

Hodnotenie kvality ocelových lán z hľadiska ich mechanických vlastností

Ján Boroška¹, Jozef Krešák¹ a Pavel Peterka¹

Estimation of quality for steel wire ropes according to their mechanical properties

Life and work dependability of steel wire ropes depend also on their quality. Test results of the steel wire ropes for pull, bend and torque are used for determination of their work capacity by safety factors and standards. To estimate the quality of steel wire ropes a factor of unequal pull steel wires, which we evaluated for sixty nine operating steel wire ropes made in various countries, can be calculated.

The tests revealed that producers of steel wire ropes use for their products steel wires with unequal properties, so that results of the calculation is more disperse especially for bend and torque. Our results this type of steel wire ropes to have no guarantee of long life in comparison with present standards.

Key words: tests, mechanical properties, steel wire ropes.

Úvod

Ocelové laná používané v ľubovoľnom priemyselnom odbore a pre rôzne účely musia vyhovovať požiadavkám noriem a predpisov. V Slovenskej republike sú tieto požiadavky dané normou STN 024301 (STN, 1997), ktorá predpisuje skúšky a kontroly, ktorým musia byť drôty lana i lano ako celok podrobené. Skúškami a kontrolou sa zisťuje, či vyhovuje povrch, tvar, rozmery, mechanické vlastnosti, mazanie i ďalšie ukazovatele ustanoveniam noriem. Pre mechanické a technologické vlastnosti drôtov platia príslušné tabuľky vyššie uvedenej normy. Skúšky a kontrolu vykonáva výrobca lana, ktorý jeho kvalitu garantuje hutným atestom. Overenie správnosti údajov hutného atestu potvrdzujú nezávislé skúšobne, vydávajúce protokoly o skúške lana. Skúšky overujúce kvalitu lana sa vykonávajú na vzorkách jednotlivých drôtov, alebo sa skúša lano ako celok. Kontrola kvality drôtov lana predstavuje nasledujúce činnosti:

- kontrola priemeru,
- skúška pevnosti v ťahu,
- skúška odolnosti pri striedavom ohybe,
- skúška odolnosti v krútení,
- kvalita pozinkovania u pozinkovaných drôtov.

Laná vcelku sú skúšané ťahom, čím sa získavajú údaje o skutočnej nosnosti ocelového lana. Kvalitu ocelového lana je možné hodnotiť i na základe ďalších kritérií (Boroška et al., 1982), vychádzajúcich ale z výsledkov kontroly a skúšok jeho ocelových drôtov (STN 024301).

Pre používateľa ocelového lana je okrem jeho nosnosti, zabezpečujúcej dosiahnutie predpísanej bezpečnosti, veľmi dôležitým kritériom jeho životnosť, ovplyvňujúca ekonomickú efektívnosť zariadenia, na ktorom je lano používané. Okrem výberu vhodnej konštrukcie ocelového lana, ďalšie vlastnosti lana používateľ už ovplyvniť nemôže, pretože tieto sú záležitosťou výrobcu. Jedná sa najmä o kvalitu materiálu, z ktorého je ocelové lano vyrobené- teda o kvalitu ocelových drôtov. Pri jej posudzovaní sú využiteľné viaceré metódy.

Pri riešení grantového projektu, týkajúceho sa životnosti ocelových lán, bola kvalita lán hodnotená na základe mechanických vlastností drôtov, získaných skúškami na ťah, ohyb a krut, ktoré boli vykonané podľa normy STN 024301. Skúšky boli vyhodnotené výpočtom koeficientu nerovnomernosti pevnosti (Žitkov et al., 1953) a výpočtom niektorých ďalších ukazovateľov (Boroška et al., 1996 b). V oboch prípadoch sa vychádzalo z predpokladu a poznatku, že kvalitnejšie je to ocelové lano, ktorého mechanické vlastnosti jednotlivých drôtov majú minimálne rozdiely, lano je teda vyrobené z homogénnejšieho materiálu.

