

## Vývojové tendencie výroby a použitia ocelových lán

Ján Boroška<sup>1</sup> a Vierošlav Molnár<sup>1</sup>

### Trends in production and using of the steel ropes

The Steel ropes are an important structural and transport element in various industries. There are possible various trends in their production and usage from the technical progress point of view. There also are production improvements and materials for the steel rope properties, the development of machinery for the production of steel ropes and their elements as well as the development of new steel rope structures and the improvement parameters of present steel rope structures. This paper deals with questions of materials, used for the steel rope production and the steel rope characteristics for various structures with the reference to their parameters and possibilities of their usage.

**Key words:** steel rope production, trends, steel rope skeleton, optimization

### Úvod

Princíp konštrukcie lana je známy už dávno, v priebehu vývoja jeho výroby a používania sa ale menili suroviny, z ktorých boli laná vyrábané. Prvé ocelové laná sú známe začiatkom 19. storočia. Vyrobenie a použitie prvého ocelového lana pre potreby zvislej dopravy v baníctve je známe z roku 1834, keď boli na šachte Carolina v Clausthale nasadené dve ocelové laná. O tento pokrok sa zaslúžil hlavný banský radca Wilhelm Albert. Už v roku 1836 bolo ocelové lano v prevádzke na Slovensku, a to na šachte Kristián v Banskej Štiavnici. V roku 1837 bola na šachte Piarg v Banskej Štiavnici zriadená prvá továreň na výrobu ocelových lán na základe podnetu komorného grófa Schweitzera. Laná sa najprv vyrábali ručne, od roku 1840 bol v prevádzke stroj na výrobu prameňov, ktorý si dal v tom istom roku patentovať viedenský mechanik Wurm. Dĺžka prvých lán bola len niekoľko desiatok metrov. Vývoj techniky výroby ocelových lán pokračoval pomerne rýchlo a už v roku 1850 bolo pre potreby železničnej prevádzky vyrobené lano o dĺžke 2 650 m. V tomto období ako i v nasledujúcich rokoch 19. i 20. storočia až po súčasnosť je možné hovoriť o troch smeroch vývoja výroby ocelových lán (Boroška et al., 1989):

1. Vývoj strojových zariadení na výrobu ocelových lán a ich prvkov.
2. Zdokonaľovanie výroby a vlastností materiálov, používaných k výrobe ocelových lán, predovšetkým ocelových drôtov.
3. Vývoj konštrukcií ocelových lán s lepšími úžitkovými vlastnosťami, pri činnosti ktorých sa v posledných rokoch využíva výpočtová technika.

Z vyššie uvedených smerov sa zameriame na problematiku 2. a 3. smeru, nakoľko problémami vývoja a výroby strojných zariadení sa na pracovisku nezaobráame.

### Materiál na výrobu ocelových lán

Základnými surovinami na výrobu ocelových lán sú:

1. ocelový lanový drôt,
2. vložka ocelového lana,
3. mazadlo ocelového lana.

V tab. I sú uvedené množstvá základných surovín, potrebné na výrobu 1 t lana (Boroška et al., 1989).

Materiál	Rozmer	Potrebné množstvo
Ocelový drôt	kg.t <sup>-1</sup>	928,0
Vložka	kg.t <sup>-1</sup>	46,0
Mazadlo	kg.t <sup>-1</sup>	24,0

Tab. 1. Základné suroviny potrebné na výrobu 1 tony ocelového lana.  
Tab. 1. The basic raw materials for the production of 1 ton of steel rope.

<sup>1</sup> prof. Ing. Ján Boroška, CSc., doc. Ing. Vierošlav Molnár, PhD., Katedra Logistiky a výrobných systémov Fakulty BERG Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 14, 043 84 Košice, tel.:+421-55-6022813, [Jan.Boroska@tuke.sk](mailto:Jan.Boroska@tuke.sk), [Vierošlav.Molnar@tuke.sk](mailto:Vierošlav.Molnar@tuke.sk)

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 7. 3. 2006)

## Oceľový drôt

Základným prvkom oceľového lana je oceľový drôt ktorého kvalita ovplyvňuje vlastnosti i životnosť oceľového lana. Oceľový drôt pre laná je vyrábaný z nelegovaných uhlíkových ocelí triedy 12, obsah uhlíka sa pohybuje v rozmedzí 0,42 – 0,60 %. Jeho kvalitu ovplyvňujú viacerí činitelia, najmä (Hankus, 2000):

- veľkosť a množstvo prímеси vo valcovanom drôte, z ktorého je vyrábaný,
- veľkosť a počet povrchových väd valcovaného drôtu,
- vláknitosť štruktúry valcovaného drôtu,
- teplota pece pri patentovaní drôtu,
- teplota oloveného kúpeľa.

Celková kvalita drôtu pre oceľové laná závisí predovšetkým na veľkosti rozptylu pevnosti a ďalších mechanických vlastností po dĺžke drôtu vo zvitku. Rozptyl má byť minimálny, ovplyvňuje ho najmä rozptyl obsahu uhlíka. Jeho veľkosť by mala byť maximálne 0,05 %.

Veľmi dobrý obraz o kvalite drôtu dáva jeho medza únavy. Medza únavy kvalitných drôtov má dosahovať cca 25 % menovitej pevnosti oceľového drôtu.

