

**5**

Branislav Dobrucký - Alena Otčenášová - Michal Pokorný - Rastislav Tabaček

**NOVÉ TRENDY V DYNAMICKEJ KOMPENZÁCI A REKUPERÁCI ENERGIE V ELEKTRICKEJ TRAKCII**  
**THE NEW POSSIBILITIES OF DYNAMIC COMPENSATION AND REGENERATION OF ENERGY IN ELECTRIC TRACTION**

---

**13**

Juraj Spalek - Monika Molnárová

**POUŽITIE FUZZY LOGIKY V RIADENÍ KRITICKÝCH PROCESOV**  
**USING FUZZY LOGIC IN THE CRITICAL PROCESS CONTROLLING**

---

**18**

Bernard Bednárík - Milan Pospíšil - Jiří Drábek - Ján Valuška

**METODIKA NÁVRHU ELEKTRICKÉHO POHONU TRAKČNÉHO VOZIDLA S ASYNCHRÓNNYMI MOTORMI**  
**A METHOD OF PROJECTING OF ELECTRIC DRIVE FOR THE TRACTION VEHICLE WITH AN ASYNCHRONOUS MOTOR**

---

**31**

Jerzy Merksiz - Vladimír Hlavňa

**SPALOVACIE MOTORY NA PRELOME TISÍCROČÍ**  
**INTERNAL COMBUSTION ENGINES AT THE TURN OF MILLENNIA**

---

**39**

Milan Moravčík

**SKÚSENOSTI Z TESTOVANIA TRATE PRE OVEROVANIE TEORETICKÝCH MODELOV**  
**EXPERIENCE IN RAILWAY TRACK TESTING FOR VALIDATION OF THEORETICAL DYNAMIC ANALYSIS**

---

**52**

Ján Bujňák - Monika Šimalová

**TEORETICKÝ A EXPERIMENTÁLNY VÝSKUM SPRIAHNUTÝCH TRÁMOV**  
**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF COMPOSITE BEAMS**

---

**57**

Ján Čorej - Martin Decký

**CESTNÉ VOZOVKY Z HĽADISKA BUDÚCICH POŽIADAVIEK CESTNEJ DOPRAVY**  
**PAVEMENTS FROM THE POINT OF VIEW OF FUTURE REQUIREMENTS OF ROAD TRANSPORT**

---

**65**

Ivan Malíček

**MODERNIZÁCIA ŽELEZNIČNÝCH UZLOV**  
**MODERNISATION OF RAILWAY JUNCTIONS**

---

**69**

Ján Štefánik

**KULTÚRA KVALITY, KEÚČ KU ZLEPŠENIU KVALITY**  
**QUALITY CULTURE THE KEY TO QUALITY IMPROVEMENT**

---

**73**

Stanislav Kmeť - Pavol Magner

**RÝCHLA CESTA KU KVALITE**  
**FAST WAY TO QUALITY**

---

**78**

Neville R. Hunt - Shamim Z. Warwick

**VZDELÁVANIE NA PRACOVNOM MIESTE: INJEKCIA ALEBO INFEKCIA?**  
**WORK-BASED LEARNING: INJECTION OR INFECTION?**

---

**85**

Viera Poppeová - Nadežda Čuboňová - Juraj Určiek

**VÝUČBA POČÍTAČOM PODPOROVANÝCH TECHNOLOGIÍ V STROJÁRSTVE**  
**EDUCATION OF CA TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING STUDY**

---

**90**

Anna Hlavňová

**JAZYK AKO NÁSTROJ KOMUNIKÁCIE**  
**LANGUAGE AS MEANS OF COMMUNICATION**

---

dostáva sa vám do rúk prvé číslo časopisu **Komunikácie - vedecké listy Žilinskej univerzity / Communications - Scientific Letters of the University of Žilina**, ktorý začína vydávať Žilinská univerzita, ako svoj vedecký časopis. Očakávame, že v ňom bude dostatok priestoru na prezentáciu najnovších vedeckovýskumných poznatkov, ale aj trendov vo vzdelávaní, v oblastiach dopravných, telekomunikačných a informačných technológií. Mal by to byť časopis, ktorý pod názvom KOMUNIKÁCIE bude približovať aj širší okruh problémov, nevynímajúcich aspekty rozvoja vedy, techniky a ich vplyv na spoločnosť.

Komunikácie treba vnímať ako prostriedok pre zmenu vzťahov, pre zmenu spoločnosti.

Nový časopis, ktorý sa má stať prostriedkom prezentácie výsledkov vedy a výskumu na univerzite, ale aj prostriedkom komunikácie univerzity s okolím, si musí nájsť svoje miesto. Na to, aby si ho našiel, musia jeho tvorcovia za každým novým číslom vidieť v prvom rade čitateľa, pre ktorého nebude dôležitá kvantita, ale kvalita príspevkov a ich aktuálnosť.

Prajem všetkým, ktorí sa podieľali na vzniku časopisu, aby mali šťastnú voľbu, aby sa vytvoril ďalší prvok podporujúci, ale aj symbolizujúci rozvoj Žilinskej univerzity a jej spolupráce s ostatnými inštitúciami vedy a praxe. Želám, aby sa tento časopis stal prostriedkom komunikácie a súčasne jedným z katalyzátorov pozitívnych spoločenských a ekonomických zmien, ku ktorým rozhodne musia KOMUNIKÁCIE prispieť.



*Vážení čitatelia,  
Dear Readers,*

---

This is the first issue of the **Communications - Scientific Letters of the University of Žilina**. The University expects to publish its scientific journal to provide opportunity for the latest scientific and research findings and also new trends in the areas of education, transport and telecommunications and information technologies. Under the auspices of COMMUNICATIONS the journal is

expected to also provide a wider range of topics including the development of science and technology and their influence on society.

Communications lead to a change in relations, a change in society.

The new journal will also serve as a means of communication for the university with the surrounding institutions. In order to meet these objectives the editors must understand the readers of the journal. Quality not quantity regarding the issues dealt with in the journal will be of utmost importance.

I wish all who took an active part in the preparation and the editing of the journal every success. This journal represents another step in promoting and symbolizing the development of Žilina University and its cooperation with institutions of science and practice. I wish this journal to be a means of effective communication and, at the same time, a catalyst of positive social and economic changes to which COMMUNICATIONS will contribute.

Prof. Eng. Milan Dado, PhD.  
Rector of the University of Žilina

# NOVÉ TRENDY V DYNAMICKEJ KOMPENZÁCII A REKUPERÁCII ENERGIE V ELEKTRICKEJ TRAKCII

## THE NEW POSSIBILITIES OF DYNAMIC COMPENSATION AND REGENERATION OF ENERGY IN ELECTRIC TRACTION

Článok uvádza dynamickú kompenzáciu, filtráciu harmonických zložiek a rekuperáciu symetrických neharmonických/nelineárnych záťaží elektrizačnej sústavy. Je tu prezentovaná nová originálna myšlienka použitia Clarkeovej ortogonálnej transformácie na vytvorenie stavového vektora skúmaných veličín a ich rozkladu na reálnu a imaginárnu časť. Vďaka šesťstranovej symetrii stavového vektora v komplexnej oblasti vzorkovacie a riadiace obvody filtra zvládnu aj rýchle dynamické zmeny záťaže. Analýza a výpočet činného výkonu/prúdu záťaže môžu byť dokončené v priebehu jednej štvrtiny periódy pre jednofázovú sústavu, alebo jednej šiestiny periódy pre trojfázovú sústavu (z dát získaných v predchádzajúcej štvrtine alebo šiestine). Odozva kompenzátora na aktuálny stav záťaže je tak zabezpečená v najkratšom možnom čase.

The paper presents dynamic compensation, harmonics filtration and regeneration of symmetrical non-harmonic / non-linear loads in energetic systems. The new original thought uses Clarke's orthogonal transform for creation of state-space vector of investigated quantities and its decomposition into real- and imaginary components. The acquisition and control circuitry of the filter can then handle fast dynamic changes of the load, due to six-side symmetry of state-space vector in the complex domain. The analysis and computation of the load's active power / current should be completed within one fourth of the period for single-phase system and one sixth of the period for three-phase system (from acquired data of previous fourth or sixth periods). The compensator response to the actual state of the load then can be as fast as possible.

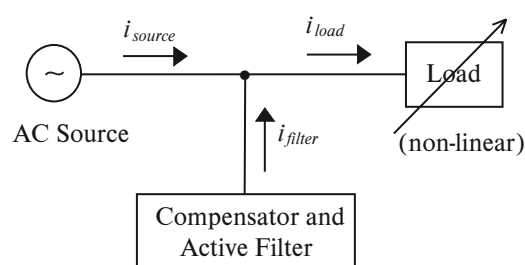
### 1. Úvod

Prúd záťaží, ktoré (ak uvažujeme ich nelineárny charakter) odoberajú jalový a deformačný výkon, je zložený zo základnej zložky s jednotkovým účinníkom voči napätiu siete a harmonických zložiek, ktoré tvoria jalový a deformačný kompenzačný prúd.

### 1. Introduction

The current of the load, which needs (considering its non-linear nature) to be supplied by reactive and distortion powers will be composed of a fundamental component with a unity power factor against the network supply voltage and harmonic components, constituted by reactive and distorted compensating currents.

Na elimináciu týchto javov je potrebné kompenzovať účinník a filtrovať harmonické zložky, najlepšie v mieste ich vzniku - obr. 1. To môže robiť kompenzátor a aktívny filter, dokonca aj v prípadoch, kedy sa zataženie rýchlo mení.



To eliminate this phenomena, it is necessary to compensate the power factor and filter higher harmonic better than just in the point of their origin, Fig. 1. Compensator and active filters can do this, even in the case of rapidly changing loads.

Hlavnou úlohou kompenzátora alebo aktívneho  $i_{filter}$ , obr. 2, je generovanie takého doplnkového kompenzačného prúdu  $i_{filter}$ , ktorý po sčítaní s neharmonickým a fázovo posunutým prúdom záťaže  $i_{load}$  zabezpečí, že z napájacej siete bude odoberaný iba činný výkon (činný a sínusový prúd  $i_{source}$ ):

Obr. 1. Bloková schéma paralelnej kompenzácie a filtrácie  
Fig. 1 Block scheme of parallel compensation and filtering

The main task of such a compensator or active  $i_{filter}$ , Fig. 2, is the generation of complementary compensating current  $i_{filter}$  such that after its addition with non-harmonic and phase shifted load current  $i_{load}$ , the only active power (active and sinusoidal current  $i_{source}$ ) will be taken off the supplying network:

\* Prof. Ing. Branislav Dobrucký, PhD., Ing. Alena Otčenášová, PhD., Doc. Ing. Michal Pokorný, PhD., Doc. Ing. Rastislav Tabaček, PhD., Department of Electric Traction and Energetics, Faculty of Electrical Engineering, University of Žilina, V. diel ND 220, SK-010 26 Žilina, Slovak Republic, Phone +421-89-646 2188, Fax +421-89-549 63, E-mail dobrucky@kete.utc.sk

$$i_{load}(t) = i_{filter}(t) + i_{source}(t) \quad (1)$$

Výpočet tohto kompenzačného prúdu je najdôležitejšou činnosťou riadiacich obvodov kompenzátora. Výpočty sa môžu uskutočniť dvoma rôznymi spôsobmi:

- Určením (meraním, alebo iným spôsobom) činného výkonu záťaže:

$$P_{AV} = \frac{1}{T} \int (i_{load} \cdot v_{source}) dt \quad (2)$$

kde  $v_{source}$  je napätie zdroja. Amplitúda základnej zložky činného prúdu:

$$I_{1source} = \frac{2 P_{AV}}{V_{source}} \quad (3)$$

- Určením základnej harmonickej zložky prúdu záťaže harmonickou analýzou:

$$i_{load} = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(\omega_n \cdot t)) + \sum_{n=1}^{\infty} (b_n \sin(\omega_n \cdot t)) \quad (4)$$

kde  $a_n$  a  $b_n$  sú koeficienty Fourierovho rozvoja a  $a_o$  je hodnota jednosmernej zložky analyzovaného priebehu. Amplitúda a fáza základnej zložky prúdu potom sú:

$$I_{1load} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2};$$

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{b_1}{a_1}\right) \quad (5)$$

Amplitúda prúdu zdroja, ktorý má rovnakú fázu ako napätie zdroja potom je:

$$I_{1source} = I_{1load} \cdot \cos\varphi_1 \quad (6)$$

## 2. Kompenzácia a filtrácia v ortogonálnej transformácii

V Clarkeovej transformácii bude mať určitá veličina tvar:

$$x^*(t) = \frac{2}{3} \left[ x_a(t) + a x_b(t) + a^2 x_c(t) \right] = x_\alpha + j x_\beta \quad (7)$$

kde  $x^*(t)$  je stavový vektor danej veličiny,  $x_a, b, c$  sú fázové hodnoty a

$$a = e^{j \frac{2}{3} \cdot \pi}; j = \sqrt{-1}; x_\alpha = \frac{1}{3} (2 x_a - x_b - x_c);$$

$$x_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} (x_b - x_c) \quad (8)$$

V trojvodičovom symetrickom systéme:  $x_\alpha = x_a$ .

$$i_{load}(t) = i_{filter}(t) + i_{source}(t) \quad (1)$$

The calculation of this compensating current is the most important activity of the compensator's control circuit. The calculations can be carried out in two different ways:

- By determination (by measurement or in another way) of the load's active power:

$$P_{AV} = \frac{1}{T} \int (i_{load} \cdot v_{source}) dt \quad (2)$$

where  $v_{source}$  is the source voltage. Amplitude of the active current fundamental component:

$$I_{1source} = \frac{2 P_{AV}}{V_{source}} \quad (3)$$

- By determination of the load current's fundamental component by harmonic analysis:

$$i_{load} = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(\omega_n \cdot t)) + \sum_{n=1}^{\infty} (b_n \sin(\omega_n \cdot t)) \quad (4)$$

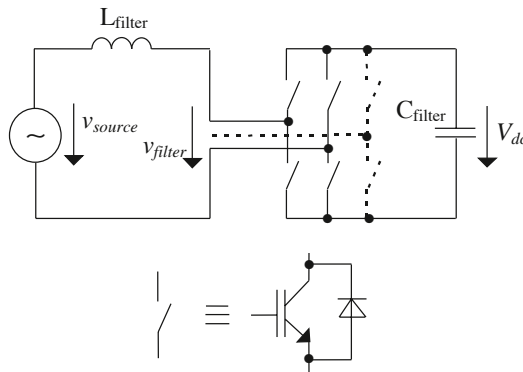
where  $a_n$  and  $b_n$  are the coefficients of Fourier series and  $a_o$  is the value of DC component of analysed waveform. Amplitude and phase angle of the current's fundamental component are then:

$$I_{1load} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2};$$

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{b_1}{a_1}\right) \quad (5)$$

The amplitude of source current, which has the same phase angle as the source voltage is then:

$$I_{1source} = I_{1load} \cdot \cos\varphi_1 \quad (6)$$



Obr. 2. Základné zapojenie 1(3)-fázového kompenzátora  
Fig. 2 Basic connection of 1(3)-phase compensator

## 2. Compensation and Filtering under Orthogonal Transform

Any quantity under Clarke transform will have the following form:

where  $x^*(t)$  is the state-space vector of any quantity,  $x_a, b, c$  are phase values and

$$a = e^{j \frac{2}{3} \cdot \pi}; j = \sqrt{-1}; x_\alpha = \frac{1}{3} (2 x_a - x_b - x_c);$$

$$x_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} (x_b - x_c) \quad (8)$$

In 3-wire symmetrical system:  $x_\alpha = x_a$ .

Pri výpočte  $P_{AV}$  založenom na šesťstranovej symetrii trajektórie  $x^*(t)$  [3], [8] v Gaussovej rovine pre neharmonické veličiny, sa môže integrovať v ľubovoľnom časovom intervale dĺžky  $T/6$  s rovnakým výsledkom ako v časovej oblasti.

V prípade neharmonických veličín  $v$  a  $i$ , môžeme dostať nasledovné hodnoty určené pre časový interval od  $-\pi/6$  do  $\pi/6$ :

$$P_{AV} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{\pi} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} (v_{\alpha} \cdot i_{\alpha} + v_{\beta} \cdot i_{\beta}) d\omega t \quad (9)$$

Uvedený integrál bol vypočítaný podľa predpokladov uvedených v autorovom článku [10] a podrobný výpočet je uvedený v prílohe 1 v [11].

Podobným spôsobom sa určí komplexný Fourierov koeficient pre prúd záťaže:

$$C_1 = \frac{3}{2} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} \left\{ \left[ i_{\alpha} \cos(\omega t) + i_{\beta} \sin(\omega t) \right] + j \left[ i_{\beta} \cos(\omega t) - i_{\alpha} \sin(\omega t) \right] \right\} d\omega t \quad (10)$$

Podrobný výpočet tohto vzťahu je uvedený v prílohe ďalšieho autorovho článku [8].

V jednofázovom systéme môže byť použitý nasledovný postup: Jeho základom je vyjadrenie symbolického vektora a substitúcia sínusovej funkcie:

$$\cos(\omega t) \rightarrow \exp(j\omega t) = \cos(\omega t) + j \cdot \sin(\omega t) \quad (11)$$

Takto bude prúd odporovo-induktívnej záťaže v ustálenom stave:

$$i^*(t) = V \cdot \exp(j\omega t) / |Z| \cdot \exp(j\varphi) = I [\cos(\omega t - \varphi) + j \cdot \sin(\omega t - \varphi)] \quad (12)$$

kde  $Z = R + j\omega L$  a  $\varphi = \text{arctg}(\omega L/R)$  a výsledok je reálna časť  $i^*(t)$ .

Ak máme jednofázový systém určený

$$v(t) = V \cos(\omega t); i(t) = I \cos(\omega t - \varphi), \quad (13)$$

po doplnení fiktívnej imaginárnej fázy, ktorá je definovaná

$$v_f(t) = V_f \sin(\omega t); i_f(t) = I_f \sin(\omega t - \varphi) \quad (14)$$

dostaneme ortogonálny súradnicový systém, kde

$$v_{\alpha} = v(t) \text{ a } v_{\beta} = v_f(t) \quad (15)$$

Vo všeobecnosti sa fiktívna imaginárna fáza môže vytvoriť posunutím pôvodnej jednofázovej veličiny doprava s fázovým posunom rovným  $-\pi/2$ . To vyplýva zo štvor-stranovej symetrie trajektórie vektorovej veličiny v Gaussovej rovine [5]. Pozri obr. 3. Pre veličinu so štvor-stranovou symetriou musí platiť nasledujúca rovnica:

Based on the 6-side symmetry of trajectory of  $x^*(t)$  [3], [8] in the Gauss plane for non-harmonic quantities, computing  $P_{AV}$ , one can integrate in an arbitrary time interval the length of  $T/6$  with the same result as in the time domain.

In the case of non-harmonic quantities  $v$  and  $i$ , the following values can be derived for time interval from  $-\pi/6$  to  $\pi/6$ :

$$P_{AV} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{\pi} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} (v_{\alpha} \cdot i_{\alpha} + v_{\beta} \cdot i_{\beta}) d\omega t \quad (9)$$

The above integral was calculated in accordance with the considerations mentioned in the author's paper [10] and the detailed computation is in Appendix 1 of [11].

We obtain in a similar way the complex Fourier coefficient of the load's current:

The detailed derivation of the above equation is in the Appendix of another author's paper [8].

In the single phase system the following approach can be used: The basis for this approach can be a symbolic vector expression and substitution of harmonic function as

$$\cos(\omega t) \rightarrow \exp(j\omega t) = \cos(\omega t) + j \cdot \sin(\omega t) \quad (11)$$

thus for resistant-inductive load current in steady-state

$$i^*(t) = V \cdot \exp(j\omega t) / |Z| \cdot \exp(j\varphi) = I [\cos(\omega t - \varphi) + j \cdot \sin(\omega t - \varphi)] \quad (12)$$

where  $Z = R + j\omega L$  and  $\varphi = \text{arctg}(\omega L/R)$  and the result is the real part of  $i^*(t)$ .

So, let's define a single-phase system as

$$v(t) = V \cos(\omega t); i(t) = I \cos(\omega t - \varphi), \quad (13)$$

After complementing by fictitious imaginary phase defined as

$$v_f(t) = V_f \sin(\omega t); i_f(t) = I_f \sin(\omega t - \varphi) \quad (14)$$

we obtain an orthogonal co-ordinate system whereas

$$v_{\alpha} = v(t) \text{ and } v_{\beta} = v_f(t) \quad (15)$$

Generally, the fictitious imaginary phase can be created by shifting ordinary single-phase quantity to the right with the phase shift equal to  $-\pi/2$ . It follows out from the 4-side symmetry of vector quantity trajectory in Gauss plane [5], see Fig. 3. The following equation must be valid for quantity with 4-side symmetry

$$x^*(t) = x^*(t - T/4) \cdot \exp(j \cdot \pi/2) \quad (16)$$

a tiež

$$x(t) = -x(t - T/2) \quad (16a)$$

$$\text{a } x_i(t) = x(t - T/4)$$

A záverom môže byť uvedená všeobecná transformačná rovnica pre jednofázový systém:

$$x^*(t) = K [x(t) + \exp(j \cdot \pi/2) x_i(t)] \quad (17)$$

kde  $K$  je multiplikatívna konštanta (pre jednofázový systém je rovná 1) a

$$x_\alpha = x(t) \quad \text{a} \quad x_\beta = x_i(t) \quad (18a,b)$$

Fourierova analýza vyšetrovanej veličiny sa potom môže vykonať v 1/4 časovej periódy, ako je ukázané na obr. 3. Komplexné Fourierove koeficienty sú definované

$$C_1^* = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} x^*(t) \cdot \exp(-j\omega t) dt \quad (19)$$

Predpokladajme súbor numerických dát pre  $v(t)$  a  $v_i(t)$  z [5], pozri obr. 4. Výsledok dostaneme aplikáciou numerického riešenia integrálov (9) substitúciou

$$\int_0^{T/4} x^*(t) \cdot \exp(-j\omega t) dt \approx \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-1} [f(k \cdot t)] + (f(0) + f(N))/2 \quad (20)$$

kde  $N$  je počet vzoriek,  $k$  je poradie vzorky. Výsledná trajektória základnej zložky, daná  $C_1$ ,  $\varphi_1$  z (19), je na obr. 3 (bodkovaná čiara).

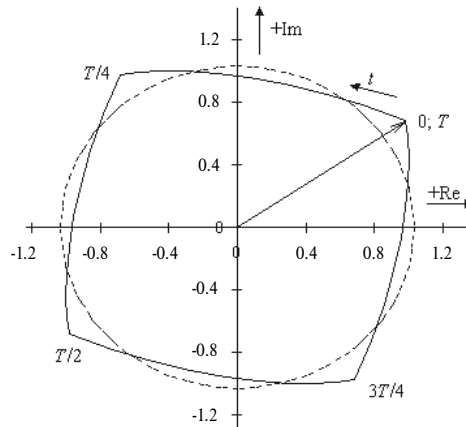
**Určenie činného a jalového výkonu.** Uvažujme teraz pre jednoduchosť sínusové priebehy fázového napätia a prúdu

$$v(t) = V \cos(\omega t) \quad (21a,b)$$

$$i(t) = I \cos(\omega t - \varphi)$$

Použitím časovo sub-optimálnej analýzy v transformovaných ortogonálnych súradniciach pre štvorstranovú symetriu sa stredná hodnota činného výkonu  $P_{AV}$  v originálnej (skutočnej) fáze určí:

$$P_{AV} = \frac{P_{\alpha\beta AV}}{2} = \frac{2}{T} \int_0^{T/4} [v_\alpha \cdot i_\alpha + v_\beta \cdot i_\beta] dt \quad (22)$$



Obr. 3. Trajektória výstupného napätia jednofázového prúdového meniča v komplexnej Gaussovej rovine [5]  
Fig. 3 Trajectory of output voltage of single-phase current inverter in complex Gauss plane [5]

$$x^*(t) = x^*(t - T/4) \cdot \exp(j \cdot \pi/2) \quad (16)$$

and also

$$x(t) = -x(t - T/2) \quad (16a)$$

$$\text{and } x_i(t) = x(t - T/4)$$

Finally, the general transform equation can be introduced for single-phase system

$$x^*(t) = K [x(t) + \exp(j \cdot \pi/2) x_i(t)] \quad (17)$$

where  $K$  is multiplicative constant (equal to 1 for single-phase system) and

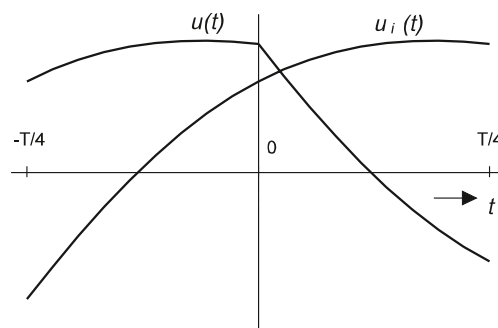
$$x_\alpha = x(t) \quad \text{and} \quad x_\beta = x_i(t) \quad (18a,b)$$

Fourier analysis of investigated quantity is then possible to do in 1/4 of time period as seen in Fig. 3. The complex Fourier coefficients are defined as

$$C_1^* = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} x^*(t) \cdot \exp(-j\omega t) dt \quad (19)$$

Let's assume a set of numerical data for  $v(t)$  and  $v_i(t)$  from [5], see Fig. 4. The result can be gained by application of the numerical solution of the integrals (9) by substitution

where  $N$  is the number of samples,  $k$  is the order of the sample. The resulting trajectory of fundamental harmonic given by  $C_1$ ,  $\varphi_1$  from (19), can be seen in Fig. 3 (dotted line).



Obr. 4. Časové priebehy  $v(t)$  a  $v_i(t)$   
Fig. 4 Time waveforms of  $v(t)$  and  $v_i(t)$

**Active and Reactive Power Determination.** Assume now, for simplicity, harmonic waveforms of phase-voltage and phase-current

$$v(t) = V \cos(\omega t) \quad (21a,b)$$

$$i(t) = I \cos(\omega t - \varphi)$$

Using the time-sub-optimal analysis in transformed orthogonal coordinates for 4-side symmetry an average value of active power  $P_{AV}$  of an original (real) phase

$$P_{AV} = \frac{P_{\alpha\beta AV}}{2} = \frac{2}{T} \int_0^{T/4} [v_\alpha \cdot i_\alpha + v_\beta \cdot i_\beta] dt \quad (22)$$

Stredné hodnoty činného výkonu v imaginárnej fáze  $P_{iAV}$  a jalových výkonov oboch fáz, originálnej  $Q_{AV}$  a imaginárnej  $Q_{iAV}$  sa určia podobným spôsobom.

Metóda okamžitého jalového výkonu je aplikovaná v [6] na trojfázový systém, ale vyššie uvedená teória ju dovoľuje použiť aj na jednofázový systém:

$$\begin{aligned} p_{\alpha\beta} &= v_{\alpha} \cdot i_{\alpha} + v_{\beta} \cdot i_{\beta} \\ q_{\alpha\beta} &= v_{\alpha} \cdot i_{\beta} - v_{\beta} \cdot i_{\alpha} \end{aligned} \quad (23a,b)$$

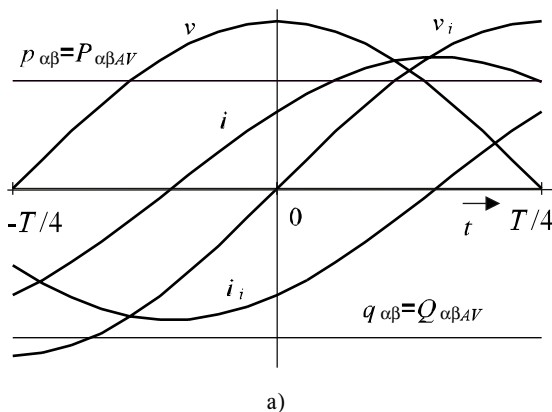
kde  $p_{\alpha\beta}$  a  $q_{\alpha\beta}$  sú okamžité činné a jalové výkony oboch fáz v ortogonálnych súradniciach. Pre sínusové priebehy sú konštantné a účinník sa môže vypočítať z fázového posunu, obr. 5:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{q_{\alpha\beta}}{p_{\alpha\beta}}\right) \quad (24)$$

Dôležité je, že  $p_{\alpha\beta}$ ,  $q_{\alpha\beta}$  a  $\varphi$  sú v tomto sínusovom prípade určené okamžite, čo je zásadným prínosom uvádzanej metódy.

V prípade neharmonických záťaží hodnoty okamžitých činných a jalových výkonov nie sú konštantné vplyvom existencie deformačného výkonu, zapríčineného harmonickými zložkami. Potom okamžité činné a jalové výkony sú:

$$p_{\alpha\beta} = P_{\alpha\beta AV} + p_{\alpha\beta AC} \quad \text{a} \quad q_{\alpha\beta} = Q_{\alpha\beta AV} + q_{\alpha\beta AC} \quad (25a,b)$$



Average values of active power of imaginary phase  $P_{iAV}$  and reactive powers of both original  $Q_{AV}$  and imaginary  $Q_{iAV}$  phases can be determined similarly.

Utilisation of the instantaneous reactive power method is used in [6] for three-phase systems, and the above theory allows its use for single-phase systems as well

$$\begin{aligned} p_{\alpha\beta} &= v_{\alpha} \cdot i_{\alpha} + v_{\beta} \cdot i_{\beta} \\ q_{\alpha\beta} &= v_{\alpha} \cdot i_{\beta} - v_{\beta} \cdot i_{\alpha} \end{aligned} \quad (23a,b)$$

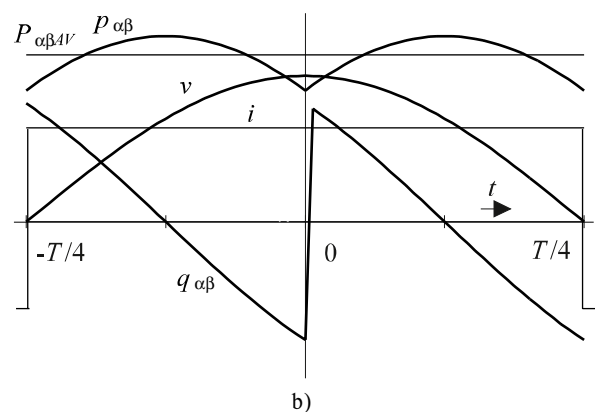
where  $p_{\alpha\beta}$  and  $q_{\alpha\beta}$  are the instantaneous active and reactive powers of both phases in orthogonal coordinates. For sinusoidal waveforms they are equal to constants and the power factor can be determined by phase shift, Fig. 5

$$\varphi = \arctg\left(\frac{q_{\alpha\beta}}{p_{\alpha\beta}}\right) \quad (24)$$

It is important that  $p_{\alpha\beta}$ ,  $q_{\alpha\beta}$  and  $\varphi$  are in this sinusoidal case determined instantaneously what is the essential contribution of the introduced method.

In case of non-harmonic loads the values of instantaneous active and reactive powers are not constant, due to the existence of deformation power caused by harmonic components. Then the instantaneous active and reactive powers are

$$p_{\alpha\beta} = P_{\alpha\beta AV} + p_{\alpha\beta AC} \quad \text{and} \quad q_{\alpha\beta} = Q_{\alpha\beta AV} + q_{\alpha\beta AC} \quad (25a,b)$$



Obr. 5. Časové závislosti  $p_{\alpha\beta}$ ,  $q_{\alpha\beta}$  zložiek výkonu pre sínusovú (a) a neharmonickú (b) záťaž

Fig. 5 Time-dependence of instantaneous  $p_{\alpha\beta}$ ,  $q_{\alpha\beta}$  components of the power for sinusoidal (a) and non-harmonic (b) loads

V aktívnych filtroch sú referenčné hodnoty kompenzačných prúdov založené na znalosti vyššie odvodených vzťahov pre činné a jalové výkony, pričom stredná hodnota činného výkonu musí byť eliminovaná. V trojfázových aktívnych filtroch sa striedavé zložky výkonov obvykle získajú pomocou dolnopriepustných filtrov, niekedy výpočtom za určitý časový interval (jedna perióda). V jednofázových aktívnych filtroch tieto metódy neboli použité, nakoľko nebola k dispozícii teória ortogonálnej transformácie pre jednofázový systém, popísaná v tomto článku. Vďaka tejto teórii je

In active filters the reference values of compensating currents are based on the knowledge of the above derived formulae for active and reactive powers, where the average value of active power must be eliminated. In three-phase active filters the AC components of powers are gained usually by low-pass filtering, sometimes by calculation through some time interval (one period). In single-phase active filters those methods were not used because of the lack of the orthogonal transform theory for the single-phase system described in this paper. Thanks to that theory it is possible to

možné počítať stredné hodnoty činného a jalového výkonu za 1/4 časovej periódy. Tieto stredné hodnoty sa môžu počítať spojito, pre každý časový okamih  $t$ , s použitím dát uložených za predchádzajúcu 1/4 periódy.

### 3. Možnosti rekuperácie kinetickej a potenciálnej energie vozidiel

Podobne ako pri kompenzácii a aktívnom filtrovaní je možné šetriť elektrickú energiu rekuperáciou kinetickej a potenciálnej energie trakčného vozidla pri rekuperačnom brzdení alebo udržiavaní rýchlosti pri jazde po spáde [7]. Základná schéma silových obvodov pre rekuperáciu energie je podobná ako na obr. 2. Kvôli namáhaniu vysokým napätím používajú sa dvoj alebo viacúrovňové zapojenia, obr. 6.

Zdroj energie - brzdiaci trakčný motor (motory) musí byť pripojený na jednosmerný vstup meniča. V prípade jednosmernej trakcie rekuperačný menič môže byť umiestnený v trakčnej meniarni, navyše môže byť v trojfázovom zapojení.

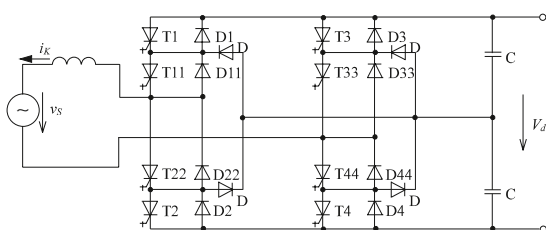
**Používané polovodičové súčiastky.** Obvykle, pre výkony do 1 MW, môžu byť použité IGBT tranzistory so spätnými diódami. Pre väčšie výkony ( $> 5$  MW) a vyššie napätia (3 kV js) musia byť použité GTO tyristory alebo IGBT v dvojúrovňovom zapojení. Nakoľko spínače musia byť oboj-smerné, je použitie unipolárnych výkonových tranzistorov (MOSFET, SIT) v inverznom režime veľmi zaujímavou možnosťou.

Podrobnejší rozbor kvality rekuperácie elektrickej energie je urobený v pripravovanom článku.

### 4. Záver

V článku boli uvedené nové metódy dynamickej kompenzácie a rekuperácie. Navrhované riešenie má významné prínosy:

- Generuje kompenzačný prúd, ktorý zabezpečí, že prúd zo siete bude sinusový a to aj v prípade, že sieťové napätie je nesinusové.
- Počíta amplitúdu základnej zložky sieťového prúdu výpočtom činného výkonu záťaže na jednu štvrtinu/šestinu časovej periódy s použitím Clarkeovej/Parkovej ortogonálnej transformácie.



Obr. 6. Dvojúrovňové zapojenie rekuperačného meniča (jednofázové zapojenie)

Fig. 6 Two-level connection of regenerative converter (single-phase connection)

compute the average values of active and reactive powers for 1/4 of the time period. These average values can be calculated continuously for each time instant  $t$ , using data stored for the previous 1/4 of period.

### 3. Possibilities of kinetic- and potential vehicle's energy regeneration

Similarly to the compensation and active filtering, it is also possible to save electric energy by the regeneration of kinetic- and potential energy of the tractive vehicle at regenerative braking and overrunning at down hill runs [7]. The basic scheme of power circuits for energy regeneration is similar to that as in Fig. 2. For high voltage stresses, two- (or more) level connections have to be used, Fig. 6.

The source of energy - braking tractive motor(s) has to be connected to the DC input of the converter. In case of DC electric traction, the regenerating converter should be situated in traction substation. It can also be used in three-phase connection.

**The power semiconductor devices being used at present.** Usually, for power up to 1 MW, IGBT transistors with reverse diodes can be used. For high performances ( $> 5$  MW) and high

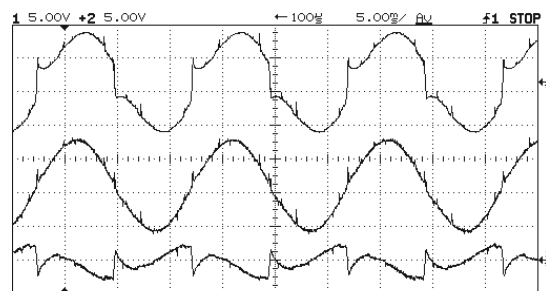
voltage (3 kVdc) GTO thyristors or IGBTs in two level connection must be used. As the switches must be bi-directional, the use of unipolar power transistors (MOSFETs, SITs) in reverse mode of operation is a very interesting possibility.

The detailed analysis of regeneration's quality will be accomplished in the paper that is being prepared.

### 4. Conclusions

The new methods of dynamic compensation and regeneration are presented in the paper. The proposed solution has the following important features:

- It generates compensation current providing the main current to be sinewave even at non-sinusoidal main voltage.
- It computes the magnitude of the fundamental component of net current by computing the load's active power in one fourth/sixth of time period using two-axis Clarke/Park orthogonal transform.



Obr. 7. Časové priebehy záťažového, sieťového a kompenzačného prúdu  
Fig. 7 Time waveforms of load-, source and compensation currents



Výhodným riešením by mohla byť kombinácia tu uvedeného „štvrtinového/šestinového“ výpočtu a technická implementácia výpočtu základnej zložky použitím analógových integrátorov na riešenie rovníc (9) alebo (10) v [8] (iba pre jednofázové systémy). V súčasnosti sa uskutočňuje výskum jednofázových a trojfázových aktívnych filtrov riadených v otvorenej slučke pre malé výkony a výsledky uvádzané [11], obr. 7, treba chápať ako predbežné. Výsledné experimenty s riadením aktívnych filtrov v uzavretej slučke budú pripravené pre publikáciu v najbližšom čase.

### Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Ministerstvom školstva a vedy SR v rámci grantových projektov č. 1/3234/96 a č. 1/4243/97.

### 5. Literatúra

- [1] JOU, H. L., WU, J. C., CHU, H. Y.: *New Single Phase Active Power Filter*. IEE Proceedings on Electric Power Application, Vol. 141, No. 3, May 1994, s. 129-134
- [2] SCHWARTZENBERGER, J. W., FISCHL, R., MEHTA, H.: *Experimental Validation Study of an EMTP Design of a VAR Compensator Controlled by Instantaneous Reactive Current*. In: Proceedings of the EDPE'92 Conference, Vol. 1, Kosice (S.R.), September 1992, s. 199-203
- [3] SOLIK, I., VITTEK, J., DOBRUCKÝ, B.: *Time-optimal Analysis of Characteristic Values of Periodical Wave-forms of m-Phase Systems in Complex Domain*, Modelling, Simulation & Control Journal, Vol. A 28, AMSE Press, Tassin (France), s. 49-64, No. 3, 1990
- [4] DOBRUCKÝ, B., VITTEK, J.: *Connection for the Fast Harmonic Analysis of the Symmetrical Three-Phase System* (in Slovak), CS Patent Pending No. 264980, Prague (Cz.R.), December 1989
- [5] DOBRUCKÝ, B.: *Analysis and Modelling of Power Semiconductor Converter in Steady and Transient States* (in Slovak). Ph.D. Thesis, University of Zilina (SR), July 1985
- [6] BRANDSTETTER, P., BUBELA, T.: *Active Power Filter for Compensation of Symmetrical Loads* (in Czech). EE-Electroenergetics, special issue, Vol. II, November 1996, s. B-21, B-22
- [7] DOBRUCKÝ, B., DRABEK, J.: *Possibilities of energy saving by means of regenerative braking in the High Tatras railways* (in German). Proceedings of 4th EIPOS Symposium, University of Zilina, S.R., September 1996, s. 137-141
- [8] RAČEK, V., DOBRUCKÝ, B., VITTEK, J., POKORNÝ, M.: *Time Sub-Optimal Analysis and Control of Fast Three-Phase Active Filter Acting in One Sixth of Period*. In: Proceedings of APEC '98 Conference, Anaheim (USA, CA), February 1998, Vol. 2, s. 979-985
- [9] KARA, A., AMHOF, D., DAEHLER, P., GRUENING, H.: *Power Quality Improvement with a Dynamical Voltage Restorer*. In: Proceedings of APEC '98 Conference, Anaheim (USA, CA), February 1998, Vol. 2, s. 986-993

An advantageous solution should be the combination of "one fourth/sixth" calculations and the technical implementation of the first harmonic calculation by the use of analogue integrators for solution of equations (9) or (10) in [8] (for single-phase only). The research in single- and three-phase versions of active filter control in open-loop mode is now in progress in the low-power scale, so the presented results [11], Fig. 7, can be understood as preliminary. We would like to publish the final results of active filter control in closed-loop mode in the near future.

### Acknowledgement

This work was supported by the Slovak Department of Education & Science under the grant projects No. 1/3234/96 and No. 1/4243/97.

### 5. References

- [1] JOU, H. L., WU, J. C., CHU, H. Y.: *New Single Phase Active Power Filter*. IEE Proceedings on Electric Power Application, Vol. 141, No. 3, May 1994, pp. 129-134
- [2] SCHWARTZENBERGER, J. W., FISCHL, R., MEHTA, H.: *Experimental Validation Study of an EMTP Design of a VAR Compensator Controlled by Instantaneous Reactive Current*. In: Proceedings of the EDPE'92 Conference, Vol. 1, Kosice (S.R.), September 1992, pp. 199-203
- [3] SOLIK, I., VITTEK, J., DOBRUCKÝ, B.: *Time-optimal Analysis of Characteristic Values of Periodical Wave-forms of m-Phase Systems in Complex Domain*, Modelling, Simulation & Control Journal, Vol. A 28, AMSE Press, Tassin (France), pp. 49-64, No. 3, 1990
- [4] DOBRUCKÝ, B., VITTEK, J.: *Connection for the Fast Harmonic Analysis of the Symmetrical Three-Phase System* (in Slovak), CS Patent Pending No. 264980, Prague (Cz.R.), December 1989
- [5] DOBRUCKÝ, B.: *Analysis and Modelling of Power Semiconductor Converter in Steady and Transient States* (in Slovak). Ph.D. Thesis, University of Zilina (SR), July 1985
- [6] BRANDSTETTER, P., BUBELA, T.: *Active Power Filter for Compensation of Symmetrical Loads* (in Czech). EE-Electroenergetics, special issue, Vol. II, November 1996, pp. B-21, B-22
- [7] DOBRUCKÝ, B., DRABEK, J.: *Possibilities of energy saving by means of regenerative braking in the High Tatras railways* (in German). Proceedings of 4th EIPOS Symposium, University of Zilina, S.R., September 1996, pp. 137-141
- [8] RACEK, V., DOBRUCKÝ, B., VITTEK, J., POKORNÝ, M.: *Time Sub-Optimal Analysis and Control of Fast Three-Phase Active Filter Acting in One Sixth of Period*. In: Proceedings of APEC '98 Conference, Anaheim (USA, CA), February 1998, Vol. 2, pp. 979-985
- [9] KARA, A., AMHOF, D., DAEHLER, P., GRUENING, H.: *Power Quality Improvement with a Dynamical Voltage Restorer*. In: Proceedings of APEC '98 Conference, Anaheim (USA, CA), February 1998, Vol. 2, pp. 986-993

- [10] DOBRUCKÝ, B., TABAČEK, R., OTČENÁŠOVÁ, A.: *Dynamic Compensation of Power Factor and Higher Harmonics by Active Filters* (in Slovak). In: Proceedings of Optimization of Electric Energy Consumption'98, Usti n/L (Cz.R.), April 1998, s.(in CD-ROM form)
- [11] DOBRUCKÝ, B., POKORNÝ, M.: *Dynamic Compensation of Three-Phase Symmetrical System Using Clarke Orthogonal Transform*. In: Proceeding of Energy Management'98 Conference, Dubrovnik (Croatia), May 1998, s. 100-105
- [12] ALTUS, J., DOBRUCKÝ, B.: *Prienik vykonovej elektroniky, elektrenergetiky a elektrickej trakcie v 21. storoci*. In: Proceedings of TER\_SR'98 Conference, Tr. Teplice (SR), July 1998, s. 197-210
- [13] TABAČEK, R., DOBRUCKÝ, B., OTČENÁŠOVÁ, A.: *On Some New Trends in Dynamic Compensation and Regeneration of Energy in Electric Traction*. In: Proceedings of Communications on the Edge of the Millenniums Conference, Zilina (SR), September 1998, s. 45-48
- [14] DOBRUCKÝ, B., POKORNÝ, M., ROCH, M., HAVRILA, R.: *Techniques of Active Load's Current and/or Power Computing for Dynamic Compensation of Three-Phase Symmetrical System*. In: Proceedings of IEE-PEVD'98 Conference, London (UK), September 1998, s. 51-56
- [15] KŮS, V.: *Výstupní filtry měničů kmitočtu*. III. konference Energetické rušení ERU '98, Brno (CR), November '98, pp.(in CD-ROM form)
- [10] DOBRUCKY, B., TABACEK, R., OTCENASOVA, A.: *Dynamic Compensation of Power Factor and Higher Harmonics by Active Filters* (in Slovak). In: Proceedings of Optimization of Electric Energy Consumption'98, Usti n/L (Cz.R.), April 1998, pp.(in CD-ROM form)
- [11] DOBRUCKY, B., POKORNY, M.: *Dynamic Compensation of Three-Phase Symmetrical System Using Clarke Orthogonal Transform*. In: Proceeding of Energy Management'98 Conference, Dubrovnik (Croatia), May 1998, pp. 100-105
- [12] ALTUS, J., DOBRUCKY, B.: *Prienik vykonovej elektroniky, elektrenergetiky a elektrickej trakcie v 21. storoci*. In: Proceedings of TER\_SR'98 Conference, Tr. Teplice (SR), July 1998, pp. 197-210
- [13] TABACEK, R., DOBRUCKY, B., OTCENASOVA, A.: *On Some New Trends in Dynamic Compensation and Regeneration of Energy in Electric Traction*. In: Proceedings of Communications on the Edge of the Millenniums Conference, Zilina (SR), September 1998, pp. 45-48
- [14] DOBRUCKY, B., POKORNY, M., ROCH, M., HAVRILA, R.: *Techniques of Active Load's Current and/or Power Computing for Dynamic Compensation of Three-Phase Symmetrical System*. In: Proceedings of IEE-PEVD'98 Conference, London (UK), September 1998, pp. 51-56
- [15] KŮS, V.: *Výstupní filtry měničů kmitočtu*. III. konference Energetické rušení ERU '98, Brno (CR), November '98, pp.(in CD-ROM form)

# POUŽITIE FUZZY LOGIKY V RIADENÍ KRITICKÝCH PROCESOV

## USING FUZZY LOGIC IN THE CRITICAL PROCESS CONTROLLING

*Pre riadenie bezpečnostne kritických procesov sa často používajú dvojkanálové riadiace systémy. V článku je ukázaný prínos fuzzy logiky pri komparovaní výstupných informácií takých systémov. Na príklade jednotky cieľového brzdenia trakčného vozidla je uvedený návrh fuzzy komparátora vstupných veličín a jeho optimalizácia metódou ANFIS. Poruchy systému sú simulované v prostredí Matlab-Simulink. Výsledkom je analýza vplyvu porúch na bezpečnosť riadenia jazdy vlaku.*

### 1. Opis kritického procesu

Riadenie železničnej dopravy má všetky atribúty bezpečnostne kritického procesu [1]. Jeho subsystémom je sústava cieľového brzdenia trakčného vozidla umožňujúca zastaviť vlakovú súpravu v danom mieste trate s definovanou presnosťou. Podmienkou je vysoká vierohodnosť informácií o okamžitej polohe i rýchlosti súpravy.

Informácia o skutočnej rýchlosti vozidla je určujúcou pre cieľové brzdenie súpravy. Ak sú obidva subsystémy merania rýchlosti umiestnené na mechanicky odlišných prvkoch sústavy (snímanie otáčok trakčného motora, snímanie otáčok hnanej alebo vlečenej nápravy), možno vplyv oboch rušivých javov eliminovať.

S ohľadom na to, že správanie systému pri bezporuchovej činnosti je deterministické, ale pod vplyvom porúch sa stáva spravidla stochastickým, je využitie fuzzy logiky pre ich spracovanie a rozhodovanie opodstatnené, ba nevyhnutné. Riešenie konvenčnými prostriedkami by nebolo efektívne.

### 2. Modelovanie, optimalizácia a simulácia

Fuzzy komparátory sa obvykle navrhujú heuristickými postupmi, ktoré nezaručujú dosiahnutie optimálnych funkcií príslušnosti jednotlivých premenných. Úlohou je navrhnúť fuzzy komparátor údajov  $v_1$ ,  $v_2$  o okamžitej rýchlosti, ktorého výstupom je informácia o miere vierohodnosti prvej z nich. Miera vierohodnosti nadobúda hodnoty z intervalu (0,1). Návrh fuzzy komparátora (obr. 1) je opísaný v [2]. Kvalitnejšie sú komparátory, ktorých cieľový tvar funkcií príslušnosti sa dosiahol algoritmicke, postupným učením sa systému na definovanej množine vzorových

*In this paper the advantages of fuzzy logic used for two - channel systems output comparison in safety - related critical applications have been presented. The paper deals with the design of the fuzzy logic - based comparator that compares the data of traction vehicle velocity in target braking process and its optimisation using the ANFIS method. Some failures of the system in Matlab - Simulink environment have been simulated. The result is the analysis of failures consequences from the point of system safety.*

### 1. Critical process description

The control of railway traffic has all the attributes of the safety critical process [1]. One of its subsystems is a unit for target braking of the traction vehicle that allows to stop the train at a designated position of rail-road line with defined precision. It is upon the condition that accordance of information on immediate position and velocity of the rolling stock is high. The traction vehicle is equipped with two independent units for measuring velocity. Information about real velocity of the vehicle is of determination for target braking of the rolling stock. If both subsystems of velocity measurement are placed on two mechanically different elements of the rolling stock, then it is possible to eliminate influence of both noisy effects. The system behaviour with regard to fault-free activity is deterministic but under the failure influence it becomes stochastic regular, therefore the use of fuzzy logic for their processing and reasoning is well-founded even unavoidable. Making solution with conventional means would not be effective.

### 2. Modelling, optimisation and simulation

Fuzzy comparators are usually designed by heuristic methods which do not guarantee the attainment of optimal membership functions of separate variables. The main problem is to design a fuzzy comparator of instantaneous velocities  $v_1$  and  $v_2$  with information about credibility rate of the first of them at its output. The design of the fuzzy comparator (Fig.1) is described in [2]. Comparators with the target shape of membership functions attained in an algorithmic way via adaptive learning of the system on the defined set of pattern I/O data pairs have higher quality

\* Doc. Ing. Juraj Spalek, PhD., Ing. Monika Molnárová,

Department of Informatic and Safety Systems, Faculty of Electrical Engineering, University of Žilina,

Veľký diel - NF, 010 26 Žilina, Slovak Republic, tel. +421-89-655 559, e-mail: spalek@fpedas.utc.sk, monika@kete.utc.sk

vstupno-výstupných dátových dvojíc [3]. Výsledkom takého prístupu je adaptívny neuro-fuzzy inferenčný systém - ANFIS.

Na uplatnenie metódy ANFIS je potrebná tréningová množina dát, na ktorých sa adaptívna sieť učí. Každý bod tréningovej množiny je definovaný príslušnou rýchlosťou  $v_1$ , absolútnou odchýlkou  $\Delta v$  a mierou vierohodnosti. Výsledná plocha optimalizovaného fuzzy komparátora je na obr. 2.

Na overenie dynamických vlastností navrhnutého fuzzy komparátora bol v prostredí MATLAB, Fuzzy toolbox a Simulink vytvorený model sústavy [2]. Obsahuje dve jednotky merania rýchlosti trakčného vozidla TACHO1 a TACHO 2, ktorých výstupnými premennými sú okamžité rýchlosti  $v_1$  a  $v_2$  s definovaným časovým priebehom, model fuzzy inferenčného systému (FIS) komparátora a zobrazovacie jednotky relevantných časových priebehov.

Pre simuláciu reálneho procesu sme zvolili exponenciálnu funkciu brzdenia trakčného vozidla ( $v_1$ ) s počiatočnou hodnotou 200 km/h. Výstup  $v_2$  jednotky TACHO 2 by mal v bezporuchovom stave rovnaký časový priebeh, ale implementáciou zvolenej dysfunctionie je jeho okamžitá hodnota vždy väčšia o 15 % (obr. 3). Možno predpokladať, že táto skutočnosť nepriaznivo ovplyvní vierohodnosť údajov o rýchlosti  $v_1$ . Ak

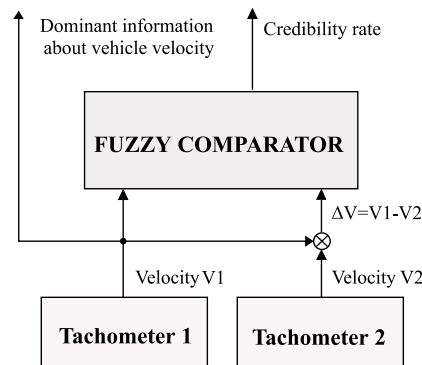
by objektívna rýchlosť vozidla bola práve  $v_1$ , t. j. odchýlka je zapríčinená chybou tachometra  $V_2$ , musí byť entropia informácie  $v_1$  korelovaná s okamžitou hodnotou zodpovedajúcej miery vierohodnosti ( $< 1$ ), lebo s rovnakou pravdepodobnosťou by mohol nastať aj opačný jav. Graf časového priebehu výstupu fuzzy komparátora na obr. 4 ukazuje, že funkcia miery vierohodnosti údajov  $v_1$  je pri konštantnej relatívnej chybe merania nelineárna. Tvar krivky má dôležitú vypovedaciu hodnotu aj vo vzťahu k ploche fuzzy komparátora, pretože je trajektóriou súradníc spojitého technologického procesu. Krivka neobsahuje body s výraznou nespojitou funkciou, ani lokálne extrémny, čo svedčí o dobrých vlastnostiach fuzzy inferenčného systému [3].

### 3. Bezpečnosť cieľového brzdenia vlaku

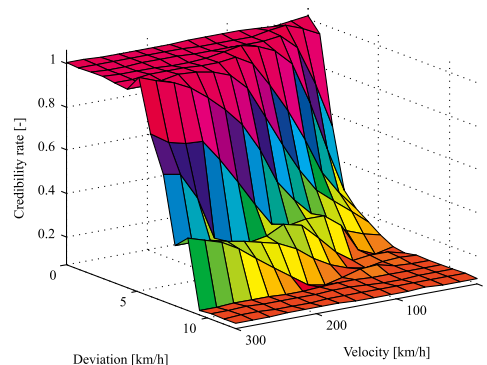
Najnovšie trakčné vozidlá disponujú regulátorom rýchlosti začleneným do vlastného riadiaceho systému. Princíp činnosti cieľového brzdenia spočíva v sledovaní okamžitej vzdialenosti od

[3]. Such an approach results in adaptive neuro-fuzzy inference system ANFIS.

For using ANFIS it is necessary to have a training data set that contains desired input/output data pairs of the target system to be modelled. Each point of the training data set is defined by relevant velocity  $v_1$ , absolute deviation  $\Delta v$  and credibility rate.



Obr. 1. Bloková schéma modelu  
Fig. 1 The model block diagram



Obr. 2. Plocha FIS optimalizovaného komparátora  
Fig. 2 Optimised FIS comparator surface

Optimised FIS of comparator surface is shown in Fig. 2. The model of the system for verification of dynamic characteristics of the designed fuzzy comparator that was created in Matlab environment using Fuzzy Toolbox and Simulink is initiated in [2]. This model consists of two units for measurement of traction vehicle velocity TACHO1 and TACHO2, whose output variables are instantaneous velocities  $v_1$  and  $v_2$  with defined time-course, model of FIS of comparator and representing units of relevant time courses.

To simulate a real process, the exponential function of the traction vehicle braking ( $v_1$ ) with the starting value 200 km/h was chosen. The output  $v_2$  of TACHO2 should have the same time course in the failure-free state, but using an implementation of the chosen disfunction, its instantaneous value is always higher by about 15 % (Fig. 3). This fact can be assumed to have a negative influence on

the credibility of the value of  $v_1$ . If the objective vehicle velocity was exactly just  $v_1$ , i. e., the deviation is caused by fault of TACHO2, redundancy of information  $v_1$  would have to be correlated with the instantaneous value of the relevant credibility rate ( $< 1$ ), because occurrence of the opposite phenomenon has the same probability. Fig. 4 shows the time course of the fuzzy comparator output. The figure of this curve has an important declaring meaning with respect to fuzzy comparator surface, because it is the trajectory of coordinates of the continuous technological process. This curve neither includes points of marked uncontinuous function, nor local extremes. This fact testifies that characteristics of FIS are correct [3].

### 3. Safety of the train target braking

The latest traction vehicles dispose of a velocity regulator incorporated into the control system. The operation principle of the target braking is in following the instantaneous distance to the

cieľa (zvyšku dráhy do cieľa), generovaní nelineárnej funkčnej závislosti navádzacej rýchlosti vlaku a riadení regulátora rýchlosti so známou cieľovou funkciou.

Navádzacia funkcia cieľového brzdzenia je parabolou 2. stupňa [4]:

$$v = 3,6 \sqrt{2 \cdot a_n \cdot s}, \quad (1)$$

kde  $v$  je okamžitá rýchlosť [m/s],  $a_n$  je nominálne odrýchlenie [m/s<sup>2</sup>],  $s$  je zbytok dráhy do cieľa [m].

