



ŠTATISTICKÉ HODNOTENIE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ DRÔTOV OCEĽOVÝCH LÁN

Vieroslav Molnár¹, Ján Boroška², Beáta Stehlíková³, Peter Michalik⁴

Kľúčové slová: mechanické vlastnosti, oceľové lano, kvalita, skúšky, štatistické metódy

Abstrakt:

Mechanické vlastnosti drôtov oceľových lán sa zisťujú skúškami, ktoré sú predpísané príslušnými normami a predpismi. V nich sú stanovené minimálne hodnoty ohybov a krutov i maximálna a minimálna odchýlka od priemernej nosnosti. Pre hodnotenie kvality oceľových lán je vhodné využiť tiež niektoré štatistické veličiny [2]. V príspevku sú porovnávané dve oceľové laná s trojbokými prameňmi, pre ktoré sú vypočítané štatistické veličiny zamerané na porovnanie počtu ohybov, priemeru a nosnosti oceľových drôtov. Z hľadiska kvality je dôležitá homogenita týchto štatistických veličín, ktorá je pre hodnotené laná rôzna.

1. Úvod

Kvalita oceľového lana je pre ich užívateľov jednou zo základných požiadaviek. Od jeho kvality a vlastností závisí životnosť, ktorá ovplyvňuje ekonomickú efektívnosť prevádzky oceľového lana. Kvalita oceľových lán závisí od kvality drôtov, z ktorých sú laná vyrábané. Kvalita oceľových drôtov je ovplyvňovaná predovšetkým technológiou výroby drôtov. Najviac vyskytujúce sa nedostatky lanových drôtov, majúce následne vplyv na kvalitu oceľového lana sú [1]:

- a) veľký rozptyl pevnosti jednotlivých drôtov,
- b) veľké výkyvy hodnôt mechanických vlastností po dĺžke drôtu,
- c) v oceľových lanách majúci drôty rôzneho priemeru majú jednotlivé priemery drôtov rôzne hodnoty mechanických vlastností,
- d) zlaňovaním drôtov sa znižuje počet ohybov a krutov drôtov, často dosahujúci len minimálny počet predpísaných hodnôt.

Na kvalitu oceľového lana vplyvajú tiež ďalšie činitele. Z týchto rôznych a početných činiteľov sa v príspevku zameriame na problematiku nosnosti oceľových drôtov lana a hodnotenie výsledkov ich skúšok na ohyb a odchýlky priemeru drôtov od priemeru menovitého. Porovnávané sú dve oceľové laná výberovej kvality rovnakej konštrukcie od toho istého výrobcu, ktoré pri skúškach vyhoveli

¹ **doc. Ing. Vieroslav Molnár, PhD.**, Fakulta BERG TU v Košiciach, Ústav logistiky priemyslu a dopravy, Park Komenského 14, 043 84 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 31 43, e-mail: vieroslav.molnar@tuke.sk

² **prof. Ing. Ján Boroška, CSc.** Fakulta BERG TU v Košiciach, Ústav logistiky priemyslu a dopravy, Park Komenského 14, 043 84 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 28 13, e-mail: jan.boroska@tuke.sk

³ **Ing. Beáta Stehlíková, PhD.**, Fakulta BERG TU v Košiciach, Ústav logistiky priemyslu a dopravy, Boženy Němcovej 3, 043 84 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 51 70, e-mail: beata.stehlikova@tuke.sk

⁴ **Ing. Peter Michalik, PhD.**, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, Katedra výrobných technológií, Bayerova 1, 080 01 Prešov, Slovensko, Tel.: +421 51 772 26 03, kl. 126, e-mail: peter.michalik@tuke.sk

požiadavkám príslušných noriem a predpisov, boli teda z hľadiska požiadaviek na kvalitu vyhovujúce pre prevádzkové využitie.

