

Alfred CARBOGNO

BADANIA MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI PODŁUŻNEJ  
LIN WYRÓWNAWCZYCH OKRĄGŁYCH

**Streszczenie.** Czynnikiem wpływającym na poprawną i bezpieczną pracę lin wyrównawczych okrągłych w szybie jest prawidłowy dobór parametrów stacji zwrotnej tych lin. Na dobór ten ma wpływ znajomość wydłużania się lin podczas eksploatacji w szybie. Wydłużenie to można obliczyć znając wartość modułu sprężystości podłużnej lin. W literaturze krajowej do tej pory brak jest obszernych danych o module sprężystości  $E_1$  lin wyrównawczych okrągłych konstrukcji krajowej. Przedstawiono metodę oraz wyniki badań modułu  $E_1$  tych lin przeprowadzonych w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej (IMG Pol. Śl.). Podano również analizę teoretycznych metod obliczeń modułu sprężystości lin oraz wyniki obliczeń  $E_1$  dla badanych lin za pomocą wzoru J. Hankusa (GIG Katowice). Przeprowadzone badania wykazały, że otrzymane wartości modułu sprężystości  $E_1$  lin dużych średnic znacznie różnią się od wartości dotychczas podawanych w literaturze, a otrzymanych dla lin małych średnic. Badania potwierdziły przydatność wzorów J. Hankusa na obliczenie modułu  $E_1$  dla celów praktyki inżynierskiej.

### 1. Wstęp

Jednym z parametrów określających własności mechaniczne lin wyciągowych jest moduł sprężystości podłużnej  $E_1$  liny. Znajomość modułu sprężystości lin pozwala na obliczenie ich wydłużania się podczas eksploatacji w szybie. Jest to szczególnie ważne przy doborze parametrów stacji zwrotnej dla lin wyrównawczych okrągłych. Do tej pory uwzględnienie wydłużania się lin wyrównawczych w szybach było pomijane w kraju przy projektowaniu stacji zwrotnych, głównie z uwagi na brak danych o wartościach modułu sprężystości konstrukcji lin stosowanych jako wyrównawcze w Polsce. Z analizy dostępnej literatury dotyczącej modułu sprężystości lin stalowych, której obszerny wykaz podany w pracy [8] uzupełniono wykazem literatury w niniejszym artykule, wynika, że część autorów traktuje moduł sprężystości liny jako wartość czysto doświadczalną, a część podaje wzory teoretyczne na obliczenie jego wartości.

Badania rozpoczęte za granicą pod koniec ubiegłego stulecia wykazały już wtedy, że moduł sprężystości liny  $E_1$  jest mniejszy od modułu sprężystości materiałów drutów  $E$ , z których skręcona jest lina.

Możemy to zapisać za pomocą wzoru ogólnego:

$$E_1 = k \cdot E, \quad \text{MPa} \quad (1)$$

przy czym współczynnik  $k$  jest zawsze mniejszy od jedności  $k < 1$ .

Wartość współczynnika  $k$  podana przez różnych autorów wynosiła:

Bach	- $k = 0,375$	dla lin dwuzwitych,
Bauman	- $k = 0,33$	dla lin dwuzwitych,
Davies	- $k = 0,353$	dla lin splotkowych,
Hrabak	- $k = 0,6$	dla lin jednozwitych (spiralnych),
	$k = 0,36$	dla lin dwuzwitych,
	$k = 0,216$	dla lin trójzwitych,
Stephan	- $k = 0,74$	dla lin jednozwitych,
Dukielskij	- $k = 0,4-0,6$	dla lin dwuzwitych z rdzeniem organicznym,
Czitary	- $k = 0,6-0,85$	dla lin jednozwitych,
Pienkov	- $k = 0,5$	dla lin wielosplotkowych z rdzeniem metalicznym,

Według innych autorów

radzieckich -  $k = 0,65-0,85$  dla lin jednozwitych.

Wzór (1) z uwzględnieniem różnych wartości współczynnika  $k$  nie uwzględnia szczegółowych konstrukcji lin ani kątów zwicha drutów i splotek w linie.

## 2. Przegląd metod teoretycznych obliczeń modułu sprężystości podłużnej lin

A.N. Dinnik opierając się na uproszczonej teorii rozciągania lin wprowadził na określenie modułu sprężystości lin dwuzwitych następującą zależność:

$$E_1 = \frac{\sum_{i=0}^{i_w} z_i f_i E_i \cos^3 \alpha_i \cos^3 \beta}{\sum_{i=0}^{i_w} z_i f_i \sec \alpha_i \cdot \sec \beta} \quad (2)$$

gdzie:

$i_w$  - liczba warstw drutów w splotce,

$z_i$  - liczba drutów w  $i$ -tej warstwie,

$f_i$  - przekrój poprzeczny drutu  $i$ -tej warstwy,

$E_i$  - moduł sprężystości drutów  $i$ -tej warstwy,

$\alpha_i$  - kąt zwicha drutów w  $i$ -tej warstwie,

$\beta$  - kąt zwicha splotek w linie.

Wzór (2) po przekształceniu przyjmuje postać:

- dla lin dwuzwitych

$$E_1 = E \cos^4 \alpha \cdot \cos^4 \beta \quad (3)$$

- dla lin jednozwitych  $\beta = 0$

$$E_1 = E \cos^4 \alpha \quad (4)$$

Również Hudler podał na obliczenie modułu sprężystości liny dwuzwitej z rdzeniem organicznym wzór w postaci:

$$E_1 = E \left( \frac{E_{s1}}{E_s} \right) \frac{\sum_{i=0}^i z_i f_i \frac{E_{di}}{E}}{\sum_{i=0}^i z_i f_i} \quad (5)$$

gdzie:

$E_{di}$  - moduł sprężystości drutu  $i$ -tej warstwy w kierunku osi splotki,

$E_s$  - moduł sprężystości splotki,

$E_{s1}$  - moduł sprężystości splotki w kierunku osi liny,

pozostałe oznaczenia jak poprzednio.

