

# NOVÉ KONŠTRUKCIE OCEĽOVÝCH LÁN PRE PRIEMYSEL

Ján Boroška<sup>1</sup>, Ján Pinka<sup>1</sup> a Jana Šaderová<sup>1</sup>

## NEW CONSTRUCTIONS OF WIRE ROPES FOR THE INDUSTRY

The wire ropes are used in different industrial fields. Their construction depends on the type of equipment and its purpose. Most frequently we meet with ropes at different transport and hoisting equipments and very frequently in the civil industry. For users characteristics are important which must meet requirements of the individual regulations and standards of the selection of wire ropes for the concrete equipment. The most important is the factor of safety being safeguarded by the corresponding bearing capacity of the rope. The service life of rope is interesting for the user, too, because of having an influence on the economy of the equipment on which the rope is working.

These problems are solved by the grant project at our department. We are aimed at questions of the optimization of construction of wire rope with regard to their geometric construction and service life. Respectively on the basis of elaborated computer software eightstrand ropes of parallel construction were designed and produced at the Drótoňa Hlohovec. The results of the fatigue tests confirmed their better qualitative properties, longer service life and economy advantages for users, too.

Their using is possible and suitable on the new hoisting equipment on the surface, in the underground and in the hole drilling industry. By the application of the computer technique is also possible to improve the parameters of six-strands' construction of rope, the classic and parallel constructions, especially their bearing capacity. This fact follows from the knowledge that for the production of rope we use calculated diameters of wires, which secure better utilization of the metal cross-section of the wire ropes.

**Key words:** wire rope, construction of rope, geometric construction, strand cross-section, geometry of rope and strand, parallel and classic ropes, optimization of construction of wire rope, service life/fatigue test, loading cycles, bearing capacity, transport and hoisting equipments.

## 1. Úvod

Na katedre riešime od roku 1994 grantový projekt pod názvom :“Sledovanie životnosti oceľových lán vo výrobných priemyselných odvetviach na dopravných a zdvíhacích zariadeniach a ich typizácia s cieľom technického zlepšenia a ekonomického zefektívnenia ich prevádzky.“

Jedným z cieľov tohoto projektu je optimalizácia konštrukcie oceľového lana nielen s ohľadom na jeho parametre, ale tiež so zameraním sa na zlepšenie jeho úžitkových vlastností. Hlavnú pozornosť venujeme lanám zdvíhacích zariadení, ktoré sa vyskytujú prakticky vo všetkých priemyselných odvetviach.

Vychádzajúc zo súčasných poznatkov o oceľových lanách u nás a ich porovnaním so súčasným stavom v zahraničí, sme sa zamerali najmä na dva problémy :