2. Technické parametre hodnotených lán

Hodnotené laná, označené písmenami A a B, sú laná s trojbokými prameňmi vyrobené podľa normy STN 02 4362 [7]. Ich základné technické parametre sú nasledovné:

- konštrukcia lana	6(3+9+12+18)+v
- menovitý priemer lana	50 mm
- menovitý prierez lana	1036,68 mm ²
- menovitá pevnosť drôtov	1770 MPa
- menovitá nosnosť lana	1835 kN
- priemer drôtov prvej vrstvy prameňov	1,90 mm
- počet drôtov prvej vrstvy prameňov	54
- priemer drôtov druhej vrstvy prameňov	2,50 mm
- počet drôtov druhej vrstvy prameňov	72
- priemer drôtov tretej vrstvy prameňov	2,50 mm
- počet drôtov tretej vrstvy prameňov	108
- celkový počet drôtov lana	234

3. Postup hodnotenia a štatistické výpočty vybraných parametrov drôtov

Namerané a vypočítané vybrané parametre drôtov (počet ohybov, priemer, nosnosť) pre menovité priemery drôtov prvej vrstvy 1,9 mm, pre menovité priemery drôtov druhej vrstvy 2,5 mm a pre menovité priemery drôtov tretej vrstvy 2,5 mm boli štatisticky spracované zvlášť. Testovanie štatistických hypotéz a odhad parametrov boli realizované pre hladinu významnosti $\alpha=0,05$.

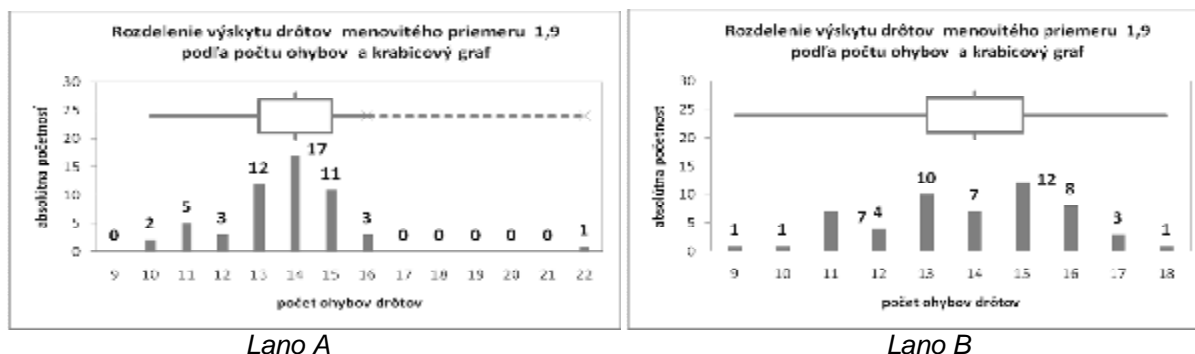
Hodnotenie spočívalo v nasledujúcich krokoch:

- Namerané hodnoty všetkých vlastností 54 drôtov prvej vrstvy (6 prameňov po 9 drôtov), 72 drôtov druhej vrstvy (6 prameňov po 12 drôtov), 108 drôtov tretej vrstvy (6 prameňov po 18 drôtov) boli porovnávané s menovitými hodnotami testom zhody stredných hodnôt. Hypotézy: $H_0: \mu=\mu_0$; $H_1: \mu\geq\mu_0$. Na základe nameraných údajov bol odhadovaný interval spoľahlivosti pre strednú hodnotu.
- Pre jednotlivé vlastnosti bol na základe nameraných hodnôt hľadaný vhodný typ teoretického rozdelenia. Na overenie zhody s týmto rozdelením bol použitý jednovýberový Kolmogorov test [6]. Okrem toho bola pri predpokladanom normálnom rozdelení overovaná normalita prostredníctvom koeficientov zošikmenia a špicatosti.
- Kolmogorov-Smirnov test zhody rozdelení podľa distribučnej funkcie bol použitý na porovnanie, či vlastnosť pre lano A a B pochádzajú z rovnakého základného súboru. Výsledky boli potvrdzované Wilcoxonovým testom.

Tento postup vychádza z úvahy, že výsledky meraní (234 meraní) tvoria štatistický súbor, ktorý je podmnožinou základného súboru. Napriek tomu, že merania boli realizované na všetkých 234 drôtoch lana, z nameraných údajov vypočítané hodnoty vlastností drôtov sú platné iba pre krátky úsek lana [4]. Meranie je podkladom pre štatistické odhady vlastností lana a pre testovanie štatistických hypotéz.