Poniżej podano jeszcze wzory ostateczne na teoretyczne obliczenie modułów sprężystości  $E_1$  lin stalowych według różnych autorów:

- dla lin dwuzwitych

według P.P. Niesterowa

$$E_1 = \varepsilon (1 - \mu \operatorname{tg}^2 \beta) \cos^4 \alpha \cos^4 \beta \quad (6)$$

według M.M. Fiedorowa, R.W. Chapmana, E. Czitary'ego, E. Bocka

$$E_1 = E \cos^2 \alpha \cos^2 \beta \quad (7)$$

według G. Pichota

$$E_1 = E \cos^3 \alpha \cos^3 \beta \quad (8)$$

według F.W. Florińskiego

$$E_1 = \left( \frac{100 \gamma \sum f}{q} \right)^4 E \quad (9)$$

gdzie:

$\gamma = 0,0079 \text{ kg/cm}^3$  - gęstość materiału drutu,

$q$  - ciężar metra bieżącego liny,

$E = 2,2 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$  - moduł sprężystości materiału drutu,

$f$  - suma przekrojów poprzecznych wszystkich drutów liny,

po przekształceniu otrzymamy:

$$E_1 = 0,86 \cdot 10^6 \left( \frac{\sum f}{q} \right), \quad \text{daN/cm}^2 \quad (9a)$$

według A.A. Vajsona

$$E_1 = (80-120) \cdot 10^3 \sqrt{\frac{S_f}{S_n}}, \quad \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad (10)$$

gdzie:

$S_f$  - faktyczne obciążenie liny,

$S_n$  - nominalne obciążenie liny,

według M.F. Gluški

$$E_1 = \frac{A}{F_m} \quad (11)$$

gdzie: sztywność liny na rozciąganie

$$A = m a_0 (\cos^3 \beta - \mu \sin^2 \beta \cos \beta) \pm n \frac{c_0}{r_0} (2 \cos^2 \beta + \mu \cos \beta) \sin^3 \beta$$

(+) - dla liny współzwitej, (-) przeciwwzitej,

według K. Löttscha

$$E_1 = \sum \left\{ E \frac{F_k}{F_1} + E \frac{\cos^2 \alpha^0 \cos^2 \beta^x}{1 + \mu \sin^2 \alpha^0} \cdot \frac{F_p}{F_1} \right\} \frac{\cos^2 \beta^0 \cos^2 \beta^x}{1 + \mu \sin^2 \beta^0} \quad (12)$$

gdzie: oznaczenia w pracy [11].

We wszystkich powyższych wzorach  $\alpha$  - kąt zwicha drutu,  $\beta$  - kąt zwicha splotki w linie,  $\mu$  - współczynnik poprzecznego zwicha liny podczas jej rozciągania,  $E$  - moduł sprężystości materiału drutu,  $a_0$ ,  $c_0$  - uogólnio-

ne współczynniki sztywności splotki zwitej w linę [6],  $r_0$  - promień zwicia splotki w linie.

W celu obliczenia modułu sprężystości podłużnej  $E_1$  lin jednozwitych we wzorach (2) do (12), z wyjątkiem (9), należy wstawić za  $\beta = 0$ . Z przedstawionego przeglądu wzorów wynika, że ujmują one zależność modułu sprężystości  $E_1$  liny od parametrów zwicia drutów i splotek w linie względem modułu sprężystości materiału drutów  $E$ , natomiast nie uwzględniają one wpływu na wartość modułu sprężystości  $E_1$  bardzo istotnego obciążenia liny (średniego naprężenia rozciągającego linę, przy jakim wyznaczamy moduł) oraz innych parametrów konstrukcyjnych liny uwzględniających budowę liny. Z tego powodu uważa się, że przytoczone wzory są mało dokładne.

### 3. Analiza teoretyczna modułu sprężystości lin wielosplotkowych

Z przeprowadzonego rozeznania literaturowego wynika, że aktualnie za najbardziej miarodajne prace dotyczące modułu sprężystości podłużnej i odkształcenia wzdłużnego lin stalowych należy uznać prace J. Hankusa [7, 8], tym bardziej że dotyczą one lin o dużych średnicach, stosowanych jako liny wyciągowe w górnictwie. Z uwagi na obszerność badań zawartych w tych pracach oraz formę opracowania wyników badań w postaci regresyjnych modeli modułów sprężystości podłużnej lin, prace te należy uznać za unikalne w skali światowej. Dlatego w niniejszej pracy do analizy teoretycznej modułu sprężystości podłużnej lin wyrównawczych okrągłych wykorzystano wzory J. Hankusa.

Uzyskane modele regresji modułu sprężystości  $E_1$  mają następującą postać [8]:

- dla lin różnych konstrukcji

$$E_1 = 7242,9 - 11,878d_1 + 3360,97i_w - 25,5631d - 841,211i_s + \\ - 330,557p_s - 550,2791s - 588,0181p + 97,2286 - 568,30i_w^2 + \\ + 0,0487i_d^2 - 0,59886^2 \quad (13)$$

- dla lin trójkątnosplotkowych

$$E_1 = 9228,7 - 118,34d_1 + 100,196 + 0,992d_1^2 + 165,78i_w^2 - 0,6726^2 \quad (14)$$

- dla lin okrągłosplotkowych o punktowym i liniowym styku drutów współzwytych

$$E_1 = 9097,8 + 191,89d_1 - 3980,32i_w + 100,0976 - 2,911d_1^2 + 685,83i_w^2 + 799,82p_s^2 + 899,68i_s^2 - 0,00076^2 \quad (15)$$

- dla lin okrążyko- i owalnosplotkowych wielowarstwowych

$$E_1 = 112527,18 - 514,29d_1 + 15,31i_d - 80907,05i_s + 92,236 + 5,036d_1^2 + 15931,82i_s^2 - 0,5646^2 \quad (16)$$

gdzie:

$d_1$  - średnica liny,

$\sigma$  - naprężenie rozciągające, daN/mm<sup>2</sup>,

$i_w$  - liczba warstw drutów w splotce,

$i_d$  - liczba drutów w linii,

$i_s$  - liczba warstw splotek w linii,

$p_s$  - punktowy styk drutów,

$l_s$  - liniowy styk drutów,

$l_p$  - lina przeciwwytwita.