¹ Katedra mechanizácie, dopravy a vrtania F BERG Technickej univerzity, 043 84 Košice, Park Komenského 14
(Recenzovali: Prof.Ing. Juraj Sinaj, CSc. a Prof.Ing. Horst Gondek, DrSc. Revidovaná verzia doručená 23.4.1997)

Koeficient nerovnomernosti pevnosti oceľových drôtov

Výpočet koeficientu nerovnomernosti pevnosti oceľových drôtov zaviedli Žitkov a Pospechov (1953). Pre jeho výpočet sú potrebné výsledky skúšok drôtov na ťah. Veľkosť koeficientu K_{σ} bola určená podľa vzťahu:

$$K_{\sigma} = \frac{2(P_{\text{str}} - P_{\text{min}}) \cdot n_i}{P_{\text{str}} \cdot n} \cdot 100 \quad [\%], \quad (1)$$

v ktorom: P_{str} - aritmetický priemer pevností všetkých drôtov, [MPa],
 P_{min} - aritmetický priemer pevností drôtov, ktorých pevnosť je menšia ako P_{str} , [MPa],
 n - počet všetkých drôtov,
 n_i - počet drôtov s pevnosťou menšou ako P_{str} .

Na základe veľkosti vypočítaného K_{σ} je možné zaradiť oceľové laná do troch kvalitatívnych skupín (Boroška et al., 1996 a):

1. $K_{\sigma} < 2$,
2. $2 < K_{\sigma} < 3$,
3. $K_{\sigma} > 3$.

Laná prvej skupiny sú najkvalitnejšie a majú predpoklady dosiahnuť veľmi dobrú alebo dobrú životnosť. Laná druhej skupiny sú priemerne kvalitné a laná tretej skupiny sú nižšej kvality, môžeme u nich očakávať nízku životnosť.

Z protokolov o skúškach oceľových lán viacerých skúšobní boli vypočítané K_{σ} lán výrobcov Slovenskej republiky, Českej republiky, Maďarska, Ukrajiny, Poľska a Nemecka. Výsledky a zadelenie do kvalitatívnych skupín sú uvedené v tabuľke číslo 1.

Krajina výrobcu	Počet a percento lán v kvalitatívnej skupine						Spolu
	1		2		3		
	Počet	%	Počet	%	Počet	%	
Slovenská republika	13	50,0	10	38,5	3	11,5	26
Česká republika	8	30,8	12	46,1	6	23,1	26
Maďarsko	2	40,0	2	40,0	1	20,0	5
Nemecko	5	100,0	-	-	-	-	5
Poľsko	-	-	1	16,7	5	83,3	6
Ukrajina	-	-	-	-	1	100,0	1
Spolu:	28	40,58	25	36,23	16	23,19	69

Tab. 1. Koeficient nerovnomernosti pevnosti oceľových lán.

Vychádzajúc z údajov v tabuľke 1, je možné konštatovať, že výrobcovia vyrábajú oceľové laná rôznej kvality. Najväčší podiel lán je v 1. kvalitatívnej skupine, čo je pre používateľa pozitívnym poznatkom. Je potrebné ale poukázať i na pomerne vysoký počet lán v 3. kvalitatívnej skupine a prekročenie jej dolnej hranice viac ako o 200 %.

Vzhľadom na malý počet hodnotených lán (okrem Slovenskej a Českej republiky) nie je možné z hľadiska koeficientu nerovnomernosti pevnosti oceľových drôtov tieto konštatovania zovšeobecniť, i keď sú určité náznaky na dobrú kvalitu lán vyrobených v Nemecku a slabšiu kvalitu poľských lán.

Matematicko-štatistické metódy

Druhou možnosťou posúdenia kvality oceľových lán je využitie matematicko-štatistických metód. Z výsledkov skúšok mechanických vlastností drôtov (pevnosť, ohyby, krut) boli vypočítané nasledovné štatistické veličiny (Boroška et al., 1996 a):

σ_{str} - stredná hodnota pevnosti drôtov, [MPa],
 σ_{max} - maximálna pevnosť drôtov, [MPa],

σ_{\min} - minimálna pevnosť drôtov, [MPa],

Δ_{σ} - odchýlka strednej hodnoty pevnosti drôtov od menovitej pevnosti drôtov, [MPa],

$o_{\text{str}}, k_{\text{str}}$ - stredná hodnota počtu ohybov a počtu krutov,

$o_{\text{max}}, k_{\text{max}}$ - maximálny počet ohybov a krutov zistený pri skúške,

$o_{\text{min}}, k_{\text{min}}$ - minimálny počet ohybov a krutov zistený pri skúške.