Navedenie vlaku na navádzaciu krivku je charakterizované lineárnym nárastom odrýchlenia v čase ((da/dt) = konšt.) a v závere cieľového brzdzenia dochádza k lineárnemu poklesu odrýchlenia v čase na hodnotu cca 0,2 - 0,3 m/s<sup>2</sup>.

Regulácia rýchlosti navedie vlak na optimálnu navádzaciu krivku len za predpokladu, že jeho vstupmi sú vierohodnotné informácie o okamžitej rýchlosti a zvyšku dráhy do cieľa. Vtedy vlak bezpečne dobrzdí vo vzdialenosti  $s$  od okamžitej polohy na trati:

$$s = \frac{v^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a_n} \quad (2)$$

Fuzzy komparátor údajov o rýchlosti vlaku umožňuje kvantifikovať presnosť údajov o okamžitej rýchlosti pomocou parametra „miera vierohodnosti“ (MV). Nech maximálna absolútna chyba merania rýchlosti pri danej hodnote MV je  $\Delta v_{MV}$ . Vlak bezpečne dobrzdí vo vzdialenosti  $s + \Delta s_{MV}$  od okamžitej polohy na trati, t. j., s presnosťou  $\Delta s_{MV}$ :

$$s + \Delta s_{MV} = \frac{(v + \Delta v_{MV})^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a_n} \quad (3)$$

Maximálna pomerná chyba cieľového brzdzenia je:

$$\varepsilon_{MV} = \frac{s}{s + \Delta s_{MV}} = \left(1 + \frac{\Delta v_{MV}}{v}\right)^2 \quad (4)$$

Maximálna pomerná chyba  $\varepsilon$  cieľového brzdzenia pri  $\gamma$ -percentnej chybe konvenčného regulátora je daná pomerom skutočnej vzdialenosti  $s$  cieľa a chybových zvyškov  $s'$  dráhy:

$$\varepsilon(\gamma) = \frac{s}{s'} = \left(1 + \frac{\gamma}{100}\right)^2 \quad (5)$$

target (to the rest of the trajectory to the target), generating non-linear functional dependency of the train's guidance velocity and controlling the velocity regulator with known target function.

The guidance function of the target braking is a second order parabolic function [4]:

$$v = 3,6 \sqrt{2 \cdot a_n \cdot s}, \quad (1)$$

where  $v$  is the instantaneous velocity [m/s],  $a_n$  is the nominal deceleration [m/s<sup>2</sup>],  $s$  is the rest of the trajectory to the target [m].

The train guidance to the guidance curve is characterised by linear deceleration rise in time and in tow of the target braking there is the linear deceleration decrease in time to the value about 0.2 to 0.3 [m/s<sup>2</sup>].

The velocity regulator will lead the train to the optimal guidance curve just provided that its inputs hold veracious information about instantaneous velocity and the rest of trajectory to the target. Under these preconditions, the train will brake down to stop with safety in the distance  $s$  from the train instantaneous position at the railroad line:

$$s = \frac{v^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a_n} \quad (2)$$

The fuzzy comparator of data on the train velocity enables to quantify the precision indication of the instantaneous velocity via

parameter "Credibility rate" (CR). Let's denote  $\Delta v_{CR}$  the maximum absolute error of the velocity measurement with the CR value given. Then the train will brake down to a stop with safety in the distance  $s + \Delta s_{CR}$  from the instantaneous position at the railroad live, i.e. with precision  $\Delta s_{CR}$ :

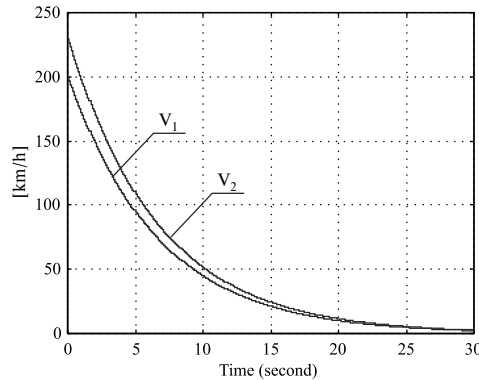
$$s + \Delta s_{CR} = \frac{(v + \Delta v_{CR})^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot a_n} \quad (3)$$

The maximum comparative error of the target braking is:

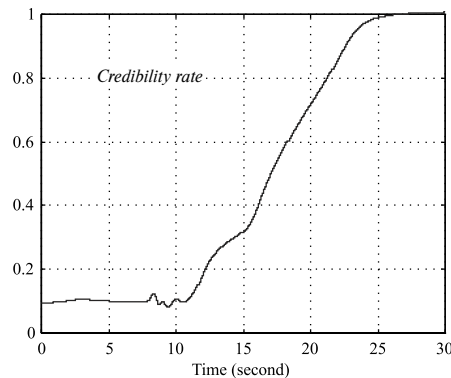
$$\varepsilon_{CR} = \frac{s}{s + \Delta s_{CR}} = \left(1 + \frac{\Delta v_{CR}}{v}\right)^2 \quad (4)$$

The maximum comparative failure  $\varepsilon$  of the target braking at  $\gamma$ -percent error of the conventional regulator is given as a ratio of the real target distance  $s$  and the error rests  $s'$  of the trajectory:

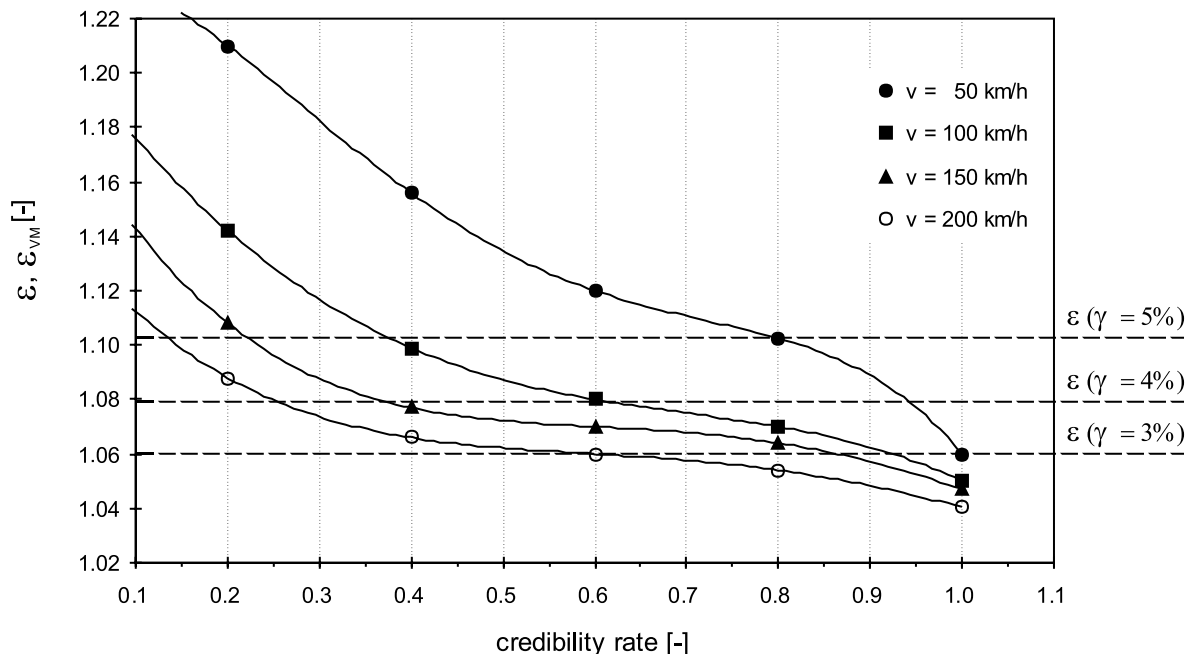
$$\varepsilon(\gamma) = \frac{s}{s'} = \left(1 + \frac{\gamma}{100}\right)^2 \quad (5)$$



Obr. 3. Simulácia chyby merania rýchlosti  
Fig. 3 Simulation of velocity fault measurement



Obr. 4. Miera vierohodnosti údajov v1 pri chybe merania  
Fig. 4 Credibility rate of value v1 under measurement fault



Obr. 5. Pomerná chyba cieľového brzdenia fuzzy a konvenčného regulátora  
Fig. 5 The comparative error of the target braking by the fuzzy vs. conventional comparator

Grafy rovníc (4), (5) pre hodnoty  $\gamma = 3, 4$  a  $5\%$ ,  $v = 50, 100, 150$  a  $200$  [km/h] sú na obr. 5.

#### 4. Záver

Navrhaný princíp komparácie vylučuje potrebu návratu k manuálnemu riadeniu procesu pri výskyte poruchy alebo ju výrazne redukuje. Aktuálna informácia o miere vierohodnosti meranej rýchlosti vstupuje jednak do algoritmu riadenia jazdy, ale má aj arbitrážny význam pri analýze príčin prípadnej nehody.

Zovšeobecnením opísaných princípov možno dospieť ku kvalitatívne vyššiemu stupňu komparácie, kedy je fuzzy inferenčný systém schopný generovať správny výstup za predpokladu, že aspoň jeden z prenosových reťazcov poskytuje vierohodnú informáciu o dynamike sledovaného procesu [2]. Taký riadiaci systém je potom schopný korigovať svoje chovanie pri výskyte definovaných porúch menej ohrozujúcim spôsobom.

Z výsledkov vyplýva:

- Ak sa vlak pohybuje v oblasti navádzania na navádzaciu krivku počiatočnou rýchlosťou  $100$  km/h, bude maximálna pomerná chyba cieľového brzdenia pomocou fuzzy komparátora menšia ako pri konvenčnom regulátore pracujúceho so  $4\%$  - nou chybou len za predpokladu, že fuzzy komparátor bude pracovať s mierou vierohodnosti lepšou ako  $0,60$ . Z princípu návrhu fuzzy komparátora vyplýva, že takej miere vierohodnosti zodpovedá odchýlka meraného údajá rýchlosti  $\pm 4,13$  km/h.

Diagrams resulting from equations (4) and (5) for values  $\gamma = 3, 4$  a  $5\%$ ,  $v = 50, 100, 150$  a  $200$  [km/h] are shown in Fig.5.

#### 4. Conclusions

In the case of a system of target breaking of a traction vehicle the designed principle of a comparison excludes the requirement for return to the manual process control under a failure occurrence or reduces it significantly. Relevant information about credibility rate of the measured velocity enters not only the control algorithm of drive, but it also has an arbitrary meaning in casual accident analysis.

Generalising the all described principles, it is possible to reach a higher level of comparison quality when the FIS is able to generate correct output when assuming, that at least one of the transmission channels provides a reliable information about dynamism of the followed process [2]. Such a control system is able to correct its behaviour under occurrence of defined failures in a less threatening manner.

The following facts resulted:

- If the train's starting velocity is  $100$  km/h in area guiding to the guidance curve, the maximum comparative error of the target braking with fuzzy comparator will be less than considering the conventional regulator, that is working with a  $4\%$  error, just with assumption that a fuzzy comparator will working with a better credibility rate than  $0,60$ . The design principle of a fuzzy comparator results in a deviation of the measured velocity  $\pm 4.13$  km/h that corresponds to such a credibility rate.

- Ak bude fuzzy komparátor generovať údaj o miere vierohodnosti väčší ako 0,8 (max odchýlka je  $\pm 5,13$  km/h), bude pri každej rýchlosti vlaku maximálna pomerná chyba cieľového brzdenia menšia ako 5 % pri konvenčnej regulácii.

Snahou autorov bolo poukázať na možnosti využitia redundancie u dvojkanálových systémov v bezpečnostne kritických aplikáciách. Konvenčné komparátory sú schopné výskyt poruchy jedného z kanálov len konštatovať, fuzzy komparátor umožňuje systému pokračovať v predpokladanej funkcii. Z hľadiska bezpečnosti riadenia nie je ukázaný spôsob detekcie poruchy obmedzujúcim faktorom, lebo pri znalosti vlastností kritického procesu možno definovať medzné hodnoty miery vierohodnosti meraných údajov, pri ktorých je úroveň bezpečnosti riadenia postačujúca. Ide najmä o hierarchiu bezpečnosti jednotlivých funkcií systému. Zreteľný je aj pozitívny vplyv na prevádzkovú spoľahlivosť systému.

#### Literatúra

- [1] SPALEK, J. a kol.: Fuzzy rozhodovanie v kritických procesoch, zborník 1. vedeckej konferencie Riadenie tekutinových systémov, Žilinská univerzita, 1996, s. 103-113
- [2] MOLNÁROVÁ, M., SPALEK, J.: Fuzzy Logic - Based Comparison of Redundant Information, zborník konferencie Information Systems Modeling - MOSIS'98, Ostrava, Česká republika, 5/1998
- [3] MOLNÁROVÁ, M.: Adaptívny neuro-fuzzy inferenčný systém (ANFIS) a jeho použitie, diplomová práca, Katedra IZS, Žilinska univerzita, 5/1997
- [4] ŠULA, B.: Cílové brzdení a automatické vedení vlaku v ČR, NŽT 1996/2, s. 37 - 42

- If the fuzzy comparator generates data with a credibility rate higher than 0.8 (max deviation is  $\pm 5.13$  km/h), the maximum comparative error of the target braking at any train velocity will be smaller than 5 % in a conventional regulation.

In this paper a possibility of using redundancy in a double-channel system in the safety-critical applications is represented. Conventional comparators are able just to verify a failure occurrence on one of the channels, a fuzzy comparator enables a continuation of the system assumed function. From the point of a safety control the shown way of fault detection is not a limiting factor because under the known characteristics of a critical process we can define the limit values of a credibility rate of measured data where the level of safety control is sufficient. Safety hierarchy of individual system functions is mostly the point of question. The positive influence on operational reliability of the system is legible, too.

#### References

- [1] SPALEK, J. a kol.: Fuzzy rozhodovanie v kritických procesoch, In: Riadenie tekutinových systémov, 1. vedecká konferencia, strojnická fakulta, Žilinská univerzita, 1996, pp. 103-113
- [2] MOLNÁROVÁ, M., SPALEK, J.: Fuzzy Logic - Based Comparison of Redundant Information, Proc. Information Systems Modeling - MOSIS'98, Ostrava, Česká Republika, 5/1998
- [3] MOLNÁROVÁ, M.: Adaptívny neuro-fuzzy inferenčný systém (ANFIS) a jeho použitie, diplomová práca, katedra IZS, Žilinska univerzita, 5/1997
- [4] ŠULA, B.: Cílové brzdení a automatické vedení vlaku v ČR, NŽT 1996/2, pp. 37 - 42

# METODIKA NÁVRHU ELEKTRICKÉHO POHONU TRAKČNÉHO VOZIDLA S ASYNCHRÓNNYMI MOTORMI

## A METHOD OF PROJECTING OF ELECTRIC DRIVE FOR THE TRACTION VEHICLE WITH AN ASYNCHRONOUS MOTOR

*Príspevok sa zaoberá metodikou návrhu trvalého výkonu trakčného vozidla a typového výkonu indukčných trakčných motorov. Pojednáva o spôsobe určenia pravdepodobných mechanických a elektrických parametrov. Uvádza vzťahy a postup pri výpočte pravdepodobných trakčných charakteristík vozidla.*

*This contribution describes a computing method of the continuous rating for the traction vehicle with induction traction motors. A method of specifying probable mechanical and electrical parameters and characteristics of the asynchronous motor as well as relationships and methods for calculation of probable traction characteristics of the vehicle will be shown.*

### Úvod

Pre projektovanie el. trakčných vozidiel s jednosmernými motormi sú známe postupy návrhu typového výkonu trakčných motorov a prenosu trakčného výkonu z motorov na osi hnacích kolies [1], [10], [11]. Existujú tiež metodiky na určenie hlavných elektrických parametrov a rozmerov základných častí jednosmerných motorov [11], [1], [2]. V programe výučby predmetu Elektrická trakcia je toto dôležitá časť.

Nie je nám doteraz známa z literatúry ucelená metodika návrhu trakčného pohonu s asynchrónnymi motormi (ASM) a preto sme sa pokúsili o vlastný príspevok. Formou tohto príspevku, chceme sprístupniť danú problematiku širšej odbornej verejnosti.

Príspevok sa zaoberá otázkou návrhu typového trakčného výkonu, regulačného rozsahu a návrhu hlavných mechanických rozmerov asynchrónneho motora. Je rozobraný prístup k návrhu pravdepodobných elektrických parametrov ASM. V poslednej časti sa podrobnejšie rozoberá spôsob vyšetrenia pravdepodobných trakčných charakteristík vozidla a prúdu motora pri rôznych pracovných režimoch.

### 1. Návrh typového výkonu

Pri návrhu el. pohonu trakčného vozidla je potrebné predovšetkým určiť menovitý trvalý trakčný výkon. Ak máme k dispozícii trakčnú záťaž, konkrétny trakčný profil a požadovanú jazdnú rýchlosť v jednotlivých úsekoch danej trate, môžeme potrebné trakčné výkony v konkrétnych úsekoch vypočítať známymi metódami trakčnej dyna-

### Introduction

Methods of estimation of the traction motor type output and transmission of traction effort from the motor to the driven axle of traction vehicle with DC traction motors are well known [1], [10], [11], as well as methods for specifying main electrical parameters for fundamental parts of DC motors [11], [1], [2]. These are important parts of the education programme in teaching the subject Electrical Traction at the Dept. of Electrical Traction and Energetics ŽU.

However, a method for estimation of asynchronous traction motor main parameters has not been described well enough for teaching purposes in the literature. This paper contributes to this purpose.

Computing of induction traction type output, control range and fitting of its main mechanical dimensions will be described. The calculating method of the supposed motor electrical parameters and the vehicle traction effort characteristics will be analysed in various vehicle operating modes.

### 1. Calculation of traction vehicle type output

It is necessary to specify at first the traction drive nominal output of the traction vehicle. The necessary traction output in concrete track section can be calculated by well-known methods of traction dynamics [10], [12]. It depends on the value of traction load (wagons mass), concrete traction slope profiles and

\* **Doc. Ing. Bernard Bednárík, CSc.**, E-mail: bednarik@fel.utc.sk; **Ing. Milan Pospíšil, CSc.**, E-mail: pospasil@kete.utc.sk; **Doc. Ing. Jiří Drábek, CSc.**, E-mail: drabek@kete.utc.sk; **Ing. Ján Valuška**, E-mail: valuska@kete.utc.sk;  
All authors: University of Žilina, Faculty of Electrical Engineering, Dept. of Electric Traction and Energetics, Veľký diel, SK-010 26 Žilina, Slovakia, Tel./Fax: +421-89-54963



miky [10], [12]. Na základe týchto údajov možno stanoviť maximálne požiadavky na trakčný motor pri jednotlivých rýchlostiach.

Po tomto zistení môžeme podľa pôvodných metodík navrhnuť odpovedajúci typový výkon pre jednosmerný trakčný motor, navrhnuť jeho nominálnu a maximálnu rýchlosť a pre tieto údaje vypočítať pravdepodobné hlavné rozmery motora [11]. Ďalej pomocou normálových charakteristík [11] vyšetříť jeho mechanickú charakteristiku pri menovitom napätí, prípadne i celú sieť mechanických charakteristík v radiacom rozsahu. Na základe týchto pravdepodobných mechanických charakteristík je možné si overiť, či navrhovaný motor a teda i trakčné vozidlo všetky požadované trakčné podmienky splní. Pre jednosmerné trakčné motory sú tieto metodiky známe.

V prípade návrhu trakčných kolajových vozidiel pre rozsiahlejšie trate a premenlivé vozňové zaťaženie sa pri návrhu typového výkonu vychádza z určitých medzných požiadaviek a empirických údajov, kde napr. podľa jednej známej metodiky [1] je možno optimálny výkon navrhovaného trakčného vozidla určiť pomocou vzťahu

$$P_{opt} = 2.723 \cdot 10^{-3} \frac{\varepsilon \cdot \varphi_a}{\rho} \cdot v \cdot v_{max} \cdot m \quad [\text{kW}; 1, \text{N/kN}; 1, \text{km/h, t, l}] \quad (1.1)$$

kde  $m$  - adhézna hmotnosť

$v_{max}$  - je maximálna požadovaná rýchlosť

$\varepsilon$  - súčiniteľ využitia adhéznej hmotnosti

$\varphi_a$  - súčiniteľ adhézie pri nulovej rýchlosti na suchých kolajniciach

$\rho$  - súčiniteľ optimálneho adhézneho preťaženia

$v$  - optimálny regulačný rýchlostný súčiniteľ.

Údaje  $m$  a  $v_{max}$  sú základné požadované parametre vyplývajúce z predpokladanej záťaže a prípustnej prevádzkovej rýchlosti.

Súčiniteľ  $\varepsilon$  závisí predovšetkým od usporiadania podvozku a plynulosti riadenia pohonu. V prípade, že všetky osi trakčného vozidla sú, hnané pohybuje sa  $\varepsilon$  v medziach cca 0,9 - 0,94.

Súčiniteľ  $\varphi_a$  podľa meraní v našich podmienkach sa zvyčajne udáva v medziach 300-340 N/kN

Súčiniteľ  $\rho$  je definovaný pomerom ťažných síl a daný vzťahom:

$$\rho = \frac{F_{tadh}}{F_{t\infty}} > 1 \quad (1.2)$$

$F_{tadh}$  - je maximálna ťažná sila pri rozjazde [kN]

$F_{t\infty}$  - je ťažná sila pri menovitom trvalom výkone a menovitej rýchlosti  $V_{\infty}$  [kN]

Súčiniteľ  $v$  je definovaný pomerom rýchlostí:

$$v = \frac{v_{\infty}}{v_{max}} = \frac{\omega_{\infty}}{\omega_{max}} < 1 \quad (1.3)$$

$V_{\infty}$  - je rýchlosť vozidla pri trvalom menovitom výkone vozidla

$\omega_{\infty}$  - je odpovedajúca uhlová rýchlosť trakčných motorov pri trvalom menovitom výkone vozidla.

Optimálne hodnoty súčiniteľov adhézneho preťaženia  $\rho$  a pomernej regulačnej rýchlosti  $v$  boli získané empirickým sledovaním vlastností realizovaných vozidiel a sú uvedené v tabuľke 1.1.

allowed track sections speeds. This information enables one to determine both the main traction motor parameters and the traction vehicle designed output characteristics.

In this way the DC-traction motor nominal output, nominal and maximum speed and the propable main motor dimensions can be calculated [11]. The principle of the DC-motors characteristics similarity [11] help us to determine the DC-motor mechanical characteristics by nominal voltage as well as all the other characteristics in the whole traction motor control range. Traction characteristics of the traction vehicle can be determined then which allow verification that the DC-motor and vehicle design were determined correctly.

The optimized output of the designed traction vehicle can be calculated by equation [1]:

where  $m$  - adhesion mass,

$v_{max}$  - maximum vehicle speed,

$\varepsilon$  - coefficient of adhesion mass utilization,

$\varphi_a$  - adhesion coefficient by  $v = 0$ ,

$\rho$  - optimal adhesion overload,

$v$  - optimal velocity rate.

The quantities  $m$  and  $v_{max}$  are required parameters relating to supposed wagon load and to allowed working velocity.

Coefficient  $\varepsilon$  depends on the arrangement of traction vehicle bogie and on the kind of electric drive control. In the case where all axles of the traction vehicle are driven, the value of  $\varepsilon$  can be between cca 0.9 - 0.94.

Coefficient  $\varphi_a$  can be well under traction circumstances (dry rails) from 300 to 340 N/kN.

Factor  $\rho$  is defined by the relation:

$$\rho = \frac{F_{tadh}}{F_{t\infty}} > 1 \quad (1.2)$$

$F_{tadh}$  - maximum traction effort [kN],

$F_{t\infty}$  - traction effort by continuous output and continuous speed  $V_{\infty}$  [kN],

Coefficient  $v$  is defined by the equation:

$$v = \frac{v_{\infty}}{v_{max}} = \frac{\omega_{\infty}}{\omega_{max}} < 1 \quad (1.3)$$

$V_{\infty}$  - speed at the vehicle continuous output,

$\omega_{\infty}$  - corresponding rotor electric angular speed of traction motor by continuous output of the vehicle.

Optimal values of adhesion overload coefficients  $\rho$  and velocity rate  $v$  were obtained by an empirical way (comparison with similar traction vehicles) and are in Table 1.1.

Pri návrhu el. prenosu trakčného výkonu u dieselelektrických vozidiel sa využíva vzťah:

The equation (1.4) is used to determine the continuous vehicle speed by diesel-electric traction vehicles:

$$v_{\infty} = 367.2 \frac{P_0 \cdot \eta_g \cdot \eta_{stm} \cdot \eta_m \cdot \eta_u \cdot \rho}{\varepsilon \cdot \varphi_a \cdot m} \text{ [km/h; kW, 1, 1, 1, 1, 1, N/kN, t]} \quad (1.4)$$

kde je:

$P_0$  - najväčší výkon prvotného motora poskytovaný na trakciu  
 $\eta_g$  - energetická účinnosť generátora  
 $\eta_{stm}$  - energetická účinnosť sériovo zaradených statických meničov  
 $\eta_m$  - energetická účinnosť trakčných motorov  
 $\eta_u$  - energetická účinnosť mechanickej prevodovky  
 $\rho, \varepsilon, \varphi_a, m$  - už uvádzané vo vzťahu (1.1)

where

$P_0$  - maximum diesel motor output used for traction,  
 $\eta_g$  - traction generator efficiency,  
 $\eta_{stm}$  - power semiconductor inverters efficiency,  
 $\eta_m$  - traction motor efficiency,  
 $\eta_u$  - mechanical gearbox efficiency,  
 $\rho, \varepsilon, \varphi_a, m$  - described in (1.1).

Table. 1.1: Values of  $\rho$  and  $v$

Electric traction supply system	Vehicle type	Railway service type	$\rho$	$v$	Note
DC	locomotive	long-distance express train	2.0	0.65	
		express train	2.0	0.55	
		passenger train	1.8	0.55	
		universal	1.9	0.5	
		shunting	2.4	0.42	
	multiple unit	long-distance express train	5-6	0.7	1)
		quick suburban passenger train	3.2	0.6	1)
		passenger train	1.8	0.43	
		city tramway	1.75	0.45	
		quick city light trains	3.0	0.43	1)
AC 1-phase low frequency with 1-phase commutator motors	locomotive	express train	2.4	0.95	
		quick passenger train, quick goods train	1.85	0.85	
		passenger train	1.75	0.8	
		heavy goods train	1.6	0.75	
diesel-electric transmission	locomotive	speed and passenger train	1.6	0.15	2)
		goods train	1.45	÷	
		universal shunt train	1.8	0.3	

1)  $\rho$  in this event doesn't qualify the actual torque overload of traction drive by acceleration. Electric multiple units of this type do not accelerate at the adhesion limit but with the constant motor current, at which the traction effort is essentially lower than by adhesion maximum.

2) Continuous speed  $V_{\infty}$  is limited with the diesel motor output..

Pri návrhu DE vozidla s el. prenosom trakčného výkonu sa obvykle postupuje tak, že sa zo známych radov vhodných dieseleových motorov vyberie (po úvahe a zrovnaniach) primeraný prvotný motor a od tohto výkonu sa pomocou vzťahu (1.4) odvodí zodpovedajúce výkony a rýchlosti el. trakčných motorov.

Uvedená metóda dovoľuje rýchlo a jednoznačne určiť návrh výkonu trakčného vozidla a zodpovedajúcich trakčných motorov.

The available types and outputs of diesel-motors on the market decide the primary diesel-electric traction vehicle performance. The traction motors output and revolutions can be determined by (1.4) after selection of the suitable diesel-motor type.

As a result, the output can be quickly and nearly calculated both of the traction vehicle and of traction motors. But values of

Prehľad optimálnych hodnôt súčiniteľov adhézneho preťaženia a pomernej regulačnej rýchlosti

Tab. 1.1

Prúdová sústava vozidla	Druh vozidla	Účel vozidla	$\rho$	$v$	Poznámka
Jednosmerná	lokomotiva	diaľkové expresy	2,0	0,65	
		rýchliky	2,0	0,55	
		osobné zastávkové vlaky	1,8	0,55	
		univerzálne použitie	1,9	0,5	
		univerzálna posunovacia služba	2,4	0,42	
	el. trakčné vozne, prípadne ucelené jednotky	diaľkové expresy	5-6	0,7	1)
		rýchle predmestské zastávkové vlaky	3,2	0,6	1)
		miestne zastávkové vlaky	1,8	0,43	
		mestská električka	1,75	0,45	
		mestská rýchlodráha	3,0	0,43	1)
Jednofázová	lokomotiva	expresné vlaky	2,4	0,95	
		zrýchlené osobné vlaky, rýchle ľahké náklad.	1,85	0,85	
		osobné zastávkové vlaky	1,75	0,8	
		ťažké nákladné vlaky	1,6	0,75	
Dieseľelektrický prenos	lokomotiva	rýchliky, os. vlaky	1,6	0,15	2)
		nákladné vlaky	1,45	až	
		univerzálne posun. vlaky	1,8	0,3	

- 1)  $\rho$  v tomto prípade nevyjadruje skutočné momentové preťaženie trakčného motora pri rozjazde. El. trakčné vozne tohto druhu sa rozbiehajú na medzi adhézie. Obvykle sa v tomto vlaku rozbieha konšt. prúdom, ktorý zodpovedá podst. nižšej sile ako by umožňovala adhézia.
- 2) Trvalá rýchlosť  $V_{\infty}$  je daná výkonom prvotného motora.

Tabuľkou uvádzané hodnoty  $\rho$  a  $v$  nemusia byť najvhodnejšie pre všetky druhy vozidiel. Tu treba uplatniť skúsenosť riešiteľov, prípadne porovnanie podľa iných kritérií, a tým vypočítané hlavné údaje vhodne skorigovať (naladiť).

Hlavné rozmery trakčného motora je možné vypočítať po určení menovitého trvalého výkonu motora ako aj charakteristík motora a vozidla.

## 2. Návrh hlavných parametrov asynchrónneho trakčného motora

Možno vysloviť názor, že postup návrhu typového výkonu popísaný v 1. stati je v podstate vhodný i pri návrhu el. trakčného pohonu koľajového vozidla s frekvenčne riadenými asynchrónnymi motormi.

Odlíšnosť je v postupe stanovenia elektrických parametrov a rozmerov. Pre potreby frekvenčne riadeného trakčného pohonu s asynchrónnymi motormi sa v zásade uvažuje s motorom s kotvou nakrátko. Drážky a kľetkové vinutie as. motora sa robia spravidla jednoduché tak, aby výpočet odporu a rozptylovej reaktancie jednotlivých tyčí bol jednoznačný. Dvojité kľetka, resp. jednoduchá kľetka s hlbokými vírovými drážkami tu neprinášajú

$\rho$  and  $v$  according to Tab. 1.1 are not applicable in all cases for all traction vehicle types. They can be corrected according to the knowledge of vehicle designers.

The traction motor main dimensions can be calculated after determination of the motor continuous output as well as the motor and vehicle characteristics.

## 2. Calculation of the asynchronous traction motor main parameters

It can be said that the nominal output of the traction drive using the inverter-fed frequency-controlled asynchronous motors can be calculated in the same way as the nominal output given above. In this case, the differences in the design of the traction machine are given by the determination of the dimensions of the machine and in the determination of the machine electric parameters. Frequency controlled asynchronous drives often use the squirrel cage induction machine. The calculations of the resistances and leakage reactances are easier if the simple squirrel cage is used. Double cage or deep bar cage have no other advantages in the frequency controlled drive. Hence the simple squirrel cage is often used. The torque of the machine must be

žiadnu výhodu. V celom rozsahu riadenia by mal motor pracovať s hodnotami momentov pod úrovňou momentu zvratu v priamej časti mechanickej charakteristiky.

Tiaž indukčného stroja je o 30 - 40 % nižšia ako tiaž cudzo budeného DC motora s rovnakým menovitým výkonom. Zotrvačnosť rotora indukčného stroja je menej ako polovičná oproti cudzo budenému DC stroju. Ďalšou hlavnou výhodou indukčného stroja je, že môže byť konštruovaný na vyššie otáčky ako DC cudzo budený. Všeobecne sa používa na prenos výkonu od hriadeľa pohonného stroja na hnaciu nápravu jednostupňový prevod. Z týchto dôvodov sa konštruujú indukčné trakčné stroje ako štvor- alebo šesťpólové.

### 3. Určenie hlavných elektrických parametrov motora pre návrh matematického modelu a výpočet pravdepodobných statických charakteristík

Z návrhu trvalého trakčného výkonu, max. rýchlosti a spôsobu riešenia prenosu mechanickeho výkonu z hriadelov motorov na osi hnacích náprav sa určí trvalý výkon jedného trakčného motora a maximálna otáčavá rýchlosť, pri ktorej sa dosahuje požadovaná maximálna rýchlosť trakčného vozidla.

U asynchrónneho motora sa pre zvýšenie regulačného rozsahu otáčavej rýchlosti taktiež využíva oblasť zoslabovania budenia. Je tu teda problém, do akej hodnoty rozsahu uvažovanej regulačnej rýchlosti je vhodné udržať plný magnetický tok stroja. Prijmeme predpoklad, že do hodnoty  $V_{\infty} \cong u \cdot V_{max}$ .

Podľa počtu zvolených pólových párov  $p$  je potom možno určiť potrebnú napájaciu frekvenciu napätia motora  $f_{1N}$  pre trvalú otáčavú rýchlosť  $\omega_{\infty}$  a maximálnu frekvenciu  $f_{1max}$  pre maximálnu otáčavú rýchlosť  $\omega_{max}$ .

Pre približný návrh základných el. parametrov asynchrónneho trakčného motora máme teda tieto východiskové údaje:

1.  $P_N$  - menovitý trvalý výkon [kW]
2.  $p$  - počet pólových dvojíc [-]
3.  $f_{1N}$  - menovitú frekvenciu statorového napätia [Hz]
4.  $f_{1max}$  - maximálnu frekvenciu statorového napätia [Hz]
5.  $\omega_{\infty}$  - otáčavú rýchlosť motora pri menovitom trvalom výkone [ $s^{-1}$ ]
6.  $\omega_{max}$  - otáčavú rýchlosť motora pri maximálnej rýchlosti vozidla [ $s^{-1}$ ].

K určeniu el. parametrov motora je ďalej potrebné zvoliť efektívnu hodnotu prvej harmonickej fázového napätia motora  $U_{1N}$ . Túto hodnotu možno voliť v pomerne širokom rozsahu. Pre motory do 50 kW cca od hodnoty 250 do hodnoty 400 V, pre motory od 50 do 200 kW od 300 do 600 V, pre motory nad 200 kW cca od 500 V do 900 V. Pri voľbe tohto napätia treba prihliadať na použité výkonové polovodičové spínacie prvky striedača a jeho celkové riešenie. Taktiež voľbu 1. harmonickej združeného trojfázového napätia môže ovplyvniť druh a hodnota napätia v trolejovom vedení.

Ďalej je potrebné odhadnúť pravdepodobné menovité hodnoty účinnosti  $\eta_N$ ,  $\cos \varphi_N$  a hodnotu prúdu naprázdno  $I_{01N}$  pri

lower than the breakdown torque in the whole range of the motor operation.

The induction machine weight is 30-40 % less than the separately excited DC motor with the same nominal output. Inertia of the induction machine rotor is lower than half of that one by the separately excited DC machine. The next main advantage of the induction machine is that it can be designed for higher revolutions than separately excited DC machine. One step gearing is generally used for power transmission from the shaft of the driving machine to the axle. The maximum revolutions of the induction motor is given by the maximum feasible ratio one step gearing. For these reasons the induction traction machines are usually designed to have four or six poles.

### 3. Determination of main electric induction motor parameters for the motor mathematical model design and calculation of probable steady state motor characteristics

The continuous output power of a traction motor and its maximum revolutions can be determined by knowledge of the continuous traction output, maximum vehicle velocity and the design of power transmission between the motor and driven axle.

The field weakening is utilized for extension of induction motor control range. We suppose that the full machine field will be held to the continuous vehicle speed  $V_{\infty} \cong u \cdot V_{max}$ .

The necessary supplied motor frequency  $f_{1N}$  by rotating velocity  $\omega_{\infty}$  can be then determined when the number of polepairs  $p$  is chosen as well as maximum frequency  $f_{1max}$  for maximum rotating velocity  $\omega_{max}$ .

The basic asynchronous traction motor electric parameters can be computed if the following data are known:

1.  $P_N$  nominal continuous output [kW],
2.  $p$  number of polepairs [-],
3.  $f_{1N}$  nominal frequency of the stator voltage [Hz],
4.  $f_{1max}$  maximum stator voltage frequency [Hz],
5.  $\omega_{\infty}$  motor rotating velocity by the nominal continuous output [ $s^{-1}$ ],
6.  $\omega_{max}$  maximum motor rotating velocity by the highest vehicle speed [ $s^{-1}$ ].

The one phase motor first harmonic voltage r.m.s. value  $U_{1N}$  must then be chosen. It can be chosen in a wide voltage value range: for motors output to 50 kW cca from value 250 to value 400 V, for motors output from 50 to 200 kW from 300 to 600 V, for motors output up to 200 kW cca and from 500 to 900 V. The inverter semiconductor elements limiting parameters affect this voltage value selection. The trolley wire voltage value and its kind also have an influence on the 1. harmonic line-to-line three phases motor voltage choice.

Then it is necessary to estimate the probable nominal values of the efficiency  $\eta_N$ ,  $\cos \varphi_N$  and no-load current value  $I_{01N}$  by

uvažovaných menovitých hodnotách  $U_{1N}$  a  $f_{1N}$ . K tomuto je možno využiť závislosti týchto hodnôt u realizovaných el. motorov. Tieto sa nájdu bežne v príručkách pre návrh a výpočet el. strojov a príručkách pre projektovanie el. pohonov [2], [3], [13], prípadne v katalógoch renomovaných firiem.

Za predpokladu znalosti uvádzaných parametrov postup určenia ďalších je nasledovný:

1. Určí sa menovitý prúd motora

$$I_{1N} = \frac{P_N}{3 U_{1N} \cdot \eta_N \cdot \cos\varphi_N} \quad [\text{A, W, V, 1, 1}] \quad (3.1)$$

2. Určí sa stratový výkon motora

$$\Delta P_N = P_N(1 - \eta_N) \quad (3.2)$$

3. Straty naprázdno, t. j. straty mechanické, straty v železe a straty dodatočné možno odhadnúť na 20 % celkových strát:

$$\Delta P_{N0} = 0,2 \Delta P_N \quad (3.3)$$

4. Straty vo vinutí statora a rotora možno pre predbežný návrh pokladať za rovnaké:

$$\Delta P_{NS} = 0,4 \Delta P_N$$

$$\Delta P_{NR} = 0,4 \Delta P_N \quad (3.4)$$

Z toho pre odpor  $R_S = R_1$  a prepočítaný odpor rotora na stator  $R_R = R_{21}$  budú

$$R_1 = R_{21} = \frac{0,4 \Delta P_N}{3I_{1N}^2} \quad (3.5)$$

**Poznámka:** Pre väčšie klieťkové motory obvyčajne býva  $R_1 > R_{21}$ , bude preto bližšie k realite, ak prijmeme pracovnú hodnotu  $R_1 = 1,1 R_{21}$ , a teda

$$R_1 = R_s = 1,05 \frac{0,4 \Delta P_N}{3I_{1N}^2} \quad \text{a} \quad R_{21} = R_r = 0,95 \frac{0,4 \Delta P_N}{3I_{1N}^2}$$

5. Rozptyľové reaktancie vinutí statora a rotora prepočítané na stator sa určia z odhadnutej hodnoty prúdu nakrátko  $I_{1K}$  (v spomínaných príručkách [2], [3], [13], prípadne katalógoch asynchrónnych motorov je možno pre motory podobného výkonu a menovitej otáčavej rýchlosti s dostačujúcou presnosťou nájsť hodnotu pomeru  $I_{1K}/I_{1N}$ . Pri predbežnom odhade možno uvažovať s hodnotou  $I_{1K}/I_{1N} = (5 \div 7)$ )

$$\text{Nakoľko} \quad I_{1K} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{(R_1 + R_{21})^2 + (X_{\sigma 1} + X_{\sigma 21})^2}} \quad (3.6)$$

bude

$$X_{\sigma} = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 21} = \frac{\sqrt{U_{1N}^2 - I_{1K}^2(R_1 + R_{21})}}{I_{1K}} \quad (3.7)$$

Pre predbežný návrh taktiež je prijateľné predpokladať, že

$$X_{\sigma 1} = X_{\sigma 21} = \frac{X_{\sigma}}{2} \quad (3.8)$$

selected nominal values  $U_{1N}$  and  $f_{1N}$ . They can be found in handbooks for projects and calculations of electric machines and electric drives [2] [3] [13] or in the motor production plants catalogues.

Determination of the next values can be made when we know the values of above mentioned parameters:

1. The nominal motor current

$$I_{1N} = \frac{P_N}{3 U_{1N} \cdot \eta_N \cdot \cos\varphi_N} \quad [\text{A, W, V, 1, 1}] \quad (3.1)$$

2. The motor losses

$$\Delta P_N = P_N(1 - \eta_N) \quad (3.2)$$

3. The no-load losses = mechanical losses, losses in iron and secondary losses: estimated as cca 20 % of total motor losses.

$$\Delta P_{N0} = 0,2 \Delta P_N \quad (3.3)$$

4. Losses in the stator and rotor winding are preliminary determined at the same value, which is

$$\Delta P_{NS} = 0,4 \Delta P_N$$

$$\Delta P_{NR} = 0,4 \Delta P_N \quad (3.4)$$

The resistance  $R_S = R_1$  and  $R_R = R_{21}$  are

$$R_1 = R_{21} = \frac{0,4 \Delta P_N}{3I_{1N}^2} \quad (3.5)$$

**Note:** for greater squirrel-cage induction motor is usually  $R_1 > R_{21}$ , then the assumption  $R_1 = 1,1 R_{21}$  is more exact:

$$R_1 = R_s = 1,05 \frac{0,4 \Delta P_N}{3I_{1N}^2} \quad \text{a} \quad R_{21} = R_r = 0,95 \frac{0,4 \Delta P_N}{3I_{1N}^2}$$

5. The stator and rotor windings leakage reactances converted on the stator winding will be determined from the short-circuit current  $I_{1K}$ . (in handbooks [2],[3],[13] or in catalogues of asynchronous motors is possible to find for the motors with similar output and nominal rotating velocity the rate value of  $I_{1K}/I_{1N}$ ). The rate value  $I_{1K}/I_{1N} = (5 \div 7)$  can be assumed by preliminary calculation.

$$\text{Because} \quad I_{1K} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{(R_1 + R_{21})^2 + (X_{\sigma 1} + X_{\sigma 21})^2}} \quad (3.6)$$

then

$$X_{\sigma} = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 21} = \frac{\sqrt{U_{1N}^2 - I_{1K}^2(R_1 + R_{21})}}{I_{1K}} \quad (3.7)$$

For preliminary design, it is acceptable to assume that

$$X_{\sigma 1} = X_{\sigma 21} = \frac{X_{\sigma}}{2} \quad (3.8)$$

z toho

$$L_{\sigma 1} = L_{\sigma 21} = \frac{X_{\sigma}}{2} \cdot \frac{1}{\omega_1} = \frac{X_{\sigma}}{4\pi f_{1N}} \quad (3.9)$$

hence

$$L_{\sigma 1} = L_{\sigma 21} = \frac{X_{\sigma}}{2} \cdot \frac{1}{\omega_1} = \frac{X_{\sigma}}{4\pi f_{1N}} \quad (3.9)$$

6. Hlavnú reaktanciu motora  $X_h$  a jej zodpovedajúcu hodnotu vzájomnej indukčnosti  $L_h$  je možno určiť z odhadnutej hodnoty prúdu motora naprázdno. Hodnota prúdu naprázdno  $I_{01N}$  pri menovitom napätí  $U_{1N}$  a frekvencii  $f_{1N}$  u asynchrónnych motorov vo výkonovom rozmedzí od 20 kW do 1000 kW sa pohybuje v medziach  $I_{01N} = (0,3 \div 0,22) I_{1N}$ .

Napr. lit. [3, str. 436] pre 4-pólové motory udáva pomerné hodnoty prúdu naprázdno  $I_{01N}$  k menovitému prúdu v závislosti od veľkosti nominálneho výkonu  $P_N$  podľa krivky uvedenej na obr. 3.1. Pre 6-pólové motory vychádzajú hodnoty tohto pomeru prakticky v celom uvedenom rozsahu 1,087-krát vyššie a pre 8-pólové motory 1,21-krát vyššie. Magnetizačný prúd motora  $I_{1m}$  býva od prúdu naprázdno len nepatrne menší (obvykle menej ako o 2 %). Preto možno hodnotu hlavnej reaktancie vypočítať zo vzťahu:

$$X_h = \frac{U_{1i}}{I_{01N}} = \frac{U_{1N}(1 - \varepsilon_1)}{I_{01N}} \quad (3.10)$$

kde je

$U_{1i}$  - indukované napätie v jednej fáze statorového vinutia  
 $\varepsilon_1$  - pomerný úbytok napätia na rozptylovej reaktancii jednej fázy statorového vinutia.

Obvykle je možno uvažovať s hodnotou  $\varepsilon_1 = 0,02$ .

U ASM s nominálnou frekvenciou 50 Hz možno tiež prúd naprázdno  $I_{01N}$  odhadnúť podľa vzťahu:

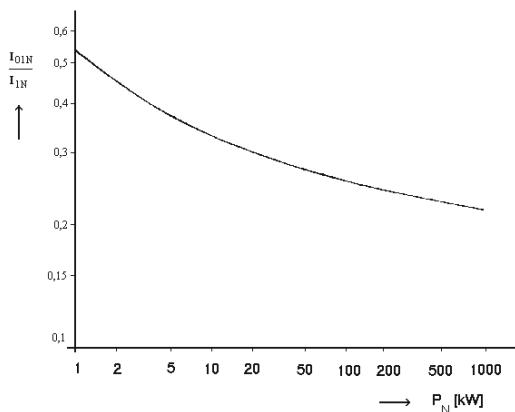
$$I_{01N} = (0,65 - 0,9) I_{1N} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_N} \quad (3.11)$$

Pričom hornej medzi korekčnej konštanty 0,9 zodpovedajú prúdy naprázdno motorov s výkonmi blížiacim sa k výkonom cca 20 kW a dolnej medzi korekčnej konštanty 0,65 prúdy naprázdno motorov s výkonmi blížiacim sa cca 1000 kW.

Hľadaná hodnota vzájomnej indukčnosti teda bude:

$$L_h = \frac{X_h}{2\pi f_{1N}} \quad (3.12)$$

7. Takto sme získali všetky pravdepodobné hodnoty pre náhradnú obvodovú schému jednej fázy projektovaného motora. Pre prehľadnosť označenia a význam predpokladaných hodnôt je uvažovaná zjednodušená náhradná obvodová schéma uvedená na obr. 3.2.



Obr. 3.1. Pomer hodnôt prúdu naprázdno k hodnotám menovitého prúdu v závislosti od menovitého výkonu 4-pólových asynchrónnych motorov

Fig. 3.1 Ratio of the value of no-load current by member of nominal current independent on nominal the output of 4-poles asynchronous motor.

6. The main motor reactance  $X_h$  and its corresponding value mutual inductance  $L_h$  can be determined from estimated no-load current values. The value of no-load current  $I_{01N}$  by nominal voltage  $U_{1N}$  and frequency  $f_{1N}$  is by asynchronous motors in the power range from 20 kW to 1000 kW within limits  $I_{01N} = (0.3 \div 0.22) I_{1N}$ .

The curve of the rate  $I_{01N}/I_N$  in dependence on the nominal output value  $P_N$  according to [3] is shown in Fig. 3.1.

This rate is for the 6-poles motors 1.087-times higher and

for 8-poles motors 1.21-times higher. Magnetizing current  $I_{1m}$  value used to be rather lower than no-load current value (usually about to 2 %). Hence the main reactance value can be calculated:

$$X_h = \frac{U_{1i}}{I_{01N}} = \frac{U_{1N}(1 - \varepsilon_1)}{I_{01N}} \quad (3.10)$$

where

$U_{1i}$  - induced voltage in one stator winding phase,  
 $\varepsilon_1$  - relative voltage drop value on leakage reactance of one stator winding phase.

Usually it is possible to consider the value  $\varepsilon_1 = 0.02$ .

The no-load current value can be estimated by asynchronous motor with nominal frequency of 50 Hz according to relation.

$$I_{01N} = (0.65 - 0.9) I_{1N} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_N} \quad (3.11)$$

The value of 0,9 is given for the motor outputs about 20 kW and value of 0,65 for outputs up to 1000 kW.

The value of the mutual inductance is:

$$L_h = \frac{X_h}{2\pi f_{1N}} \quad (3.12)$$

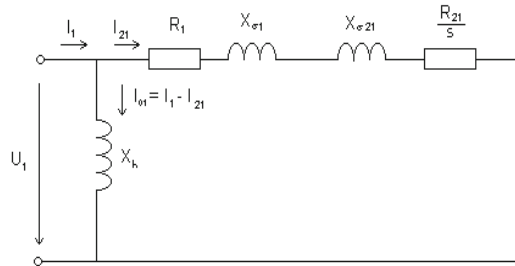
7. Obtainment of all probable quantities values is necessary for the construction of the substitution diagram for the one phase of the motor projected. The simplified substitution diagram is shown in Fig. 3.2.

8. Zároveň sme získali i hodnoty potrebné pre zostavenie systému diferenciálnych rovníc (dynamický matematický model) pre vyšetrenie dynamického chovania ind. motora

$R_1, R_{21}, L_{\sigma 1}, L_{\sigma 21}, L_h$  a teda aj

$$L_1 = L_h + L_{\sigma 1} \text{ a}$$

$$L_{21} = L_h + L_{\sigma 21}$$



Obr. 3.2. Zjednodušená náhradná schéma jednej fázy ASM  
Fig. 3.2 Reduction equivalent diagram of one-phase ASM

8. Also, obtainment of the values is necessary for construction of the differential equations system (dynamic model motor) describing the inductance motor dynamics -

$R_1, R_{21}, L_{\sigma 1}, L_{\sigma 21}, L_h$ , thus

$$L_1 = L_h + L_{\sigma 1} \text{ and}$$

$$L_{21} = L_h + L_{\sigma 21}$$

9. K úplnosti hodnôt pre vyšetrenie dynamického chovania motora potrebujeme aspoň orientačne stanoviť jeho moment zotrvačnosti. Tento je možno stanoviť porovnaním katalógových údajov motorov rovnakých menovitých výkonov a rovnakých synchronných otáčavých rýchlostí.

Zodpovedajúci moment zotrvačnosti  $J$  navrhovaného indukčného motora je možno tiež dostatočne presne určiť z hodnoty tzv. menovitého času rozbehu ind. motora  $T_J$  podľa vzťahu:

$$J = \frac{T_J \cdot P_N}{\omega_{ms}^2} \quad [\text{kgm}^2, \text{s}, \text{W}, \text{s}^{-1}] \quad (3.13)$$

kde je  $P_N$  - menovitý výkon motora  
 $\omega_{ms}$  - synchronná otáčavá rýchlosť hriadeľa motora

9. Determination of the motor moment of inertia. It is possible to determine by comparison of similar motors in catalogues (with the same nominal outputs and the same synchronous rotating velocities).

The corresponding moment of inertia  $J$  of the inductive motor projected is able to specify exactly enough with knowledge of the nominal acceleration time induction motor value  $T_J$ :

$$J = \frac{T_J \cdot P_N}{\omega_{ms}^2} \quad [\text{kgm}^2, \text{s}, \text{W}, \text{s}^{-1}] \quad (3.13)$$

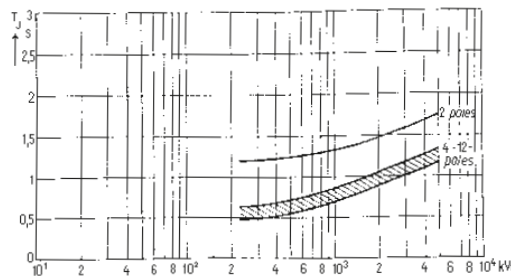
where  
 $P_N$  - nominal motor output,  
 $\omega_{ms}$  - synchronous rotating speed of motor shaft.

Lit. [3, s. 460] udáva závislosť už realizovaných motorov Siemens prepočítanú na jeden polový pár menovitého výkonu. Spomenutá závislosť je uvedená na obr. 3.3.

10. Týmto máme všetky potrebné hodnoty pre zostavenie známeho dynamického matematického modelu pravdepodobného asynchronného motora napr. [7, s. 242 - 255]. Ide o matematický model trojfázového symetrického asynchronného motora s kotvou

nakrátko prepočítaný do dvojsovej sústavy  $\alpha, \beta$  pevne spojený so statorom. Tento model môžeme použiť na zostavenie počítačového simulačného modelu.

11. V súlade s konštatovaním v 7. odseku možno pre rýchle vyšetrenie stacionárnych stavov a charakteristík podľa získaných hodnôt zostrojiť zodpovedajúci kruhový diagram. Z tohto ľahko určíme moment zvratu v motorickej oblasti pri nominálnej frekvencii. Môžeme tiež rýchlo posúdiť, či niektoré parametre motora sú nedostačujúce alebo nejakým neobvyklým. Taktiež z tohto diagramu ľahko posúdiť, čo je treba pozmeniť, aby parametre vyhovovali požadovaným potrebám. Napr. zmenšením rozptylových reaktancií vzrastie priemer kružnice



Obr. 3.3. Menovité časy rozbehu  $T_J$  asynchronných motorov s kotvou nakrátko v závislosti od výkonu na polový pár  
Fig. 3.3 Nominal time of start  $T_J$  asynchronous motor with short-circuit armature independent on output to member of poles.

Literature [3, page 460] specifies dependence  $J$  already realised motors Siemens related on the one pole pair-motor nominal output (Fig. 3.3).

10. In this way, completion of all quantity values necessary for the construction of well-known dynamic mathematical model of designed asynchronous motor is accomplished (for example [7, pages 242-255]). It is a mathematical model of the 3-phases symmetrical asynchronous squirrel cage motor

converted into the 2-axial system  $\alpha, \beta$  connected with a stator. This model will be used for the simulation model construction.

11. It is possible (as to section 7) to construct the corresponding circle diagram which enables the quick check of the stationary motor states and characteristics. So it can be easy to determine the breakdown torque in motor-operating area by the nominal frequency. It can also be quickly evaluated from the circle diagram whether some parameters of the motor are deficient or infrequent. These parameters can be changed for more satisfying motor design.

prúdov pri jednotlivých sklzoch a vzrastie napr. hodnota momentu zvratu voči momentu menovitému a pod.

#### 4. Návrh parametrov asynchrónnych motorov trakčných vozidiel a vyšetrenie pravdepodobných trakčných charakteristík

V predošlej časti bol popísaný prístup k návrhu pohonu trakčného vozidla a k návrhu typového výkonu a hlavných parametrov asynchrónneho trakčného motora. Pre takýto predpokladaný motor bola navrhnutá metodika určenia jeho pravdepodobných mechanických a elektrických parametrov, ktoré možno využiť pre popis jeho chovania v dynamickom, resp. v stacionárnom pracovnom režime.

Pre rôzne účely vyšetrenia vlastností vozidla v stacionárnom režime prevádzky je pochopiteľne potrebné poznať spôsob a parametre mechanického prenosu výkonu trakčných motorov na hnacie osi a mechanické a elektromechanické charakteristiky trakčného motora. Nakoľko sa jedná o spojitú riaditeľný el. pohon, pôjde tu najmä o znalosť medznej mechanickej charakteristiky motora v rozsahu riadenia, prípadne celej siete mechanických alebo elektromechanických charakteristík. Zrejme je tiež potrebné stanoviť rotorové a statorové prúdy motora pri danej jazdnej rýchlosti a ťažnej sile diktovanej odporovou jazdnou charakteristikou vozidla. Pri riešení týchto úloh možno vychádzať z navrhnutých pravdepodobných parametrov asynchrónneho trakčného motora a zo všeobecne známeho vzťahu pre moment v závislosti na sklze:

$$M = \frac{3pR_{21}}{\omega_1 s} \cdot \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_{21}}{s}\right)^2 + (X_{\sigma 1} + X_{\sigma 21})^2} \quad (4.1)$$

kde je

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \quad \text{- relatívny sklz rotora za rýchlosťou otáčavého poľa}$$

$$\omega_1 = 2\pi f_1 \quad \text{- elektrická synchronná rýchlosť}$$

$$f_1 \quad \text{- frekvencia statorového napätia}$$

$$\omega \quad \text{- elektrická uhlová rýchlosť rotora}$$

$$\omega_2 = \omega_1 - \omega \quad \text{- elektrická uhlová rýchlosť skľuzu rotora za el. uhlovou rýchlosťou otáčavého poľa}$$

$$p \quad \text{- počet pólových párov stroja}$$

$$\omega_m = \omega/p \quad \text{- skutočná (mechanická) otáčavá rýchlosť rotora}$$

Zavedením závislosti momentu stroja v rovnici (4.1) od frekvencie statorového napätia  $f_1$  a el. uhlovej rýchlosti rotora  $\omega$  dostaneme vzťah:

$$M = \frac{3pR_{21}U_1^2(2\pi f_1 - \omega)}{[R_1(2\pi f_1 - \omega) + R_{21}2\pi f_1]^2 + [2\pi f_1(L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21})(2\pi f_1 - \omega)]^2} \quad (4.2)$$

V prípade ak moment vyjadríme v závislosti od  $f_1$  a sklzovej uhlovej rýchlosti  $\omega_2$  dostaneme:

#### 4. Estimation of probable traction effort/speed characteristics of the vehicle with ASM

The previous part of this contribution describes a method showing how to determine or to estimate the main mechanical and electrical induction traction motor parameters which enable the creation of both the steady state and dynamical models of the motor. These models create the possibility to simulate the induction traction motor behaviour in service.

The knowledge of mechanical and electromechanical motor characteristics together with the knowledge of the mechanical transmission motor-to-driven axle parameters makes it possible to determine the traction vehicle qualities and characteristics in static mode. The inverter-fed motor has the stepless output control and thus there exists an endless number of its mechanical and electric-mechanical characteristics (characteristics network).