Analizowano liny, których przekroje przedstawiono na rys. 1:

- dwuwarstwowe typu GIG

konstrukcji 18 x 12 + A<sub>0</sub>,  $\phi$  40-44 mm,  $i_d = 216$ ,  $i_s = 2$

18 x 16 + A<sub>0</sub>,  $\phi$  46-60 mm,  $i_d = 238$ ,  $i_s = 2$

18 x 19 + A<sub>0</sub>,  $\phi$  62-66 mm,  $i_d = 342$ ,  $i_s = 2$

- trzywarstwowe

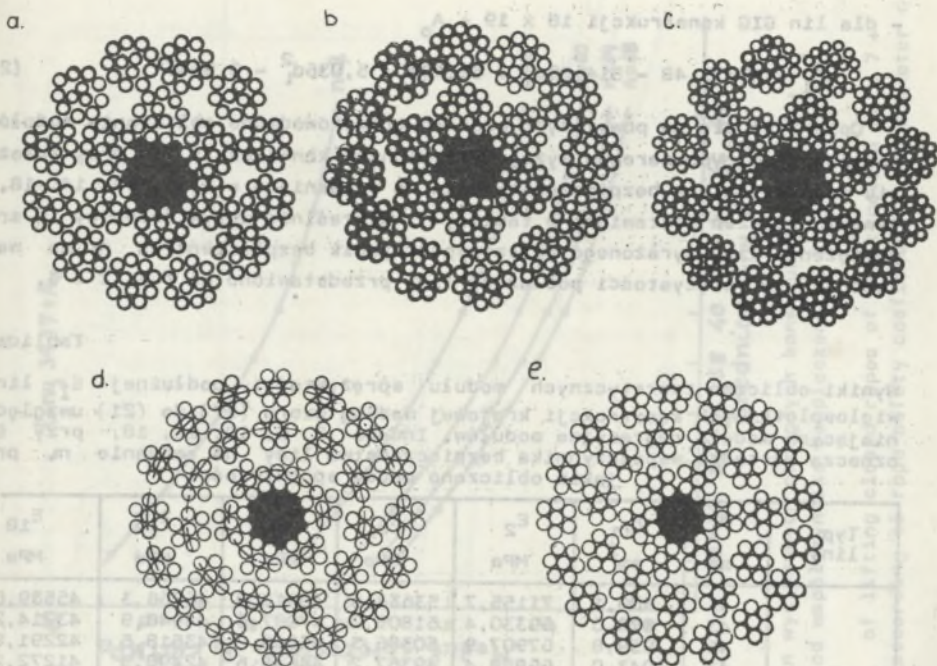
konstrukcji 33 x 7 + A<sub>0</sub>,  $\phi$  41-57 mm,  $i_d = 231$ ,  $i_s = 3$

konstrukcji 34 x 7 + A<sub>0</sub>,  $\phi$  30-48 mm,  $i_d = 238$ ,  $i_s = 3$

Wykorzystując do analizy wzór (16), po uwzględnieniu parametrów  $i_d$  oraz  $i_s$  dla badanych lin otrzymano wzory na obliczenie modułu sprężystości podłużnej:

- dla lin konstrukcji 33 x 7 + A<sub>0</sub>

$$E_1 = 16727,26 - 514,29d_1 + 92,236 + 5,036d_1^2 - 0,5646^2 \quad (17)$$



Rys. 1. Przekroje poprzeczne lin wyciągowych okrągłych wielosłotkowych konstrukcji krajowej stosowanych jako

a,b,c - liny wyrównawcze, dwuwarstwowe typu GIG, d - liny wyrównawcze trzywarstwowe konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$ , e - liny nośne do głębienia szybów, trzywarstwowe konstrukcji  $34 \times 7 + A_0$

Fig. 1. Cross-sections of lifting closed ropes of multi-layer rope construction used as

a,b,c - balance ropes, two-layer type GIG, d - balance three-layer ropes of construction  $33 \times 7 + A_0$ , e - lifting ropes for shaft sinking, three-layer of construction  $34 \times 7 + A_0$

- dla lin konstrukcji  $34 \times 7 + A_0$

$$E_1 = 16834,44 - 514,29d_1 + 92,236 + 5,036d_1^2 - 0,5646^2 \quad (18)$$

- dla lin GIG konstrukcji  $18 \times 12 + A_0$

$$E_1 = 17746,16 - 514,29d_1 + 92,236 + 5,036d_1^2 - 0,5646^2 \quad (19)$$

konstrukcji  $18 \times 16 + A_0$

$$E_1 = 18848,48 - 514,29d_1 + 92,236 + 5,036d_1^2 - 0,5646^2 \quad (20)$$

- dla lin GIG konstrukcji  $18 \times 19 + A_0$

$$E_1 = 19675,48 - 514,29d_1 + 92,236d_1^2 + 5,036d_1^3 - 0,564d_1^4 \quad (21)$$

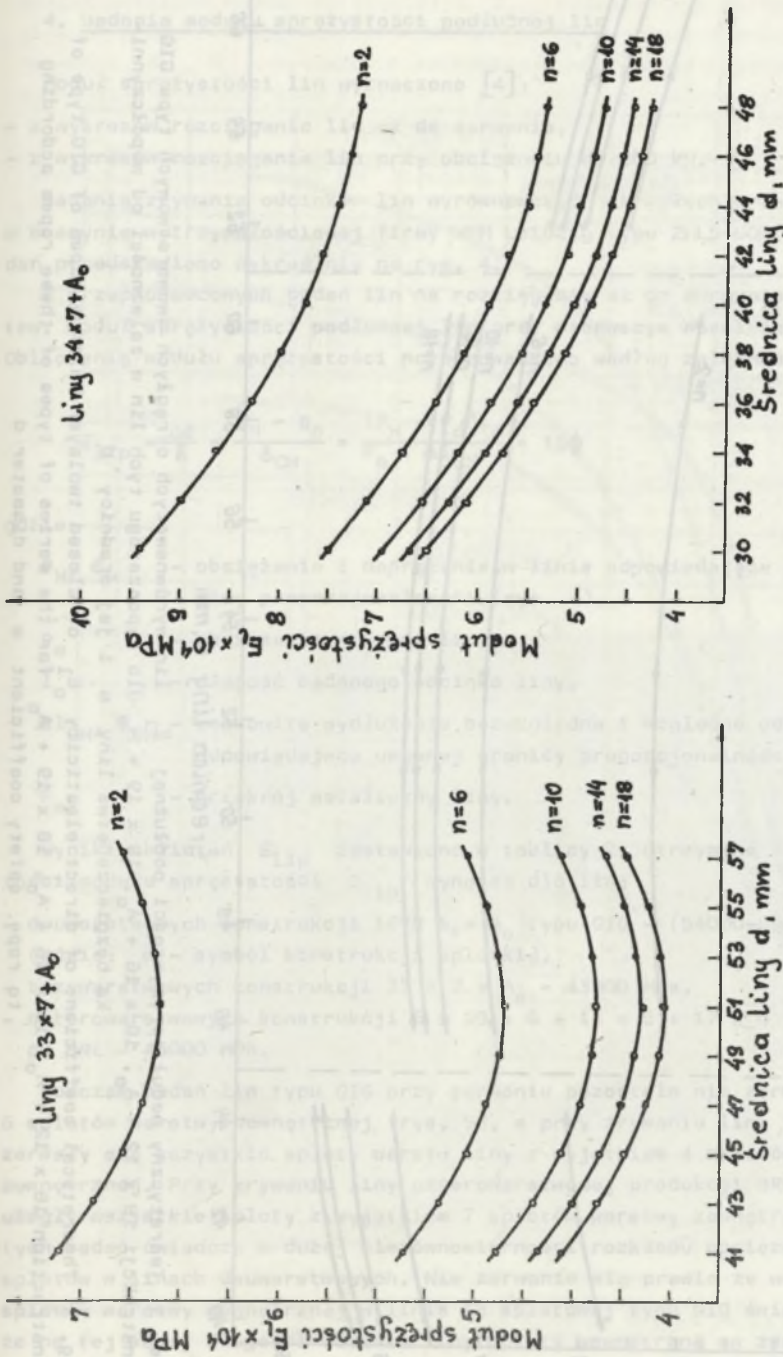
Opierając się na powyższych wzorach przeprowadzono obliczenia modułów sprężystości typoszeregów wyżej wymienionych konstrukcji lin przy założeniu współczynników bezpieczeństwa lin na zerwanie  $n = 2, 6, 10, 14, 18$ . Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 1. Wykreślił wpływ średnicy  $d$  oraz obciążenia liny wyrażonego przez współczynnik bezpieczeństwa  $m$  na wartość modułu sprężystości podłużnej liny przedstawione na rys. 2 i 3.