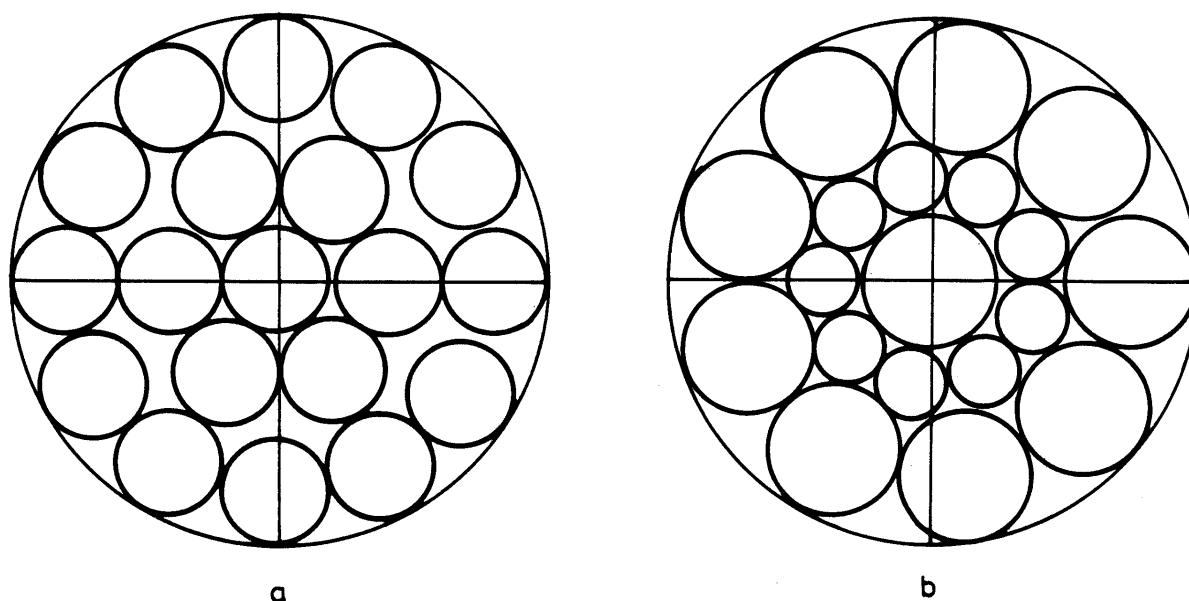
- návrh, výrobu a odskúšanie 8-pramenných oceľových lán súběžnej konštrukcie SEAL,
- optimalizáciu konštrukcií oceľových lán klasických a súběžných konštrukcií z hľadiska zvýšenia kovového prierezu oceľového lana a tým i jeho nosnosti.

S postupom riešenia, ktoré vychádzalo z teoretického rozboru a spracovania počítačových programov s následnou praktickou realizáciou výroby navrhutej konštrukcie oceľového lana oboznámime čitateľov časopisu v nasledujúcich častiach príspevku.

## 2. Postup navrhovania konštrukcie oceľového lana

V Slovenskej republike sa najčastejšie stretávame so 6-pramennými lanami klasickej acie a súběžnej konštrukcie. Sú vyrobené podľa príslušných noriem. My sme vybrali lano klasickej so stavbou prameňa 1+6+12 [ 9 ] a lano súběžné SEAL so stavbou prameňa 1+9+9 [ 10 ]. Ich prierezy sú na obrázku číslo 1.

<sup>1</sup> Katedra mechanizácie, dopravy a vŕtania F BERG Technickej univerzity, 043 84 Košice, Park Komenského 14.



Obr. 1. Prierez prameňmi oceľových lán  
a) klasické lano s prameňom 1+6+12,

b) súbežné lano SEAL s prameňom 1+9+9.

Vychádzajúc z poznatkov, že konštrukcia lana v značnej miere ovplyvňuje vyplnenie plochy opísanej kružnice (kovový prierez lana), a jej veľkosť závisí od geometrickej stavby lana i prameňov, počtu a usporiadania drôtov v jednotlivých vrstvách prameňa, ako aj priemeru drôtov použitých na výrobu lana (tabuľka 1), pristúpili sme k riešeniu optimalizácie kovového prierezu oceľového lana. Jej