Next, values of the stator and rotor currents corresponding with traction vehicle traction effort/speed characteristics ought to be calculated. The above determined induction motor parameters make it possible to solve this task by using the well-known equation for torque:

$$M = \frac{3pR_{21}}{\omega_1 s} \cdot \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_{21}}{s}\right)^2 + (X_{\sigma 1} + X_{\sigma 21})^2} \quad (4.1)$$

where

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \quad \text{- relative rotor slip (related to rotating field speed)}$$

$$\omega_1 = 2\pi f_1 \quad \text{- electric synchronous angular speed}$$

$$f_1 \quad \text{- stator voltage frequency}$$

$$\omega \quad \text{- rotor electric angular speed}$$

$$\omega_2 = \omega_1 - \omega \quad \text{- slip electric angular speed related to electric angular speed of rotating field}$$

$$p \quad \text{- number of motor poles actual (mechanical)}$$

$$\omega_m = \omega/p \quad \text{- speed of rotor rotation}$$

Using the dependence of the motor torque on the stator voltage frequency  $f_1$  and the rotor electric angular speed  $\omega$  in equation (4.1) is:

For the torque depending on  $f_1$  and the slip angular speed  $\omega_2$ :



$$M = \frac{3 p R_{21} U_1^2 \omega^2}{[R_1 \omega^2 + R_{21} 2 \pi f_1]^2 + [2 \pi f_1 (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21}) \omega^2]^2} \quad (4.3)$$

Pre prepočítanú hodnotu rotorového prúdu  $I_{21}$  v závislosti od  $f_1$  a  $\omega$ , resp.  $f_1$  a  $\omega_2$  dostaneme:

For calculated rotor current value  $I_{21}$  depending on  $f_1$  and  $\omega$ , or  $f_1$  and  $\omega_2$  respectively is:

$$I_{21} = \frac{U_1 (2 \pi f_1 - \omega)}{\sqrt{[R_1 (2 \pi f_1 - \omega) + R_{21} 2 \pi f_1]^2 + [2 \pi f_1 (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21}) (2 \pi f_1 - \omega)]^2}} \quad (4.4)$$

$$I_{21} = \frac{U_1 \omega_1}{\sqrt{[R_1 \omega_2 + R_{21} 2 \pi f_1]^2 + [2 \pi f_1 (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21}) \omega_2]^2}} \quad (4.5)$$

Úpravou známych rovníc pre sklz zvratu a moment zvratu s vyjadrením závislosti od statorovej frekvencie  $f_1$  dostávame vzťahy:

$$s_{zv} = \pm \frac{R_{21}}{\sqrt{R_1^2 + (2 \pi f_1)^2 (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21})^2}} \quad (4.6)$$

$$M_{zv} = \frac{3 p U_1^2}{4 \pi f_1 \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (2 \pi f_1)^2 (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21})^2} \right]} \quad (4.7)$$

pričom platia vzťahy:

$$f_{1zv} = f_1 (1 - s_{zv}) \text{ - frekvencia zvratu}$$

$$\omega_{1zv} = 2 \pi f_{1zv} \text{ - elektrická uhlová rýchlosť zvratu}$$

$$f_{2zv} = f_1 s_{zv} \text{ - sklzová frekvencia zvratu}$$

$$\omega_{2zv} = 2 \pi f_{2zv} \text{ - elektrická uhlová rýchlosť sklzu zvratu} \quad (4.8)$$

a ďalej tiež približne platí:

$$I_{21} = \sqrt{\frac{M \omega_2}{3 p R_{21}}} \quad (4.9)$$

$$I_{01} = \frac{U_1}{X_h} = \frac{U_1}{2 \pi f_1 L_h} \quad (4.10)$$

kde  $I_{01}$  je magnetizačný prúd jednej fázy vinutia statora

$$I_1 = \sqrt{I_{01}^2 + I_{21}^2} \quad (4.11)$$

Adapting the known equations for breakdown slip and breakdown torque with expression of dependence on the stator frequency  $f_1$  is:

$$s_{zv} = \pm \frac{R_{21}}{\sqrt{R_1^2 + (2 \pi f_1)^2 (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21})^2}} \quad (4.6)$$

$$M_{zv} = \frac{3 p U_1^2}{4 \pi f_1 \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (2 \pi f_1)^2 (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21})^2} \right]} \quad (4.7)$$

Following relations are valid:

$$f_{1zv} = f_1 (1 - s_{zv}) \text{ - breakdown frequency}$$

$$\omega_{1zv} = 2 \pi f_{1zv} \text{ - electric angular breakdown speed}$$

$$f_{2zv} = f_1 s_{zv} \text{ - slip breakdown frequency}$$

$$\omega_{2zv} = 2 \pi f_{2zv} \text{ - slip electric angular breakdown speed} \quad (4.8)$$

and it is also approximately valid:

$$I_{21} = \sqrt{\frac{M \omega_2}{3 p R_{21}}} \quad (4.9)$$

$$I_{01} = \frac{U_1}{X_h} = \frac{U_1}{2 \pi f_1 L_h} \quad (4.10)$$

where  $I_{01}$  is the magnetizing current for one phasis of stator winding, and then

$$I_1 = \sqrt{I_{01}^2 + I_{21}^2} \quad (4.11)$$

Explicitným vyjadrením veličiny  $\omega_2$  z rovnice (3) dostávame vzťah:

For  $\omega_2$  from equation (3) is explicitly:

$$\omega_{2,1,2} = \frac{R_{21} \left[ \frac{3p U_1^2}{M} - 4\pi R_1 f_1 \pm \sqrt{\frac{9p^2 U_1^4}{M^2} - \frac{24\pi p R_1 U_1^2 f_1}{M} - 4(2\pi f_1)^4 (L_{\sigma 1} - L_{\sigma 21})^2} \right]}{2[R_1^2 + (2\pi f_1)^2 (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 21})^2]} \quad (4.12)$$

pomocou ktorého pri daných hodnotách  $U_1, f_1$  a  $M$  môžeme určiť zodpovedajúcu elektrickú sklzovú uhlovú rýchlosť  $\omega_2$  a teda tiež i mechanickú sklzovú rýchlosť rotora oproti mechanickej synchronnej rýchlosti daného ASM.

We can determine the slip electrical angular speed  $\omega_2$  and the rotor mechanical slip speed related to the ASM synchronous mechanical speed when  $U_1, f_1$  and  $M$  is given.

(Poznámka: Použiteľný výsledok zo vzťahu (4.12) dáva len koreň  $\omega_2$  s mínusom pred odmocninou)

Vzťahy (4.6), (4.7) a (4.8) možno využiť na vyšetrovanie priebehu medznej mechanickej charakteristiky ASM pri frekvenčnom riadení pri zvolenej závislosti zmeny statorového napätia  $U_1$  na napájajúcej frekvencii  $f_1$  tak, ako je zrejmé z príkladov znázornených na obr. 4.1.

Vyššie uvedené vzťahy boli použité pri výpočte siete trakčných charakteristik (so štyrmi 4-pólovými ASM, s trvalým menovitým výkonom 134 kW každého jednotlivého motora). Siete charakteristik sú uvedené na obr. 4.3 vrátane uvažovanej riadiacej charakteristiky  $U_1 = \varphi(f_1)$ .

## Záver

Riešenú problematiku návrhu trvalého výkonu el. trakčného vozidla s ASM bude potrebné ešte doplniť štatistickým prehľadom trvalých výkonov už realizovaných vozidiel ako aj prehľadom elektrických a rozmerových parametrov použitých asynchronných motorov.

Metodiku návrhu el. parametrov a konštánt asynchronných trakčných motorov by bolo vhodné v budúcnosti doplniť alternatívnym postupom vychádzajúcim z požadovaného sklzu motora pri typovom výkone. Ďalej tiež bude

(Note: Only the root  $\omega_2$  with minus before the square root sign in equation (4.12) is valid)

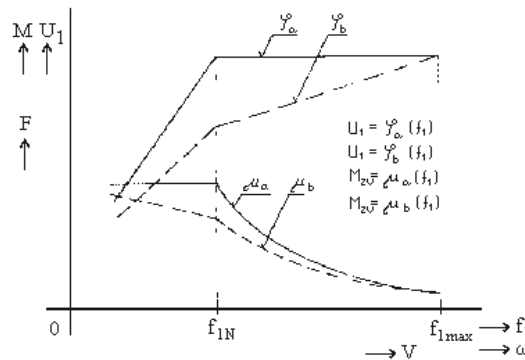
The relations (4.6), (4.7) and (4.8) can be utilized for computing of asynchronous motor limiting mechanical characteristics by frequency control and by given dependence on control of the stator voltage  $U_1$  and the stator frequency  $f_1$ . One example is shown in Fig. 4.1.

The relations mentioned above were used by computing diesel-electric traction vehicle traction characteristics net (with four 4-poles ASM, continuous rated output 134 kW each) shown in Fig. 4.3 as well as dependence  $U_1 = \varphi(f_1)$  proposed.

## Conclusions

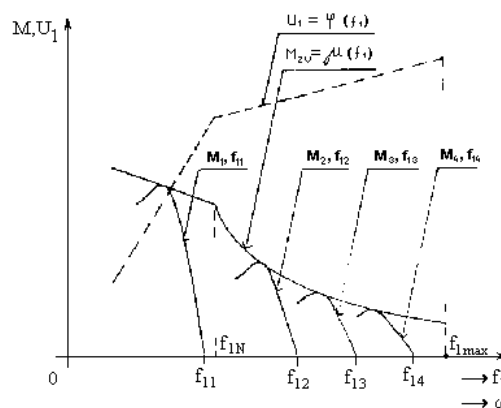
This project of continuous output value of the electric traction vehicle with asynchronous motors should be completed with a statistic review of continuous power values of already realized vehicles as well as with overview of electric and size parameters of asynchronous motors used in traction vehicles.

Another variant of the traction motor project can be based on the calculation of the demanded motor slip at the nominal motor output point.



Obr. 4.1. Príklad priebehu vyšetrovaných medzných mechanickej charakteristik  $\mu_a$  a  $\mu_b$  pre rôzne priebehy riadenia statorového napätia  $\varphi_a$  a  $\varphi_b$

Fig. 4.1 Asynchronous motor limiting mechanical characteristics  $\mu_a$  and  $\mu_b$  for two different methods of stator voltage control  $\varphi_a$  and  $\varphi_b$



Obr. 4.2. Sieť mechanickej charakteristik ASM pre rôzne statorové frekvencie  $f_{11}$  až  $f_{14}$  pri priebehu statorového napätia  $U_1 = \varphi(f_1)$

Fig. 4.2 Net of asynchronous motor mechanical characteristics for different stator frequencies  $f_{11} - f_{14}$  and the stator voltage shape  $U_1 = \varphi(f_1)$ .

potrebné ju doplniť vhodným konkrétnym príkladom.

Popísaná metodika výpočtu pravdepodobných charakteristík je odvodená zo zjednodušeného stacionárneho matematického modelu ASM. Napriek tomu v oblasti 10 - 100 % maximálnej pracovnej frekvencie rozdiely oproti skutočným hodnotám zodpovedajúcich charakteristík chyby nepresiahnu 5 - 10 %. V oblasti nižších pracovných frekvencií je v podstate možné percentuálne rozdiely udržať na nízkych hodnotách, ak sa v závislosti statorového napätia od frekvencie zohľadnia úbytky na činných odporoch a rozptylových reaktanciách. Je to možné ak sa vychádza zo stacionárneho matematického modelu nezjednodušeného, čo je možno nájsť v [14] na str. 3.17. Tu je zrejme, že riadiaci priebeh  $U_1 = f(f_1)$  pri dodržaní konštantného toku statora  $\psi_1$  závisí i od elektrickej sklzovej pracovnej uhlovej rýchlosti  $\omega_2$ . Potom pre riadiacu charakteristiku  $U_1 = \varphi(\omega_1, \omega_2)$  dostávame vzťah

$$U_1 = \frac{\psi_1}{\sigma T_1} \cdot \frac{\sqrt{(\sigma + \sigma^2 \omega_2^2 T_2^2)^2 + (\omega_1 \omega_2^2 \sigma^3 T_1 T_2^2 - \sigma^2 \omega_2 T_2 + \sigma \omega_1 T_1 + \sigma \omega_2 T_2)}}{1 + (\sigma \omega_2 T_2)^2} \quad (4.13)$$

kde

$\psi_1$  je celkový magnetický tok statora, za ktorý môžeme dosadiť stálu hodnotu

$$\psi_{10} = L_1 I_{01N}$$

$\sigma$  je celkový činiteľ rozptylu daný vzťahom

$$\sigma = 1 - \frac{L_h^2}{L_1 L_{21}}$$

$T_1, T_2$  sú elektrické časové konštanty vinutí statora a rotora, ktoré určíme pomocou vzťahov

$$T_1 = \frac{L_1}{R_1} \quad \text{a} \quad T_2 = \frac{L_{21}}{R_{21}}$$

$\omega_1$  je elektrická synchronná rýchlosť točivého poľa plynúca zo vzťahu

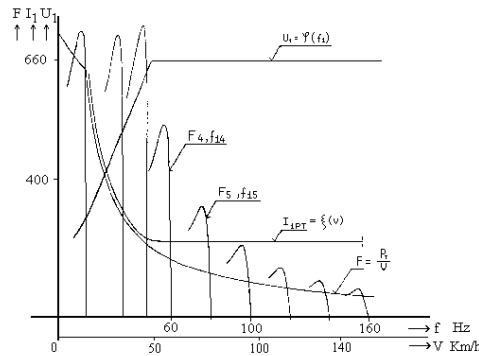
$$\omega_1 = 2\pi f_1$$

$\omega_2$  je elektrická sklzová rýchlosť rotora plynúca zo vzťahu

$$\omega_2 = 2\pi f_2$$

kde za  $f_2$  možno dosadiť frekvenciu prúdu rotora  $f_{2N}$  vznikajúcu pri zaťažení ASM menovitým momentom pri  $U_{1N}$  a  $f_{1N}$  t. j.

$$f_{2N} = f_{1N} - \frac{p \omega_{mN}}{2\pi}$$



Obr. 4.3. Sieť trakčných charakteristík vozidla pri rôznych statorových frekvenciách a priebeh prúdu statora  $I_{1PT}$  pri konštantnom trakčnom výkone.

Fig. 4.3 The net of traction characteristics (traction effort/speed) by different ASM stator frequencies and dependence of stator current  $I_{1PT} = f(V)$  calculated according (2.12), (2.5), (2.10) at the constant traction output  $P_T$  for diesel-electric traction vehicle.

The method ought to be completed with an example of the calculation.

The described method of calculations of probable characteristics ASM and the traction vehicle with ASM is based on the simplified static mathematics model of an asynchronous motor. The accuracy of this model is well within the range of 10 % and 100 % of maximum working frequency and compared with real ASM characteristic is better then 10 %. It is possible to also use this method in the area of lower frequencies when the resistance voltage drops and leakage inductance voltage drops are taken into account. Then the nonsimplified ASM static model should be used, see page 3.17 in [14]. Here it is evident that the control of

$U_1 = f(f_1)$  by the constant stator flux  $\psi_1$  depends on the slip electric working angular speed  $\omega_2$  as well. For the control characteristic  $U_1 = \varphi(\omega_1, \omega_2)$ :

where

$\psi_1$  is the whole stator magnetic flux. We can appoint the constant value:

$$\psi_{10} = L_1 I_{01N}$$

$\sigma$  is the leakage factor:

$$\sigma = 1 - \frac{L_h^2}{L_1 L_{21}}$$

$T_1, T_2$  are the electrical time constant of both rotor and stator windings:

$$T_1 = \frac{L_1}{R_1} \quad \text{a} \quad T_2 = \frac{L_{21}}{R_{21}}$$

$\omega_1$  is the electric synchronous angular speed

$$\omega_1 = 2\pi f_1$$

$\omega_2$  is the electric angular slip speed related to the electric angular speed of rotating field:

$$\omega_2 = 2\pi f_2$$

where  $f_2$  can be calculated as the slip breakdown frequency  $f_{2N}$  by the nominal torque load asynchronous motors by nominal  $U_{1N}$  a  $f_{1N}$ .

$$f_{2N} = f_{1N} - \frac{p \omega_{mN}}{2\pi}$$

Výhodou prezentovanej metodiky je, že dovoľuje zhodnotiť vlastnosti projektovaného trakčného pohonu a v prípade ich nevhodnosti umožňuje projektované parametre včas upraviť.

## LITERATÚRA

- [1] OPAVA, J., PŘIKRYL, H.: Projektování a experimentální ověřování elektrických zařízení trakčních vozidel. Díl I, skripta VŠDS Žilina, ALFA Bratislava 1974
- [2] CIGÁNEK, L.: Stavba elektrických strojů. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1951
- [3] SIEMENS A.G.: Betriebsverhalten elektrischer Maschinen. Sonderdruck aus „Handbuch der Elektrotechnik“, Berlin - München 1971
- [4] POLIAK, F., FEDÁK, V., ZBORAY, L.: Elektrické pohony, ALFA Bratislava, SNTL Praha 1987
- [5] MĚŘIČKA, J., HAMATA, V., VOŽENÍLEK, P.: Elektrické stroje, skriptá. Vydavatelství ČVUT Praha 1994
- [6] VAS, P.: Vector Control of AC Machines. Clarendon Press, Oxford 1990
- [7] CAHA, Z., ČEMÝ, M.: Elektrické pohony SNTL - Praha 1990
- [8] JANSA, F.: Vozidla elektrické trakce. NADAS, Praha 1987
- [9] ARKKIO, A.: Rotor-slot design for inverter-fed cage induction motors. Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Advanced Electrical Motors, Poitano (Italy), May 19. - 21., 1992, p. 37-42, SPEEDAM
- [10] JANSA, F.: Dynamika a energetika elektrické trakce, NADAS Praha 1980
- [11] JANSA, F.: Elektrická trakcia I, ALFA BRATISLAVA 1976
- [12] DRÁBEK, J.: Dynamika a energetika elektrické trakce. Skripta VŠDS Žilina, ALFA Bratislava 1981
- [13] CIGÁNEK, L.: Elektrické stroje. SNTL, Praha 1958
- [14] Zboray, L.: Regulované pohony, skriptá, Edičné stredisko VŠT, Košice 1988

This method enables to check the qualities of the traction drive project. The projected parameters can be then modified or changed.

## REFERENCES

- [1] OPAVA, J., PŘIKRYL, H.: Projektování a experimentální ověřování elektrických zařízení trakčních vozidel. Díl I, skripta VŠDS Žilina, ALFA Bratislava 1974
- [2] CIGÁNEK, L.: Stavba elektrických strojů. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1951
- [3] SIEMENS A.G.: Betriebsverhalten elektrischer Maschinen. Sonderdruck aus „Handbuch der Elektrotechnik“, Berlin - München 1971
- [4] POLIAK, F., FEDÁK, V., ZBORAY, L.: Elektrické pohony, ALFA Bratislava, SNTL Praha 1987
- [5] MĚŘIČKA, J., HAMATA, V., VOŽENÍLEK, P.: Elektrické stroje, skriptá. Vydavatelství ČVUT Praha 1994
- [6] VAS, P.: Vector Control of AC Machines. Clarendon Press, Oxford 1990
- [7] CAHA, Z., ČEMÝ, M.: Elektrické pohony SNTL - Praha 1990
- [8] JANSA, F.: Vozidla elektrické trakce. NADAS, Praha 1987
- [9] ARKKIO, A.: Rotor-slot design for inverter-fed cage induction motors. Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Advanced Electrical Motors, Poitano (Italy), May 19.-21., 1992, p. 37-42, SPEEDAM
- [10] JANSA, F.: Dynamika a energetika elektrické trakce, NADAS Praha 1980
- [11] JANSA, F.: Elektrická trakcia I, ALFA BRATISLAVA 1976
- [12] DRÁBEK, J.: Dynamika a energetika elektrické trakce. Skripta VŠDS Žilina, ALFA Bratislava 1981
- [13] CIGÁNEK, L.: Elektrické stroje. SNTL, Praha 1958
- [14] ZBORAY, L.: Regulované pohony, skriptá, Edičné stredisko VŠT, Košice 1988

Jerzy Merkisz - Vladimír Hlavňa \*

## SPAĽOVACIE MOTORY NA PRELOME TISÍCROČÍ

### INTERNAL COMBUSTION ENGINES AT THE TURN OF MILLENNIA

*Príspevok pojednáva o nových smeroch vo vývoji spaľovacích motorov vo svetle sprísnených ekologických predpisov týkajúcich sa výfukových plynov, hluku, spotreby paliva. Autori diskutujú o možných úpravách zážihových i vznetrových motorov (pre ľahké i ťažké nákladné automobily), ktoré sa urobili preto, aby motory spĺňali súčasné i budúce predpisy na škodliviny vo výfukových plynoch.*

#### ÚVOD

Prelom tisícročia je charakterizovaný aj hľadaním ciest zabezpečenia trvalo rastúcej mobility v rovnováhe s kvalitou života, existujúcim priestorom a ekonomickým potenciálom spoločnosti. Súčasný vývoj spoločnosti spôsobil zvýšenie masovú mobilitu a veľmi ovplyvnil vzor správania, ako aj životný cieľ, najmä v priemyselných krajinách. Výroba dopravných prostriedkov a najmä všadeprítomnosť automobilov vytvorili taký spôsob života, v ktorom ľudia veria vo svoje právo na mobilitu [1]. Niektoré údaje globálnych ukazovateľov tejto prognózy sú uvedené v tabuľke 1 [2]. Sami autori pripúšťajú určitú nevierohodnosť týchto údajov, no napriek tomu veľmi zreteľne ilustrujú dilemy a rozpory XXI. storočia. V tejto súvislosti treba upozorniť na tie fragmenty prognózy, ktoré poukazujú na prudký nárast počtu automobilov až na hodnotu 1600 miliónov a na nárast počtu obyvateľov. Predpokladaný vývoj nárastu jednotlivých druhov cestných motorových vozidiel je znázornený na obrázku 1. Ďalší vývoj dopravy je neoddeliteľne spojený s vývojom dopravných prostriedkov a otázkami hodnôt životného štýlu, spôsobu života a hospodárenia. Škodlivé účinky dopravy na životné prostredie musia byť obmedzované presadzovaním rýchlejších, bezpečnejších, ekologickejších a pohodlnejších dopravných prostriedkov. Produkcia dopravných prostriedkov vo veľkej miere závisí od požiadaviek prepravy. V súčasnej dobe vystupuje do popredia určitá anomália. Vznik železničnej dopravy má svoje fyzikálne opodstatnenie (ide najmä o minimalizáciu energie potrebnej na pohyb), napriek tomu, na konci dvadsiateho storočia, dochádza k zmene ťažiska dopravy zo železnice na cestu. Podstatnou príčinou však nie sú dopravné prostriedky, ale organizácia dopravy so všetkými službami. Nielen v produkcii, ale aj vo využívaní automobilov podstatne prevládajú osobné vozidlá. Pre názornosť je v tabuľke 2 uvedený prehľad podielu jednotlivých kategórií automobilov na

*Trends in the development of piston internal combustion engines in a view of tightened ecological regulations (exhaust and noise emissions, fuel consumption) have been presented in this paper. Possibilities and ways of engine design adjustments, both gasoline and diesel type (light and heavy duty), that were undertaken to fulfil the present as well as the expected standards of exhaust toxicity have been discussed as well.*

#### INTRODUCTION

The turn of millennia is characterised by looking for ways in which an ever increasing mobility would be in balance with the quality of life, existing space and economic potential of a society. The ongoing development of the society has caused a huge mass mobility and has a considerable influence on the behaviour pattern as well as on priorities of people especially in industrial countries. The production of means of transport and, particularly, omnipresence of cars have created such a way of life that people believe in their right of mobility [1]. Some numerical data of the global indices of this prognosis can be seen in Table 1 [2]. The authors themselves admit certain unreliability of the data. In spite of the fact, they clearly outline dilemmas and discrepancies of the 21st century. The attention should be drawn to those fragments of the prognosis that show a steep increase in the number of cars reaching as many as 1,600 mil. and increase in the number of population. The expected development of the increase of several types of road motor vehicles can be seen in Fig. 1. Further development of transport is closely connected with the development of means of transport and with questions of priorities and values of life-style, way of life and economy. Harmful impact of transport on the environment has to be limited through using faster, safer, more environmental friendly and more comfortable means of transport. The production of means of the transport depends to a great extent on the requirements of transportation. At present a certain anomaly can be observed. Though railway transport has its physical foundation (it is mainly minimisation of energy needed for movement) towards the end of the 20th century the centre of transportation has been shifted from railways to roads. The real cause of such a situation are not means of transport, but organisation of transport with all the services. Not only in production but also in actual use passenger cars prevail substantially. Table 2 shows a share of different categories of cars in

\* Prof. Jerzy Merkisz, D.Sc., Ph.D., Mech.E., Institute of Internal Combustion Engines and Basics of Machine Design, Poznań University of Technology, ul. Piotrowo 3, 60 965 Poznań, Poland, phone: 48-61-8782204; e-mail: merkisz@put.poznan.pl  
Prof. Vladimír Hlavňa, Ph.D., Mech.E., Department of Railway Vehicles, Engines and Lifting Equipment, University of Žilina, Veľký diel, 010 26 Žilina, Slovak Republic, phone: +421-89-530 16, e-mail: hlavna@fstroj.utc.sk

Slovensku v roku 1998, na obrázku 1 celkový trend vývoja výroby motorových vozidiel, na obrázku 2 percentuálny podiel výroby osobných automobilov vo svete a na obrázku 3 je znázornený predpokladaný rozvoj výroby a potreba osobných automobilov v strednej a východnej Európe.

Tab. 1

Ukazovateľ	Jednotky	1990	2000	2025	2050	2100
Počet obyvateľov	miliardy	5,252	6,205	8,414	10,031	11,312
Automobily v prev.	mln ks.	630	990	1600	-	-
Emisia CO <sub>2</sub>	mld ton C	7,4	8,4	12,2	14,5	20,3
Emisie dusíka	mln ton N	12,9	13,8	15,8	16,6	17,0

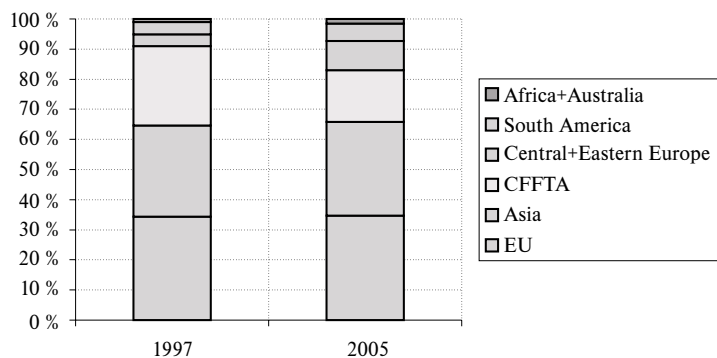
Dopravný prostriedok budúceho storočia predovšetkým nebude môcť zaťažovať životné prostredie takým stupňom ako doteraz. Musí podstatne efektívnejšie využívať energiu a musí jej spotrebovať menej. Ďalšou veľmi dôležitou úlohou bude jeho bezpečnosť.

V súčasnej dobe je spaľovací motor takmer výhradným zdrojom pohonu dopravných prostriedkov pre cestnú, vodnú a leteckú dopravu. V koľajovej doprave sa ako zdroj energie využíva vo väčšej miere elektrický pohon. V cestnej, koľajovej a vodnej doprave sú využívané piestové spaľovacie motory, v leteckej doprave prevažujú prúdové motory. Situácia sa ani v najbližšej budúcnosti podstatne nezmení, najmä preto, že spaľovací motor sa neustále zdokonaľuje.

Percentuálny podiel jednotlivých kategórií automobilov v SR 1998 [4]

Tab. 2.

Kategória automobilu	Osobné a dodávkové	Nákladné a špeciálne	Autobusy	Motocykle
Podiel %	83	10	1	6

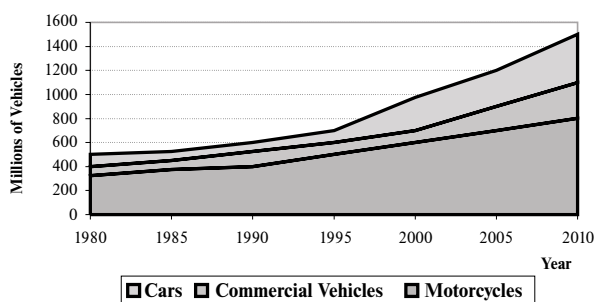


Obr. 2. Percentuálny podiel výroby osobných automobilov vo svete v roku 1997 [4]  
Fig. 2 Share of the world car production in 1997 [4]

the Slovak Republic in 1998. Fig. 1 illustrates the global trend in development of production of motor vehicles. Fig. 2 presents the share of the world production of passenger cars in percent and Fig. 3 offers the expected development of production and need of passenger cars in Central and Eastern Europe.

Table 1

Index	Units	1990	2000	2025	2050	2100
Population	milliard	5.252	6.205	8.414	10.031	11.312
Cars in operation	millions	630	990	1600	-	-
CO <sub>2</sub> emissions	mild tons C	7.4	8.4	12.2	14.5	20.3
N emissions	miln tons N	12.9	13.8	15.8	16.6	17.0



Obr. 1. Celkový trend vývoja motorových vozidiel [3]  
Fig. 1 Global trend in motor vehicles [3]

The means of transport of the next century will not be allowed to impair the environment so severely as it does nowadays. It will have to use energy much more efficiently and will have to need it less. Another highly important objective will be its safety.

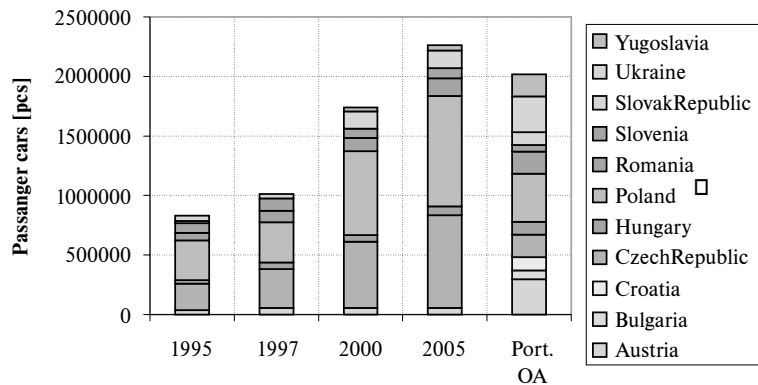
The internal combustion engine is at present almost a sole driving source for means of transport designed for road, water and air transport. In rail

transport, electric drive is used more often as a source of energy, while in road, rail and water transport, piston combustion engines are used. In air transport jet engines prevail. The situation will probably not change substantially in the near future mainly due to the fact that the engine is being continuously improved.

Share of different categories of cars in the Slovak Republic in 1998 [4]

Table 2

Category	Passangers Cars & Commercial V.	Lorries & Special V.	Buses	Motorcycles
Share in %	83	10	1	6



Obr. 3. Rozvoj výroby a potreba osobných automobilov v strednej a východnej Európe [4]  
Fig. 3 Development of production and need of passenger cars in Central and Eastern Europe

### TRENDY VÝVOJA SPAĽOVACÍCH MOTOROV

Vývoj spaľovacieho motora bude určovaný stále prísnejšími požiadavkami na toxicitu výfukových emisií, hluku a spotreby paliva. Keďže je súvislosť medzi spotrebou paliva a klimatickými podmienkami, najmä pokiaľ ide o emisie CO<sub>2</sub>, zníženie spotreby paliva nie je dôležité iba pokiaľ ide o prírodné zdroje, ale tiež z hľadiska ochrany globálnej klímy. Takže smery vývoja motora budú určovať miestne a globálne postoje k ochrane životného prostredia - tabuľka 3.

### TRENDS IN ICE DEVELOPMENT

The engine development will be enforced mainly by still tougher demands relative to the toxicity of exhaust emission, emitted noise and fuel consumption. Since there is connection between fuel consumption and climatic conditions, relative to carbon dioxide CO<sub>2</sub> emissions in particular, the reduction in consumption is not only important as far as resources are concerned, but also protecting global climate. Thus, directions of engine development will be determined by local and global problems of environmental protection - Table 3.

Ekologické a ekonomické faktory úspešného motora [5]

Tab. 3.

Legislativa	Verejnosť	Zákazník	Výrobca
výfukové emisie CO, HC, NO <sub>x</sub> , PM	dymivosť	spotreba paliva	nenáročnosť výroby
spotreba paliva/emis CO <sub>2</sub>	zápach	životnosť	kvalita
hluk (vonkajší)	hluk (subjektívny)	výkon, riaditeľnosť	výrobné náklady
recyklovateľnosť	nepojazdné vozidlá	spoľahlivosť	zisk
bezpečnosť		údržba	trh, konkurencia
		cena	

Ecological and economical factors of a successful engine [5]

Table 3.

Legislation	Public	Customer	Manufacturer
exhaust emissions: CO, HC, NO <sub>x</sub> , PM	smoke	fuel consumption	ease of manufacture
fuel consumption /CO <sub>2</sub> emission	odor	durability	quality
noise (pass by)	noise (subjective)	performance, driveability	production cost
recycling	broken-down vehicles	reliability	profits
safety		maintenance	market, competition
		price	

Pokračujúce zhoršovanie životného prostredia spôsobuje, že požiadavky na zlepšenie prevádzky motorových vozidiel, ktoré sú

However, the proceeding degradation of the environment causes that demands for improvement of the operation of vehicles

vybavené spaľovacím motorom, sú zvýraznené prísnejšími limitmi emisii - tabuľka 4 [5]. Podrobné požiadavky (limity) sú špecifikované v ustanoveniach, ktoré uverejnili renomované agentúry ako: Environment Protection Agency EPA, a California Air Resource Board CARB v USA a Ekonomická komisia pre Európu ECE - agentúra spojených národov. Ekonomická komisia vydáva ECE predpisy, podobné EÚ, ktorá vydáva EC direktívy pre Európu. CARB postupne zavádza vozidlá s nižšími emisiami:

- TLEV (prechodne nízke),
- LEV (nízke),
- ULEV (ultra nízke),
- ZEV (bezemisné vozidlá).

EPA (federálne predpisy) obsahujú následné predpisy definované ako Tier 0, Tier 1 a Tier 2, zatiaľ, čo EÚ predkladá EURO I, EURO II, EURO III a EURO IV.

Porovnanie limitov výfukových emisií v Kalifornii Tab. 4

Zložka v (g.míla <sup>-1</sup> )	Začiatok 50 r.	Dnes (ULEV)	Redukčný faktor
NO <sub>x</sub>	3,6	0,2	18
CO	87,0	1,7	51
HC, NMHC*	13,0	0,04*	325
PM	neobmedzené	0,04	-

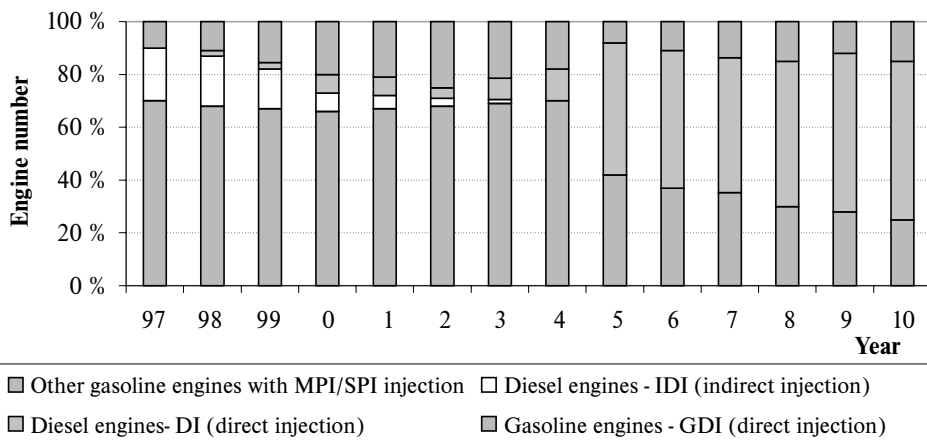
equipped with IC-engines are underlined by tougher emission standards Table 4 [5]. The detailed requirements (limits) are specified in regulations published by relevant agencies as: the Environment Protection Agency (EPA) and the Economic Commission for Europe (ECE-agenda of the United Nations). The latter issues the ECE regulations similar to the European Union (EU) which issues EC directives for Europe CARB gradually introduces vehicles of lower emission:

- TLEV (transitional low),
- LEV (low),
- ULEV (ultra low),
- ZEV (zero emission vehicles).

EPA (federal regulations) anticipates consecutive regulations defined as Tier 0, Tier 1 and Tier 2, while EU anticipates: EURO I, EURO II, EURO III and EURO IV.

Comparison of exhaust emission standards in California Table 4

Compound (g.míla <sup>-1</sup> )	Early 1950s	Today (ULEV)	Reduction factor
NO <sub>x</sub>	3.6	0.2	18
CO	87.0	1.7	51
HC, NMHC*	13.0	0.04*	325
PM	unlimited	0.04	-



Obr. 4. Predpokladaný percentuálny podiel motorov na rôzne palivá pre automobily, ktoré sa budú vyrábať v EU v rokoch 1997-2010 [6]  
Fig. 4 Foreseen % share of engines with different fuel supply in cars to be manufactured in the EU in years 1997-2010 [6]

Problém znečistenia spôsobeného automobilmi je komplexný, riešenie individuálnymi prostriedkami je neadekvátne. Potrebný je systematický prístup k problematike v každej časti systému „motor - vozidlo“, ako aj ku každému stupňu jeho života (výroba - prevádzka opotrebenie vrátane recyklácie).

Konštrukcia motorov (vznetových a zážihových) je si stále viac a viac podobná. Vzhľadom na uvedené ekologické podmienky sa pre oba typy motorov uprednostňuje priame vstrekovanie paliva do spaľovacieho priestoru - obrázok 4, 5 a 6.

The problem of pollution caused by automobiles is complex. The solution through individual means is pretty inadequate, therefore, a systematic approach to the problem is necessary in every aspect of the “engine - vehicle“ system, as well as at every stage of its life (production, operation and degradation including recycling).

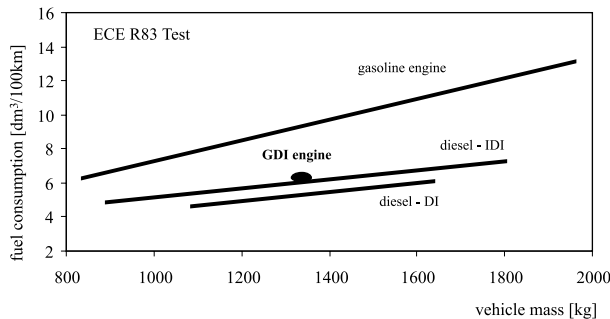
Construction of engines (diesel and spark ignition - gasoline) is more and more similar. Because of the above mentioned ecological conditions a direct fuel injection to the combustion chamber is the preferable solution for both types of engines - Figs. 4, 5 and 6.



V súčasnosti sú konštrukčné riešenia navrhovaných vznetrových i zážihových motorov v mnohých aspektoch celkom podobné [5,7]:

- priame vstrekovanie,
- presné vstrekovanie a tvorba zmesi,
- kontrola prietoku paliva,
- centrálné spaľovanie,
- veľkozdvihová konštrukcia,
- počet valcov do 6,
- použitie viacventilových hláv,
- premenlivé časovanie ventilov,
- použitie vysokých vstrekovacích tlakov,
- „čisté“ konvenčné palivo (malý obsah síry), alternatívne palivá (CNG = stlačený zemný plyn, LNG = skvapalnený zemný plyn, LPG = skvapalnený propán bután, MRE = metylester repkoveho oleja, metanol, etanol, vodík),
- dynamicky modulovaná recyklácia výfukových plynov EGR (vrátane chladenia),
- zníženie trenia:
  - znížená stredná piestová rýchlosť,
  - znížené trenie piesta, pohonu vačky a ventilu,
  - nízke trenie mazacích olejov,
  - pomocných zariadení,
- nahradenie mechanických pohonov elektrickými (napr. el. palivové čerpadlá, chladiace čerpadlá, atď.), riadený generátor,
- rýchly ohrev chladiaceho systému (t.j. rýchle zohriatie celého systému motora na prevádzkovú teplotu),
- ladené plniace potrubie (dynamické plnenie),
- elektrické riadenie výkonu,
- katalyzátory a lapáče PM,
- tepelný akumulátor,
- samodiagnostický systém (OBD = diagnostika na palubnom paneli).

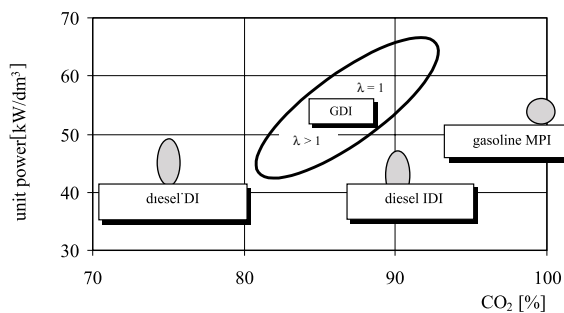
Pre zážihový motor je konečným riešením prechod od dnes používanej stechiometrickej zmesi ( $\lambda = 1$ ) v kombinácii s katalyzátorom TWC (trojcestný) s lambda sondou na spaľovanie chudobných zmesí. Je zrejmé, že proces nahradzovania karburátora jednobodovým vstrekaním SPI a následne viac-bodovým vstrekovacím systémom MPI nakoniec vyústí do rozsiahleho používania zážihového systému s priamym vstrekom GDI [5, 6, 8]. Očakáva sa, že modernizované viacbodové vstrekovanie bude základom pre zážihové motory, ak sa bude vyvíjať v kombinácii s dômyselnými technológ-



Obr. 5. Porovnanie spotreby paliva vozidiel s motormi zážihovými a vznetrovými [10]  
Fig. 5 Comparison of fuel consumption in cars of different combustion systems [10]

At present, constructional solutions applied in diesel and gasoline engines in many aspects are quite similar, for example [5,7]:

- direct injection,
- precise injection and mixture formation,
- mass flow control,
- central combustion,
- long-stroke design,
- cylinder cut off at > 6 cylinder,
- introduction of multivalve heads (for reduced pumping losses),
- variable valve timing,
- application of high injection pressure,
- „clean“ conventional fuel (lower sulphur) and alternative fuels (CNG-compressed natural gas, LNG= liquefied natural gas, LPG = liquefied petroleum gas, RME = rapemethylester, methanol, ethanol, hydrogen);
- dynamic modulated EGR (exhaust gas recirculation; including cooling),
- friction reduction;
  - reduced mean piston speed,
  - reduced friction of piston, cam drive and valve,
  - low friction lubrication oils,
  - auxiliaries,
- replacing mechanical drives with electric ones (e.g. electric fuel pumps, cooling fluid pumps etc.), controlled generator,
- quick warm-up of the cooling system (possibly quick achievement of necessary operational temperature by all engine systems),
- variable inlet tube (dynamic charging),
- electrical power steering,
- catalytic and PM trap technology,
- latent heat battery,
- self - diagnostic of the system (OBD = on board diagnostic).



Obr. 6. Redukcie emisií CO<sub>2</sub> priamym vstrekaním [10]  
Fig. 6 Possibilities of reduction in CO<sub>2</sub> emission for direct injection systems [10]

For a gasoline engine, the final solution is a transition from the currently used supply with the stoichiometric mixture ( $\lambda = 1$ ) combined with the TWC catalyst and the lambda-probe to the combustion of lean mixtures. It seems obvious that the process of replacing a carburettor with a single point injection (SPI), and eventually with the multi-point injection system (MPI) finally will end with

a widespread application of the gasoline direct injection system GDI [5, 6, 8].

giami katalytických konvertorov, ktoré redukujú emisie toxických zložiek hneď po štarte motora [6,9]. Obdobie po studenom štarte je veľmi dôležité pre celkové emisie toxických látok (najmä pre HC, počas prvých 100 s testu FTP 75 dosiahla hladina až 80 % celkovej hodnoty emisie HC, pretože procesy v motore sú nestabilné a katalyzátor ešte nepracuje [9]).

Aby sa dosiahli nízke emisie - obrázok 7, je potrebné dodržať tieto technológie:

- kontrola každého valca lambda sondou (spätná väzba),
- použitie dvoch katalyzátorov TWC, (hlavný a spúšťači, ktorý pracuje v obtoku alebo v systéme, v ktorom je štartovací katalyzátor pred hlavným),
- katalyzátor a lambda sonda sú elektricky vyhrievané,
- vývoj TWC katalyzátorov za účelom zvýšenia ich účinnosti, pre väčší rozsah miešacieho pomeru,
- optimalizácia kovovej kompozície katalyzátora,
- DeNO<sub>x</sub> (redukčný) a TWC katalyzátor,
- NO<sub>x</sub> katalyzátor,
- sekundárny vzduch pre katalyzátor,
- palivový horák pred katalyzátorom (horák výfukových plynov v katalyzátore),
- uskladnenie vo vaku (asi 100 dm<sup>3</sup>) počas studeného štartu.

Normy obmedzujúce toxicitu výfukových plynov sa budú musieť dodržať bez ohľadu na typ motora. Vznetové motory môžu dodržať súčasné normy vtedy, ak sa na nich vykonajú veľké konštrukčné úpravy. Smery vo vývoji vznetových motorov vedú k podstatnému zníženiu množstva emitovaných toxických zložiek.

Je potrebné prijať nasledovné kroky, aby sa dosiahlo splnenie predpísaných limitov u ľahkých vozidiel (LD) a ťažkých vozidiel (HD) (motory tohto typu sú iba vo vozidlách s hmotnosťou viac než 3 500kg):

- veľký súčiniteľ prebytku vzduchu preplňovaním a s medzichladičom,
- optimalizácia spaľovacieho priestoru a víru (berieme do úvahy vzájomnú súvislosť medzi tvarom vstupného kanála, konfiguráciou spaľovacieho priestoru a systému hydraulického vstrekovania),
- vysoký vstrekovací tlak s počiatočnou zníženou dávkou paliva,
- dodatočné impulzné preplňovanie počas akcelerácie s použitím stlačeného vzduchu z tlakového zásobníka,
- elektronické nastavenie parametrov vstrekovania (dávka paliva, uhol vstrelu, doba vstrelu, vstrekovací zákon, vstrekovací tlak) ako funkcia mnohých premenných zatiaľ, čo by sa uhol mal znížiť, tlak zvýšiť, čas skrátiť a priebeh vstrekovacieho zákona by mal byť podľa požiadaviek hnaného stroja,

However, one should expect that modernised multi-point injection will be a basic system of gasoline engine supply if it develops employing sophisticated technologies of catalytic converters reducing emission of toxic compounds just after the engine's start [6, 9]. This period following a cold start is very important for total toxic emission (particularly for HC; during first 100 seconds of FTP-75 test HC-emission reaches the level of about 80% of entire HC-emission, because engine processes are unstable and the catalyst does not work yet [9].

The following technologies should be applied in order to achieve low emissions (Fig.7):

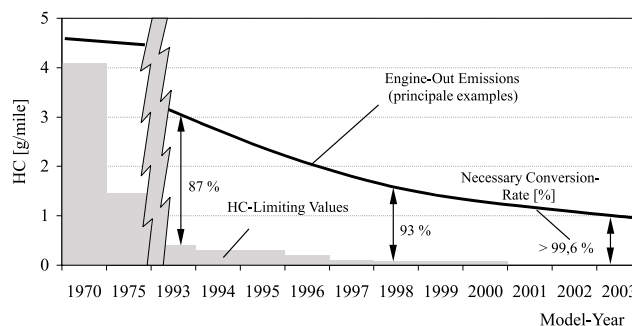
- cylinder individual control of lambda (close loop control),
- application of two catalyst TWC (Three Way Catalyst): the main and the start one operating in the by-pass system incorporating the start catalyst in front of the main one,
- catalyst and the probe are electrically heated,
- development of the TWC catalyst in order to increase their efficiency in a wider range of the Air to Fuel ratio,
- optimised metal composition of catalyst converter,
- DeNO<sub>x</sub> catalyst converter + TWC catalyst,
- storage NO<sub>x</sub> catalyst,
- secondary air to the catalyst,
- fuel burner in front of catalyst (exhaust gas burner in the catalyst),
- storage in bag (about 100dm<sup>3</sup>) during the cold start.

Standards limiting toxicity of the exhaust have to be met regardless of the engine type. The present standards can be satisfied by the diesels after introduction of major design modifications. However, tendencies in diesel engine development lead toward a substantial reduction in the amount of emitted toxic compounds.

The following measures that enable fulfilment of toxicity standards by the LD (light duty) and HD diesels (heavy duty; engines of this kind are applied solely in the vehicles of mass exceeding 3500 kg) have been already undertaken:

- high A/F ratio by boosting and charge air intercooling,
- optimisation of combustion space and swirl (taking into account mutual connections between shape of the inlet port, configuration of combustion space and system of hydraulic injection),

- high pressure injection with initially reduced injection rate,
- additional impulse supercharging during acceleration using compressed air from a pressurised container,
- electronic adjustment of injection parameters (fuel dose, injection advance angle, injection time, course of IR (Injection Rate) and injection pressure) as a function of many variables, while angle should be reduced, pressure increased, time



Obr. 7. Zníženie limitu pre emisie HC, požadovaná hladina zníženia HC a účinnosť katalyzátora podľa noriem US  
Fig. 7 Reduction in the HC emission limit, required reduction level in HC emission and catalyst efficiency for fulfilment of the US standards

- zvýšený kompresný pomer a maximálny spaľovací tlak,
- zvýšené turbulencie a zníženie víru,
- filtrácia pevných častíc (PM), oxidačné katalyzátory (Oxicat), DeNO<sub>x</sub> katalyzátory (pre vysoké hodnoty súčiniteľa prebytku vzduchu),
- výkonová turbína (turbocompound - iba pre HD),
- dodatočné ošetrovanie výfukových plynov - filtre pre PM, a oxidačné katalyzátory, systémy SCR (Selective Catalytic Reduction-selektívna katalytická redukcia, redukcia NO<sub>x</sub> pridaním amoniaku do katalyzátora) a katalyzátorov DeNO<sub>x</sub> nového typu (pre vysoké lambda).

Kľúčom k splneniu týchto požiadaviek môže byť rozsiahle zavedenie elektronických riadiacich systémov (EMS Electronic Management System, ECU Electronic Control Unit).

## ZÁVER

Obdobie jednoduchých a lacných motorov i vozidiel sa skončilo. Alternatívne zdroje energie ako i nekonvenčné pohony (v ich súčasnom stupni vývoja) nie sú v skutočnosti alternatívou konvenčných motorov. Preto je ďalší vývoj spaľovacích motorov potrebný, s využitím nových typov spaľovania.

Vďaka tomu, že výkonnejšie elektronické procesory sú prístupné, je ich využitie pre systémy riadenia prevádzkových parametrov motora celkom bežné. Týmto spôsobom bolo umožnené dodržanie charakteristík variácie individuálnych parametrov v závislosti od série vstupných údajov, a je teda možná multiparametrická optimalizácia prevádzky motora. Aby sa uspokojili rôzne požiadavky ako je čistota výfuku, nízka spotreba paliva pri vysokom výkone a aby sa dynamika vozidla zachovala nezmenená, všetky riadiace systémy musia vykonávať široký okruh činností [8].

Splnenie požiadaviek na čistotu výfuku povedie konštruktérov k tomu, aby hľadali také riešenia, ktoré umožnia zníženie toxicity výfukových plynov spaľovacích motorov. Tieto riešenia vedú k obmedzeniu príčin tvorby toxických zložiek (materiály a organizácia spaľovacieho procesu) alebo účinkov už vytvorených zložiek (katalyzátory, filtre sadzí) a tak prispievajú k zníženiu látok znečisťujúcich atmosféru.

Vo všeobecnosti sa legislatíva týka novoprodukovaných vozidiel, zatiaľ čo celkové škodlivé emisie závisia predovšetkým od emisného indexu vozového parku a celkového počtu vozidiel. Takže, aby sa dosiahlo výrazné zlepšenie efektívnosti dopravy, je potrebné:

- podporovať obnovu vozidiel,
- zamedziť nepotrebnú dopravu,
- preferovať verejnú hromadnú dopravu,
- robiť komplexné akcie (kombinovaná doprava, organizácia prepravy, nové proekologické technológie...).

Aby automobilový priemysel bol úspešný, je treba spomenúť dve hlavné odporúčania: ponúkaná technológia musí mať pre zákazníka hodnotu, musí byť ľahko použiteľná a samotné vozidlá musia byť súčasťou celkového systému riadenia prepravy.

- shortened and the course of injection rate should be formed according to engine run parameters,
- increased compression ratio and peak cylinder pressure,
- increase in turbulences and reduction in swirl,
- filters of particulate matter, oxidising catalyts (Oxicat), DeNO<sub>x</sub> catalyst (for high values of air excess ratio lambda),
- additional power turbine (turbocompound - only for HD),
- exhaust gas aftertreatment - filters of the particulate matter PM and oxidising catalyts, SCR systems (Selective Catalytic Reduction of NO by addition of ammonia to a catalyst) and the DeNO<sub>x</sub> catalyts of a new type (for high lambda),

A key to fulfil the requirements presented above is possibly the extensive introduction of electronic control systems equipped with microprocessor (EMS= Electronic Management System, ECU = Electronic Control Unit).

## CONCLUSION

The era of simple and cheap engines and vehicles is over. Neither alternative sources of energy nor unconventional drives (at their present stage of development) are a real alternative for the conventional sources. Therefore, a further development of the internal combustion engines is necessary using new types of combustion.

Thanks to availability of more powerful electronic processors, their application to systems controlling engine operational parameters is quite common. This way a possibility of keeping characteristics of individual parameter variation depending on a series of input data came out and therefore a multiparameter optimisation of engine operation is feasible. As to satisfy various demands like exhaust cleanliness, reduction in fuel consumption, when high power and satisfactory dynamics of the vehicle are kept unchanged, all control systems have to conduct a wide range of duties [8].

Fulfilment of exhaust cleanliness standards will force the designers to look for solutions that enable reduction in toxicity of exhaust emitted by internal combustion engines. These solutions lead toward limitation of causes of toxic compound creation (materials and organisation of combustion process) or effects of already created compounds (catalysts, soot filters) and this way towards reduction of pollutants emitted to the atmosphere.

Generally, all legislation concerning new vehicles regarding the harmful global emissions depend first of all on vehicle fleet emissivity index and the entire number of vehicles. So, in order to achieve a considerable improvement in transport effectiveness it is necessary to carry out the following measures:

- stimulation of vehicle renewal,
- avoidance of unnecessary transport,
- public transport in towns,
- complex undertakings (combined transport, traffic organisation, new proctologic technologies, etc.).

Two general recommendations must be brought about in order to continue the automobile industry's success: technology offered must be of value to the customer and easy to use and the vehicles themselves must be a part of total traffic management system.

Napriek svojej storočnej histórii má spaľovací motor pred sebou rezervy, ktoré mu umožnia splniť prísne predpisy a požiadavky.

## LITERATÚRA

- [1] HLAVŇA, V. a kol.: Dopravný prostriedok a životné prostredie, ES VŠDS Žilina, 1996, s. 7-24.
- [2] SZCZEPANIAK, C.: Cywilizacja a motoryzacja, Czasopismo techniczne Mechanika, WPK Krakow 1998, s. 3-14.
- [3] MERKISZ, J.: Internal combustion engines at the turn of millennia, Zborník konferencie Komunikácie na prahu tisícročia, Žilina sept.1998, s. 11-16.
- [4] LEŠINSKÝ, J.: Trendy rastu výroby a parku „OA“ a „NA“ v krajinách medzi Balkánom a Baltikom. Zborník prednášok MEKO-AUTO '98, SAITS, Slovnaft Reprografia s.r.o. Bratislava 1998, s. 25-36.
- [5] WOJIK, K. M., CARSTENSEN, H., CARTELLIERI, W.: Progress in Pollutant Reduction of Vehicles Engines, 3 Symposium Traffic Induced Air Pollution Emissions, Impact and Air Quality, Graz April 1996
- [6] BIELACZYC, P., MERKISZ, J.: Cold Start Emissions Investigation at Different Ambient Temperatures Conditions, SAE Paper 980401
- [7] SEIFFERT, U.: Technology and Telematics - a Driving Force in the Motor Industry, World Motor Conference, Frankfurt September 1997
- [8] OSPELT, W. M.: Road Vehicles- Efficiency and Emissions., Unites States Conference on Opportunities for International Cooperation to Mitigate Emission of Greenhouse Gases, Viena December 1994
- [9] HLAVŇA, V., JURSA, P., MERKISZ, J.: Nizka teplota spaľovacieho motora a jeho exhaláty, Strojnický časopis 1, Bratislava 1997
- [10] ANDRIESSE, D., FERRARI, A.: Assessment of Stoichiometric GDI Engine Technology, Motor und Umwelt, Graz 1997

In spite of its long history there are still potential reserves in the IC engine that permit to satisfy rigorous regulations and demands.