Tabela 1

Wyniki obliczeń teoretycznych modułu sprężystości podłużnej  $E_1$  lin wielosplotkowych konstrukcji krajowej według wzoru (17) do (21) uwzględniających modele regresyjne modułów. Indeks 2, 6, 10, 14, 18, przy  $E$  oznacza wartości współczynnika bezpieczeństwa liny na zerwanie  $m$ , przy jakim obliczono moduł sprężystości

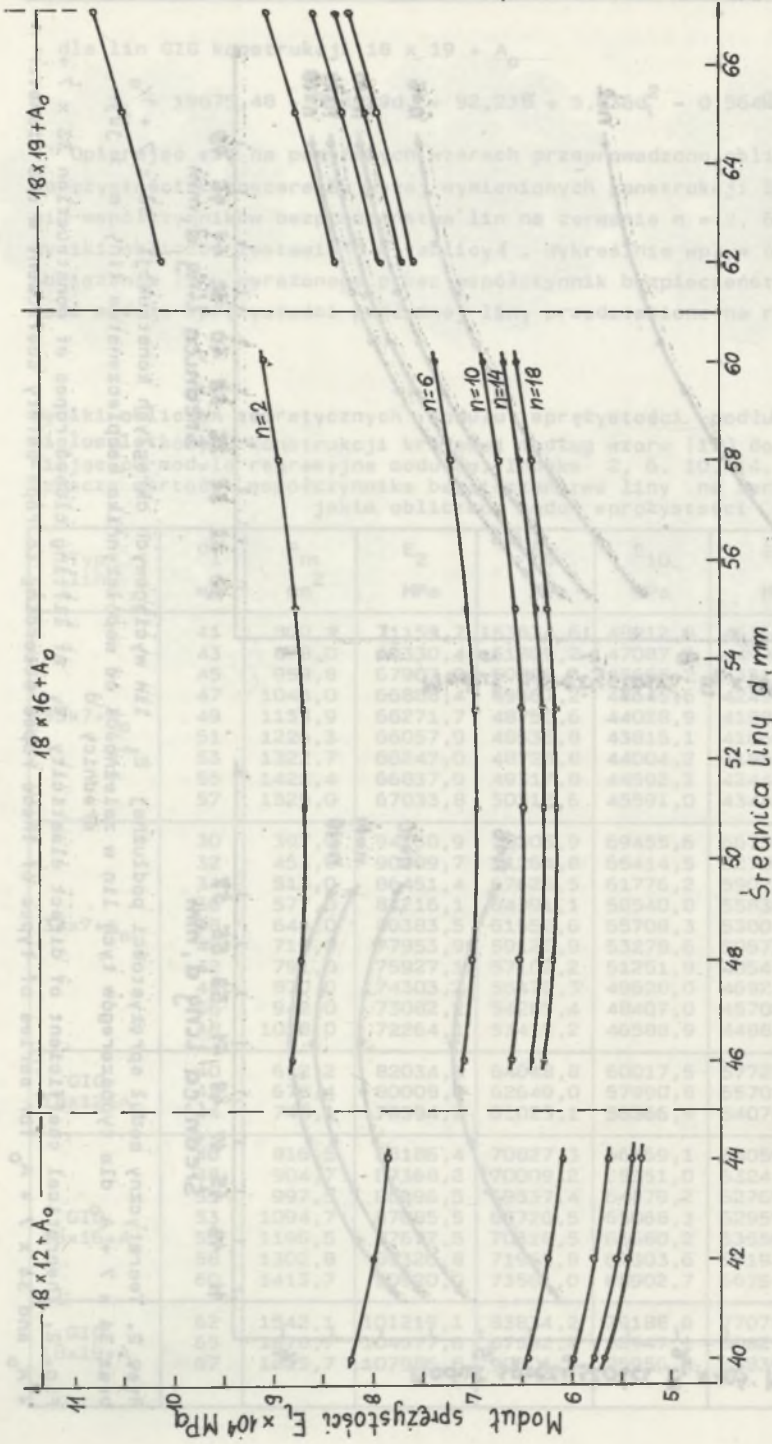
Typ liny	$d_1$ mm	$F_m$ mm <sup>2</sup>	$E_2$ MPa	$E_6$ MPa	$E_{10}$ MPa	$E_{14}$ MPa	$E_{18}$ MPa
33x7+A <sub>0</sub>	41	800,1	71155,7	53634,6	48912,9	46766,3	45539,6
	43	878,0	69330,4	51809,2	47087,6	44940,9	43714,2
	45	959,8	67907,9	50386,3	45665,2	43518,5	42291,8
	47	1043,0	66888,4	49367,2	44645,6	42498,9	41272,2
	49	1133,9	66271,7	48750,6	44028,9	41882,3	40655,6
	51	1226,3	66057,9	48535,8	43815,1	41668,5	40441,8
	53	1322,7	66247,0	48725,8	44004,2	41857,5	40630,8
	55	1422,4	66837,9	49317,8	44592,2	42449,5	41222,8
	57	1525,0	67033,8	50312,6	45591,0	43444,3	42217,6
34x7+A <sub>0</sub>	30	397,0	94130,9	75305,9	69455,6	66750,9	65172,1
	32	453,0	90089,7	71264,8	65414,5	62709,7	61130,9
	34	513,0	86451,4	67626,5	61776,2	59071,1	57492,7
	36	577,0	83216,1	64391,1	58540,8	55836,0	54257,3
	38	644,0	80383,5	61558,6	55708,3	53003,5	51424,7
	40	715,0	77953,9	59128,9	53278,6	50573,9	48995,1
	42	791,0	75927,1	57102,2	51251,9	48547,1	46968,3
	44	870,0	74303,2	55478,3	49628,0	46923,2	45344,5
	46	942,0	73082,2	54285,4	48407,0	45702,2	44123,5
48	1038,0	72264,1	53439,2	46588,9	44884,1	43305,3	
GIG 18x12+A <sub>0</sub>	40	612,2	82034,8	64648,8	60017,5	57729,5	56714,1
	42	678,4	80008,0	62649,0	57990,8	55702,8	54687,4
	44	748,1	78394,2	61025,1	56366,9	54078,9	53063,5
GIG 18x16+A <sub>0</sub>	46	816,5	88186,4	70827,3	66169,1	64059,6	62865,7
	48	904,7	87368,2	70009,2	65351,0	63241,7	62047,6
	51	997,5	86896,5	69537,4	64879,2	62769,9	61575,8
	53	1094,7	87085,5	69726,5	65068,3	62959,0	61764,9
	55	1196,5	87677,5	70318,5	65360,2	63550,9	62356,8
	58	1302,8	89320,8	71961,8	67303,6	65194,3	64000,2
60	1413,7	90920,0	73561,0	68902,7	66793,4	65599,3	
GIG 18x19+A <sub>0</sub>	62	1542,1	101219,1	83834,2	79188,6	77071,4	75868,8
	65	1678,7	104977,6	87592,7	82947,1	80829,8	79627,2
	67	1815,7	107986,8	90601,9	85956,3	83839,1	82636,5





