



## Hodnotenie mechanických vlastností drôtov ocelových lán štatistickými metódami

Lubica Floreková<sup>1</sup>, Dagmar Bednárová<sup>1</sup> a Ján Boroška<sup>2</sup>

### Evaluation of mechanical properties of steel wire ropes by statistical methods

The contribution deals with the evaluation of mechanical properties of steel wire ropes using statistical methods from the viewpoint of the quality of single wires as well as the internal construction of the wire ropes. The evaluation is based on the loading capacity calculated from the strength, number of folds and torsions. For the better illustration, a box plot has been constructed.

**Key words:** Taguchi Loss Function, Analysis of Steel Wire Ropes Parameters.

### Úvod

Vysoká spoľahlivosť produkcie a jej bezpečnosť pri dlhodobom používaní sú jednými z podstatných činiteľov konkurencieschopnosti. Vytvárajú značku, meno, image firmy.

Dôsledná orientácia na kvalitu, ktorej vážnou zložkou je práve spoľahlivosť, je dlhodobá záležitosť, dlhodobá investícia s vysokou mierou návratnosti. „Vsadiť“ na krátkodobý zisk sa nevypláca. Treba sa orientovať na dlhodobý efekt. Tzv. ekonomická spoľahlivosť produktov musí mať svoje opodstatnenie tak v celom predvýrobnom a výrobnom cykle, ako aj v spôsobe správneho používania produktov.

### Kvalitatívne a kvantitatívne parametre produktov

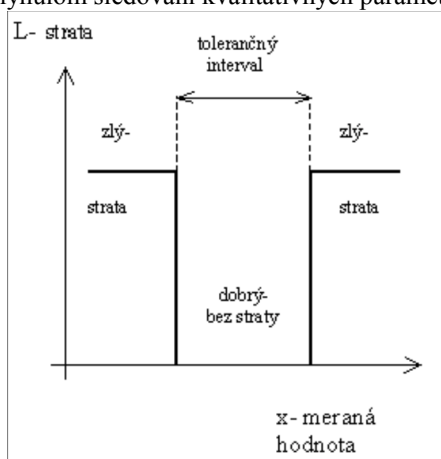
Kvalita produktov ich spoľahlivosť, bezpečnosť, životnosť (tj. kvalitatívne parametre) úzko súvisí s variabilitou ich parametrov. Ekonomické straty z vysokej variability parametrov produktov, resp. procesov, ktorými sú vytvárané, môžu byť redukované jej kontinuálnym znižovaním, čo má za následok zlepšovanie očakávaných parametrov (kvalitatívnych) pri súčasnom znižovaní straty peňazí (tj. kvantitatívny parameter) z tejto variability.

Kvantifikáciu ekonomických strát z nekvalitnej produkcie vyjadril svojou stratovou funkciou – Quality Loss Function QLF v r.1978 Taguchi (Taguchi, 1987). Vychádzal z Juranových úvah (1964) (Juran, 1979), že v každom podniku existujú dva jazyky, a to:

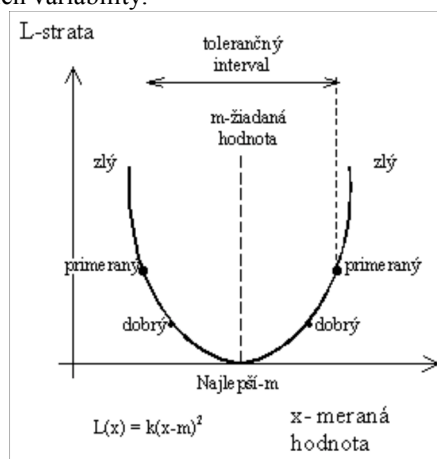
- jazyk peňazí (profit – losses) vrcholového managementu,
- jazyk vecí (variabilita) inžinierov, výkonných pracovníkov.

Pre zaistenie dobrej komunikácie je potrebné, aby bol stredný management, zabezpečujúci operatívne riadenie, bilingválny.

