



## NON-EVEN WEIGHTING OF THE WIRES OF STEEL ROPES AND ITS REASONS

### NEROVNOMERNÉ ZAŤAŽENIE DRÔTOV OCEĽOVÝCH LÁN A JEHO PRÍČINY

Ján BOROŠKA, Daniela MARASOVÁ,

Faculty of Mining, Ecology, Process Control, and Geotechnologies (F BERG),  
Technical University (TU) of Košice, Slovakia

**Abstract:** Steel ropes from the point of view of quality have to fulfil the requirements of STN 024301 [6] norm. These requirements concern mechanical properties of steel wires which are ascertained by the tensile tests of wires, tests of wires in bending and torsion tests. Here belong also tests of tolerances of wires` and the whole rope`s diameters, the galvanized and liniment quality and other properties.

The fulfilling of these requirements is the basis of judging the using of the steel rope. But many other factors influence the quality of the steel rope. One of the important factors is the homogeneity of observed wires` properties, which can be evaluated by several methods. In the contribution we are aimed at the analysis of the influence of the non-even wires` strength, which is particularly the reasons of permitted tolerances of steel wires` diameters [2].

**Resume:** Oceľové laná z hľadiska kvality musia spĺňať požiadavky normy STN 024301 [6]. Požiadavky sa týkajú mechanických vlastností oceľových drôtov, ktoré sa zisťujú skúškami na ťah, ohyb a kmitanie a tiež tolerancii priemerov drôtov i celého lana, kvality pozinkovania a mazania prípadne i ďalších vlastností. Splnenie týchto požiadaviek je základom posúdenia používania oceľového lana v prevádzke. Na kvalitu oceľového lana vplyvajú ale mnohé ďalšie činitele, jedným z rozhodujúcich je homogenita sledovaných vlastností drôtov, ktoré je možné hodnotiť viacerými metódami. V príspevku sa zameriame na rozbor vplyvu nerovnomernej pevnosti drôtov, ktorý je najmä dôsledkom dovolených tolerancii priemerov oceľových drôtov [2].

#### 1. PARAMETERS OF THE EVALUATED STEEL ROPES

The selection of steel ropes for the evaluation was casual. For the simplification of the calculation was chosen the rope of the classical construction, which has got the same diameter of all wires of the steel rope. Ropes of three different producers having *following basic parameters were compared:*

Construction of rope:	$6(1+6+1)+v$
Number of wires in a rope:	114
Number of wires in a strand:	19
Nominal diameter of rope:	25 mm
Nominal diameter of wires:	1,6 mm
Nominal wires` strength:	1570 Mpa

#### 1. PARAMETRE HODNOTENÝCH OCEĽOVÝCH LÁN

Výber oceľových lán pre hodnotenie bol náhodný, pre zjednodušenie výpočtov bolo vybrané lano klasickej konštrukcie, ktorá má rovnaký priemer všetkých drôtov lana. *Porovnávané boli laná troch rôznych výrobcov, majúce tieto základné parametre:*

Konštrukcia lana:	6 (1+6+1 )+v
Počet drôtov v lane	114
Počet drôtov v prameni:	19
menovitý priemer lana:	25 mm
Menovitý priemer drôtov:	1,6 mm
Menovitá pevnosť drôtov:	1570 Mpa

Nominal wire's cross-section:	2,0106 mm <sup>2</sup>	Menovitý prierez drôtu:	2,0106 mm <sup>2</sup>
Nominal rope's cross-section:	229,17mm <sup>2</sup>	Menovitý prierez lana:	229,17 mm <sup>2</sup>
Nominal carrying capacity of rope:	239,8 kN	menovitá nosnosť lana:	359,80 kN

Wires of the ropes were verified according to *STN 0243 01.1*, their carrying capacity was ascertained and real diameter was measured. The results of the tests are given in *table 1* and they are related to the above mentioned parameters[2].

Drôty lán boli skúšané podľa *STN 024301.1*, zisťovaná bola ich nosnosť a meraný skutočný priemer. V tabuľke číslo 1 sú uvedené výsledky skúšok, týkajúce sa najmä vyššie uvádzaných parametrov [2].

