. druhu - pravděpodobnost, že metoda označí dva objekty za shodné v případě, že shodné nejsou.

Key words: method, process, benchmark, statistical analysis / metoda, proces, hodnocení, statistická analýza

1. Úvod

Metody nebo procesy lze charakterizovat řadou způsobů. Často je vyžadována charakteristika, která vyjadřuje odpověď na otázku: „*Jaké je riziko, že daná metoda selže?*“. Jedná se o vyjádření míry kvality dané metody nebo procesu.

Některé lidské aktivity lze formulovat jako úlohy typu *identifikace*. Identifikační úloha může být zadána např. otázkou: „*Co je tento objekt?*“. Metoda, která úlohu řeší, může být expertní, automatický systém nebo jejich kombinace. V případě automatické metody je velmi pravděpodobné, že uživatel bude chtít znát informaci, která bude vyjadřovat kvalitu dané metody. Např. kriminalistu, používajícího systém rozpoznávání otisků prstů, bude určitě zajímat míra rizika, že rozpoznávací metoda poskytne chybný výsledek.

Expertní metody identifikace jsou používány např. v oblasti umění. Zde je to téměř výlučně vždy expert, který identifikaci artefaktů provádí [1]. To má podstatný vliv na konečné rozhodnutí, které je obvykle velmi vysoké kvality. Zároveň je ale expert limitován v počtu takto provedených rozhodnutí. Např. expert prostě nemůže vyhovět požadavkům na masovou identifikaci pasažérů na letištním terminálu. Takovým požadavkům může vyhovět pouze nějaká forma automatického systému.

2. Vyhodnocení metody

Metoda, která bude hodnocena, porovnává objekty. Objektem je množina bodů ve 2D prostoru (množina párů souřadnic). Výsledkem metody je jedno ze dvou rozhodnutí:

D_0 : „[objekty] Nekorespondují“

D_1 : „[objekty] Korespondují“

V případě chybného rozhodnutí D_1 nastane chyba I. druhu. V případě chybného rozhodnutí D_0 nastane chyba II. druhu. *Vyhodnocení metody* bude spočívat v *odhadu pravděpodobnosti chyby I. druhu*, tedy pravděpodobnosti, že metoda zvolí rozhodnutí D_1 : „[objekty] Nekorespondují“ a bude to chybné rozhodnutí.

Formálně jde o úlohu testování hypotéz s nulovou hypotézou H_0 a alternativní hypotézou H_1 :

H_0 : „[objekty] Nekorespondují“

H_1 : „[objekty] Korespondují“

Pravděpodobnost chyby I. druhu je označována jako False Match Rate (*FMR*) a pravděpodobnost chyby II. druhu je označována jako False Not-Match Rate [2]:

Chyba I. druhu: Zvoleno D_1 , platí H_0

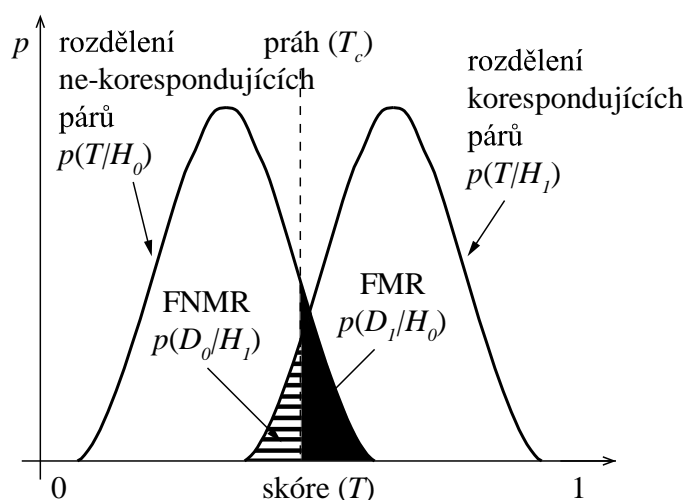
Chyba II. druhu: Zvoleno D_0 , platí H_1

Formálně lze pravděpodobnosti obou chyb zapsat:

$$FMR = P(D_1/H_0)$$

$$FNMR = P(D_0/H_1)$$

Volba rozhodnutí je provedena podle velikosti skóre T (míry podobnosti porovnávaných objektů). Pokud skóre překročí prahovou hodnotu (T_c), potom je zvoleno rozhodnutí D_1 , jinak je zvoleno D_0 . Výpočet *FMR* a *FNMR* je naznačen na Obr. 1.



Obr. 1 Výpočet *FMR* a *FNMR* [[HYPERLINK \l "Mal09" 2](#)].

3. Přehled řešení

Vyhodnocení automatického verifikačního systému provedl např. Cowburn [3]. Odhadl faktor jedinečnosti verifikační metody. Při testu bylo použito 500 objektů (dokumentů), každý byl dvakrát oskenován a byly porovnány korespondující a nekorespondující páry. Výsledkem vyhodnocení byla pravděpodobnost 1 ku 10^{51} až 10^{127} , že systém označí dva nekorespondující objekty za korespondující.

Podobný test provedl Clarkson [4] na systému verifikace dokumentů. Výsledkem byla pravděpodobnost 1 ku 10^{148} , že dojde k chybě I. nebo k chybě II. druhu.

4. Experiment pro vyhodnocení metody rozpoznávání

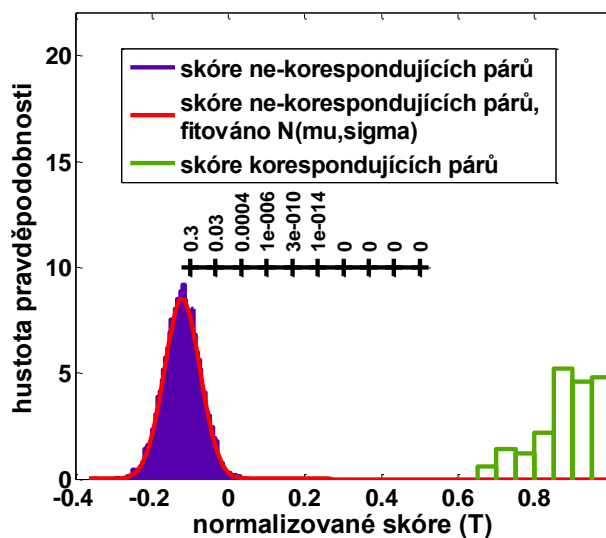
Cílem bylo odhadnout *pravděpodobnost chyby I. druhu (FMR)*. Bylo vytvořeno 100 objektů. Každý objekt se stával z množiny 20 bodů vytištěných laserovou tiskárnou na papír do oblasti o průměru cca 5 mm. Objekty byly naskenovány skenerem. Každý objekt byl naskenován 2 krát (Obr. 2). Vznikly dvě skupiny po 100 záznamech. Porovnání nekorespondujících párů poskytlo $(100^2 - 100) / 2 = 4950$ hodnot T skóre. Skóre bylo normalizováno vzhledem k maximální hodnotě skóre v každém jednotlivém porovnání.



Obr. 2 Dvojice skenů jednoho objektu.

5. Výsledky

Na Obr. 3 jsou výsledky experimentu. Obě rozdělení – korespondující a nekorespondující – jsou vizuálně zřetelně odlišitelná.



Obr. 3 Rozdělení skóre a odhad FMR (horizontální stupnice uprostřed).

Nekorespondující rozdělení bylo modelováno jako normální s parametry $\mu = -0.121$ a $\sigma = 0.046$. Pravděpodobnost chyby I. druhu (FMR) je znázorněna na stupnici uprostřed obrázku. FMR je řádu 10^{-14} pro práh $T_c > 0,2$ a klesá téměř k nule pro $T_c > 0,3$. Chyba II. druhu nebyla odhadnuta, protože nebyl nalezen vhodný model pro korespondující rozdělení.

6. Závěr

Bylo provedeno vyhodnocení metody rozpoznávání bodových obrazců s cílem odhadnout pravděpodobnost chyby I. druhu (*FMR*). Výsledek ukazuje, že *FMR* je řádu 10^{-14} , což znamená pravděpodobnost 10^{-14} , že metoda vyhodnotí dva objekty jako korespondující a bude to chybné rozhodnutí.