Δ_o, Δ_k - odchýlka strednej hodnoty ohybov a krutov od minimálnej a maximálnej hodnoty.

Tieto hodnoty boli vypočítané pre každé posudzované lano, pričom laná boli vyrobené podľa rôznych noriem. Základné parametre lán spolu s koeficientom nerovnomernosti pevnosti, ktorý bol pre všetky laná tiež vypočítaný, sú uvedené v tabuľke číslo 2. Výpočty sledovaných veličín boli realizované programom, ktorý bol spracovaný na pracovisku v rámci riešenia grantového výskumného projektu.

P.č.	Priemer lana [mm]	Konštrukcia lana	Menovitá pevnosť [MPa]	Priemer drôtov [mm]	K_{σ} [%]
1.	18,0	GOST 766, 216 dr.	1770	1,11-0,80-0,60-1,0	7,36
2.	31,5	DIN 3064, 216 dr. + 49	1570	2,0-1,46-1,08 1,75-1,30	3,25
3.	40,0	DIN 3064, 216 dr. + 49	1570	2,60-1,88-1,38 2,24-1,64	2,97
4.	40,0	DIN 3064, 216 dr. + 49	1570	2,60-1,88-1,38 2,24-1,64	1,88
5.	40,0	DIN 3064, 216 dr. + 49	1570	2,60-1,88-1,38 2,24-1,64	1,63
6.	40,0	DIN 3064, 216 dr. + 49	1570	2,60-1,88-1,38 2,24-1,64	2,34
7.	25,0	ČSN 024322, 114 dr.	1570	1,60	3,15
8.	25,0	ČSN 024322, 114 dr.	1570	1,60	1,39
9.	25,0	STN 024322, 114 dr.	1570	1,60	1,59
10.	25,0	STN 024322, 114 dr.	1570	1,60	1,99
11.	12,5	STN 024322, 114 dr.	1570	0,78	3,09
12.	22,4	STN 024324, 222 dr.	1570	1,00	1,25
13.	16,0	STN 024324, 222 dr.	1570	0,71	2,94
14.	8,0	STN 024322, 114 dr.	1570	0,50	3,85
15.	24,5	W 18(1+6+6+6), 342 dr.	1770	0,80-1,00-1,10	2,84
16.	22,0	S 6(1+9+9), 114 dr.	1570	2,0-1,80-1,0	6,07
17.	22,0	S 6(1+9+9), 114 dr.	1570	2,0-1,80-1,0	6,92
18.	36,0	1(1+5)+5(1+6)+5(3)+ 10(1+6)+16(1+6), 238 dr.	1770	1,8-1,6-1,3-1,25	3,25
19.	25,0	6(1+6+12), 114 dr.	1570	1,60	4,55
20.	25,0	6(1+6+12), 114 dr.	1570	1,60	4,34

Tab. 2. Parametre hodnotených lán a ich koeficient nerovnomernosti pevnosti.

V tabuľke uvedených 20 lán bolo následne hodnotených, a podľa kvality zaradených z hľadiska rozptylu pevností, odchýlky strednej pevnosti drôtov od menovitej pevnosti a rozptylu ohybov a krutov.

Pre hodnotenie pevnosti boli zavedené 3 kvalitatívne stupne:

1. rozptyl pevností do 15 % - laná veľmi dobrej kvality,
2. rozptyl pevností do 20 % - laná dobrej kvality,
3. rozptyl pevností nad 20 % - laná nižšej kvality.

V hodnotení pod pojmom rozptyl sa rozumie rozdiel maximálnej a minimálnej pevnosti vzhľadom na vypočítanú strednú pevnosť. Vypočítané odchýlky a maximálne i minimálne hodnoty

pevností jednotlivých lán sú uvedené v tabuľke číslo 3 (Boroška et al., 1996 a,b) spolu s odchýlkou od menovitej pevnosti.