Rovnomernosť hodnôt mechanických vlastností oceľových drôtov celého lana je možné hodnotiť koeficientom ich nerovnomernosti. Najčastejšie sa používa koeficient nerovnomernosti pevnosti drôtov, ktorý zaviedli sovietski autori Žitkov a Pospechov (Boroška, 2001) podľa vzťahu :

$$K_{\delta} = \frac{2 \cdot (F_{str} - F_{min}) \cdot n_i}{F_{str} \cdot n}$$

kde  $K_{\delta}$  - koeficient nerovnomernosti pevnosti drôtov [%],

$F_{str}$  - aritmetický priemer výsledkov skúšok na ťah všetkých drôtov lana [N],

$F_{min}$  - aritmetický priemer výsledkov skúšok na ťah drôtov majúcich hodnotu menšiu ako  $F_{str}$  [N],

$n$  - počet všetkých drôtov lana skúšaných na ťah,

$n_i$  - počet drôtov skúšaných na ťah s hodnotou menšou ako  $F_{str}$ .

Kvalitnejšie laná majú nižšie hodnoty  $K_{\delta}$ , pre laná s predpokladom dobrej životnosti má platiť  $K_{\delta} < 2$ .

## Vložka oceľových lán

Úlohou vložky oceľového lana je vytvárať pevnú a pružnú podložku pre pramene lana, ktoré sú okolo vložky pri výrobe lana skrutkovicovo stáčané. Vložka zabraňuje radiálnemu posúvaniu a bočným tlakom prameňov a súčasne vyplňa priestor medzi prameňmi. Ďalšími úlohami vložky sú zabezpečovanie kruhového prierezu oceľového lana a zásobovanie lana mazadlom počas jeho prevádzky.

Materiálom vložky lana býva najčastejšie sisal alebo kordová priadza. V poslednom čase vzhľadom na nedostatok sisalovej a inej priadze a ich pomerne vysokej cene sa ako vložka používajú rôzne plastové materiály (Bariflex, Polypropylén, fibrilovaný pásik). Sú odolnejšie oproti vysokým teplotám, majú väčšiu odolnosť proti oteru a v porovnaní so sisalom 2 až 3-násobnú pevnosť v ťahu. Sú schopné absorbovať dostatočné množstvo mazadla, nemôžu byť napadnuté mikroorganizmami.

V niektorých prípadoch je vložka lana kovová. Je to najmä v prevádzkach s vyššími teplotami nad 60 °C a v prípadoch, keď je požadovaná väčšia nosnosť lana, vzhľadom na to, že nosnosť kovovej vložky lana sa započítava do jeho celkovej nosnosti.

Vložka a jej parametre ovplyvňujú životnosť oceľového lana. Táto skutočnosť bola overená únavovými skúškami. Ich výsledky pre vložky s rôznymi parametrami sú v tab. 2 (Boroška et al., 1989).

Tab. 2. Vplyv parametrov vložky oceľového lana na jeho životnosť.

Tab. 2. Effect of parameters of the steel rope insert on the rope lifetime.

Konštrukcia	Lano				Vložka	
	priemer [mm]	priemer [mm]	počet vlákieň	výška vinutia [mm]	počet prameňov	počet cyklov
6(1+6+12)+v	16	8,0	15	36	3	26069
6(1+6+12)+v	16	8,5	18	32	3	31067
6(1+6+12)+v	16	9,0	21	32	3	31948
6(1+6+12)+v	18	9,0	21	32	3	35166
6(1+6+12)+v	18	9,5	24	37	3	51069
6(1+6+12)+v	18	10,0	27	42	3	361921

## Mazadlá oceľových lán

Mazadlá chránia oceľové lano pred koróziou, znižujú vzájomné trenie medzi drôtmí a prameňmi, znižujú trenie medzi lanom a kladkou, bubnom, resp. lanovnicou a zabraňujú vníkaníu nečistôt do vnútra lana. Na mazadlá sú kladené nasledujúce požiadavky (Rabas, 1963):

- vzniknutý mazací film musí mať dostatočnú húževnatosť a pevnosť v tlaku,

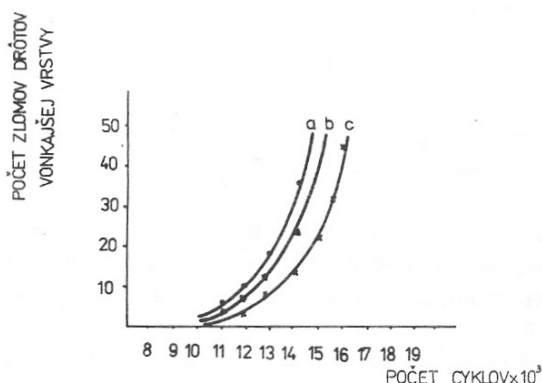
- nesmú byť odstrániteľné vodou a inými kvapalinami, ktoré spôsobujú koróziu drôtov a vložky lana,
- musia mať ochranný účinok i na vložku lana,
- mazací film musí byť stály pri vyšších teplotách a nesmie podliehať poveternostným vplyvom,
- pri nižších teplotách mazací film nesmie popraskať ani sa odlupovať,
- nesmú obsahovať žiadne agresívne látky,
- teplota topenia mazadla lana i textilnej vložky nesmie byť nižšia ako 65 °C,
- vnútorné mazadlo, ktoré je pri práci lana vytlačané na povrch, nesmie pôsobiť ako riedidlo na vonkajšie mazadlo.