Příští práce bude zaměřena na nalezení modelu pro korespondující rozdělení *T* skóre. Možné řešení by mohlo zahrnovat jiný způsob normalizace *T* skóre. Další testy budou zahrnovat objekty s rozdílným počtem bodů a budou uvažovány další faktory jako např. náhodné vymazání nebo přidání bodů.

Poděkování

Projekt byl podpořen grantem SGS11/048/OHK2/1T/12.

Literatura

- [1] Spencer, R.D. The Expert versus the Object: Judging Fakes and False Attributions in the Visual Arts. Oxford University Press, 2004.
- [2] Maltoni, D., Maio, D., Jain, K.A., Prabhakar S. Handbook of fingerprint recognition. Springer, 2009.
- [3] Buchanan, D.R., Cowburn, R.P., Jausovec, A.-V., Petit, D., Seem, P., Xiong, G., Atkinson, D., Fenton, K., Allwood, D.A., Bryan, M.T. Forgery: 'fingerprinting' documents and packaging. Nature, 436 (2005), 475.
- [4] Clarkson, W., Weyrich, T., Finkelstein, A., Heninger, N., Halderman, J.A., Felten, E.W. Fingerprinting Blank Paper Using Commodity Scanners. (Oakland 2009), IEEE Symposium on Security and Privacy.
- [5] Rosicky, J., Studenovský, P. Point Pattern Recognition. In Technical Computing Bratislava (Bratislava 2010), RT systems.

ON-LINE EMPIRICKÁ MODÁLNÍ DEKOMPOZICE

On-line Empirical Mode Decomposition

Pavel Trnka, Milan Hofreiter

Abstrakt: Článek pojednává o možnostech analýzy environmentálních časových řad metodou empirické modální dekompozice (EMD) v reálném čase. EMD byla původně vyvinuta pro off-line analýzu nelineárních nestacionárních signálů. V příspěvku je předvedena modifikace algoritmu, která umožňuje průběžnou EMD analýzu naměřených environmentálních dat. Algoritmus byl realizován pomocí softwaru Matlab. Funkčnost algoritmu je prověřována na datech naměřených v rámci projektu TOKENELEK na meteorologických stanicích v jižních Čechách.

Klíčová slova: EMD, Empirical Mode Decomposition, IMF, Intrinsic Modal Function, real time, on-line, empirická modální dekompozice, vnitřní modální funkce.

1. Úvod

Empirická modální dekompozice (Empirical Mode Decomposition, dále jen EMD) je metoda rozkladu číselných řad na složky se specifickými vlastnostmi, mimo jiné s úzkým frekvenčním spektrem a s poměrně snadno modelovatelným průběhem. Dílčí složky se nazývají vnitřní modální funkce (Intrinsic Modal Functions, dále IMF). Původní off-line algoritmus vyvinul N. E. Huang pro NASA [1] jako nástroj na analýzu vlnění mořské hladiny.

2. EMD

Algoritmus EMD provádí rozklad naměřené časové posloupnosti $x(t)$ na sadu vnitřních modálních funkcí $c_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$ a zbytkové reziduum $r(t)$:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r(t). \quad (1)$$

Reziduum $r(t)$ je monotónní funkce, která odráží průměrný trend signálu $x(t)$. n je počet vnitřních modálních funkcí (IMF) $c_i(t)$ definovaných dvěma vlastnostmi:

- Počet extrémů (minim a maxim) a počet průchodů funkce nulou musí být shodný nebo se může lišit maximálně o jeden.

- b) Průměrná hodnota definovaná obálkou z lokálních maxim a lokálních minim musí být rovna nule v každém bodě funkce.

Během hledání IMF probíhá takzvaný „sifting“ (doslova „prosévání“), jak je uvedeno např. v [2], [3]. Algoritmus lze popsat následujícími kroky:

- 1) Založení výchozího průběžného rezidua: $r(t) = x(t)$.
- 2) Vytvoření obálky lokálních maxim $E_u(t)$ a obálky lokálních minim $E_l(t)$ vyšetřovaného signálu pomocí kubických spline funkcí.

- 3) Výpočet střední hodnoty mezi obálkami

$$m(t) = \frac{E_u(t) + E_l(t)}{2} \quad (2)$$

- 4) Křivka určující střední hodnotu mezi obálkami se odečte od původního signálu.

$$h(t) = x(t) - m(t) \quad (3)$$

- 5) dokud křivka $h(t)$ nesplňuje podmínky pro IMF, provádí se nahrazení $x(t) = h(t)$ a opakují se kroky 2) až 5). Jakmile je možné křivku $h(t)$ prohlásit za IMF, pokračuje algoritmus krokem 6).

- 6) Vytvoří se IMF a přepočítá se průběžné reziduum: $c_i(t) = h(t)$, $r(t) = r(t) - c_i(t)$.

- 7) Pokud je vzniklé reziduum monotónní, algoritmus skončí. V opačném případě se provede nahrazení $x(t) = r(t)$ a algoritmus pokračuje opět od kroku 2).

3. Analýza v reálném čase

Původní algoritmus zpracovává celý zaznamenaný signál naráz po skončení měření. To má za následek velkou výpočetní náročnost.

Pro potřeby on-line zpracování signálu je vytvořeno plovoucí časové okno na intervalu

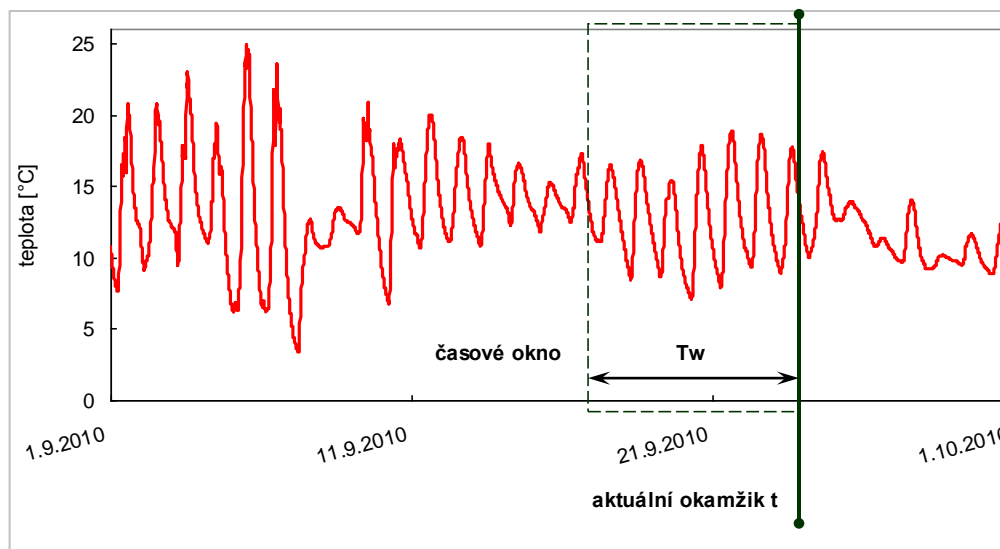
$$\langle (t - T_w); t \rangle, \quad (4)$$

kde t je aktuální čas měření a T_w je velikost okna. EMD rozklad probíhá pouze na tomto intervalu. Protože v průběhu měření neroste počet zpracovávaných vzorků, nenarůstá ani výpočetní náročnost algoritmu.