## REFERENCES

- [1] HLAVŇA, V. a kol.: Dopravný prostriedok a životné prostredie, ES VŠDS Žilina, 1996, pp. 7-24.
- [2] SZCZEPANIAK, C.: Cywilizacja a motoryzacja, Czasopismo techniczne Mechanika, WPK Krakow 1998, pp. 3-14.
- [3] MERKISZ, J.: Internal combustion engines at the turn of millennia, Zborník konferencie Komunikácie na prahu tisícročia, Žilina sept.1998, str. 11-16.
- [4] LEŠINSKÝ, J.: Trendy rastu výroby a parku „OA“ a „NA“ v krajinách medzi Balkánom a Baltikom. Zborník prednášok MEKO-AUTO '98, SAITS, Slovnaft Reprografia s.r.o. Bratislava 1998, str.25-36.
- [5] WOJIK, K. M., CARSTENSEN, H., CARTELLIERI, W.: Progress in Pollutant Reduction of Vehicles Engines, 3 Symposium Traffic Induced Air Pollution Emissions, Impact and Air Quality, Graz April 1996
- [6] BIELACZYC, P., MERKISZ, J.: Cold Start Emissions Investigation at Different Ambient Temperatures Conditions, SAE Paper 980401
- [7] SEIFFERT, U.: Technology and Telematics - a Driving Force in the Motor Industry, World Motor Conference, Frankfurt September 1997
- [8] OSPELT, W. M.: Road Vehicles- Efficiency and Emissions., Unites States Conference on Opportunities for International Cooperation to Mitigate Emission of Greenhouse Gases, Viena December 1994
- [9] HLAVŇA, V., JURSA, P., MERKISZ, J.: Nizka teplota spaľovacieho motora a jeho exhaláty, Strojnický časopis 1, Bratislava 1997
- [10] ANDRIESSE, D., FERRARI, A.: Assessment of Stoichiometric GDI Engine Technology, Motor und Umwelt, Graz 1997

Milan Moravčík \*

# SKÚSENOSTI Z TESTOVANIA TRATE PRE OVEROVANIE TEORETICKÝCH MODELOV

## EXPERIENCE IN RAILWAY TRACK TESTING FOR VALIDATION OF THEORETICAL DYNAMIC ANALYSIS

*Príspevok prezentuje niektoré experimentálne prístupy dynamického testovania konštrukcie trate. Charakteristiky závislosti zaťaženie - priehyb trate sú dôležité pre návrh, posudzovanie prevádzkyschopnosti trate, ale aj ako vstupné dáta pre počítačovú simuláciu dynamickej odozvy trate a dynamickej interakcie vozidlo/trať. Výsledky teoretických analýz dynamiky trate musia byť overované a porovnávané so získanými experimentálnymi výsledkami. Prezentované výsledky testovania trate pre overovanie výpočtových dynamických modelov poskytujú užitočné údaje kvalitatívnej povahy pre hodnotenie dynamického chovania konštrukcie železničného zvršku.*

### 1. Úvod

Zavádzanie vyšších prevádzkových rýchlostí a vyšších nápravových zaťažení koľajových vozidiel je výsledkom prirodzeného vývoja v železničnej doprave a tento trend bude zrejme pokračovať ďalej. V tomto kontexte je nutná úzka spolupráca stavebných a strojníkov inžinierov podieľajúcich sa na riešení problému dynamiky sústavy vozidlo/trať. Konštrukcia železničnej trate musí vykazovať vysoký stupeň presnosti jej geometrického usporiadania a tomu odpovedajúci stupeň údržby. Nové koľajové vozidlá, najmä pre prevádzku zvýšenými rýchlosťami, nesmú generovať veľké dynamické sily. Prevádzka s vysokými rýchlosťami, resp. s ťažkými vozidlami musí byť zaistená na vysokej úrovni bezpečnosti a odpovedajúcim normám komfortu jazdy.

Základným krokom riešenia naznačených problémov je poznanie dynamickej interakcie vozidlo/trať, hodnotenie dynamického chovania komponentov konštrukcie trate (koľajnic, podvalov, štrkového lôžka, systémov pružného upevnenia a pod.) a hodnotenie ich životnosti. Za týmto účelom bol na našom pracovisku vypracovaný program teoretického a experimentálneho výskumu dynamickej interakcie vozidlo/trať, ktorý obsahuje:

- Rozvoj teoretických metód riešenia a matematických výpočtových modelov.
- Počítačovú simuláciu dynamickej interakcie a predpoveď dynamických síl, deformácií a napätostí v konštrukcii zvršku a železničného spodku.
- Merania v trati a experimentálne overovanie teoretických modelov.

*The objective of this paper is to present some experimental approaches in dynamic testing of the railway track structure. The load - deflection track characteristics are particularly important in the design, in the evaluation of serviceability of concrete-sleepers tracks, and to improving data for computer modelling of the track dynamic behaviour and the dynamic vehicle/track interaction analyses. Thus, results of theoretical dynamic analyses of the track structure must be verified and compared with obtained experimental results. The herein presented track testing for validation of dynamic analyses can give many useful indications concerning the evaluation of the superstructure behaviour.*

### 1. Introduction

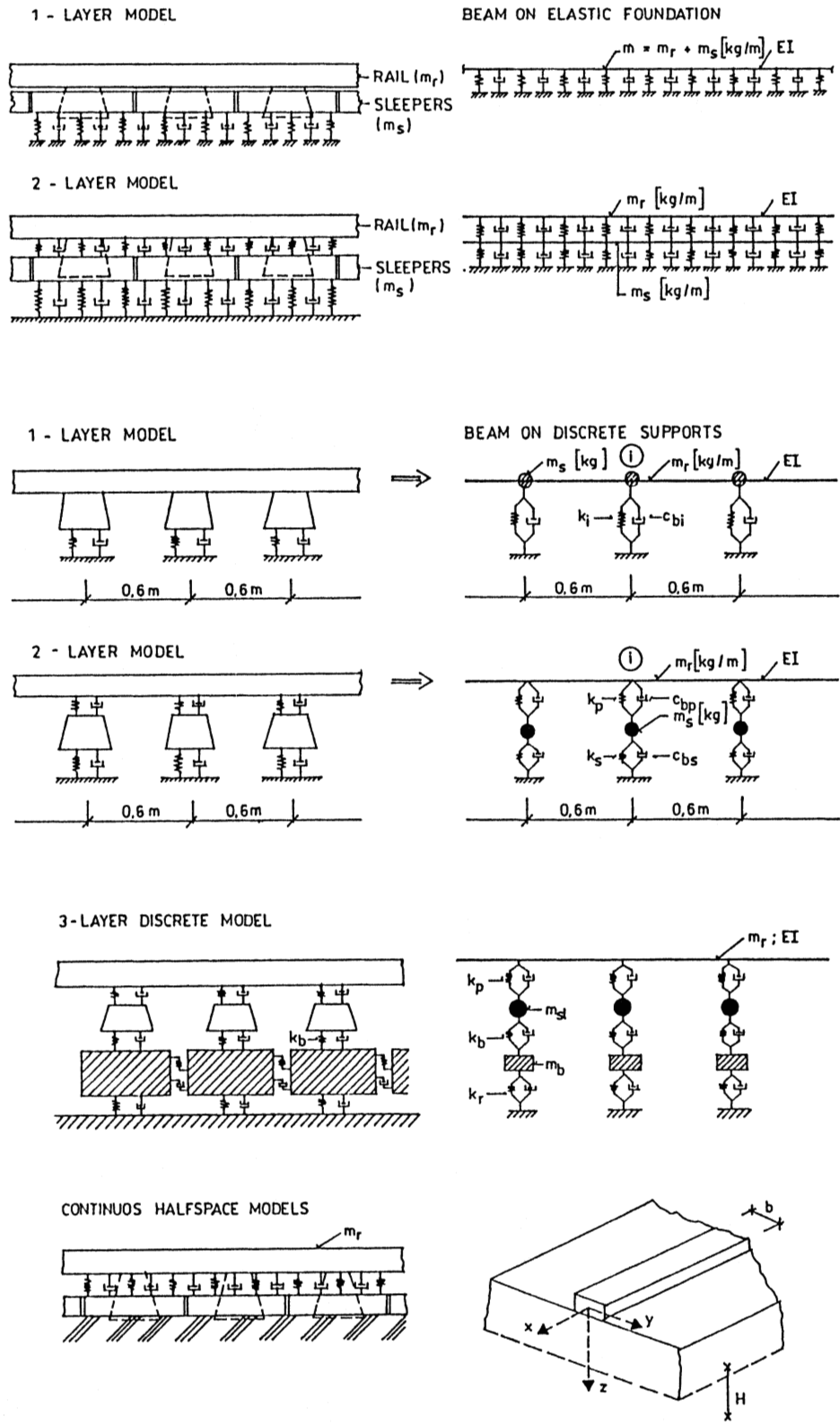
The commercial necessity for higher speed and greater axle loads has been established and this trend will probably continue. In this context, close cooperation between civil and mechanical engineers is essential. Track must have a high standard of alignment and maintenance quality must be improved accordingly. New vehicles, particularly those for high-speed operation, must not generate excessive track forces. These high speeds or heavily laden vehicles must operate with high levels of safety and with existing or improved standards of comfort.

The basic step for solving the indicated problems is identification of dynamic interaction vehicle and track structure and a prediction of the dynamic behaviour of the track components (rails, sleepers, ballast, fastening systems etc.) and their long term behaviour. With this purpose a program of theoretical and experimental works in our workplace studying the interaction of vehicle and track has been undertaken and it comprises:

- Development of theoretical methods and mathematical models
- Computer simulation and calculations to predict dynamic forces, deformations and stresses in the superstructure and substructure
- In situ measurements on track structure and experimental validation of the theoretical models

\* Prof. Ing. Milan Moravčík, CSc,

Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering, University of Žilina, Komenského 52, 010 26 Žilina, Slovak Republic.



Obr. 1. Výpočtové modely trate vo vertikálnom smere  
Fig. 1 Models of track structure in vertical direction

- Statické a dynamické testovanie prvkov konštrukcie trate (podvaly, systémy pružného upevnenia, pružné podložky pod koľajnice, interakciu podval/štrkové lôžko atď.).

Vyvinuli sa viaceré kvázistatické a dynamické výpočtové modely pre posudzovanie vertikálnych a horizontálnych silových účinkov, v ktorých vystupujú jednak charakteristiky komponentov - koľajnice, podvaly, štrkové lôžko, podložie, alebo celkové charakteristiky konštrukcie trate. V štandardnej analýze konštrukcie trate bola koľajnica modelovaná ako pružný nosník na pružnom Winhlerovskom podklade. V súčasnosti sa aplikuje Metóda konečných prvkov (MKP) a trať (koľajnica) je modelovaná ako pružný nosník na diskretných pružných podperách (v miestach podvalov). Výsledné pohybové rovnice koľajnice vo vertikálnom smere môžu byť zapísané v tvare:

$$[m]\{\ddot{v}\} + [c]\{\dot{v}\} + [k]\{v\} = \{P\} \quad (1)$$

kde  $[m]$ ,  $[c]$ ,  $[k]$  sú matice hodnôt tlmenia a tuhosti  $\{v\}$  a je vektor uzlových posunutí koľajnice.

V označení podľa rov. (1) je odozva trate analogická ako odozva mechanickej sústavy s jedným stupňom voľnosti. Riešenie problému v časovej oblasti je prezentované v prácach [4, 5], kde numerický algoritmus riešenia metódou konečných prvkov je aplikovaný na výpočet odozvy v časovej oblasti.

Obr. 1 prezentuje používané modely trate vo vertikálnom smere odpovedajúcej aplikácii MKP, rov. (1). Mechanické vlastnosti konštrukcie trate sú modelované sústavami pružín a tlmičov v jednej alebo dvoch vrstvách, obr. 1.

Charakteristiky pružín a tlmičov sa určujú laboratórnymi testmi, alebo meraním v trati. Charakteristiky závislosti zaťaženie - prieťah komponentov konštrukcie trate sú dôležité pri návrhu posudzovaní účinkov prevádzky, ale aj počítačovú simuláciu dynamickej interakcie vozidlo/trať. Výsledky testovania dynamickej odozvy trate dávajú užitočné informácie o skutočnom dynamickom chovaní trate, ale aj overení teoretických riešení odozvy trate.

Predmetom tejto štúdie je analýza signálov merania odozvy konštrukcie trate v prevádzkových podmienkach a hodnotenie informácií získaných z týchto meraní. Časové priebehy dynamických posunov a zrýchlení vo vertikálnom smere dávajú základnú informáciu celkového dynamického chovania trate. Ich frekvenčná analýza dáva ďalšie podrobné informácie o kmitaní trate. V štúdiu sú prezentované výsledky niektorých vykonaných testov trate vo frekvenčnej oblasti, jednak pre stredné, ale aj vyššie frekvencie 0 - 800 Hz.

## 2. Hodnotenie dynamického chovania trate na základe merania jej dynamickej odozvy

Dynamické chovanie trate má byť uvažované v širšej súvislosti ako spätná väzba mechanickeho systému vozidlo/trať (okamžitá

- Static and dynamic laboratory tests for the track structure members (sleepers, fastening systems, pads, sleeper ballast interaction etc.).

A number of quasi-static and dynamic computer models have been developed for the track structure behaviour under vertical and horizontal loads which include either separate components representing rails, fasteners, sleepers, and subgrade or total characteristics of the track. In the standard track analysis, the rail has been modelled as an elastic beam on an elastic Winkler foundation. At present, the Finite Elements Approach (FEA) is applied and the track (rail) is modelled as an elastic beam on the discrete supports. The resulting equations of motion of rail are

$$[m]\{\ddot{v}\} + [c]\{\dot{v}\} + [k]\{v\} = \{P\} \quad (1)$$

where  $[m]$ ,  $[c]$ ,  $[k]$  are the mass, damping and stiffness matrices, and  $\{v\}$  is the nodal displacement vector.

In this notation a general set of equation for the description of the response of a track structure may be written analogous of those of a single-degree of freedom structure. Time domain solution of the problem is presented in [4, 5], where the numerical algorithm consisting of the finite element procedure to model the track structure and the time-step integration to calculate the response.

Figure 1 shows the used physical modelling of the track component in vertical direction corresponding to the application of the FEA, Eq. (1). The mechanical properties of track structure are modelled by a set of springs and dampers in one or two layers, see Fig. 1.

The characteristics of springs and dampers can be determined by the laboratory load tests of track components, or the field measurement in the typical track condition. The load - deflection track characteristics are particularly important in the design, use of modern concrete-sleepers track, and to provide data for computer modelling of the track dynamic behaviour and the dynamic vehicle/track interaction. Thus, the theoretical dynamic analyses of track structure can be compared with the gained experimental results. The track testing presented herein for validation of theoretical dynamic analysis can give many useful indications concerning the evaluation of superstructure performances.

The objective of this study is just the signal analysis of track structure at passing trains and investigation of what information can be obtained from the measurement and analysis of response analysis. The dynamic deflection and vertical acceleration time histories give a base information about overall characteristics of dynamic response of the track. The frequency analysis gives the additional helpful and comprehensive information about a vibration of track. The paper presents just some approaches and results in the vertical dynamic testing of railway track, both the mid frequency domain and a higher frequency domain, 0 - 800 Hz.

## 2. Assessment of the track dynamic behaviour base on in situ response measurements

Track structure behaviour should be considered as a feedback between the dynamics of system vehicle/track (short - term behav-

odzva v danom čase) vzhľadom k dlhodobému chovaniu tohto systému, obr. 2. Dynamické zaťaženie generuje zmeny v konštrukcii trate, ale aj na vozidlách (degradácia geometrie trate, poškodzovanie vozidiel), ktoré následne vyvolávajú dynamické sily, ovplyvňujú kvalitu a stabilitu jazdy, údržbu vozidiel a tratí, ako aj celkovú prevádzkovú bezpečnosť.

Táto kapitola prezentuje postupy a niektoré výsledky experimentálneho merania komponentov trate - koľajníc a podvalov pri prejazde

vlakov. Výsledky analýzy dávajú obraz o dynamickom chovaní trate vo vertikálnom smere a jej stavových parametrov v danom čase a mieste. Na našom pracovisku sa používajú dva spôsoby merania dynamickej odozvy trate:

- Synchronne meranie priehybov koľajníc a podvalov pomocou snímačov mechanických posunutí.
- Synchronne meranie zrýchlenia akcelerometrami na koľajnici, podvaloch, štrkovom lôžku, resp. v okolí tratí.

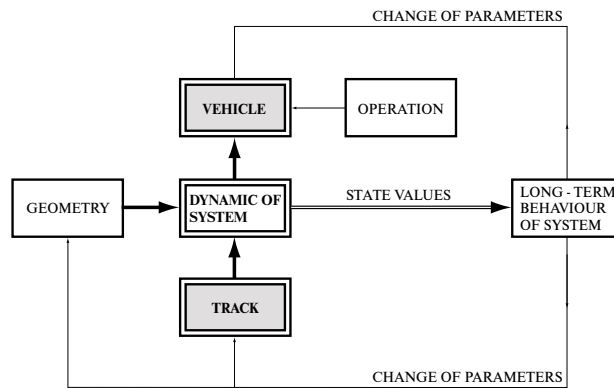
Usporiadanie merania priehybov snímačmi priehybu Bosh a snímačmi zrýchlenia typu KS 50, BK 4500 a BK 3806 s odpovedajúcou blokovou schémou merania je na obr.3.

Pohybujúce sa koľajové vozidlá generujú v konštrukcii trate (koľajnice, podvaly, štrkové lôžko) priehyby, napätia a sily, ktoré všeobecne dosahujú vyššie hodnoty ako pri statickom pôsobení vozidiel, alebo pri nízkych rýchlostiach. Dynamický koeficient  $\delta$  v týchto prípadoch má výrazný stochastický charakter a môže byť definovaný pomerom max. dynamického priehybu  $Y_{dyn}$  ( $Y$  = priehyb koľajnice  $v_R$  alebo podvalu  $v_S$ ) a statického priehybu  $Y_{st}$ .

$$\delta = \frac{Y_{dyn}}{Y_{st}} \quad (2)$$

Prejazd každého dvojkoľesia daným miestom trate vytvára charakteristické maximálne hodnoty  $Y_{dyn}$  sledovanej veličiny, ktoré môžu byť hodnotené štandardnými štatistickými metódami. Odpovedajúce histogramy poskytujú potrebné informácie pre hodnotenie očakávaných hodnôt dynamického súčiniteľa pre koľajnicu alebo podval.

Zaistenie presnosti merania relatívnych priehybov koľajníc a podvalov (snímače  $D_R$  a  $D_S$  na obr. 2) v prevádzkových podmienkach však nie je jednoduchou úlohou, najmä kvôli realizácii pevnej meracej základne, ku ktorej meranie priehybov vzťahujeme. Pri prejazde vlakov podložie v blízkom okolí trate kmitá, čo nepriaznivo ovplyvňuje stabilitu meracej základne. Dobré



Obr. 2. Spätá väzba okamžitého a dlhodobého dynamického chovania trate

Fig. 2 Feedback between dynamic and long term track behaviour

our) and the long-term behaviour of the system, see Fig. 2. Dynamic loads generate changes in the track and in the vehicle (track geometry degradation, vehicle damage), which in turn result in higher loads, affect ride quality, high-speed stability, vehicle and track maintenance, and operating safety.

In this section, some experimental practices and some obtained results will be shown to demonstrate the dynamic behaviour of track structure - the rails, the sleepers, and ballast respectively, at passages of trains. Results of these mea-

surements may be used to assess the short-term dynamic behaviour of the track at an observed section and to give the state parameters of the vehicle/track system in certain time.

In our workplace two techniques for the dynamic response measurement of the track structure are applied:

- The deflection measurement of the rail, the sleepers using the displacement transducers set with the rail and the sleepers.
- The acceleration measurement using accelerometers set with the rail, the sleeper and with the ballast.

Arrangement of the vertical displacement transducers of Bosh type and accelerometers of KS 50, BK 4500, and BK 3806 type and the corresponding block diagram are shown in Fig. 3.

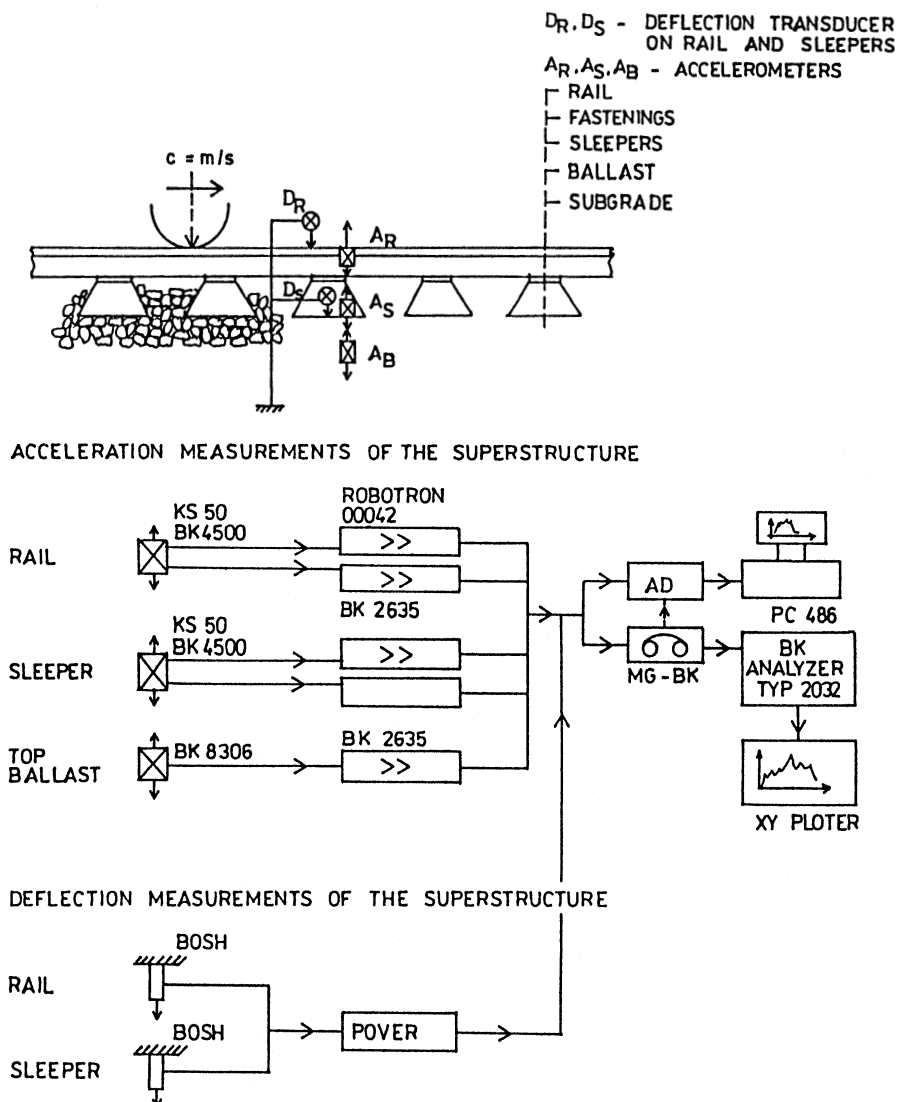
Moving vehicles generate deflection, stresses, and forces in the track components (rails, sleepers, ballast) that are generally greater than those caused by the same vehicle load applied statically or moving at low speed. The dynamic amplification  $\delta$  generally has a stochastic character and can be defined as a ratio of the maximum dynamic deflection of a quantity  $Y_{dyn}$ , ( $Y$  = rail deflection  $v_R$ , sleeper deflection  $v_S$ ) to the static deflection of a quantity  $Y_{st}$ .

$$\delta = \frac{Y_{dyn}}{Y_{st}} \quad (2)$$

The passage of each wheelset induces a peak of the observed quantity  $Y_{dyn}$  and the results may be treated statistically. Thus, histograms can be constructed and exploited for statistic expected values of the dynamic coefficient for the rail deflection  $v_R$  and the sleeper deflection  $v_S$ .

Accuracy of measurement of the relative deflections (transducers  $D_R$  and  $D_S$  in Fig. 2) of the rail and the sleepers in practice is not easy. The fundamental difficulty is fixed datum against which the deflections are measured. When a train passes the measured place, the ballast and ground nearby the track deflects and vibrates, so that we do not have a stable platform for measurement. Acceptable results have been obtained using the displacement measuring transducers of





Obr. 3. Usporiadanie snímačov a odpovedajúca bloková schéma merania dynamickej odozvy trate.  
 Fig. 3 Arrangement of transducers and corresponding block diagram for dynamic measurement in the track

výsledky meranie sa získali použitím snímačov priehybu Bosh osadených na tuhých 6 m dlhých oceľových konzolách, fixovaných v pieskovom lôžku na dĺžke 2 m. Hodnoty priehybov  $v_R$  a  $v_S$  získané meraním dávajú priamo dynamický súčiniteľ  $\delta$  prejazdu lokomotívy a charakteristických podvozkov vagónov v meranom mieste trate.

Použitie snímačov zrýchlenia (akcelerometre  $A_R, A_S, A_B$  na obr. 3) na meranie kmitania komponentov zvršku je atraktívne, nakoľko nevyžaduje pevnú meraciu základňu.

## 2.1 Dynamické priehyby koľajnice a podvalu

Skutočné prevádzkové zaťaženie trate zahŕňa postupnosť opakovaných dynamických impulzov, ktoré všeobecne závisia od

Bosh type that made measurement against a fixed 6 m long console beam imbedded in 2 m long sand bed. The obtained values of the vertical displacements can be used to determine the dynamic amplification  $\delta$  resulting from the passage of railway vehicles (locomotive and characteristic coach bogies) over the tested track section.

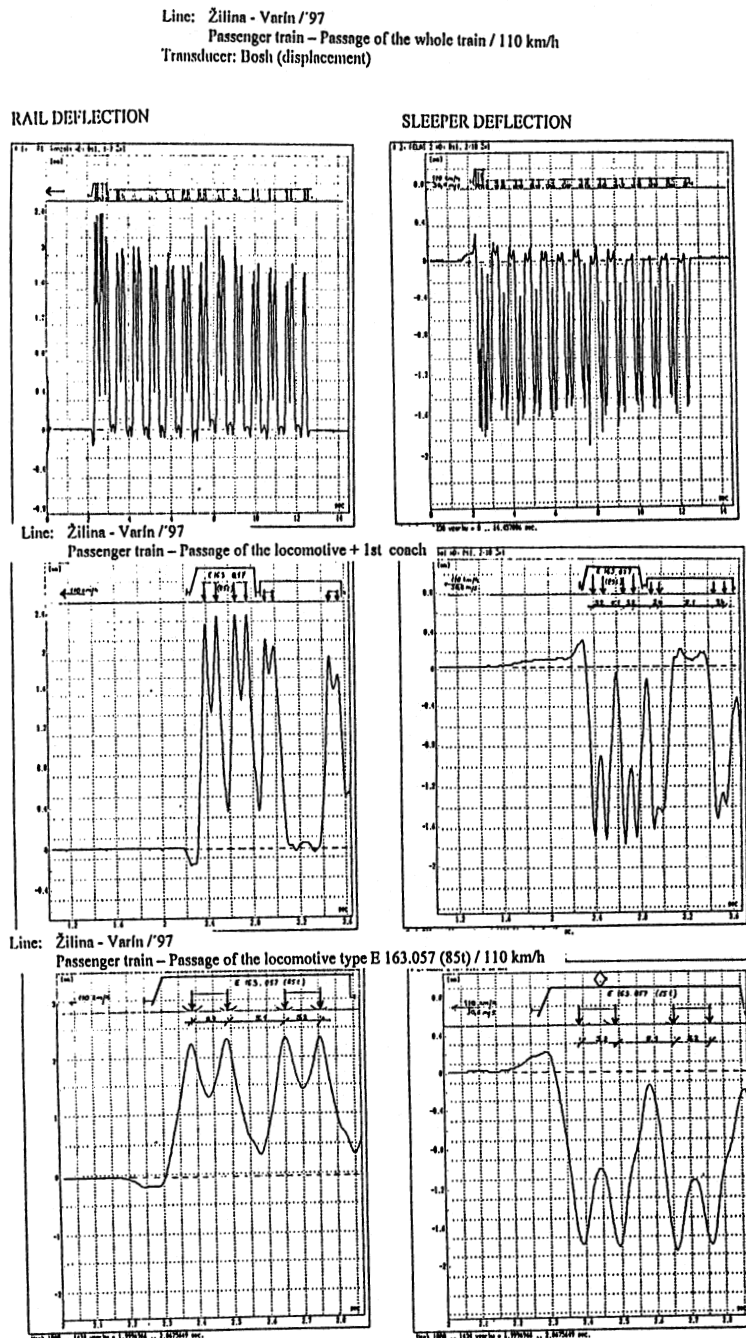
Using accelerometers (transducers  $A_R, A_S, A_B$  in Fig. 3) to measure the dynamic track response (vibration of the track components) is very attractive, since no fixed datum is required and different frequency response can also be measured.

## 2.1 Rail and sleeper dynamic deflections

The actual loading of a track line section will consist of a mix of many different wheel loads, which are defined by the individual

hmotnosti vozidiel, rýchlosti, kvality trate a pod.. Zmeny týchto parametrov majú za následok zmenu v odozve a v rozdelení dynamického zaťaženia a tiež zmenu rozdelenia priehybov koľajníc a podvalov. Dynamické priehyby koľajníc a podvalov v danom traťovom úseku závisia od:

car weights, speed, track quality, etc. Variations of these parameters will result in a variation in the response and in a distribution of dynamic loads and equally corresponding distribution of the rail and sleeper deflections. Rail and sleeper dynamic deflections at each individual track section depend, in general on:



Obr. 4. Časový priebeh dynamických priehybov koľajníc a podvalov: • prejazd celého vlaku • prejazd lokomotívy a prvého vozňa  
Fig. 4 Time domain representation of the rail and sleeper dynamic deflection - passenger train: • passage of the whole train  
• passage of the locomotive and the first coach.

- Technických parametrov trate (geometria trate, kvalita, údržba, konštrukcia).
- Parametrov koľajových vozidiel (odpružené hmoty).
- Prevádzkových podmienok (intenzita zaťaženia trate, prevádzková rýchlosť).

Dynamické priehyby koľajníc a podvalov priamo súvisia s ich dynamickým zaťažením. Aplikáciou základných postupov lineárnej mechaniky možno získať približné hodnoty dynamických síl  $P_{dyn}$ :

$$P_{dyn} = P_{st} \cdot \frac{V_{dyn}}{V_{st}} = k \cdot v_{dyn} \quad (3)$$

kde:  $P_{st} = k \cdot v_{st}$   
 $k$  je vertikálna tuhosť trate ( $N/m^2$ ) v sledovanom úseku.

Vzhľadom na zaťaženie konštrukcie trate môžeme všeobecne konštatovať, že koľajnice a podvaly sú zaťažované opakovaným dynamickým zaťažením rázového charakteru s charakteristickým tvarom, podobným priehybom na obr. 4. Z amplitúd dynamických priehybov koľajníc a podvalov možno hodnotiť a oceňovať:

- Dynamický súčiniteľ, vzťah (2).
- Približné hodnoty vertikálnych dynamických síl, vzťah (3).
- Stupeň poškodenia a degradácie konštrukcie zvršku.
- Vplyv rýchlosti na dynamickú odozvu.
- Funkčnosť systému pružného upevnenia koľajníc.

## 2.2. Zrýchlenia koľajníc a podvalov

Kmitanie trate pri prejazde vlakov môže byť popísané vzhľadom na interakčné sily, zrýchlenia, rýchlosti alebo pohyby trate obvyčajne v časovej oblasti. Táto dynamická odozva trate vo vertikálnom smere má charakteristický priebeh, obr. 6 - 10, ktorý môže byť charakterizovaný ako nestacionárny náhodný signál s časovo premennou strednou kvadratickou hodnotou.

Transformácia takýchto signálov do frekvenčnej oblasti dáva spektrá zrýchlení, ktoré dávajú informácie o vertikálnom kmitaní koľajníc a podvalov, ako aj obraz o koncentrácii energie kmitania a jej rozdelení ako funkcie frekvencie. Naše merania potvrdili, že tieto deje zahŕňajú širokú frekvenčnú oblasť. Obr. 6 - 10 prezentujú takéto signály, ktoré musia byť adekvátne analyzované. Pokiaľ tradičná spektrálna analýza založená na Fourierovej transformácii (FT), alebo digitálnom filtrovaní je dobre aplikovateľná na stacionárne signály, analýza nestacionárnych signálov musí zohľadňovať spektrálne informácie v čase. Jednou z vhodných techník, ktorá bola aplikovaná pri analýze záznamov zrýchlení koľajníc a podvalov, je technika výberu úsekov (window function), ktorou sa vyberajú časti záznamu zahrňujúce charakteristické javy celkového záznamu.

## 3. Analýza zrýchlenia trate vo vertikálnom smere

Jadrom analýzy získaných záznamov zrýchlenia kmitania je ich frekvenčná analýza, ktorá dáva základné informácie o frek-

- track characteristics (track geometry, quality, stiffness, and track structural components).
- vehicle characteristics (unsprung mass of wheelsets)
- operating conditions (track loading, speed, braking).

The dynamic deflections have direct relation to the dynamic load of rails, sleepers and ballast. Applying linear mechanics theory can be roughly estimated the dynamic interaction forces wheel/rail  $P_{dyn}$ :

$$P_{dyn} = P_{st} \cdot \frac{V_{dyn}}{V_{st}} = k \cdot v_{dyn} \quad (3)$$

where:  $P_{st} = k \cdot v_{st}$   
 $k$  is the vertical track stiffness ( $N/m^2$ ) at the track line section.

Generally, we can say that in service conditions each rail cross-section or each sleeper is loaded by a sequence of impacts or shocks of the wheel load of the passing trains. This dynamic load induces a dynamic deflection of rails and sleepers having a characteristic shape in time domain, see Fig. 4. Amplitudes of these vertical dynamic rail and sleeper deflections for known track stiffness can be exploited to assess:

- the dynamic amplification  $\delta$  applying the relation (2)
- the vertical rail and sleeper forces applying the relation (3)
- the degree deterioration and degradation of the permanent way structure
- the effect of train speed on the dynamic track response
- the function of resilient fastenings in the track structure.

## 2.2 Rail and sleeper accelerations

Track vibrations measured under train load may be described in terms of force, acceleration, velocity and displacement and for a complete description it is obtain a time history record of the quantity in question. The measured vertical dynamic response of rails and sleepers has a characteristic shape in time domain, see Figs. 6 - 9. They represent typically non-stationary random signals with time-varying mean square value.

Transformation of these signals to the frequency domain yields the acceleration spectrum that gives the additional helpful information about the vertical vibration of track. The spectrum shows concentration of the energy and its distribution in a signal as a function of frequency. Our measurements show that the spectra of vertical rail and sleeper acceleration cover a wide range of frequencies.

Figs. 6 - 9 show typical non-stationary signals that must be adequately analysed. While traditional spectral analysis techniques based on Fourier Transformation (FT) or digital filtering provide a good description of stationary and pseudo-stationary signals, non-stationary signals must be analysed with consideration of spectral information in time. One of the techniques considered here is the use of window functions to window out short sections of the overall signal which are near stationary or which contain isolated events.

venčnej skladbe kmitania trate. Zaznamenané časové priebyhy zrýchlenia sú diskretizované na časové postupnosti

$$\{a(n)\}; 0 \leq n \leq N-1 \quad (4)$$

kde:  $N$  je dĺžka diskretných hodnôt - dĺžka záznamu

Analýzator typu BK 2032 [3], ktorý bol použitý pre analýzu získaných záznamov, vykonáva Diskrétnu Fourierovu transformáciu (DFT) pomocou algoritmu verzie Radix 2 ( $N = 2^m$ ), kde  $m = 7, 8, 9, 10, 11$ , ktorým prislúcha počet vzoriek  $N = 128, 256, 512, 1024, 2048$ . Algoritmus DFT pre vybraný počet vzoriek  $N$  dáva identický výsledok ako FFT tohto záznamu.

Každá časová funkcia sa najskôr transformuje do komplexného spektra. Stredné kvadratické hodnoty amplitúd sú priemerované, aby sa získali antospektrá analyzovaného signálu. Všetky ďalšie funkcie sa získavajú z týchto antospektier, resp. zo vzájomného spektra dvoch synchronných záznamov, najmä:

- Okamžité spektrá.
- Zosilnené spektrá.
- Frekvenčná a impulzová odozva.
- Koherencia.
- Korelácia a pod.

Príklady podrobnej analýzy použitím analyzátora BK 2032 [3] sú prezentované na obr. 6 - 10. Pravdepodobne najdôležitejšia funkcia praktického významu je frekvenčná odozvočná funkcia

### 3. Analysis of the vertical track acceleration

The core of the analysis of the track vibrations records rests on the frequency analysis of these records. In a broad sense, the frequency analysis is an extraction of useful information from measured acceleration and estimation of certain properties or measures of the signals.

In the vertical track acceleration measurements we obtained a real-valued time records

$$\{a(n)\}; 0 \leq n \leq N-1 \quad (4)$$

where the sequence of  $N$  discrete samples is a length of record.

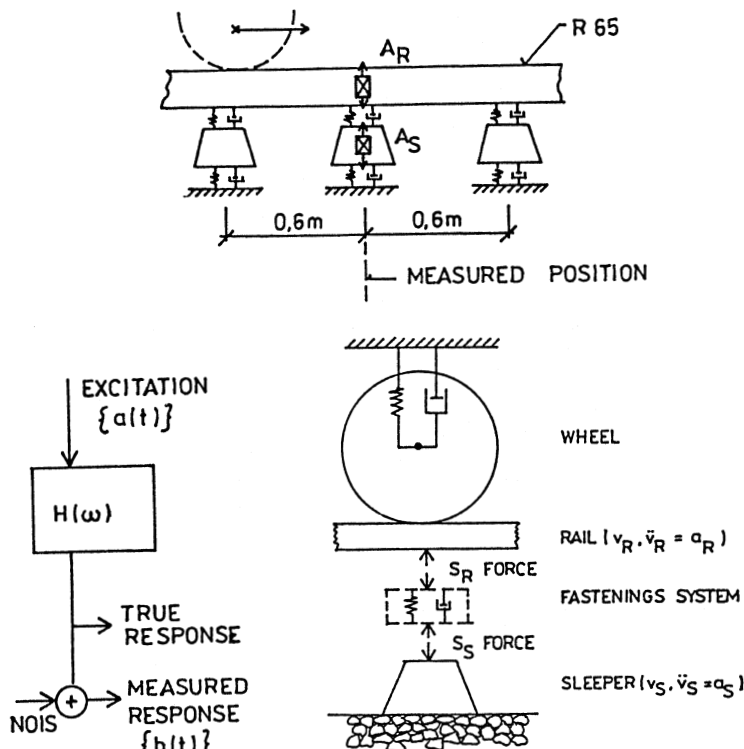
The used BK Analyser Type 2032 [3] develops Fast Fourier Transformation (FFT) as a calculation procedure for obtaining the Discrete Fourier Transformation (DFT). The advantages of the FFT can be achieved in a variety of ways but a particular version of a Radix 2 algorithm ( $N = 2^m$ ) is used in BK Analyser, where  $m = 7, 8, 9, 10, 11$ , and corresponding number of discrete samples  $N = 128, 256, 512, 1024, 2048$ . As has just been shown, the FFT algorithm produces identical results to direct application of the DFT and thus, the analysed record and results are a finite number  $N$  representing one period of an infinitely long periodic signal.

For each signal, the time function is first transformed to a complex spectrum. The squared amplitudes of a number of such

instantaneous spectra are next averaged to give the autospectrum for that particular signal. All other functions in the diagram are calculated on these two autospectra (channel „A“ and channel „B“) and the cross spectrum:

- Instantaneous spectrum
- Enhanced spectrum
- Frequency and impulse response
- Coherence
- Correlation, etc.

Figures 6 - 10 show examples of more comprehensive analysis by using the B&K Analyser Type 2032 [3]. Probably the most important function of these is Frequency Response Function (FRF), that represents the ratio of output  $b(t)$  to input  $a(t)$  in the frequency domain, and thus characterise physical system. In our case it is a resilient fastening system



Obr. 5. Aplikácia FRF na systéme pružného upevnenia kolajnica - podval  
Fig. 5 Application of the FRF to the fastening system rail/sleeper

(FRF), ktorá dáva pomer odozvy  $b(t)$  (výstupu) a budenia  $a(t)$  (vstupu) vo frekvenčnej oblasti, čím plne charakterizuje danú mechanickú sústavu. V našej analýze to predstavuje systém pružného upevnenia koľajnica - podval, ktorý tvorí jeden z najdôležitejších prvkov konštrukcie železničného zvršku, obr. 5.

Keď mechanický systém je charakterizovaný funkciou impulzovej odozvy  $h(t)$ , potom odozva  $b(t)$  sa získa konvolúciou  $a(t)$  a  $h(t)$ :

$$b(t) = a(t) * h(t) \quad (5)$$

Aplikáciou konvolučného teóremu dostaneme

$$B(f) = A(f) \cdot H(f) \quad (6)$$

kde:  $H(f)$  je Fourierová transformácia  $h(t)$ .

FRF potom získame za pomeru

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \quad (7)$$

V praktickej analýze sa vyššie uvedené vzťahy využívajú aj v modifikovanej forme:

$$H_1(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \cdot \frac{A^*(f)}{A^*(f)} = \frac{G_{AB}(f)}{G_{AA}(f)} \quad (8)$$

alebo:

$$H_2(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \cdot \frac{B^*(f)}{B^*(f)} = \frac{G_{BB}(f)}{G_{BA}(f)} \quad (9)$$

V zosilnenom analytickom signále  $H_1$  sa získa ako pomer zosilnených signálov  $G_{\bar{B}}(k)$  a  $G_{\bar{A}}(k)$ :

$$H_1(k) = \frac{G_{\bar{B}}(k)}{G_{\bar{A}}(k)} \quad (10)$$

Príklady analýzy vertikálneho zrýchlenia kmitania koľajníc a podvalov s využitím B&K analyzátoru typu 2032 [3], sú ukázané na obr. 6 - 10.

#### 4. Záver

Dynamické chovanie koľajníc, podvalov a systému pružného upevnenia bol analyzovaný ako proces odozvy týchto komponentov pri všeobecne neznámom budení pri prejazde vlakov. Získané záznamy umožňujú určiť dominantné frekvencie na koľajniaciach, podvalov a v štrkovom lôžku a tým hodnotiť dynamické vlastnosti týchto konštrukčných prvkov trate. Hlavné zdroje vertikálnych interakčných síl koleso/koľajnica sú všeobecne známe. Tieto dynamické sily sú prenášané konštrukciou trate, pričom poškodzujú jej komponenty.

Získané záznamy vertikálnych zrýchlení komponentov trate majú typicky nestacionárny priebeh - predstavujú signály s časovo premennou strednou kvadratickou hodnotou, ktoré musia byť adekvátne analyzované. Spektrá získané analýzou týchto signálov zahŕňajú širokú oblasť frekvencií, ktoré všeobecne závisia od:

rail/sleeper, that represents one of the most important elements in the permanent way structure, see Fig. 5.

When the system is characterised by its impulse response  $h(t)$ , and the output signal  $b(t)$  is the convolution of the input signal  $a(t)$  with function  $h(t)$ , thus:

$$b(t) = a(t) * h(t) \quad (5)$$

By the convolution theorem, it follows that

$$B(f) = A(f) \cdot H(f) \quad (6)$$

where  $H(f)$  is the Fourier transform of  $h(t)$ . Thus, the FRF can be obtained from:

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \quad (7)$$

In practice, there are found to be advantages in modifying Eqn. (7) in various ways, for example:

$$H_1(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \cdot \frac{A^*(f)}{A^*(f)} = \frac{G_{AB}(f)}{G_{AA}(f)} \quad (8)$$

or a version known as  $H_2(f)$ :

$$H_2(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \cdot \frac{B^*(f)}{B^*(f)} = \frac{G_{BB}(f)}{G_{BA}(f)} \quad (9)$$

In Dual Signal Enhancement mode,  $H_1$  is the complex ratio of the Enhanced Spectra  $G_{\bar{B}}(k)$  and  $G_{\bar{A}}(k)$ , that is:

$$H_1(k) = \frac{G_{\bar{B}}(k)}{G_{\bar{A}}(k)} \quad (10)$$

Figures 6 - 10 show examples of more comprehensive analysis by using the B&K Analyser Type 2032 [3].

#### 4. Conclusions

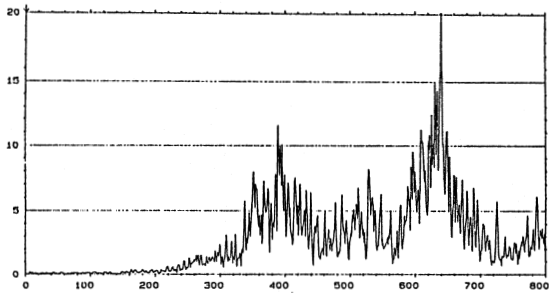
The dynamic behaviour of rails and sleepers under passage of the trains has been analysed in time and frequency domain. It is a process of determining the response of the track structure as a mechanical system due to same generally unknown excitation at passing trains. It enables distinct frequency components to be related to the rails, the sleepers, and the ballast and thus identify the dynamic structure of the track vibration and sources of the vibration, respectively. The major causes of increases in the vertical force between the rail and the wheel and the major dynamic sources are generally known. These dynamic forces are transmitted to the track structure, damage its components and can be appreciated indirect just by the dynamic response under passage of trains.

The measured vertical acceleration represents typical non-stationary signals with the time-varying mean square value that must be adequately analysed. The corresponding spectra of these signals cover a wide range of frequencies. Dominant frequencies are depending in general on:

- the track characteristics (track geometry, quality, stiffness, and track structural components).

Line: Zilina - Varin / '97  
Passenger train - Passage of the whole train  
Transducer: BK 4500 - Vertical acceleration / RAIL

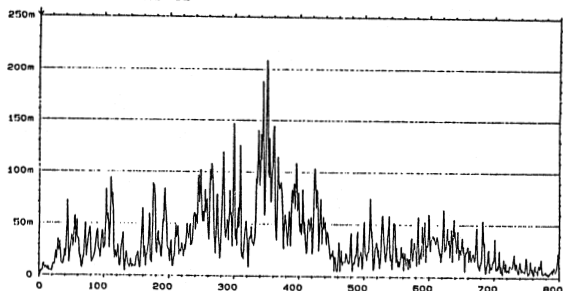
W20 [AUTO SPEC CH.A] [ ] INPUT MAIN Y: 5.83mU<sup>2</sup>/Hz  
Y: 20.0U<sup>2</sup>/Hz PSD LIN X: 0Hz + 800Hz LIN  
#A: 12



SETUP W12 TEPLOJKA - RYCHLIK IC-DELY BRANKH PODVAL  
MEASUREMENT: DUAL SPECTRUM AVERAGING  
TRIGGER: FREE RUN  
DELAY: CH.A-B: 0.00ms  
AVERAGING: LIN 3066 OVERLAP: MAX  
FREQ SPAN: 800Hz ΔF: 1Hz T: 1s ΔT: 488μs  
CENTER FREQ: BASEBAND  
WEIGHTING: HANNING

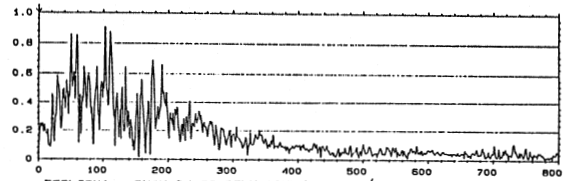
Transducer: BK 4500 - Vertical acceleration / SLEEPER

W20 [AUTO SPEC CH.B] [ ] INPUT MAIN Y: 241μU<sup>2</sup>/Hz  
Y: 250μU<sup>2</sup>/Hz PSD LIN X: 0Hz + 800Hz LIN  
#A: 12



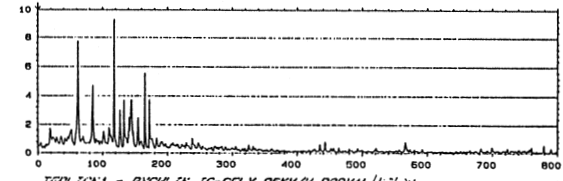
SETUP W12 TEPLOJKA - RYCHLIK IC-DELY BRANKH PODVAL  
MEASUREMENT: DUAL SPECTRUM AVERAGING  
TRIGGER: FREE RUN  
DELAY: CH.A-B: 0.00ms  
AVERAGING: LIN 3066 OVERLAP: MAX  
FREQ SPAN: 800Hz ΔF: 1Hz T: 1s ΔT: 488μs  
CENTER FREQ: BASEBAND  
WEIGHTING: HANNING

W20 [FREQ RESP H1] [ ] MAG INPUT MAIN Y: 60.4m  
Y: 1.00 LIN X: 0Hz + 800Hz LIN  
SETUP W12 #A: 12



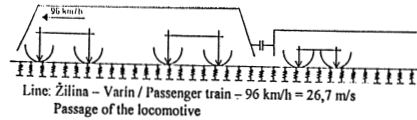
TEPLOJKA - RYCHLIK IC-DELY BRANKH KOLAJ / 100%AL

W20 [FREQ RESP H2] [ ] MAG INPUT MAIN Y: 686m  
Y: 10.0 LIN X: 0Hz + 800Hz LIN  
SETUP W12 #A: 12



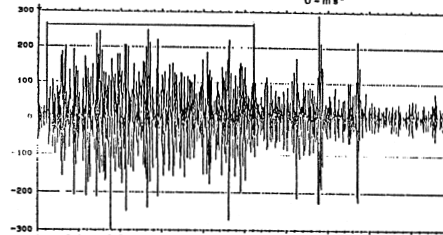
TEPLOJKA - RYCHLIK IC-DELY BRANKH KOLAJ / 100%AL

Obr. 6. Analýza vertikálneho zrýchlenia kolajnica a podvalu - prejazd celého osobného vlaku  
Fig. 6 Analysis of the vertical rail and sleeper acceleration - passage of the whole passenger train



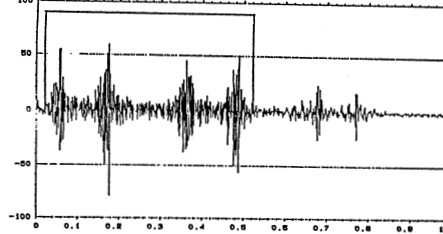
Line: Zilina - Varin / Passenger train - 96 km/h = 26,7 m/s  
Passage of the locomotive

W18 [TIME CH.A] [ ] REAL INPUT MAIN Y: 15.0U  
Y: 300U X: 0.00ms  
VERTICAL RAIL ACCELERATION U = m s<sup>2</sup>

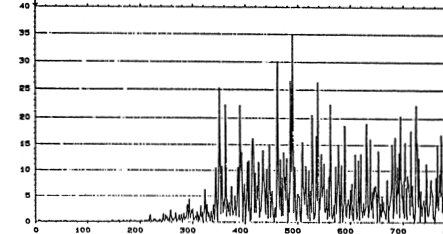


VERTICAL SLEEPER ACCELERATION

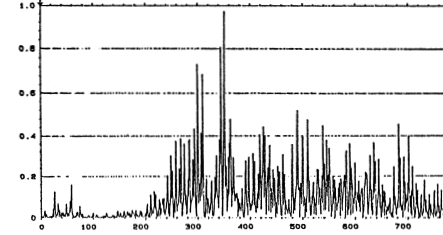
W18 [TIME CH.B] [ ] REAL INPUT MAIN Y: 881μU  
Y: 100U X: 0.00ms + 1s  
U = m s<sup>2</sup>



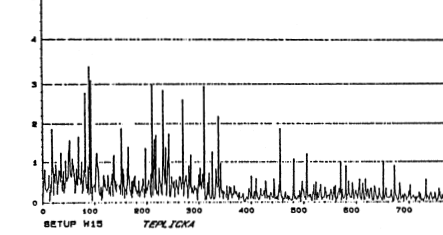
SETUP W15 TEPLOJKA  
W18 [ENH SPEC CH.A] [ ] MAG INPUT MAIN Y: 13.8mU<sup>2</sup>/Hz  
Y: 40.0U<sup>2</sup>/Hz PSD LIN X: 0Hz + 800Hz LIN  
#A: 1  
U = m s<sup>2</sup>



SETUP W15 TEPLOJKA  
W18 [ENH SPEC CH.B] [ ] MAG INPUT MAIN Y: 332μU<sup>2</sup>/Hz  
Y: 1.00U<sup>2</sup>/Hz PSD LIN X: 0Hz + 800Hz LIN  
#A: 1  
U = m s<sup>2</sup>

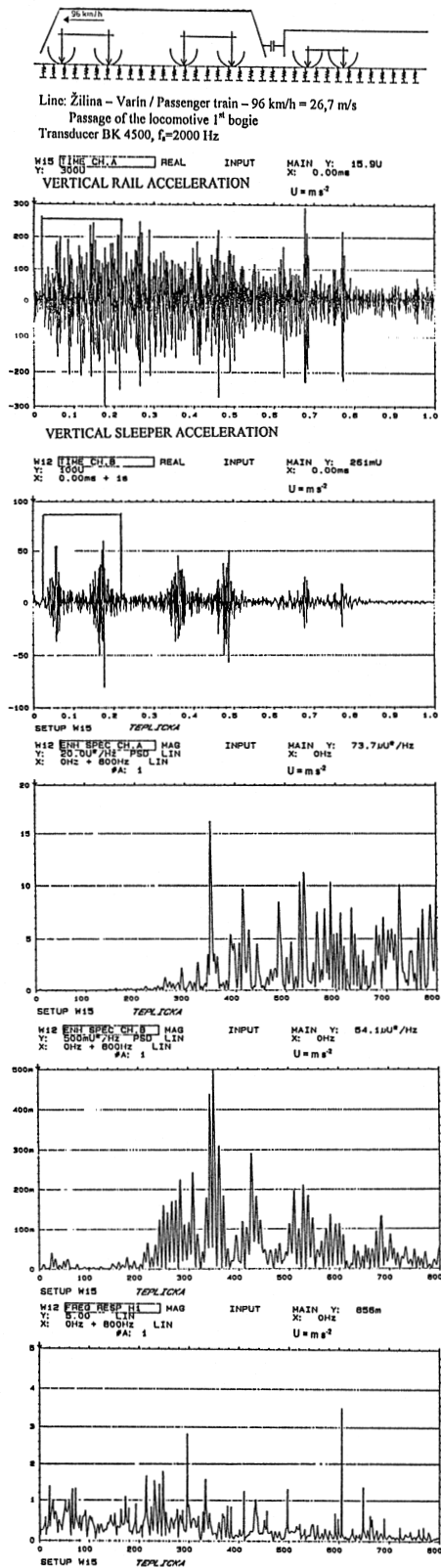


SETUP W15 TEPLOJKA  
W18 [FREQ RESP H1] [ ] MAG INPUT MAIN Y: 155m  
Y: 5.00 LIN X: 0Hz + 800Hz LIN  
#A: 1

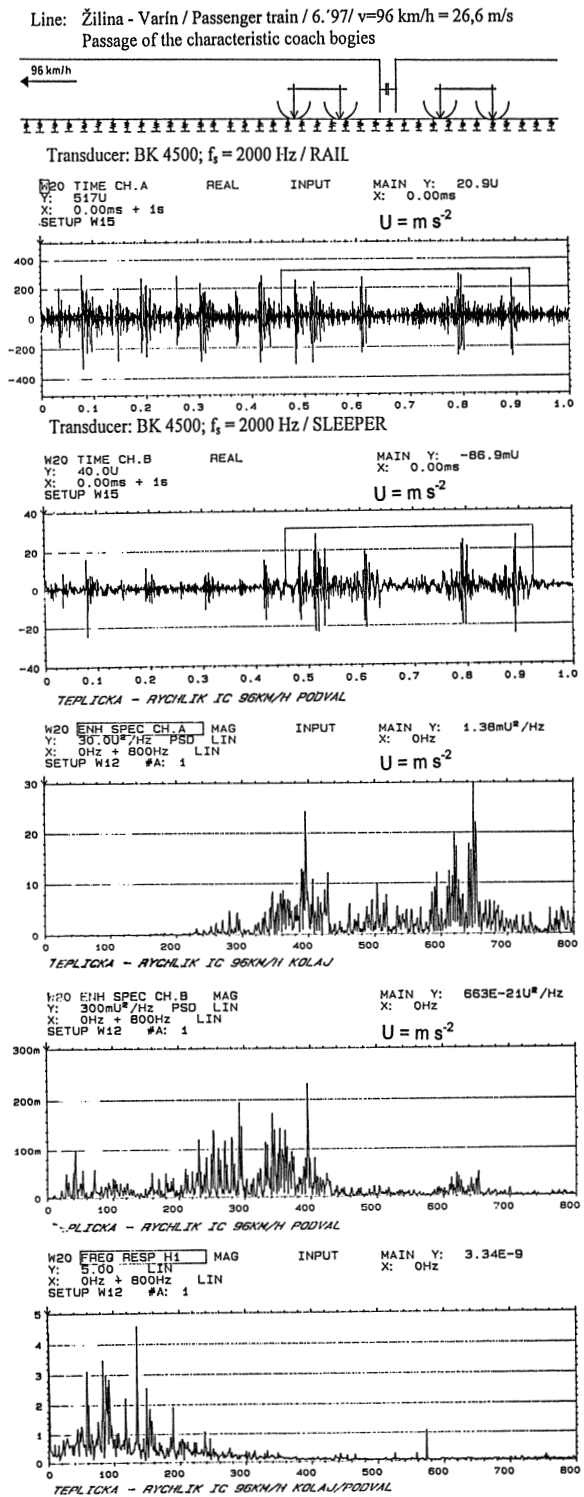


SETUP W15 TEPLOJKA

Obr. 7. Analýza prejazdu lokomotíva rýchlosť 96 km/h  
Fig. 7 Analysis of the locomotive passage, speed 96 km/h

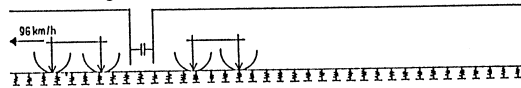


Obr. 8. Analýza prejazdu 1. podvozku lokomotívy, rýchlosť 96 km/h  
Fig. 8 Analysis of the 1st locomotive bogie passage, speed 96 km/h

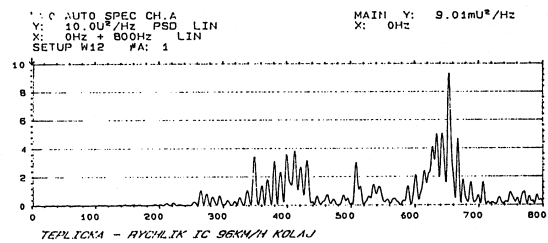
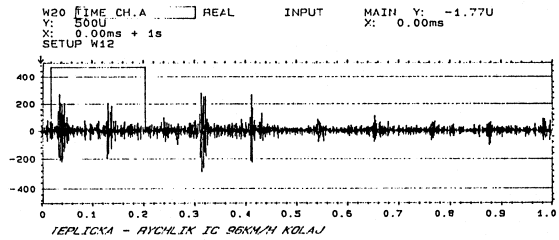


Obr. 9. Analýza prejazdu charakteristických podvozkov vagonov, rýchlosť 96 km/h  
Fig. 9 Analysis of the characteristic coach bogies passage, speed 96 km/h

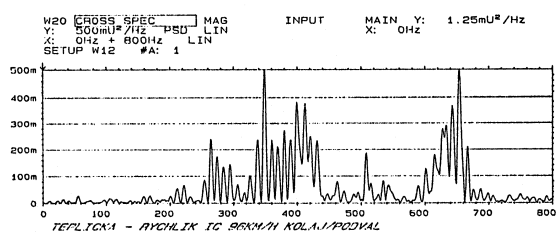
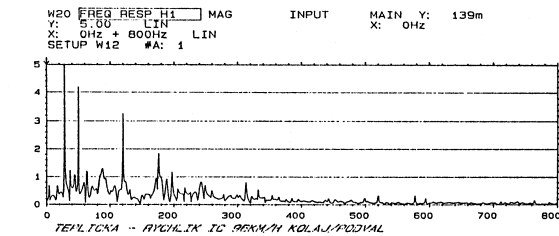
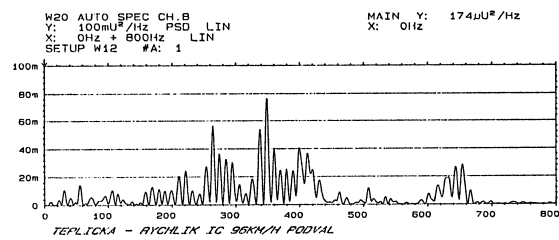
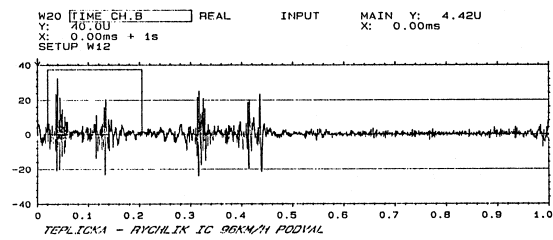
Line: Žilina - Varín / Passenger train / 6.97/  $v=96 \text{ km/h} = 26,6 \text{ m/s}$   
Passage of the characteristic coach bogies



Transducer: BK 4500;  $f_s = 2000 \text{ Hz} / \text{RAIL}$



Transducer: BK 4500;  $f_s = 2000 \text{ Hz} / \text{SLEEPER}$



Obr. 10. Analýza prejazdu podvozka vagóna, rýchlosť 96 km/h  
Fig. 10 Analysis of the one characteristic coach bogie passage, speed 96 km/h



- charakteristik trate (geometria, kvalita, tuhosť zvršku, typ konštrukcie zvršku)
- charakteristik koľajových vozidiel (odpružené, neodpružené hmoty koľajových vozidiel)
- prevádzkových podmienok (zaťaženie trate, rýchlosť).