Rys. 2. Teoretyczny moduł sprężystości podłużnej  $E_1$  lin wyciągowych okrągłych konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  oraz  $34 \times 7 + A_0$  dla typoszeręgów tych lin w zależności od współczynnika bezpieczeństwa liny  $m$  i jej średnicy  $d$

Fig. 2. Theoretical coefficient of direct elasticity  $E_1$  of lifting closed ropes of construction  $33 \times 7 + A_0$  and  $34 \times 7 + A_0$  for series of types of these ropes according to rope safety coefficient  $m$  and diameter  $d$



Rys. 3. Teoretyczny moduł sprężystości podłużnej  $E_1$  lin wyrównawczych okrągłych dwuwarstwowych typu GIG konstrukcji  $18 \times 12 + A_0$ ,  $18 \times 16 + A_0$ ,  $18 \times 19 + A_0$  dla typoszerzgu tych lin w zależności od współczynnika bezpieczeństwa liny  $m$  i jej średnicy  $d$

Fig. 3. Theoretical coefficient of direct elasticity  $E_1$  of closed twolayer balance ropes of GIG type of construction  $18 \times 12 + A_0$ ,  $18 \times 16 + A_0$ ,  $18 \times 19 + A_0$  for the series of types of these ropes according to rope safety coefficient  $m$  and diameter  $d$

4. Badania modułu sprężystości podłużnej lin

Moduł sprężystości lin wyznaczono [4]:

- z wykresów rozciągania lin aż do zerwania,
- z wykresów rozciągania lin przy obciążeniu do 200 kN.

Badania zrywania odcinków lin wyrównawczych okrągłych przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej firmy WPM Leipzig typu ZILS-500. Wyniki badań przedstawiono wykreślnie na rys. 4.

Z przeprowadzonych badań lin na rozciąganie aż do zerwania wyznaczono tzw. moduł sprężystości podłużnej lin przy pierwszym rozciąganiu  $E_{11p}$ . Obliczenia modułu sprężystości przeprowadzono według zależności:

$$E_{11p} = \frac{\Delta \sigma}{\delta} = \frac{\sigma_H - \sigma_0}{\epsilon_{CH}} = \frac{(P_H - P_0) l_0}{F_m \cdot \Delta l_{CH}} = \operatorname{tg} \phi \quad (22)$$

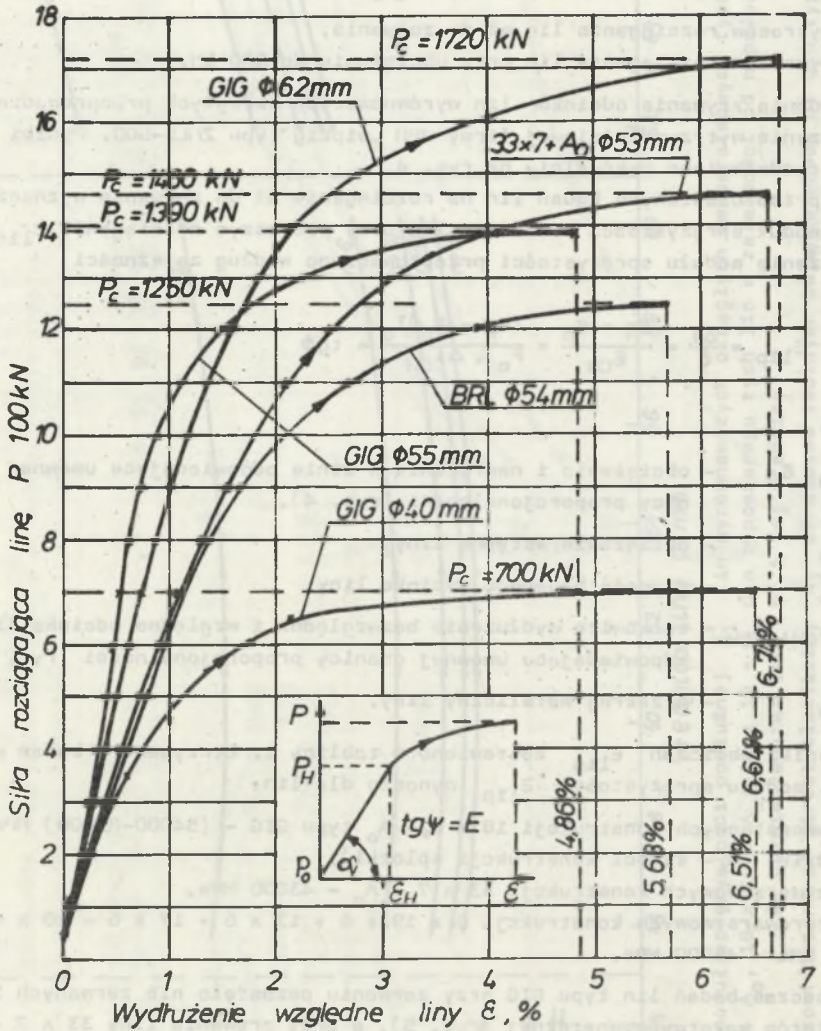
gdzie:

- $P_H, \sigma_H$  - obciążenie i naprężenie w linii odpowiadające umownej granicy proporcjonalności (rys. 4),
- $P_0$  - obciążenie wstępne linii,
- $l_0$  - długość badanego odcinka linii,
- $\Delta l_{CH}, \epsilon_{CH}$  - całkowite wydłużenie bezwzględne i względne odcinka linii odpowiadające umownej granicy proporcjonalności (rys. 4),
- $F_m$  - przekrój metaliczny linii.

Wyniki obliczeń  $E_{11p}$  zestawiono w tabelicy 2. Otrzymane z badań wartości modułu sprężystości  $E_{11p}$  wynoszą dla lin:

- dwuwarstwowych konstrukcji  $18 \times m_s + A_0$  typu GIG - (54000-89000) MPa (gdzie:  $m_s$  - symbol konstrukcji splotki),
- trzywarstwowych konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  - 43000 MPa,
- czterowarstwowych konstrukcji  $6 \times 19 + 6 + 13 \times 6 + 17 \times 6 + 20 \times 6$  typu BRL - 46000 MPa.

Podczas badań lin typu GIG przy zerwaniu pozostało nie zerwanych 5 lub 6 splotów warstwy wewnętrznej (rys. 5), a przy zrywaniu linii  $33 \times 7 + A_0$  zerwały się wszystkie sploty warstw linii z wyjątkiem 4 splotów warstwy zewnętrznej. Przy zrywaniu linii czterowarstwowej produkcji BRL zerwaniu uległy wszystkie sploty z wyjątkiem 7 splotów warstwy zewnętrznej. Wyniki tych badań świadczą o dużej nierównomierności rozkładu obciążeń warstw splotów w linach dwuwarstwowych. Nie zerwanie się prawie ze wszystkich splotów warstwy wewnętrznej w linii 18 splotowej typu GIG świadczy o tym, że na tej samej długości odcinka linii sploty wewnętrzne są znacznie dłuższe od splotów warstw zewnętrznych, co oznacza, że w praktyce obciążenia



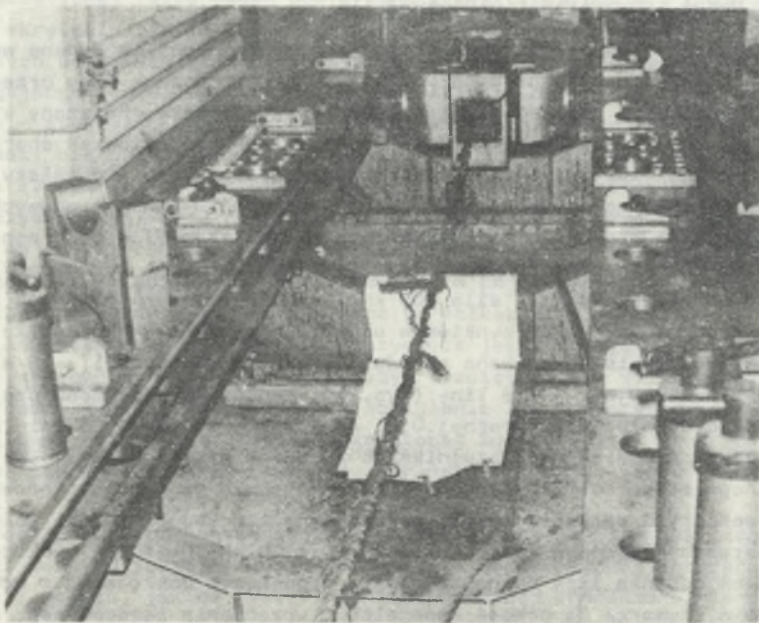
Rys. 4. Przebieg wydłużania się lin wyrównawczych okrągłych podczas próby zrywania w układzie siła rozciągająca  
 $P$  - wydłużenie względne odcinka liny  $\epsilon$

Fig. 4. Course of closed balance rope extension during the breaking trial in the system tensile force  
 $P$  - relative extension of the rope segment  $\epsilon$

Tablica 2

Wyniki obliczeń modułu sprężystości  $E_{11p}$  badanych lin wyrównawczych okrągłych z próby rozciągania aż do zerwania.  $P_H$  - umowna granica proporcjonalności,  $\epsilon_{CH}$ ,  $\sigma_H$  - wydłużenie całkowite i naprężenie odpowiadające  $P_H$ ,  $P_C$  - siła zrywająca linę w całości,  $P_W$  - siła wyznaczona liny (suma sił zrywających druty)

Konstrukcja i średnica liny d, mm	Obciążenie, kN		Stosunek			$\epsilon_{CH}$ %	Naprężenie rozciągające		Moduł sprężystości $E_{11p}$ MPa
	$P_W$	$P_C$	$P_H$	$\frac{P_H}{P_C}$	$\frac{P_H}{P_W}$		$\sigma_H$ MPa	$\sigma_\sigma$ MPa	
40, GIG	870	700	350	0,50	0,40	0,59	572	82	83050
55, GIG	1550	1390	800	0,57	0,52	0,65	617	39	88920
62, GIG	1850	1720	900	0,52	0,48	1,02	582	32	53921
53,33x7+A <sub>0</sub>	1712	1465	800	0,54	0,46	1,32	605	38	42954
54, 4-war. BRL	1380	1250	700	0,56	0,51	1,14	565	40	46052



Rys. 5. Widok zerwanego odcinka liny wyrównawczej okrągłej typu GIG  $\varnothing$  55 mm  
 Fig. 5. View of a broken closed balance rope segment of type GIG  $\varnothing$  55 mm

przenoszą głównie sploty zewnętrzne. Efektem tej nieprawidłowości jest między innymi rozwarstwianie się tych lin w postaci wychodzenia dłuższych splotów wewnętrznych na zewnątrz liny. Wyniki zrywania lin trzy- i cztero-warstwowych świadczą o korzystniejszym rozkładzie w nich obciążeń niż w linach dwuwarstwowych. Praktycznie można przyjąć, że dla lin okrągłych o dwu, trzech oraz czterech warstwach splotów i organicznym rdzeniu wartości obciążenia  $P_H$  zawierają się w granicach:

$$P_H = (0,40-0,52)P_W \quad \text{oraz} \quad P_H = (0,50-0,57)P_C \quad (23)$$

gdzie:

$P_W, P_C$  - wyznaczona i rzeczywista siła zrywająca linę w całości.