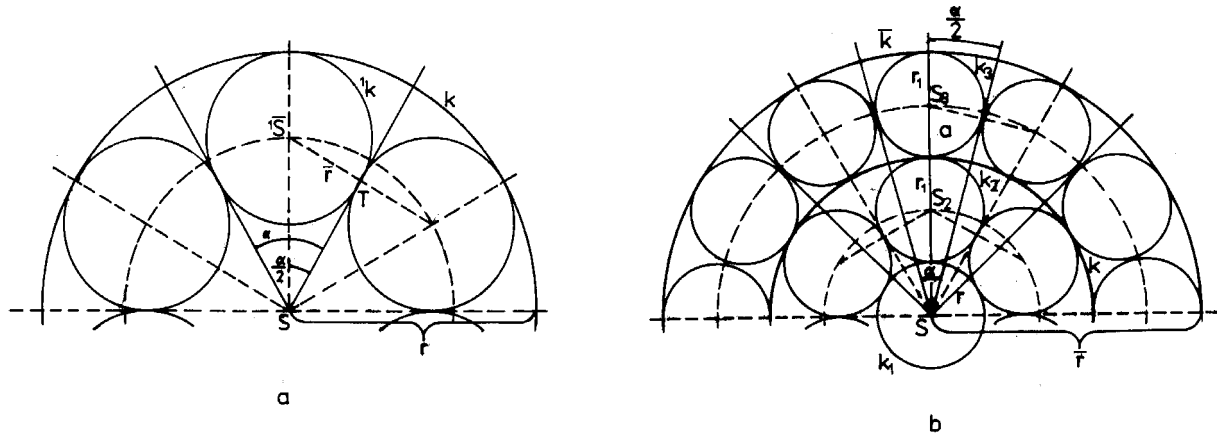
Konštrukcia lana	d /mm/	$S_N$ /mm <sup>2</sup>	$S_K$ /mm <sup>2</sup> /	$V_P$ /%/	Poznámka
STN 024 322	30	323,2	706,85	45,72	1,064
	40	559,6	1256,64	44,53	1,036
	45	702,0	1590,43	44,14	1,027
STN 024 324	30	303,81	706,85	42,98	1,000
	40	564,92	1256,64	44,95	1,046
	45	607,44	1590,43	43,85	1,020
STN 024 336	45	802,84	1590,43	50,48	1,174
	50	1007,57	1963,49	51,31	1,194
STN 024 338	50	1050,54	1963,49	53,52	1,245
	56	1321,01	2463,01	53,65	1,248
STN 024 340	25	157,30	490,87	51,40	1,196
	28	316,02	615,75	51,32	1,194
	31,5	394,96	779,31	50,68	1,179
STN 024 348	50	959,82	1963,49	48,88	1,137
	56	1203,95	2463,01	48,91	1,138
STN 024 362	56	1299,0	2463,01	52,74	1,227
	67	1852,0	3525,65	55,53	1,294
STN 024 372	30	387,85	706,85	54,88	1,277
	40	414,5	1256,64	56,86	1,323
	45	889,5	1590,43	55,93	1,301
PN22-268-80	45	958,0	1590,43	60,23	1,401
	50	1193,0	1963,49	60,76	1,414
ON 024 392	50	1528,1	1963,49	77,82	1,811
	60	2208,9	2827,43	78,12	1,817

Tabuľka 1. Percentuálny podiel kovového prierezu lana, d - priemer lana, [mm],  $S_N$  - kovový prierez lana z STN, [mm<sup>2</sup>],  $S_K$  - plocha kružnice s priemerom d, [mm<sup>2</sup>],  $V_P$  - kovové využitie priemeru lana, [%], Poznámka - využitie plochy kružnice vzhľadom na lano s jej najmenším percentuálnym využitím.

cieľom bolo získať maximálnu plochu kovového prierezu oceleového lana pre daný priemer. Toto je možné dosiahnuť vhodným usporiadaním drôtov v prameni a prameňov v lane. Súčasne sú stanovené priemery drôtov i medzery medzi nimi.

Výpočet sme realizovali podľa vzťahov autorov Žitkova a Pospěchova [ 8 ], ktoré vychádzajú

z obrázku číslo 2 [ 3 ], na ktorom je znázornená geometria prameňov v lane (a) i geometria drôtov v prameni (b). Takýto postup výpočtu pri veľkom počte alternatívnych riešení je zdĺhavý, preto sme sa rozhodli pre využitie výpočtovej techniky. Pri spracovaní sme postupovali metódou riadkovej stratégie.



Obr. 2. Geometria oceleového lana a prameňa  
a) 6-pramenné lana,

b) prameň so stavbou 1+6+12.

Percentuálne vyjadrenie kovového prierezu lana bolo počítané podľa vzťahu [ 2 ]

$$V_p = \frac{M(k_1 \delta_1^2 + k_2 \delta_2^2 + k_3 \delta_3^2)}{d^2} \cdot 100 \quad [\%]$$

v ktorom  $V_p$  - percentuálny podiel kovového prierezu,  
 $M$  - počet prameňov lana,  
 $k_1, k_2, k_3$  - počet drôtov vo vrstve prameňa,  
 $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  - priemer drôtov v príslušných vrstvách,  
 $d$  - priemer lana.