Mazadlá sa vyrábajú podľa účelu použitia oceleového lana, zvláštne mazadlá sa používajú na domazávanie lán v prevádzke. V poslednom období niektorí výrobcovia vyvinuli a mažu oceľové laná ekologicky nezávadnými mazadlami (napr. Elaskon).

Okrem druhu mazadla je dôležitý tiež spôsob mazania oceleového lana. Mazaním je potrebné zabezpečiť:

- mazanie prameňov oceleového lana,
- mazanie vyrobeného lana,
- mazanie oceleového lana v prevádzke.

Sú možné rôzne kombinácie mazania jednotlivých prvkov lana. Najefektívnejšie a najúčinnejšie je tzv. intenzívne mazanie, pri ktorom je osobitne mazaný každý drôt lana. Význam spôsobu mazania oceleového lana s ohľadom na jeho životnosť je uvedený na obr. 1 (Boroška et al., 1989).



Obr. 1. Vplyv spôsobu mazania na životnosť oceľových lán

a – nemazané lano, mazaná vložka,

b – lano mazané ponorom, mazaná vložka,

c – intenzívne mazaná posledná vrstva, mazaná vložka.

Fig. 1. Effect of lubricating method on the steel ropes lifetime

a – not lubricated rope, lubricated insert,

b – lubricated rope by draught, lubricated insert,

c – last layer intensively lubricated, lubricated insert.

### Výroba oceľových lán a ich konštrukcie

Výroba oceľových lán patrí medzi veľmi náročné technológie, ktoré musia zabezpečiť také výrobné podmienky a postupy, aby vyrobené oceľové lano spĺňalo požiadavky jeho užívateľa (Jehnulick, 1965/7). Požiadavky užívateľa sú dané podmienkami prevádzky oceľového lana a ich splnenie ovplyvňuje konštrukcia oceľového lana a jeho vlastnosti.

Pre zabezpečenie dosiahnutia dobrých úžitkových vlastností oceľového lana i predpokladu jeho dlhej životnosti sú potrebné:

- kvalitné strojné vybavenie,
- kvalitné materiály na výrobu oceľových lán,
- kvalifikovaní pracovníci.

#### Technológia výroby oceľových lán

Napriek rôznym odlišnostiam u jednotlivých výrobcov, každý využíva základné strojové vybavenie a technologickým výrobným postupom. Strojové vybavenie predstavujú (Boroška et al., 1989):

- stroje a zariadenia na výrobu drôtov,
- stroje a zariadenia na výrobu prameňov a lán,
- stroje a zariadenia na výrobu vložiek.

Celý postup výroby oceľového lana predstavujú nasledujúce technologické operácie:

- výroba oceľového drôtu,
- navíjanie drôtu na cievky,

- výroba prameňov lana (zlanovanie),
- výroba oceľového lana (zrážanie),
- výroba vložiek lán,
- doplnujúce činnosti (spájanie drôtov, prameňov a lán, strihanie lán na požadovanú dĺžku, lisovanie ôk, zalievanie koncoviek, umŕtvovanie oceľových lán).

Technológia výroby a technologický proces výroby oceľových lán vyžaduje poznanie a následné použitie základných výpočtov rôznych parametrov, potrebných na výrobu oceľového lana. Takýmito výpočtami sú :

- výpočet priemeru prameňov oceľového lana zo zadaného priemeru,
- výpočet priemeru oceľových drôtov zohľadňujúci vypočítaný priemer prameňov,
- výpočet výšky a uhla vinutia drôtov v prameňoch a prameňov v lane,
- výpočet potrebnej skutočnej dĺžky oceľového drôtu, potrebného na výrobu prameňa,
- výpočet skutočnej dĺžky prameňa potrebného na výrobu lana,
- výpočet dĺžkovej hustoty oceľového lana,
- výpočet nosného prierezu oceľového lana,
- výpočet nosnosti oceľového lana,
- výpočet potrebných kapacít cievok a bubnov.

Tieto výpočty spolu s riešením geometrickej stavby prameňov a lán sa v súčasnosti realizujú pomocou výpočtovej techniky. Ich cieľom je optimalizácia rôznych parametrov oceľového lana, predovšetkým optimálny priemer drôtov, a tým kovový prierez lana v závislosti na veľkosti medzier medzi drôtmi a prameňmi, zohľadnenie tolerancie priemerov drôtov a alternatívne riešenie výšky a uhla vinutia drôtov v prameni a prameňov v lane.

Programy výpočtov má skoro každý výrobca vlastné, na KL a VS boli spracované programy pre výrobu 8-pramenných lán a program optimalizácie kovového prierezu 6-pramenného lana konštrukcie SEAL.

#### Vlastnosti a parametre oceľových lán

Vlastnosti oceľových lán zaujímajú predovšetkým ich užívateľov a je vecou výrobcov ich zaistiť. Vlastnosti oceľového lana ovplyvňujú spôsob jeho konkrétneho použitia. S vlastnosťami veľmi úzko súvisia parametre oceľového lana. Pre užívateľa sú predovšetkým dôležité (Hankus, 2000):

- Nosnosť oceľového lana - je pre užívateľa prakticky najdôležitejším parametrom, ktorý sa volí na základe veľkosti zaťaženia a požadovanej bezpečnosti.
- Bezpečnosť oceľového lana, ktorá je daná pomerom menovitej nosnosti lana a jeho maximálnym statickým zaťažením.
- Modul pružnosti oceľového lana, s ktorým súvisí predlžovanie lán, dôležité najmä pri lanách s väčšou dĺžkou. Veľkosť modulu pružnosti je možné určiť výpočtom alebo experimentálne, ovplyvňuje ho menovitá pevnosť drôtov a veľkosť zaťaženia lana.
- Krútiaci moment oceľového lana, vznikajúci pri jeho zaťažení osovou silou, pôsobiaca na skrutkovite uložené drôty a pramene, sa snaží sa o jeho rozkrúcanie. Je to veľmi nepriaznivá vlastnosť. Veľkosť krútiaceho momentu je možné vypočítať alebo zistiť experimentálne. Závisí od priemeru lana a jeho zaťaženia.