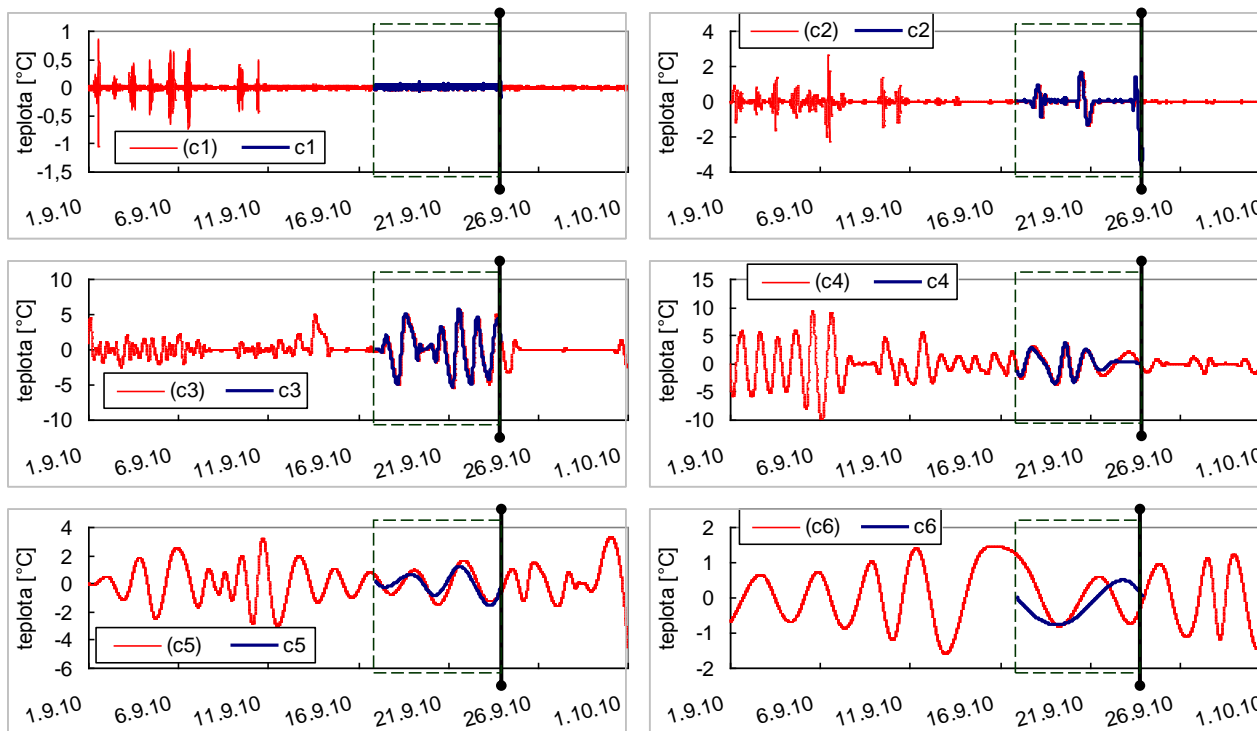
V algoritmu dochází ke zkreslení rozkladu na okrajích vyšetřovaného intervalu. To je významné zejména na konci časového okna, tedy v blízkosti aktuálního času měření t . Pro omezení zkreslení je prováděn odhad budoucího průběhu vyšetřované funkce, resp. jednotlivých průběžně získávaných IMF

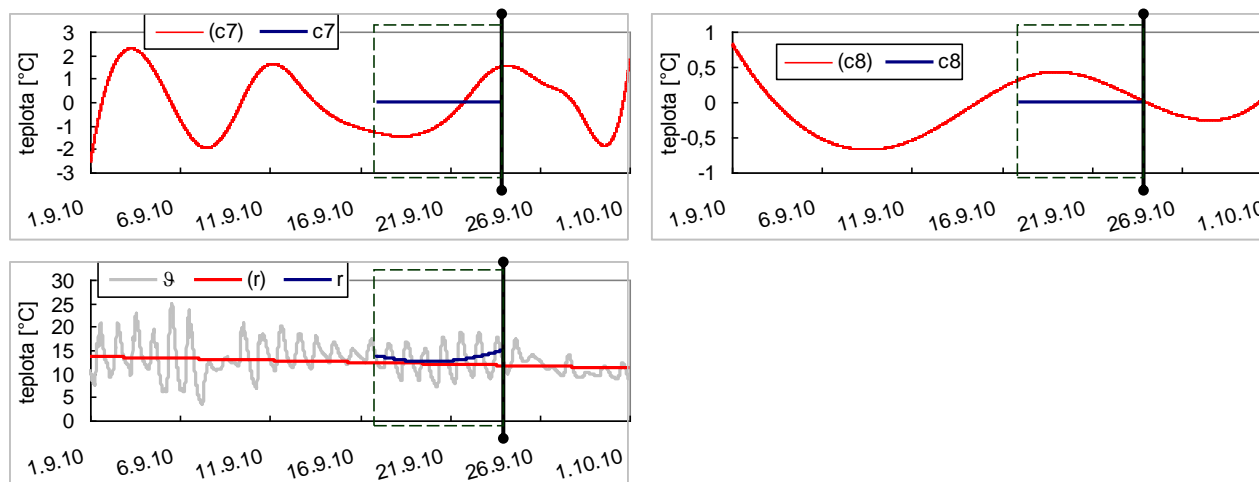
4. Realizace

Experimentální EMD rozklad je předveden na průběhu teploty půdy naměřené v hloubce 30 mm na meteorologické stanici Vrt_Domanín v období září 2010. Obr. 1 ukazuje průběh naměřené teploty ϑ s naznačenou jednou realizací časového okna v obecném okamžiku t . Obr. 2 Ukazuje srovnání on-line a off-line EMD rozkladu.



Obr. 1 – Průběh teploty ϑ se symbolicky naznačeným časovým oknem.





Obr. 2 – Porovnání IMF funkcí a reziduí získaných metodou off-line EMD (červeně) a metodou on-line EMD (modře). Počty modálních funkcí se liší díky rozdílné délce analyzovaných dat. Srovnání ukazuje především vliv velikosti časového okna na výsledek EMD algoritmu.

5. Závěr

Podle výsledků experimentů je on-line analýza kvalitativně srovnatelná s off-line analýzou. Rozklad probíhá rychleji a s výrazně menšími paměťovými nároky. Velikost časového okna určuje hodnotu minimální zjištěté frekvence.

V současné době probíhá vylepšování metody on-line EMD zejména v oblasti omezování zkreslení rozkladu při okrajích vyšetřovaného intervalu (zejména v blízkosti aktuálního okamžiku měření).

Článek vznikl za podpory Národního rozvojového programu v rámci projektu TOKENELEK, č. 2B06023 a grantu studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS10/252/OHK2/3T/12.

Literatura

- [1] Huang N. E., et al.: The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proc. R. Soc. Lond. A (1998) 454, p. 903–995, [cit. 2010-10-06], Online: <http://keck.ucsf.edu/~schenk/Huang_etal98.pdf>
- [2] Zhaohua W., Huang N. E.: Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Noise-Assisted Data Analysis Method. In: Advances in Adaptive Data Analysis, Vol. 1, No. 1, p. 1–41, 2009, World Scientific Publishing Company.
- [3] ZHAOHUA, Wu: HHT MATLAB Program. [cit. 2010-10-06], Online: <http://rcada.ncu.edu.tw/research1_clip_program.htm>.
- [4] Hofreiter M.: The Application of Hilbert-Huang Transform to Non-Stationary Environmental Data Sets, In: TMT 2010. Zenica: Faculty of Mechanical Engineering in Zenica, 2010, p. 309-312. ISSN 1840-4944.

SVARITELNOST HLINÍKOVÝCH SLITIN

Weldability of Aluminium Alloys

Marie Válová, Ladislav Kolařík

Abstrakt: Tento příspěvek si dává za cíl představit Al a jeho slitiny jako perspektivní konstrukční materiál, který je hned po ocelích nepoužívanějším kovem, využitelným v mnoha oborech lidské činnosti. S tím souvisí i nutnost spojování hliníkových polotovarů – zejména použitím tavných způsobů svařování. V příspěvku jsou zmíněny nepoužívanější metody svařování a podrobně popsány faktory, které způsobují problémy při vlastním svařování.

Key words: Aluminium Alloys, Weldability, Hot Cracking, Oxidic Layer

1. Introduction

Hliník je kov, jehož název v češtině je odvozen od „hlíny“, ve které se ve významném množství nachází (tento název pochází z obrozenecké doby). V ostatních jazycích se převážně používá termín „aluminium“ a odtud pochází i chemická značka a běžně používaná zkratka tohoto kovu – Al. (*Název „Aluminium“ navrhl H.Davy a pochází z latinského slova ALUMEN což znamená „hořká sůl“ - označuje se tak kamenec hlinitodraselný, používaný již ve starém Řecku a Římě v lékařství*).