Z hľadiska výpočtového programu sme využili tzv. modulárnu štruktúru, umožňujúcu dosiahnutie veľkej variability výpočtu. Samotný výpočet sme realizovali pre dva prípady:

- výpočet parametrov konštrukcií oceleových lán podľa existujúcich STN,
- výpočet parametrov nenormalizovaných konštrukcií oceleových lán.

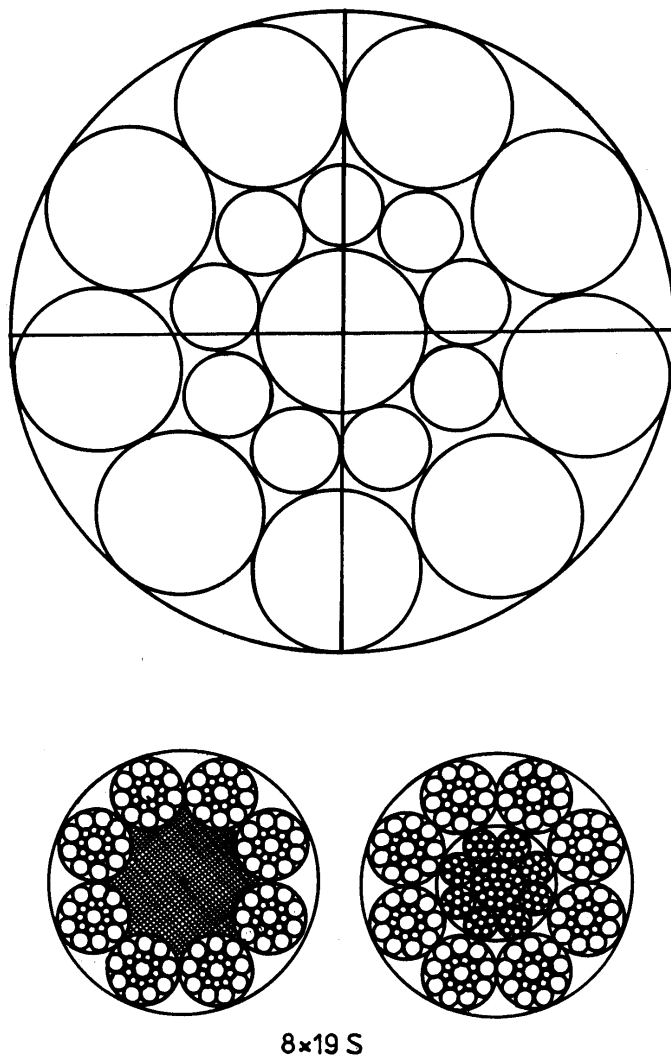
V oboch prípadoch sme vychádzali z nasledujúcich predpokladov :

- je daný priemer lana, počet prameňov v lane a konštrukčná stavba prameňa (počet vrstiev drôtov a počet drôtov vo vrstve),
- je daná závislosť medzi priermi drôtov v jednotlivých vrstvách prameňa,
- sú dané medzery medzi prameňmi a medzery medzi drôtmi vo vrstve i medzi vrstvami,
- je daná závislosť medzi počtom drôtov v jednotlivých vrstvách prameňa,
- prierez prameňa i drôtov rezom kolmým na os lana alebo prameňa je kruhový alebo eliptický.

### 3. Parametre oceleových lán

V prvej etape riešenia sme sa zamerali na výpočet parametrov oceleových lán podľa STN 024322 a STN 024340, ktorých konštrukcia prameňa je 1+6+12, resp. 1+9+9. Vypočítali sme priemery drôtov pre laná 6-pramenné i 8-pramenné. Na obrázku 3 je príklad grafického výstupu prierezu prameňa lana súbežnej konštrukcie 1+9+9 i prierez 8-pramenného lana s textilnou a kovovou dušou. Základné parametre tejto konštrukcie a to najmä priemer lana, drôtov a duše lana, prierezy lana i jeho

nosnosti [ 1, 2 ] sú uvedené v tabuľke 2. Vo všetkých prípadoch sme brali do úvahy lano o priemere 16 mm.