Výsledky našich meraní preukázali, že celkové hodnoty hladín zrýchlenia sa pohybujú v medziach:

- na koľajniciach 0 - 400 ms<sup>-2</sup> a v extrémnych prípadoch aj viac
- na podvaloch 0 - 60 ms<sup>-2</sup>.

Dominantné frekvencie zrýchlení kmitania ovplyvňujúce konštrukcie trate sú vždy vyššie ako 20 Hz, kedy dynamika trate hrá rozhodujúcu úlohu v interakcii pohybujúce sú vozidlá/trať. Interakčné dynamické sily na styku koleso/koľajnica a ich následný prenos konštrukciou trate sa odohráva prevažne pri vysokých frekvenčných zložkách až do 1000 Hz. Dynamické sily prenášané do štrkového lôžka majú dominantné zložky až do 500 Hz. Získané FRF popisujúce mechanické vlastnosti systému pružného upevnenia potvrdzujú takúto frekvenčnú skladbu prenosu interakčných síl. Tento prenos je však závislý aj od typu koľajového vozidla a jeho rýchlosti s odpovedajúcou frekvenčnou skladbou FRF:

- 0 - 400 Hz pre lokomotivy
- 0 - 200 Hz pre vagóny.

Porovnanie výsledkov teoretického riešenia dynamickej odozvy trate s meranými výsledkami v skutočných prevádzkových podmienkach potvrdilo možnosť pracovať s lineárnymi výpočtovými modelmi (obr. 1), avšak podrobnú analýzu týchto zložitých javov možno získať len na základe odskúšanej metodiky merania dynamickej odozvy trate v daných prevádzkových podmienkach.

## Literatura

- [1] RANDALL, R. B., TECH, B.: Frequency analysis, B&K, 1987.
- [2] TUMA, J.: Spracování signálu získaných z mechanických systému užitím FFT, Sdelovací technika, Praha 1997.
- [3] Dual Channel Signal Analyser Type 2032, B&K Manual.
- [4] MORAVČÍK, M.: Dynamic interaction vehicle-track for low and mid frequencies, Proceedings 60<sup>th</sup> Anniversary of the Faculty of Civil Engineering at the STU Bratislava, Vol.1, p. 59-64.
- [5] MORAVČÍK, M., SIČÁR, M.: Effect of the vertical track stiffness on its dynamic response. Engineering Transaction, PAN Warsaw (v tlači).
- [6] MORAVČÍK, M.: Experience in railway track testing for validation of theoretical dynamic analysis. Procc. Communications on the edge of the millenniums, EDIS Žilina 1998, s. 381-386.

- the vehicle characteristics (unsprung mass of the wheelset)
- the operating conditions (track loading, speed, braking) and in our measurements they have reached levels:
- rail acceleration 0 - 400 ms<sup>-2</sup> and more in extreme cases
- sleeper acceleration 0 - 60 ms<sup>-2</sup>.

The frequency range of particular interest of the track structure can be taken above about 20 Hz, where track dynamics become increasingly important and vehicle dynamics less important. Problems with the running surfaces of wheel and rail and with track components are caused primarily by vertical forces up to about 1000 - 1500 Hz. Forces transmitted through the track structure into the ground structure are most significant up to frequencies about 500 Hz. Problems of vehicle dynamics occur largely at frequencies of less than 20 Hz.

Frequency Response Functions obtained from the auto and cross spectra of analysed signals give a picture about vibration of track components and about the transfer of dynamic forces by track components. They confirm that dynamic forces are transmitted through the track in particular by the higher frequency components:

- 0-400 Hz for locomotives
- 0-200 Hz for bogies of coaches.

Comparison results of the dynamic response measurements with the theoretical ones showed that the track response can be predicted by the linear interaction vehicle/track mathematical model fairly well, but for real track conditions the comprehensive information about the reliability of superstructure and the real dynamic track behaviour better results gives the properly realised response measurement.

## References

- [1] RANDALL, R. B., TECH, B.: Frequency analysis, B&K, 1987.
- [2] TUMA, J.: Spracování signálu získaných z mechanických systému užitím FFT, Sdelovací technika, Praha 1997.
- [3] Dual Channel Signal Analyser Type 2032, B&K Manual.
- [4] MORAVČÍK, M.: Dynamic interaction vehicle-track for low and mid frequencies, Proceedings 60<sup>th</sup> Anniversary of the Faculty of Civil Engineering at the STU Bratislava, Vol.1, p. 59-64.
- [5] MORAVČÍK, M., SIČÁR, M.: Effect of the vertical track stiffness on its dynamic response. Engineering Transaction, PAN Warsaw (in printing).
- [6] MORAVČÍK, M.: Experience in railway track testing for validation of theoretical dynamic analysis. Procc. Communications on the edge of the millenniums, EDIS Žilina 1998, p.381-386.

# TEORETICKÝ A EXPERIMENTÁLNY VÝSKUM SPRIAHNUTÝCH TRÁMOV

## THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF COMPOSITE BEAMS

*Príspevok popisuje doterajší spôsob návrhu spriahnutých trávov v konfrontácii s novým postupom podľa metodiky medzných stavov ako aj efektívnu pružno-plastickú metódu. Výsledky vyvinutej pružno-plastickej analýzy sú porovnané s nameranými hodnotami statických veličín na modeloch spriahnutých trávov.*

*The paper discusses the traditional structural analysis of composite structures and actual limit-state design as well as the efficient elasto-plastic computer model. The results of the alternative analytical study are compared with test results on the composite beam specimens.*

### 1. Obvyklý pružnostný návrh spriahnutých trávov

Tento výpočtový postup transformuje nehomogénny ocelobetónový prierez na ideálny ocelový priečný rez pomocou pomeru modulov ocele a betónu. Napätia vyvolené priečnym zaťažením sa stanovujú podľa zásad klasickej teórie ohybaného nosníka [1].

Pružná ohybová únosnosť pri tomto postupe závisí od spôsobu výstavby. Pri bežnej montáži mosta bez podopretia trámu sa dostatočne výstižne predpokladá, že čerstvý betón je naraz nanosený na ocelový prierez. Tiaž debnenia podobne prenáša iba ocelová konštrukcia ale odľahčený je nakoniec spriahnutý trám. Výsledné napätia a pretvorenia v spriahnutom tráme sú súčtom napätí z jednotlivých etáp výpočtu.

Účinky dotvarovania vyvolávajú zmeny napätí v spriahnutom tráme, ktoré sa najčastejšie vystihujú efektívnymi modulmi betónu. Napätia od zmršťovania sú dané súčtom napätí, ktoré vzniknú v betónovej doske pri jej fiktívnom votknutí a prírastkov napätí po uvoľnení podopretia dosky. Pozdĺžne napätia od náhlej zmeny teploty sa vyčísľujú obdobným postupom ako pri zmršťovaní.

### 2. Návrh spriahnutých trávov podľa medzných stavov

Koncepcia návrhu podľa medzných stavov vychádzajúca z európskej normy EC4 [2] vyžaduje overiť dve skupiny kritérií medzných stavov. Kritériá medzného stavu únosnosti predpisujú nutnosť overiť možnosť porušenia trávov vyčerpaním pevnosti materiálov alebo stratou stability stien, klopením, resp. preklopením trámu. Medzná únosnosť spriahnutého ocelobetónového trámu sa zisťuje tuho-plastickým výpočtom, pri ktorom sú obidva materiály úplne splastizované a predpokladá sa u nich neobmedzená deformačná schopnosť. Medzné zaťaženie, ktoré vyvodí tento medzný stav únosnosti, má návrhovú veľkosť. Pri výpočte

### 1. Traditional elastic design

In elastic analysis, composite sections are transformed by modular ratio into equivalent steel sections. Stresses due to a bending moment are then given by the elementary theory of beam bending [1].

The elastic resistance to bending depends on the method of construction. It is usually sufficiently accurate to assume that the whole of the wet concrete is placed simultaneously on the bare steelworks. The weight of the formwork is also applied to the steel structure and removed from the composite bridge. The total stresses and strains in the fibres of a composite beam are determined as the summations of stress distributions for each stage.

Creep of concrete causing stress changes in composite beams are considered by the effective modulus. Shrinkage stresses can be calculated as the sum of the fibre stresses resulting from restraint of shrinkage and the stress resulting from the release of this restraint on the composite section. Longitudinal stresses induced in composite section due to thermal gradients can be determined in the same way.

### 2. Limit-state design

Limit-state design philosophy, incorporated in EC4 [2], [3] needs the check of two limit states. Ultimate limit states including collapse, failure, overturning, buckling or rupture must be verified by ultimate-strength. The maximum possible strength of composite steel and concrete beams can be determined using a rigid-plastic analysis, which assumes that the materials are fully yielded with an infinite deformation capacity. The ultimate load effects are expressed by design values. They can be deduced from common working loads after multiplication by partial safety factors.

\* Prof. Ing. Ján Bujňák, PhD. - Ing. Monika Šimalová,

Department of Structures and Bridges, Faculty of Civil Engineering, University of Žilina, Komenského 52, 010 26 Žilina, Slovakia  
Phone +421-89-41868, Fax +421-89-41868, e-mail bujnak@fstav.utc.sk

konštrukcií sa získava z návrhových hodnôt jednotlivých zložiek zaťaženia konštrukcie, vynásobených parciálnymi súčiniteľmi spoľahlivosti.

Nadmerné priehyby alebo vibrácie alternatívne môžu limitovať spoľahlivosť mostov v prevádzke. Kritériá skupiny medzných stavov použiteľnosti vylučujú tieto imperfekcie. Bežne vznikajú na konštrukciách ešte v oblasti pružného pôsobenia, preto sa overujú pružnostným výpočtom. Medzná únosnosť plynie z charakteristického zaťaženia, ktoré má jednotkové parciálne súčinitele spoľahlivosti.

Použitá metóda výpočtu na zistenie ohybovej únosnosti závisí od klasifikácie uvažovaného prierezu. Podľa limitných pomerov šírky k hrúbke jednotlivých stien oceleového prierezu, ktorých veľkosť predpisuje EC4 [2] sa rozlišujú štyri triedy priečných prierezov, označovaných ako plastické, kompaktné, polo-compactné a štíhle. Tuho-plastický výpočet sa používa iba pre plastické a kompaktné prierezy. Práve pri týchto prierezoch sa tuho-plastickým výpočtom môže získať väčšia medzná únosnosť než pri obvyklom pružnom výpočte spriahnutých prierezov.

### 3. Porovnanie popísaných postupov

Na porovnanie charakterizovaných návrhových postupov sme urobili numerickú štúdiu série železničných mostov rozpätí od 15 m do 60 m. Náročný pružnostný výpočet uľahčil nami zostavený výpočtový program.

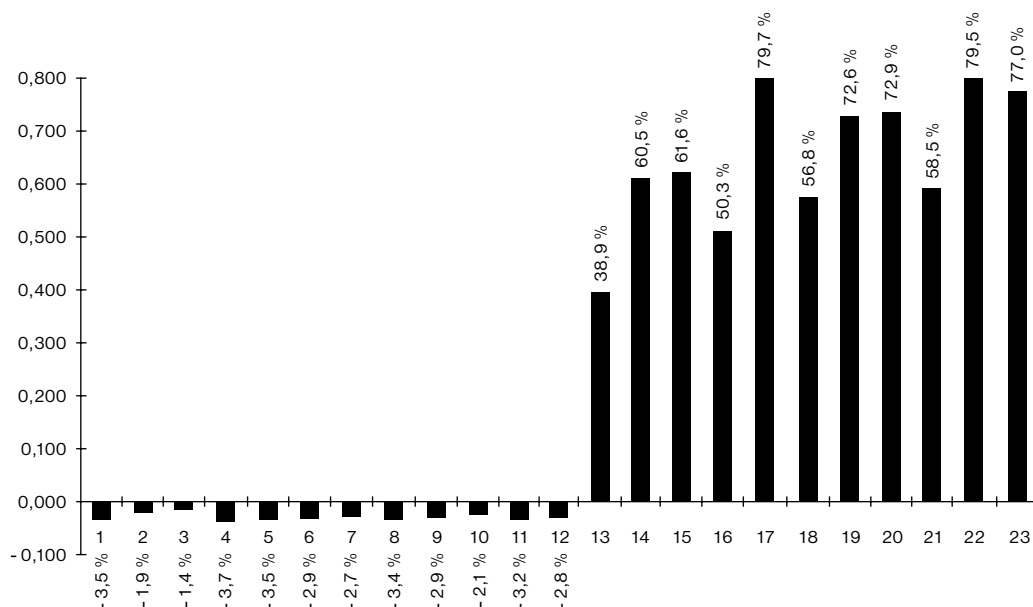
Excessive deflection or vibration may limit the usefulness of the bridge structure. These are serviceability limit states. They normally occur while the structure is still elastic, so elastic analysis is appropriate. They must be avoided at nominal working load with unitary partial safety factors.

The classification of cross-section of beams determines the appropriate methods of the beam bending resistance analysis. The definition of the four classes correspond respectively to the terms plastic, compact, semi-compact and slender according to the slenderness that defines class boundaries. The limits for breadth / thickness ratio of sections are given in the EC 4 [2]. The rigid plastic global analysis of beam bending resistance is available only for plastic or compact sections. In this case of structures, a greater plastic resistance can be achieved than the elastic one for composite sections.

### 3. Comparison of the procedures

To compare the above design procedure, a numerical study was executed on the set of railway bridge superstructures for the spans from 15 m to 60 m. Detailed calculation by the traditional elastic analysis was facilitated by the computer programme.

Alternatively, the same set of 23 composite bridge superstructures were assessed by limit-state procedure. For sections which were compact, an ideal plastic modulus had to be derived using a transformed slab area and taking an effective



Obr. č. 1. Pomer ohybových únosností prierezov pre polyhlivé zaťaženie  
Fig. 1 Ratio of live load cross-sections carrying capacity

Tie isté mostné konštrukcie sme alternatívne prepočítali metodikou medzných stavov. Pre prierezy klasifikované ako plastické a kompaktné sa ideálny plastický prierezový modul stanovil pre spolupôsobiaci prierez betónovej dosky. Plastická medzná

section. The plastic bending resistance at the ultimate limit state was adequate for the total applied moment. For sections which were classified as non-compact the bending resistance was given in terms of limiting elastic stresses at extreme fibres. Compact

ohybová únosnosť sa položila rovná návrhovému vonkajšiemu ohybovému momentu. V prípade nekompaktných priereзов, ohybová únosnosť limitovalo maximálne normálové napätie v niektorom z krajných vlákien prierezu. Kompaktné prierezy, o ktorých únosnosti rozhodoval medzný stav použiteľnosti sa počítali pružnostným postupom, podobne ako nekompaktné, avšak s tým rozdielom, že napätia od zmršťovania a teplotného gradientu sa neuvažovali. Naznačený algoritmus bol podkladom ďalšieho zostaveného výpočtového programu pre potreby tejto štúdie, ale aj využitie v praxi.

Pomer ohybových únosností pre pohyblivé zaťaženie, určených podľa medzných stavov ku klasickým pružnostným ohybovým únosnostiam ilustruje obr. 1. Pre kompaktné prierezy je tento pomer v rozmedzí od 1,389 do 1,797. Ohybová únosnosť pre kompaktné prierezy deklarovaná metodikou medzných stavov predstavuje významný prírastok únosnosti v porovnaní s nekompaktnými trámami. Avšak náhle skoky v ohybových únosnostiach zvlášť pri hranici medzi pružným a plastickým výpočtom sa zdajú byť nereálne. Táto skutočnosť nás inšpirovala k aplikácii pružno-plastického postupu.

#### 4. Pružno-plastický teoretický výpočet

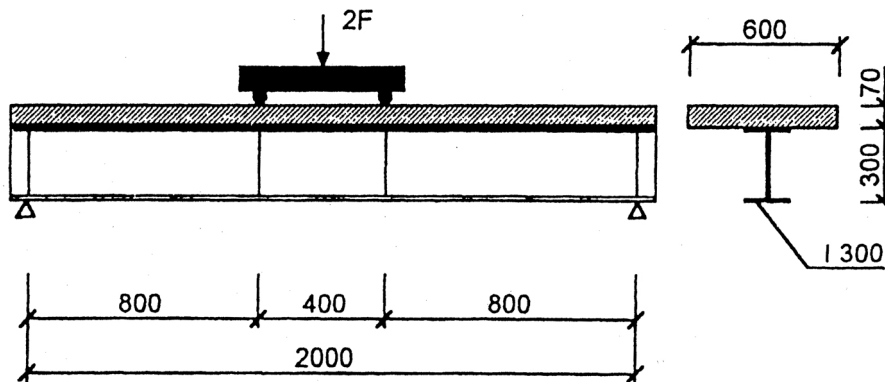
Pružno-plastický postup výpočtu realistickejšie vystihuje správanie sa spriahnutých trémov v pružnej ako aj v plastickej oblasti namáhania. Tento výpočtový model, založený na prírastkovej

sections assessed on a non-compact basis at serviceability limit states, were treated in the same way as non-compact sections in ultimate state, except that the effects of shrinkage and temperature were not to be taken into account. The requirements for the design of composite beams by this procedure were included in the other computer programme designated for this purpose.

The ratio of live load carrying capacity determined by limit state procedure to the elastic one is represented in Fig. 1. For the composite compact section, this ratio is in the range 1.389 to 1.797. Thanks to the limit state design procedure available for compact cross-section, a more important gain in the bending resistance could be achieved, compared with non-compact beams. However, the sudden change, especially at the boundary between elastic and plastic design (Fig. 1), can be seen as non-realistic.

#### 4. Theoretical elasto-plastic analysis

The elasto-plastic procedure can predict more realistically the structural response of composite beams in elastic as well as inelastic ranges of loading. Our computer model is based on the incremental deformation method which determines strains, stresses, deformations and forces, numerically satisfying the conditions of force equilibrium and deformation compatibility for the composite section at any loading level.



Obr. č. 2. Tvar a usporiadanie modelov spriahnutých trémov  
Fig. 2 Details of tested composite beams

deformačnej metóde určuje napätia, deformácie a korešpondujúce vnútorné sily z podmienok rovnováhy po priereze ako aj kompatibility deformácií v spriahnutom priečnom reze v danej etape zaťažovania.

Výpočtový postup akceptuje bežné predpoklady pre typický spriahnutý prierez na obr. 2. Z nich sa zvlášť využíva hypotéza o rovinnosti prierezu aj po ohybe trému. Betónová doska, pásnice a stena ocelového prierezu sú rozdelené na vhodné elementy po výške priečného rezu. Vychádza sa zo zadanej krivosti prierezu.

The procedure assumes the conventional hypotheses in the typical cross section, as shown in Fig. 2. Particularly, the preservation of the plane sections for both elements is supposed. The concrete slab, the flanges and the web of the steel cross-section are divided into small elements by a grid pattern and in the direction of height, respectively. A curvature is given in the section. The stress in each element is decided from strain-stress path using the total strain added throughout the past hysteresis. The bending moment of the section can be calculated from the element stresses.

Napätie v jednotlivých dielikoch stanovíme z pracovného diagramu v tvare závislosti napätí od deformácií. Výsledný ohybový moment sa obdrží z jednotlivých čiastkových napätí.

## 5. Experimentálny výskum

V rámci experimentálnej časti výskumu sme testovali pôsobenie až do porušenia siedmich spriahnutých priečne zaťažovaných trávov. Modely z ocelových nosníkov I 300 mali dĺžku 2,2 m a rozpätie medzi podperami 2,0. Spolupôsobiaci betónová doska 70 mm hrubá bola z betónu s kockovou pevnosťou od 19 MPa do 38 MPa. Dosku vystužovala zváraná sieť z kruhových drôtov vo vzdialenosti 100 mm (obr. 2). Na tri trávy sa použili prvky spriahnutia v tvare trňov, pozdĺžne v dvoch radoch a v rozostupe 125 mm. Na zaistenie úplného spriahnutia medzi oceľou a betónom mali ďalšie tri trávy prvky spriahnutia z trňov priemeru 13 mm a dĺžky 50 mm zmenšené rozostupy na 70 mm. Jeden trám spolupôbil s doskou prostredníctvom ocelevej lišty vysokej 50 mm a hrúbky 10 mm s otvormi priemeru 30 mm. Skúšané modely mali nainštalované prístroje na meranie priehybov, pomerných deformácií ako aj preklzu na styku betónovej dosky s ocelovým nosníkom. Všetky trávy sme pred definitívnym porušením opakovane zaťažovali a odľahčovali.

Experimenty ukázali, že spriahnuté trávy sú schopné spoľahlivo prenášať zaťaženia aj po prekročení pružnej oblasti, ktorú limituje zaťaženie vyvodzujúce pomerné pretvorenie krajných vlákien spodnej pásnice ocelového nosníka veľkosti  $\epsilon_y = f_y/E_a$ . Skúšky ďalej potvrdili, že spriahnutie betónu a nosníkom bolo pre všetky modely postačujúce, pretože ich únosnosť bola vyčerpaná rozdrvením betónu dosky. Nameraná závislosť medzi priehybom a zaťažením signalizovala schopnosť ocelového prierezu vykazovať významné plastické pomerné pretvorenia.

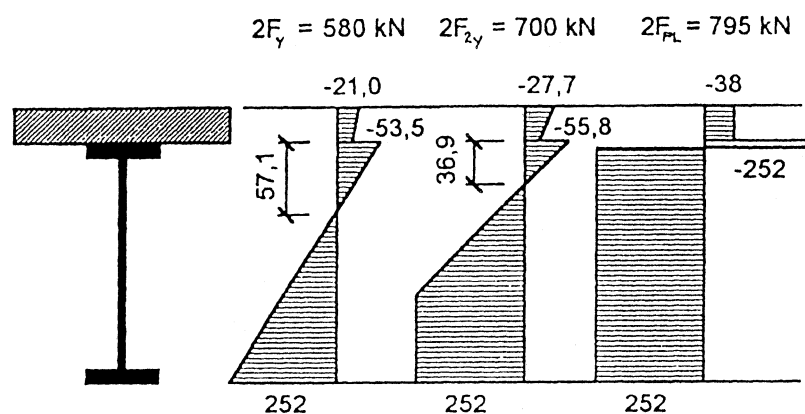
Rozdelenie napätia po priereze trámu, stanovené charakterizovaným pružno-plastickým výpočtom v pružnej ako aj pružno-plastickej oblasti ukazuje obr. 3. Distribúcia napätí medzi jednotlivými zložkami prierezu pre veľkosť pomernej deformácie

## 5. Experimental study

Seven composite beam models were tested to their ultimate load capacity under positive bending moments. The 2.2 m long composite beams had a span of 2.0 m between the end supports and consisted of a rolled-steel girder of I 300 section and a concrete slab. The slab was 70 mm thick with a 28-day concrete strength of 19 MPa and 38 MPa. The concrete slab was reinforced by a mesh of smooth welded wire having a spacing of 100 mm (Fig. 2). The three beams had a double line of conventional shear headed studs at a longitudinal spacing of 125 mm. To insure a full interaction between concrete and steel beams, the other three beams had 13 mm shear studs, 50 mm long with a spacing of only 70 mm. In the last specimen, the steel plate, 50 mm high, fabricated from a 10 mm thick plate with holes 30 mm in diameter was used to connect the concrete slab and steel section together as a composite unit. The models were instrumented for the purpose of measuring deformations, strains across the depth, applied load, and slip between the steel beam and concrete slab. All girders were unloaded and reloaded in increments a number of times before failure.

It has been shown convincingly that composite beams continued to carry loads long after the elastic range, which was limited by a yield load corresponding to deformation of the bottom steel girder flange  $\epsilon_y = f_y/E_a$ . Post-test inspections revealed that the attachment of the concrete to the girder was adequate for each of the models, which collapsed by transverse cracking of the deck. Ductility as the ability of a beam to undergo significant inelastic deformations could be observed from the shape of the load-versus-deflection curves.

Stress diagrams determined by described procedures for some elastic and elasto-plastic regions are shown in Fig. 3. Stress redistribution between respective parts within the cross-section indicates that the entire cross section reasonably yields to the plastic deformation of the bottom steel flange 2.  $\epsilon_y$  at extreme



Obr. č. 3. Rozdelenie napätí a príslušné zaťaženie v pružnom, pružno-plastickom a plastickom štádiu pôsobenia trávov  
Fig. 3 Stress diagrams and ultimate load for elastic, elasto-plastic and plastic beam states

2.  $\epsilon_y$  v spodných vláknach ocelového profilu svedčí o tom, že prierez pri tejto úrovni zaťaženia je prijateľne splastizovaný. Výkonnosť trámu rapídne klesá po prekročení tohto limitného pomerného pretvorenia. Z toho usudzujeme, že prírastok únosnosti prierezu sa efektívne získa iba do veľkosti plastickej pomernej deformácie 2.  $\epsilon_y$  v najviac namáhanom vlákne.

## 6. Závěry

V prípade nekompaktných prierezov je únosnosť limitovaná pevnosťou štíhlych stien prierezu alebo jeho celkovou stabilitou. Avšak medzná únosnosť plastických a kompaktných trámov sa výstižnejšie stanoví pružno-plastickým výpočtom v porovnaní s bežným pružnostným návrhom. Výkonnejší výpočtový model bol potvrdený skúškami na modeloch.

## Literatúra

- [1] ČSN 73 2089 (Změna b z r. 1973). Směrnice pro navrhování spřažených ocelobetonových nosníků, ÚNM Praha 1981
- [2] EC 4. Design of composite steel and concrete structures. CEN 1992
- [3] BS 5400. Steel concrete and composite bridges. Part 1 to 10 (various dates). British Standard Institution.

fibre. The behaviour deteriorates rapidly after the load had developed this limit girder yielding. Therefore, it can be concluded that the reasonable extra carrying capacity can be mobilised in only allowing the plastic deformation 2.  $\epsilon_y$  at extreme fibre.

## 6. Concluding remarks

In the case of non-compact sections, the load carrying capacity is limited by buckling of slender plate elements or overall stability problems. The ultimate load of plastic and compact beams can be more realistically identified by elasto-plastic design rather than obvious plastic analysis. This analytical model agrees reasonably well with the structural behaviour of the tested specimens.

## References

- [1] ČSN 73 2089 (Změna b z r. 1973). Směrnice pro navrhování spřažených ocelobetonových nosníků, ÚNM Praha 1981
- [2] EC 4. Design of composite steel and concrete structures. CEN 1992
- [3] BS 5400. Steel concrete and composite bridges. Part 1 to 10 (various dates). British Standard Institution.

Ján Čorej - Martin Decký \*

# CESTNÉ VOZOVKY Z HĽADISKA BUDÚCICH POŽIADAVIEK CESTNEJ DOPRAVY

## PAVEMENTS FROM THE POINT OF VIEW OF FUTURE REQUIREMENTS OF ROAD TRANSPORT

*Cestná vozovka je dôležitou zložkou cestnej konštrukcie. Autori tohto príspevku sa zaoberajú problémami, ktoré sa musia riešiť nielen v súčasnosti, ale i v budúcnosti. Sú to najmä tieto otázky: zlepšenia funkčných vlastností povrchu vozovky, vhodnej konštrukčnej skladby vozovky, výpočtových metód vozoviek a kvality ich jednotlivých vrstiev.*

### 1. Úvod

Pri hľadaní odpovede na stanovenú problém je nutné vychádzať z budúcich požiadaviek cestnej dopravy. Aj naďalej je nutné vychádzať z predpokladu, že základnou funkciou cestnej vozovky bude vytváranie podmienok pre bezpečnú pohodlnú a hospodárnu jazdu cestných motorových vozidiel pri stanovených návrhových rýchlostiach počas optimálne stanovenej doby životnosti konštrukcie cestnej vozovky a za istých ekonomických podmienok umožňujúcich priebežnú údržbu cestných vozoviek.

### 2. Požiadavky na cestnú vozovku

Cestná vozovka musí byť navrhnutá, vybudovaná a udržiavaná tak, aby spĺňala nasledovné požiadavky:

- prevádzkové, zohľadňujúce nároky užívateľov ciest:
  - bezpečnosť cestnej premávky (drsnosť povrchu, rovnosť),
  - pohodlie premávky ovplyvnené nerovnosťou vozovky v priečnom a pozdĺžnom smere,
  - hospodárnosť premávky (valivý odpor, výtlky, rovnosť povrchu).
- technické, zabezpečujúce životnosť vozovky a tým aj nároky správcu komunikácie:
  - dostatočná životnosť konštrukcie vozovky, odolnosť voči opakovaným účinkom dopravného zaťaženia, odolnosť voči trhlinám, trvalým deformáciám a starnutiu,
  - odolnosť vozovky voči opakovaným účinkom dopravy pri nepriaznivých klimatických a hydrologických podmienkach.
- ekonomické, ktoré vyjadrujú:

*Pavement is a very important part of road construction. The authors of this paper deal with problems which are to be solved not only at present but also in the future. They are mainly the following questions: improvement of functional properties of pavement surface, suitable construction parts, computing methods and quality of different pavement layers.*

### 1. Introduction

When we want to address the above issue problem we have to consider the future requirements of road transport. It is necessary to start from the presupposition that the basic objective of road transport will be to create conditions for safe, comfortable and economic operations of road vehicles at given designated speeds during an optimally stipulated life of a pavement construction and under certain economic conditions that enable a continuous road maintenance.

### 2. Pavement Requirements

The pavement has to be designed, constructed and maintained in such a way as to meet the following requirements:

- operational, considering the demands of users of roads. They are as follows:
  - traffic safety of traffic (surface roughness, evenness),
  - traffic comfort, influenced by the surface unevenness in transversal and longitudinal directions,
  - economy, influenced by rolling resistance, pot-holes, evenness and surface conditions,
- technical, providing the pavement life and, consequently, meeting the requirements expressed by the authority in charge of the road. They are as follows:
  - sufficient life of the pavement construction, resistance against repeated impacts of traffic loading, cracks, permanent deformations and ageing,
  - resistance of the pavement against repeated impacts of traffic under adverse climatic and hydrologic conditions,

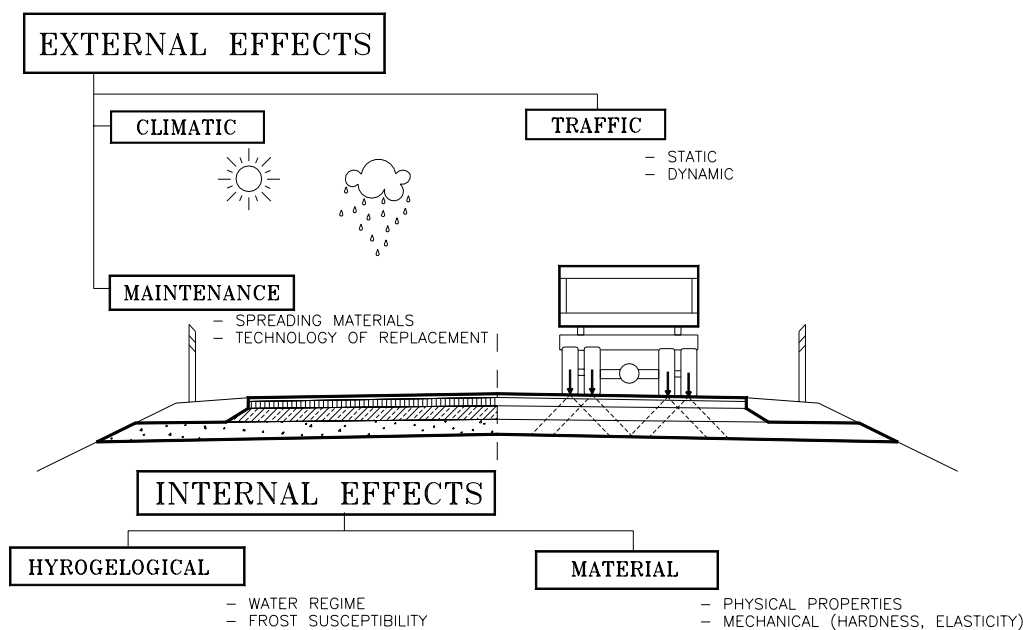
\* Prof. Ing. Ján Čorej, CSc., Ing. Martin Decký  
Faculty of Civil Engineering, Dept. of Highway Engineering, SK 010 01 Žilina, Slovakia  
E-mail: corej@nic.utc.sk

- náklady na stavbu novej vozovky,
- údržbové náklady na stanovený počet opráv počas plánovanej prevádzky.
- ekologické s cieľom ochrany okolitého prostredia
  - znižovanie valivého hluku,
  - znižovanie rozstrekovania zrážkovej vody.
- estetické majú vytvárať:
  - určitú kvalitu prostredia pre vodičov a užívateľov cestnej komunikácie,
  - architektonické dotváranie v konkrétnom obytnom či prírodnom prostredí.

Cestná vozovka je počas behu svojej prevádzky vystavená rôznym vplyvom, ktoré postupne zhoršujú jej funkčné vlastnosti, prevádzkovú spôsobilosť a vedú k jej degradácii. Rozhodujúce vplyvy sú znázornené na obr. 1.

- economic, expressing
  - efficiency in the a construction of the new pavement,
  - efficiency of the maintenance during operations - road management system,
- ecological, aiming at environmental protection, such as:
  - noise reduction at wheel rolling,
  - reduction of the splashing of precipitation water during a vehicle run,
- aesthetic, creating:
  - a certain quality of the environment both for drivers and users of roads,
  - architectural supplement to a concrete dwelling or natural environment.

During its service, the pavement is subjected to various influences that deteriorate its functional properties and operational capacity and lead to its degradation. Critical influences are shown in Fig. 1.



Obr. 1. Vplyvy pôsobiace na cestnú vozovku  
Fig. 1 Influences acting on the pavement

### 3. Konštrukčná skladba vozoviek

V súvislosti so zaužívanými technológiami výstavby, materiálovými možnosťami ako aj požiadavkami na kvalitu povrchu vozovky sú charakteristické štyri typy vozoviek.

1. vozovky asfaltové, ktoré z hľadiska mechaniky vozoviek zaraďujeme ako vozovky netuhé,
2. vozovky s krytom cementobetónovým, ktoré zaraďujeme z hľadiska mechanického správania medzi vozovky tuhé,
3. vozovky kombinované či hybridné, s asfaltovým krytom a cementobetónovým podkladom,

### 3. Constructional composition of pavements

Based on the contemporary technologies of building material conditions as well as on the requirements for the quality of pavement surfaces, four characteristic types of pavements can be classified as perspective:

1. asphalt pavements, classified as non-rigid by pavement mechanics,
2. cement-concrete pavements, also referred to as rigid pavements,
3. combined, or hybrid pavements, with an asphalt coat and a cement concrete subgrade,

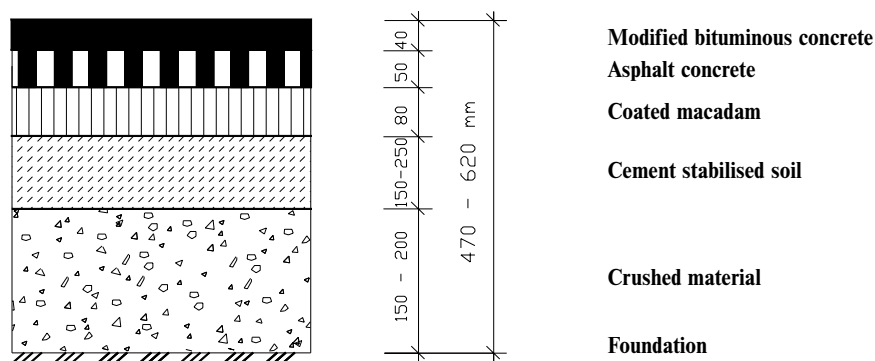


4. vozovky s krytom dláždeným, ktoré sa používajú najmä pre mestské komunikácie

**Asfaltové vozovky** patria - a je zrejmé, že budú aj v budúcnosti patriť - k najrozšírenejším typom konštrukcii vozoviek. Medzi ich hlavné výhody patrí pohodlie jazdy a zaužívané technológie výstavby. Ich najväčším nedostatkom je náchylnosť na vznik trvalých deformácií, hlavne pozdĺžnych kolají a mrazových trhlín.

4. pavements with a flagstone cover, used mainly for urban communications.

**Asphalt pavements** are and will remain the most widely used types of pavements. Their advantages are mostly in driving comfort and verified technologies of building. Their greatest shortcoming is proneness to formation of permanent deformations, mainly, longitudinal ruts and frost cracks in winter.



Obr. 2 Tradičné zloženie asfaltovej - netuhej vozovky  
Fig. 2 Characteristic composition of an asphalt pavement

Majú nižšiu životnosť a z toho vyplývajú zvýšené náklady na údržbu. Základné zloženie konštrukcie, tak ako je prezentované na obr. 2, predstavuje perspektívny trend súčasného dimenzovania netuhých vozoviek.

Pozornosť v budúcich rokoch bude potrebné venovať najmä zlepšovaniu jednotlivých druhov vrstiev (kryt, podklad, ochranná vrstva).

**Cementobetónové vozovky** patria do skupiny vozoviek, ktoré majú aj naďalej svoju perspektívu. Najzávažnejším kladom je najmä dlhšia životnosť a menšie údržbové náklady. K ich nevýhodám patrí najmä.

- hlučnosť jazdy,
- pohodlie jazdy, problém škár.

K perspektívnym technológiám znižujúcich hlučnosť patrí najmä vymývaný betón a drenážny betón.

**Kombinované vozovky** sú vozovky využívajúce dobré vlastnosti cementobetónových i asfaltových materiálov pri vhodnom konštrukčnom zložení. Sú to najmä vozovky, ktorých nosnou časťou sú staré cementobetónové vrstvy prekryté asfaltovou vrstvou. Využíva sa tu pevnosť a trvácnosť cementobetónových vrstiev a jazdný komfort asfaltových povrchov.

Kryty kombinovaných vozoviek sú často vytvárané z drenážnych asfaltových zmesí hrúbky 40 až 70 mm. Zásadným problémom, ktorý nie je doposiaľ uspokojivo vyriešený, je kopírovanie škár.

**Dláždené vozovky** sú perspektívne hlavne v niektorých častiach mestských komunikácií (zastávka MHD, prístupové komunikácie a pod.).

They require costly maintenance. A perspective composition of an asphalt pavement can be seen in Fig. 2.

Special attention will have to be paid to the improvement of physical and mechanical properties of particular layers (surfacing, subgrade, capping layer).

**Cement-concrete pavements** will also be common in the future. When compared with asphalt pavements, cement-concrete pavements feature longer life and lower maintenance costs. Their shortcomings are:

- excessive noise during driving,
- lower driving comfort, and joint problems.

Perspective technologies that will reduce noise include washable and drainage concrete, two-layer coats, etc.

**Combined pavements** make use of the good properties of the cement-concrete and asphalt pavements at an appropriate structural composition. They are mostly pavements which include old cement-concrete layers overlaid with an asphalt layer. The strength and durability of cement-concrete layers are combined with the driving comfort of asphalt surfaces.

Surfacing of combined pavements is often made of drainage asphalt mixtures with a thickness ranging from 40 to 70 mm. The basic problem, which has not been satisfactorily solved, is the copying of joints.

**Pavements with flagstone cover** are mainly used in sections of urban transportation (public transport stops, access roads, etc.).

#### 4. Výpočtové modely konštrukcií vozoviek

Jedným z predpokladov kvalitnej konštrukcie vozovky je exaktné stanovenie zloženia a hrúbok jednotlivých vrstiev. Postupne v priebehu ostatných 20-30 rokov boli u nás i v okolitých štátoch Európy rozpracované podrobné metodiky dimenzovania a posudzovania konštrukcií vozoviek.

Charakteristickým znakom týchto metód je, že posudzujú konštrukciu z dvoch aspektov, a to z hľadiska:

- dostatočnej odolnosti voči tvorbe únavových trhlín podkladových vrstiev vozovky, či vyjazďovaniu kolají v asfaltových vrstvách krytu,
- dostatočnej ochrany voči nepriaznivým účinkom mrazu, ako na podložie a tak aj na povrchové vrstvy.

Vstupnými charakteristikami sú údaje o dopravnom zaťažení podrobne špecifikované návrhovými zataženiami, údaje o materiálových vlastnostiach (fyzikálno-mechanické vlastnosti vrstiev vozovky), údaje o hydrogeologických a klimatických podmienkach.

K vyššie uvedeným metódam patrí aj metodika používaná u nás v zmysle STN 73 61 14. Je možné predpokladať, že metodika výpočtu sa bude používať aj v budúcich rokoch. Možnosti skvalitňovania návrhu konštrukcie vozovky budú spočívať najmä v spresňovaní vstupných hodnôt pre výpočet napätí a pretvorení, v spresňovaní metód stanovenia deformačných charakteristík, pevnostných, teplo-technických či únavových charakteristík.

V súvislosti s ďalším vývojom výpočtových metód bude potrebné zosúladiť požiadavky s poznatkami EÚ. Základná zmena sa bude hlavne týkať skladby ťažkých nákladných vozidiel (TNV) a ich charakteristík, čo povedie ku zmene koeficientov pre výpočet množstva TNV, ďalej je to prechod na vyššie nápravové tlaky - 11,5 kN, prepočet na návrhové nápravy, nové druhy pneumatik a pod.

Presnosť výpočtov pri posudzovaní vozovky je silne závislá od presnosti degračných modelov a funkcií ako je pokles pevnosti a deformačných charakteristík od teploty vrstiev.

K hodnoteniu okamžitého stavu cestnej vozovky sa vo svete často využíva subjektívny spôsob hodnotenia tzv. indexu prevádzkovej spôsobilosti vyjadrený v tvare:

$$IPS_{(t)} = 5,03 - 1,91 \log(1 + SV) - 0,01 C^{0,05} - 1,38 RD^2 \quad (1)$$

kde:

$IPS_{(t)}$  - index prevádzkovej spôsobilosti v čase t,

$SV$  - hodnotenie pozdĺžnej nerovnosti,

$RD$  - hĺbka kolaje,

$C$  - podiel trhlín na ploche vozovky.

Ch. Molzer [3] udáva pokles hodnoty IPS v čase t vzťahom (2).

$$IPS_{(t)} = p_o - (p_o - p_e) \left( \frac{\omega}{\rho} \right)^\beta \quad (2)$$

#### 4. Calculation models of pavement constructions

When we want to improve the quality and life of roads we have to make input characteristics and calculation methods of road constructions more exact. Detailed methods of dimensioning and assessment of pavement constructions were gradually elaborated in our country and in neighbouring European countries during the last 20-30 years. The characteristic feature of the above methods is that the pavements are assessed from two points of view:

- sufficient resistance against fatigue cracks or ruts, and
- sufficient protection against the adverse impact of frost.

Input characteristics, for these methods include: data about traffic load specified by a transit number of the equivalent standard axle load, material properties (physical and mechanical facilities of the construction layers), and hydrogeological and climatic conditions.

The method known as STN 73 61 14 used in our country also belongs to the above mentioned methods. This method is also expected to be used in the years to come. A certain possible improvement of the design of pavement construction lies in more precise input values for calculation of stress and distortions, and in more exact methods for determining deformation characteristics of strength or fatigue characteristics.

Regarding the further development of our calculation method, our criteria will have to be in compliance with the EU requirements. The basic change will mostly concern a composition of heavy-duty lorries and their characteristics which will lead to a change of coefficients necessary for calculation of a number of heavy-duty lorries. It will further result in a change toward higher axle pressures - 11.5 kN, new types of tyres, etc.

Precision of the calculation needed for the assessment of the pavement will further depend on how precise degradation models are and on their function, such as a decrease in strength and deformation characteristics, on temperature of layers, etc.

Foreign evaluations of a momentary state pavement are often realised by subjective method - present serviceability index (PSI) expressed by the equation:

$$IPS_{(t)} = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 0.01 C^{0.05} - 1.38 RD^2 \quad (1)$$

where:

$IPS_{(t)}$  - present serviceability index (PSI) in time „t“,

$SV$  - valuation of longitudinal unevenness,

$RD$  - rut depth,

$C$  - rate of cracks on the pavement area.

Ch. Molzer [3] specifies the decrease of IPS in time „t“ by equation (2).

$$IPS_{(t)} = p_o - (p_o - p_e) \left( \frac{\omega}{\rho} \right)^\beta \quad (2)$$

kde:

- $p_o$  - stav v čase  $t$ ,
- $p_e$  - konečný stav IPS,
- $\omega$  - počet prejazdov návrhových náprav,
- $\rho, \beta$  - funkcie závislé od typu vozovky.

Nadalej je potrebné venovať pozornosť štúdiu teplotného režimu (jeho charakteristik) a únavových modelov, a to najmä ich hraničných hodnôt.

### 5. Súčasná a budúce požiadavky na kvalitu jednotlivých vrstiev vozovky

Kryt vozovky je najdôležitejšou súčasťou cestnej vozovky. Kumuluje sa v čase veľa funkcií ako:

- zabezpečenie dokonalého kontaktu pneumatiky s vozovkou,
- prenos síl z kolesa do podkladu a podložia,
- dobré podmienky pre pohyb vozidla (valivý odpor),
- drenážne vlastnosti - odtok vody z povrchu,
- izolácia proti zatekaniu vody do podložia,
- estetické požiadavky, farba povrchu,
- znižovanie hlučnosti,
- dostatočná životnosť, aby nedochádzalo ku rušeniu premávky.

**Drsnosť vozovky** jedna z rozhodujúcich vlastností povrchu ovplyvňuje predovšetkým bezpečnosť cestnej premávky. Z hľadiska technických požiadaviek sa v mnohých krajinách sveta vyžadujú dostatočné protišmykové vlastnosti vyjadrené najmä súčiniteľom pozdĺžneho trenia na mokrej vozovke. Hodnoty sú zvyčajne závislé na návrhovej rýchlosti cestnej komunikácie. V súčasnosti je potrebné venovať hlavnú pozornosť zosúladieniu spôsobov meraní protišmykových vlastností a určeniu ich kritických hodnôt.

where:

- $p_o$  - state in time „ $t$ “,
- $p_e$  - final state of IPS,
- $\omega$  - number of equivalent standard axle load,
- $\rho, \beta$  - type pavement dependence functions.

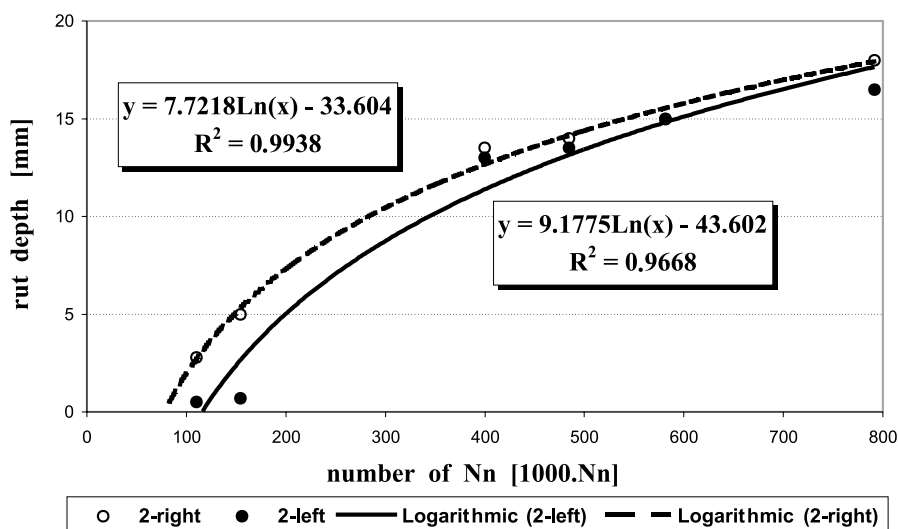
Attention will further be paid to the study of a temperature regime (its characteristics) and fatigue characteristics, mainly their boundary values.

### 5. Requirements for the quality of the pavement layers

The pavement coat is the most important part of the pavement as it combines several functions, such as:

- providing a perfect contact between the a tire and the pavement,
- transferring forces from the wheel to the subgrade and to the subbase,
- providing good conditions for movement of the vehicle (evenness, rolling resistance),
- maintaining drainage properties - drainage of water from the surface,
- insulating against leakage of water to the subbase,
- maintaining aesthetic requirements, colour of the surface,
- reducing noise,
- sustaining life in order to avoid repairs of the pavements which interfere with traffic.

**The pavement roughness** is one of the decisive properties of the pavement coat which influences, first of all, safety of traffic. Many countries of the world require anti-friction properties expressed mainly by means of a coefficient of longitudinal friction on wet pavements. The values are usually dependent on the designing speed of the road. It is also necessary to pay attention



Obr. 3. Degradáčny model hĺbky kolaje dláždenej autobusovej zastávky  
Fig. 3 Rut depth deterioration model of the sett paving bus stop

**Priečne nerovnosti** ovplyvňujú bezpečnosť a pohodlie dopravy a ďalšie charakteristiky povrchu asfaltovej vozovky. Sú rozhodujúcim vstupným parametrom pri posudzovaní prevádzkovej spôsobilosti vozovky.

V mnohých krajinách Európy sú stanovené kritické hodnoty strednej teoretickej hĺbky priečnej nerovnosti, ktoré sú zvyčajne vyjadrené piatimi kvalitatívnymi stupňami, pričom maximálne hodnoty sa pohybujú cez 20 mm. Pre predpovede vývoja tohto javu sa využívajú degradačné modely priečných nerovností, zvyčajne stanovené pre konkrétnu konštrukciu vozovky. Na obr. 3 je uvedený príklad riešenia degradačného modelu vozovky s dláždeným povrchom podľa obr. 4, ktorý bol zistený na základe meraní autorov.

Na základe experimentálnych meraní môžeme vyjadriť hĺbku kolaje vo všeobecnom tvare podľa rovnice 3:

$$y_{hk} = A \ln(N_n) + B \quad (3)$$

kde:

- $y_{hk}$  - prognózovaná hĺbka kolaje, (mm)
- $N_n$  - počet prejazdov návrhových náprav
- $A, B$  - experimentálne získané koeficienty.

to diagnostic methods of measuring the antifriction properties of the pavement surface and determining their critical values.

**Transversal unevenness** influences safety and comfort of transport and further characteristics of the surface of asphalt pavements. They are decisive input parameters when assessing an operational capability of the pavement.

In many European countries critical values of mean theoretical depth of transversal unevenness have been determined. They are usually expressed in five qualitative degrees, maximum values exceeding 20 mm. Degradation models of transversal unevenness are used to forecast the development of the phenomenon. The models are usually given for a particular pavement construction.

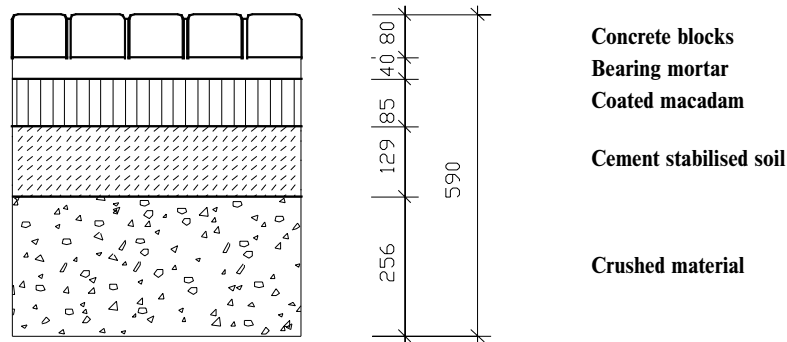
An example of a solution according to the authors' measurements is presented in Fig. 3. This deterioration model has been detected for a sett paving bus stop following Fig. 4.

Following our experimental measurements we can express rut depth in a general form by equation 3:

$$y_{hk} = A \ln(N_n) + B \quad (3)$$

where:

- $y_{hk}$  - a prognosis of the rut depth, (mm)
- $N_n$  - transit number of the equivalent standard axle load
- $A, B$  - experimentally obtained coefficients.



Obr. 4. Konštrukčná skladba posudzovanej autobusovej zastávky  
Fig. 4 A composition of the evaluated sett paving

V budúcnosti je potrebné venovať pozornosť spresňovaniu týchto degradačných modelov so zohľadnením viacerých parametrov, ako je:

- teplotný režim vozovky (najmä počet horúcich letných dní),
- únosnosť podložia vozovky,
- počet prejazdov návrhových náprav.

Príkladom takého vyjadrenia môže byť vzťah odvodený v SRN [2].

$$RD = 3,36 \cdot 10^{-3} ST - 0,02 E_{V2} + 9,69 \cdot 10^{-4} \sqrt{LM} + 2,49 \quad (4)$$

In the future the degradation models will have to be made more exact, with more parameters aimed at items such as:

- a pavement temperature regime (mainly a number of hot summer days),
- the bearing capacity of the pavement subbase,
- a transit number of the equivalent standard axle load

The relation derived in the standard [2] can serve as an example of the expression

$$RD = 3.36 \cdot 10^{-3} ST - 0.02 E_{V2} + 9.69 \cdot 10^{-4} \sqrt{LM} + 2.49 \quad (4)$$

kde:

- $RD$  - prognóza vývoja hĺbky priečnej nerovnosti v mm,  
 $ST$  - počet letných horúcich dní,  
 $E_{v2}$  - modul deformácie podľa nemeckých postupov, [MN.m<sup>-3</sup>]  
 $LM$  - dopravné zaťaženie v tonách.

K perspektívnym technológiám pre kryty vozoviek, najmä ich obrusných vrstiev, môžeme zaradiť: asfaltové betóny mastixové aj s pridaním modifikačných prísad, asfaltové mikroberce, asfaltové koberce drenážne a pod. U cementobetónových krytov sú to najmä dvojvrstvové technológie a ďalšie.

**Podkladové vrstvy** zabezpečujú prenos silových účinkov z krytov vozoviek do nižšie položených ochranných vrstiev a podložia. Sú vystavené ešte vysokým hodnotám zvislých napätí od dopravného zaťaženia a často najväčším radiálnym napätiam, ktoré spôsobujú trhliny vo vrstve a tým koniec životnosti vrstvy a vozovky. Aby nevznikla trhlina, musí pri posúdení asfaltových vozoviek platiť:

$$\frac{\sigma_r}{R_i S_u} \leq 1 \quad (5)$$

kde:

- $\rho_r$  - radiálne napätie vo vrstve, [Mpa]  
 $R_i$  - pevnosť v ťahu za ohybu, [Mpa]  
 $S_u$  - súčiniteľ únavy.

Účinok zvislých síl sa prejaví na vozovke vznikom zvislých a radiálnych napätí v konštrukcii vozovky, priebeh ktorých je uvedený na obr. 5.

Značný problém vzniká pri asfaltom stmelených podkladových vrstvách, v ktorých najmä vplyvom teplot dochádza ku poklesu takých vlastností, ako je pevnosť vrstvy  $R_i$ , jej modulu pružnosti a pod. Pre zabezpečenie správnosti návrhu je potrebné čo najpresnejšie stanoviť teploty vrstiev počas roka. U nás sa asfaltové vrstvy posudzujú na štyri periódy roka (štyri rôzne teploty), v Rakúsku na 6 periód [3]. Pozornosť bude potrebné venovať spresňovaniu teplotného režimu vozoviek, zlepšovaniu fyzikálno-

where:

- $RD$  - a prognosis of the development of a lateral unevenness depth in mm,  
 $ST$  - a number of hot summer days,  
 $E_{v2}$  - a deformation modulus according to the German procedures [MN.m<sup>-3</sup>]  
 $LM$  - traffic loading in tons.