Table 1 Selected values of the tests of wires of the steel ropes from different producers

Tabuľka 1 Vybrané hodnoty skúšok drôtov ocelových lán rôznych výrobcov

Parameter	Rope		
	1	2	3
Including carrying capacity	395,02kN	384,96 kN	385,055 kN
Average wires' carrying capacity	3465 N	3377 N	3378 N
Nominal wires' carrying capacity	3156 N	3156 N	3156 N
Average wires' strength	1723,7 MPa	16789,8 MPa	1680,2 MPa
Number of wires with diameter:			
1,58 mm	9 ( 7,9 % )	-	12 (10,5 %)
1,59 mm	36 (31,6 %)	7 (6,1 %)	9 (7,9 %)
1,60 mm	37 (32,5 %)	85 (74,6 %)	78 (68,4%)
1,61 mm	20 (17,5 %)	17 (14,9 %)	14 (12,3%)
1,62 mm	12 (10,5%)	5 (4,4%)	1 ( 0,9%)
Cross-section of wires with diameter:			
1,58	17,6463 mm <sup>2</sup>	-	23,5284 mm <sup>2</sup>
1,59	71,4816 mm <sup>2</sup>	13,8992 mm <sup>2</sup>	17,8704 mm <sup>2</sup>
1,60	74,3922 mm <sup>2</sup>	170,901	156,8268 mm <sup>2</sup>
1,61	40,716 mm <sup>2</sup>	34,6086 mm <sup>2</sup>	28,5012 mm <sup>2</sup>
1,62	25,9344 mm <sup>2</sup>	16,306 mm <sup>2</sup>	2,0612 mm <sup>2</sup>
Real cross-section of rope	230,17 mm <sup>2</sup>	229,71 mm <sup>2</sup>	228,788 mm <sup>2</sup>
% of nominal cross-section	100,44 %	100,24 %	99,83 %
% of wires of nominal cross-section	32,46%	74,56 %	68,42 %
Carrying capacity of rope from real cross-section	361,40 kN	360,60 kN	359,20 mm <sup>2</sup>
Average carrying capacity of wires from real cross-section	3170,2 N	3163,6 N	3150,9 N

## 2. THE CARRYING CAPACITY AND THE WIRES' STRENGTH OF THE STEEL ROPE

From *table 1* it can be ascertained that the wires' diameter of the evaluated ropes ranges from 1,58 to 1,62 mm. This result is within admissible tolerance  $\pm 0,02$  mm [ 6 ], so all wires fulfil the requirements of the norm. In *table 1* there is given the average carrying capacity of all wires of the steel rope. *Table 2* [2] contains the average wires' carrying capacity according to the real diameter. It also introduces the percentage share of this carrying capacity with taking into account the average wires' carrying capacity of the whole rope.

## 2. NOSNOSŤ A PEVNOSŤ DRÔTOV LANA

Z tabuľky 1 je možné zistiť, že priemer drôtov hodnotených lán sa pohybuje od 1,58 do 1,62 mm. Je to v súlade s prípustnou toleranciou  $\pm 0,02$  mm [6], čiže všetky drôty vyhoveli požiadavkám normy. V tabuľke 1 je uvedená priemerná nosnosť všetkých drôtov lana, priemernú nosnosť drôtov podľa skutočného priemeru prináša tabuľka číslo 2 [2]. Okrem nej tabuľka uvádza tiež percentuálny podiel tejto nosnosti vzhľadom na priemernú nosnosť drôtov celého lana.



Table 2 The average carrying capacity of wires of different diameters

Tabuľka 2. Priemerná nosnosť drôtov rôznych priemerov

Wire's diameter [mm]	Rope					
	1		2		3	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
1,58	3165	91,3	-	-	3260	96,5
1,59	3340	96,4	3371	99,8	3348	99,1
1,60	3525	101,7	3373	99,9	3382	100,1
1,61	3589	103,6	3447	102,1	3475	102,9
1,62	3671	105,9	3465	102,6	3488	103,3

The wires' strength is closely connected with the carrying capacity, the strength is reached as the portion of carrying capacity and a cross-section of wire. The size of real strength of individual wires' diameters of evaluated ropes and its percentage share to nominal strength 1570 MPa are given in Table 3 [2].

S nosnosťou úzko súvisí pevnosť drôtov, ktorú získame ako podiel nosnosti a prierezu drôtu. Veľkosť skutočnej pevnosti jednotlivých priemerov drôtov hodnotených lán a jej percentuálny podiel k menovitej pevnosti 1570 MPa sú uvedené v tabuľke číslo 3 [2].