Obr. 3. Grafický výstup prameňa 1+9+9 a prierezy 8-pramenných lán SEAL. Kombinácia 1+9+9, priemer [mm], drôt 0.: 1,171, drôt 1.: 0,609, drôt 2.: 1,129.

Parameter	6-pramenné STN	6-pramenné vypočítané	8-pramenné vypočítané	8-pramenné vyrobené
Priemer lana [mm]	16,0	16,0	16,0	16,5
Priemer prameňa [mm]	-	5,33	4,42	4,65
Priemer drôtov [mm]				
$\delta_1$	1,6	1,35	1,18	1,40
$\delta_2$	0,75	0,72	0,60	0,63
$\delta_3$	1,25	1,39	1,12	1,12
Priemer duše [mm]	10,0	-	-	10,5
$S_K$ [mm <sup>2</sup> ]	201,06	201,06	201,06	213,72
$S_V$ [mm <sup>2</sup> ]	99,71	108,37	100,04	105,69
$V_P$ [%]	49,59	53,90	49,76	49,45
Nosnosť lana [kN] pri menovitej pevnosti drôtov				
$\sigma_m = 1570$ MPa	156,5	170,1	157,1	165,9
$\sigma_m = 1770$ MPa	176,5	191,8	177,1	187,1
$\sigma_m = 1960$ MPa	195,4	212,4	166,1	207,1

Tabuľka 2. Parametre súbežného lana SEAL so stavbou prameňa 1+9+9,  $S_K$  - plocha prierezu opísanej kružnice [mm<sup>2</sup>],  $S_V$  - kovový prierez lana, [mm<sup>2</sup>].

Z údajov v tabuľke 2 vidíme, že dochádza k významnému zvýšeniu kovového prierezu u lán 6-pramenných s vypočítanými priermi drôtov v prameni s prierezom lana podľa STN. 8-pramenné laná s vypočítanými priermi dosahujú kovový prierez na úrovni 6-pramenného lana podľa STN, 8-pramenné lano vyrobené z drôtov o upravených prieroch (zodpovedajúcim radu STN) má kovový prierez viac ako o 5% vyšší v porovnaní so 6-pramenným lanom vyrobeným podľa platnej STN. Tie isté konštatovania je možné urobiť tiež o nosnosti lán.

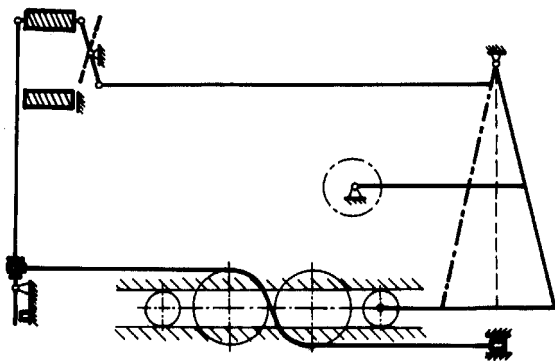
Konštrukcie	6 (1+6 +12) - STN				6 (1+6 +12) - vypočítané				8 (1+6 +12) - vypočítané			
d - Priemer lana [mm]	10	16	20	28	10	16	20	28	10	16	20	28
δ - Priemer drôtov [mm]	0,63	1,0	1,25	1,80	0,66	1,06	1,33	1,86	0,55	0,88	1,10	1,55
S - Nosný prierez lana [mm <sup>2</sup> ]	35,53	89,54	139,90	290,10	39,00	100,60	158,38	309,76	36,11	92,44	144,45	292,47
S <sub>K</sub> - Plocha opísanej kružnice [mm <sup>2</sup> ]	78,54	201,06	314,16	615,75	78,54	201,06	314,16	615,75	78,54	201,06	314,16	615,75
V <sub>p</sub> - Využitie kovového prierezu [%]	45,23	44,53	44,53	47,11	49,66	50,03	50,41	50,31	45,98	45,98	45,98	47,50
N - Nosnosť lana pre menovitú pevnosť [kN]												
σ <sub>m</sub> = 1570 MPa	55,78	140,58	219,64	455,46	61,23	157,94	248,66	486,32	56,69	145,13	226,79	459,18
σ <sub>m</sub> = 1770 MPa	62,89	158,48	247,62	513,48	69,03	178,06	280,33	548,27	63,91	163,62	255,68	517,67
σ <sub>m</sub> = 1980 MPa	69,64	175,50	274,20	568,60	76,44	197,18	310,42	607,13	70,78	181,18	283,12	573,24
P <sub>N</sub> - %-nosnosti vzhľadom k STN	-	-	-	-	109,76	112,35	113,21	106,77	101,63	103,24	103,25	100,82

