

# OCEĽOVÉ DRÔTY A LANÁ NA PREDPÄTÚ VÝSTUŽ

## STEEL WIRES AND STRANDS FOR PRESTRESSED CONCRETE

Viktor TITTEL

**Autor:** Ing. Viktor Tittel, CSc.

**Pracovisko:** Katedra tvárnenia, Materiálovotechnologická fakulta MtF STU, Trnava

**Adresa:** Bottova 23, 917 24 Trnava, SR

**Tel.:** 00421 33 5521007 **E-mail:** [viktor.tittel@stuba.sk](mailto:viktor.tittel@stuba.sk)

### Abstract

*Drôty a laná, určené na predpätú výstuž do betónu, boli vyrábané z valcovaných drôtov (VD), ktoré sa najprv patentovali (izotermicky kalili), následne ťahali, popúšťali, alebo stabilizovali a zlaňovali. Zavedenie riadeného ochladzovania valcovaného drôtu (ROVD) pred viacerými rokmi umožnilo vyrábať niektoré drôty priamo bez patentovania. Naďalej však tieto technicky náročné výstužné prvky boli vyrábané klasicky, t.j. s použitím patentovania VD. Až ďalšie úpravy chladiacej časti kontidrôtovej trate v Trineckých železárnach (TŽ) a ľahšia dostupnosť valcovaného drôtu v SRN a Rakúsku umožnili odskúšať a zaviesť technológiu výroby týchto drôtov bez patentovania v Drôtovni, a. s., Hlohovec. Táto nová technológia je teraz používaná aj u ďalších výrobkov ako sú pružinové drôty, lanové drôty a drôty pre výrobu elektrovodných pramencov. Zavedenie tejto technológie výroby drôtov umožnilo úplne vylúčiť patentovanie VD bez dopadu na kvalitu hotových výrobkov.*

*Wires and strands for prestressed concrete were manufactured from rolled wires, which usually were patented (austempered), drawn, alternatively tempered, stabilised, and twisted. Application of controlled cooling of the rolled wires before several years permitted to produce them without patenting. Then reinforcing elements started to manufacture in a classic way again using patenting. Only further modernization in plant "Trinecke železárný" and availability of rolled wires from Germany and Austria made it possible to test and to introduce the production technology of these elements without patenting. This new technology is now used in "Drôtovňa Hlohovec" for production of other products like spring steel wires, steel rope wires and wires for steel ropes for conductors. Application of this technology has permitted to eliminate the operation of patenting for rolled wire completely without decrease in quality of finished products.*

### Key words

*drôt ťahaný za studena, drôt na predpätú výstuž, laná na predpätú výstuž, medza pevnosti, ťažnosť, relaxácia*

*cold drawn wire, wire for prestressed concrete, strands for prestressed concrete, tensile strength, elongation, relaxation*

## Úvod

Oceľové drôty a laná na predpätú výstuž do betónu obr.1. sa na Slovensku vyrábajú asi 30 rokov. Na začiatku sa na predpätú výstuž používali len ťahané drôty, ktoré neboli tepelne a ani mechanicky upravované. Neskoršie sa tieto deformačne spevnené drôty popúšťali s cieľom zvýšiť ich úžitkové vlastnosti. Naďalej sa však VD patentovali, pretože prevládala názor, že vlastnosti drôtov ťahaných za studena sú po patentovaní lepšie a to nielen v absolútnych hodnotách, ale aj v rovnomernosti týchto hodnôt [1].



Od roku 1989 sa laná na predpätú výstuž stabilizujú za účelom zníženia relaxácie. Od roku 1995 je možné stabilizovať aj drôty pre predpätú výstuž. Pre laná i drôty boli navrhnuté a vyrobené vlastné stabilizačné linky. Zavádzaním týchto technológií bol sledovaný trend hlavne v stavebníctve [2, 3].