Table 3 The strength of wires of different diameters

Tabuľka 3. Pevnosť drôtov rôznych priemerov

Wire's diameter [mm]	Rope					
	1		2		3	
	[MPa]	%	[MPa]	%	[MPa]	%
1,58	1614,2	102,8	-	-	1662,7	105,9
1,59	1682,1	107,1	1697,7	108,1	1686,1	107,4
1,60	1753,2	111,7	1677,6	106,8	1682,1	107,1
1,61	1763,9	112,3	1693,2	107,8	1706,9	108,7
1,62	1781,0	113,4	1681,1	107,1	1692,2	107,8
<i>Average value of rope</i>	1723,7	109,7	1679,8	107,0	1680,2	107,0

From the point of view of carrying capacity in table 2 it can be stated that the carrying capacity is higher with the increasing diameter of wires. The second side of problem is the difference between the minimal and maximal value of carrying capacity, which is manifested also in evaluation of the wires' strength in Table 3. The ropes with lower dispersion of these values have got more homogeneous wires. It is very important property [3] for the rope's quality and mainly for its service life. The rope of the producer number 2 (14,6 and 10,6%) has got from the evaluated ropes the lowest dispersion of carrying capacity and strength. The real strength of wires except the rope number 1 is not directly proportional to the wires' diameter.

Z hľadiska nosnosti v tabuľke číslo 2 je možné konštatovať, že s rastúcim priemerom drôtov ich nosnosť stúpa. Druhou stránkou problému je rozdiel medzi minimálnou a maximálnou hodnotou nosnosti, ktorý sa prejavuje tiež pri hodnotení pevnosti drôtov v tabuľke číslo 3. Laná s menším rozptylom týchto hodnôt majú drôty homogenejšie, čo je pre kvalitu lana a najmä jeho životnosť veľmi významná vlastnosť [3]. Z hodnotených lán má najnižší rozptyl nosnosti a pevnosti lano výrobcu číslo 2 (14,6 a 10,6%). Skutočná pevnosť drôtov pritom až na lano číslo 1 nie je priemerom drôtov priamo úmerná.

### 3. THE WEIGHTING OF THE STEEL ROPE AND ITS WIRES

Steel ropes while using are weighted by the intensity, which size is limited by the required safety of rope. Its is dependent on the using of rope and it is determined by adequate norms or safety regulations [1]. The intensity having an effect on the rope is distributed on the individual wires. Their size is calculated as follows [1,2]:

### 3. ZAŤAŽENIE OCELOVÉHO LANÁ A JEHO DRÔTOV

Ocelové laná v prevádzke sú zaťažované silou, ktorej veľkosť je obmedzená požadovanou bezpečnosťou lana. bezpečnosť lana závisí od použitia lana a je daná príslušnými normami alebo bezpečnostnými predpismi [1]. Sila pôsobiaca na lano sa rozkladá na jednotlivé drôty, ich veľkosť vypočítame nasledovne [1,2]:

**Weighting intensity of rope:****Zat'azovacia sila lana**

$$F = \frac{N_m}{b}, [N] \quad (1)$$

$$F = \frac{N_m}{b}, [N] \quad (1)$$

**Weighting of 1 wire of rope:****Zat'azenie na 1 drôt lana**

$$F_1 = \frac{F}{n}, [N] \quad (2)$$

$$F_1 = \frac{F}{n}, [N] \quad (2)$$

The tension, which origins from this weighting can be calculated from the weighting of 1 wire:

Zo zaťaženia jedného drôtu môžeme následne vypočítať napätie, ktoré v ňom od tohto zaťaženia vznikne:

$$R = \frac{F_1}{S}, [N.mm^{-2}] \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{F_1}{S}, [N.mm^{-2}] \quad (3)$$

Where:

V týchto vzťahoch jednotlivé označenia predstavujú:

$N_m$  - nominal carrying capacity of steel rope in N,  
 $b$  - safety of steel rope,  
 $n$  - number of wires in the steel rope,  
 $S$  - cross-section of wire in  $mm^2$ .

$N_m$  - menovitá nosnosť ocelového lana v N,  
 $b$  - bezpečnosť ocelového lana,  
 $n$  - počet drôtov v ocelovom lane.  
 $S$  - prierez drôtu v  $mm^2$ .

The originated tension in the wires will be different because the wires of rope haven't got the same diameter and also the cross-section. It is indicated by the results of calculations for the evaluated ropes, which has been worked out for the size of safety 4 a 6. They are given in table 4.

Keďže drôty lana nemajú rovnaký priemer a tým i prierez, bude tiež vzniklé napätie v drôtoch rôzne. Ukazujú to výsledky výpočtov pre hodnotené laná, ktoré boli vykonané pre veľkosť bezpečnosti 4 a 6 a sú v tabuľke číslo 4.