Tabuľka 3. Parametre klasického lana rôznych priemerov so stavbou prameňa 1+6+12.

V tabuľke 3 sú rovnaké parametre lán klasickej konštrukcie pre rôzne priemery 6 i 8-pramenných lán. Vypočítané parametre týkajúce sa percentuálneho využitia kovového prierezu a tým i nosnosti pre 6-pramenné laná sú vyššie o 6 - 13%, v závislosti od priemeru lana. Kovový prierez a nosnosť 8-pramenných lán je u všetkých prierezov vyššia ako u lán 6-pramenných.

#### 4. Únavové skúšky lán rôznych konštrukcií

Okrem nosnosti oceleového lana je pre používateľa dôležitá najmä jeho životnosť. Táto v poslednom čase vystupuje do popredia vzhľadom na pomerne vysokú cenu oceleových lán. Overenie životnosti priamo v prevádzke je časovo náročné, pričom nie vždy musí byť používateľ s výsledkami spokojný.



Obr. 4. Schéma únavového stroja.

označenie P5 - GIG 3. Schéma únavového stroja je na obr. 4, jeho technické parametre [ 4, 5 ] :

- dĺžka	5380 mm
- šírka	1300 mm
- výška	2670 mm
- priemer skúšaných lán	12,5 - 25 mm
- dĺžka skúšanej vzorky lana	4500 mm
- maximálna napínacia sila	98100 N
- napínaná dĺžka lana	3500 mm
- dĺžka zdvihu vozíka	800 mm
- počet zdvihov vozíka	30min <sup>-1</sup>
- priemer skúšaných kladiek a polomer drážky	570 mm : 10,5 a 11,2 mm 510 mm : 9,0 mm 450 mm : 8,0 mm