V tab. 3 sú uvedené hodnoty bezpečnosti lán pre rôzne oblasti použitia, platné v európskych štátoch (Boroška et al., 1989).

Tab. 3. Bezpečnosť oceľových lán.  
Tab. 3. The steel ropes safety.

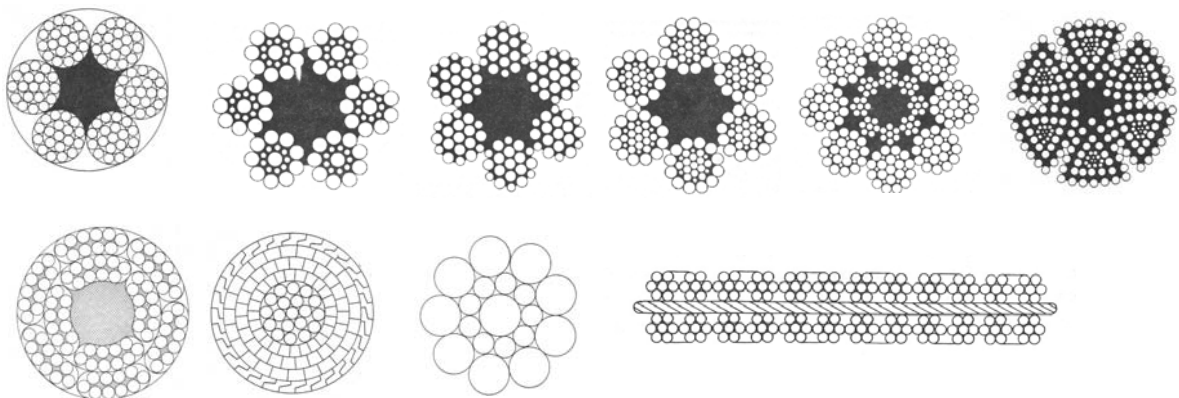
Bezpečnosť lana	Oblasť použitia
6 - 9	ťažné laná v baníctve
5 - 7	vyrovnávacie laná v baníctve
5 - 7	vodiace a odrazové laná v baníctve
3,5 - 4	nosné laná lanoviek
5 - 6	ťažné laná lanoviek
4 - 5	laná lyžiarskych vlekov
8 - 16	výťahové laná
3 - 8,5	žeriavové a kladkostrojové laná
3,5 - 5	kotevné laná

### Konštrukcia ocelových lán

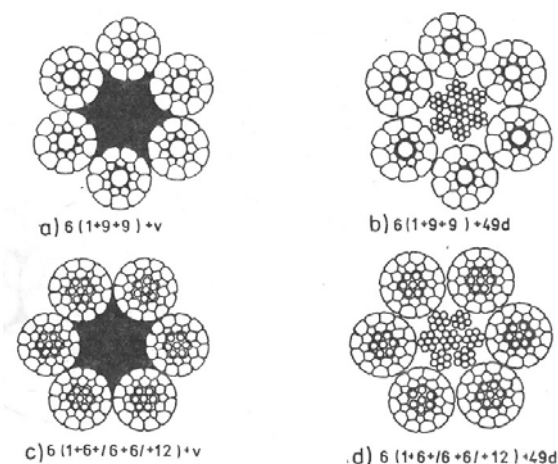
Týmto pojmom je definované vzájomné usporiadanie drôtov v prameni a prameňov v lanách. Môže byť charakterizovaná číselným vzťahom alebo zobrazená prierezom lana kolmým na jeho os (Boroška et al., 1989). Každý z výrobcov vyrába také konštrukcie ocelových lán, aké mu umožňuje strojné technologické vybavenie. Základnými konštrukciami ocelových lán sú :

- laná klasické,
- laná súbežné,
- laná s trojbokými prameňmi,
- laná s plochými prameňmi,
- jednopramenné laná,
- ploché laná,
- špeciálne konštrukcie ocelových lán.

Charakteristiky jednotlivých konštrukcií ocelových lán sú uvedené v normách, ich prierez je na obr. 2 (Boroška et al., 1989).



Obr. 2. Základné konštrukcie ocelových lán.  
Fig. 2. The basic structures of steel ropes.



Zvláštnu skupinu ocelových lán tvoria laná z tvárnených prameňov, ktorých zväčšená dotyková plocha drôtov sa dosahuje ich plastickou deformáciou pri zlanovaní. Laná majú hladší povrch, zvýšenú odolnosť proti únave a znížený krútiaci moment. Ich hlavnou výhodou je lepšie využitie prierezu prameňa, aj celého lana, a tým vyššia nosnosť pri rovnakom priemere. Príklady prierezu lán z tvárnených prameňov, ktoré môžu mať rôzne konštrukcie, sú na obr. 3 (Boroška et al., 1989).