Asphalt mastic concrete with modification additives, asphalt microcarpets, asphalt drainage carpets, etc. can be referred to as progressive technologies suitable for pavement coats, especially for their abrasive layers. In the group of cement-concrete coats, there are mainly two-layer technologies to mention.

**Subgrade layers** provide transfer of force impacts from the pavement coats to protective layers located below and to the subbase. They are exposed to high perpendicular effects from the traffic loading and often to the greatest radial stresses which cause cracks in the layer and, consequently, terminate both the layer and pavement service life. In order to avoid crack formation, the following relation must hold:

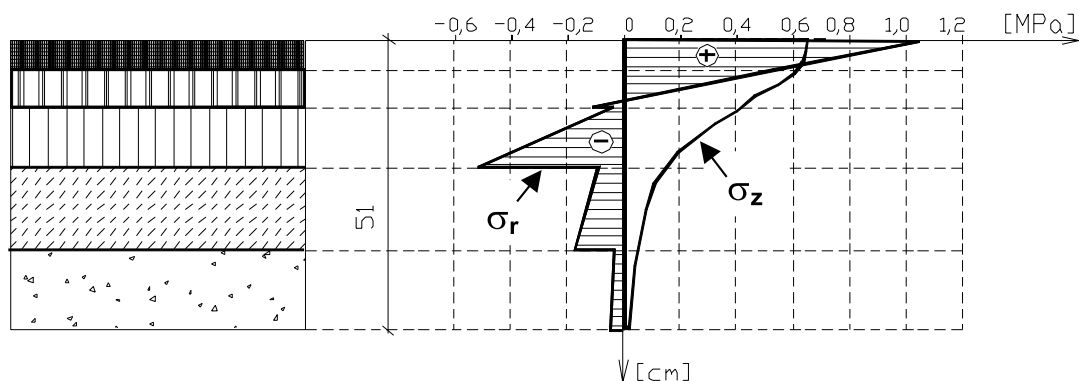
$$\frac{\sigma_r}{R_i S_u} \leq 1 \quad (5)$$

where:

- $\sigma_r$  - radial stress in the layer, [MPa]  
 $R_i$  - tensile stress at bending, [MPa]  
 $S_u$  - fatigue coefficient

Horizontal and vertical stresses in the pavement structure are generated by an influence of a wheel load. The process of these stresses is shown in Fig. 5.

**Mastic asphalt subgrade layers** cause a considerable problem. In these layers, due to temperature changes there is a decrease in such properties as the strength of the layer  $R_i$ , its modulus of elasticity, etc. In order to achieve a correct design it is necessary to determine temperatures of the layers within a period of the whole year as exactly as possible. In our country, the asphalt layers are assessed for four periods of the year (four different temperatures); in Austria for six periods [3]. Attention will have to be paid to a more precise



Obr. 5. Priebeh zvislých a radiálnych napätí v konštrukcii netuhej vozovky  
 Fig. 5 Horizontal and vertical stresses in the asphalt pavement structure

mechanických vlastností vrstiev najmä odolnosti asfaltových zmesí voči porušovaniu šmykom.

**Nestmelené podkladové vrstvy** sa často používajú ako spodné podkladové vrstvy a tiež ako vrstvy ochranné, zabezpečujúce ochranu podložia pred nepriaznivými účinkami mrazu. Ich mechanická účinnosť je závislá od druhu a zloženia zrn kameniva, ale najmä na únosnosti spodných vrstiev či podložia. K perspektívnym vrstvám je možné zaradiť napr. mechanicky spevnené kamenivo - minerálny betón.

**Spodné podkladové vrstvy** plnia predovšetkým funkciu vrstvy ochrannej. Pritom sa aj naďalej bude využívať:

- pri nestmelených vrstvách ich hrúbka tak, aby nebola prekročená dovolená hodnota namáhania podložia, pričom musí platiť:

$$\sigma_z \leq \sigma_{dov} \quad (6)$$

- dobrá tepelno-izolačná schopnosť, aby sa zabezpečil potrebný tepelný odpor vozovky.

**Podložie vozovky** tvorí základ pre celú konštrukciu vozovky. Jeho únosnosť bude závislá od druhu zeminy, vodného režimu a klimatických podmienok. Kritickou hodnotou pri dimenzovaní vozovky zostáva tzv. jarná únosnosť, ktorá sa stanovuje z tzv. strednej hodnoty únosnosti. Pri poklese únosnosti pod určitú hodnotu je potom potrebné uvažovať s vylepšovaním podložia buď mechanickým spevnením alebo hydraulickými spojivami.

## 6. Záver

V príspevku boli prezentované základné pohľady na konštrukciu cestnej vozovky, jej zloženie, systém návrhu, ako aj vlastností jednotlivých vrstiev. Je nutné zdôrazniť, že aj naďalej je potrebné venovať pozornosť definovaniu požiadaviek na konštrukciu cestnej vozovky, spresňovať kritériá na jej posudzovanie ako aj definovať požiadavky na jednotlivé vrstvy. Určité rezervy sú najmä v zlepšovaní fyzikálno-mechanických vlastností jednotlivých vrstiev, v spresňovaní vstupných údajov pre výpočet, v stanovení degračných modelov konštrukcie vozovky a jej vrstiev, ako aj v stanovení ich prahových hodnôt.

## Literatúra

- [1] ČOREJ, J., DECKÝ, M.: Cestné vozovky z hľadiska ich funkčnej spôsobilosti. In: Zborník konferencie TU Košice, 1997
- [2] RÜBENSAM, J.: Modelle zur Prognose der Zustandsentwicklung von Strassenbefestigungen. In: Mitteilungen IS TU Wien Heft 7, 1996
- [3] MOLZER, Ch., LITZKA, J.: Auswertung und Analyse der Zustanderfassung 1995. Mitteilungen 8, ISTU Wien 1997
- [4] ČOREJ, J., ČELKO, J., VOZÁRIKOVÁ, M.: Vodnoteplotný režim vozovky a podvalového podložia. ES VŠDS Žilina, 1995.

temperature regime of pavements, to the improvement of physical and mechanical properties of the layers, and especially to the resistance of asphalt mixtures against damage due to shear.

**Non-mastic subgrade layers** are often used as bottom subgrade layers and also as protective layers protecting the subbase against adverse impacts of frost. Their mechanical efficiency depends on a type and composition of stone grains, and, mainly, on the bearing capacity of bottom layers of the subbase. Mineral concrete, i.e. a mechanically strengthened quarry can be mentioned as a perspective layer to be used in the future.

**Sub-base layers** serve first of all as protective layers. They will also be used in the future:

- their thickness will be used in non-mastic layers so that the permitted value of the subbase loading will not be exceeded. The following relation must hold:

$$\sigma_z \leq \sigma_{dov} \quad (6)$$

- a good thermo-insulating ability will be used to ensure the required thermal resistance of the pavement.

**The pavement foundation** is a basis for the whole construction of the pavement. Its bearing capacity will depend on the type of soil, water regime and climatic conditions. When dimensioning the pavements, the critical value represents the so-called spring bearing capacity which is determined from the so-called mean value of the bearing capacity. When the bearing capacity decreases under a certain minimum value it is then necessary to think of possible improvement of the foundation either by means of mechanical mastic or by means of hydraulic bindings.

## 6. Conclusions

The paper presents the basic approaches to the construction of the pavement, its composition, the system of its design as well as the properties of particular layers. It has to be pointed out that permanent attention is to be paid to definitions of requirements for the construction of a pavement, to precise and exact criteria for its assessment and also to definitions of the requirements for particular layers. There is still more that can be done: improve physical and mechanical properties of the layers, make input data needed for calculations more exact, determine deterioration models for the construction of the pavement and its layers as well as determine their threshold values.

## References

- [1] ČOREJ, J., DECKÝ, M.: Cestné vozovky z hľadiska ich funkčnej spôsobilosti. In: Zborník konferencie TU Košice, 1997
- [2] RÜBENSAM, J.: Modelle zur Prognose der Zustandsentwicklung von Strassenbefestigungen. In: Mitteilungen IS TU Wien Heft 7, 1996
- [3] MOLZER, Ch., LITZKA, J.: Auswertung und Analyse der Zustanderfassung 1995. Mitteilungen 8, ISTU Wien 1997
- [4] ČOREJ, J., ČELKO, J., VOZÁRIKOVÁ, M.: Vodnoteplotný režim vozovky a podvalového podložia. ES VŠDS Žilina, 1995.

Ivan Malíček \*

## MODERNIZÁCIA ŽELEZNIČNÝCH UZLOV

### MODERNISATION OF RAILWAY JUNCTIONS

*Modernizácia železničnej dopravy nie je možná bez komplexnej modernizácie železničných staníc a uzlov, čo bude vlastne ich príprava na plnenie hlavných úloh železnice v budúcich rokoch. V príspevku sú uvedené niektoré najnutnejšie opatrenia, bez splnenia ktorých nebude môcť železnica konkurovať iným druhom dopravy.*

Na konferencii „Komunikácie na prelome tisícročia“ sme sa zaoberali problematikou dopravy ako zvláštnej oblasti hmotnej výroby, ktorej užitná hodnota nie je vecného charakteru, ale spočíva v procese premiestňovania osôb a tovarov, bez čoho nemôže spoločnosť existovať. Na tejto činnosti sa významne podieľa a aj v budúcnosti sa bude podieľať viacero dopravných systémov, medzi ktorými mala, má a bude mať špecifické a niekedy dominantné postavenie železničná doprava, a to i napriek prudkému rozvoju iných druhov dopravy.

Železničné zariadenia vznikali postupne, a to za iných technických, ekonomických a spoločenských podmienok ako sú teraz, a preto nie vždy železnica plní všetky súčasné požiadavky na prepravné potreby obyvateľstva. Prejavuje sa to najmä presunom prepravnej práce na iné druhy dopravy. V našich podmienkach najmä na dopravu automobilovú, a to nielen na krátke, ale i na dlhé vzdialenosti - pozri obrovský nárast kamiónov a všetky negatíva, čo sú s tým spojené - požiadavky na výstavbu diaľnic, miestnych komunikácií, parkovísk, zaťaženosť dopravných uzlov - doslova zápchy hraničiace v niektorých prípadoch s dopravným kolapsom.

Jedným slovom maximálne sa rozvíja neekologická, neekonomická a menej bezpečná automobilová doprava, pričom ekologickejšia, hospodárnejšia a k životnému prostrediu šetrnejšia železničná doprava zaostáva. Ak sa nepristúpi k modernizácii a doslova k prispôbeniu železnice k novým podmienkam, bude v najbližšej budúcnosti problém oveľa naliehavejší. Podľa „Správy Populačného fondu OSN (UNFPA) o stave svetového obyvateľstva“ (Bon - september 1998) prekoná v roku 1999 svetová populácia hranicu 6 miliárd ľudí. Počet obyvateľov sa oproti roku 1960, teda za necelých 40 rokov, zdvojnásobí.

Nárast z 5 na 6 miliárd sa ľudstvu podarilo prekonať za 12 rokov.

Napriek tomu, že 90 % nárastu obyvateľstva tvorí tzv. tretí svet - rozvojové krajiny, bude sa tento vývin dotýkať i štátov Európy.

*Modernisation of railway transport is not possible without complex modernisation of railway stations and junctions. This modernisation will actually mean their preparation for implementation of the main tasks of railway for the future. The paper presents some of the most necessary arrangements, without which the railway will not be able to compete with other modes of transport.*

In the conference „Communications on the Edge of the Millennium“ we were dealing with transport problem as the specific sphere of material production, derived value of which are not of material character but results are in the process of transfer of passengers and goods, without which the society cannot exist. In this activity several transport systems, at present and also in the future will play significant role. Among the transport systems, the railway transport had, has and will have specific and sometimes dominant position and this is true even in spite of rapid development of other modes of transport.

The railway facilities were built gradually in the past in different technical, economic and social conditions which are at present, and that is why the railway does not always fulfil all present transport needs of population. The results are a shift from railway to the other modes of transport. In our conditions specifically to car transport, not only for short but also long distances - see tremendous increase in number of trucks with all negative effects - demands for construction of highways, urban communications, parking areas, overloading of transport junctions - literally traffic jams resulting in some cases in traffic collapse.

In brief, the environmental unfriendly, uneconomical and less safe road transport is rapidly developing, while the more ecological and environmental friendly railway transport stays behind. If measures for modernisation and literally for adaptation of railway to the new conditions are not taken, the problem in near future will be much more acute. According to the „Report of UN Population Fund (UNFPA) on the state of the world population“ (Bonn - September 1998), the world population in the 1999 will grow the over 6 billion. The number of inhabitants will be doubled since 1960, that is within less than 40 years. Population increased from 5 to 6 billion in 12 years.

Even though the 90 % increase of inhabitants belongs to the so called third world - underdeveloped countries, this development will concern the countries in Europe, too. The evidence is the

\* Prof. Ing. Ivan Malíček CSc.,

Department of Railway Engineering and Track Economy and Management, Faculty of Civil Engineering, University of Žilina, Komenského 52, 010 26 Žilina, Slovak Republic, Tel. +421-89-7634818, fax +421-89-33502, e-mail kzs@fstav.utc.sk

Dôkazom je mimoriadna migrácia obyvateľstva z rozvojových krajín tretieho sveta do vyspelých krajín Európy.

Problém je čím ďalej tým naliehavejší najmä v mestách a ich okolí. Podľa „Úhrnnej správy o ľudských sídliskách“, vydané v marci 1995 Strediskom pre ľudské sídliská (HABITAT), sa svetová populácia stáva čoraz viac mestskou. Podľa tejto správy žilo v roku 1950 v mestách a centrách iba 30 % ľudí, v roku 1995 už 40 %. Po roku 2000 sa očakáva, že každý druhý občan bude bývať v mestskej oblasti. Nárast bude prevažne v malých a stredných mestách a centrách. Svetové veľkomestá s vyše 10 miliónmi obyvateľov zvyčajne pokrývajú len 4 % celosvetovej populácie. Nárast mestských aglomerácií je výsledkom trvale rastúcej vidiecko-mestskej migrácie, ako aj postupnej transformácie vidieckych oblastí na mestské centrá, čo pochopiteľne kladie a bude klásať stále sa zvyšujúce nároky na ich dopravnú obsluhu. Dopravné riešenie mestských sídelných útvarov, ktoré sú vlastne dopravnými a železničnými uzlami, sa stáva čím ďalej, tým naliehavejším problémom života spoločnosti, čo sa už dostatočne ostro začína prejavovať i u nás. Zvládnutie nových nárokov na prepravné potreby nebude možné bez zvýšenia technickej úrovne železničnej dopravy, t. j. bez jej komplexnej modernizácie [1].

Cieľom modernizácie železničnej dopravy sa sleduje najmä:

- skrátenie času na prepravu
- bezpečnosť prepravy
- kultúra cestovania
- zvládnutie požadovaných záťažových prúdov (na stredné a veľké vzdialenosti, prímestská doprava, respektíve prímestsko-mestská doprava atď.)
- ekonomika prepravy
- ochrana životného prostredia atď.

Ako už bolo naznačené, k tomu, aby železnica mohla plniť svoje úlohy v súčasných hospodárskych podmienkach a aby bola schopná konkurovať iným, často ekonomicky a ekologicky menej výhodným druhom dopravy, bude nutné venovať jej infraštruktúre oveľa väčšiu pozornosť ako je tomu doteraz. V prvom rade je bezpodmienečne nutné včas splniť tie technické kritériá, ku ktorým sa ŽSR zaviazali ratifikovaním medzinárodných dohôd o rozvoji železničnej infraštruktúry, ako sú dohody AGC, AGTC a iné.

V „Zásadách modernizácie vybranej železničnej siete“ vydaných ČD a tiež i ŽSR sa rozlišujú pojmy „modernizácia trate“ a „optimalizácia trate“ [3]. Modernizáciou trate sa rozumie súhrn opatrení, ktoré umožňujú na danej trati zvýšenie najväčšej traťovej rýchlosti, triedy zaťaženia, priestorovú priechodnosť a prevádzku jednotiek s výkyvnými skriňami ( $v_{\max} = 160$  km/h, traťová trieda zaťaženia D4 UIC pre  $v = 120$  km/h, ložná miera UIC GC a širšie vozidlá).

Modernizáciu staníc a najmä uzlov treba chápať širšie. Všeobecne je možné povedať, že pod modernizáciou železničných staníc rozumieme komplexnú prestavbu ich infraštruktúry pri dodržiavaní zásad modernizácie tratí a to tak, aby doterajšie zariadenia železničných staníc, v minulosti vznikajúce v iných technic-

extraordinary migration of inhabitants from underdeveloped countries of the third world to developed countries of Europe.

The problem is more and more urgent especially in towns and their surroundings. According to the “Global Report on Human Habitations” issued in March 1995 by the Centre for Human Habitations (HABITAT), the world population has become more and more urban. According to this report, in the year 1950 only 30 % of people lived in towns and centres, in 1995 it was already 40 %. After the year 2000 it is expected that every second inhabitant will live in an urban region. The increase will be in the small and middle size towns and centres. World large cities with more than 10 million inhabitants usually cover only 4 % of the world population. The increase of town agglomerations is the result of permanently increasing village - town migration, as well as gradual transformation of rural regions into town centres, which of course raises and will raise ever growing requirements on their transport services. The traffic in towns, which are actually the transport and railway junctions, is becoming a more and more urgent problem of society, that is clearly evident in our country. Managing new demands of transport needs will not be possible without the increase of railway transport technical level or, in other words, without the complex modernisation of railway transport [1].

The objectives of railway transport modernisation are especially:

- shortening of travelling time
- transport safety
- transport culture
- managing the required traffic flows (medium and long distances, suburban transport, suburban - city transport, etc.)
- transport economy
- protection of the environment, etc.

To fulfil the tasks the railway is facing in the present economic conditions and to be able to compete with other, mostly economically and environmentally less favourable modes of transport, it will be necessary to pay much more attention to its infrastructure than it has been by now. First of all it is unconditionally necessary to fulfil the technical criteria to which ŽSR (Slovak Railways) have been obliged by ratifying the international agreements on railway infrastructure development, such as the AGC, AGTC and other agreements, on times.

In the „Principles of Modernisation of Chosen Railway Network“ published by ČD (Czech Railways) and also ŽSR (Slovak Railways) the concepts „modernisation of track“ and „optimisation of track“ are differed [3]. By modernisation of track, we understand a set of measures which give a possibility on a given track to increase the highest track speed, the class of load, space crossing and operation of units with tilting bodies ( $v_{\max} = 160$  km/h the class of load D4 UIC for  $v = 120$  km/h UIC GC and wider vehicles).

Modernisation of railway stations and especially junctions has to be understood broader. Generally it can be said that modernisation of stations means complex rebuilding of their infrastructure by keeping principles of modernisation of tracks so that existing equipment of railway stations, developed in other



kých, ekonomických, ekologických, spoločenských a hospodárskych podmienkach, nadobudli modernú podobu a mohli opäť teraz i v budúcnosti poskytovať svoje služby na úrovni doby a aby ich technický stav umožnil železnici úspešne konkurovať iným druhom dopráv.

V našich podmienkach bude okrem iného nutné:

1. V menších staniaciach:
  - dokončiť peronizáciu (prípadne poloperonizáciu), čím sa vytvorí podmienky pre bezpečnosť a vyššie pohodlie cestujúcich,
  - modernizovať priestory pre cestujúcich a skultivovať ich vzhľad a iné.
2. Vo väčších staniaciach:
  - oddeliť zariadenia (kofaje) pre osobnú dopravu od dopravy nákladnej
  - dokončiť peronizáciu osobných častí staníc, zriadiť mimoúrovňové prístupy cestujúcich na nástupištia,
  - modernizovať priestory pre cestujúcu verejnosť, skultivovať ich vonkajší a vnútorný vzhľad, zvýšiť počet poskytovaných služieb pre cestujúcich (bufety, reštaurácie, stánky atď.),
  - modernizovať prednádražia, zjednodušiť prechod medzi železničnou a mestskou, prípadne individuálnou dopravou, riešiť problémy s parkovaním automobilov v blízkosti železničných staníc (i za cenu podzemných alebo nadzemných parkovacích priestorov atď.),
  - postupne likvidovať niektoré zariadenia slúžiace nákladnej doprave nachádzajúce sa v blízkosti osobnej časti stanice a situovať ich tak, aby nerušili prostredie, kde sa koncentruje cestujúca verejnosť.
3. V železničných uzloch:
  - a) V osobnej doprave v uzloch:
    - brať do úvahy, že železničný uzol je súčasťou dopravného uzla a že je v ňom nutné časove a priestorove zosúladiť možnosti a požiadavky rôznych druhov dopráv,
    - v mestách do jedného milióna obyvateľov vytvoriť v uzle jednu centrálnu osobnú železničnú stanicu, do ktorej by mali prichádzať všetky druhy osobných vlakov a zaustiť do nich i vlaky prímestskej dopravy, a to i za cenu riešenia koľajiska v rôznych úrovniach, k železničnej stanici viesť trasy metra a MHD.
    - Umožniť rýchly a pohodlný prechod cestujúcich medzi rôznymi druhmi vlakov, ale aj medzi rôznymi druhmi dopráv.
    - Technické zariadenia pre obsluhu osobných vlakov situovať v priamej návaznosti na centrálnu stanicu mimo obytnej zóny mesta (odstavné stanice).
  - b) V nákladnej doprave v uzle:
    - rušiť tradičné zariadenia pre nakládku a vykládku tovarov v centre uzla a premiestniť ich mimo obytných zón mesta,
    - koncentrovať vlakotvorbu do menšieho počtu dobre technicky vybavených zriaďovacích staníc situovaných mimo centrálnu časť uzla,

technological, financial, ecological, social and economic conditions in the past would adopt a modern form and could again offer their services on the present day level and also in the future, and so that their technical conditions would facilitate the railway transport to compete successfully with other modes of transport.

In our conditions, in addition to other tasks, it will be necessary to:

1. In smaller size stations:
  - complete the construction of platforms (or half-platforms), which will create conditions for safety and higher comfort of passengers,
  - modernise the space for the passengers and improve their look, etc.
2. In larger stations:
  - separate facilities (tracks) for passenger transport from those for freight transport,
  - complete the construction platforms of parts of station for passengers, build multilevel passenger gangways to platforms,
  - modernise areas for passengers, improve their inner and external appearance, increase number of services offered for the passengers (snack bars, restaurants, kiosks, etc.),
  - modernise formation yards, simplify transfer between railway and urban transport, or individual transport, solve problems with car parking near railway stations (even in the case when they were underground or elevated parking areas, etc.),
  - gradually remove some railway facilities serving for freight transport located near the passenger part of the station and situate them in such a way so that they don't interfere with space where passengers are concentrated.
3. In railway junctions:
  - a) In passenger transport in a junction:
    - consider the fact that the railway junction is part of the transport junction and it is necessary to harmonise time and space possibilities and requirements of various types of transport,
    - in towns up to one million inhabitants in the junction create only one central passenger railway station into which all types of passenger trains could arrive and terminate there, including suburban trains, even if this solution requires tracks in different levels, link the underground and the urban mass transport lines to railway station.
    - provide quick and comfortable transfer of passengers to various types of trains but also to various modes of transport,
    - situate technical facilities for the attendance of passenger trains in the direct link on central station outside the residential zone of a town (storage yards).
  - b) In freight transport in a junction:
    - cease traditional facilities for loading and unloading of goods in the centre of a junction and move them outside the residential zone of a town,

- umožniť prechod tranzitných vlakov mimo centrálnu časť uzla, do uzla púšťať iba vlaky obsluhujúce zariadenia v ňom,
- šetriť plochou v centre uzla (mesta) a navrhovať v prípade nutnosti vedenie spojovacích tratí v tuneloch
- všetky zariadenia musia spĺňať kritériá požadované ochranou životného prostredia.

V závere by bolo vhodné citovať niekoľko viet z článku „Návrat vlakov“ uverejnenom v populárnom časopise „100 + 1 zahraničných zaujímavostí“ (č.5/98 str. 26 - 29) [2]:

„Železnica, ktorá už v minulosti bola symbolom technického pokroku prichádza znova do módy. Presnosť, bezpečnosť, pohodlie, rýchlosť a šetrnosť voči životnému prostrediu ju predurčuje k tomu, aby sa stala dopravným prostriedkom budúcnosti“. Autor článku populárnym spôsobom na príklade železničnej dopravy v Španielsku uvádza železničnú dopravu ako dopravný systém predstavujúci najmodernejšiu techniku, bezpečnosť, rýchlosť, pohodlie a zníženie negatívneho vplyvu na životné prostredie. V závere článku uvádza: „A tak železnica, ktorá dnes už plne vstúpila do éry vysokých rýchlostí a špičkovej techniky bola, je a bude stelesnením pokroku a moderného života“.

Žiaľ, musíme s poľutovaním konštatovať, že o našej železnici sa v súčasnej dobe nemôžeme takto lichotivo vyjadrovať. Aby to bolo možné, musíme pre modernizáciu železničného dopravného systému vykonať ešte veľmi veľa, železničné stanice a uzly z toho nevynechávajú.

#### Literatúra:

- [1] MALÍČEK, I.: Vzájomná väzba železničnej a cestnej dopravy v dopravnom uzle, Zborník: Dopravné riešenie sídelných útvarov, Žilina 1997
- [2] „Návrh vlakov“ Časopis „100 + 1 zahraničných zaujímavostí“ č. 5/98
- [3] Zásady modernizácie vybrané železniční site ČD, Dodatek č. 2, ČD s.o. Praha 1997

- concentrate the train forming into a smaller number of well technically equipped marshalling yards situated outside the central zone of a junction,
- divert the transit trains from central part of a junction, into a junction allow entry only those trains that are servicing the facilities in the junction,
- save the area in centre of a junction (town) and propose, in case of necessity routs of linking tracks in tunnels,
- all railways facilities must comply with the criteria that are required by environmental protection.

In conclusion it would be suitable to cite a couple of passages from the paper “Trains come back“ published in popular magazine “100 + 1 zahraničných zaujímavostí“ (attractions from abroad) (No.5/98 pp. 26 - 29) [2]: “Railway transport, which in the past was a symbol of technical progress, comes back into fashion again. Punctuality, safety, comfort, speed and environmental friendliness predestine the railway transport to become the transport means of the future“. The author of the paper in a popular way, using an example of railway transport in Spain, introduces the railway transport as the transport system, that represents the most advanced technology, safety, speed, comfort and reduces negative effects on the environment. He concludes the paper with stating: “And so the railway, which at present has already entered the era of high speed and top technology, was, is and will be symbol of progress in the modern life“.

Unfortunately, we regret to say that at present we can not be so optimistic when speaking about our railway. To make our railway modern and competitive we have to do much work in the area of railway transport modernisation, including the railway stations and junctions from the process.

#### References:

- [1] MALÍČEK, I.: Vzájomná väzba železničnej a cestnej dopravy v dopravnom uzle, Zborník: Dopravné riešenie sídelných útvarov, Žilina 1997
- [2] “Návrh vlakov“ Časopis “100 + 1 zahraničných zaujímavostí“ č. 5/98
- [3] Zásady modernizácie vybrané železniční site ČD, Dodatek č. 2, ČD s.o. Praha 1997

Ján Štefánik \*

# KULTÚRA KVALITY, KEÚČ KU ZLEPŠENIU KVALITY

## QUALITY CULTURE THE KEY TO QUALITY IMPROVEMENT

*Kultúra kvality je súhrn spoločne zdieľaných poznatkov na kvalitu, t. j. vzťahov hodnôt, ako organizácia rozvíja a využíva svoje kapacity, zdroje, aby úspešne preživala v externom prostredí a účelne riadila svoje vlastné vnútorné záležitosti.*

### 1. Úloha kultúry kvality

Efektívne riadenie kvality sa stáva stále nástojčivejšou výzvou pre veľa našich firiem a organizácií.

Pre zlepšenie kvality svojich výstupov veľa našich podnikov zavádza v manažmente kvality nové prístupy a nástroje, ako sú napr. metódy FMEA a najmä QFD, ktorá umožňuje pohotovú transformáciu, prenos požiadaviek zákazníkov do návrhu nových výrobkov/služieb.

Tieto prístupy však nemusia byť vždy úspešné a plne využiteľné, ak firma nemá vysokú úroveň kultúry kvality, predstavujúcu jadro hodnôt vlastných tak zamestnancom firmy, ako aj manažmentu firmy pri zabezpečovaní vyžadovanej úrovne kvality.

Odborníci tvrdia, že úroveň manažmentu firmy je viac ako technológia kľúčom zlepšovania kvality. Organizácia môže zabezpečovať a zlepšovať žiaducu úroveň kvality svojich výstupov len vtedy, ak má zavedený a všetkými pracovníkmi rešpektovaný systém hodnôt podporujúcich kvalitu. Tento názor zdieľajú tiež mnohí výkonní manažéri, ktorí sú presvedčení, že je to najmä záležitosť manažmentu zmeniť, zlepšiť kultúru firmy [1],[2].

Treba dodať, že tiež takí prominentní experti kvality akými sú Eduard Deming, Joseph Juran a Phil Grosby sverne zdôrazňujú mimoriadnu dôležitosť budovania kultúry kvality, ako predpoklad splnenia väčšiny požiadaviek na produkt. Takto sa stáva kvalita ako hľadanie hodnoty pre zákazníka a jej realizácia ako odraz úrovne firemnej kultúry kvality kritickým faktorom úspešnosti firmy [3],[4].

### 2. Čo je kultúra kvality?

Aj keď je veľa definícií kultúry kvality môžeme si vybrať takú, ktorá môže byť použitá pre ľubovoľnú firmu, podľa nej je kultúra kvality súhrn spoločne zdieľaných poznatkov (názorov) na kvalitu, t. j. vzťahov hodnôt, ako organizácia rozvíja a využíva svoje kapacity, zdroje, aby úspešne preživala v externom prostredí

*Quality culture is the total of the collective or shared learning of quality-related values as the organization develops its capacity to survive in its external environment and to manage its own internal affairs.*

### 1. The Role of Quality Culture

Managing quality has become a serious endeavor for many of our companies and organizations.

To improve quality, many of our companies have adopted new approaches and tools as FMEA and QFD (Quality Function Deployment) for translating customer's requirements into product or service specifications.

These approaches, however, might not achieve their true potential if an organization fails to improve its corporate quality culture - that is, the core values possessed by employees and management regarding quality.

Research suggests that much more management, rather than technology, is the key to quality improvement. An organization can mount and sustain a true quality improvement effort only when it has a value system that promotes quality. This view is also held by many chief executive officers, who believe that it is management's job to change the culture of an organization to improve quality performance [1],[2].

In addition many prominent quality experts, such as W. Edwards Deming, J. M. Juran and Philip Crosby, stress the importance of building a quality culture as a prerequisite to major quality improvement efforts. In such a way, developing a desired organizational quality cultural is critical [3],[4].

### 2. What is a quality culture?

While there are many definitions of culture, one definition can be adopted to define the quality culture of any group: Quality culture is the total of the collective or shared learning of quality - related values as the organization develops its capacity to survive in its external environment and to manage its own

\* Prof. Ing. Ján Štefánik CSc.,

Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, Veľký diel, 010 26 Žilina, Slovak Republic, tel.: +421-89-535 41, fax: +421-89-652 940

a účelne riadila svoje vlastné vnútorné záležitosti. Organizační experti tvrdia, že hodnoty sú formované v pracovných skupinách v dlhodobom časovom horizonte a môžu byť považované za ideológiu, filozofiu alebo za základné krédo organizácie. Tieto hodnoty sú výsledkom systematickej, tvorivej aktivity zameranej na neustále zlepšovanie každej práce, manažérskych procesov v organizácii, technologických systémov a medziľudských vzťahov [5].

Hlavným východiskom formovania budovania kultúry je, že aspekty kultúry sú hlboko zakorenené a jej zmeny môžu byť iniciované integrovanými zmenami vo firme.

Formovanie žiaducej kultúry kvality si vyžaduje predovšetkým dobre formulovanú víziu ako zidealizovanú, silno motivačnú, ale uskutočniteľnú predstavu o tom kam sa chce firma dostať, z ktorej sa odvíja poslanie a strategické ciele firmy. Tieto ciele musia byť konzistentné s formálnou aj neformálnou organizačnou štruktúrou a kompatibilné so systémom odmeňovania, primeranou technológiou a organizáciou práce - a dôležitá je najmä práca s ľuďmi. Ale prv ako sa so zmenami kultúry kvality začne uvažovať, musia manažéri určiť potrebu takýchto zmien.

### 3. Kedy sú zmeny nevyhnutné?

Manažment firmy musí včas zbadáť znaky identifikujúce potrebu zmeny kultúry kvality vo svojej firme uvedomujúc si, že základné zmeny v myslení a konaní firmy, resp. jej pracovníkov, vo vzťahu ku kvalite sú tak potrebné, aká je potreba zmeny. Podľa názoru odborníkov na kvalitu sú nevyhnutné zmeny kultúry kvality, keď [6]:

- súčasná kultúra kvality vo firme nie je v súlade so zmenami v okolí firmy,
- rastúca a stále tvrdšia konkurencia v priemysle vyžaduje rýchle pokroky v kvalite, ktoré sa musia prejavíť i v zmene kultúry kvality,
- keď je úroveň kvality vo firme považovaná za priemernú alebo horšiu,
- ak firma uvažuje o spojení s inou firmou, ktorá je angažovaná v progresívnych praktikách, metódach riadenia kvality,
- ak ide o malú ale rýchlo rastúcu firmu,
- ak sa objavujú veľké technologické zmeny v priemysle,
- významné zmeny v poslaní firmy vyžadujú tiež zmeny v kultúre kvality,
- akvizícia a spojenie firiem vyžaduje formovanie súdržnej jednotky, a teda zmeny kultúry.

### 4. Ako zmeniť kultúru kvality?

Literatúra v oblasti manažérskych vied obsahuje veľa štúdií o zmenách kultúry. Jednou z metód zmien kultúry je tzv. culture gap analyses, ktorá môže byť ľahko aplikovaná pri rozvoji žiaducej kultúry kvality vo firme [7].

V prvom rade musí podnikový manažment urobiť identifikáciu, prehodnotenie poslania firmy oblasti kvality a cieľov, resp. úroveň konkurentov v oblasti kvality. Na základe toho musí iden-

internal affairs. Many organizational experts believe that values are formed in a group over time and can be seen in the ideology, philosophy, charter, or basic credo of an organization. These values, in turn, result in artifacts and creations of the group, which can be easily detected by observing the organization's managerial processes, technological systems, and human relationships [5].

The main point regarding culture formation is that culture aspects are deep-rooted, and lasting cultural change occurs through integrated changes in the organizational system. Forming a desirable quality culture requires a well-developed organizational quality mission and goals, consistent formal and informal organizational structures, compatible reward systems, appropriate technology and job design, and attention to important personnel issues. But before a major quality culture change is thought, managers must recognize the need for such a change.

### 3. When is change necessary?

Many managers see the signs indicating the need for quality culture change in their organizations. They realize that basic changes in the organization's thinking and behaviour with regard to quality are needed. Research has identified the conditions under which a major overhaul of the quality culture is necessary [6]:

- The company has a current quality culture that is not conformed with the changing environment.
- The industry is very competitive with respect to quality and service, and advances in quality and service occur with lightning speed.
- The company's quality performance is judged to be middle or worse.
- The company is about to join the ranks of the very large companies that are involved in sophisticated quality practices.
- The company is small but growing rapidly.
- Major technological change is occurring in the industry.
- Major changes in the company's mission require the quality culture to change.
- Acquisitions and mergers require changes in the quality culture to form a cohesive unit.

### 4. How to change quality culture?

The organizational science literature contains many studies of organizational culture change. One method of culture change is called culture gap analysis, and it can be easily adapted to the development of desired quality culture in an organization [7].

To begin, a company's managers must review the organization's quality mission and goals and external quality competitors. Then they must identify the quality attributes needed to compete [8].

tifikovať atribúty kvality nevyhnutné k úspešnej súťaži v konkurenčnom trhovom prostredí [8].

Ďalšou úlohou pre manažérov je identifikovať dôležitosť a žiaduce vlastnosti kvality výrobkov/služieb, ktoré musí firma zabezpečiť, aby úspešne obstala v konkurencii. Tieto hodnoty kvality sa môžu meniť v závislosti od kľúčových atribútov kvality firmy. Veľa expertov v oblasti manažmentu kvality sa však domnieva, že už samotné hodnoty kvality sú základňou a sú nevyhnutné v úsilí firmy zlepšovať kvalitu [9].

Ak už máme identifikované hodnoty kvality, môžu manažéri identifikovať, špecifikovať cieľové zameranie strategických podnikateľských jednotiek alebo firmy do celku - spôsob ako sa úspešne presadiť v danom odvetví. Manažment musí tiež určiť, či existuje nesúlad - medzera v kultúre kvality, v hodnotách existujúcich a žiaducich. Po splnení týchto úloh môže manažment korigovať medzeru v kultúre kvality primeranými opatreniami [10].

## 5. Odporúčania

Na základe uvedeného možno odporúčať [9]:

- Kultúra kvality musí byť neustále rozvíjaná, keď sa mení kultúra, musí manažment progresívne rozvíjať žiaduce hodnoty kvality ako napr. hrdosť zamestnancov na firmu a jej výrobky/služby, zodpovednosť zamestnancov za kvalitu a hlboké presvedčenie top manažmentu o sústavnom a účelnom zlepšovaní kvality.
- Žiaduci stav kultúry nemôže byť dosiahnutý vnútením nástrojov a techník účastníkom procesu tvorby kvality. Dôvody pre zamýšľané zmeny musia byť tak vysvetlené, aby boli zamestnancami akceptované.
- Zmyslupnosť a zmeny pretvárajúcej kultúry kvality môžu byť dosiahnuté len cez konzistentný integrovaný skelet, konštrukciu aktivít zamestnancov a manažmentu v niekoľkých rôznych oblastiach, ako sú nadšenie, podpora, právna politika kvality a ciele a správna organizačná štruktúra.
- Nemyslite si, že zmena kultúry kvality je jednoduchá. Vývoj a zmeny kultúry sú normálne evolučné, postupné a vyžadujúce čas.
- Typ kultúry kvality, ktorý je žiaduci, závisí od prostredia organizácie. Neexistuje určitá jediná žiaduca kultúra kvality, vhodná pre všetky organizácie, ale sú určité spoločné znaky.

## Literatúra:

- [1] KANTER, R.: Quality Leadership and Change, Quality Progress 2/87
- [2] GILBERT, R.: A Values-Oriented Approach to Quality, Quality Progress 11/87
- [3] COUND, D.: What Corporate Executives Think About Quality, Quality Progress 2/88
- [4] DEMING, W. E.: Improvement of Quality and Productivity Through Action by Management, National Productivity Review, 1981
- [5] JURAN, J. M.: Product Quality - A Prescription for the West, Management Review 7/81
- [6] SCHEIN, E.: Organizational Culture and Leadership, Jossey-Bass 1985

The next task for the managers is to identify the important and desired quality values that the organization should have. The quality values will vary, depending on the organization's key quality attributes. Many quality experts, however, believe that some quality values are basic and are needed universally if an organization is to improve quality [9].

Once the desired quality values are identified, the managers can identify the target groups (organizational subunits or the whole organization) that should have the desired values. They must also determine whether substantial discrepancies (culture gaps) exist between current values and the desired values. After completing this task, the managers can correct the culture gaps through appropriate interventions [10].

## 5. Cautions and guidelines

Based on the study and the literature, the following cautions and guidelines in changing quality culture are offered [9]:

- Quality culture is learned over time. When changing culture, managers should progressively develop desirable quality values, such as employees' pride in quality, employees' responsibility for quality, and management's fundamental belief in constancy of purpose of quality improvement.
- The desired culture state cannot be achieved by force-feeding employees' quality processes, tools, and techniques. The reasons for the intended changes must be explained to gain their acceptance.
- Meaningful and lasting quality culture change can be achieved only through a consistent, integrated pattern of actions by employees and managers in several different areas, such as hiring, promotion, stated quality policies and goals, and proper organizational structure.
- Do not assume that quality culture change is simple. Culture development and change are normally evolutionary, incremental, and time-consuming.
- The type of quality culture that is desired depends on an organization's environment. There is no single desired quality culture suitable for all organizations.

## References:

- [1] KANTER, R.: Quality Leadership and Change, Quality Progress 2/87
- [2] GILBERT, R.: A Values-Oriented Approach to Quality, Quality Progress 11/87
- [3] COUND, D.: What Corporate Executives Think About Quality, Quality Progress 2/88
- [4] DEMING, W. E.: Improvement of Quality and Productivity Through Action by Management, National Productivity Review, 1981
- [5] JURAN, J. M.: Product Quality - A Prescription for the West, Management Review 7/81
- [6] SCHEIN, E.: Organizational Culture and Leadership, Jossey-Bass 1985

- [7] UTTAL, B.: The Corporate Culture Vultures, Fortune, Oct.17, 1983
- [8] HITTMAR, S.: The Quality and the Role of Management, University of Žilina, 1998
- [9] KILMANN, R. H.: Managing Five Tracks to Organizational Success, Jossey-Bass, 1985
- [10] SARAPH, J. V., SEBASTIAN, R. J.: Developing Quality Culture, Quality Progress 9/93

- [7] UTTAL, B.: The Corporate Culture Vultures, Fortune, Oct.17, 1983
- [8] HITTMAR, S.: The Quality and the Role of Management, University of Žilina, 1998
- [9] KILMANN, R. H.: Managing Five Tracks to Organizational Success, Jossey-Bass, 1985
- [10] SARAPH, J. V., SEBASTIAN, R. J.: Developing Quality Culture, Quality Progress 9/93

Žilinska univerzita a Slovenská cestná spoločnosť  
v spolupráci so  
Slovenskou technickou univerzitou Bratislava,  
Technickou univerzitou Košice  
a odbornou skupinou Doprava SZSI

organizuje

2. celoštátnu konferenciu so zahraničnou účasťou

## DOPRAVA V SÍDELNÝCH ÚTVAROCH

1. informácia

Konferencia sa bude konať v Žiline v dňoch 20. - 21. októbra 1999.

Tematické okruhy konferencie:

- podklady pre riešenie sídelných útvarov a ich analýza
  - podklady dopravné, prepravné, socio-ekonomické
  - metodika a hodnotenie prieskumov
- širšie dopravné vzťahy
  - problémy diaľkovej a regionálnej dopravy
  - integrované dopravné systémy a riešenie ich uzlov
- riešenie komunikačných systémov mesta
  - diferenciácia a integrácia systémov z hľadiska funkčnosti a bezpečnosti
  - problémy statickej dopravy
  - riešenie nemotoristickej dopravy
  - mestská hromadná doprava
- humanizácia uličného priestoru
  - uličný profil z dopravného a urbanistického hľadiska
  - ukľudnený dopravný priestor
  - posudzovanie vplyvov na životné prostredie

### Kontaktná adresa:

Ing. Andrea Gavulová  
Žilinská univerzita, Stavebná fakulta, Katedra cestného staviteľstva  
Komenského 52, 010 26 Žilina  
tel: 089/ 7635 651 - 3, fax: 089/ 433 51, 72 335 02,  
e-mail: gavul@fstav.utc.sk

The University of Žilina and the Slovak Road Society in  
Bratislava  
in cooperation with  
The Slovak Technical University, Bratislava  
The Technical University, Košice and  
The Transport Expert Group

organise

2<sup>nd</sup> International Conference

## TRANSPORT IN RESIDENTIAL AREAS

1<sup>st</sup> information

Žilina, October 20 - 21, 1999  
Slovak Republic

Conference Topics:

- solutions of residential areas and their analysis
  - transport, traffic and socio-economic data
  - survey methodology and assessment
- broader transport relations
  - long distance and regional transport problems
  - integrated transport system and solutions of their nodes
- solutions of urban communication systems
  - differentiation and integration of systems from the point of view of their function and safety
  - problems of static transport
  - non-motorist transport solutions
  - city transport
- humanization of street area
  - street profile from the point of view of traffic and urbanism
  - alleviated traffic areas
  - impact on the environment

### Contact address:

Ing. Andrea Gavulová  
Žilinská univerzita, Stavebná fakulta, Katedra cestného staviteľstva  
Komenského 52, 010 26 Žilina  
Tel: +421/89/ 7635 651 - 3, Fax: +421/89/433 51, 72 335 02,  
e-mail: gavul@fstav.utc.sk

Stanislav Kmeť, Pavol Magner \*

## RÝCHLA CESTA KU KVALITE

### FAST WAY TO QUALITY

*Každá doba má svoje obľúbené slová. Dnes sú to slová kvalita a informácie.*

*Všade okolo nás rastú informačné systémy. Informačné aktivity prinášajú firmám zisky.*

*Hľadáme optimálne informačné správanie. Informácie o trhu, konkurentoch, subdodávateľoch, výrobkoch a službách dokáže zabezpečiť v počítačovej sieti licenčný softvér ISO x PERT dostupný na našom trhu.*

Riešenie problémov v hospodárskom a sociálnom živote firiem si vyžaduje razanciu, rýchlosť a odvahu. Udržať krok s rozvíjajúcou sa modernou ekonomikou a prežiť v tvrdom konkurenčnom prostredí znamená uplatňovať moderné technológie, medzi ktorými má významné miesto informačná technológia. Moderná počítačová technika výrazne zmenila a bude meniť spôsob práce vo všetkých oblastiach firiem. Zo skúseností je známe, že moderné riadenie firiem nemôže bez informačných podporných prostriedkov zvládnuť súťaž o čas, náklady a kvalitu.

KVALITA A INFORMATIKA		
Obdobie do roku	Výkon informatiky	Reakcia na kvalitu
1960	naháňa čísla	radosť, že sa niečo podarí
1970	ničí papier	sklamanie, že sa vždy nedarí
1980	nahrádza manuálnu pracovnú silu	dodáva nové podklady na riadenie kvality
1990	vstup do inovácií produktov a procesov	umožňuje zrýchliť reakciu na požiadavky trhu a zlepšovať
po 1990	nové informačné aplikácie a systémy	umožňuje zmenu procesov - reinžinierstvo

#### Kvalita výrobkov a služieb

Kvalita je definovaná ako stupeň splnenia požiadaviek zákazníka. Ak nie sú stanovené požiadavky, potom nie je možné určiť kvalitu. Kvalitatívne požiadavky sa vzťahujú obyčajne na fyzikálne (mechanické, elektrické) a chemické vlastnosti výrobkov. Sú to

*Every age has its popular words - today, these are quality and information. Information systems are growing everywhere around us. These information activities bring profit to companies.*

*Let's search for optimal information behaviour. The licensed software ISOxPERT accessible on our market is able to secure the information about the market, competitors, sub-suppliers, products and services.*

Solution of problems occurring in economic and social life of firms needs briskness, promptitude and courage. Modern technologies, among which information technology has a significant place, must be applied in order to keep up with modern developing economy and to survive in a hard competitive environment. The modern computer techniques have changed and change the way of work in all firm activities. Based on experiences, it is well known the modern firm management is not able to overcome the race with time, costs and quality without supporting information aids. The development of influence of information means on quality is as follows:

QUALITY and INFORMATICS		
The period until the year	Performance of Informatics	Response to Quality
1960	runs after the numbers	pleasure from anything well done
1970	destroys the paper	disappointment - things turn out not always perfect
1980	substitutes the manual labour	delivers new data for quality control
1990	joins the product and process modernisation	allows to accelerate the response to market requirements and to improve
after 1990	new information applications and systems	allows the process change - reengineering

#### Product and Service Quality

The term of quality is defined as the degree of the fulfilment of client's requirements. If no requirements are stated the quality

\* Doc. Ing. Stanislav Kmeť, CSc.,

Department of Electronics and Electrotechnology, Faculty of Electrical Engineering, University of Žilina, Moyzesova 20, 010 26 Žilina, Slovak Republic, tel. +421-89-646 2270, fax +421-89-646 2270, e-mail kmet@fel.utc.sk

Ing. Pavol Magner,

CE Qualite Slovakia, s.r.o., Mierove nám. 38, 018 51 Nová Dubnica, Slovak Republic, tel. +421-827-431 124, fax +421-827-235 18

napríklad rozmery, úprava, čistota, napätie... Sú to vlastnosti požadované pri využití výrobku. Kvalita výrobku obsahuje tie charakteristiky alebo znaky, ktoré musí vykazovať výrobok, ak je používaný zákazníkom. Zákazník kupuje obyčajne úžitkovú hodnotu výrobku, napríklad nekupuje práčku, ale jej schopnosť čistenia prádla. Považuje túto práčku za kvalitnú, ak vykonáva funkcie, pre ktoré bola koncipovaná. Charakteristiky kvality odrážajú skutočnú úroveň výrobku a musia odrážať požiadavky, respektíve potreby zákazníka. Okrem fyzikálnych a chemických charakteristík zákazník si vyberá výrobok podľa ceny, spoľahlivosti, bezpečnosti, ovládateľnosti a ďalších úžitkových vlastností.

Zákazník kupujúci výrobok hodnotí kvalitu podľa technických parametrov a podľa ceny. Služby spojené s výrobkami plnia dva hlavné atribúty: stupeň zníženia starostí a pridanú hodnotu. Každá firma musí definovať svoje priority a presadzovať služby pre svoj výrobok. Pracovníci firmy môžu byť aktívni napríklad pri dodaní tovaru, vyskúšaní výrobku v činnosti, pri pochopení jeho funkcie, vo vystavení bezchybnej faktúry, ale aj v minimalizácii nákladov na údržbu, poruchy a ich opravy.

Služby dosahujú úroveň kvality vtedy, ak zodpovedajú istej hodnote, ktorú je zákazník ochotný zaplatiť ako funkciu svojich priani a svojich požiadaviek.

Ako potreby, tak aj želania zákazníkov sú stále náročnejšie. Nepochopenie náročnosti znamená postupné zaostávanie a úpadok firmy.

Kvalitné služby sú založené na zákazníkoch či externých, tak aj interných. Každá firma má nevýrobné oddelenia, ktoré poskytujú interné služby: marketing, nakupovanie, popredajné činnosti atď. Aj keď si v týchto oddeleniach stále viacej uvedomujú význam kvality, stále ešte zaostávajú v účelnom a efektívnom riadení kvality. Jeden z dôvodov je aj ten, že produktom týchto oddelení je nehmotný výsledok. Základnými prvkami kancelárskych prác je vykonávanie vnútorných komunikačných funkcií, ktorých základné prvky sú spoločné pre všetky oddelenia (napr. plánovanie, udržiavanie vzťahov so subdodávateľmi a zákazníkmi, organizovanie, dokumentovanie, spracovanie dát a pod.). Tieto funkcie sú odpovedajúce funkciám výrobných oddelení, čím sa vlastne znižuje rozdiel medzi kvalitou hmotnej a nehmotnej produkcie. Kancelárske služby je možné definovať ako produkciu a výmenu informácií za účelom dosahovania podnikových cieľov a teda aj cieľov kvality.

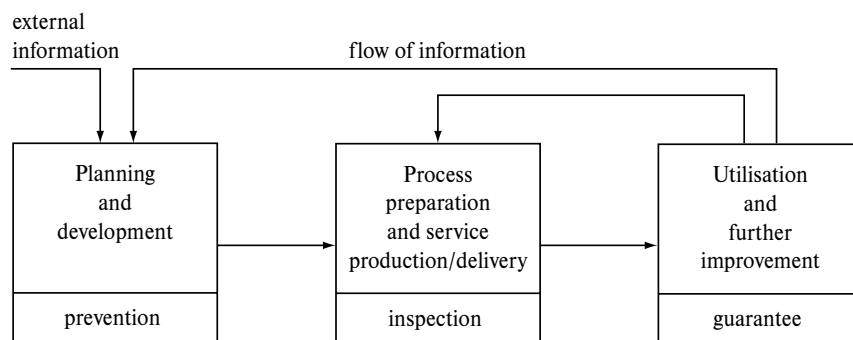
cannot be identified. The quality requirements usually relate to physical (mechanical, electrical) and chemical characteristics of products. These are e.g. dimensions, arrangement, cleanness, voltage ... These are the characteristics required with product. The product quality contains the characteristics or features the product has to possess if being used by client. The customer buys the value of product use, e.g. he does not buy the washing machine, but he buys its capability to wash the linen. He considers this washing machine the good quality one if it performs the functions it was designed for. The quality characteristics reflex the real product standard and they have to reflex the customer's requirements or needs. Except for the physical and chemical characteristics, the customer makes a choice of a product according to the price, reliability, safety, controllability, easy liquidation and further features of use.

The customer buying the product evaluates the quality according to both the technical parameters and the price. The services combined with the products fulfil two main attributes: the degree of troubles reduction and the added value. Each company has to define its priorities and to push the services to its product. The firm people may be active at e.a. the goods delivering, their testing while in function, the understanding of their function, the issue of perfect invoice, as well as in minimisation of costs for maintenance, failures and their repairs.

The services reach the quality level if they respond to the value the customer is willing to pay for as the function of his wishes and requirements.

The needs as well as the wishes of customers are more exacting. Misunderstanding of exacting character of these requirements means the progressive falling behind and decays of a company.

The high-quality services are based on customers, both external and internal ones. Every company has non-productional departments delivering internal services: marketing, purchase, after sale services etc. Even through staff realise the importance of quality departments, they are still behind in the purposeful and effective quality control. One of the reasons is that the product of these departments is intangible. Basic elements of office works are involved in performing internal functions of communication. They have common signs for all types of departments (e.g. planning, keeping in touch with both the subsuppliers and clients, organising, documenting, data performing etc.). These functions respond to the functions of productional departments, thus the





Často je minimálny záujem o to, aby si tieto oddelenia zistili, aký druh informácií ďalšie útvary potrebujú a produkujú tzv. svoje informácie len preto, aby niečo vyprodukovali. Je to podobne ako výroba výrobku bez predchádzajúceho prieskumu trhu. Je len ťažko očakávať, že taký výrobok bude predajný.

Zvládnutie požiadaviek kvality, času a nákladov pri presadzovaní výrobkov s novými parametrami a služieb s novými charakteristikami na trhu patrí k rozhodujúcim meradlám úspešnosti firmy. A to je jedným z dôvodov prenikania informačnej technológie a techniky do jednotlivých fáz života produktov a počítačovej podpory procesov. tok informácií

## Kvalita procesov

Proces je skupina logicky zostavených aktivít (činností), ktorý má jasne definované vstupy a tvorí výstup, ktorý má pre klientov hodnotu. Vstupné zdroje (energia, informácie, materiály, suroviny) sa v priebehu procesu transformujú na výstupné produkty (výrobky - služby). Napríklad objednávka je vstupom do firemného procesu a vyúsťuje v dodávku objednaného tovaru alebo služby.

**Metodika**, ktorá sústreďuje úsilie na procesy, sa nazýva „Proces management“. Manažérom firmy však tento pojem robí najčastejšie problémy a väčšina z nich nie je orientovaná „procesne“. Sú zameraní na čiastkové úlohy, na jednotlivé profesie, na ľudí, na štruktúry, ale nie na procesy.

Každý produktívny proces obsahuje tri základné komponenty:

- transformáciu (fyzikálnu, transakčnú, logistickú...)
- opakovateľnosť (postupnosť aktivít sa vykonáva viackrát a rovnakým spôsobom) a môže byť kontinuálna, prerušovaná alebo cyklická
- spätnú väzbu, ktorá je nevyhnutná pre modifikáciu, je zdrojom zlepšovania a dynamiky procesov.

Väčšina procesov predstavuje značný zlepšovaci potenciál, pokiaľ ide o efektívnosť a produktivitu (robiť správne a atraktívne produkty správne, bez chýb, rýchlo a v požadovanom množstve).

Prvým dôležitým krokom je identifikácia procesov. Je jednoduchšie identifikovať vertikálne (funkčné) procesy (ako napr. konštrukcia, nákup, výroba) a individuálne procesy. Horizontálne procesy často prebiehajú bez toho, aby ich manažéri brali na vedomie aj napriek tomu, že tvoria hodnotu pre zákazníka a generujú peniaze.

Vo firme prebieha množstvo prác, ktoré výrobkom alebo službám firmy nepridávajú žiadnu hodnotu pre zákazníka.

**Firma** potrebuje identifikovať, organizovať a riadiť svoju sústavu procesov. Firma prostredníctvom sústavy procesov vytvára, zlepšuje a poskytuje stálu kvalitu vlastnej produkcie. Keď je proces dobrý, je aj výsledok dobrý. Toto je koncepčný základ súboru noriem ISO 9000. Procesy a ich rozhrania sa majú neustále analyzovať a zlepšovať, čo je základ komplexného manažmentu kvality. Študovať proces a podieľať sa na ňom je tou najlepšou cestou, ako mu rozumieť, čo je aj základom radikálnej premeny procesu (redesignu procesov) za predpokladu uplatnenia informačnej technológie.

difference between material and immaterial production is being reduced. Office services may be defined as production and exchange of information in order to obtain both firm goals and thus quality goals.

In these departments there is minimal interest in finding out about the kind of info the other departments usually need. They produce their information in order to produce something. This is similar to production without preliminary market research. It is difficult to expect this product salable.

Managing with the requirements of all the quality, time and costs at pushing the products with new parameters and the services with new characteristics on the market belongs to the crucial measures of firm success. And this is one of reasons for penetration of the information technology and technique into both the individual phases of the product life and the computer aiding of processes.

## Process Quality

The process is the group of activities composed together logically with both clearly defined inputs and output possessing a value for the customer. The input sources (energy, information, materials, raw materials) are within the process transformed into the output products (manufacture - services). E.g. the order is the input into the firm process and issues into the delivery of the ordered goods or service.

**Methodology** focusing the efforts on processes is called "Process Management". This term brings difficulties to firm managers. The majority of them is being oriented into professions. Their objectives are the particular tasks, individual professions, people, structures, however not the processes.