4. Výsledky a ich hodnotenie

4.1 Ohyby



Obr. 1 Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 1,9 mm podľa počtu ohybov a krabicový graf

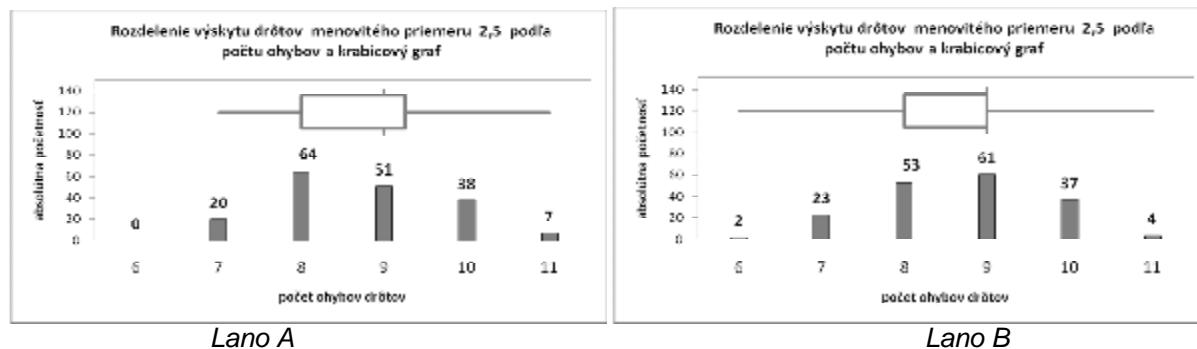
Pre **54 drôtov prvej vrstvy** (6 prameňov po 9 drôtov) boli realizované skúšky na ohyb podľa [8]. Minimálny počet ohybov drôtov pri skúškach na ohyb pre drôty s menovitým priemerom 1,9 mm je 9. Pri skúškach na ohyb všetky skúšané drôty mali počet ohybov rovný alebo vyšší, ako je stanovený minimálny počet ohybov. Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 1,9 mm podľa počtu ohybov pre obidve laná je zobrazené na Obr. 1.

Z Obr. 1 pre **lano A** je zrejme, že výsledok 22 ohybov je extrémna hodnota, čo potvrdil aj Grubbsov test extrémnych hodnôt a preto pri výpočte ďalších charakteristík bola z výberu vylúčená. Potom intervalový odhad strednej hodnoty počtu ohybov drôtov je $\langle 13; 14 \rangle$. Odhadovaná variabilita, štandardná odchýlka je $\langle 1,24; 1,82 \rangle$. Rozdelenie môže byť považované za normálne. Vypočítané koeficienty zošikmenia -0,61 a špicatosti -0,25 vypovedajú o miernej asymetrii dát oproti strednej hodnote k nižším hodnotám.

Pre **lano B** intervalový odhad strednej hodnoty počtu ohybov drôtov je $\langle 13; 14 \rangle$. Štandardná odchýlka je 2,02. Rozdelenie môže byť považované za normálne. Vypočítané koeficienty zošikmenia -0,26 a špicatosti -0,68 vypovedajú o miernej asymetrii dát oproti strednej hodnote ku nižším hodnotám a širšom type normálneho rozdelenia.

Nulová hypotéza, na základe distribúcie rozdelenia drôtov podľa skúšky na ohyb lano A a lano B pochádzajú z toho istého základného súboru nemôže byť zamietnutá.

Pre **180 drôtov druhej a tretej vrstvy** (6 prameňov po 12 drôtov + 6 prameňov po 18 drôtov) boli realizované skúšky na ohyb, merané podľa [9]. Minimálny počet ohybov drôtov pri skúškach na ohyb pre drôty s menovitým priemerom 2,5 mm je 5. Pri skúškach na ohyb všetky skúšané drôty mali počet ohybov vyšší, ako je stanovené minimum. Rozdelenie početností výsledku skúšky na ohyb pre obidve laná je zobrazené na Obr. 2.