**Obr. 1** Oceľové drôty, spletenca a laná na predpätú výstuž

### Požiadavky na drôty a laná na predpätú výstuž

Drôty a laná, určené na predpätú výstuž do betónu, patria podľa množstva parametrov, ktoré musia spĺňať, medzi najnáročnejšie drôtárenské výrobky. Vysoké požiadavky sú kladené na tieto výrobky najmä z toho dôvodu, že v napätom stave musia vydržať takmer bez zmeny ich parametrov niekoľko desiatok rokov. Konkrétne hodnoty parametrov stanovujú jednotlivé podnikové, národné, alebo európska norma prEN 10 138. Tieto výrobky musia spĺňať predpísané hodnoty a to i s určitou spoľahlivosťou. Navyše podliehajú i technickému dozoru. Ide hlavne o parametre uvedené v tab. č.1 [4]:

#### ZÁKLADNE POŽIADAVKY NA DRÔTY A LANÁ

Tabuľka 1

Drôty		
Priemer	d	mm
Prierez pre vtláčovaný drôt	S	mm <sup>2</sup>
Geometria vtláčkov (hĺbka, šírka, rozstup, suma „e“, „e <sub>1</sub> “)		mm
Minimálna medza pevnosti	R <sub>m</sub>	MPa
Minimálna medza sklzu	R <sub>p0,1</sub>	MPa
Pomer medze sklzu ku medze pevnosti	$\frac{R_{p0,1}}{R_m}$	-
Celkové predĺženie pri najväčšom zaťažení F <sub>m</sub>	A <sub>gt</sub>	%
Priamosť		mm.m <sup>-1</sup>
Počet ohybov	N <sub>o</sub>	-
Laná na predpätú výstuž		
Priemer lana	d	mm
Menovitá pevnosť v ťahu	R <sub>m</sub>	MPa
Hmotnosť		g.m <sup>-1</sup>

Plocha priečného prierezu	S	mm <sup>2</sup>
Povolené odchýlky priečného prierezu		%
Charakteristická maximálna sila	F <sub>m</sub>	kN
Charakteristická max. sila pri 0,1 % pomernom predĺžení (dohovorená medza sklzu 0,1)	F <sub>p0,1</sub>	kN
Minimálna sila pri 1 % predĺžení	F <sub>p1</sub>	kN
Celkové predĺženie pri najväčšom zaťažení F <sub>m</sub>	A <sub>gt</sub>	%

Okrem týchto základných požiadaviek museli drôty a laná na predpätú výstuž vyhovovať špeciálnym požiadavkám. Ide o tieto:

- relaxácia pri 0,7 R<sub>m</sub>, 1000 hod. a 20°C,
- únavová únosnosť predpätých lán,
- skúška koróznej odolnosti pod napätím,
- pevnosť v ťahu pri priečnom tlaku.

## Experimentálna časť

### *Pôvodná technológia*

Drôty sa vyrábali nasledovnou technológiou: Valcovaný drôt o obsahu 0,6-0,85 % C sa najprv izotermicky kalil v olove („patentoval“) s cieľom získania zmesi jemného perlitu a bainitu [1]. Potom sa vo zvitkoch zbavil povrchových oxidov v kyseline soľnej, fosfátoval a boraxoval. Takto bol drôt pripravený k ťahaníu cez niekoľko prievlakov na potrebný priemer a dosiahnutie potrebnej pevnosti. Naťahaný drôt sa spracovával na termomechanickej stabilizačnej linke za účelom stabilizácie, alebo popúšťania. Proces stabilizácie prebiehal pri teplote drôtu cca 400°C a takom napätí v drôte, ktoré vyvolá 1% predĺženie. Proces popúšťania prebiehal pri rovnakej teplote, ale bez mechanického napätia v drôte. Získali sa tak drôty stabilizované - s nízkou relaxáciou max. 2,5%, alebo popúšťané s normálnou relaxáciou max. 8%. Laná je možné taktiež popúšťať, alebo stabilizovať.