Every productive process contains the three basic components:

- the transformation (physical, transactional, logistical...)
- the repeatability (the sequence of activities is performed more times and the same way) and may be continuous, interrupted or cyclic
- the feedback inevitable for modification, as the source for improvement and the process dynamics.

There is significant potential for improvement in the majority of processes in regard to effectiveness and productivity (to produce the good and attractive products in correct way, without defects, fast and in the required amount).

The first important step is to identify the processes. The vertical (functional) processes (e.g. design, purchase, production) can be easier identified in comparison with the individual ones. The horizontal processes are often running without being taken into account by managers, despite the value for customer and money generated in them.

Many works are performed in a company adding no value to firm products or services for customer.

**The firm** needs to identify, to organise and to control its process set. By means of the process set the firm creates, improves and delivers the steady quality of its production. When the

Riadenie kvality procesov služieb je zložitejšie ako vo výrobných procesoch. Proces je taktiež treba rozdeliť na rad definovateľných aktivít (zvlášť kritických aktivít). Na základe meraní za účelom riadenia zistenej odchýlky korigujeme proces priebežne a nespoliehame sa len na konečné výsledky. Služby majú obrovský význam pre priemyslový sektor. Len dodávatelia, ktorí sú schopní zasahovať trh komplexne kvalitnými výrobkami a službami, budú môcť úspešne konkurovať na trhu.

Konkurencia (stretávanie) je stálym prívlastkom trhovej ekonomiky. Vplyv trhu, ktorý sa rozširuje do oblastí medzinárodnej až globálnej, zákonite zosilňuje konkurenciu a boj o prežitie. Zväčšuje sa množstvo aktérov, prehĺbuje sa vzájomná závislosť, stretávacie sily a praktiky neustále mohutnejú. V takomto konkurenčnom prostredí prežívajú firmy, ktoré dokážu prijať vysokú úžitkovosť a kvalitu, tlačíť náklady na nevyhnutné minimum, a zbaviť sa všetkého zbytočného.

Závažnou otázkou ostáva fakt, ako získať potrebné a využiteľné informácie. Väčšina údajov sa získava z verejne publikovaných materiálov, ktoré sa sústreďujú v príslušnej databáze a ich hodnotenie je vykonávané na základe kritickej analýzy. Cieľom uplatnenia benchmarkingu sú zistenia, čo je treba rozvíjať, čo zaviesť a čo odstrániť. Kľúčové miesto v konkurenčnej schopnosti firmy majú inovácie výrobkov a procesy.

## Počítacie v manažmente kvality

Jedným z dôvodov prenikania informačnej a výpočtovej techniky do jednotlivých fáz vývoja, konštrukcie, projektovania výrobných procesov a samotného systému manažmentu kvality je čas. Pokiaľ sú základom starostlivosti o kvalitu normy súboru ISO 9000 a ďalšie s nimi súvisiace aktivity, integrácia takéhoto systému do firemného systému riadenia firmy sa vykonáva používaním systémov manažmentu kvality s podporou počítača - CAQS.

Systém CAQS má spĺňať tieto požiadavky:

- zohľadnenie špecifických požiadaviek vo firme - „ušíť na mieru“
- pružnosť a otvorenosť - schopnosť zmien a ďalšieho rozširovania
- využívať schopnosti človeka - nestávať ho do pozície zadávateľa údajov a plníteľa príkazov počítača, poskytovať mu len podporný nástroj (archivátor, analyzátor, výpočtár, ...)
- integrovať sa s ostatnými informačnými systémami vo firme - pohodlná a spoľahlivá rýchla výmena údajov, komunikácia so zákazníkmi, servisom, dodávateľmi
- vychádzať z kompaktnej a spoľahlivej databázy kvality - údaje o kvalite meniť na informácie a znalosti
- pri integrácii rešpektovať existujúce štandardy (napr. QDES - Quality Date Exchange Standard).

Je potrebné si uvedomiť, že systém CAQS je len súčasťou celofiremnej stratégie a systému starostlivosti o kvalitu a nie jeho náhradou.

Pre systém CAQS je potrebné najskôr vytvoriť organizačné predpoklady a pomerne rýchlo ho zaviesť a neustále zlepšovať. Postupnosť krokov je naznačená na nasledovnom obrázku.

process is good, the result is good. This is the conceptional base of ISO 9000 standard family. The processes and the interfaces are to be analysed and improved continuously. This principle is taken for the base of total quality management. To study and to join the process is the best way to understand it. This idea is the base for the radical process transformation (process redesign) under condition of information technology use.

The quality control of service delivery processes is more complex than of productional ones. Process has to be divided into the sequence of definable activities (especially the critical ones). Based on measurement, the corrections to the process are made simultaneously in order control the identified deviation. We do not rely on the final results. The services have the giant importance for the industrial sector. Only the suppliers able to deliver both the good quality products and services on the market will compete successfully.

The competition is the steady attribute of market economy. The influence of the market, broadening to international till global area, enhances the competition and the fight for survival. The amount of actors increases, the mutual dependence is getting deeper, the fighting forces and practices are growing. Only the firms able to accept the high usability and quality survive in this environment, to reduce the costs onto the inevitable minimum and to relieve of the all unnecessary.

An important question is how to obtain the needed and usable information. The majority of data is obtained from the public materials concentrated in the relevant database and evaluated by means of critical analysis. The goal of benchmarking is in identification of what is to be enhanced and introduced and what is to be removed. The key position in firm ability to compete has the product and process modernisation.

## Computers in Quality Management

Time is one of the reasons for applying both information and computer techniques into the individual phases of design, construction, and productional process design as well as into the quality management system. If the ISO 9000 family of standards and further related activities create the base for care of quality, the integration of such system into the firm control system is performed by means of quality management system aided by computer - CAQS.

The CAQS system is to fulfil the requirements as follows:

- considering the specific requirements in company - “fitted“
- the flexibility and openness - ability of changes and further grow
- utilisation of man’s abilities - not to put him into position of both the data giver and the performer of computer orders, to give him the supporting aid only (filer, analyser, calculator,...)
- to integrate itself with other firm information systems - convenient and reliable fast data exchange, communication with clients, service, suppliers
- to come out from the compact and reliable databases of quality - to transform the data about quality into information and knowledge

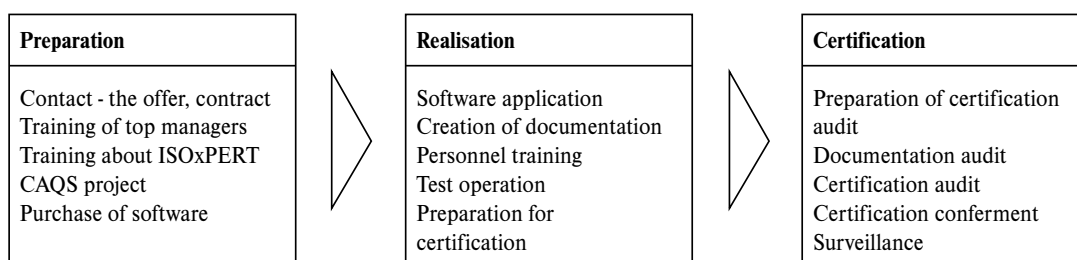
Vzdelávanie vrcholových manažérov a zamestnancov, ktorí budú systém zavádzať a udržiavať vykonávame externe. Kurz pre administrátorov v rozsahu 32 hodín realizujeme v počítačovej učebni. Cieľom kurzu je pripraviť jednotlivcov tak, aby zvládli základné možnosti Lotus Notes a aplikačné možnosti softvéru ISO x PERT. Súčasťou kurzu je aj návšteva firmy certifikovaným systémom manažmentu kvality podporovaný počítačmi.

Pracovný zošit s množstvom návodov a cvičení vhodne dopĺňa výklad lektorov. Absolventi obdržali osvedčenie o absolvovaní kurzu.

- to meet the existing standards at the integration ( e.g. QDES - Quality Data Exchange Standard)

It is to be realised, the system CAQS is part of both the total firm strategy and the system of care of quality and it is not their substitution.

It is needed to create the organisational preconditions for CAQS at first, to introduce it as soon as possible and to improve it continuously. The step sequence is shown on the next picture.



Poradenskú činnosť vykonávajú špecialisti priamo vo firme a to pri implementácii softvéru, v skúšobnej prevádzke a pri zlepšovaní a rozširovaní informačného systému podľa potrieb a požiadaviek firmy. Čas zavádzania systémov manažmentu kvality za podpory počítačov je možné rapidne skrátiť v prípade, že firma je pripravená po stránke hardvéru.

Certifikácia systémov manažmentu kvality podporovaných plne počítačmi (v elektronickej podobe) je v našej krajine v začiatkoch. Pre certifikáciu je pripravený len náš certifikačný orgán a v roku 1997 certifikoval prvú firmu na Slovensku. Ďalšie firmy sú v príprave a ich počet sa bude zvyšovať v súlade so svetovým trendom.

Každá doba má svoje obľúbené slová - dnes sú to kvalita a informácie. Všade okolo nás rastú informačné systémy. Informačné aktivity prinášajú firmám zisky. Hľadáme optimálne informačné správanie. Informácie o trhu, konkurentoch, subdodávateľoch, výrobkoch a službách dokáže zabezpečiť v počítačovej sieti licenčný softvér ISO x PERT dostupný na našom trhu.

The training of both the top managers and the personnel going to introduce and maintain the system is being performed in an external way. We give the courses for operators in the computer classroom in extent of 32 hours. The goal of the course is to prepare the individuals in order to manage the basic abilities of Lotus Notes and the possibilities of ISOxPERT application. The visit of company with certified computer aided quality management system is involved. An exercise book helps to support the lectures by means of many directions and exercises. The course-leavers obtain the certificate.

The certification of computer aided quality management systems (in electronic form) is its in beginning in our country. Our certification body is ready for this certification only and the first firm certified in year 1997. Other companies are in preparation and their number will increase according to the world trend.

#### Literatúra:

- [1] KMEŤ, S. a kol.: Total Quality Management, ŽU, Žilina, 1998

#### References:

- [1] KMEŤ, S. and col.: Total Quality Management, ŽU Žilina, 1998

Neville R. Hunt - Shamim Z. Warwick \*

# VZDELÁVANIE NA PRACOVNOM MIESTE: INJEKCIA ALEBO INFEKCIA?

## WORK-BASED LEARNING: INJECTION OR INFECTION?

*Príspevok sa venuje úlohe, ktorú môžu univerzity plniť pri podpore celoživotného vzdelávania využitím netradičných postupov výučby, prebiehajúcej priamo na pracovnom mieste a zameranej na vybrané poslanie ako aj pracovné činnosti. Popisuje spôsob vzdelávania opierajúci sa o praktickú činnosť (WBL) ako metódy výučby schopnej zaviesť nové poznatky, koncepcie a modely priamo u priemyselného partnera. Porovnávajú sa navyše priaznivé stránky metódy WBL s kritickým zhodnotením nevýhod, zvlášť nebezpečená znehodnotenia vysokoškolskej úrovne ako aj potenciálneho postupného ohrozenia integrity univerzitnej výučby v dôsledku nadmerného uplatňovania tejto metódy. Príspevok skúma možnosti využitia spôsobu výučby WBL v Slovenskej republike a dochádza k záveru, že pri vyváženej aplikácii má tento spôsob vzdelávania prednosti, avšak si nárokuje vytvoriť systém na zachovanie akademickej úrovne.*

*Kľúčové slová: výučba, celoživotné vzdelávanie, certifikácia, prispôbenie na mieru, urgentný, zmena, injekcia, infekcia*

## INJEKCIA

### 1. Úvod

Všeobecne známa je nutnosť zaviesť celoživotné vzdelávanie, z hľadiska podpory moderného a rýchle sa meniaceho ekonomického systému. Súčasne tempo zmien v priemyselných a obchodných odvetviach sa v budúcom tisícročí urýchli, čím vzrastú nároky na prax ale aj na jednotlivcov, pretože budú nútení aktívne sa zapájať do celoživotného vzdelávania ako aj zvyšovania kvality. Firmy v Európskom spoločenstve (EÚ) sa postupne stávajú aj „vzdelávacími inštitúciami“, aby zaistili rozvoj zamestnancov na všetkých úrovniach. Potreba školení sa tým v progresívnych organizáciách stáva nevyhnutnosťou.

### 2. Potreba vzdelávania v Slovenskej republike

Na Slovensku a v podobných krajinách sa ukazuje ako nevyhnutnosť pre priemyselné odvetvia na všetkých úrovniach zaviesť EÚ štandardy do praxe. Nutné je torobiť z hľadiska economic-

*This paper considers the role that universities can play in supporting lifelong learning by the adaptation of teaching methods to provide in-company education directed at specific roles and tasks. It considers the ways work-based learning (WBL) as a teaching methodology can **inject** new theories, concepts and models directly into industry. It balances the positive benefits of WBL with a critical appraisal of its drawbacks, particularly with respect to the threat of relaxation of academic standards and the dangers of gradual **infection** of academic integrity across all delivery methods. It looks at the opportunities for WBL in the Slovak Republic and concludes that on balance the new teaching technology is sound, but it urges caution in the approach to WBL and for the establishment of systems to ensure academic standards are maintained.*

***Keywords:** work-based learning, lifelong learning, certificated, 'tailor-made', urgent, change, injection, infection.*

## INJECTION

### 1. Introduction

The need for the adoption of lifelong learning to support modern, rapidly changing economies has been well documented. The current rate of change in the industrial and commercial environment is expected to accelerate into the next millennium and places an onus upon both industry and the individual to involve themselves actively in continuous education and improvement. Companies across the European Union (EU) are becoming 'learning organisations', each with a commitment to develop staff at all levels. The need, therefore, for training in all industries is urgent.

### 2. Training imperatives in the Slovak Republic

In countries like the Slovak Republic, economic regeneration, the rapid transformation to a market economy, and the search for new markets are signalling an urgent need for local industries at all levels to implement EU standards. Support for Slovak

\* Neville R. Hunt, University of Luton, Park Square, Luton, Bedfordshire, LU1 3JU, UNITED KINGDOM

tel +44-1582-743254, fax +44-1582-743292, E-mail neville.hunt@luton.ac.uk

Shamim Z. Warwick, University of Luton, Park Square, Luton, Bedfordshire, LU1 3JU, UNITED KINGDOM

tel +44-1582-743171, fax +44-1582-743143, E-mail shamim.warwick@luton.ac.uk

kého oživenia, urýchlenej transformácie hospodárstva na trhovú ekonomiku ako aj z dôvodu uplatnenia sa na nových trhoch. Slovenské univerzity sú aj finančne podporované rozličnými EÚ Tempus-Phare aktivitami, ktoré zahŕňajú vypracovanie akreditovaných učebných kurzov pre prax (Projekt SJEP 11 025-96), zameraných na Manažment kvality, využitím metódy vzdelávania priamo na pracovnom mieste (WBL) ako hlavného spôsobu výučby. Priemyselní partneri a univerzity boli zapojení do spoločne vyvinutých programov, rešpektujúcich ekonomické podmienky ako aj zvláštnosti vzdelávacích organizácií a priemyselných partnerov.

Zavedenie metódy WBL zaisťuje najmä vedúcim pracovníkom v praxi aktuálne informácie o nových západných technológiách s minimálnym narušením ich obvyklých činností. Reaguje sa tým na potrebu urýchleného zavedenia overených skúseností z oblasti riadenia kvality v západoeurópskych krajinách a u potenciálnych obchodných partnerov. Umožňuje tak aplikovať a okamžite overovať nové teórie tým skúseným pracovníkom, ktorí sa priamo zúčastňujú výrobných procesov v organizácii. Z tohto hľadiska, nový spôsob vzdelávania WBL zaisťuje možnosť injektovať nové poznatky do priemyselného procesu, čo by inak mohlo vyžadovať mnohoročné úsilie pri klasickom spôsobe vzdelávania.

Zavedenie novej teórie a technológie je teda spoľahlivé využitím spôsobu vzdelávania WBL, ktorý ďalej v krátkosti charakterizujeme. Tento spôsob výučby a vzdelávania, napriek obrovským prednostiam najmä z hľadiska praxe, má však aj nedostatky. Príspevok sa preto snaží prezentovať vyvážený pohľad na metódu WBL a navrhnúť opatrenia, ktoré by optimalizovali jej využitie v Slovenskej republike.

### 3. Koncepcia vzdelávania na pracovnom mieste (WBL)

Výučba uskutočňovaná na pracovnom mieste predstavuje veľmi flexibilnú metódu výučby, navrhnutú tak, aby spájala vysokoškolskú teóriu s praxou. Univerzitám poskytuje ideálnu možnosť na doplnenie vysokoškolského vzdelávania zamestnancov firiem. Pracovníci v praxi tak majú príležitosť získať nové vedomosti a zvýšiť si kvalifikáciu bez toho, aby museli zanechať prácu. Navyše teória sa dá využiť na riešenie aktuálnych problémov. Väčšinou voľnejšie „neformálne konzultácie“ tak prinášajú aj ďalší vedľajší produkt takého vzdelávania na pracovisku a tiež akreditovanú kvalifikáciu.

WBL prakticky vyžaduje vyvážiť teoretické vstupy s aplikácnou časťou v univerzitnom rozsahu. Od študentov sa očakáva veľká zodpovednosť v ich samostatnom štúdiu, iniciatívne sledovanie literatúry, týkajúcej sa konzultovanej teórie, pretože sa od nich očakáva vybrať teoretickú časť využiť v ich praktickej činnosti. Pretože WBL metóda umožňuje skĺznuť na štúdium vybrať problémov, treba pri jej praktickej aplikácii zaistiť, aby výučba bola porovnateľná a rovnako náročná ako obvyklé univerzitné štúdium. Najdôležitejšie odlišnosť WBL metódy spočíva v požiadavke aplikácie na získanie praktického riešenia problému a v dôsledku toho väčší úžitok pre priemyselného partnera. Práve kombinácia kompatibility štúdia a praktickej aplikácie je objektom kritiky.

universities through many EU funded Tempus-Phare activities has included the development of accredited educational packages for industry (Project SJEP 11025-96), which focused on Quality Management, using work-based learning (WBL) as its main teaching methodology. Industry and universities have been involved in the co-development of programmes appropriate to both economic environment and educational and industry practice.

The inclusion of WBL provides immediate exposure to new western techniques for working industrial managers with minimal disruption to work. It responds to the need for accelerated acquisition and adoption of 'best practice' techniques in Quality Management from the western economies and potential trading partners, by allowing contemporary theories to be applied and tested immediately by those experienced in the working practices of the organisation. In this respect it provides the opportunity for an *injection* of new learning into the industrial system, which otherwise might take many years to work its way through traditional educational routes.

This *injection* of new theory and technology is reliant upon the methodology of WBL, which is described briefly below. This teaching and learning approach, whilst of enormous potential benefit to industry, is not without its critics. This paper seeks to give a balanced view of WBL and to suggest ways whereby its use might be optimised in the Slovak Republic.

### 3. The Work-Based Learning Concept

Work-based learning is a very flexible teaching method, designed to fuse academic theory with contemporary practice. It is an ideal way for universities to encourage companies to allow their employees to study in higher education. Company employees have opportunities to gain new knowledge and recognised qualifications, without the need to leave work. Theory can be applied to real time problems. This 'informal consultancy' brings with it the by-products of on-the-job training and provision of accredited qualifications.

In practice, WBL requires a balance of theoretical input and application within an academic framework. Students are expected to take high levels of responsibility for their own learning, undertaking directed reading around the core academic input, from which they are expected to be selective in their application of theory to their own job roles. Whilst the WBL method encourages focus of study, it is bound within an absolute requirement that the education delivered must be both comparable and equally as exacting in its academic rigour as study by conventional methods. The important difference with WBL is its additional requirement for applicability to real business issues and its consequent value to industry. This combination of comparability and applicability is a focus of criticism.

In order to ensure the commercial value of WBL programmes, it is essential to have input from the employing

Na zaistenie komerčnej atraktívnosti študijných programov WBL sa ukazuje dôležitou spoluprácou so zamestnávateľmi už v štádiu prípravy štúdia. V tomto štúdiu je potrebné zdôrazniť rozdiel medzi vzdelávaním a školením. V súvislosti s nadobúdaním ďalších návykov a vedomostí, potrebných pre konkurencie schopnosť a prosperitu, školenia sú zamerané skôr na odbornú výkonnosť než na intelektuálny rozvoj. Z hľadiska formy, je to však naliehavá požiadavka. Avšak z aspektu zamestnanca, túžba po vyššej a uznávanej kvalifikácii aj mimo firmy, môže byť primárnou motiváciou.

V procese prípravy študijných programov WBL treba zohľadniť potreby všetkých zúčastnených partnerov. Predstavitelia univerzít musia zaručiť zohľadnenie troch nasledujúcich faktorov:

- a) Udržiavanie univerzitnej úrovne štúdia.
- b) Porovnateľnosť s inými univerzitnými programami, ktoré nevyužívajú formu vzdelávania WBL.
- c) Využitie teórie v praxi bez ovplyvnenia vysokoškolskej úrovne štúdia.

#### 4. Študijná metóda WBL pre automobilku Vauxhall Motors vo Veľkej Británii

Fakulta manažmentu Univerzity v Lutone v súčasnosti zaisťuje štúdium v dvoch špecializáciách WBL metódou pre miestnu fabriku Vauxhall Motors Ltd. (časť spoločnosti General Motors Inc., výrobcu áut Vauxhall a Opel). Štúdium sa uskutočňuje priamo v automobilke lutonskej firmy a zúčastňujú sa ho vybratí perspektívni zamestnanci tejto automobilky, avšak bez kvalifikácie v požadovanom rozsahu. S cieľom zlepšiť túto situáciu, Vauxhall Motors v spolupráci s Fakultou manažmentu v Lutone, vyvinuli študijné programy prispôbené potrebám automobilky, ďalej tiež požiadavky na záujemcov o štúdium, ktoré sú v súlade s nárokmi na poslucháčov Univerzity v Lutone. Metodika WBL je základom študijných programov pre Vauxhall Motors. V hodnotení skúseností zo štúdia vo Vauxhall Motors, Kinman a Kinman poukazujú na zvláštnosti tejto skupiny netradičných študentov. Uvádzajú najskôr nedocenenie vlastných schopností a nedostatok sebadôvery vo vzdelávacom prostredí, „absolutistické“ predstavy o potrebných vedomostiach, vrátane správnych ako aj nesprávnych odpovedí a prehnaná nutnosť byť vedený pri štúdiu [1].

Štúdium WBL v automobilke Vauxhall Motor sa skladá z vysokoškolských študijných predmetov, prispôbených výučbe na pracovisku a v študijných programoch sú už zohľadnené prácou získané vedomosti. D. Portwood [2] charakterizuje tento spôsob výučby ako „translačný“ prístup. Prispôbenie univerziténeho štúdia špecifickým problémom pracoviska vyúsťuje do ohraničenia rozsahu, avšak z toho istého dôvodu smeruje k prehĺbeniu štúdia. Kinman a Kinman poukazujú, že „výsledky skúšok boli prekvapujúco dobré, platí to pre predmety vyučované metódou WBL, ale aj pre predmety podávané klasickým spôsobom“. Tento poznatok je povzbudivý pre WBL metódu. Avšak spomínaní autori pokračujú poukazom na skutočnosť, že „dobré študijné výsledky nemusia byť jediným ukazovateľom úspešnosti, pretože existujú určité pochybnosti pri výučbe predmetov o splnení všetkých odborných a výchovných cieľov“ [3]. Napriek

organisation at the design stage. At this point it is important to draw a distinction between education and training. In the context of acquiring the new skills and knowledge required for survival and prosperity, training relates to functional performance rather than intellectual development. From company perspectives, this is the most urgent requirement. However, from the employee perspective, desire for a more transferable certificated qualification with currency outside the company might be the prime motivator.

The ‘negotiation’ process leading to the design of WBL programmes must take account of the needs of all partners. Universities must ensure that three elements are included:

- a) maintenance of academic standards
- b) equivalence with other university programmes not using this form of delivery
- c) application of theory to practice without academic compromise

#### 4. Work-based learning degrees at Vauxhall Motors in the UK

Luton Business School at the University of Luton has run two WBL degrees with its neighbour Vauxhall Motors Ltd (part of General Motors Inc./manufacturers of Vauxhall and Opel motor cars). These degrees are delivered on-site at the company’s Luton car plant to a selection of employees who have been identified as being of special value to the organisation, but are without many formal qualifications. In order to rectify this situation, Vauxhall Motors worked together with Luton Business School to develop programmes appropriate to the company needs, the abilities of the potential participants and consistent with the University of Luton’s strict academic quality controls. The WBL methodology is fundamental to the Vauxhall Motors programmes. In a review of the Vauxhall Motors experience, Kinman and Kinman point out the specific characteristics of this group of non-traditional students. These include their underestimation of their abilities and lack of confidence in an educational setting, their ‘absolutist’ conceptions of knowledge involving right and wrong answers and their need for high levels of support [1].

The approach to WBL adopted at Vauxhall Motors involves academic content adapted for use in the workplace and workplace experience incorporated into the curriculum. Portwood [2] defines this kind of delivery as a ‘translation’ approach. Adaptation of academic study to specific problems encountered in the workplace must limit its breadth, but by the same token will increase its depth. Kinman and Kinman indicate that ‘the results of assessments have been startlingly good; this is true of both modules delivered by WBL, and those more traditionally delivered.’ This conclusion can only be encouraging for WBL. However, they go on to point out that ‘assessment success is not necessarily the sole indicator of success, however, and some doubts remain about the effectiveness of the delivery of the programme in meeting all of the vocational and educational objectives’ [3]. Nonetheless, the activities at Vauxhall Motors are

tomu automobilka Vauxhall Motors považuje vyučovaciu činnosť za veľmi úspešnú a prospešnú rovnako študentom ako aj organizácii. Toto stanovisko sa všeobecne akceptuje aj na Univerzite v Lutone.

## 5. Prospešnosť vzdelávania WBL pre univerzity

Už sme uviedli výhody zo vzdelávania WBL pre priemyselných partnerov, avšak prospech z tohto spôsobu výučby majú tak isto aj univerzity. Predovšetkým WBL poskytuje vzácnu príležitosť na overenie správnosti teórie v praxi. Významné zmeny prebiehajúce v priemyselnej a obchodnej činnosti môžu spôsobiť zaostávanie škôl za praxou. WBL však zaisťuje spojenie univerzít s miestnymi priemyselnými podnikmi a zabezpečuje príslušné moderné vzdelávanie pre nových a skúsených pracujúcich študentov. Navyše a j finančné zmluvy s priemyslom sú veľmi atraktívne, pretože je dosť nepravdepodobné, že by univerzity mohli existovať iba zo vzdelávania mladých ľudí ako hlavného a primárneho poslania. Z tohto hľadiska, WBL poskytuje nový nevyužitý zdroj príjmov.

## INFEKCIA

### 6. Niektoré úvahy

V predchádzajúcich častiach sme charakterizovali spôsoby, ktorými WBL môže prispieť k užitočnému a rýchlemu uvádzaniu nových technológií do činnosti podnikov, pri súčasnom uspokojovaní rozličných potrieb firiem, zamestnaných študentov a univerzít. Skrytý dopyt, potreba a ochota poskytovať školenia ľuďom by mohli urobiť z uvedenej metódy dobrý obchod. Možný optimista by sa mohol pustiť do rozsiahleho podnikania vo vzdelávaní metódou WBL ako vyučovacím a obchodným všeliakom. Viac pozornosti je preto nutné venovať menej priaznivým aspektom WBL, ktoré sa prehliadnu pri dôraze na uspokojovanie záujmov vzdelávacích inštitúcií a priemyslu. Existujú koncepčné a praktické aspekty WBL metódy, ktoré ovplyvňujú pozitíva tejto metódy, nielen z hľadiska kvality vysokoškolskej výučby, ale tiež zo strany hodnotenia praktického úžitku tohto spôsobu štúdia študentmi a zamestnávateľmi. Je tu teda reálne nebezpečenstvo, že obchodné tlaky by mohli infikovať univerzitnú integritu použitých študijných programov. Tento proces nákazy sa môže hypoteticky prejavovať znížením úrovne vysokoškolského štúdia v metóde WBL a potom preniknúť aj do tradičnejších spôsobov, čím v konečnom dôsledku ovplyvní úroveň priemyselnej výroby.

#### 6.1 Rozsah výučby

Rozličná kvalita prístupu k študentom, spolu s viac praktickým ako aj diaľkovým charakterom tejto študijnej formy môže vzbudiť kritiku. Pri menšej pozornosti venovanej študentom sa riskuje, že poslucháči budú „menej naučení“ v danom študijnom odbore v porovnaní s poslucháčmi denného štúdia, bez výučby spôsobom WBL. Motivácia veľmi zafixovaných WBL študentov

regarded by the company as highly successful and beneficial to both students and the organisation, a view generally accepted by the University of Luton.

## 5. The benefits of WBL to universities

The foregoing has identified benefits to industry with WBL, but of course there are benefits to be enjoyed by universities as well. Firstly, WBL offers a rare opportunity for analysing the value of theory in working practice. With significant changes taking place in industrial and commercial life, academics can find themselves out of step with practice. WBL thus provides the important link for academics with the local industrial community and provides relevant, contemporary education for a new breed of experienced working students. In addition, financial contracts with commercial organisations are highly attractive, as it is unlikely that universities can survive with the education of young people as their sole or primary purpose. In this way WBL has the potential for offering unexploited new income streams.

## INFECTION

### 6. A time for reflection

The previous sections have demonstrated the ways in which WBL can provide the important benefit of urgent *injection* of new technologies into companies, whilst at the same time satisfying the different needs of companies, employee students and universities. With high latent demand, and capacity and willingness to supply, it might almost be an education salesman's dream. An optimist might be inclined to embark upon a wholesale acceptance of WBL as an educational and commercial panacea. The more cautious should reflect on the less positive aspects of WBL, which might easily be ignored through an emphasis on satisfying the mutual interests of educationalist and industrialist. There are conceptual and practical aspects of WBL that might affect the validity of the technique, both in academic quality terms and also in terms of student and employer assessment of the practical values of the study mode. There is a real danger that commercial pressures might *infect* the academic integrity of such programmes. By this process of *infection*, it can be hypothesised that once the precedent of relaxation of academic standards is set for WBL, then there is a danger of this spreading throughout other, more traditional modes of tuition, with industry ultimately setting, or more accurately resetting, the standards.

#### 6.1 Taught input

Variable quality of input to students, given the more applied and remote nature of this form of study, might give rise to criticism. With a lower level of formal teaching input, there might be a risk of students being 'under-educated' in the study programme by comparison with full time students who are not involved in WBL. The inclination of busy WBL students to read

čítať a učiť sa navyše, ako sa predpisuje v programoch, je zrejme malá. Podľa toho, ako budú vyučujúci vytrvalo a rozhodne trvať na ďalšom štúdiu a vyžadovať širší rozhľad v študovanej problematike, taký užitočný bude efekt a úroveň vzdelania študentov.

Pozornosť treba venovať vydávaniu učebných pomôcok, akými sú skriptá, poznámky z prednášok a prípadové štúdie. Musia však byť prispôbosené potrebám WBL študentov. Zdá sa sporným pokus „prispôbovať“ učebné pomôcky potrebám WBL metódy, pretože vyučujúci tým sami zúžia študijný záber a zapríčinia „nižšie-vzdelávanie“. Avšak WBL študenti vyhľadávajú a naliehavo žiadajú špecializované študijné materiály, zamerané iba na určitú problematiku.

Ďalším problémom súvisiacim s rozsahom výučby je intenzita vedenia študentov vyučujúcimi. Kinman a Kinman sa zmieňujú o potrebe náročnejšieho vedenia študentov v automobilke Vauxhall Motors [4]. Aj keď sa dá argumentovať tým, že nekonvenčné štúdium si nárokuje väčšiu pozornosť zo strany vyučujúcich, zostáva sporom z hľadiska rovnosti príležitosti, či týmto študentom sa treba venovať viac než obvyklým poslucháčom. Okrem tohto morálneho aspektu nemôžeme však ignorovať evidentný tlak na vyučujúcich, aby odvedli dobrú službu „zakazníkovi“, ktorému sa ťažko čelí.

## 6.2 Výstupy z výučby

Niektoré kritiky vysvetľujú ťažkosti s udržaním rovnakej úrovne WBL metódy štúdia s konvenčnými vyučovacími prístupmi. Vo svojej podstate je WBL metóda vzdelávania viac otvorená zmenám ako hlbšie teoreticky vedená výučba. Podstatné je dosahovať rovnakú úroveň vzdelávania ako v prípade absolventov denného štúdia alebo inej formy diaľkového štúdia. Kritici tak právom požadujú dôkazy, že WBL študenti nemajú zvláštne výhody, plynúce zo skutočnosti, že sú súčasne „platiacimi zákazníkmi“.

## 6.3 Hodnotenie vedomostí

V súvislosti so spôsobom overovania vedomostí vzniká nebezpečenstvo, že z dôvodu špecifického zamerania štúdia WBL, mechanizmy overovania vedomostí budú tak isto prispôbosené jednotlivým študentom a nimi aplikovanej teórii. Treba však odolať tendenciam nebrať do úvahy časti predmetu mimo študentovho záberu, aby sa udržala ekvivalentná úroveň WBL formy štúdia. Dá sa však predvídať, že WBL študenti sa dobrovoľne nezmeria s pridanou prácou nad rámec ich osobnej „pohodlnej oblasti“ práce. Spôsoby overovania vedomostí však ponúkajú skutočnú možnosť dosiahnuť vysokoškolskú úroveň, rozšíriť záber štúdia a prinútiť zamestnaných študentov naštudovať celý predmet, aby sa minimalizovali kritické pohľady na WBL metódu. Využitím kombinovaného skúšania z WBL časti štúdie ako aj vlastného samoštúdia spolu s overovaním vedomostí z celej šírky predmetov predpisanej osnovami, by sa mohla dosiahnuť ekvivalencia výsledného vzdelania.

and learn outside the particular application requirements of the course is likely to be low. Whether or not the academic tutors have the persistence and determination to impose the broader aspects of the study on the students will be a key determinant of the level of educational benefit enjoyed by students.

The issue of teaching aids, such as textbooks, lecture notes and case studies and whether or not they should and can be ‘tailor-made’ to the needs of the WBL students must be considered. It can be argued that that by attempting to ‘tailor’ the teaching aids to the WBL approach, the academics will exacerbate the predicted narrowness of focus and ‘under-education’. However, the pressure from WBL students for focused teaching aids is likely to be high.

Another issue related to teaching input is the level of tutorial support available to students. Kinman and Kinman have noted the need for high levels of student support at Vauxhall Motors [4]. Whilst it can be argued that non-traditional students will need more support, it is questionable whether for parity of opportunity they should be given more than traditional students. The moral argument aside, the sheer pressure on the academics to give good ‘customer service’ cannot be ignored and is not likely to be resisted.

## 6.2 Learning outcomes

Some critics highlight the difficulties of maintaining parity of standards between more conventional teaching approaches and the WBL methodology. By its very nature, WBL is more open to variation than more theory-driven conventional teaching methods. Full parity of standards with participants in full or other part time study schemes is essential and critics rightly need some proof that there is no special favour given to WBL students by virtue of the fact that they are usually funded by ‘paying customers’.

## 6.3 Assessment

In terms of assessment, there is the danger that, due to the specific orientation of the work-based study, assessment mechanisms will also be tailored to the individual student’s specific application of theory. In order to maintain the equivalence of the work-based study option, the inclination to ignore those elements of each academic module outside the student’s area of focus must be resisted. One can predict, however, that work-based students will not willingly acquiesce to what will amount to additional work outside their personal working ‘comfort zones’. However, given the foregoing criticisms of the WBL method, the assessment vehicle offers a real opportunity for redressing the academic balance, broadening the focus and forcing employee students to learn across the whole syllabus. Using a combination of assessment of the work-based elements against their own negotiated learning outcomes and testing across the wider curriculum, the equivalence of the overall learning outcomes can perhaps be assured.



#### 6.4 Vplyv vzťahu kupujúci - dodávateľ

Väčšina WBL činností sa robí za finančnú odmenu ako hlavnú výhodu pre univerzity. Napriek nezávislej činnosti univerzít a „partnerskému“ vzťahu, netreba zabúdať na vzťah kupujúci - dodávateľ. V prípade automobilky Vauxhall Motors, ako to uvádza Kinman a Kinman, dominuje táto firma a jej kultúra vzťahov. Univerzitu pokladajú v mnohých prípadoch za viac-menej rovnakého dodávateľa ako sú iní [5]. Vplyvom tejto skutočnosti sa vyžaduje poskytnutie služieb ako od zákazníka. Navyše sa bráni použitiu prípadových štúdií a využitiu ďalšej dokumentácie mimo oblasti činnosti firmy.

Problémy spôsobené neúspechom pracujúcich študentov výrazne ovplyvňujú vývoj vzťahu kupujúci - dodávateľ. Výrazný neúspech poslucháča môže byť pre neho veľmi nepríjemný. Vo vnútri firmy štúdium WBL má značnú váhu a je všeobecne sledované pracovníkmi podniku. Študenti, ktorí neuspeli v niektorej časti štúdia môžu očakávať, že táto skutočnosť ovplyvní ich postup vo firme. Navyše firmy môžu žiadať prehodnotenie študijných programov, ktoré sú pre nich brané ako školenia, aby sa zvýšil počet úspešných študentov, čo vyhovuje ich hodnoteniu z finančného hľadiska. Tým nátlak na vyučujúcich, aby nechali prejsť študentov, sa javí väčším než pri bežnom dennom štúdiu. Tomuto tlaku však treba vzdorovať.

Nepopierateľnou skutočnosťou je však to, že firmy sú v konkurenčnom prostredí, v ktorom musia finančne prosperovať. Školy si tento fakt musia uvedomovať, a preto operatívne hľadajú vhodný prístup k firmám, bez ovplyvnenia univerzitnej úrovne štúdia.

#### 6.5 Skúsenosti z výučby

Nevýhodou výučby postupom WBL, zvlášť keď sa uskutočňuje na pracovisku mimo univerzitného prostredia, je nedostatok kontaktov jednotlivcov z rozličných oblastí. Aj keď tento štýl práce je nevyhnutný, potreba výmeny názorov ako aj pracovných skúseností predstavuje veľmi obohacujúci fenomén mnohých postgraduálnych kurzov. Kinman a Kinman zdôrazňujú obmedzenia WBL vzdelávania a uvádzajú prípady, keď niektorí študenti sa rozhodli navštevovať večernú výučbu na univerzite, pretože ich zlákať „prostredie“ ako aj účasť kolegov z iných organizácií. Z toho plynie, že skúsenosti nadobudnuté vo výučbe postupom WBL v automobilke Vauxhall Motors sú špecifické pre túto firmu bez toho, aby boli presným návodom pre iné formy štúdia. Zdá sa, že je dôležité rozšíriť záber aj na iné výrobné organizácie a zaistiť rovnováhu využitím spolupráce so študentmi z iných organizácií.

### 7. Závery

Zvlášť v stredo a východoeurópskych krajinách, akou je aj Slovensko, vystupujú do popredia požiadavky na školenie vedúcich pracovníkov v priemysle, aby boli schopní zaviesť nové západné technológie do výroby. Zapojenie vysokých škôl do vzde-

#### 6.4 The buyer/supplier effect

In most cases WBL activities will be undertaken with 'paying customers'; such is its prime attraction for universities. Much as universities might favour independence of operation and 'partnership', the buyer/supplier effect cannot be ignored. In the particular case of Vauxhall Motors cited by Kinman and Kinman, the company and its culture is very dominant and the university is treated in many ways much the same as any other of the company's suppliers [5]. One effect of this is the demand for customer service. Another is the resistance to the use of case studies and other exemplars taken from outside the company's sphere of operation.

The problems associated with failure by employee students have a strong influence on the buyer/supplier dynamic. The ramifications of failure on the individual student can be quite devastating. Within the company setting, the WBL activity is likely to have high status and will be known about by others in the company. Students failing any element of the academic programmes could reasonably expect that this might have an effect on their subsequent career prospects within the company. This aside, companies will be embarking upon the programme, which in essence they may see as training, to produce *successful* students and this will influence their view of value for money. Thus, the pressure upon academics to pass students will be that much greater than the equivalent full time, non-WBL students. This pressure must be resisted.

One fundamental fact is undeniable. Companies are in business to stay in business and to prosper financially. Universities will need to recognise this and develop a flexible approach to companies' operational needs and pressures, without compromising academic standards.

#### 6.5 The Learning Experience

There is some concern that the WBL approach, particularly when it is delivered on-site and outside the university setting, suffers from a lack of interaction with individuals from other cultures. Whilst this is in some ways inevitable, the need for exchange of viewpoints and working cultures is an important facet of many post-experience programmes. Kinman and Kinman identify the cultural limitations and cite cases where some students have elected to attend evening teaching sessions at the university, being attracted by both the 'atmosphere' and the presence of managers from other organisations [6]. This implies that the experience from the WBL activity at Vauxhall Motors is rather more introspective than the norm for other full and part time programmes. Thus, it is important to broaden cultural horizons and provide balance through interaction with other students from outside the organisation.

### 7. Conclusion

There are powerful imperatives, particularly in central and eastern European countries such as the Slovak Republic, to train industry managers to *inject* new western techniques into industry.

lávacích činností, najmä prostredníctvom metódy WBL, je mimoriadne užitočné. Podobne ako pri každej novej technológii, narážame na začiatkové ťažkosti, plynúce zo zavedenia novinky. Týka sa to potrieb úpravy vzťahov partnerov zapojených do vzdelávania metódou WBL a záruk toho, že pracujúci študenti nebudú „nedostatočne vyškolení“, alebo im nebudú poskytnuté zvláštne výhody v porovnaní so študentmi, vzdelávanými podľa bežných študijných programov. Avšak pri zohľadnení komerčných vzťahov, ktoré výrazne ovplyvňujú proces výučby, vzniká nebezpečenie, že univerzitné záujmy a úroveň budú podriadené klientovým záujmom a potrebám, ktoré očakáva od výučby. Môže to vyústiť do tendencie degradovať univerzitnú úroveň, čo môže mať následný dopad na ostatné spôsoby výučby.

Základná predstava o výučbe spôsobom WBL za optimálnych okolností je jasná. Analýza WBL metódy umožnila identifikovať oblasti, ktorým treba venovať pozornosť a z ktorých sa dá poučiť. Treba vyvinúť a zaviesť kontrolný a monitorujúci systém, aby sa dosiahlo to, že výsledky z výučby spôsobom WBL budú prijateľné pre všetkých zúčastnených partnerov a výraznejšie neznižia univerzitnú úroveň vzdelávania. Skúsenosti automobilky Vauxhall Motors ako aj úspešné výsledky hodnotenia štúdia poskytujú pozitívny príklad WBL spôsobu výučby, aj pri určitých pochybnostiach o celkových odborných a vzdelanostných výstupoch. Je to príležitosť a výzva pre univerzity na Slovensku ako aj pre ďalších, ktorých zaujalo štúdium spôsobom WBL, na prípravu študijných programov ako aj kontrolných mechanizmov, schopných vylúčiť nedostatky a poskytnúť tak širšie ako aj vyvážené vzdelanie, ekvivalentne iným spôsobom štúdia.

#### LITERATÚRA:

- [1] KINMAN, R., KINMAN, G.: Work-base learning on trial, Industry and Higher Education, October 1997 p 317
- [2] PORTWOOD, D.: Work-based learning, linking academic and vocational qualifications, Journal of Further and Higher Education, Vol 17, No 3, 1993, pp 61-69
- [3] INMAN, R., KINMAN, G.: (1997) op cit., p 319
- [4] *ibid*, p 317-318
- [5] *ibid* p319
- [6] *ibid* p320

The benefits for universities to engage themselves in this activity using, in particular, the WBL methodology are strong. As with any new technology, however, there are teething problems associated with implementation. These primarily centre on the need to service the differing needs of the partners in WBL and to ensure that employee students are neither 'under-educated' nor given any special advantage over other students in conventional study programmes. However, with commercial considerations largely driving the process, there is a danger that the academic interests and standards will be suppressed under a client-driven need for training. The net effect of this might be a tendency to *infect* these academic standards, which might subsequently *affect* standards across all modes of curriculum delivery.

On balance, the basic concept underpinning WBL is sound. A review of WBL has enabled areas to be identified where caution should be exercised, from which lessons can be learned. Control and monitoring systems must be developed and implemented to ensure that overall, the WBL educational experience continues to satisfy all the needs of the partners and importantly does not lead to a degradation of academic standards. The Vauxhall Motors experience, with its high level of success in assessment provides a positive example for the WBL mode of teaching, albeit with some doubts surrounding the overall vocational and educational outcomes. The challenge for Slovak universities and any others interested in the WBL mode of study is to develop programmes and control mechanisms which fully overcome these shortcomings and provide a broad and balanced education that is equivalent to all other study modes.

#### REFERENCES:

- [1] KINMAN, R., KINMAN, G.: Work-base learning on trial, Industry and Higher Education, October 1997 p 317
- [2] PORTWOOD, D.: Work-based learning, linking academic and vocational qualifications, Journal of Further and Higher Education, Vol 17, No 3, 1993, pp 61-69
- [3] INMAN, R., KINMAN, G.: (1997) op cit., p 319
- [4] *ibid*, p 317-318
- [5] *ibid* p319
- [6] *ibid* p320

Viera Poppeová - Nadežda Čuboňová - Juraj Uriček \*

# VÝUČBA POČÍTAČOM PODPOROVANÝCH TECHNOLOGIÍ V STROJÁRSTVE

## EDUCATION OF CA TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING STUDY

*Na oblasť číslícovo riadených strojov, počítačom podporovaných technológií, hlavne na systémy počítačového konštruovania a počítačom podporovanú výrobu v strojárstve je na Strojnickej fakulte Žilinskej univerzity orientované hlavne študijné zameranie Výrobné systémy s priemyselnými robotmi a manipulátormi.*

Na Strojnickej fakulte Žilinskej univerzity je možné v súčasnosti študovať viacero študijných odborov. Študijné zameranie Výrobné systémy s priemyselnými robotmi a manipulátormi (VSPRM) bolo koncipované v osemdesiatych rokoch, teda v rokoch maximálneho boomu robotov, na všetkých technických univerzitách v bývalom Československu. Na našej univerzite ho možno študovať od roku 1986. Garantom štúdia je Katedra merania a automatizácie. Na výučbu odborných a profilových predmetov bolo potrebné vybudovať nové laboratóriá s celkom novým vybavením - s číslícovo riadenými (NC - Numerical Control) strojmi, priemyselnými robotmi, počítačmi a potrebným programovým vybavením, neskôr so systémami pre počítačom podporované (CA - Computer Aided) technológie, hlavne počítačové konštruovanie (CAD - CA Design) a počítačom podporovanú výrobu (CAM - CA Manufacturing) a komplexné CAD/CAM systémy.

### 1. Výučba programovania NC strojov

Technologická príprava výroby a príprava programov pre NC stroje patrí medzi najdôležitejšie oblasti v pedagogickej a výskumnej činnosti katedry. Pre zabezpečenie tejto činnosti bolo nutné vybaviť pracovisko NC strojmi a potrebným hardvérom a softvérom. Bola to ťažká a zložitá úloha. Pretože produkčné NC stroje predstavujú investície vo výške niekoľkých miliónov, rozhodli sme sa zamerať na tzv. školské NC stroje - hlavne od rakúskej firmy EMCO. V roku 1989 sme zakúpili školský sústruh EMC O Compact 5 CNC, ktorý doteraz spoľahlivo pracuje a máme s ním tie najlepšie skúsenosti. Kapacita tohto stroja však nebola dostatočná pre výučbu viac ako sto študentov ročne, ako je to v našom prípade. Preto sme vyvinuli softvér na simuláciu činnosti tohto stroja, ktorý umožňuje overiť správnosť technologického postupu a NC programu, ako aj zistiť možné kolízne stavy. Simulačný program zvýšil efektívnosť a intenzitu pedagogického

*Process of education in study branch Production Systems Equipped with Robots and Manipulators is mainly oriented towards the areas of Numerically Controlled Machines and Computer Aided Technologies, Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing Systems in Mechanical Engineering.*

At present it is possible to study different study specializations and branches at the Faculty of Mechanical Engineering at the University of Žilina. The study branch Production Systems Equipped with Robots and Manipulators (PSERM) was conceived during the years of robotics boom (1980's) at several technical universities in former Czechoslovakia. At our University it has been possible to study it since 1986. The patron of this study is the Department of Measurement and Automation. It was necessary to build new laboratories for education of subjects with completely new structure - numerically controlled (NC) machines, industrial robots and manipulators, computers, software for programming automation of NC machines and later CA (Computer Aided) technologies and CAD/CAM (CA Design / Manufacturing) systems.

### 1. Teaching of NC Machines Programming

The technological production preparation and program creation for numerically controlled machine tools is one of the most important research and educational activities of our Department. In order to be able to support such activities it was necessary to equip our workplace with NC machines and later also with computers and required software. It was a difficult and complex task. Because all the production NC machines require an investment of several millions, we have decided to concentrate on training machines (among others from the Austrian company EMCO). In the year 1989 we have bought a EMCO Compact 5 CNC training lathe, which has worked reliably until today and we have had only the best experience with this machine. The capacity of one machine was not able to cover requirements to teach more than one hundred students per year as in our situation. Therefore we have developed a simulation software for this machine, which allows to check the technology procedure and the program off-line

\* Ing. Viera Poppeová, PhD., Ing. Nadežda Čuboňová, PhD., Ing. Juraj Uriček, PhD.

Department of Measurement and Automation, Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, Veľký diel, 010 26 Žilina, Slovak Republic  
tel.: +421-89-528 06, fax.: +421-89-652 940, e-mail: poppeova@fstroj.utz.sk

procesu. V roku 1995 katedra získala školský pružný výrobný systém EMCO, ktorý pozostáva zo sústruhu EMCO Compact 5 CNC s elektricky ovládaným konikom, čo umožňuje automatizovať výmenu obrobkov, ďalej z frézky EMCO F1 CNC s elektricky ovládaným zverákom a z päťosového robota MITSUBISHI.

Automatizované programovanie a tvorbu partprogramov sme začali vyučovať najskôr v systéme AUTOPROG, ktorý je možné použiť tiež na tvorbu technologických postupov. V roku 1990 sme začali používať systém INGE z firmy INORGA Praha. Tomuto systému však chýbalo niekoľko dôležitých funkcií, a preto sme začali pracovať so systémom KOVOPROG z firmy Kovosvit Sezimovo Ústí. Vďaka dobrej spolupráci s autormi tohto systému máme najnovšiu verziu, ktorá na počítači umožňuje vytvárať programy pre obrábacie centrá, sústruhy, drôtové rezačky a NC lisy. Ďalší systém, ktorý používame na výučbu programovania a simuláciu činnosti strojov a robotov, je systém od firmy INTYS Bratislava. Katedra vyvinula rozširujúci modul pre tento systém, ktorý umožňuje použiť ho aj pre programovanie sústruhu od firmy EMCO. V súčasnosti pracujeme tiež so simulačným programom činnosti frézky EMCO F1 CNC, ktorý bol vytvorený na našej katedre.

### 1.1 Modul výučbového softvéru INTYS pre sústruh EMCO 5 CNC

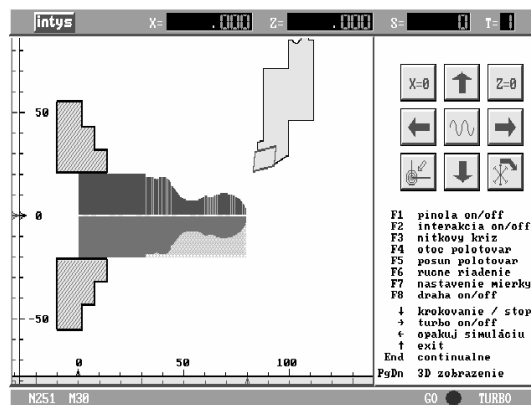
Firma INTYS Bratislava dodáva výučbové systémy pre rôzne NC stroje a robotizované pracoviská pre účely výučby (školské a tréningové centrá). Preto je rozdelený výučbový proces do týchto fáz: programovanie frézovacích a sústružníckych CNC strojov s grafickou simuláciou po jednotlivých riadkoch CNC programu, príprava a zoradenie stroja, výroba súčiastky podľa programu, editovanie a vytvoreného v predchádzajúcej fáze, príprava a zoradenie robotizovaného obrábacieho centra, navrhnutie riadiaceho programu a spojenie s inými CNC strojmi. Simulačný softvér firmy INTYS dovoľuje zvládnuť základy programovania ľahko a rýchlo. Študent je schopný vytvoriť program pre akúkoľvek zadanú súčiastku. Tento softvér dovoľuje simulovať vytvorený program na PC alebo skúsiť ho priamo na stroji. Vzhľadom na to, že mnoho škôl má školské CNC stroje firmy EMCO, naša katedra vytvorila rozširujúci modul pre systém INTYS. Tento modul umožňuje transformáciu NC programu z formátu INTYS na formát NC programu pre riadiaci systém stroja EMCO. Boli zistené rozdiely formátov v týchto prípadoch: číslovanie blokov, počet miest v danom bloku, formát a pozícia G a M funkcií, formát a pozícia súradníc X a Z a parametrov F, H, T, L a K, zistenie

and to detect any possible collisions. This simulation software made our education process more effective and intensive. In 1995, the Department managed to acquire the Training Flexible Manufacturing System EMCO which consists of EMCO Compact 5 CNC lathe with electric chuck (which allows automatic part exchange), milling machine EMCO F1 CNC with electrically controlled clamp and 5 - axis robot Mitsubishi.

The automated programming was introduced and the technique of part-program preparation was exercised first in the system AUTOPROG, which is also able to automatically create technological procedures. In 1990 we have tried the system INGE from Inorga Prague. However, it missed several important functions and therefore, we have begun with the KOVOPROG system from Kovosvit Sezimovo Usti. Thanks to good co-operation with authors of the system, we have the newest version of the system and it is suitable for program creation for machining centres, lathes, wire cutters and NC presses. Another system we use for programming and simulation of machines and robots, is the system from the firm INTYS Bratislava. Our department developed extension module for this system, which allows its application for EMCO training lathe. We are working also with the simulation program of the EMCO F1 CNC milling machine, which was also made in our Department.

### 1.1 Module of Educational Software INTYS for the EMCO 5 CNC Turning Machine

The firm INTYS Ltd., Bratislava supplies training systems - different CNC machines and robotized centres - for educational purposes (schools and training centers). Therefore, the educational process is divided in phases: the programming of milling and turning CNC machines with graphic simulation of single block of CNC program and the exercising of machine preparation and set-up, manufacturing a part using CNC program edited and debugged in previous phase, preparation and set-up of robotized machining center, devising its control program and communication with other CNC machines. INTYS simulation software allows to master CNC programming basics quickly and easily. Then, the student is able to create CNC program for any given part. Training software allows to simulate created program on the PC or try directly on a machine. Considering that many of the schools have some machines from the firm EMCO, our department developed an expanding module for educational software INTYS. This software module allows transformation of NC program from INTYS system format to EMCO format. Differences were found



Obr. 1. Grafická simulácia NC programu a výroby súčiastky v systéme INTYS  
Fig. 1 Graphic simulation of NC program and manufactured part in INTYS system

kódu funkcie pre priame a pozdĺžne sústružnicke cykly, formát a definícia funkcií G02 a G03 pre kruhovú interpoláciu, definícia funkcie M06 - výmena nástroja, iný význam funkcie M99 a kapacita pamäte pre NC program.

## 2 Výučba CA technológií

### 2.1 Počítačové konštruovanie

Výučba predmetu Základy počítačového konštruovania sa začala v roku 1989. Na katedre bola vybudovaná počítačová učebňa, ktorá okrem iných predmetov umožnila výučbu kurzov systému AutoCAD 10. Obsah kurzu zahŕňal hlavne 2D kreslenie, tvorbu a editovanie grafických entít, tvorbu technickej a konštrukčnej dokumentácie pre priemysel. Neskôr, s ohľadom na zvyšujúce sa požiadavky na špecialistov v tejto oblasti (hlavne z konštrukčne orientovaných študijných odborov fakulty), bol realizovaný projekt na vytvorenie špecializovaného laboratória pre výučbu CAD systémov s nevyhnutným hardvérom a vyššími verziami AutoCADu. Toto laboratórium je v súčasnom období organizačne začlenené na Katedru častí strojov. Študenti Strojníckej fakulty tu môžu absolvovať niekoľko predmetov orientovaných na systémy AutoCAD a Pro/ENGINEER. Vďaka dobrej spolupráci s priemyslom naša katedra môže ponúknuť CAD aplikácie a študenti môžu pracovať s najnovšími softvérovými produktmi tohto druhu. Okrem AutoCADu je možné oboznámiť sa so systémami CADKEY a SOLIDWORKS. V roku 1996 bolo vytvorené na katedre nové laboratórium CAD/CAM so siedmimi pracovnými stanicami pre systém Pro/ENGINEER.

### 2.2 CAD/CAM systémy

Niekoľko rokov skúseností v oblasti CAD a programovania NC strojov, ako aj dostupné počítačové učebne na katedre a fakulte, vytvorili dobré štartovacie podmienky pre výučbu CAD/CAM systémov. Katedra pomohla vyriešiť tiež niekoľko praktických problémov pre firmy v tejto oblasti a spolupracovala pri aplikácii týchto systémov do praxe (tvorba postprocesorov pre konkrétne NC stroje a pod.). Prvý, veľmi jednoduchý, ale doteraz stále zaujímavý príklad takéhoto systému je využitie školského sústruhu EMCO Unimat PC, ktorý je riadený osobným počítačom. Softvér umožňuje vytvoriť profil obrodku na obrazovke počítača, potom je automaticky generovaný technologický postup, vytvára sa NC program a riadi sa výrobný proces na stroji. V roku 1995 vďaka dobrej spolupráci s firmou 3J Soft Poprad sme získali systém SURFCAM. Jeho výhodou je, že nevyžaduje silný hardvér a pracuje na klasických PC. Je aplikovaný v spojení s modelárskou frézku HWT A-442 CNC, ktorá dovoľuje dotykové snímanie povrchu modulu so skenovacou sondou a tiež matematické modelovanie povrchu. Ako už bolo uvedené vyššie v roku 1996 katedra získala sedem pracovných staníc a CAD/CAM systém Pro/ENGINEER. Okrem použitia tohto systému pre CAD a CAM problémy vyvinuli sme moduly pre spojenie systému Pro/ENGINEER s NC strojmi na katedre (školský sústruh a frézka EMCO).

out in the following instances: block numbering, character count in one line, format and position of G-function and M-function, format and position of coordinates X, Z and parameters F, H, T, L and K, indication of the function code for straight and face roughing cycle and the neck down cycle, format and definition of G02 and G03 functions for the circular interpolation, definition of M06 function - tool change, different M99 purpose and memory capacity for NC program.