Table 4 The tension in the wires of steel rope at its different safety

Tabuľka 4. Napätie v drôtoch ocelového lana pri jeho rôznej bezpečnosti

Parameter	b	Rope			
		0	1	2	3
Carrying capacity of rope in kN	4 6	359,800	395,020	384,960	385,055
Weighting of rope in kN	4 6	89,95 59,96	98,75 65,84	96,24 64,16	96,26 64,18
Weighting of wire in N	4 6	789,04 525,96	866,27 577,54	844,21 562,81	844,42 562,88
Average tension in $N.mm^{-2}$	4 6	392,50 261,59	429,03 285,95	418,96 279,31	420,74 280,51
Tension in wires in $N.mm^{-2}$ with diameter:	4				
1,58		402,43	441,82	-	430,67
1,59		397,38	436,28	425,17	425,27
1,60		392,50	430,85	419,88	419,98
1,61		387,58	425,51	414,68	414,78
1,62		382,81	420,27	409,57	409,67
Tension in wires in $N.mm^{-2}$ with diameter:	6				
1,58		268,25	294,56	-	287,13
1,59		264,89	290,86	283,44	283,53
1,60		261,59	287,25	279,92	280,00
1,61		258,35	283,69	276,46	276,54
1,62		255,17	280,20	273,05	273,13

0 - The rope with parameters according to STN 024322



In the following *table 5* the tension in the wires is introduced in the percentages. The tension average for individual ropes ( $R_1$ ) and the tension corresponding to the diameter of wires 1, 60 mm ( $R_2$ ) of the rope with the parameters according to STN 024322 rope 0 were considered to be the basis.

V nasledujúcej tabuľke číslo 5 je napätie v drôtoch uvádzané v percentách, pričom ako základ bolo uvažované napätie priemerné pre jednotlivé laná ( $R_1$ ) a napätie zodpovedajúce priemeru drôtov 1,60 mm ( $R_2$ ) lana s parametrami podľa STN 024322 lano 0).

Table 5 Percentage statement of the tension in the wires of the rope  
Tabuľka 5. Percentuálne vyjadrenie napätia v drôtoch lana

Diameter of of wire (mm)	b	Rope							
		0		1		2		3	
		$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$
1,58	4	102,5	102,5	103,0	112,6	-	-	102,4	109,7
	6	102,5	102,5	103,0	112,6	-	-	102,4	109,8
1,59	4	101,2	101,2	101,7	111,2	101,5	108,3	101,1	108,3
	6	101,3	101,3	101,7	111,2	101,5	108,3	101,1	108,4
1,60	4	100,0	100,0	100,4	109,8	100,21	107,0	99,8	107,0
	6	100,0	100,0	100,4	109,8	00,2	107,0	99,8	107,0
1,61	4	98,7	98,7	99,2	108,4	99,0	105,6	98,6	105,6
	6	98,8	98,8	99,2	108,4	99,0	105,7	98,6	105,6
1,62	4	97,5	97,5	97,9	107,1	97,7	104,3	97,4	104,4
	6	97,5	97,5	97,9	107,1	97,7	104,4	97,4	104,6

From the parameters in the Table number 5 can be seen, that with the taking into account the adequate tension in the wires of judging ropes the percentage values of the real tensions are at the approximately same level in the case of the wires of the same diameter.

The tension decreases with the increasing diameter of wires and its difference ranges in 4-5%. On the contrary the tension  $R_2$  in the dependence on the diameter of wires has got the tendencies of the increasing of the diameter. Judging the tensions among the same diameters of wires of the evaluated ropes, they are different, but comparing them with the tension of the rope with the parameters according to STN they are about 7-10 % higher.

#### 4. CONCLUSION

From the carried out analysis of the results of the tests concentrated on the mechanical properties of the wires of steel ropes from different producers it can be stated:

- all producers respect the allowed tolerance of the wires' diameter,
- number of wires of nominal diameter 1,6 mm is at all producers the highest,
- at the producers 2 and 3 the wires of the nominal diameter show the major number, at the producer 1 the theory only 1/3 of all wires of the rope,
- the carrying capacity of the wires of the rope is directly proportional to their real diameter,

Z údajov v tabuľke číslo 5 je vidieť, že vzhľadom na primerané napätie v drôtoch posudzovaných lán sú percentuálne hodnoty skutočných napätí na približne rovnakej úrovni, v prípade drôtov rovnakého priemeru.