Obr. 2 Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 2,5 mm podľa počtu ohybov a krabicový graf

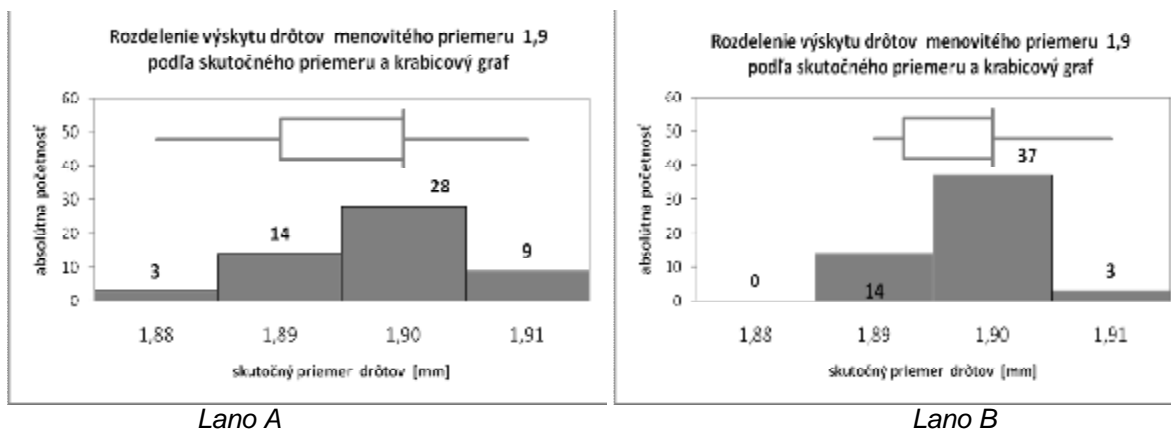
Intervalový **odhad strednej hodnoty** počtu ohybov drôtov menovitého priemeru 2,5 mm pre lano A je $\langle 8; 9 \rangle$. Odhadovaná variabilita, štandardná odchýlka je $\langle 0,95; 1,16 \rangle$. Na základe týchto údajov (pred zaokrúhľením) je pravdepodobnosť výskytu drôtu s výsledkom skúšky na ohyb menej ako 5 0,13 %. Tvar histogramu na Obr. 2 pre **lano A** je možné posudzovať ako normálne rozdelenie, avšak Kolmogorov test a test normality podľa koeficientu zošikmenia majú na zvolenej hladine významnosti záver zamietnutie nulovej hypotézy o zhode s normálnym rozdelením. **Rozdelenie nemôže byť považované za normálne.** Vypočítané koeficienty zošikmenia 0,21 a špicatosti -0,72 vypovedajú o dobrej symetrii dát voči strednej hodnote, ale o väčšej vzdialenosti údajov od priemeru.

Intervalový **odhad strednej hodnoty** počtu ohybov drôtov pre **lano B** je $\langle 8; 9 \rangle$. Odhadovaná variabilita, štandardná odchýlka je 1,05. **Rozdelenie môže byť považované za normálne.** Vypočítané koeficienty zošikmenia -0,09 a špicatosti -0,57 vypovedajú o dobrej symetrii dát voči strednej hodnote, ale o väčšej vzdialenosti údajov od priemeru.

Nulová hypotéza, na základe rozdelenia drôtov podľa skúšky na ohyb lano A a lano B pochádzajú z toho istého základného súboru nemôže byť zamietnutá.

4.2 Priemer drôtov

Pre 54 drôtov prvej vrstvy s menovitým priemerom 1,9 mm (6 prameňov po 9 drôtov) boli odmerané skutočné priemery drôtov. Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 1,9 mm podľa skutočného priemeru pre obidve laná je zobrazené na Obr. 3.