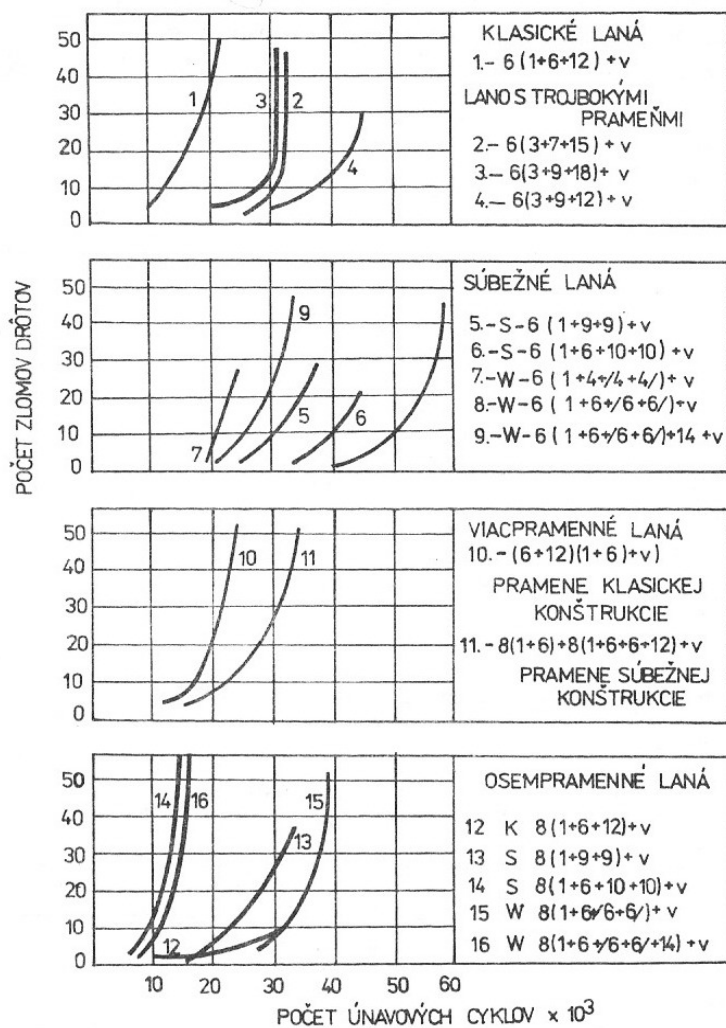
Obr. 3. Prierez lán z tvárnených prameňov.  
Fig. 3. The rope cross-sections from wrought strands.

### Použitie ocelových lán

Pre použitie ocelových lán v konkrétnych prevádzkových podmienkach sú vyžadované určité vlastnosti, ktoré zaisťujú ich spoľahlivú prevádzku a primeranú životnosť. Práve životnosť ocelových lán je zo strany užívateľa dôležitým kritériom pri ich výbere. Životnosť ocelového lana ovplyvňujú:

- technológia výroby drôtov a lán,
- konštrukcia lán a ich vlastnosti,
- technicko-prevádzkové podmienky práce lana,
- spôsob práce lana.

Okrem sledovania životnosti oceľových lán v prevádzke sú dobrým porovnávacím kritériom únavové skúšky, ktorými je možné v laboratórnych podmienkach zistiť vplyv rôznych činiteľov na životnosť v konkrétnych podmienkach. Vplyv konštrukcie oceľového lana na jeho životnosť je na obr. 4 (Boroška et al., 1989).



Obr. 4. Výsledky únavových skúšok lán rôznych konštrukcií.

Fig. 4. Fatigue test results of ropes with various structures.

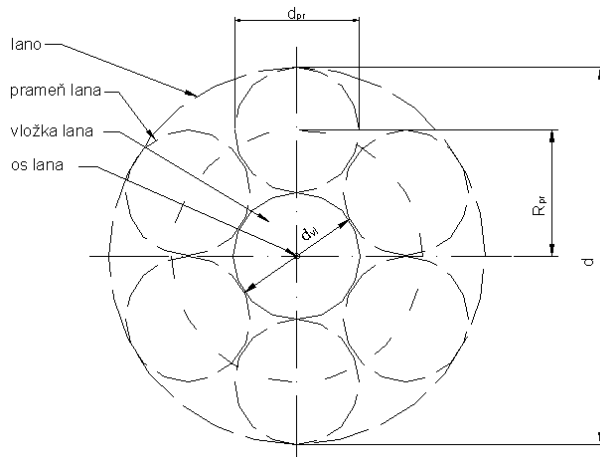
Vychádzajúc z týchto výsledkov i poznatkov o prevádzke oceľových lán odporúčame ako vhodné pre použitie na konkrétnych zariadeniach a v rôznych priemyselných odvetviach tieto konštrukcie (v zátvorke):