Ďalšou časťou hodnotenia kvality oceľových lán boli ich mechanické vlastnosti (krut a ohyb), posudzované na základe výsledkov skúšok podľa STN 024301 a DIN 3051.

V tabuľke číslo 4 sú celkové rozptyly pevností, ohybov a krutov hodnotených lán z tabuľky číslo 1. U lán, ktorých konštrukciu tvoria drôty rôzneho priemeru sú sledované hodnoty uvádzané i podľa jednotlivých priemerov. Rozptyly sú uvažované vzhľadom k strednej hodnote príslušnej mechanickej vlastnosti.

Pri hodnotení rozptylu pevností, ohybov a krutov je vidieť, že len čiastočne zodpovedajú situácii v kvalite lán podľa koeficientu nerovnomernosti. U lán, ktorých konštrukcia je tvorená viacerými priermi drôtov, je celkový rozptyl pevností vyšší, ako rozptyl jednotlivých priemerov. Neukazuje sa žiadna závislosť medzi rozptylmi ohybov a krutov. Zadenie lán a drôtov do kvalitatívnych skupín podľa rozptylu pevnosti je v tabuľke číslo 5.

P.č.	σ [MPa]	$\Delta\sigma$		σ_{max}		σ_{min}	
		MPa	%	MPa	%	MPa	%
1.	1815,00	45,00	2,54	2268,0	124,96	1413,0	77,85
2.	1679,35	109,35	6,96	2038,0	121,36	1596,0	95,04
3.	1731,86	161,86	10,31	1871,0	108,03	1639,0	94,64
4.	1721,00	151,00	9,62	1815,0	105,46	1632,0	94,83
5.	1709,74	139,74	8,90	1833,0	107,21	1625,0	95,04
6.	1713,00	143,00	9,11	1843,0	107,59	1629,0	94,51
7.	1669,00	99,00	6,31	1900,0	113,84	1652,0	98,98
8.	1670,00	100,00	6,37	1721,0	103,05	1522,0	91,13
9.	1732,00	162,00	10,32	2209,0	127,54	1612,0	93,07
10.	1678,50	108,50	6,91	1781,0	106,11	1493,0	88,95
11.	1625,25	55,25	3,52	1783,0	109,71	1454,0	89,46
12.	1683,60	113,60	7,24	1809,0	107,45	1631,0	96,87
13.	1652,73	82,73	5,27	1843,0	111,51	1515,0	91,67
14.	1625,72	55,72	3,55	1837,0	113,00	1327,0	81,62
15.	1890,73	120,73	6,38	2037,0	107,74	1691,0	89,44
16.	1705,04	135,04	7,92	1909,0	111,96	1415,0	82,99
17.	1714,97	144,97	8,45	1961,0	114,35	1430,0	83,38
18.	1833,79	63,79	3,48	1988,0	106,94	1492,0	81,36
19.	1721,38	151,38	9,64	1930,0	122,93	1542,0	98,22
20.	1723,39	153,39	9,77	1940,0	123,57	1531,0	93,51

Tab. 3. Odchýlka a rozptyl pevností drôtov oceľových lán.

P.č.	Lano, drôt	$\Delta\sigma_{celk}$		O_{str}	ΔO_{celk}		k_{str}	Δk_{celk}	
		MPa	%		n	%		n	%
1.	lano	855,0	47,10	-	-	-	-	-	-
	0,80	478,0	26,71	35,50	38	107,04	77,90	35	44,93
	1,00	587,0	31,20	16,40	22	134,15	40,80	22	53,92
	1,10	179,0	10,51	14,16	14	98,87	37,80	10	26,46
2.	lano	442,0	26,32	-	-	-	-	-	-
	1,08	44,0	2,69	32,86	9	27,39	38,43	15	39,03
	1,30	83,0	4,74	20,14	5	24,83	44,86	11	24,52
	1,46	293,0	17,81	18,86	3	15,91	42,64	27	63,32
	1,75	391,0	23,10	20,00	6	30,0	36,14	21	58,11
3.	lano	232,0	13,40	-	-	-	-	-	-
	1,38	194,0	11,51	22,57	3	13,29	41,14	15	36,46
	1,64	33,0	2,00	28,71	7	24,38	32,86	16	48,69
	1,88	90,0	5,25	17,21	3	17,43	33,79	14	37,05
	2,24	51,0	2,81	20,93	9	43,0	33,93	14	41,26