Tradičný výrobný postup interpretácie požiadaviek na špecifikáciu parametrov produktov (obr.1) (Jessup, 1985) a určenie Taguchiho stratovej funkcie (obr.2) (Taguchi, 1987), názorne ukazujú rozdiely v skokovom, resp. plynulom sledovaní kvalitatívnych parametrov z hľadiska ich variability.



Obr.1. Tradičné hodnotenie produktov.



Obr.2. Taguchiho hodnotenie produktov (stratová funkcia).

<sup>1</sup> Doc. Ing. Lubica Floreková, CSc. a Ing. Dagmar Bednárová, Katedra informatizácie a riadenia procesov, F BERG Technickej univerzity, 040 01 Košice, ul.B. Němcovej 3

<sup>2</sup> Prof. Ing. Ján Boroška, CSc., Katedra logistiky a výrobných systémov, F BERG TU, 040 01 Košice, Park Komenského 14  
(Recenzovali: Doc. Ing. Daniela Marasová, CSc. a Ing. Marta Benková)

V prípade Taguchiho stratovej funkcie sa jej určenie dá normovať tak, že sa žiadaná hodnota  $m$  (najlepšia hodnota parametra) považuje za jednotkovú, dolná hranica pre „dobrý“ =0,98, horná hranica pre „dobrý“=1,02, dolná hranica pre „primeraný“=0,96, horná hranica pre „primeraný“=1,04. Všetky hodnoty pod 0,96 a nad 1,04 sú považované za „zlý“ parameter.

Stratový koeficient  $k$  sa určuje rôznymi spôsobmi, napr. ako pomer nákladov na korekciu k druhej mocnine zmeny sledovaného parametra alebo ako konštantné náklady na jednotkovú zmenu sledovaného parametra, čo závisí vždy na tom, aké sú tolerančné medze akceptované výrobcom, resp. spotrebiteľom.

Pri požiadavke na šírku tolerančného intervalu, reprezentujúcu povolenú variabilitu, treba zohľadniť zabezpečenie meraní, teda celý merací systém z hľadiska jeho stability, aby boli vytvorené základné podmienky pre správnosť (accuracy) a presnosť (precision) získavaných zdrojových dát.

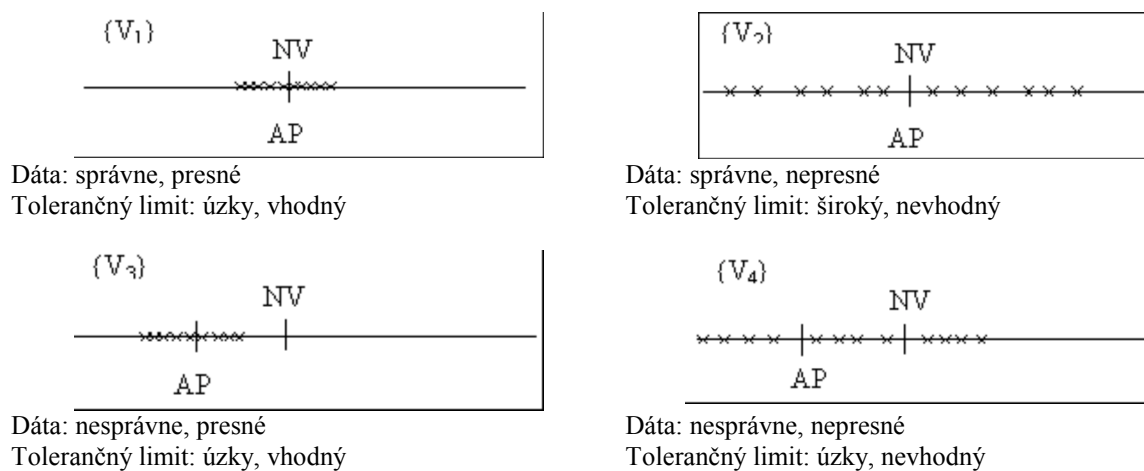
Zdroje variability dát týkajú sa všetkých všeobecných kategórií – 6M's, definovaných Ishikawom (Ishikawa, 1983) pri diagnostike príčin a následkov nekvality (Cause-Effect Diagnosis): {Materials, Methods, Machines, Measurements/Monitoring, Men, EnvironMent}.