### *Nová technológia*

Zavedenie výroby riadeného ochladzovania drôtu „Stelmor“ v TŽ na konci 70 - tých rokoch viedlo v Drôtovni Hlohovec k postupnému odstráneniu patentovania VD. Pri výrobe drôtov a lán na predpätú výstuž sa však naďalej používalo patentovanie. Hlavným dôvodom boli problémy s dosiahnutím požadovaných hodnôt plasticity drôtov (ťažnosť a počet ohybov), príp. aj iných parametrov a ich rovnomernosti. Pokusy zaviesť technológiu výroby drôtov ťahaním za studena bez patentovania VD sa niekoľkokrát opakovali, avšak neúspešne. To znamenalo prevádzkovať patentovaciu linku s kapacitou cca 11 000 t/rok a vynakladať vysoké náklady na patentovanie VD. Až na konci 90 - tých rokov vznikli priaznivé podmienky na možnú zmenu technológie aj u výrobkov pre predpätú výstuž. Išlo hlavne o ďalšie úpravy dochladzovacej časti valcovacej linky na drôt v TŽ a väčšie možnosti nákupu valcovaného drôtu z hutí. Boli oslovení viacerí výrobcovia VD, s ktorými sa začala spolupráca a overovanie vhodnosti ich materiálov. Išlo hlavne o týchto výrobcov:

*Trinecké železářny* (ČR)  
*Voest-Alpine AG* (Rakúsko)

*Saarstahl AG* (SRN)  
*ISPAT* (SRN)

Vzhľadom na to, že patentovaniu VD podliehali aj ďalšie výrobky, pre úplné odstavenie patentovacej linky bolo treba vyriešiť technológiu výroby všetkých drôtov. Celkovo sa jednalo o niekoľko desiatok výrobkov s objemom cca 11 000 ton/rok. Pretože pri tejto novej technológii sa drôt nepatentuje, odpadla aj možnosť regulácie pevnosti pri patentovaní a tým sa zvýšil počet potrebných značiek ocelí a priemerov. Stanovenie pevnosti valcovaného drôtu, východiskového priemeru drôtu a technológie ťahania, ale aj popúšťania a stabilizácie (počet úberov, rýchlosť ťahania, teploty a napínacie sily) museli byť tak stanovené, aby výsledné hodnoty hotového drôtu splňovali požiadavky noriem. Za účelom dosiahnutia požadovanej pevnosti boli podľa našich požiadaviek niektoré ocele legované chrómom [1, 2].

### Porovnanie technológii výroby drôtu ( $\varnothing$ 6 mm, $R_m = 1570$ MPa, popúšťaný)

Ku skúškam boli použité ocele vyrobené v TŽ na kontidrôtovej trati s riadeným ochladzovaním valcovaného drôtu (ROVD).

A - materiál C76D - patentovanie VD a ťahanie - pôvodná technológia

B - materiál C82D - ťahanie VD vo východiskovom stave (bez patentovania) - nová technológia

#### CHEMICKÉ ZLOŽENIE OCELI

Tabuľka 2

Označenie materiálu/výrobcu	Chemické zloženie (%)				
	C	Mn	Si	P	S
$\varnothing$ 10 C76 D / TŽ	0,778	0,63	0,21	0,010	0,008
$\varnothing$ 10 C82 D / TŽ	0,815	0,62	0,20	0,016	0,007

Materiál C76D sa patentoval za týchto podmienok:

- teplota ohrevu jednotlivých zón pece v procese austenitizácie: 1030 - 1000 - 980 - 950°C