- ťažné laná pre zvislú dopravu pri ťažbe surovín (súbežné, s trojbokými prameňmi, s plochými prameňmi podľa typu ťažného zariadenia),
- vyrovnávacie laná ťažných zariadení (ploché šité a nitované, ploché pogumované, kruhové viacpramenné nekrútivé),
- vodiace a odrazové laná ťažných zariadení (jednopramenné polouzavreté alebo uzavreté, súbežné s väčším priemerom vonkajších drôtov),
- laná podzemných a povrchových dobývacích zariadení (súbežné, viacpramenné trojvrstvové, z tvárnených prameňov),
- laná pre ropný a plynárenský priemysel (súbežné pre kladkostroje, jednopramenné ako laná kotviace),
- laná zdvíhacích zariadení (súbežné),
- laná lanoviek a vlekov (jednopramenné ako nosné, súbežné s väčším priemerom vonkajších drôtov, ako laná ťažné a viacpramenné viacvrstvové ako laná napínacie),
- výťahové laná (súbežné, z tvárnených prameňov),
- laná pre stavebný priemysel (7-drôtové pramence do predpäťého betónu, jednopramenné súbežné, viacpramenné s oceľovou vložkou),
- laná pre lodiarský priemysel (klasické i súbežné s dobrou protikorózióznou ochranou),
- laná pre iné priemyselné odvetvia - automobilový priemysel, letecký priemysel, do dopravných pásov a pneumatík, tzv. kordy, elektrické vedenia, ochranné siete (klasické, často s oceľovou vložkou a s vyššou menovitou pevnosťou).

## Optimalizácia kovového prierezu 6-pramenného lana konštrukcie SEAL

Pri návrhu geometrie prierezu lana vystupuje do popredia problém určenia optimálneho kovového prierezu lana v závislosti od uhla vinutia prameňov. V pričnom priereze lana, ktorého geometria je navrhnutá nevyhovujúco, dochádza k prekrývaniu prierezových kriviek drôtov, čo v praxi znemožňuje dodržať technologický postup pri výrobe lana a samozrejme aj jeho kvalitatívne parametre. Na KL a VS bol navrhnutý originálny postup optimalizácie priemeru prameňa tak, že k prekrývaniu prierezových kriviek drôtov nedôjde. Na vzorke oceľového lana SEAL 6x(1+9+9)+v bol odvodený a na matematickom modeli oceľového lana overený postup určenia optimálneho priemeru prameňa lana.

### Určenie optimálneho priemeru prameňa lana



Priemer prameňa je vytváraný priemerom opísanej kružnice ku krivke, ktorá je rezom prameňa rovinou kolmou na jeho os. Skúmané lano je vytvorené vinutím šiestich prameňov rovnakého priemeru v jednej vrstve okolo osi lana (obr. 5). Každý z týchto prameňov vytvára cyklickú skrutkovú plochu – Archimedovu serpentínu.

Obr. 5. Základné konštrukčné parametre lana.  
Fig. 5. The basic structural rope parameters.

Geometricky vzniká táto plocha skrutkovým pohybom kružnice daného priemeru, pričom rovina kružnice je normálovou rovinou skrutkovice. Vychádzajúc z predpokladu, že priemery prameňov sú rovnaké, rezové krivky príslušných cyklických skrutkových plôch rovinou kolmou na os lana sú zhodné a v **optimálnom prípade** sa každé **dve susedné krivky dotýkajú**. Potom podľa (Maligda, et al., 1997) je možné pre daný priemer lana  $d$  pri známom počte prameňov  $n_{pr}$  s uhlom vinutia  $\beta_{pr}$  matematicky určiť **optimálny priemer prameňov lana  $d_{pr\ opt}$** .

Riešenie vychádza z predpokladu, že je známy uhol vinutia prameňov v lane  $\beta_{pr}$ , počet prameňov v lane  $n_{pr}$  a polomer vinutia prameňov v lane  $R_{pr}$ . Aplikujúc postup (Maligda, et al., 1997) potom.

1. Vhodnou numerickou metódou, napr. metódou polovičného delenia, vypočíta sa uhol  $\varphi$  (uhol, ktorý zvierá dotyčnica k rezovej krivke optimálneho prameňa vedená cez stred lana) z výrazu:

$$\arctg(\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \beta_{pr}) + \frac{\sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \beta_{pr}}{(1 - \sin^2 \varphi) \cos \beta_{pr}} = \frac{\pi}{n_{pr}}$$

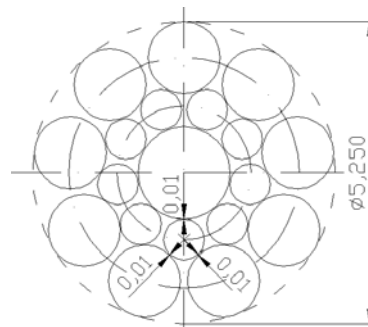
2. Zo vzťahu pre určenie polomeru optimálneho prameňa  $\frac{d_{pr\ opt}}{2}$  po dosadení a úprave dostávame výraz:

$$\frac{d_{pr\ opt}}{2} = R_{pr} \sqrt{1 + \left( \frac{\frac{\pi}{n_{pr}} - \arctg(\operatorname{tg} \varphi \cos \beta_{pr})}{\sin \varphi \sin \beta_{pr} \operatorname{tg} \beta_{pr}} \right)^2 - 2 \left( \frac{\frac{\pi}{n_{pr}} - \arctg(\operatorname{tg} \varphi \cos \beta_{pr})}{\sin \varphi \sin \beta_{pr} \operatorname{tg} \beta_{pr}} \right) \cos \varphi}$$

Podobne je možné postupovať pri návrhu optimálneho priemeru drôtov 1. vrstvy v prameni lana  $\delta_{dr1\ opt}$  a následne potom aj pri návrhu optimálneho priemeru drôtov 2. vrstvy  $\delta_{dr2\ opt}$  za predpokladu, že je známy  $\alpha_{v1}$  - uhol vinutia drôtov 1. vrstvy v prameni lana a  $\alpha_{v2}$  - uhol vinutia drôtov 2. vrstvy v prameni lana.