Každé meranie potvrdzuje/nepotvrdzuje stabilitu sledovaného parametra, preto chyba merania musí byť malá. Veľké chyby meraní znižujú efektívnosť procesu merania, takže nestabilita meracieho reťazca môže vyvolať zvýšené, v skutočnosti nepotrebné náklady na jeho zlepšovanie. Na druhej strane nespoznané, nerekovnostikované chyby meraní môžu viesť k nesprávnemu rozhodnutiu o redesigne produktu aj vtedy, ak je dobrý.

Stabilita procesu merania sa dá modelovať pravdepodobnostným rozdelením chýb. Pretože merania slúžia najmä na štúdium variability, odvodené stability a spôsobilosti (capability) produktov/procesov pre určené ciele, je potrebné vstupnú analýzu (Meloun et al., 1994) meraním získaných dát vykonať z hľadiska ich

- správnosti (accuracy), minimalizácie systematických chýb, zabezpečenia neprítomnosti extrémnych dát-A,
- presnosti (preciseness), korektnosti, ostrosti, minimalizácie náhodných chýb - P,
- tolerancie (tolerability), prijateľného, prípustného rozpätia, tolerančného intervalu - T,
- opakovateľnosti (repeatability) a reprodukovateľnosti (reproducibility), stupňa zhody výsledkov získaných s odstupom času, opakovaného vykonania experimentov - R&R.

Posúdenie stability dát z hľadiska správnosti a presnosti (obr.3) pre určenie indexov spôsobilosti CPI (Capability Process/Product Indices) (Floreková, 1996), buď ako (UTL-LTL)/6s, resp. (UTL-NV)/3s, kde s je štandardná odchýlka (Standard Deviation) spracovávaných dát, UTL – Upper Tolerantion Limit, LTL – Lower Tolerantion Limit, NV – Nominal Value a pre určenie rozptylu R&R, je dôležité pre hodnotenie a následné znižovanie ich variability.



(AP-aritmetický priemer spracovaných dát,  $V_j$ -výber dát,  $j=1, \dots, 4$ , NV- normovaná, žiadaná hodnota parametra).

Obr.3. Posúdenie stability opakovaných meraní z hľadiska správnosti-A, presnosti-P, opakovateľnosti a reprodukovateľnosti R&R.

Pri hodnotení dát z opakovaných výberov  $V_k$  a  $V_l$  je možné pri rovnakom rozsahu vypočítať diferenciu výberov dát  $d_i = x_{ik} - x_{il}$ , ich priemer  $\bar{d}$ , rozptyl  $s_d^2$  a rozptyl R&R.

$$s_{R\&R}^2 = \frac{1}{2} \left( \bar{d} + \frac{n-1}{n} \cdot s_d^2 \right) \quad (1)$$

## Vstupná analýza parametrov nového oceľového lana

Pre každého výrobcu je dôležitá spätná väzba, informácie o jeho produkcii, či už od nezávislej organizácie alebo od používateľa jeho produktov.

Pre kvantifikáciu kvalitatívnych parametrov oceľových lán (Floreková et al., 1998a; Floreková et al., 1998b; Boroška et al., 1999a; Boroška et al., 1999b) už pred začatím ich prevádzkovania je vhodné zostaviť určitý "rodný list", parametre, s ktorými začína jeho používanie. Pre hodnotenie mechanických vlastností drôtov oceľových lán sú takými parametrami: nosnosť [N] - prepočítavaná na pevnosť [MPa], počet ohybov a počet krutov (Floreková, 1996), ktoré vyplývajú z STN 02 4301 – Oceľové laná, Technické dodacie podmienky. Dodržanie týchto parametrov oprávňuje používateľa očakávať dosiahnutie predpísanej bezpečnosti a primeranej životnosti oceľového lana, ktoré majú podstatný vplyv na ekonomiku zariadenia, v ktorom je lano využívané (Boroška et al., 1997). Z toho dôvodu je veľmi dôležité sledovať zároveň variabilitu jednotlivých typov drôtov, použitých v konštrukcii lana a variabilitu jednotlivých prameňov lana danej konštrukcie. Z toho dôvodu sme vykonali maticové-křížové hodnotenie týchto parametrov (tab.1.), ktoré bolo realizované tak, že v hodnotiacej matici:

→ riadky obsahujú namerané hodnoty sledovaných parametrov pre jednotlivé drôty/skupiny drôtov,



stĺpce obsahujú údaje pre jednotlivé pramene hodnoteného lana.