- teplota olova: 565°C

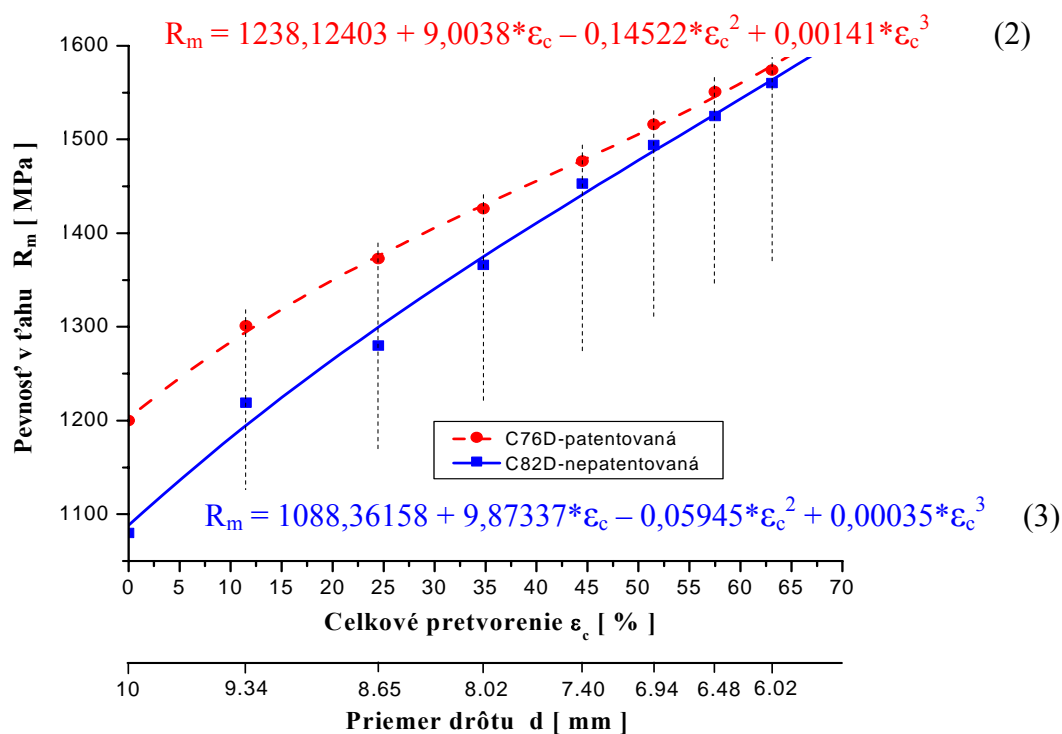
- dosiahnutá pevnosť: 1191 MPa

Následné morenie a povrchové úpravy sa robili u oboch materiálov rovnako. Drôt sa moril v kyseline soľnej, fosfátoval a boraxoval. Ťahanie drôtu prebiehalo rovnakými úbermi na šesť ťahov. Hodnoty pevnosti v ťahu deformačne spevnených drôtov po jednotlivých ťahoch sú graficky znázornené na obr. 2. a uvedené v tab. 3.

Priebeh spevňovania drôtu možno popísať polynómom tretieho stupňa [5].

$$R_m = A + B1 * \varepsilon_c + B2 * \varepsilon_c^2 + B3 * \varepsilon_c^3 \quad (1)$$

kde:  $\varepsilon_c$  – celkové pretvorenie, A, B1, B2, B3 – koeficienty



Obr. 2 Vplyv celkového pretvorenia na pevnosť drôtu v ťahu

Pre konkrétne ocele boli zistené polynómy (2,3), ktoré sú uvedené na obr. 2. Tieto polynómy platia pre skúšané ocele v skúšanom rozsahu pretvorenia.

#### HODNOTY MEDZE PEVNOSTI

Tabuľka 3

Materiál			Priemer drôtu (mm)							
			10	9,34	8,65	8,02	7,40	6,94	6,48	6,02
C76D Patent.	R <sub>m</sub>	MPa	1200	1301	1383	1426	1477	1516	1551	1574
C82D Nepatent.	R <sub>m</sub>	MPa	1080	1219	1280	1366	1453	1494	1505	1529

Po ťahaní drôtu nasledovalo jeho kontinuálne popúšťanie na zníženie napätia po ťahaní. Získane výsledky umožnili vykonať skúšku väčšieho rozsahu cca 30 ton s možnosťou spracovania výsledkov štatisticky. Tieto výsledky sú v tabuľke č. 4.