- inštalovaný príkon motora

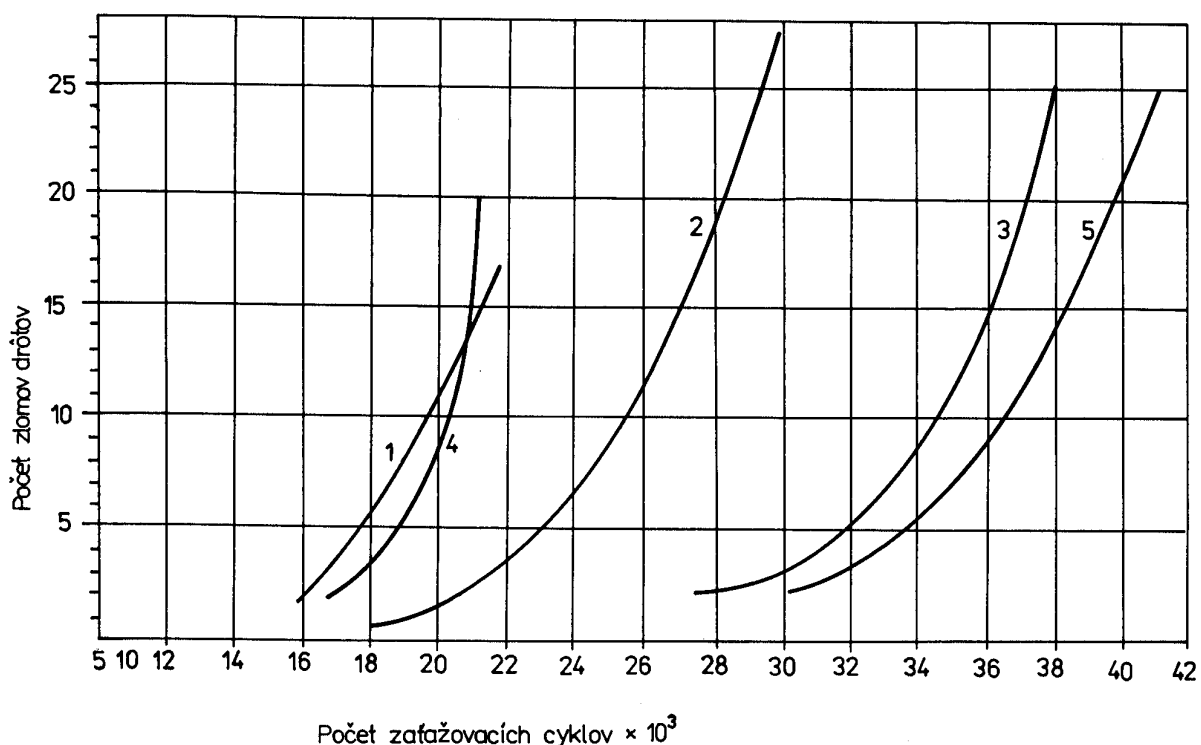
390 mm : 7,0 mm  
7 kW.

Číslo vzorky	Priemer lana /mm/	STN	Konštrukcia lana	Počet drôtov	Priemer drôtov /mm/	Priemer duše /mm/	Nosnosť lana /kN/	Poznámka
1	14	024 322	6(1+6+12)+v	114	0,9	8,5	122,4	
2	16	024 340	6(1+9+9)+v	114	1-1,6 +9-0,71 +9-1,25	10,0	170,6	
3	16	024 349	6(1+9+9)+v	114	1-1,6 +9-0,71 +9-1,25	10,0	170,6	umítnené
4	16,5	mimoSTN	8(1+9+9)+v	152	1-1,4 +9-0,63 +9-1,12	10,5	174,9	
5	16,5	mimoSTN	8(1+9+9)+v	152	1-1,4 +9-0,63 +9-1,12	10,5	174,9	umítnené

Tabuľka 4. Konštrukcia a parametre lán skúšaných na únavovom stroji.

V tabuľke číslo 4 sú uvedené konštrukcie a parametre lán, ktoré boli na únavovom stroji skúšané.

Oceľové laná sú počas skúšky namáhané na ťah a na ohyb; súčasne je skúšaná vzorka otáčaná okolo osi, čím je zabezpečené rovnomerné opotrebovanie povrchu lana. Výsledky únavových skúšok lán uvedených v tabuľke 4 sú zobrazené na obrázku číslo 5. Krivky predstavujú závislosť počtu zaťažovacích cyklov (os x) na počte zlomov drôtov (os y) v priebehu skúšky.



Obr. 5. Únavové krivky oceľových lán rôznych konštrukcií.

Z každej konštrukcie boli skúšané tri vzorky, počas skúšky bol sledovaný počet cyklov do prvého zlomu drôtu a počet cyklov pri porušení prameňa. Ich priemerné hodnoty spolu s pomerou životnosťou, vzťahovanou na vzorku číslo 1, sú uvedené v tabuľke číslo 5.