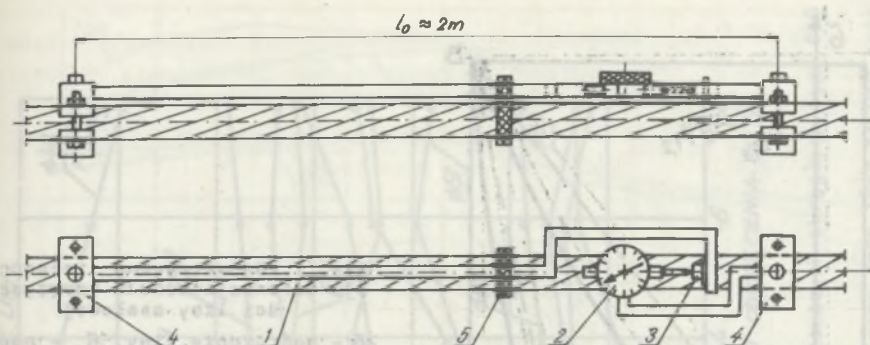
Obciążenie  $P_H$  odpowiadające umownej granicy proporcjonalności jest zatem równe lub nieco większe od połowy rzeczywistej siły zrywającej linę w całości, co jest zgodne z wynikami badań GIG [7].

Obliczona na podstawie badań sprawność lin wielowarstwowych wyrównawczych wynosi  $\eta = 80,4$  do 92%, jest to więc rozrzut bardzo duży, są to jednak wartości większe od minimalnej wartości  $\eta = 0,75$ , zalecanej przez przepisy górnicze.

#### 4.1. Moduł sprężystości podłużnej lin

Moduł sprężystości podłużnej i wydłużenia odcinków lin badano według metody przedstawionej w pracach [2, 3, 8]. Każdy odcinek liny przed rozpoczęciem właściwych pomiarów został dwukrotnie wstępnie obciążony stopniowo siłą do 200 kN, miało to na celu ujednoczenie wyjściowych charakterystyk lin różnej lub tej samej konstrukcji. Zabiegu tego nie należy mylić z celowo wykonywaną czynnością wstępnego naciągania lin wyciągowych, tzw. trenowania siłą około 0,5 siły zrywającej linę, mającą na celu poprawienie ich własności mechanicznych. Badania przeprowadzono w poziomej zrywance do lin o maksymalnej sile 800 kN. Długość badanych odcinków lin, których końce zalane były cynkiem w uchwytych stożkowych, wynosiła 5-8 m. Pomiarów wydłużenia dokonywano na odcinku liny o długości  $l_0 = 2$  m pomiędzy dwoma przekrojami A i B liny (rys. 6). Wydłużenie mierzono czujnikiem zegarowym o działce elementarnej 0,01 mm i zakresie 10 mm. W celu zwiększenia zakresu pomiarowego czujnika do 20 mm po przekroczeniu jego zakresu nominalnego stosowano dodatkowo pomiędzy końcówką czujnika a końcem ramienia podpory A wzorcową płytkę magnetyczną o grubości 10 mm. Jako obciążenie wstępne stosowano naciąg w linie  $P_0 = 20$  kN. Pomiarów wydłużeń bezwzględnych odcinka liny dokonywano przy stopniowym dokręcaniu i odkręcaniu liny w zrywance za pomocą specjalnego urządzenia zamocowanego na uchwycie stożkowym liny od strony śruby napinającej zrywarki. Wydłużenia względne liny obliczono z zależności:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% \quad (24)$$

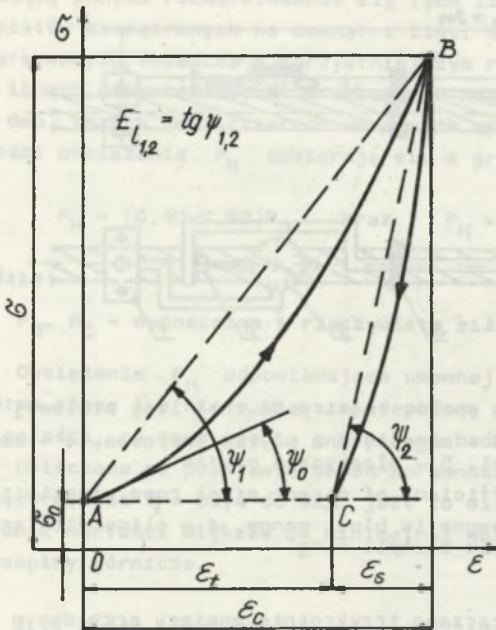


Rys. 6. Sposób pomiaru modułu sprężystości podłużnej liny stalowej  
 1 - lina, 2 - czujnik zegarowy, 3 - magnetyczna płytk wzorcowa, 4 - zaciski z ramionami, 5 - elastyczna obejma

Fig. 6. Way of measuring the coefficient of direct steel rope elasticity  
 1 - rope, 2 - clock sensor, 3 - magnetic block gage, 4 - clips with arms, 5 - elastic clamp ring

W początkowej fazie badań powtarzano trzykrotnie pomiary przy danym stanie skręcenia liny w zrywarce. Z uwagi jednak na powtarzalność wyników, w dalszych badaniach czynności tych zaniechano. Wybrany zakres obciążeń rozciągających od 0-200 kN podczas badań lin uzasadnia się tym, że przy aktualnie stosowanych głębokościach szybów, obciążenie liny wynikające z jej masy nie przekracza 120 kN. Uwzględniając przyszłościowy wzrost głębokości szybów do 1500 m, otrzymano np. dla aktualnie stosowanych lin wyrównawczych okrągłych o największych średnicach  $\varnothing$  62 mm dla lin typu GIG i  $\varnothing$  57 mm dla lin 33 x 7 + A<sub>0</sub>, obciążenie 210 kN. Wyniki badań względnego wydłużenia jednostkowego przedstawiono w [4]. Zwraca się uwagę, że są to wartości wydłużeń lin nowych, lecz po kilkakrotnym ich obciążeniu, czyli lin wstępnie naciągniętych. Oczywiście jest, że wydłużenia jednostkowe lin fabrycznie nowych przy pierwszym rozciąganiu są kilkakrotnie większe. Z badań wynika, że od 3 do 10 obciążenia lin w maszynie wytrzymałościowej dany rodzaj wydłużeń dla określonej konstrukcji i średnicy liny zmieniał się w niewielkim zakresie, parametry te można uznać za ustabilizowane.