$D_1P_1$  - priemer nameraných hodnôt príslušného drôtu  $D_1$  (1 kus) - v prvom prameni  $P_1$ ,

$D_3P_4$  - priemer nameraných hodnôt príslušného parametra skupiny drôtov  $D_3$  (6 kusov) vo štvrtom prameni,

$VP_3$  - vážený priemerný parameter pre tretí prameň,

$VD_4$  - vážený priemerný parameter skupiny drôtov  $D_4$  (12 ks).

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	
$D_1$	$D_1P_1$						.....
$D_2$							.....
$D_3$				$D_3P_4$			.....
$D_4$							$VD_4$
	⋮	⋮	$VP_3$	⋮	⋮	⋮	

Priemerné charakteristiky skupín drôtov  $D_i, i = 1, \dots, 4$

Priemerné charakteristiky prameňov  $P_j, j = 1, \dots, 6$

(vážený aritmetický priemer, rozptyl, štandardná odchýlka, variačný koeficient, intervaly spoľahlivosti pre matematickú nádej a disperziu)

V - výsledná hodnota sledovaného parametra, určená zo stĺpcov/riadkov matice

Tab.1. Štruktúra hodnotiacej matice lana pre parametre: pevnosť<sup>1</sup>, ohyb<sup>2</sup>, krut<sup>3</sup> (riadky-drôty, stĺpce-pramene).

Po prvotnom spracovaní, ktoré obsahuje úplnú zostavu nameraných hodnôt všetkých štatistických charakteristik (Floreková et al., 1998), bola vytvorená súhrnná tab.2., ktorá obsahuje normou požadované hodnoty sledovaných parametrov a ich skutočné hodnoty, s udaním priemerných charakteristik všetkých drôtov a všetkých šiestich prameňov, podľa štruktúry lana STN 02 4336, obr.4

Požadované normované parametre k tab.2.:

Pevnosť: nominálna hodnota  $NV=1570$  MPa, horná tolerančná medza  $UTL=NV+16\%=1822$  MPa

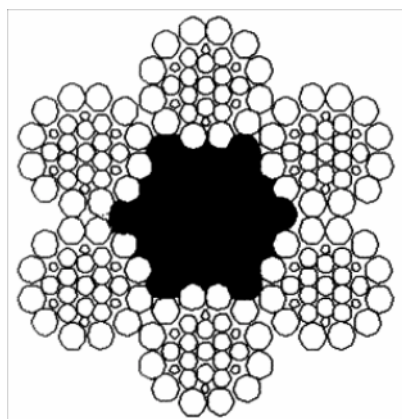
Ohyb: minimálny počet ohybov pre  $D_1=14, D_2=16, D_3=7, D_4=9$

Krut: minimálny počet krutov = 28

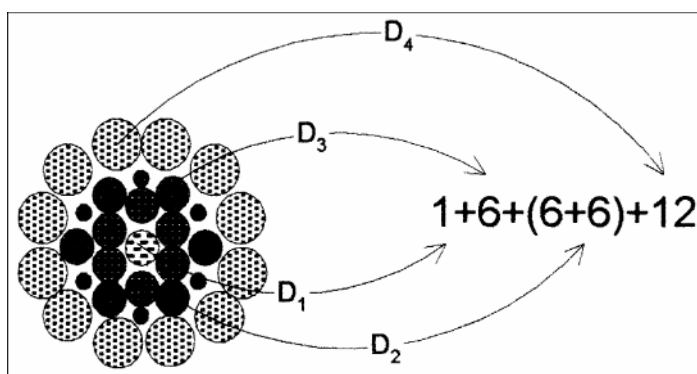
Hladina významnosti pre hodnotenie  $\alpha=0,0027, u_\alpha=3,29$

Tab.2. Súhrnná tabuľka dát pre parametre nového lana {6 prameňov, 186 drôtov, štruktúra prameňov [D<sub>1</sub>=1 drôt, D<sub>2</sub>=(6+6) drôtov, D<sub>3</sub>=6 drôtov, D<sub>4</sub>=12 drôtov]}.