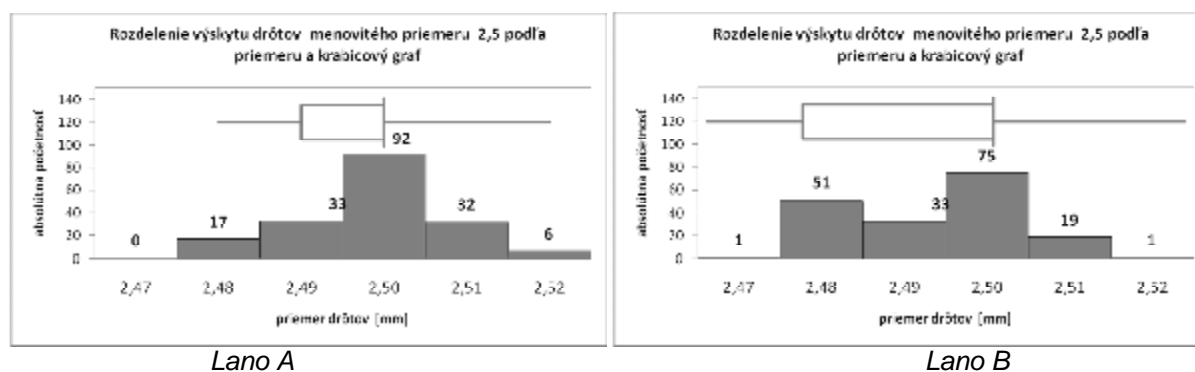


Obr. 3 Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 1,9 mm podľa skutočného priemeru a krabicový graf

Z tvaru grafu na Obr. 3 pre **lano A** je možné usudzovať, že rozdelenie **môže byť považované za normálne**. Zhodu potvrdzuje aj Kolmogorov test. Nemôže byť zamietnutá hypotéza o **zhode strednej hodnoty** priemeru drôtov s menovitou hodnotou. Najmenší nameraný priemer bol 1,88mm a najväčší 1,91mm. Vypočítané koeficienty zošikmenia -0,32 a špicatosti -0,29 vypovedajú o veľmi miernej asymetrii nameraných hodnôt. V teste normality podľa koeficientov zošikmenia a špicatosti nulová hypotéza o zhode nemôže byť zamietnutá.

Tvar grafu na Obr. 3 pre **lano B** pre drôty s nominálnym priemerom 1,9 mm je dôvodom na zamietnutie hypotézy o **zhode strednej hodnoty** priemeru drôtov s nominálnou hodnotou. Napriek pomerne malému rozpätiu hodnôt, je počet drôtov s priemerom menším ako nominálna hodnota 14 a iba 3 drôty majú priemer väčší ako nominálna hodnota. Najmenší nameraný priemer bol 1,89 mm a najväčší 1,91 mm. Z tvaru grafu je možné sa domnievať, že **rozdelenie môže byť považované za normálne**. Zhodu potvrdzuje aj test na základe koeficientov zošikmenia a špicatosti. Vypočítané koeficienty zošikmenia -0,19 a špicatosti -0,14 vypovedajú o dobrej symetrii nameraných hodnôt a ich adekvátnemu rozmiestneniu okolo priemeru. Nulová hypotéza, na základe rozdelenia drôtov podľa skutočného priemeru lano A a lano B pochádzajú z toho istého základného súboru nemôže byť zamietnutá.

Pre 180 drôtov druhej a tretej vrstvy (6 prameňov po 12 drôtov + 6 prameňov po 18 drôtov) boli odmerané skutočné priemery drôtov. Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 2,5 mm podľa skutočného priemeru je zobrazené na Obr. 4.



Obr. 4 Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 2,5 mm podľa skutočného priemeru a krabicový graf

Z tvaru grafu na Obr. 4 pre drôty s nominálnym priemerom 2,5 mm **lano A** je možné usudzovať, že **rozdelenie môže byť považované za normálne**. Nemôže byť zamietnutá hypotéza o **zhode strednej hodnoty** priemeru drôtov s nominálnou hodnotou. Najmenší nameraný priemer bol 2,48 mm a najväčší 2,52 mm. Zhodu potvrdzuje aj vypočítané koeficienty zošikmenia -0,21 a špicatosti 0,02, ktoré vypovedajú o veľmi miernej asymetrii nameraných hodnôt a ich vhodnom rozptýlení okolo priemeru.