V zemské kůře je obsaženo asi 8% hliníku ve formě hydratovaných oxidů nebo silikátů (kaolin, jíln...), přesto se v technické praxi začal hliník používat až ve 20.století. Důvodem je velmi obtížná příprava z oxidu, která se uspokojivě zdařila až v roce 1889. Do té doby se hliník připravoval redukcí chloridu hlinitého parami draslíku nebo sodíku. Příprava byla tak náročná, že se ještě v třetím čtvrtletí 19. století vážně uvažovalo o tom, aby se hliník používal místo zlata jako měnový standart. Ke změně došlo zavedením elektrolýzy taveniny oxidu hlinitého s kryolitem, což značně zjednodušilo výrobu a tím snížilo i cenu tohoto kovu.

Hliník se primárně vyrábí z bauxitu (příp. alternativních surovin jako nefelín, alunit, kaolin), nebo sekundárně recyklací. Hliník se dnes vyrábí elektrolýzou taveniny oxidu hlinitého (bauxitu) a kryolitu (hexafluorohlinitan sodný – používán především jako tavidlo pro snížení teploty tání bauxitu). Jeho čistota závisí na čistotě výchozích surovin a na podmínkách elektrolýzy.

Vlastnosti hliníku a jeho slitin

Hliník je lehký a měkký neželezný kov bílé až stříbrolesklé barvy a značného (na suchém vzduchu trvalého) lesku, který se na vzduchu pokrývá tenkým šedobílým povlakem, který nepostupuje do hloubky. Hliník má také velmi malou měrnou hmotnost (2640 až 2700 kg.m⁻³ – podle stupně tváření), proto ho řadíme mezi tzv. „lehké kovy“. Se zmíněnou měrnou

hmotností má hliník přibližně třetinovou hustotu oceli, což ho především v automobilovém průmyslu velice zvýhodňuje.

Teplota tavení čistého hliníku je asi 660 °C a je značně měkký, takže ho lze dobře zpracovávat mechanickým beztržiskovým tvářením. Je možné ho válcovat i na fólie o tloušťce okolo 5 µm i méně. Na druhé straně je tato vlastnost na závadu, neboť hliníkové součásti mají malou mechanickou pevnost (cca 70 MPa). Ve srovnání s jinými technickými kovy jsou mechanické vlastnosti hliníku nízké, proto se ve strojírenství a pro konstrukční účely používá čistý hliník velice zřídka. Mechanické vlastnosti však lze zvýšit legováním nebo mikrolegováním. (Jako mikrolegovací příměs se používá berylium nebo bór, jako legovací příměsi se používají zejména Cu, Mg, Si, Zn, které zlepšují mechanické vlastnosti, ovšem vždy na úkor chemické stálosti).

Hliník má také vysokou elektrickou a tepelnou vodivost s poměrně vysokou hodnotou měrného tepla. Pro porovnání, při stejné elektrické vodivosti váží hliníkový vodič přibližně o polovinu méně než vodič měděný. Také jeho modul pružnosti činí jen 72000 MPa.

Důležitou vlastností hliníku je i jeho odolnost proti korozi. Ochranu proti korozi zabezpečuje tenká vrstva oxidu hlinitého (Al_2O_3) na povrchu, která vzniká „na vzduchu“ při reakci hliníku s kyslíkem. I když má tato vrstva tloušťku pouze několik setin mikrometrů, díky svojí hustotě poskytuje výbornou ochranu proti korozi. V případě poškození se oxidická vrstva sama obnovuje a její tloušťku lze uměle zvýšit povrchovými úpravami – např. anodickou oxidací (tzv. elox).

Pro další technologické vlastnosti je podstatné, že Hliník krystalizuje v kubické plošně středěné mřížce (FCC), což předurčuje jeho dobrou tvařitelnost při použití různých technologií za tepla i za studena. Tento kov je také lehký a dobře obráběný – a to za pomoci téměř všech technologií obrábění: frézováním, soustružením, vrtáním, děrováním apod. kromě toho, spotřeba energie během obrábění je poměrně nízká.

Nejčastěji používané rozdělení hliníkových slitin je podle způsobu zpracování (toto rozdělení respektuje i ČSN a EN): na slitiny *tvářené* a *slévárenské*, tvářené slitiny lze dále rozdělit dle způsobu tepelného zpracování, na slitiny *vytvrditelné* a *nevytvrditelné*. (Ke dni 1.1.1995 bylo v ČSN registrováno 18 slitin hliníku pro tvářeni a 16 slitin hliníku pro odlitky).

Použití hliníku

Největším spotřebitelem hliníku a jeho slitin je oblast dopravního průmyslu (ať už se jedná o letecký, automobilový průmysl nebo výrobu kolejových vozidel, lodí a kosmonautiku). V dopravním sektoru je největším argumentem pro aplikaci hliníkových slitin jejich nízká hmotnost, v kombinaci s relativně vysokou pevností a korozní odolností. Politicko-environmentální požadavky na nové dopravní prostředky jsou směřovány především na lepší využití paliva (snížení jeho spotřeby) a snížení celkových škodlivých emisí produkovaných především automobilovou dopravou. V současnosti se hliník a jeho slitiny používají na výrobu skříní motorů, hlav válců, hnacích komponent, kol, tlumičů, částí klimatizace, hlavic řídicích pák, volantů, článků a svorek náprav a ve stále větším počtu i na celé karosérie.

Díky své elektropozitivitě má hliník značnou afinitu ke kyslíku a ochotně s ním reaguje. Této vlastnosti využívá aluminotermie - metoda výroby některých kovů z jejich oxidů za použití hliníku jako redukčního činidla. Při uvedené reakci se také uvolňuje značné množství tepla a teplota dosahuje dostatečných hodnot pro roztavení např. železa. Následující reakce práškového hliníku s oxidem železitým se ještě dnes často používá ke spojování např.

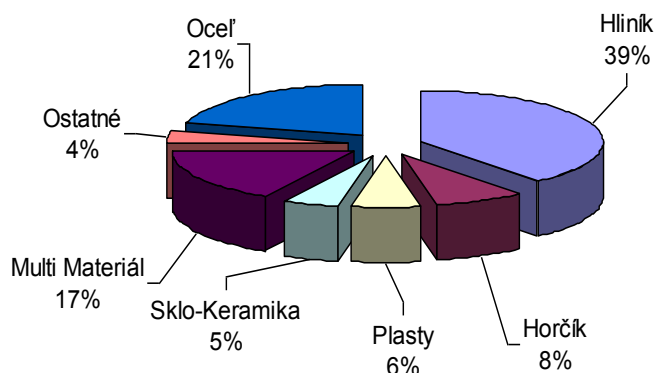
kolejnic (tzv. aluminotermické svařování – resp. hovorově užívaný název „svařování termitem“).

Společně se stříbrem slouží hliník ve formě velmi tenké folie jako záznamové médium v kompaktních discích (CD) ať již pro záznam zvuku nebo jako paměťové médium ve výpočetní technice. Tato vrstva se na plastový podklad obvykle naprašuje tichým elektrickým výbojem ve vakuu.

V normách je dnes uváděno přes 120 druhů slitin hliníku, proto nelze očekávat dramatický vývoj nových slitin v této oblasti. Zdá se, že hlavní směry vývoje slitin hliníku budou slitiny legované na bázi Al-Cu-Li, Al-Mg-Li, Al-Li-X pro speciální použití v letectví a především v kosmické technice. Z „klasických“ slitin hliníku se předpokládá v nejbližší budoucnosti upřednostnění vývoje slitin Al-Mg-Si a Al-Mg a vývoj modifikovaných slitin legovaných např. scandiem apod. Jejich průmyslové užití roste v oblastech leteckého a kosmického průmyslu (až 80% hmotnosti civilního letadla), stavby lodí, kolejových vozidel, karoserií osobních automobilů (až 40% hmotnosti při roční spotřebě asi 2 mil. tun), konstrukce budov i např. obytných zařízení na těžebních plošinách. Nezanedbatelné je užití hliníku a jeho slitin v chemickém a potravinářském průmyslu (obaly, plechovky apod.).