HODNOTENÝ PARAMETER	DRÔTY/SKUPINY DRÔTOV						PRAMENE	
	Počet	Priemer [mm]	Priemerná hodnota <sup>1,2,3</sup>	Štandardná odchýlka <sup>1,2,3</sup>	Variačný koeficient[%]			
1. PEVNOSŤ [MPa]	D <sub>1</sub>	1	1,60	1734,1	2,21	0,63	minimum	1680,0
	D <sub>2</sub>	12	1,50	1704,6	2,66	0,88	maximum	1694,5
	D <sub>3</sub>	6	1,18	1647,5	2,28	1,26	var.rozpätie	14,5
	D <sub>4</sub>	12	2,00	1683,9	4,86	0,92	priemer	1686,5
				1686,5	3,42	0,96	štand.odch.	5,1
							var.koeficient	0,3
2. OHYB [počet]	D <sub>1</sub>	1	1,60	23,17	1,17	5,05	minimum	20,48
	D <sub>2</sub>	12	1,50	30,33	2,88	9,49	maximum	21,23
	D <sub>3</sub>	6	1,18	12,44	0,98	7,88	var.rozpätie	0,75
	D <sub>4</sub>	12	2,00	15,53	1,43	9,21	priemer	20,97
				20,91	1,89	8,92	štand.odch.	0,18
							var.koeficient	0,86
3. KRUT [počet]	D <sub>1</sub>	1	1,60	39,17	4,07	10,39	minimum	39,65
	D <sub>2</sub>	12	1,50	37,53	4,97	13,24	maximum	41,12
	D <sub>3</sub>	6	1,18	46,56	3,23	6,94	var.rozpätie	1,47
	D <sub>4</sub>	12	2,00	40,50	3,60	8,89	priemer	40,46
				40,48	3,40	8,30	štand.odch.	0,52
							var.koeficient	1,28



Obr.4a. . Prierez lana.



Obr.4b. Prierez prameňa.

Je zrejmé, že z hľadiska:

- **Pevnosti**, variabilita jednotlivých drôtov je veľmi nízka, keď najvyššia hodnota štandardnej odchýlky je iba 4,86 MPa a najvyššia hodnota variačného koeficienta iba 1,26%; variabilita jednotlivých prameňov ukazuje na ich homoskedasticitu, rozdiel medzi najvyššou a najnižšou hodnotou je iba 14,5 MPa, štandardná odchýlka je 5,1 MPa, variačný koeficient 0,3% a skutočná hodnota (vážený aritmetický priemer) pevnosti je 1686,5 MPa; z hľadiska hodnotenia CPI – pre pevnosť je LTL neudané,

$$CPI_{NV} = \frac{AP - NV}{3 * s} = \frac{1686.5 - 1570}{3 * 5.1} = 1.21 \quad CPI_U = \frac{UTL - AP}{3 * s} = \frac{1822 - 1686.5}{3 * 5.1} = 8.97$$

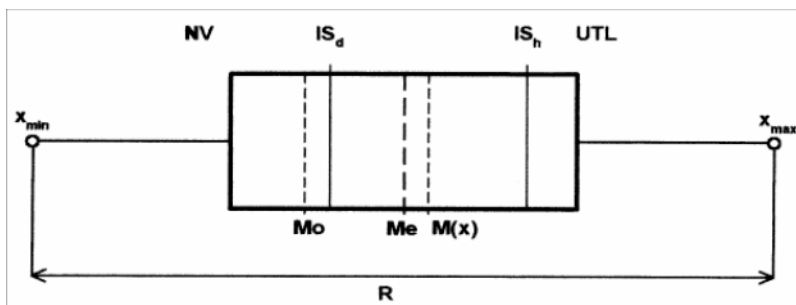
- **Ohybu**, variabilita jednotlivých drôtov pri štandardnej odchýlke je 1,89 ohybov, s variačným koeficientom 8,92%; variabilita jednotlivých prameňov vykazuje variačné rozpätie iba 0,75 ohybov, štandardnú odchýlku 0,18, variačný koeficient 0,86% a priemerný počet ohybov 20,9; z hľadiska hodnotenia CPI – pre ohyb sú udané iba LTL, NV – neudané – určené ako aritmetické priemery pre drôty

$$D_1 \quad CPI_L = \frac{AP - LTL}{3 * s} = \frac{23.17 - 14}{3 * 1.17} = 2.61 \quad D_3 \quad CPI_L = \frac{AP - LTL}{3 * s} = \frac{12.44 - 7}{3 * 0.98} = 1.85$$