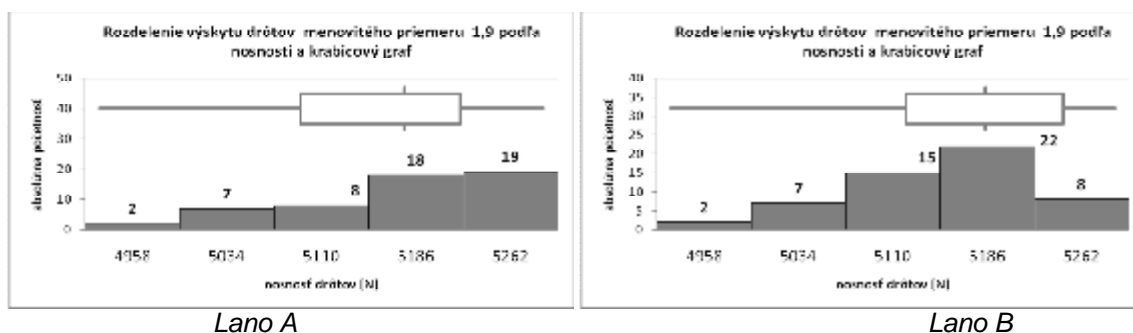
Na Obr. 4 pre drôty s nominálnym priemerom 2,5 **lano B** je zamietnutá hypotéza o **zhode strednej hodnoty** priemeru drôtov s nominálnou hodnotou. Najmenší nameraný priemer bol 2,47 mm a najväčší 2,52 mm. Menší priemer ako 2,5 mm malo 85 drôtov, väčší ako 2,5 mm 20 drôtov. Priemerná hodnota bola 2,49 mm. **Rozdelenie nemôže byť považované za normálne**. Vypočítané

koeficienty zošikmenia a špicatosti zamietajú hypotézu podľa špicatosti. Vypočítané koeficienty zošikmenia $-0,08$ a špicatosti $-1,07$ vypovedajú o symetrii nameraných hodnôt a ich širšom usporiadaní okolo priemeru. Nulová hypotéza, na základe rozdelenia drôtov podľa skutočného priemeru lano A a lano B pochádzajú z toho istého základného súboru je zamietnutá.

4.3 Nosnosť

Pre 54 drôtov prvej vrstvy s menovitým priemerom 1,9 mm (6 prameňov po 9 drôtov) je menovitá hodnota nosnosti drôtov 5018,46 N. Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 1,9 mm podľa nosnosti drôtov pre obidve laná je zobrazené na Obr. 5.

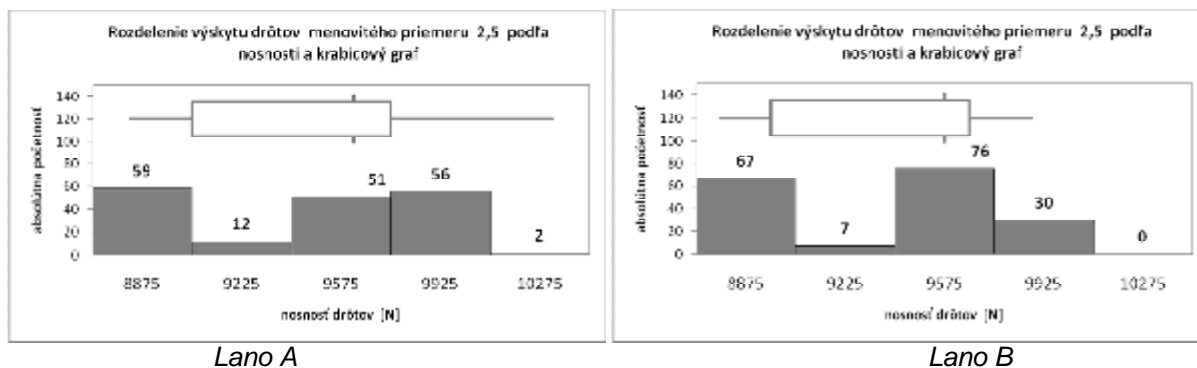
Z tvaru grafu na Obr. 5 pre **lano A** je zrejmé, že **rozdelenie nemôže byť považované za normálne** aj keď Kolmogorov test potvrdzuje zhodu s normálnym rozdelením podľa distribučnej funkcie. 4 drôty mali nosnosť nižšiu, ako menovitá hodnota nosnosti drôtov. Stredná hodnota nosnosti je 5175 N, odhad strednej hodnoty základného súboru drôtov na základe vzorky je $\langle 5152 \text{ N}; 5199 \text{ N} \rangle$. Hypotéza o zhode hodnoty nosnosti s požadovanou hodnotou je zamietnutá. Priemerná nosnosť drôtov je vyššia ako je menovitá hodnota nosnosti drôtov. Vypočítané koeficienty zošikmenia $-0,71$ a špicatosti $-0,62$ vypovedajú o asymetrii nameraných hodnôt a väčšej rozptýlenosti od priemeru. Pri hodnotení normality podľa asymetrie je záver: zamietnutie nulovej hypotézy o zhode s normálnym rozdelením.