4.	lano	183,0	10,63	-	-	-	-	-	-
	1,38	47,0	2,84	21,71	4	18,42	40,14	9	22,42
	1,64	85,0	5,00	22,86	7	30,62	31,29	8	25,57
	1,88	36,0	2,08	17,43	3	17,21	39,86	17	42,64
	2,24	89,0	5,06	21,57	9	41,72	34,93	19	54,39

Pokračovanie tabuľky č. 4

5.	lano	208,0	12,16	-	-	-	-	-	-
	1,38	101,0	6,02	22,43	2	8,92	41,14	24	58,34
	1,64	81,0	4,79	28,71	7	24,38	32,86	16	48,69
	1,88	72,0	4,21	22,93	6	26,17	36,43	22	60,39
	2,24	147,0	8,46	29,21	11	37,66	34,93	16	45,81
6.	lano	214,0	12,49	-	-	-	-	-	-
	1,38	75,0	4,54	23,71	5	21,09	44,53	14	31,44
	1,64	47,0	2,77	25,0	6	24,0	33,28	8	24,04
	1,88	104,0	6,12	19,36	3	15,49	36,57	16	47,75
	2,24	183,0	10,36	26,86	9	33,51	33,71	14	41,53
7.	lano	248,0	14,60	14,50	6	41,38	43,20	20	46,30
8.	lano	199,0	11,92	14,90	5	33,56	43,00	21	48,84
9.	lano	597,0	34,47	25,40	15	59,06	42,30	17	40,19
10.	lano	288,0	17,16	25,00	12	48,00	40,40	26	64,36
11.	lano	329,0	20,24	26,65	10	37,52	94,74	32	33,90
12.	lano	178,0	10,58	17,04	8	46,95	45,38	21	46,27
13.	lano	328,0	19,84	-	-	-	-	-	-
14.	lano	510,0	31,37	-	-	-	-	-	-
15.	lano	346,0	18,29	-	-	-	-	-	-
	0,80	298,4	16,04	21,50	13	60,46	67,95	20	29,43
	1,00	305,6	16,07	12,72	9	70,75	65,03	15	23,06
	1,10	242,0	12,68	18,67	8	42,85	31,45	10	31,80
16.	lano	494,0	28,97	-	-	-	-	-	-
	1,00	203,5	11,25	14,50	5	34,48	62,13	14	22,53
	1,80	393,0	24,50	14,02	13	92,72	33,96	25	73,62
	2,00	254,7	15,16	12,17	1	8,22	32,33	5	15,46
17.	lano	531,0	30,96	-	-	-	-	-	-
	1,00	241,9	13,20	16,04	7	43,64	66,93	16	23,90
	1,80	1619,1	103,43	14,64	7	47,81	33,15	8	24,13
	2,00	117,8	6,65	12,50	1	8,00	29,0	12	41,38
18.	lano	496,0	27,05	-	-	-	-	-	-
	1,25	114,1	5,91	16,07	5	31,11	37,00	11	29,73
	1,60	94,5	6,19	11,0	3	27,27	40,20	34	84,58
	1,80	369,4	20,12	16,20	11	67,90	31,02	19	61,25
19.	lano	388,0	22,54	18,73	10	53,39	34,15	14	40,99
20.	lano	407,8	23,66	18,25	8	43,83	34,58	13	37,59

Tab. 4. Rozptyly pevností, ohybov a krutov hodnotených oceľových lán.

Kvalitatívna skupina	L a n á		D r ô t y	
	Počet	%	Počet	%
1	7	35,0	27	60,0
2	3	15,0	7	15,6
3	10	50,0	11	24,4
Spolu:	20	100,0	45	100,0

Tab. 5. Rozptyl pevností oceľových lán a drôtov.