Z hľadiska životnosti nás zaujíma najmä porovnanie kriviek na obrázku 5 a hodnôt v tabuľke 5. Najhoršie výsledky majú laná klasickej konštrukcie, hoci tieto sú v Slovenskej republike na zdvíhacích zariadeniach používané najviac (krivka 1). Lepšie hodnoty dosiahli 6-pramenné laná SEAL i 8-pramenné lano SEAL (krivky 2 a 4), aj keď z hľadiska počtu cyklov pri porušení prameňa je 8-pramenné lano nevýhodnejšie. Jednoznačne sa ukazuje výhoda umŕtvovania lán (krivky 3 a 5), pričom pri porovnaní 6 a 8-pramenného lana je rozdiel v prospech 8-pramenného lana viac ako 25%. Táto skutočnosť je v súčasnosti plne akceptovaná v zahraničí, kde sa na zdvíhacích zariadeniach používajú takmer výhradne 8-pramenné laná súbežných konštrukcií.

Sledovaná veličina	Číslo vzorky lana				
	1	2	3	4	5
Počet cyklov pri prvom zlome drôtu	16 000	18 000	27 000	17 000	30 000
Pomerná životnosť	1,0	1,125	1,68	1,06	1,875
Počet cyklov pri porušení prameňa	28 590	33 000	41 820	26 560	52 500
Pomerná životnosť	1,00	1,15	1,46	0,93	1,84

Tabuľka 5. Počty zaťažovacích cyklov skúšaných oceľových lán.

### 5. Záver

Rozobrané problémy a získané výsledky optimalizácie prierezu oceľových lán i únavových skúšok rônych konštrukcií oceľových lán nám umožňujú urobiť nasledujúce závery :

- použitím vypočítaných , resp. upravených priemerov drôtov je možné dosiahnuť väčší kovový prierez lana a tým i jeho nosnosť pri rovnakom priemere lana,
- vypočítané priemery drôtov pre rôzne konštrukcie oceľových lán nezodpovedajú priemerom , používaným na ich výrobu podľa platných STN,
- osempramenné laná súbežnej konštrukcie, najmä umŕtvené, dosahujú lepšie výsledky únavových skúšok v porovnaní so šesťpramennými lanami klasickej i súbežnej konštrukcie.

Tieto poznatky sú dôležité pre výrobcu oceľových lán i pre ich používateľov. Najmä zvýšenie životnosti predstavuje pre používateľa dôležitý ekonomický prínos.

### Literatúra

- [1] Boroška, J. - Hulín, J. - Lesňák, O. : Oceľové laná. ALFA Bratislava 1982.
- [2] Boroška, J. : Optimalizácia prierezu a návrh konštrukcií oceľových lán. *Hutnícké listy* 1992, 4, str. 41 - 45.
- [3] Boroška, J. - Maligda, J. : Teoretical aspects of optimising the metal cross section of steel cables. *Transactions of the Technical University of Košice* 1993, 4, str. 405 - 410.
- [4] Carbogno, A. : Badanie zmeczeniowe lin stalowych o srednicy 10 - 25 mm na maszynie zmieczeniowej do lin typu P. In : *Zeszyty naukowe Politechniki Slaskej Gliwice* 1971, str. 189 - 198.
- [5] Hankus, J. : Budova i wlasnosc mechaniczne lin stalowych. *GIG Katowice* 1990.
- [6] Šaderová, J. : Zaťaženie a bezpečnosť oceľových lán zdvíhacích zariadení. In : *Mezinárodní vědecká konference, sekce 19 Doprava. VŠB - TU Ostrava* 1995, str. 326 - 332.
- [7] Zajíc, B. : Analysis of Cross-Section Hoisting 6-Round Strand Rope Characteristic. In : *Výskum, výroba a použitie oceľových lán. DT Košice - KBM a BF Košice* 1991, str. 31 - 37.
- [8] Žitkov, E. J. - Pospěchov, F. P. : Stalnyje kanaty dlja podjemnotransportnyh mašin. *Metalurgizdat Moskva* 1953.
- [9] STN 024322. Oceľové laná šesťpramenné. 114 drôtov, rozmery.
- [10] STN 024340 Oceľové laná šesťpramenné. SEAL 114 drôtov, rozmery.