Výpočet bol realizovaný a overený pre geometriu prierezu lana s rovnakou medzerou – 0,01 mm medzi drôtmi vo vrstvách prameňa (obr. 6) s optimálnymi parametrami (Stanová, Fedorko, Aplimat 2004), (Stanová, Fedorko, Výrobné inžinierstvo 2004), ktoré sú dokumentované v tab. 4.

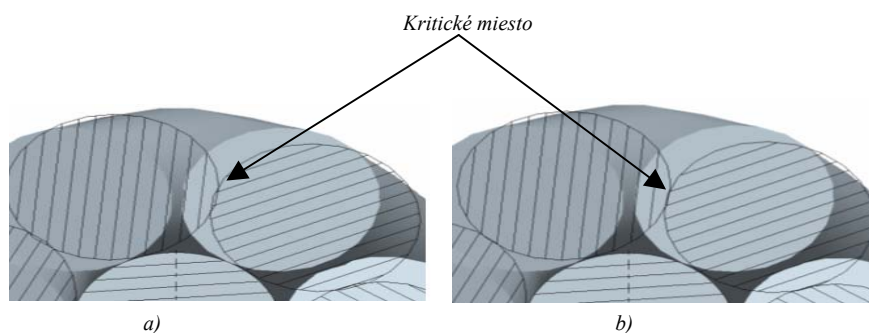
Obr. 6. Usporiadanie drôtov vo vrstvách prameňa.  
Fig. 6. The layout of wires in strand layers.



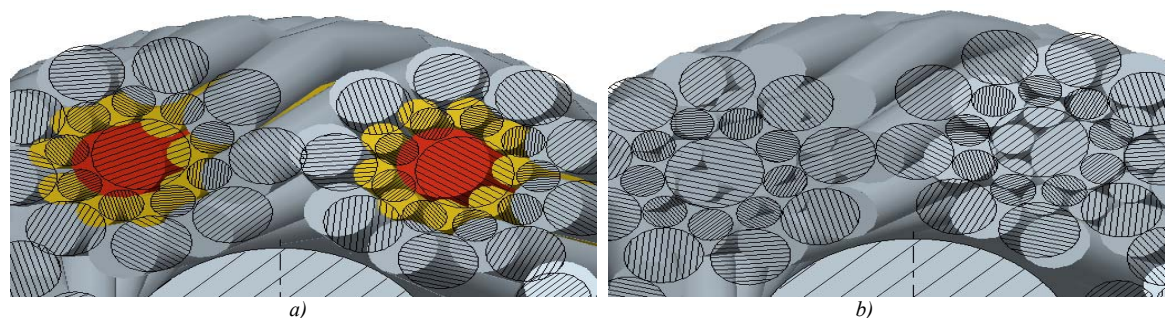
Tab. 4. Optimálne priemery drôtov a prameňa lana SEAL 6x(1+9+9)+v.  
Tab. 4. Optimal wire diameters and diameters of the rope strand SEAL 6x(1+9+9)+v.

$\varphi_{uv1}$ [°]	19,8531	$\varphi_{uv2}$ [°]	19,5735	$\varphi_{pr}$ [°]	29,0246
$\delta_{dr1}$ [mm]	0,71	$\delta_{dr2}$ [mm]	1,25	$d_{pr}$ [mm]	5,250
$\delta_{dr1\ opt}$ [mm]	0,7913	$\delta_{dr2\ opt}$ [mm]	1,3402	$d_{pr\ opt}$ [mm]	5,2359

Na obr. 7a a 8 je priečný rez lana, ktorého geometria je navrhnutá nevyhovujúco, obr. 7b a 8 ukazuje optimálny návrh geometrie lana pomocou výpočtu optimálneho priemeru prameňa lana  $d_{pr\ opt}$ .



Obr. 7. Prierezové krivky prameňov pravého protismerného 6 pramenného oceľového lana SEAL 6x(1+9+9)+v  
a - lano s nevyhovujúcim návrhom geometrie, b - lano s vypočítaným optimálnym priemerom prameňa  $d_{pr\ opt}$ .  
Fig. 7. The strand cross-sectional curves of the right contrary six strands steel rope SEAL 6x(1+9+9)+v  
a - rope with inconveniently designed geometry, b - rope with the calculated optimal strand diameter  $d_{pr\ opt}$ .



Obr. 8. Prierezové krivky jednotlivých drôtov vo vrstvách pravého protismerného 6 pramenného oceľového lana SEAL 6x(1+9+9)+v  
a - lano s nevyhovujúcim návrhom geometrie, b - lano s vypočítaným optimálnym priemerom prameňa  $d_{pr\ opt}$ .  
Fig. 8. The cross-sectional curves of individual wires in layers of the right contrary six strands steel rope SEAL 6x(1+9+9)+v  
a - rope with inconveniently designed geometry, b - rope with calculated optimal strand diameter  $d_{pr\ opt}$ .