Metody spojování hliníku a jeho slitin

Nejvýznamnější technologií spojování je v dnešní době především svařování, kde lze použít jak metody tavného, tak tlakového svařování. S rozvojem používání těchto materiálů, roste i potřeba jejich spojování a oprav pomocí různých metod svařování. Z obrázku č. 1 je vidět, že v současnosti hliník a jeho slitiny ve výzkumu svařitelnosti zaujímají největší část v porovnání s ostatními materiály.



Obr. 1: Podíl jednotlivých materiálů ve výzkumu svařitelnosti

V porovnání s ocelmi, ovlivňuje výslednou kvalitu svarů v mnohem větší míře nejen postup, ale i metoda svařování. Většinu komerčně vyráběných slitin Al je možné svařovat (obtížná svařitelnost je především u skupiny vytvrditelných slitin s velkým obsahem Cu – AlCu, AlCuMg apod.). V průmyslové praxi v dnešní době dominuje použití svařování elektrickým obloukem v inertních atmosférách.

Tyto metody se dále dělí podle toho, zda svařujeme kovovou odtavující se elektrodou (metoda svařování MIG) nebo jestli k zapálení a hoření el. oblouku použijeme wolframovou neodtavující se elektrodu (WIG, TIG). Oba způsoby svařování v ochranných plynech vyžadují použití plynové ochrany (vždy v podobě inertního – netečného plynu) proti okolní vzdušné atmosféře. Ochranný plyn vytěsňuje okolní „vzduch“ a tím i vlhkost z okolí místa vzniku svarové lázně a chrání jí tak před oxidací a případnými dalšími nežádoucími reakcemi. Vliv

způsobu svařování a materiálu lze optimalizovat použitím vhodných ochranných plynů nebo jejich směsí s různými vlastnostmi.

Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou lze také použít, ale nezaručuje dokonalou ochranu oblasti svarového spoje před oxidací.

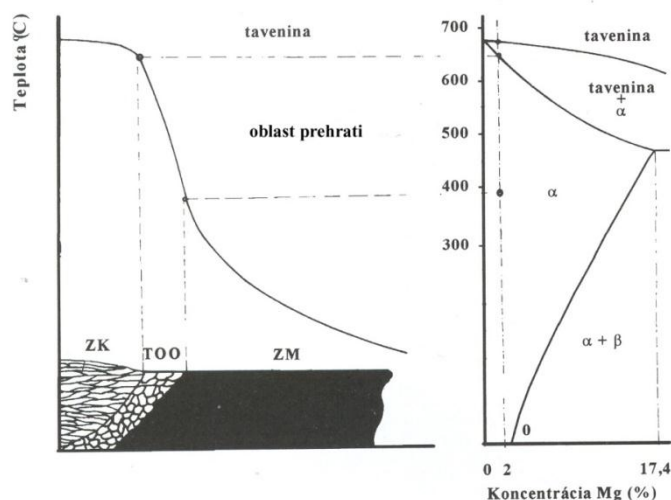
V letecké výrobě zatím dominuje především svařování odporové (bodové a švové), které vykazuje velmi dobré pevnosti spojů při aplikaci statického namáhání, není však vhodné pro namáhání únavové, nebo tam, kde svařenec bude podroben působení vibrací. V současnosti se hodně rozšiřuje i metoda svařování třením s promíšením (FSW – Friction Stir Welding) a relativně malý podíl tvoří svařování svazkem elektronů a laserem.

Svařitelnost hliníkových slitin

Pod pojmem *svařitelnost* se rozumí schopnost materiálu vytvořit za určitých technologických podmínek a při určitém konstrukčním řešení spoje požadovaných vlastností. Svařitelnost materiálu je velmi široký pojem a zahrnuje otázky týkající se materiálu, technologie a konstrukce.

O vlastnostech svarového spoje rozhoduje nejen vlastní svar, ale i oblast kolem něj. Vlastnosti tepelně ovlivněné oblasti (TOO) závisí na procesech probíhajících v tuhém stavu při ohřevu a chladnutí základního materiálu. Velikost tepelného ovlivnění materiálu (zejména velikost teploty, čas a množství vneseného tepla na jednotku délky) je dána metodou a režimem svařování, rozměry svařence, tloušťkou materiálu, vlastnostmi materiálu, způsobem a rychlostí ohřevu/ochlazování, atd. Hranice se základním materiálem je stanovena v místě, kde teplotní pole nepřekročí 200°C (cca 30mm pro TIG) – u některých typů slitin dokonce 100 až 150 °C. Změny meze pevnosti, meze $R_{p0.2}$ a tažnosti mohou být tak výrazné, že je v tepelně ovlivněné oblasti dosaženo parametrů měkkého stavu. Kromě mechanických vlastností se mění i korozní odolnost.

Rozlišujeme dvě pásma TOO s rozdílnými vlastnostmi danými velikostí teploty dosažené při ohřevu. Zajímavá je zde oblast zahřátá pod křivku rozpustnosti, kdy dochází k úplnému nebo částečnému návratu do rovnovážného stavu (podle tepelného cyklu). Mezi svarovým kovem a základním materiálem, resp. TOO se nachází oblast částečného natavení – přechodová oblast. Tato oblast má velký význam při formování struktury svarového kovu a to proto, neboť krystalizace začíná na povrchu částečně natavených zrn. Plastickou deformací při tavném svařování dochází v TOO k úplné rekrytalizací charakterizující pokles pevnosti při zvýšení tažnosti materiálu. Vzhledem k velké rychlosti ochlazování v jednotlivých místech ovlivněné oblasti probíhá rekrytalizace v závislosti na teplotě.



Obr. 2: Rozdělení jednotlivých pásem tepelně ovlivněné oblasti

Problémy při svařování hliníku

Svařováním se však výrazně degradují mechanické vlastnosti hliníkových slitin. Svařitelnost hliníku a jeho slitin je ovlivněna několika podstatnými činiteli, což vyžaduje odlišný přístup ke svařování ve srovnání s nejčastěji používanými ocelovými materiály. Nejdůležitější faktory, které ovlivňují svařitelnost Al slitin, jsou:

- Tvorba oxidické vrstvy

Velká afinita Al ke kyslíku, která má za následek tvorbu oxidické vrstvy Al_2O_3 na povrchu materiálu brání metalickému spojení základního a přídavného materiálu a je nutno ji před i během svařování odstraňovat.

Tloušťka oxidické vrstvy je asi $0,01 \mu m$. Účinkem vyšší teploty a vlhkosti však může tato vrstva na vzduchu v závislosti na času dosáhnout tloušťky $0,03$ až $0,1 \mu m$. Pro zvýšení odolnosti proti korozi se někdy oxidová vrstva uměle zvětšuje, např. chemickou oxidací, anodickou oxidací a pod. Těmito postupy lze zvětšit tloušťku vrstvy na 8 až 25 mikrometrů.

Oxidická vrstva vytváří sice samoochranu materiálu před další oxidací (proto je Al odolný proti korozi v některých prostředích – např. průmyslové a přímořské oblasti), má však dále vlastnosti, které negativně ovlivňují svařitelnost. Je to především *vysoká teplotní stabilita* (teplota tavení je cca $2050 \text{ }^\circ\text{C}$) vzhledem k základnímu materiálu (teplota tání čistého hliníku je $668 \text{ }^\circ\text{C}$) a nerozpustnost v roztaveném kovu, což znamená, že při svařování je tato vrstva prakticky netavitelná a musí být ze svarového spoje odstraněna.

Oxid hliníku je také *elektricky nevodivý*, proto znemožňuje nastavení správných svařovacích parametrů při obloukovém svařování, pokud není odstraněn. Má rovněž *větší měrnou hmotnost než základní materiál*, proto případné zbytky oxidu mohou při svařování propadat do svarové lázně. Tak mohou vznikat oxidové vměstky ve svarovém kovu, které mohou zvyšovat náchylnost svarového spoje ke vzniku trhlin, které jsou dle ČSN EN ISO 10 042 ve všech stupních jakosti vždy nepřijatelnou vadou. Oxidická vrstva je *silně hygroskopická*, proto může při svařování docházet vlivem zadržované vlhkosti k nadměrné porezitě svarů, protože hliník má vysokou afinitu ke kyslíku a vodíku.