Obr. 5 Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 1,9 mm podľa nosnosti a krabicový graf

Pri hodnotení **lano B** podľa nosnosti 3 drôty mali nosnosť nižšiu, ako táto hodnota. Stredná hodnota nosnosti je 5150 MPa, odhad strednej hodnoty základného súboru drôtov na základe vzorky je $\langle 5128; 5171 \rangle$. Hypotéza o zhode hodnoty nosnosti s požadovanou hodnotou je zamietnutá. Priemerná nosnosť drôtov je vyššia ako je menovitá hodnota nosnosti. **Rozdelenie nemôže byť považované za normálne** Vypočítané koeficienty zošikmenia $-0,82$ a špicatosti $-0,08$ vypovedajú o asymetrii nameraných hodnôt. Pri hodnotení normality podľa asymetrie je záver zamietnutie nulovej hypotézy o zhode s normálnym rozdelením. Nulová hypotéza, na základe rozdelenia drôtov podľa nosnosti lano A a lano B pochádzajú z toho istého základného súboru je zamietnutá.

Pre 180 drôtov druhej a tretej vrstvy (6 prameňov po 12 drôtov + 6 prameňov po 18 drôtov) je menovitá hodnota nosnosti drôtov 8688,46 N. Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 2,5 mm podľa nosnosti drôtov pre obidve laná je zobrazené na Obr. 6.



Obr. 6 Rozdelenie početností výskytu drôtov menovitého priemeru 2,5 mm podľa nosnosti a krabicový graf

Z tvaru grafu na Obr. 6 pre **lano A** vyplýva, že **rozdelenie nemôže byť považované za normálne**. Z grafu je zrejmé, že rozdelenie má dva vrcholy, hodnoty je možné odhadnúť na 8920 N a

9940 N. Všetky drôty mali nosnosť vyššiu, ako menovitá hodnota nosnosti. Stredná hodnota nosnosti je 9475 N, odhad strednej hodnoty základného súboru drôtov na základe vzorky je <9413; 9537>. Hypotéza o zhode hodnoty nosnosti s požadovanou hodnotou je zamietnutá. Skutočná nosnosť drôtov je vyššia ako je predpísaná hodnota. Vypočítané koeficienty zošikmenia -0,25 a špicatosti -1,44 vypovedajú o miernej asymetrii nameraných hodnôt ale väčšej rozptýlenosti od priemeru, čo spôsobujú dva vrcholy histogramu.

Z tvaru grafu na Obr. 6 pre **lano B** vyplýva, že **rozdelenie nemôže byť považované za normálne**. Z grafu je zrejmé, že rozdelenie má dva vrcholy, hodnoty je možné odhadnúť na 8825 N a 9575 N. Všetky drôty mali nosnosť vyššiu, ako menovitá hodnota nosnosti. Stredná hodnota nosnosti je 9364 N, odhad strednej hodnoty základného súboru drôtov na základe vzorky je <8750 N; 10450 N>. Hypotéza o zhode hodnoty nosnosti s požadovanou hodnotou je zamietnutá. Skutočná nosnosť drôtov je vyššia ako je predpísaná hodnota. Vypočítané koeficienty zošikmenia -0,35 a špicatosti -1,61 vypovedajú o miernej asymetrii nameraných hodnôt a väčšej rozptýlenosti od priemeru, čo spôsobujú dva vrcholy histogramu. Nulová hypotéza, na základe rozdelenia drôtov podľa nosnosti lano A a lano B pochádzajú z toho istého základného súboru je zamietnutá.