## 2 Teaching of CA Technologies

### 2.1 Computer Aided Design

The instruction of the subject Basics of Computer Aided Design began for the first time in 1989. The Department founded a new computer laboratory, where among the other subjects, courses of the AutoCAD 10 system were taught. The contents of the course included mainly 2D drawing, creation and editing of graphical entities, creation of the technical and drawing documentation for the machining industry. Later, due to growing demands for specialists in this area, coming from other study branches (especially design oriented), a project was realised to create a special computer laboratory for teaching CAD systems together with necessary hardware and later versions of AutoCAD. This laboratory is now under the supervision of the Department of Mechanisms and Machine Parts. All faculty students can follow here several optional subjects from the basics of AutoCAD to Pro/ENGINEER.

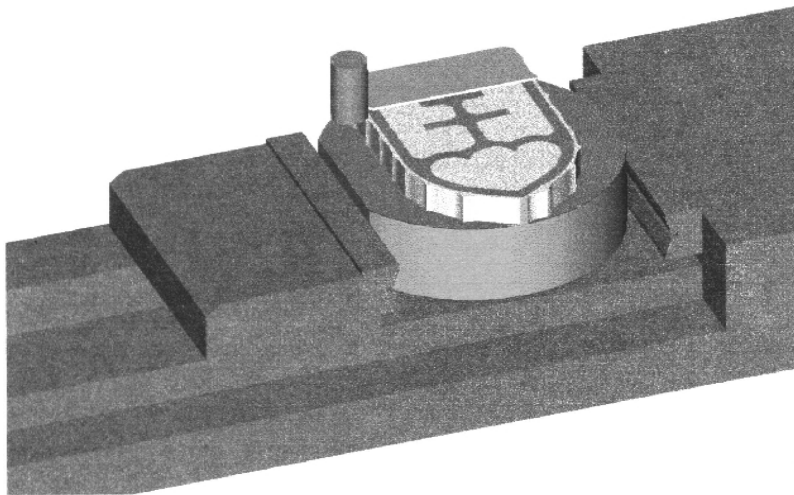
Thanks to cooperation with the industry, our department is able to follow CAD application explosion and students can work with the latest software products in this field. In addition to AutoCAD it is possible to get the students acquainted also with systems as CADKEY and SOLIDWORKS. In 1996 a new CAD/CAM laboratory was created with seven workstations for Pro/ENGINEER systems at our Department.

### 2.2 CAD/CAM Systems

Several years of experience in the area of CAD and programming of NC machines and the available computer laboratories at the Department and the Faculty, provided a good starting condition for the education of CAD/CAM systems. We also help to solve several practical problems for companies in the area and assist with introducing the application of such systems (creation of post-processors for individual machines and so on). First but until now still an interesting example of such a system is the application on EMCO Unimat PC training lathe, which is controlled by computer. The software allows to create the profile of the workplace on the computer screen and then it generates technological procedure, creates the NC program and controls the production process of the machine. In 1995, thanks to cooperation with the company 3J-SOFT Poprad, we have acquired the system SURFCAM. Its big advantage is that it does not need powerful hardware and it works on a regular PC. It is applied together with

### 2.2.1 Aplikácia CAD/CAM systému Pro/ENGINEER vo výučbe

CAD/CAM systém Pro/ENGINEER je na Strojnickej fakulte používaný na výučbu predmetov zameraných na automatizovanú technickú prípravu výroby. V tejto časti je uvedený problém transformácie CL (Cutting Location) dát, ktoré boli vytvorené v CAD/CAM systéme Pro/ENGINEER, na NC program takého formátu, ktorý je predpísaný pre vstup do riadiaceho systému školskej frézky EMCO F1 CNC. Preklad CL dát sa vykonáva pomocou programu, ktorý bol vytvorený na katedre. Softvér pracuje na štandardných PC. Program číta príkazy CL dát z textového poľa po riadkoch a generuje pre každý načítaný príkaz príslušnú funkciu do riadiaceho systému frézky. Cyklus generovania sa uskutočňuje dovtedy, pokiaľ nie sú načítané všetky príkazy z CL dátového poľa. Pri použití navrhnutého programu sa postupuje nasledovne: konštruovanie súčiastky v systéme Pro/ENGINEER, simulácia výroby v module Pro/MANUFACTURING, určenie technologických podmienok (nástroje, prípravky, rezné parametre, polotovary), tvorba CL dátového poľa (výstup z Pro/MANUFACTURING), preklad CL dát na NC program, načítanie NC programu do riadiaceho systému, výroba navrhnutých súčiastky na stroji. Správnosť programu bola overená pri výrobe viacerých súčiastok rozdielnych tvarov a rozmerov.



Obr. 2. Pohybový cyklus nástroja pri výrobe súčiastky v module Pro/MANUFACTURING  
Fig. 2 Tool - path of machining part in Pro/MANUFACTURING model

### 3. Závery

Študenti študijného zamerania VSPRM sú po skončení štúdia pripravení riešiť problémy pružnej automatizácie technologických procesov a výrobných systémov. Sú schopní využívať a navrhovať aplikačný softvér a hardvér. Ovládajú základy CA technológií - počítačové konštruovanie, automatickú tvorbu technologických postupov a programov pre NC stroje a roboty. Môžu riešiť problémy v oblasti využitia CAD/CAM systémov, pri návrhoch pružných výrobných systémov alebo CIM systémov (počítačom

HWT A-442 CNC modelling milling machine, which allows the contact sensing (with a probe) of complex model surfaces and also mathematical surface modelling. In 1996, the department obtained seven UNIX workstations and CAD/CAM system Pro/ENGINEER. Except the application of this system for CAD problems we have developed modules for interconnection of NC machines at the Department (training lathes and milling machine EMCO) with system Pro/ENGINEER.

### 2.2.1 Application of CAD/CAM System PRO/ENGINEER in Education

The CAD/CAM system Pro/ENGINEER is used at the Faculty of Mechanical Engineering for the instruction of subjects aimed at the technical preparation of manufacturing. This part presents the problem of CL data arrangement from CAD/CAM system Pro/ENGINEER to the format of NC program that enters at the EMCO F1 CNC training milling machines. The arrangement of CL data is made by computer program which has been developed at our Department, software run on standard personal computers. The program reads the commands of CL data from the text file by the line row and adds for every command the competent function of milling machine control system. The cycle of

arrangement runs till the end of the CL data files. At verification of the proposed program the procedure was: drawing of the part in Pro/ENGINEER, simulation of manufacturing in the Pro/MANUFACTURING module, determination of all technological parameters (machine, tools, fixture, cutting parameters, workpiece), creation of the CL data file (output from Pro/MANUFACTURING), arrangement of the output CL data on NC program which enters the control system of milling machine (by developed program), the load of NC program to the control system of milling machine, manufacturing of a proposed part on EMCO F1 CNC milling machine. The program was verified at the manufacturing of several parts with different forms and dimensions.

### 3. Conclusions

The students of the PSERM study branch are prepared to face problems of flexible automation of technological processes and manufacturing systems after their graduation. They are able to use and design the application hardware and software. They master the basics of CA technologies - design, the automated creation of technological procedures, programs for NC machines and robots. They can be used for solving problems in the field of CAD/CAM systems and designing flexible manufacturing systems or CIM

integrovaná výroba). Prví absolventi ukončili štúdium v roku 1991 a doteraz je celkový počet absolventov študijného zamerania VSPRM 171.

#### Použitá literatúra:

- [1] POPPEOVÁ, V., URÍČEK, J., BEHŮŇOVÁ, V.: Programming and Simulation of NC Machines and Robots. Symposium 3rd IFAC/IFIP/IFORS, Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS '95. Vol1, p.191-195, Bucharest, Romania, 1995
- [2] ČUBOŇOVÁ, N.: The Application of CAD/CAM System Pro/ENGINEER in Education. Proceedings of the 8th International DAAAM Symposium. Dubrovnik, Croatia, 1997
- [3] POPPEOVÁ, V., URÍČEK, J., ČUBOŇOVÁ, N., BEHŮŇOVÁ, V.: The Development of Software for Simulation of NC Machines and Robots. The 3rd Scientific Conference, Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, Žilina, 1997
- [4] ČUBOŇOVÁ, N.: Design of CAD/CAM Systems for the EMCO MAIER Lathe. International Conference on Computer Integrated Manufacturing. Vol.II., Zakopane, 1996

systems. The first graduates finished their study in 1991. Since then there have been 171 students completing successfully their studies.

#### References:

- [1] POPPEOVÁ, V., URÍČEK, J., BEHŮŇOVÁ, V.: Programming and Simulation of NC Machines and Robots. Symposium 3rd IFAC/IFIP/IFORS, Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS '95. Vol1, p.191-195, Bucharest, Romania, 1995
- [2] ČUBOŇOVÁ, N.: The Application of CAD/CAM System Pro/ENGINEER in Education. Proceedings of the 8th International DAAAM Symposium. Dubrovnik, Croatia, 1997
- [3] POPPEOVÁ, V., URÍČEK, J., ČUBOŇOVÁ, N., BEHŮŇOVÁ, V.: The Development of Software for Simulation of NC Machines and Robots. The 3rd Scientific Conference, Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, Žilina, 1997
- [4] ČUBOŇOVÁ, N.: Design of CAD/CAM Systems for the EMCO MAIER Lathe. International Conference on Computer Integrated Manufacturing. Vol.II., Zakopane, 1996

## RIEŠENIE KRÍZOVÝCH SITUÁCIÍ '99

Fakulta špeciálneho inžinierstva Žilinskej univerzity v spolupráci s Ministerstvom hospodárstva Slovenskej republiky, organizuje v dňoch 19. - 20. mája 1999 IV. medzinárodnú vedeckú konferenciu venovanú riešeniu krízových situácií v špecifickom prostredí.

Konferencia sa bude konať na plenárnom zasadnutí a v troch sekciách:

- Sekcia č.1: Krízové plánovanie,
- Sekcia č.2: Prírodné katastrofy,
- Sekcia č.3: Ochrana majetku.

Konferencia sa uskutoční v priestoroch Žilinskej univerzity.

Všetkých záujemcov srdečne pozývame.

## CRISIS SITUATIONS SOLUTION '99

The Faculty of Special Engineering of the University of Žilina in cooperation with the Ministry of Economy of the Slovak Republic is organising from 19 - 20 May 1999 the Fourth International Scientific Conference devoted to crises situations solution in specific environment.

The conference will take place in plenary meeting and in three sections:

- Section No.1: The crises planning
- Section No.2: The natural catastrophes
- Section No.3: The property protection.

The conference will be held at the University of Žilina.

All who are interested are cordially invited.

#### Sekretariát konferencie:

Žilinská univerzita - Fakulta špeciálneho inžinierstva

#### Secretary of the conference:

University of Žilina - Faculty of Special Engineering

Ing.Vlastimil Mach

Ul. 1.mája 32, B-27, SK-01001 Žilina, SLOVAKIA, Tel.: ++421-89-7633320, ex.240, Fax: ++421-89-34972, E-mail: vf@fsi.utc.sk

Anna Hlavňová \*

## JAZYK AKO NÁSTROJ KOMUNIKÁCIE

### LANGUAGE AS MEANS OF COMMUNICATION

*Príspevok sa zaoberá problematikou jazyka ako nástroja komunikácie a jazykovou prípravou na vysokých školách nefilologického smeru. Naznačuje oblasti jazykovej prípravy, ktorým sa venuje zvýšená pozornosť a načrtáva cesty, ktorý vedú k integrácii všetkých štyroch zložiek do výučby.*

#### ÚVOD

Dnes už pravdepodobne nikto nepochybuje o dôležitosti komunikácie a jej vplyve na rozvoj spoločnosti i na vzťahy ľudí, ktorí v nej žijú.

Čo je komunikácia? Samotné slovo má niekoľko významov. Ten, ktorým sa budeme zaoberať v tomto príspevku, sa týka jazyka, ktorý sa používa ako nástroj komunikácie, prostriedok, na výmenu informácií. Kultivovanie jazykového prejavu, či rozvoj jazykovej komunikácie v cudzom a vlastne i v materinskom jazyku, je do značnej miery, náplňou práce učiteľov katedier jazykov na nefilologických vysokých školách.

Slovo je to, čo bolo na počiatku komunikácie ako takej, slovo je to, čo nás odlišuje od iných živočíchov. V procese komunikácie, či písomnej alebo ústnej, sa prezentujeme tým najúprimnejším spôsobom. Je teda našou povinnosťou reč kultivovať, venovať maximálnu pozornosť tomu, čo hovoríme a ako to hovoríme

Pri jazykovej výučbe sa snažíme o to, aby si študenti uvedomili silu slova, rozvíjame ich jazykovú inteligenciu, t. j. ich schopnosť využívať slová efektívne, či už v hovorenej alebo písanej podobe. V súčasnosti, keď sa na školách preferuje komunikatívny prístup, sú do programu výučby jazyka zahrnuté všetky jeho jednotlivé zložky: čítanie, písanie, počúvanie a hovorenie. Pri práci s jednotlivými zložkami sa zameriavame na tie oblasti, ktoré študent môže využiť i v iných predmetoch.

#### EFEKTÍVNE ČÍTANIE

V nedávnej minulosti sa jazyková výučba sústreďovala takmer výlučne na to, aby študenti vedeli pracovať s odborným textom, t. j., aby si ho vedeli prečítať a preložiť. Táto tradičná gramaticko-prekladová metóda, ktorá ešte stále pretrváva na niektorých

*The paper deals with the question of languages as means of communication. It analyses language instruction in institutions of higher learning. Areas of special interest are mentioned and some ways leading to the integration of all language skills into instruction are suggested.*

#### INTRODUCTION

Today probably no one doubts the importance of communication and its influence on the development of a society and on relations of people living within the society.

What is communication? The word itself has more meanings. The one we will be dealing with in this article, refers to the language used as a means of communication, a vehicle for the exchange of information. The cultivation of the language or development of the language communication both in a foreign language and mother tongue is, to a certain degree, an objective of teachers working in language departments of non-philological institutions of higher learning.

The word was in the beginning of communication, the word differentiates us from other animals. In the process of communication both written and spoken, we present ourselves in the most straightforward way. It is, therefore, our duty to cultivate our speech, to pay utmost attention to what we say and how we say it.

When teaching languages we try to make the students aware of the power of word. We develop their language intelligence, i.e. their ability to use words effectively both orally and in writing. At present when communicative approach to language instruction is being preferred, all language components, namely reading, writing, listening and speaking are integrated into the whole syllabus. Our objective is to aim at those areas the students can find useful also in other subjects.

#### EFFECTIVE READING

Some time ago the language instruction was limited mostly to the work with professional texts and its objective was to read and

\* PhDr. Anna Hlavňová, CSc.,

Department of Languages, Faculty of Management and Information Sciences, University of Žilina, Moyzesova 20, 010 26 Žilina, Slovak Republic, tel. +421-89-624 075, e-mail: hlavnova@fria.utc.sk



školách, berie jazyk ako púhu vedomosť, nie však zručnosť. Je najvyšší čas nahradiť ju komunikatívnou metódou.

Myslíme si však, že pre študenta je dôležitejšie, keď mu ukážeme, ako sa možno na odborný text pozeráť z iného uhla. Kým predtým ho od čítania odradzovalo časté hľadanie neznámych slov v slovníku, ktoré značne proces čítania predlžovalo, v súčasnosti ho učíme, ako čítať efektívne. Našou snahou je, aby si študent osvojil pružný prístup k čítaniu a rozvíjame stratégiu, ktorá ho privedie k efektívnemu čítaniu.

Je všeobecne známe, že čítanie pre rôzne účely vyžaduje rôzne stupne porozumenia textu a rôzny stupeň zachovania si poznatkov čítaním získaných. Čítajúci musí teda použiť rôzne stratégie čítania. Začíname nácvik týchto stratégií s prvou dôležitou, ktorá spočíva v tom, že upúšťame od metódy doslovného porozumenia. Je zrejme, že kľúčom k úspešnému čítaniu je zručnosť „odhadnúť“ význam neznámeho slova za účinnej pomoci kontextu. Dôležitou súčasťou odhadu je predikcia. Musíme teda rozvíjať kreativitu študenta založenú na jeho predchádzajúcich jazykových vedomostiach. Učíme ich gramatické, štylistické a typografické konštrukcie, ktoré im pomôžu uhádnuť význam neznámeho slova. Učíme ich identifikovať slová, ktoré spájajú jednotlivé myšlienky textu, signalizujú jeho sled. Študenti by mali identifikovať podmienkové vzťahy, vzťahy časové, príčinné a výsledné. Veľmi dôležitá pre správne pochopenie neznámeho slova je znalosť afixov a toho, ako sa používajú na tvorenie slov. Nemenej dôležité sú i ďalšie zručnosti - identifikácia lexikálnych skupín a dešifrovanie nominálnych kompozít.

Všetky uvedené zručnosti musí učiteľ na hodinách precvičovať. Iba tak môže úspešne rozvíjať študentovu samostatnosť a nezávislosť pri čítaní neznámeho textu. Cvičenia, ktorými precvičujeme napr. čítanie na čas, nútia študentov k rýchlejšiemu čítaniu (najmä tzv. skimming a scanning) a cvičenia, v ktorých sú študenti nútení čítať určité významové „celky“, sú veľmi účinné pri nácviku spomínaných zručností.

## PÍSANIE

Hoci je písanie medzi študentmi menej populárne, často býva dôležitejšie. Je to v podstate kreatívny proces a dobrí pisatelia sa musia učiť jasne vyjadriť svoje myšlienky určené čitateľovi, ktorého nevidia. List, ktorý napíšu a odošlú, je v skutočnosti ich vizitkou. Hovorí ich ústami, a ak je jeho obsah biedny, nemôžu sa brániť, pretože tam nie sú prítomní. Naši študenti si musia túto skutočnosť uvedomiť a venovať svojmu písomnému prejavu náležitú pozornosť.

Na hodinách cudzieho jazyka je úzka previazanosť medzi čítaním a písaním. V skutočnosti, žiadna zručnosť neexistuje izolovane. Niekedy sa používa písanie na overenie, či študenti porozumeli to, čo čítali. Niekedy slúži čítanie ako príprava na písanie, občas zasa použijeme písanie na rozvoj zručností potrebných pre čítanie. Vzťah medzi čítaním a písaním je veľmi tesný.

Pokiaľ ide o oblasť písania, zo širokej palety možností sa sústreďujeme na písanie listov, odkazov, pozvánok, žiadostí, životopisu, na opis grafov a diagramov, ktoré majú študenti pred sebou a na písanie poznámok. Pre mnohých študentov je veľmi ťažké

translate the text. This traditional grammar-translation method, which still exists in some schools, takes the language as pure knowledge not a skill. It is high time to replace it with a communicative approach. We believe that our students will probably benefit more from viewing the text from a different angle. When reading a text they had to consult a dictionary every time they encountered unfamiliar words, which, of course, prolonged the whole process of reading. Now we teach them how to read effectively. We make them be aware of reading flexibility and develop strategies leading to effective reading.

It is well known that different purposes demand appropriate comprehension and retention level and therefore different reading strategies are to be used. We usually start with the crucial reading strategy - to abandon the word-by-word approach to reading. It is obvious that the key to successful reading is the development of the ability to guess the meaning of unfamiliar words from the context. An important concept relating to guessing is prediction and so we have to develop the students' creativity that is based on their background knowledge. We teach them grammatical, stylistic and typographical clues that can be used to puzzle out meaning. The students should practise recognizing words that link one idea to another or signal sequence, they should identify conditional sentences and relationships of time, cause, and effect. Understanding the meaning of affixes and the way they are used to build words is extremely useful in tackling new lexical items. Equally important are other word attack skills - identifying lexical familiarization and unchaining nominal compounds.

The above mentioned skills have to be practised because in this way we can efficiently develop students' independence when reading an unfamiliar text. Exercises like e.g. timed readings, which force students to read faster (namely skimming and scanning) and exercises which, for similar reasons, force students to read in meaningful chunks are successfully implemented.

## WRITING FOR SPECIFIC/ACADEMIC PURPOSES

Writing, though less popular with our students, is often more important. Writing is essentially a creative process and good writers must learn to communicate their ideas clearly to an "unseen" audience. A letter they write and send anywhere is, in fact, their business card. It presents them and when it is poor they cannot defend themselves simply because they are not present. It is this fact our students have to be aware of and pay proper attention to in their writing.

In our classes reading and writing tasks often depend on each other. In fact no skill exists on its own. Sometimes writing is used to check whether students understand what they have read, sometimes reading is used as a preparation for writing, sometimes writing can be used for development of reading. Reading and writing are considered in close relationship.

We concentrate on writing letters, messages, invitations, application forms, CVs, short accounts based on graphs and

písanie resumé, a preto venujeme tejto otázke trochu viac času. A okrem toho, je to zručnosť, ktorú môžu študenti využiť i v budúcnosti. Ak požiadame študenta, aby urobil resumé nejakého textu, požiadame ho vlastne, aby pôvodný text skomprimoval. Učiteľ musí študenta naučiť, ktoré časti textu sú pre jeho pochopenie dôležité a ktoré možno vynechať bez toho, aby to ovplyvnilo porozumenie. Táto činnosť je následne rozdelená do dvoch krokov:

- vyznačenie hlavných bodov článku alebo správy, ktorú máme sumarizovať,
- kondenzácia informácií.

Učiteľ pomáha študentovi rozlíšiť relevantné od menej dôležitého. Niekedy sú to názvy kapitol alebo podkapitol. Na to, aby študent zostručnil informáciu potrebuje vedieť parafrázovať, tzn. využívať iné slová ako tie, ktoré sú v názvoch kapitol.

Správne písanie závisí od schopnosti jednotlivca postupne ukladať slová a vety do významových celkov. Musíme zdôrazniť postupné ukladanie slov. Je to stratégia, s ktorou môžeme študentov oboznamovať už v skupinách mierne pokročilých, a potom ju postupne rozvíjať. Na škodu vecí je, že počet hodín určených na jazykovú prípravu je obmedzený a samotnému problému nemôžeme venovať toľko času, ako by si zaslúžil. Napriek tomu, sa dotkneme aspoň tých oblastí, ktoré sú pre našich študentov najdôležitejšie.

## POČÚVANIE A HOVORENIE

Ak sa opýtame svojich študentov, prečo chcú študovať cudzí jazyk, často nám odpovedia: „aby sme mohli komunikovať“. A pre účinnú komunikáciu potrebujú rozvinuté zručnosti počúvania a hovorenia.

Kým čítanie je zručnosť, s ktorou sa naši študenti vysporiadajú najlepšie, voči budovaniu zručností potrebných pre počúvanie s porozumením a pre hovorenie, sú odolnejší. Je potrebné tu opätovne zopakovať, že i tento neduh možno pripísať na vrub už spomínanej tradičnej gramaticko-prekladovej metódy. Ak však kombinujeme čítanie ako najsilnejšiu zručnosť študenta a ich menej úspešnými zručnosťami, môžeme postupne budovať ich dôveru vo svoje schopnosti a pomáhať im produktívne používať jazyk.

Integrálnou a nevyhnutnou súčasťou jazykovej prípravy, ktorá má za cieľ posilňovať zručnosť počúvania s porozumením a hovorenia, je otázka slovnej zásoby. Ak je slovná zásoba študenta anemická, nemôže tak jasne formulovať svoje myšlienky, ako by si to prial. Obe zručnosti sú brzdené obmedzenou slovnou zásobou. Štúdium slovnej zásoby nie je púhe memorovanie množstva jazykových jednotiek. Slová sú zoradené a používajú sa v určitých sieťach a tieto siete tvoria celkový významový vzorec príslušného jazyka. Preto, ak chceme testovať slovnú zásobu je vhodnejšie žiadať, aby študent použil slovo vo vete a nie jednotlivou formou opisu alebo prekladu. Chceme, aby študenti hovorili. Vyučovacia jazyková hodina je vlastne reťazovou reakciou: kým jeden študent hovorí, ostatní si robia poznámky. Potom ich vyzveme, aby sa k počutému vyjadrili, dávali otázky, prípadne doplnili o svoje poznatky, ktoré získali pred-

diagrams students are provided with and also on note-taking. Many students find summary writing very difficult, so more time has to be devoted to this topic. On top of it, it is the skill the students will need in their future life. When we ask the students to summarise, we ask them to compress the original text. They have to be taught what is vital for understanding, which parts can be left out without reducing the impact. Consequently, the writing activity is divided into two steps:

- isolating the main points of the article or report and
- condensing that information into a concise form.

The teacher helps students to sort out relevant from irrelevant matter. Sometimes it is enough to look more closely at headings and subheadings as these should relate to the main points of the article. In order to make the information concise it is good to teach students to paraphrase - use other words for those used in the headings and subheadings.

Effective writing depends on one's ability to structure and organize words and sentences into a meaningful whole. The word organize has to be underlined. Organizational writing as a strategy should be introduced at an early stage and developed gradually. As the number of our language lessons is limited, we cannot devote an adequate amount of time to writing. Though, we try to tackle those items which are important for our students.

## LISTENING AND SPEAKING

If you ask our students why they want to study a foreign language, one answer you may often hear is: to be able to communicate. In order to speak the language their listening and speaking skills must be developed.

While reading is the strongest skill of our students, they are more resistant to the skills of speaking and listening. It is to be repeated here again that it is mostly the traditional grammar-translation method that is to account for this situation. When combining our students' strongest skill, reading with their weaker skills, we are able to help them build confidence to use the language productively.

An integral part of language instruction needed for development of these two skills is teaching vocabulary. If the students' vocabulary is anemic, they cannot express their ideas as clearly as they would like to. Their listening and speaking skills are hampered by their limited vocabulary.

Learning vocabulary is not simply a process of memorizing a number of items. Words are organized and put to use within particular associative networks, and such networks form the overall pattern of meaning for a particular language. That is why, in order to check students' comprehension of words, it is better to ask them to use these words in various sentences than to limit ourselves to simple demonstrations, explanations, and translations of word. They simply are asked to speak. A language lesson is thus a chain reaction - while one student is speaking,

chádzajúcim čítaním. Rozprávanie možno rozvíjať i prostredníctvom tzv. role-playing (študenti vystupujú ako nejaká postava, napr. zástupca obce. Majú sa s postavou stotožniť a vyjadrovať sa cez postavu k nejakému problému). Takéto cvičenia študenti veľmi neoblubujú, pretože sa im zdajú vyumelkované.

Musíme spomenúť i počúvanie audiokaziet ako jeden možný spôsob budovania a posilňovania zručností počúvať. Audiokazety nemožno vylúčiť z výučby, hoci niektorí študenti ich priam nenávidia. Problém je v tom, že v niektorých študentoch vyvoláva počúvanie kaziet pocit frustrácie. Často si sťažujú, že rýchlosť nahrávok je „obrovská“. Isté je, že rýchlosť nahrávky je vyššia než rýchlosť prehovoru ich učiteľa a táto skutočnosť im komplikuje študentský život. Iného riešenia však niet - musíme využívať audiokazety čo možno najčastejšie.

## ZÁVER

Spoločenské zmeny ovplyvnili i jazykové vyučovanie. Dnes už nepostačuje, aby študenti mali jazykové zručnosti obmedzené na oblasť čítania a písania, potrebujú komunikovať. Cestujú do zahraničia či už na prázdniny, alebo na konferencie, čítajú odborné časopisy, píšú listy, komunikujú s cudzincami. Mnohí zamestnávateľia požadujú dobrú znalosť jazyka/jazykov. A prečo by aj nie? Ak venujeme tak veľkú pozornosť a financie na budovanie ciest, železníc, na konštrukciu dopravných prostriedkov, prečo by sme nemali byť pozornejší k jazykovej príprave a jej prehľbovaniu. Jazyky sú takisto prostriedkami komunikácie. A ak má byť komunikácia efektívna, nemožno jednotlivé zložky oddeľovať - to je základný predpoklad pre rozvoj jazykovej komunikácie.

## LITERATÚRA

- [1] CHASTIAN, K.: Developing Second-Language Skills, Harcourt Brace Jovanovich, Inc. 1988
- [2] HLAVŇOVÁ, A.: Effective Writing Skills. Zborník: Application of Theoretical and Practical Knowledge in Teaching Foreign Languages for Specific Purposes, Nitra 1997
- [3] HLAVŇOVÁ, A.: Integrated Writing and Reading Skills. Príspevok na 3. Masghrebskej konferencii Integrated Reading and Writing Skills, Tunis 1997
- [4] HLAVŇOVÁ, A.: A Note on Summary Writing. Zborník 5. vedeckej konferencie CO-MAT-TECH Trnava 1997
- [5] KALNITZ, J.: Reading Strategies and Skills, Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1986
- [6] O'HEARN, C.: Writing Grammar and Usage, MacMillan, New York 1989
- [7] RAIMES, A.: Techniques in Teaching Writing, London, Longman 1983
- [8] WILLIS, H.: Basic Usage, Vocabulary and Composition, Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1983

others are taking notes. Then they are encouraged to ask questions, to comment on what they have heard or read. Speaking can be developed through role-playing. Role-playing is not popular with the students as they find it rather artificial.

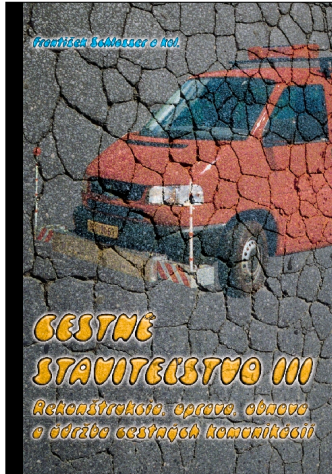
We have to mention listening to audiotapes as a way in which listening skills can be built and developed. This is one thing we cannot do without, even though some learners might dislike it. The problem with listening-based activities is that some students find them highly frustrating. They often complain about the incredible speed of the recordings. The speed is obviously higher than that of their nonnative teacher and it makes the students' life extremely difficult. There is no other solution than introducing listening comprehension as often as possible.

## CONCLUSIONS

Language instruction has also been influenced by changes in the society. Nowadays it is not enough for our students to be equipped with limited reading and writing skills, they really need to communicate. They travel abroad either to spend holiday there or to take part in conferences, they read professional magazines, write letters, communicate with foreigners. Good knowledge competence is required in many companies. Why not? If we pay so much attention and money to construction of roads, railways and means of communication why not to be more attentive to the development of language instruction. Languages are also means of communication. And if communication is to be effective all four language skills are never separated but integrated - it is a key principle for language development.

## REFERENCES

- [1] CHASTIAN, K.: Developing Second-Language Skills, Harcourt Brace Jovanovich, Inc. 1988
- [2] HLAVŇOVÁ, A.: Effective Writing Skills. Zborník: Application of Theoretical and Practical Knowledge in Teaching Foreign Languages for Specific Purposes, Nitra 1997
- [3] HLAVŇOVÁ, A.: Integrated Writing and Reading Skills. Príspevok na 3. Masghrebskej konferencii Integrated Reading and Writing Skills, Tunis 1997
- [4] HLAVŇOVÁ, A.: A Note on Summary Writing. Zborník 5. vedeckej konferencie CO-MAT-TECH Trnava 1997
- [5] KALNITZ, J.: Reading Strategies and Skills, Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1986
- [6] O'HEARN, C.: Writing Grammar and Usage, MacMillan, New York 1989
- [7] RAIMES, A.: Techniques in Teaching Writing, London, Longman 1983
- [8] WILLIS, H.: Basic Usage, Vocabulary and Composition, Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1983



## Cestné staviteľstvo III

V nedávnom období vydalo EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity novú odbornú knižnú publikáciu *Cestné staviteľstvo III*, zameranú na problematiku rekonštrukcie, opravy a údržby cestných komunikácií. Je výsledkom prác šesťčlenného kolektívu autorov pod vedením doc. Ing. F. Schlossera, CSc. a spoluautorov D. Ďurčanskej, J. Komačku, J. Šedivého, M. Valucha a Š. Zemku, ale tiež výsledkom prác ďalších členov Katedry cestného staviteľstva Stavebnej fakulty ŽU. Publikácia má charakter vysokoškolskej učebnice, ktorá tematicky a obsahovo nadväzuje na vysokoškolské učebnice, ktoré sú v cestárskej inžinierskej praxi dobre známe, sú to: *Cestné staviteľstvo I* od prof. Chochoľa a kol., so zameraním na projektovanie ciest a diaľnic, *Cestné staviteľstvo II* od prof. Špírka z ČVUT Praha, orientovanú na stavbu ciest. Je potešujúce, že Katedre cestného staviteľstva Stavebnej fakulty ŽU sa tak podarilo nadviazať na úspešnú tradíciu vydávania týchto učebníc, čím významne prispela k rozvoju študijnej disciplíny Cestné staviteľstvo

Publikácia je rozdelená do desiatich kapitol. Prvá kapitola publikácie sa zaoberá základnými pojmami z oblasti rekonštrukcie, opráv a údržby cestných komunikácií. Druhá kapitola sa zaoberá problematikou hodnotenia stavu cestnej komunikácie a metodikou výberu a naliehavosti rekonštrukcie. Je to problematika, ktorej katedra venuje dlhoročne veľkú pozornosť či už v rámci riešenia výskumných úloh alebo v rámci spracovania dizertačných prác.

Tretia kapitola sa dotýka otázok rekonštrukcie smerového a výškového vedenia trasy, postupov pri rozšírení cestnej komunikácie, sanácie svahov cestného telesa, rekonštrukcií cestných vozoviek. Kapitola v zásade obsahuje problémy, ktoré môžeme zahrnúť pod pojem „rekonštrukcia“. V tejto časti by som bol privítal problematiku optimalizácie návrhu smerového, výškového a šírkového riešenia cestnej komunikácie, možnosti uplatnenia výpočtovej techniky pri optimalizácii návrhu.

Štvrtá kapitola sa dotýka otázok opráv cestných vozoviek, najmä možnými technológiami opráv. V piatej kapitole sa autori zaoberajú problematikou obnovy cestných vozoviek. Prítom sa dotýkajú problémov technológií opráv povrchových vlastností cestných vozoviek. Z textu kapitoly 4 a 5 nevyplýval zásadnejší rozdiel medzi metódami návrhu a stavebnými technológiami používanými pri opravách a obnovách ciest. Je teda otázkou, či nechápať tieto dva pojmy len v ekonomickom zmysle a pri návrhu vhodného opatrenia pre zlepšenie stavu vozovky vychádzať z bežných návrhových postupov a technológií, používaných pri rekonštrukciách a novostavbách.

Kapitola 6 sa zaoberá problematikou údržby cestných vozoviek, Jedná sa o veľmi závažnú oblasť cestného hospodárstva, ktorej znalosť veľmi ovplyvňuje nielen životnosť vozovky a cestnej konštrukcie, ale aj bezpečnosť cestnej premávky. Súčasťou údržby cestných komunikácií je aj zimná údržba.

Kapitola 7 sa týka problematiky dopravného značenia na cestných komunikáciách. Venuje pozornosť otázkam zásad používania dopravného značenia, rozdelenia dopravných značiek, požiadavkám na materiály zvislých a vodorovných značiek. V kapitole nie je zmienka o problémoch a technológií údržby dopravného značenia či spôsoboch ich opráv. Som toho názoru, že tak, ako je spracovaná problematika dopravného značenia, patrí do obsahu predmetu Cestné staviteľstvo I.

Súčasťou každého návrhu rekonštrukcie či opravy cestnej komunikácie je aj ekonomické hodnotenie nákladov. Táto problematika je prehľadne uvedená v kapitole osem. Obsahuje popis metódy riešenia, výpočet nákladov a prínosov stavebných opatrení a ekonomické hodnotenie. Je možné pozitívne hodnotiť začlenenie tejto kapitoly do publikácie. Obdobne, aj začlenenie kapitoly 9 do recenzovanej publikácie je možné hodnotiť pozitívne. Dotýka sa otázok kvality cestných komunikácií. Je na škodu publikácie, že autori sa nesústredili na problém kvality súvisiaci s otázkami, ktoré sú predmetom publikácie, t. j. zabezpečeniu kvality pri rekonštrukčných, opravných či údržbových zásahoch na cestných komunikáciách.

Kapitola desať sa zaoberá problémami rekonštrukcie objektov. Som toho názoru, že zaradenie tejto problematiky do publikácie je veľmi užitočné. Otázkou zostáva, či začlenenie tejto časti by nemalo byť v kapitole 3.

Záverom je možné konštatovať, že aj napriek určitým nejasnostiam, ktoré sa v publikácii ukazujú, a na ktoré som vo svojej recenzii upozornil, má publikácia svoje opodstatnenie, pomôže pri štúdiu cestného staviteľstva nielen študentom inžinierskeho štúdia, ale aj doktorandom a pracovníkom v cestnom hospodárstve. Publikácia je prínosom pre cestnú prax.

Prof. Ing. Ján Čorej, CSc.

## Krízový manažment vo verejnej správe

Na Fakulte špeciálneho inžinierstva Žilinskej univerzity vyšla na konci roku 1998 vysokoškolská učebnica plk. doc. Ing. Ladislava Šimáka, CSc. pod názvom: **Krízový manažment vo verejnej správe**. Učebnica je určená pre študentov študijného odboru Občianska bezpečnosť, zamerania špeciálneho manažmentu, ktorý sa vyučuje na Fakulte špeciálneho inžinierstva. Učebnica je však aj veľmi dobrou pomocou pre riadiacu prácu vedúcich pracovníkov vo verejnej správe, predovšetkým pre pracovníkov pôsobiacich vo sfére obrany, ochrany a bezpečnosti.

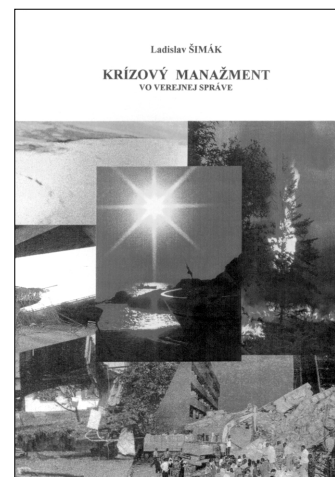
Učebný text je rozvrhnutý do siedmich kapitol. V prvých, všeobecne zameraných kapitolách, podáva autor výstižný prehľad o histórii a vývoji krízového manažmentu. V samostatnej kapitole sa venuje definíciám kríz a krízových situácií. Primeranú pozornosť venuje vývoju názorov na zabezpečenie obrany, ochrany a bezpečnosti u nás od vzniku prvej ČSR až do súčasnosti. Dokumentačnou formou poskytuje prehľad o legislatíve na tomto poli od vzniku samostatnej Slovenskej republiky. Pri definovaní kríz sa autor zaoberá aj ich rozdelením a zdrojom kríz v hospodárskej a vo verejnej sfére a podáva i stručný prehľad o charaktere a výskyte prírodných, spoločenských a ekologických kríz, ktoré sa stali vo svete v ostatnom období.

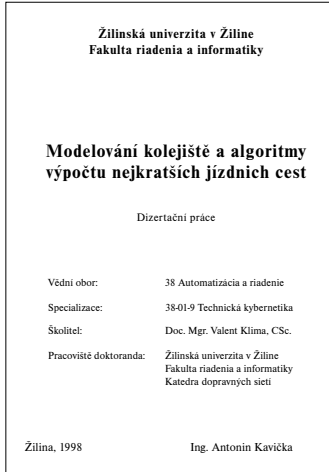
V druhom celku učebnice autor venuje pozornosť metodologickým a vecným otázkam krízového manažmentu. V učebnici sa poskytuje veľmi dobrý prehľad o pôsobnosti, úlohách a prostriedkoch krízového manažmentu všeobecne a vo verejnej správe zvlášť a o úlohách vrcholových orgánov krízového manažmentu Slovenskej republiky. Primeraná pozornosť sa venuje riešeniu krízových situácií vrátane otázok záchranných, lokalizačných a likvidačných prác. S prehľadom sa tiež uvádzajú postupy usmerňovania medzinárodných politických kríz. Tento celok učebnice sa logicky uzatvára samostatnou kapitolou o tvorbe krízových stratégií a strategickej kontroly.

Záver učebnice venuje autor informačnému systému krízového manažmentu, jeho tvorbe a aplikácii v praxi. Problematiku znázorňuje na modeli komunikačného systému. Primeranú pozornosť venuje informačným formám vrátane varujúcich a monitorových systémov a informačnému systému uplatňovanému v našej krajine. Kapitolu uzatvára prehľadom o zavádzaní krízového štatistického informačného systému v našej republike.

Zo stručného prehľadu obsahu uvedenej učebnice možno posúdiť jej aktuálnosť pre teóriu, výučbu i prax. Ide o prvú vysokoškolskú učebnicu na Slovensku, ktorá sa zaoberá otázkami krízového manažmentu. Podnet na jej vydanie vzniká z potrieb zabezpečiť nový študijný odbor príslušnou literatúrou, ale i potrebou spoločenskej praxe nájsť vhodné a komplexne usporiadané námety pre riešenie rozmanitých krízových situácií. Vyjadrujem presvedčenie, že táto učebnica je veľmi dobrým štartom pre prehĺbenie problematiky krízového manažmentu a že bude priaznivo prijatá vo verejnosti ako jedno z diel vzťahujúcich sa na aktuálne spoločensko-ekonomické a bezpečnostné otázky našej spoločnosti. Mimoriadne uznanie za tento priekopnícky čin treba vysloviť aj autorovi učebnice plk. doc. Ing. Ladislavovi Šimákovi, CSc.

Prof. Ing. Ján Micolaj, DrSc.





**Dizertačná práca:** Modelování kolejí a algoritmy výpočtu nejkratších jízdních cest  
**Autor:** Ing. Antonín Kavička  
**Študijný odbor:** 38-01-9 Automatizácia a riadenie  
**Špecializácia:** Technická kybernetika  
**Pracovisko:** Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta riadenia a informatiky,  
Katedra dopravných sietí  
**Školiteľ:** Doc. Mgr. Valent Klíma, Csc.  
**Obhajoba:** 25. 11. 1998 na ŽU FRI

#### Resumé

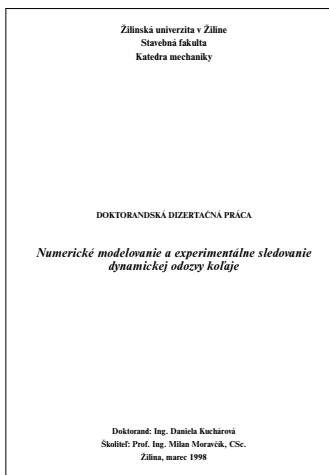
Dizertačná práca sa zaoberá modelovaním kolajiska železničnej zriaďovacej stanice a metódami výpočtu najkratšej jazdnej cesty pre vlak. Hlavným motívom pre tvorbu modelu kolajiska bola potreba vytvoriť ho ako súčasť simulačného modelu prevádzky zriaďovacej stanice.

V práci sú popísané dva modely kolajiska a dva algoritmy, ktoré slúžia na vyhľadanie najkratšej jazdnej cesty na daných modeloch.

V prvom prístupe je modelom kolajiska ohodnotený digraf, v ktorom vrcholy reprezentujú kolaje a hrany možné prechody medzi kolajami. Algoritmus, ktorým sa vypočíta najkratšia jazdná cesta na tomto grafe, vznikol úpravou Dijkstrovho algoritmu na vyhľadanie najkratšej cesty medzi dvoma vrcholmi grafu.

Pri druhom spôsobe modelovania sa kolajisko reprezentuje hranovo ohodnoteným neorientovaným grafom, v ktorom hrany predstavujú kolaje a vrcholy spojenia medzi kolajami. Algoritmus pre výpočet najkratšej jazdnej cesty na tomto grafe tiež vychádza z Dijkstrovho algoritmu, ale v pôvodnom Dijkstrovom algoritme bolo potrebné urobiť niekoľko podstatných úprav. V tomto prípade je najkratšia jazdná cesta predstavovaná najkratším prípustným sledom medzi dvoma hranami grafu.

Obidva modely boli otestované na reálnom kolajisku. Pre potreby simulačného modelu sa ako vhodnejší ukázal druhý prístup, ktorý sa RBSim použil pri modelovaní staníc Rangier Bahnhof Limmattal (Švajčiarsko), Lausanne triage (Švajčiarsko), Hagen Vorhalle (Nemecko), Žilina - Teplička nad Váhom (Slovensko) a Linz Vbf (Rakúsko).



**Dizertačná práca:** Numerické modelovanie a experimentálne sledovanie dynamickej odozvy kolaje  
**Autor:** Ing. Daniela Kuchárová  
**Študijný odbor:** 39-01-9 Aplikovaná mechanika  
**Špecializácia:** Mechanika tuhých a poddajných telies  
**Pracovisko:** Žilinská univerzita, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky  
**Školiteľ:** Prof. Ing. Milan Moravčík, CSc.  
**Obhajoba:** 23. 11. 1998 na SvF Žilina

#### Resumé

Dizertačná práca svojím obsahom nadväzuje na riešené grantové projekty: *Modelovanie dynamickej odozvy kolaje na stochastickom podklade a Dynamická analýza konštrukčných sústav so zameraním na konštrukcie a sústavy používané v doprave*. Práca obsahuje 106 strán textu, 57 obrázkov a 28 tabuliek. V práci je citovaných 71 ďalších prác. Je rozdelená do ôsmich kapitol plus zoznam použitých označení.

Ako metódy riešenia sa používajú metóda numerického modelovania a metóda experimentálneho vyšetrovania in situ. Prezentované sú teoretické predpoklady numerických riešení, navrhnuté výpočtové modely a ich vlastnosti. Popisuje sa metodológia experimentálnych meraní a použitý súbor meracích zariadení a aparátúr. Výsledky práce a nové poznatky sú prezentované v piatej kapitole, kde sa hľadajú odpovede na nasledovné otázky:

- aké sú základné dynamické charakteristiky analyzovaného systému?
- ako vypadá ohlas systému na harmonické budenie?
- aký je vzťah medzi ohlasom systému, meniacou sa frekvenciou a frekvenčnou skladbou zaťaženia?
- ako lokálne i náhodne premenné zmeny tuhosti podložia ovplyvňujú ohlas konštrukcie a aký je vzájomný vzťah medzi jednotlivými stránkami tohto mnohostranného a komplikovaného procesu?

V tejto kapitole sa tiež analyzujú výsledky experimentálnych meraní.

Šiesta kapitola je venovaná zovšeobecneniu čiastkových poznatkov z predchádzajúcich kapitol a tiež analýze a syntéze výsledkov. Predstavuje závery pre spoločenskú prax a ďalší rozvoj vedy.

Doc. Ing. Jozef Melcer, CSc.

## TRANSCOM '99

Žilinská univerzita v Žiline organizuje v dňoch 29. - 30. júna 1999 Medzinárodnú vedeckú konferenciu TRANSCOM '99.

Odborný program bude prebiehať formou plenárnych zasadnutí a prednášok v nasledovných sekciách:

1. Dopravná a spojová technológia. Odvetvové a prierezové ekonomiky.
2. Telekomunikácie.
3. Teoretická elektrotechnika. Silnoprúdová elektrotechnika.
4. Automatizácia a riadenie.
5. Podnikový manažment.
6. Materiálové inžinierstvo a medzné stavy materiálov. Strojárske technológie a materiály.
7. Dopravné stroje a zariadenia. Časti mechanizmov strojov. Aplikovaná mechanika. Energetické stroje a zariadenia.
8. Teória a konštrukcie inžinierskych stavieb. Technológia stavieb. Aplikovaná mechanika - mechanika tuhých a poddajných telies. Súdne inžinierstvo.

Medzinárodná vedecká konferencia TRANSCOM '99 sa bude konať v areáli Žilinskej univerzity na Veľkom diele, v budovách NR a NS. Srdečne pozývame záujemcov o konferenciu.

TRANSCOM '99 - OBJECTIVES - 3<sup>rd</sup> European Conference of Young Research and Science Workers in Transport and Telecommunications will be held in Žilina from 29<sup>th</sup> - 30<sup>th</sup> June 1999. The Conference is organized by the University of Žilina

The main objective of the Conference is to provide a forum to present the latest research results and experience in the following sections:

1. Transport and Communication Technologies. General and Branches Economics
2. Telecommunications.
3. Theoretical Electrotechnics. Power Electronics.
4. Automation and Control.
5. Company Management.
6. Material Engineering and Threshold States of Materials. Mechanical Engineering Technologies and Materials.
7. Transportation Machines and Equipment. Machine Elements and Mechanism. Applied Mechanics of Rigid and Elastic Bodies. Forensic Engineering.

TRANSCOM '99 will take place at the University Campus, Veľký diel, NR and NS buildings. All participants are warmly welcomed.

**Podrobné informácie sa dozviete na sekretariáte konferencie:**

Žilinská univerzita - oddelenie vedy a výskumu

**For further details, please contact the Conference Secretariat:**

University of Žilina - Office for Science and Research

Ing. Helena Vráblová

Moyzesova 20, 010 26 Žilina, Slovakia

telefón : +421-89-622 723, fax: +421-89-477 02

e-mail: vrablova@nic.utc.sk, www: http://www.utc.sk

## ELEKTRO '99

Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v Žiline organizuje v dňoch 25. - 26. mája 1999 v poradí už 3. medzinárodnú vedeckú konferenciu ELEKTRO '99.

Odborný program bude prebiehať formou plenárnych zasadnutí a prednášok v nasledovných sekciách:

1. Silnoprúdová elektrotechnika.
2. Telekomunikačné systémy a služby.
3. Informačné a zabezpečovacie systémy.
4. Základné javy a princípy pre aplikácie v elektrotechnike.

3. medzinárodná vedecká konferencia ELEKTRO '99 sa bude konať v areáli Žilinskej univerzity na Veľkom diele, v budovách NR a NS. Srdečne pozývame záujemcov o konferenciu.

ELEKTRO '99 - 3<sup>rd</sup> International Scientific Conference will be held in Žilina from 25<sup>th</sup> - 26<sup>th</sup> May 1999. The Conference is organized by the Faculty of Electrical Engineering of the University of Žilina.

The main objective of the Conference is to provide a forum to present the latest research results and experience in the following sections:

1. Electrical Engineering
2. Telecommunication Systems and Services
3. Information and Safety systems
4. Fundamental Phenomena and Principles for Applications in Electrical Engineering

The ELEKTRO '99 Conference will take place at the University Campus, Veľký diel, NR and NS buildings. All participants are warmly welcomed.

**Podrobné informácie sa dozviete na sekretariáte konferencie:**

Žilinská univerzita v Žiline - Elektrotechnická fakulta

**For further details, please contact the Conference Secretariat:**

University of Žilina - Faculty of Electrical Engineering

Doc. Ing. Igor Jamnický, CSc.

Veľký diel, 010 26 Žilina, Slovakia

Tel.: +421-89-646 2058, Fax : +421-89-522 41

e-mail : jamnic@fel.utc.sk

**POKYNY PRE AUTOROV PRÍSPEVKOV DO ČASOPISU  
KOMUNIKÁCIE - vedecké listy Žilinskej univerzity**

1. Redakcia prijíma iba príspevky doteraz nepublikované alebo inde nezaslané na uverejnenie.
2. Rukopis musí byť v jazyku slovenskom a anglickom. K článku dodá autor resumé v rozsahu 10 riadkov v slovenskom a anglickom jazyku.
3. Príspevok prosíme poslať e-mailom na adresu **vrablova@nic.utc.sk**, alebo **holesa@nic.utc.sk**, alebo doručiť na **diskete 3,5"** v programe **Microsoft WORD**, spolu s 1 vytlačeným párom (podklad na posúdenie redakčnou radou), na Rektorát ŽU, Ing. Vrablova, odd. vedy a výskumu, Moyzesova 20, 010 26 Žilina.
4. Skratky, ktoré nie sú bežné, je nutné pri ich prvom použití rozpisovať v plnom znení.
5. Obrázky, grafy a schémy, pokiaľ nie sú spracované pod **Microsoft WORD**, je potrebné priložiť na diskete (ako .TIF, .CDR, .BMP, .WMF, .PCX, .JPG súbory), prípadne nakresliť kontrastne na bielom papieri a predložiť v jednom exemplári. Pri požiadavke na uverejnenie fotografie priložiť ako podklad kontrastnú fotografiu alebo diapozitív. Pre obidve mutácie spracovať jeden obrázok s popisom v slovenskom a anglickom, resp. len v anglickom jazyku.
6. Odvolania na literatúru sa označujú v texte alebo v poznámkach pod čiarou príslušným poradovým číslom v hranatej zátvorke. Zoznam použitej literatúry je uvedený za príspevkom. Citovanie literatúry musí byť podľa záväznej STN 01 0197 „Bibliografické citácie“.
7. K rukopisu treba pripojiť presnú adresu autora, dátum narodenia, rodné číslo, adresu inštitúcie, v ktorej pracuje, funkciu, ktorú zastáva a číslo telefónu.
8. Text príspevku posúdi redakčná rada na svojom najbližšom zasadnutí a zašle rukopis na recenzovanie. O výsledku bude redakcia informovať autora ústne alebo písomne.
9. Termín na dodanie článkov jednotlivých čísel je 31. 3., 30. 6., 30. 9. a 15. 12.

**COMMUNICATIONS - Scientific Letters of the University of Žilina  
Writer's Guidelines**

1. Submissions for publication must be unpublished and not be a multiple submission.
2. Manuscripts written in English language must include abstract also written in English. The abstract should not exceed 10 lines.
3. Submissions should be sent:
  - by e-mail to one of the following addresses: **vrablova@nic.utc.sk** or **holesa@nic.utc.sk**;
  - on a **3.5" diskette** in **Microsoft WORD** with a hard copy (to be assessed by the editorial board) to the following address: Rektorát ŽU, Ing. Vrablova, OVV, Moyzesova 20, 010 26 Žilina, Slovakia.
4. Abbreviations which are not common must be used in full when mentioned for the first time.
5. Figures, graphs and diagrams, if not processed by **Microsoft WORD**, must be sent on a diskette (as .TIF, .CDR, .JPG, .PCX, .VMF, .BMP files) or drawn in contrast on white paper, one copy enclosed. Photographs for publication must be either contrastive or on a slide.
6. References are to be marked either in the text or as footnotes numbered respectively. Numbers must be in square brackets. The list of references should follow the paper.
7. The author's exact mailing address, date of birth, job position, telephone number and contact information must be enclosed.
8. Each submission will be assessed by the editorial board and sent to referees. A response will be received in two months either in writing or orally.
9. The deadlines for submissions are as follows: March 31, June 30, September 30 and December 15.



VEDECKÉ LISTY ŽILINSKEJ UNIVERZITY  
SCIENTIFIC LETTERS OF THE UNIVERSITY OF ŽILINA

**Šéfredaktor:**

**Editor-in-chief:**

Prof. Ing. Pavel Poledňák, PhD.

**Redakčná rada:**

**Editorial board:**

Prof. Ing. Ján Bujňák, CSc. - SK  
 Prof. Ing. Karol Blunár, DrSc. - SK  
 Prof. Ing. Otakar Bokúvka, CSc. - SK  
 Prof. RNDr. Jan Černý, DrSc. - CZ  
 Prof. Ing. Ján Čorej, CSc. - SK  
 Prof. Eduard I. Danilenko, DrSc. - UKR  
 Prof. Ing. Branislav Dobručky, CSc. - SK  
 Prof. Dr. Stephen Dodds - UK  
 Dr. Robert E. Caves - UK  
 PhDr. Anna Hlavňová, CSc. - SK  
 Prof. RNDr. Jaroslav Janáček, CSc. - SK  
 Doc. Ing. Ján Jasovský, CSc. - SK  
 Dr. Ing. Helmut König, Dr.h.c. - CH  
 Doc. Dr. Ing. Ivan Kuric - SK  
 Ing. Vladimír Mošat, CSc. - SK  
 Prof. Ing. G. Nicoletto - I  
 Prof. Ing. Ludovít Parilák, CSc. - SK  
 Ing. Miroslav Pfliegel, CSc. - SK  
 Prof. Ing. Pavel Poledňák, PhD. - SK  
 Akad. Alexander P. Pochechuev - RF  
 Prof. Bruno Salgues - I  
 Prof. Dr.hab.ing. Lucjan Stewczynski - PL  
 Prof. Ing. Miroslav Steiner, DrSc. - CZ  
 Doc. Ing. Pavel Surovec, CSc. - SK  
 Prof. Ing. Hynek Šertler, DrSc. - CZ

**Adresa redakcie:**

**Address of the editorial office:**

Žilinská univerzita  
 Oddelenie pre vedu a výskum  
 Office for Science and Research  
 Moyzesova 20, Slovakia  
 SK 010 26 Žilina  
 Tel.: +421/89/622 723  
 Fax: +421/89/47702  
 E-mail: polednak@fsi.utc.sk

Vydáva Žilinská univerzita  
 v EDIS - vydavateľstve ŽU  
 J. M. Hurbana 15, 010 26 Žilina  
 pod registračným číslom 1989/98  
 ISSN 1335-4205

It is published by the University of Žilina in  
 EDIS - Publishing Institution of Žilina University  
 Registered No: 1989/98  
 ISSN 1335-4205

Objednávky na predplatné prijíma redakcia  
 Vychádza štvrťročne  
 Cena jedného výtlačku 125,- Sk  
 Ročné predplatné na rok 1999 je 375,- Sk

Order forms should be returned to the editorial office  
 Published quarterly  
 The rate for one issue is 12 DM  
 The subscription rate for year 1999 is 35 DM.

<http://fstroj.utc.sk/komunikacie>