Odstranění oxidické vrstvy před svařováním se provádí mechanickým nebo chemickým způsobem, ovšem ihned po odstranění vzniká na povrchu Al okamžitě nová vrstva už při pokojové teplotě. Proto je nutné pro zajištění dobrého metalurgického spojení svařovaných materiálů vrstvu odstraňovat i v průběhu svařování. Během svařování se oxidická vrstva odstraňuje také buď chemicky (pomocí tavidel) nebo přímým účinkem elektrického oblouku v ochranném plynu Ar (tzv. čistící účinek argonu). Svařitelnost technického Al a většiny jeho slitin je velmi dobrá za předpokladu, že se použije některé z metod svařování elektrickým obloukem v ochranném plynu (WIG, MIG), které zaručují rozrušení povrchové oxidické vrstvy.

- Praskavost – tvorba trhlin za tepla

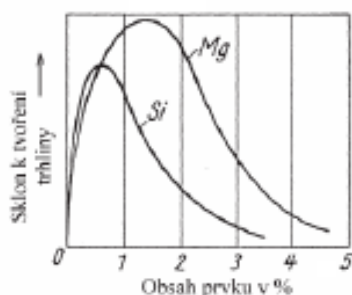
Dalším z problémů při svařování hliníkových slitin je *velký koeficient teplotní délkové roztažnosti* hliníku, který způsobuje velké deformace a napětí, které mohou být příčinou vzniku trhlin při svařování. Tento jev je při svařování jedním z nejnepříznivějších. Navíc čistý Al má vysokou tepelnou vodivost, a proto je i teplotní pole při svařování mimořádně široké. Jednou z hlavních příčin tvorby trhlin za tepla jsou objemové změny v procesu krystalizace, jejichž výsledkem je vznik tahových napětí. Možnost vzniku trhlin je u Al navíc dána tím, že koeficient objemové roztažnosti na rozhraní tuhé a tekuté fáze se snižující se teplotou rychle mění. Pokud je interval krystalizace velký a zahrnuje v sobě kritickou teplotu změny roztažnosti, není schopen svarový kov odolávat smrštění a vznikají trhliny.

Náchylnost hliníkových slitin k tvorbě trhlin je jedním z kritérií při hodnocení jejich svařitelnosti. Při svařování hliníkových slitin může docházet ke vzniku dvou druhů trhlin. Jsou to *trhliny za tepla* vznikající v procesu krystalizace a *trhliny za studena* vznikající v tuhém stavu. Trhliny za tepla jsou charakteristické pro svarový kov a zónu částečného natavení, trhliny za studena vznikají obvykle v tepelně ovlivněné oblasti při chladnutí materiálu

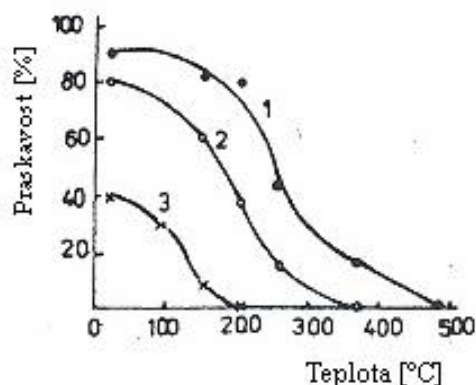
Trhliny za studena se u hliníkových slitin vyskytují zřídka. Tvoří se zejména u vysokolegovaných slitin typu Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Zn-Mg při tuhém upnutí, t.j. v konstrukčních uzlech s malou možností deformace. Trhliny vznikají při teplotách v rozmezí 200 až 400 °C a v podélném směru svaru.

Trhliny za tepla vznikají v intervalu chladnutí slitiny za existence tuhé a kapalné fáze. Slitiny, jejichž složení se blíží chemicky čistým kovům, nebo neobsahují příliš velké množství přísadových prvků (legur) jsou méně náchylné ke vzniku trhlin. Slitiny s větším množstvím přísad jsou ke vzniku trhlin náchylnější. U těchto slitin lze náchylnost omezit použitím přídavných materiálů s vyšším obsahem legujícího prvku. Na vznik trhlin jsou citlivější svary ze slitin, které mají široký interval tuhnutí. Vznik trhlin je rovněž ovlivněn způsobem krystalizace a segregací. Náchylnost ke vzniku horkých trhlin je ovlivňována typem a především množstvím eutektické fáze. Trhliny za tepla vznikají tehdy, je-li objem eutektika malý a nedostatečným způsobem vyplňuje prostory mezi rostoucími dendrity.

V případě, že objem tekuté eutektické fáze v závěrečné fázi krystalizace je dostatečný na vyplnění prostoru mezi vznikajícími dendrity nejsou splněny podmínky pro vznik krystalizačních trhlin. Na úplné potlačení krystalizačních trhlin je potřebný objem eutektické fáze v rozmezí 15 – 25%, podle typu slitiny a podmínek svařování. Potřebné množství eutektika ve svarovém kovu lze zajistit použitím vhodného přídavného materiálu.



Obr. 3: Vliv Mg a Si na vznik trhlin



Obr. 4: Vliv teploty předehřevu na vznik horkých trhlin

Na vznik horkých trhlin jsou zvláště náchylné tepelně zpracovatelné slitiny Al, nízkolegované slitiny Al a také některé typy technického Al. Pro každou skupinu slitin Al je stanovena kritická hodnota legujícího prvku pro kterou je náchylnost na vznik horkých trhlin největší – viz obr. 3.

Kromě chemického složení svarového kovu a základního materiálu (omezení obsahu nečistot typu Cu, Pb, Zn v základním materiálu) může vznik horkých trhlin ovlivnit zvolená technologie svařování (vhodné jsou technologie umožňující velkou rychlost svařování – např. - MIG), parametry svařování a zejména předehřev (viz obr. 4). Resp. je vhodné svařování neprovádět při tuhém upnutí svarových spojů.

- **Pórovitost svarů**

Další vlastnost, která způsobuje někdy potíže při zhotovování kvalitního (celistvého) svaru je *velká rozpustnost plynů v Al*. Při pohlcování plynů hliníkem, dochází k absorpci, difúzi a rozpouštění plynů na povrchu i uvnitř tekutého, popř. tuhého kovu. Z plynů má největší vliv na tvorbu pórů vodík, který je v Al rozpustný. Rozpustnost vodíku klesá s rostoucím obsahem nečistot a snižuje se u hliníkových slitin v pořadí: Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Ni, Al-Si. Rozpustnost se zvyšuje s rostoucí teplotou v rozmezí asi 650 až 870 °C.

Vodík může v Al svarových spojích způsobit necelistvost typu pórů, bublin a v ojedinělých případech i trhlin. Přímý účinek vodíku na vznik vad se projevuje zejména ve svarovém kovu. Při krystalizaci Al svarového kovu klesá prudce rozpustnost vodíku v Al, přičemž nedojde k úplnému vyloučení vodíku ze svarového kovu. Al svary rychle krystalizují a část vodíku ve fázi krystalizace proto zůstává ve svaru a k jeho vyloučení dojde až pod teplotou solidu. V pevném plastickém svaru pak vyvolá vylučující se vodík především vznik nežádoucích pórů a bublin.

Zdrojem vodíku při svařování může být vlhkost povrchu základního i přídavného materiálu, vlhkost tavidla, případně ochranných plynů. Vodík může být držen na povrchu základního materiálu fyzikální adsorpcí, která klesá se stoupající teplotou. (Mírným předehřevem lze tento jev vyloučit).

Vodík je pohlčován svarovým kovem a difunduje do něj v celém objemu. Při ochlazování svarového kovu se rozpustnost vodíku snižuje. Protože rychlost chladnutí hliníku je velká, nestačí se všechn vodík vyloučit z tekutého kovu a zůstává v něm uzavřen. Způsoby svařování, které umožňují delší setrvání na vyšší teplotě (např. TIG) dávají větší možnost odplynění svarové lázně a tím zaručují menší pórovitost svarů. Snížit nepříznivé působení

vodíku lze: minimalizováním zdrojů vodíku před svařováním, zkrácením času přímého tavení svarového kovu a zabráněním přehřátí svarového kovu, použitím vhodné plynové, struskové nebo tavidlové ochrany svarové lázně.