## Záver

Na základe uvedených poznatkov o konštrukcii, vlastnostiach i parametroch oceľových lán je potrebné sa vo výrobe a používaní oceľových lán zamerať na riešenie nasledovných problémov:

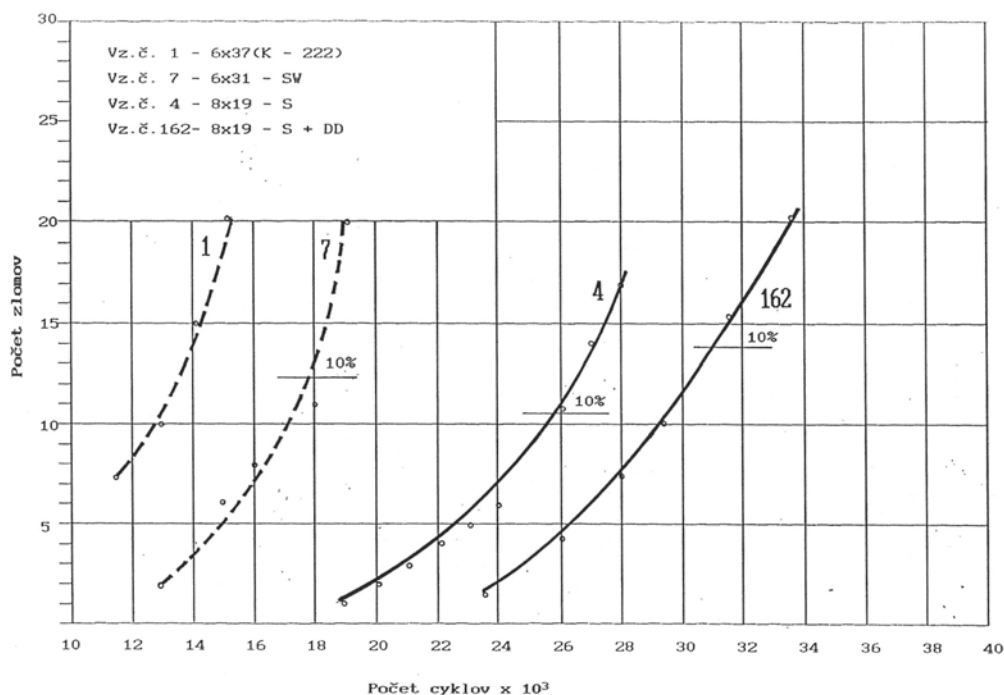
1. Inovácia strojového parku pre výrobu drôtov i lán.
2. Výroba konštrukcií oceľových lán so zvýšenou životnosťou (takými sú súbežné konštrukcie, laná 8-pramenné, laná z tvárnených prameňov, laná umŕtvené a iné perspektívne konštrukcie).
3. Pri zvyšovaní životnosti lán musia výrobcovia i užívatelia zohľadňovať činitele, ktoré životnosť ovplyvňujú.



4. Výroba oceľových lán s vyššou nosnosťou, si vyžaduje drôty s vyššou menovitou pevnosťou so zodpovedajúcimi mechanickými vlastnosťami.
5. Projektovanie a konštruovanie oceľových lán s využitím výpočtovej techniky, napr. originálnym jednoduchým postupom, uvedeným v predošlej časti – optimalizáciou kovového prierezu.
6. Mazanie oceľových lán ekologicky nezávadnými mazadlami.

Výroba oceľových lán s vyššou protikorózióznou ochranou (pogumované oceľové laná, drôty a pramene povlečené polyamidom, použitie drôtov z legovaných ocelí).

Výhody 8-pramenných lán dokumentuje obr. 9.



Obr. 9. Výsledky únavových skúšok 6 a 8 pramenných oceľových lán.  
Fig. 9. The results of the fatigue test results for steel ropes with 6 and 8 strands.

*Príspevok vznikol ako súčasť riešenia grantového projektu VEGA 1/2162/05 Aplikácia moderných matematických a štatistických metód pri tvorbe nových ekologických systémov dopravy v stavebnom a ťažobnom priemysle.*

#### Literatúra - References

- [1] Boroška, J., Hulín, J., Lesňák, O.: Oceľové laná. *Bratislava, Alfa* 1989, 479 s.
- [2] Boroška, J.: Vplyv nerovnomernosti pevnosti drôtov oceľového lana na ich namáhanie. In.: *LOADO 2001, KLaVS Fakulty BERG TU v Košiciach, Podbanské, 2001*, s. 210-214.
- [3] Hankus, J.: Budowa i własności mechaniczne lin stalowych. *GIG Katowice* 2000, 283 s..
- [4] Jehmlich, G.: Dauerfestigkeit von Drahtseilen. *Bergakademie Freiberg* 1965/7, s. 417-422.
- [5] Maligda, J., Stanová, E., Danči, M.: Využitie Archimedovej serpentíny v technickej praxi. In: *VI. Vedecká konferencia Stavebnej fakulty Technickej univerzity v Košiciach, Aplikácie geometrie v technickej praxi, Košice 1997*, s. 100-105.
- [6] Rabas, E.: Výroba oceľových lán. *Železářny a drátovny Bohumín, 1963*.
- [7] Stanová, E., Fedorko, G.: Matematický model protismerného oceľového lana, In: *Aplimat 2004 – geometrie v technickej praxi, február 2004*, s. 879-882, ISBN 80-227-1995-1.
- [8] Stanová, E., Fedorko, G.: Modelovanie oceľových lán v Pro/ENGINEER Wildfire. *Výrobné inžinierstvo 1/2004*, s. 45-47, ISSN 1335-7972-01.
- [9] Costello, G. A.: Theory of wire rope. *Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg* 1990.