#### DOSIAHNUTÉ HODNOTY VYŠŠIEUVEDENÝCH VLASTNOSTÍ

Tabuľka 4

Technológia	A - pôvodná	B – nová	Predpis
Priemer (mm)/akosť	10,0 /C76D	10,0/ C82 D	
R <sub>m</sub> (MPa)	1061	1096	
Z (%)	32,0	24,0	

Patentovanie 1030-1000-980-950 °C, teplota olova 565 °C, $v = 5,9 \text{ m.min}^{-1}$			
R <sub>m</sub> (MPa)	1191,3		
Min.- Max. (MPa)	1162-1219		
Počet skúšok	39		
Ťahanie: 10,0 - 9,3 – 8,6 - 8,0 – 7,4 – 6,9 – 6,4 – 6,0 mm, $v = 3 \text{ m.s}^{-1}$			
R <sub>m</sub> (MPa)	1623,6	1623,0	
Min.- Max. (MPa)	1495-1669	1532-1745	
Počet skúšok	20	13	
Popúšťanie, $v = 105 \text{ m.min}^{-1}$ , teplota = 400°C			
R <sub>m</sub> (MPa)	1664	1651,7	
Min.-Max. (MPa)	1609-1751	1592-1695	Min. 1570
Počet skúšok	58	60	
A <sub>200</sub> (%)	4,27	4,37	
Min.-Max. (%)	3,5-5,5	3,5-5,2	Min. 3,5
Počet skúšok	9	60	
No (-)	7	6,92	
Min.-Max. (-)	6-6	5-8	Min. 3
Počet skúšok	5	60	

Ako vyplýva z tab. 4, požadované hodnoty parametrov hotových drôtov boli dosiahnuté. Hotové výrobky boli ďalej podrobené relaxačnej skúške, skúške korózie pod napätím, skúške únavy pri pulzujúcom ťahovom napätí a skúške v ťahu pri priečnom tlaku. Všetky požadované parametre boli dodržané. Podobne sa postupovalo aj pri ďalších výrobkoch, ako sú ďalšie priemery drôtov a lán.

### Záver

Všetky požadované parametre hotových drôtov na predpätú výstuž do betónu boli dosiahnuté aj bez patentovania valcovaných drôtov. Toto bolo preukázané rádovo na niekoľko tisíc tonách. Následne bola vyriešená podobným spôsobom aj výroba lanových a pružinových drôtov za veľmi úzkej spolupráce s dodávateľmi VD a odberateľmi hotových výrobkov. Pri výbere dodávateľov valcovaného drôtu na konkrétny výrobok rozhodovalo predovšetkým dosiahnutie technických parametrov a až ďalšími kritériami boli cenové a dodacie podmienky. Pre každý výrobok boli doporučení dvaja výrobcovia vstupných polotovarov.

Na základe preukázania spôsobilosti výroby každého výrobku po 32 ročnej nepretržitej prevádzke v Drôtovni Hlohovec bola odstavená a zlikvidovaná linka na patentovanie valcovaného drôtu, čím sa zavŕšila dlhodobá snaha o túto zmenu a dosiahli sa významné ekonomické efekty pri výrobe širokého spektra drôtov.

### Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] MARCOL, J. *Tažený ocelový drát*. Bohumín: ŽDB, a.s. Bohumín, 1996.
- [2] TITTEL, V. a kol. *Výskum ťahania valcovaného drôtu bez patentovania. Správa pre záverečné posudzovanie*. Hlohovec: Drôtovňa Hlohovec, 2001.
- [3] TITTEL, V., KAMENČÍK, M. *Výskum technológie výroby drôtu  $\varnothing 7,5$  mm a lán  $\varnothing 15,7$  mm na predpätú výstuž. Správa pre záverečné posudzovanie*. Hlohovec: Drôtovňa Hlohovec, 2000.
- [4] TITTEL, V., MIKLOVIČ, J., KAMENČÍK, M. *Výskum výroby "prefa" výrobkov podľa návrhu EN 10 138. Správa pre záverečné posudzovanie*. Hlohovec: Drôtovňa Hlohovec, 2002.
- [5] SOBOTA, R., BAČA, J., ULÍK, A. *Matematischer Ausdruck der Tonnenform nach der Warmstauchung*. In *Zborník z konferencie CO – MAT – TECH*. Bratislava: STU, 2003.
- [6] HALÁS, M. *Výskum technológie výroby drôtov pre vysokopevné výstužne prvky do mostov. Diplomová práca*. Trnava: STU Materiálovotechnologická fakulta Trnava, 2001.