5. Záver

Porovnanie jednotlivých štatistických veličín pre obe laná nám potvrdzuje, že sledované veličiny vlastností drôtov i od toho istého výrobcu majú rôzne hodnoty. Pritom nie je možné urobiť jednoznačný uzáver, že ich homogenita je lepšia u lana A alebo u lana B, u niektorej veličiny je vyššia homogenita u lana A, u ďalšej u lana B. V niektorom prípade, napr. rozdelenie početnosti ohybov drôtov o priemere 1,90 mm je rozdiel medzi porovnávanými lanami ťažko vysvetliteľný a lano A má veľmi vysokú homogenitu počtu ohybov. Pritom toto lano má menší počet drôtov menovitého priemeru 1,90 mm v porovnaní s lanom B. Podobne by bolo možné porovnávať ďalšie závislosti medzi hodnotenými a sledovanými štatistickými veličinami. Hoci obe laná vyhovelí požiadavkám normy STN 02 4301 [8], štatistické veličiny nám veľmi dobre poukážu na rozdiel v ich celkovej kvalite [5].

Článok je súčasťou riešenia grantového projektu VEGA 1/0864/10 s názvom "Návrh modelu integrovaného dopravného systému nerastných surovín riadeného informačným systémom s implementáciou zelenej logistiky", VEGA 1/0095/10 "Výskum podmienok degradácie a pokles životnosti dopravníkových pásov potrubných dopravníkov s použitím progresívnych matematických a simulačných metód pre zvýšenie spoľahlivosti" a APVV Projekt SK-SRB-0034-09 s názvom "Návrh logistického modelu ťažobného podniku s aplikáciou princípov dopravnej a reverznej logistiky".

Literatúra:

- [1] Boroška, J., Hulín, J., Lesňák, O.: *Oceľové laná. Alfa Bratislava, 1982. 480 s.*
- [2] Bindzár, P., Boroška, J.: Štatistické hodnotenie mechanických vlastností oceľových lán s rôznymi priemermi drôtov vo vrstvách. In : *Výskum, výroba a použitie oceľových lán, XII. medzinárodná konferencia, Podbanské 2002..*
- [3] Fedorko, Gabriel - Fabian, Michal - Stanová, Eva: Lano v CAD - modelovanie na základe matematických vzťahov. In: *IT CAD. vol. 16, no. 3 (2006), p. 40-42. ISSN 1802-0011.*
- [4] Hrabovský, L.: Oceľová drátěná lana – Bezpečnosť - dle ČSN EN 12385. *XIII. medzinárodná konferencia „Výskum, výroba a použitie oceľových lán“. Podbanské – Vysoké Tatry, 24. - 26.5.2004, Transport Logistika, ISSN 1541-107X, str.147-150.*
- [5] Lišková, J. - Tittel, V. - Zelenay, M.: Effect kinds wires rod on mechanical properties of cold drawn wires. In: *International Doctoral Seminar 2008 Proceedings. Smolenice, May 18-20, 2008. Trnava: AlumniPress, 2008. s. 177-182. ISBN 978-80-8096-058-2.*
- [6] Molnár, V., Boroška, J., Kučera, S.: Hodnotenie kvality oceľových lán koeficientom nerovnomernosti pevnosti drôtov. In. : *Doprava a logistika, mimoriadne číslo 5/2008, s. 120-124.*
- [7] NIST/SEMATECH *e-Handbook of Statistical Methods*, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, 6.6.2010.
- [8] STN 02 4362 Oceľové laná šesťpramenné s trojbokými prameňmi s 234 drôtmami.
- [9] STN 02 4301 Oceľové laná. Technické dodacie predpisy.
- [10] Tittel, V.: *Technológia ťahania drôtu. 1. vyd. Trnava: AlumniPress, 2009. 83 s. E-monografia. Dostupné na internete: <<http://www.mtf.stuba.sk>> ISBN 978-80-8096-087-2.*

Recenzia/Review: Ing. Stanislav Kropuch, PhD.