- Krutov, variabilita jednotlivých drôtov má štandardnú odchýlku 3,40, variačný koeficient 8,30%; variabilita jednotlivých prameňov pri variačnom rozpätí 1,47 krutov, štandardnej odchýlke 0,52, variačnom koeficiente 1,28% a pri priemernom počte krutov 40,4 je primeraná; z hľadiska hodnotenia CPI – pre krut sú udané iba LTL, NV určené ako pri ohybe

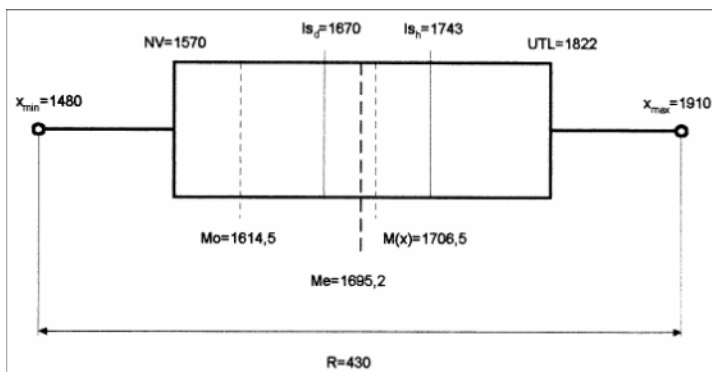
$$CPI_L = \frac{AP - LTL}{3 * s} = \frac{40.46 - 28}{3 * 0.52} = 7.99$$

Pre názornosť a vyššiu vypovedaciu schopnosť ako majú čísla, bol vytvorený pre hodnotené parametre krabicový diagram. Jeho štruktúra je na obr.5 a týka sa pevnosti. Konkrétny krabicový diagram pre nové lano je na obr.6. Názdorne ukazuje šírku tolerančného intervalu, polohu priemernej pevnosti a "štíhlosť" rozpätia pevností prameňov nového lana. (Na porovnanie, nie však pre to isté lano, ale lano 6-pramenné so 114 drôtmi, avšak pre rovnaké NV a UTL, STN 02 4322, po skončení jeho životnosti, uvádzame obr.7. Je možné sledovať veľmi široký interval variability, rozpätie hodnôt pevnosti 6 prameňov je až 430 MPa, pričom štandardná odchýlka je 117,90 MPa a variačný koeficient 6,91%).

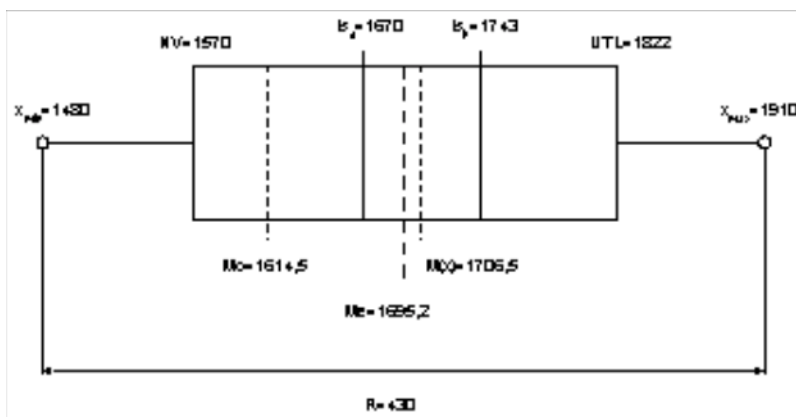


NV-nominal value (podľa normy ČSN/STN 024 301)  
 UTL- horný tolerančný limit (NV+16%)  
 ISIS<sub>h</sub> – interval spoľahlivosti M(x),  
 dolná/horná hranica  
 R – rozpätie hodnôt {x} [MPa]  
 M(x) – aritmetický priemer – najužitočnejšia, nerezistentná hodnota  
 Me – medián – stredná hodnota variuačného radu – rezistentný voči zmenám  
 Mo–modus–najčastejšie sa vyskytujúca hodnota-,módna“ pre spracovávané dáta

Obr.5. "Upravený" krabicový diagram pre hodnotenie kvality ocelových lán.