Z toho je zřejmé, že pórovitost svarů lehkých slitin závisí i na technologii svařování, dále na základním a přídavném materiálu, tavidlech a ochranných plynech. Při svařování v ochranných plynech se ovšem tavidel nepoužívá. Při svařování netavicí se elektrodou (TIG) stačí splnit požadavky čistoty svarových ploch a na povrchu přídavného materiálu, aby byla docílena dobrá kvalita svarů. Při svařování tavící se elektrodou vznikají často póry i při dodržení přísných požadavků na čistotu. To lze vysvětlit tím, že proces svařování netavicí se elektrodou dává větší možnost odplynění svarové lázně. Při svařování tavící se elektrodou je svarový kov přenášen obloukem ve formě malých kapek, které jsou vysoce přehřáté, a rozpustnost vodíku při těchto teplotách je velmi velká. Přehřátý kov přenášený obloukem dopadne na poměrně studený svařovaný materiál, vzápětí „mrzne“ a možnost odplynění svarového kovu je malá. Charakteristickým místem výskytu pórů jsou místa největšího odvodu tepla, t.j. na rozhraní svaru a základního materiálu.

Pokles mechanických vlastností

Obecně při svařování vytvrditelných Al slitin nastává ještě jeden, velmi závažný problém, kdy v tepelně ovlivněné oblasti dochází při svařování k rozpouštění vytvrzující fáze, a tím k *výraznému poklesu hodnot mechanických vlastností* a snížení odolnosti proti korozi.

Výsledný pokles pevnosti je závislý na době působení teploty nad 200° C. Jediné efektivní řešení tohoto problému je např. u slitin Al-Cu-Mg opětovné tepelné zpracování svařené součásti. U přirozeně stárnoucích Al slitin (např. Al-Zn-Mg) dojde k samovytvrzení a do cca 90 dnů k návratu pevnosti na původní hodnoty. Podle zkušeností z praxe i výzkumu, však u slitin typu Al-Mg-Si nevede dodatečné tepelné zpracování k výraznému zlepšení mechanických vlastností a proto se z ekonomických důvodů nedoporučuje aplikovat. Toto je v podstatě největší problém při svařování těchto slitin. Proto je třeba nalézt takové parametry a tepelný režim svařování, který povede k co nejmenší degradaci mechanických vlastností.

Další problémy, které zhoršují svařitelnost Al slitin, jsou:

Rozdílné mechanické vlastnosti Al a jeho slitin v litém a tvářeném stavu komplikují zhotovení spoje, který se svými vlastnostmi blíží základnímu materiálu. To se týká především materiálů tvářených za studena.

Velký koeficient délkové roztažnosti. To způsobuje velké deformace a napětí, které jsou někdy příčinou vzniku trhlin při svařování. Proto je nutno volit takovou technologii svařování, při které dochází k nejmenšímu tepelnému ovlivnění materiálu.

Navíc *Al při ohřevu nemění barvu*, proto vizuální určení teploty tavení při ručním svařování a sledování tavné lázně jsou obtížné a vyžadují určité zkušenosti.

Závěrem lze říci, že při dodržení určitých podmínek a respektování vlastností hliníku, je tento materiál i jeho slitiny dobře svařitelný.

Acknowledgement

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu SGS ČVUT 2010 s číslem OHK2-038/10.

References

- [1] Michna, Š. a kolektiv: *Encyklopedie hliníku*, Adin s.r.o., Prešov, 2005
- [2] Auflage, S.: *Aluminu-Werkstoff-Datenblätter*, Aluminium-Verlag Marketing & Kommunikation GmbH, Düsseldorf, 2007.
- [3] Kolář, V.: *Svařitelnost hliníkových slitin*, podklady pro kurz IWE, Praha, 2006
- [4] Green, J.A.S. : *Aluminum Recycling and Processing for Energy Conservation and Sustainability*, ASM International, 2007
- [5] Kaufman J.G. : *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*, ASM International, 2000

CO JE A CO NYNÍ ZNAMENÁ STROJAŘINA ? LZE VŮBEC VRÁTIT STROJAŘINU NA STROJAŘINU ?

What it is Mechanical Science?

Is it Possible to Bring Back Machinery into Technical University?

Josef Zicha

Abstrakt : Předložená úvaha je příspěvkem k probíhající diskusi o směřování Fakulty strojní ČVUT v Praze v blízké budoucnosti. Samozřejmě se nejedná o černobílý problém, ale o pečlivé a uvážlivé přemýšlení o tom, jak se pravděpodobně a s velkým zrychlením bude měnit naše oblast techniky. S ohledem na zmíněné zrychlení, na více než pětiletou časovou konstantu a na dynamiku prožívaných změn nesmí to přemýšlení trvat příliš dlouho, přičemž řešení by mělo být stabilní alespoň po dobu 10 až 15 let.

Klíčová slova. Historická struktura studia, aplikační možnosti strojního inženýrství, vybrané mezinárodní instituce a projekty.

Ačkoliv to není příliš potěšitelné, neúprosně působící šipka času mne – jakožto absolventa naší fakulty z r. 1961 – nemilosrdně posouvá do role pamětníka. V následujících řádcích se pokusím konfrontovat tehdejší stav se současností. Jistě zde hraje výraznou roli můj tehdejší věk 22 let a životní zkušenosti přiřazené k době nynější.

1) Jedním z klíčových momentů byla značná poptávka po strojních inženýrech spjatá s poválečnou obnovou, s budováním průmyslu nezávislého na západních státech a s podporou udržení značně bohatého sortimentu výrobků. Důležitým momentem byla v podstatě neomezená kapacita trhu států soustředěných do RVHP (Rada vzájemné hospodářské pomoci). Nezbytný výzkum a vývoj otevíral další kapacity pro uplatnění strojařů. Je potřeba též připomenout, že uvedené důvody zmenšovaly kádrové (politické) překážky k přijetí na naši fakultu.

2) Výuka byla jednoznačně orientovaná na naše budoucí uplatnění v průmyslu, ve výzkumu a vývoji a nebo v hodně náročných teoretických oborech. Dlužno připomenout, že rozdělování absolventů se dělo na základě tzv. umístěnek do konkrétních podniků podle ministerského rozpisu a podle stejného klíče se určoval počet míst v jednotlivých specializacích. Vyučovalo se od pondělí do soboty (jeden den byla „vojna“), takže na studium a na rýsovací programy bylo sobotní odpoledne a neděle.

3) Všichni jsme prošli stejnými předměty až do 4. ročníku, tzv. specializace začínaly až v 5. ročníku, studium končilo diplomní prací, která se psala a rýsovala po prázdninách a obhajovala v říjnu. Studium mělo pevnou strukturu, eventuální propady se řešily podmíněným zápisem. Součástí studia byly dílny v prvních dvou semestrech, takže každý absolvent byl v podstatě schopen vlastníma rukama realizovat (včetně potřebné technologie)

to, co vymyslel. Po prvním a třetím ročníku byly povinné praxe v průmyslu, v pátém ročníku byla týdenní exkurze do podniků.

4) Nezbytné výpočty ve všech předmětech se odehrávaly buď na logaritmickém pravitku a nebo s využitím logaritmických tabulek, jen výjimečně doplněných přístupem na ruční kalkulatory s průměrnou operační rychlostí 1 součet za 1 s. Skicování a rýsovací zručnost byly systematicky pěstované dovednosti.

Takhle tedy vypadalo naše studium a výhledy na následující uplatnění. Otázkou je tedy, jak vypadá strojařina teď a jaké jsou její perspektivy. Jak z dalšího vyplyne, tak stále platí, že tento obor patří k nejobecnějším, nejdůkladnějším a tedy nejlépe aplikovatelným technickým oborům, které se nabízejí ke studiu.