Zatiaľ čo laná i drôty 2. kvalitatívnej skupiny majú prakticky rovnaký percentuálny podiel, u drôtov v porovnaní s lanami majú prevahu drôty 1. kvalitatívnej skupiny. Laná 3. kvalitatívnej skupiny majú dvojnásobne väčší percentuálny podiel ako drôty tejto skupiny. To je vysvetliteľné tým, že v lane sa vyskytujú drôty rôznych kvalitatívnych skupín, a tým sa zväčšuje celkový rozptyl pevnosti drôtov lana.

Pre rozptyly ohybov a krutov neboli kvalitatívne stupne určené, nakoľko rozptyly sú veľmi rozdielne a viac ovplyvniteľné výskytom jednej extrémnej hodnoty. Tabuľka číslo 6 prináša počty drôtov členené podľa percentuálnych hraníc.

Údaje v tabuľke potvrdzujú skutočnosť, že kruty citlivejšie posudzujú rovnorodosť materiálu, z ktorého sú drôty vyrobené. Dosahované rozptyly sú ale v oboch prípadoch vysoké.

Percentuálne hranice	O h y b y		K r u t y	
	Počet	%	Počet	%
do 10 %	3	7,14	-	-
10 - 20 %	6	14,28	1	2,38
20 - 30 %	9	21,43	9	21,43
30 - 40 %	7	16,67	8	19,05
40 - 50 %	8	19,05	14	33,33
nad 50 %	9	21,43	10	23,81
Spolu:	42	100,00	42	100,00

Tab. 6. Rozptyl ohybov a krutov oceľových lán.

Záver

Výpočtom koeficientu nerovnomernosti pevnosti drôtov a rozptylov pevnosti, ohybov a krutov bol získaný dobrý prehľad o skutočnom kvalitatívnom stave vyrábaných a používaných oceľových lán. Z výsledkov je možné urobiť nasledovné závery:

- výrobcovia nevenujú dostatočnú pozornosť výberu kvality oceľových drôtov, ktoré v tom istom lane majú veľký rozptyl mechanických vlastností,
- koeficient nerovnomernosti pevnosti oceľových drôtov je vhodným ukazovateľom kvality oceľového lana,
- rozptyly pevnosti oceľových drôtov len čiastočne zodpovedajú rozptylom ohybov a krutov,
- mechanické vlastnosti drôtov nie sú závislé na ich priemere,
- niektoré laná i pri veľkom rozptyle mechanických vlastností majú nízky koeficient nerovnomernosti pevnosti drôtov,
- ten istý výrobca vyrába z hľadiska nášho hodnotenia laná i drôty rôznej kvality.

Je treba ale konštatovať, že všetky hodnotené laná vyhoveli pri skúške drôtov na ťah, ohyb a krut požiadavkám noriem, podľa ktorých boli skúšané. Táto skutočnosť nezaručuje dobrú životnosť oceľového lana, ktoré je ovplyvnené najmä rovnorodosťou mechanických vlastností drôtov oceľových lán, čo bolo už v minulosti overené viacerými výskumnými pracoviskami i priamo v prevádzke (Boroška et al., 1982). V spolupráci s výrobcami oceľových lán bude tejto problematike venovaná pozornosť na našom pracovisku i v budúcnosti.

Literatúra

- Boroška, J., Hulín, J. a Lesňák, O. : Oceľové laná. *Alfa Bratislava* 1982, s. 479.
- Boroška, J. a Marasová, D.: Porovnanie mechanických vlastností drôtov oceľových lán rôznych výrobcov. In: *Výskum, výroba a použitie oceľových lán*. Vydavateľstvo Štrotfek, Vysoké Tatry 1996 a, s. 51-58.
- Boroška, J., Štrotfek, E. & Marasová, D.: Mechanical Properties of Wires of Steel Ropes from Various producers. *Metalurgija* 35, 1996 b, č.4, s. 261-266.

Žitkov ,E.I. & Pospuchov, F.P.: Stalnyje konaty dlja podzemnotransportnych mašin. Metalurgizdet Moskva, 1953.
STN 024301: Ocel'ové laná. *Technické dodacie predpisy.*