Obr.6. Krabicový diagram pre nové lano (všetky dáta v MPa).



Obr.7. Krabicový diagram pre staré lano (všetky dáta v MPa).

### Záver

Navrhnutá metodika štatistického vyhodnocovania kvalitatívnych parametrov oceľových lán "krížovo", zvlášť drôtov, zvlášť prameňov a celkovo lana danej konštrukcie, by mohla byť spolu s grafickým zobrazením dobrou komplexnou informáciou pre konštruktérov, výrobcov aj používateľov. Priebežné sledovania lana na začiatku jeho životnosti až po jeho ukončenie by mohlo pomôcť pri objektívnom stanovovaní doby jeho bezpečnej prevádzky, príp. pri objektivizovaní parametrov stanovených normou (ČSN) STN 024301 z r. 1974.

#### Poznámka:

Vzhľadom na to, že pre hodnotené lano nie sú ešte k dispozícii dáta po ukončení jeho životnosti, nie je možné vypočítať niektoré charakteristiky, uvedené v teoretickej časti.

### Literatúra

- Boroška, J., Carbogno, A., Marasová, D., Floreková, E.: Estimation of Quality of Steel Wire Ropes on the Ground of Tensile Tests of Wire, *Proc. Int. Conf. Trends in Underground Transport Systems Modernization, Ustroň, 1999*, p.143-148.
- Boroška, J., Marasová, D., Floreková, E., Carbogno, A.: Ocena jakości lin stalowych z punkta widzenia wytrzymałości drutów z wykorzystaniem metod matematycznych i statystycznych, *Proc. Wyciągi szybkie u progu XXI.wieku, Szczyrk, 1999*, s.1-6.
- Boroška, J., Krešák, J., Peterka, P.: Hodnotenie kvality oceľových lán z hľadiska ich mechanických vlastností, *Acta Montanistica Slovaca, 1, 1997*, s.37.
- Floreková, E.: TQM - proces neustáleho zlepšovania produkcie/služieb, *AMS 1 (1996)*, 3, s.187-190.
- Floreková, E., Bednárová, D., Boroška, J.: Metodika automatizovaného vyhodnocovania mechanických vlastností lán, *Proc. ICAMC'98 and ASR TP'98, Vysoké Tatry, 1998*, p.306-309.
- Floreková, E., Boroška, J., Bednárová, D., Marasová, D.: Analýza výsledkov skúšok mechanických vlastností lán, *Zb. Výskum, výroba a použitie oceľových lán, 2.sekcia, Podbanské, 1998*, s.100-105.
- Ishikawa, K.: Guide to Quality Control, *APO Tokyo, 1983*.
- Jessup, P.T.: The Value of Continuing Improvement, *Proc. of the 1985 Intern. Commun. Conf.*
- Juran, J.M.: Quality Control Handbook, *Mc Graw Hill, NY, 1979*.
- Meloun, M., Militký, J.: Štatistické zpracování experimentálních dat, *PLUS, Praha, 1994*.
- STN 02 4301 - oceľové laná. Technické dodacie podmienky.
- Taguchi, G.: System of Experimental Design, *Mc Graw Hill, NY, 1987*.

*Tento príspevok vznikol v rámci riešenia grantových úloh č.1/6247/99 Integrované systémy riadenia kvality oceľových lán matematickými a experimentálnymi metódami a návrh kritérií pre ich odkladanie s ohľadom na konštrukciu a spôsob namáhania v prevádzke a č.1/4394/97 Výskum faktorov intenzívneho rozvoja kvality produkcie.*