Nesmím zapomenout na důležitou okolnost předcházející v padesátých létech přijetí na vysokou školu. Soubor výběrových kádrových opatření, které bylo nutno překonat před nástupem na střední a zejména na vysoké školy, vytvářel umělé překážky, jejichž překonání mělo výrazný stimulační účinek pro naše studijní úsilí. Je velice složitou otázkou, zda současní studenti mají srovnatelnou stimulaci, když pominu např. zodpovědnost k rodičům.

Studijní současnost popisovat nebudu, protože ji každý čtenář denně prožívá a je mu blízká a značné rozdíly za časový interval půl století jsou zřejmé a byla by chyba, kdyby tomu tak nebylo. Ani okrajové nebo lépe řečeno vnější podmínky nejsou stejné. Možnost svobodného pohybu po světě je jednou z nejpodstatnějších.

Řada strojírenských podniků, které tvořily páteř národního hospodářství sice zanikla, ale zejména v poslední době se objevují podniky nové, jejichž společným znakem je dovezená špičková technologie. Tento nástup je potřeba zohlednit a dále rozvíjet. Nápadů totiž může existovat nespočetné množství, ale mají svoji cenu jen tehdy, když budeme vědět, jak lze dotyčný produkt efektivně realizovat – vyrobit.

Mnoho oblastí vědy a techniky se spojilo k vytvoření nového společenského fenoménu, kterým je výpočetní technika. Díky novým možnostem se objevila relativně nová modifikace inženýrské práce – simulace. Ve své prapodstatě to není nic nového, protože každý technický výpočet nějakým způsobem simuluje vlastnosti hotového díla – krásným příkladem mohou být pevnostní nebo optické výpočty. Kvalitativní rozdíl ale spočívá v rychlosti výpočtů, která může být tak veliká, že vede např. k popisu chování regulovaných systémů s velice komplikovanou strukturou a vazbami jednotlivých komponent, k animaci pohybů mechanismů a nebo ke studiu proudění tekutin. To je pouze několik vybraných příkladů, strojírenských aplikací je však bezpočet a zasahují i do procesu konstruování a všech představitelných výpočtů. Nelze však zapomenout, že nutnou podmínkou úspěšných simulací je perfektní znalost teorie simulovaných procesů.

Zde se tedy otevírá nové pole inženýrské práce, které je ale nutně spojené s tvůrčí schopností formulace návrhu, jeho zhodnocení na základě prakticky získaných dovedností a realizace ověřovacích experimentů. Při experimentální kontrole procesů se přichází na to, že linearita jevů je často jen umělým zjednodušením studovaného jevu a to jen znovu potvrzuje nezbytnou zručnost při přípravě a plánování experimentů s potřebnou rezervou na studium okrajových jevů. Pokud dojde k funkčním problémům na hotovém technickém díle, jsou k nápravě nutné rozsáhlé vědomosti a zkušenosti podpořené stálým přísunem nových informací.

Vliv techniky na rozvoj možností lékařských profesí je nesporný. Strojní fakulta na to reagovala zřízením biomedicínského oboru, jehož náplní je konstrukce speciálních přístrojů,

kloubních náhrad, rehabilitačních a podpůrných zařízení a studium dynamiky dějů probíhajících v lidském těle. Jedná se o klasický případ mezioborové činnosti charakterizované týmovou prací mnoho specialistů.

Klasickou strojařskou oblastí je energetika, která je v současnosti charakterizovaná množstvím zdrojů o značně odlišných vydatnostech a mírách spolehlivosti. Samozřejmým předpokladem úspěšné inženýrské práce je důkladná znalost principů za kterých k uvolňování energie dochází.

Samostatnou oblastí strojírenské praxe je mechatronika – obor integrující řadu velkých technických disciplín – mechaniku v celém rozsahu, elektroniku, fyziku včetně optiky, konstruování, technologii, informační technologie a další podobné.

Výrazným fenoménem současnosti je miniaturizace, která je v některých případech již limitována atomovou strukturou hmoty. Nový obor – nanotechnologie – v sobě opět zahrnuje rozsáhlý soubor technických disciplín jako např. metrologii, nauku o materiálech, fyziku, chemii, speciální technologie a mnohé další.

Oprávněně se dá očekávat, že poroste poptávka po inženýrech, kteří jsou schopni zúčastnit se mezinárodní spolupráce na evropských projektech, často spojených s účastí mimoevropských pracovišť. Možno zde připomenout projekty ITER, ELI a mnoho dalších projektů evropských institucí jako např. CERN, ESO, ESA a další. Jde o velice významné mezioborové aktivity, které vyžadují zaškolení v oblastech od strojírenství až po vzdálených, jako např. astronomie, astrofyzika, atomová a jaderná fyzika, nelineární optika, rentgenová optika, detekce různých druhů záření, atd.

Z uvedeného značně zredukovaného přehledu je tedy zřejmé, že naši absolventi se skutečně nemusí obávat o dobré pracovní příležitosti v dlouhodobé perspektivě, pokud věnují čas systematickému a nepřetržitému studiu souvisejících nauk, které pro jistotu znovu uvádím: matematika, mechanika, fyzika, chemie, konstruování, technologie, nauka o materiálech, aplikovaná elektrotechnika, pružnost a pevnost, automatizace, stavba strojů a přístrojová technika. Každý náš absolvent by měl být specialistou alespoň v jedné ze strojírenských disciplín a měl by se orientovat v co nejširším spektru (nejen) technických oborů.

Nelze opomenout potřebnost řemeslnické zručnosti a zkušenosti včetně citu pro materiál, protože v uzavřené smyčce tvořené konstrukcí a technologií se vytvářejí podmínky pro efektivní výrobu. Tovární praxe, prostředí v laboratořích a na výzkumných pracovištích přímo vyžadují řemeslnické znalosti spolu se schopností realizovat rychlé improvizace při experimentech.

To, co je v několika předcházejících odstavcích by mohlo být odpovědí na první otázku v záhlaví článku. Z toho tedy plyne závěr, že současné strojírenství svým rozsahem vyžaduje, aby

strojírenský inženýr byl „renesančním člověkem“.

Jaká je odpověď na druhou položenou otázku? Strojařinu v té podobě, jakou pamatuje moje generace nelze resuscitovat, takže **odpověď na druhou otázku je negativní**. Díky globálnímu technickému pokroku a své univerzálnosti se rozkošatila tak, že své haluze proplétá s obory a s aktivitami donedávna i dosti odlehlými. Jejich prostřednictvím se však stala nepominutelnou a stále více akcentovanou součástí našeho každodenního života.

Jedno však zůstává stálé. Strojní inženýr může být úspěšný jen tehdy, když svoji kariéru založí na důkladné a promyšlené znalosti věd tvořících základy techniky a podle slov pana Prof. Miroslava Hajna se bude ochoten učit až do konce svých dnů.

Před více než půl stoletím nám pan Prof. Kalčík vyjmenoval základní a doposud nezměněné „kovové vlastnosti“ úspěšného studenta : Železné zdraví, ocelové nervy a olověný zadek. Neusilujme tedy o diskutabilní návrat staré strojařiny na strojařinu, ale usilujme o návrat strojařů na strojařinu, což je možné pouze prostřednictvím pracovitých studentů. Pokud jste to, přátelé, právě vy, tak přijďte! Kapacita poslucháren je dostačující, těšíme se na vás.

A na závěr citát pana Prof. Alfréda Bolka : “Zdá se mi, že studijní úsilí posluchačů strojní fakulty povážlivě ochablo. Nedávno jsem šel ve tři hodiny ráno kolem Hlávkovy koleje a žádné okno již nesvítilo“.

Autor (editor): Ing. Cyril Oswald, Ing. Ivo Bukovský, Ph.D.

Název díla: NOVÉ METODY A POSTUPY V OBLASTI PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY,
AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ A INFORMATIKY

Vydalo České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala Fakulta strojní

Kontaktní adresa: Technická 4, 166 07

Tel.: 2 2435 2529

Vytiskla: C330dn

Adresa tiskárny: m.č. 403, Technická 4, 166 07

Počet stran: 110. Vydání 1

ISBN 978-80-01-05041-5