So zväčšujúcim sa priemerom drôtov napätie klesá a jeho rozdiel sa pohybuje v rozmedzí 4-5 % naproti tomu napätie  $R_2$  má v závislosti na priemere drôtov opäť tendencie s rastom priemeru. pri posudzovaní napätí medzi rovnakými priermi drôtov hodnotených lán sú tieto rôzne, ale oproti napätiu lana s parametrami lana podľa STN o 7-10 % vyššie.

#### 4. ZÁVER

Z vykonaného rozboru výsledkov skúšok mechanických vlastností drôtov oceľových lán rôznych výrobcov je možné konštatovať:

- všetci výrobcovia dodržali povolenú toleranciu priemeru drôtov,
- počet drôtov menovitého priemeru 1,6 mm je u všetkých výrobcov najväčší,
- u výrobcov 2 a 3 predstavujú drôty menovitého priemeru väčšinový počet, u výrobcu 1 teória len 1/3 všetkých drôtov lana,
- nosnosť drôtov lana je priamo úmerná ich skutočnému priemeru,

- wires` strenght of the evaluated ropes comparing with the nominal strength is at all diameters higher, but it is not dependent on the real diameter,
  - the weighting of the rope showing at all ropes the same size of safety, the originated tension is not directly proportional to the real diameter of the wires of the rope,
  - the main reason of the different tension in the wires of the rope is their different diameter,
  - the carrying capacity is the inferior factor influencing the size of the originated tensions,
  - from the point of view of homogeneity of the wires` strength it is possible to evaluate positively the ropes, having the higher portion of wires of the same real diameter.
- pevnosť drôtov hodnotených lán v porovnaní s menovitou pevnosťou je u všetkých priemerov vyššia, nezávisí ale od skutočného priemeru,
- pri zaťažení lana predstavujúcom u všetkých lán rovnakú veľkosť bezpečnosti vznikajúce napätie je nepriamo úmerná skutočnému priemeru drôtov lana,
  - hlavnou príčinou rôzneho napätia v drôtoch lana je ich rôzny priemer, nosnosť drôtov je druhoradým činiteľom ovplyvňujúcim veľkosť vznikajúcich napätí.
  - z hľadiska homogenity pevnosti drôtov je možné pozitívne hodnotiť laná, majúce väčší podiel drôtov rovnakého skutočného priemeru.

Homogeneity of the steel ropes` properties is the matter of their producer, who has got the opportunity to choose the wires in the way, that the deviations of size, strength and the others should be minimal. In this tendency the producers have got large sizes and this fact is confirmed by the evaluated ropes, too. Exactly the homogeneous properties are the first-rate assumption on the good rope`s quality and consequently the acquisition of its good service life.

*The contribution was written during the solving of the grant project number 1/6247/99 " Integrated systems of directing of the steel ropes` quality by mathematical and experimental methods and the suggestion of the criteria for their postponing with taking into account the construction and the way of tiring while using them."*

Homogenita vlastností oceľových lán je vecou ich výrobcu, ktorý má možnosť vybrať drôty tak, aby rozmerové pevnostné a iné odchýlky parametrov boli minimálne. V tomto smere majú výrobcovia veľké rozmery a tento poznatok nám potvrdzujú i hodnotené laná. Práve homogénne vlastnosti sú prvoradým predpokladom dobrej kvality lana a následne dosiahnutia jeho dobrej životnosti.

*Článok vznikol v rámci riešenia grantového projektu 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".*

#### REFERENCES / LITERATÚRA

- [1] *Boroška, J., Hulín, J., Lesňák, O.:* Steel Wire Ropes, Alfa Bratislava 1982, 479 pp.(Original in Slovak)
- [2] *Boroška, J.:* The Influence of the Non-even Strength of Wires of Steel Rope to Their Tiring. In: LOADO 2001, Department of Mechanization, Transport, and Deep Hole Drilling
- [3] *Floreková, L., Boroška, J., Bednárová, D., Marasová, D.:* The Analysis of the Tests` Results of the Wires` Mechanical Properties. In: Research, Production and Usage of Steel Wire ropes 2. Publishing house Štoffek Košice, 1998, pp. 100-105.
- [4] *Marasová, D., Maras, M., Badran, J.:* Obsrevation of the Coefficient of the Non-eveness of the Steel Wire Ropes` Strength in the Course of the Rope`s Work. In: Research, Production and Usage of Steel Wire Ropes 1. Publishing house Štoffek Košice, 1998, pp. 144-147.
- [5] *Šaderová, J.:* The Loading of Steel Wire Hoisting Ropes and the Inpact Outhier Service Life. Wire Industry, 1997, pp. 519-521.
- [6] *STN 024301 Steel Wire Ropes.* Technical Additional Regulations.