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów wydłużeń lin obliczono ich wartości modułów sprężystości podłużnej dla geometrycznej interpretacji definicji modułu, jak na rys. 7. Ponieważ badania prowadzono nie od siły  $P_1 = 0$ , lecz od obciążenia wstępnego  $P_0$ , więc zależności na obliczenie modułu sprężystości przyjęto w postaci:



Rys. 7. Geometryczna interpretacja definicji modułu sprężystości liny stalowej

$\sigma$  - naprężenie liny,  $\sigma_0$  - naprężenie wstępne liny,  $\epsilon_c$ ,  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_t$  - całkowite, sprężyste i trwałe wydłużenie względne liny fabrycznie nowej

Fig. 7. Geometric interpretation of the modulus of elasticity definition of steel rope

$\sigma$  - rope stress,  $\sigma_0$  - initial rope stress,  $\epsilon_c$ ,  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_t$  - total, elastic and durable relative extension of just produced line

- dla obciążania

$$E_{11} = \frac{\sigma - \sigma_0}{\epsilon_c} = \frac{(P_1 - P_0) \cdot l_0}{F_m \cdot \Delta l_c} \quad (25)$$

- dla odciążania

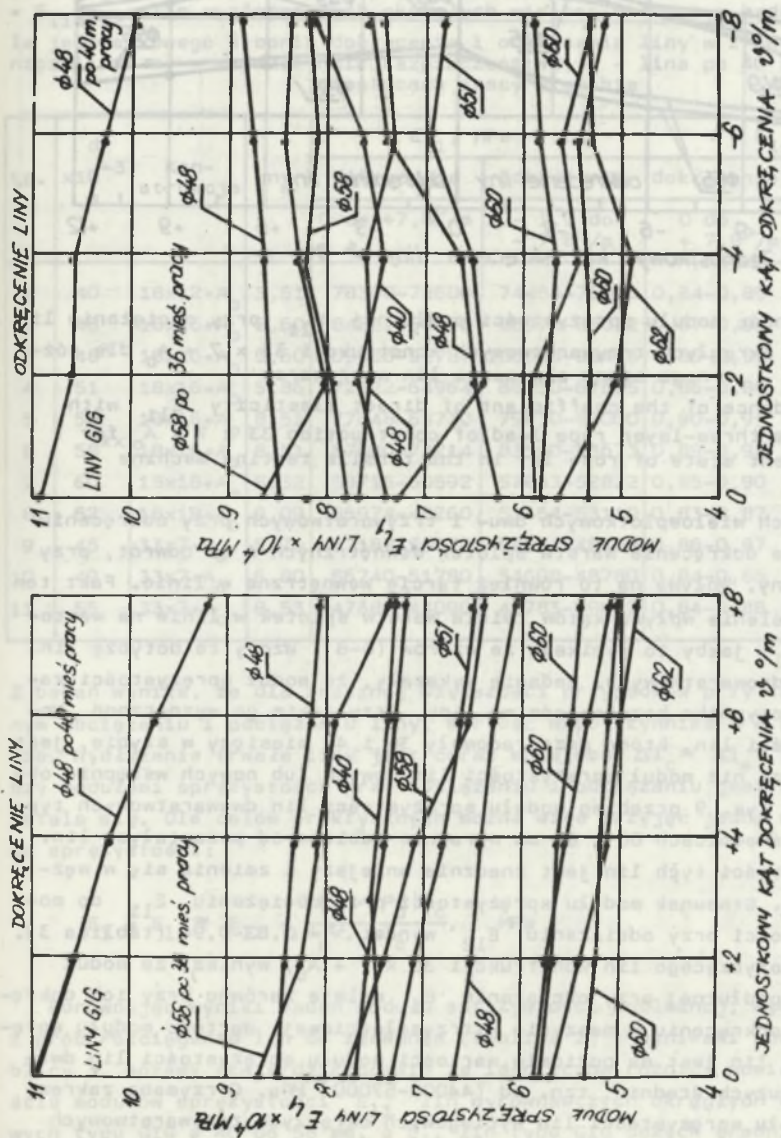
$$E_{12} = \frac{\sigma - \sigma_0}{\epsilon_c - \epsilon_t} = \frac{(P_1 - P_0) \cdot l_0}{F_m \cdot \Delta l_s} \quad (26)$$

gdzie:

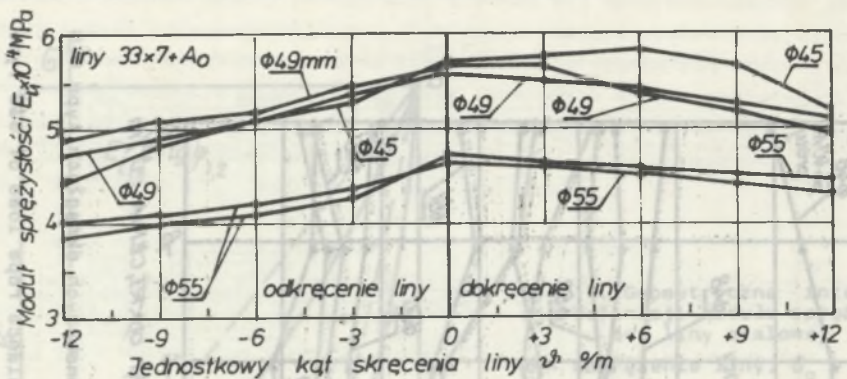
- $\sigma_0, \sigma$ ;  $P_0, P_1$  - naprężenia i obciążenia wstępne i końcowe,
- $\epsilon_c, \epsilon_t$  - względne wydłużenie liny całkowite i trwałe,
- $\Delta l_c, \Delta l_s$  - wydłużenie liny całkowite i sprężyste,
- $F_m, l_0$  - oznaczenia jak poprzednio.

Należy zaznaczyć, że tak wyznaczone wartości modułu sprężystości są wartościami średnimi. Wyniki badań przedstawiono wykreślnie na rys. 8 i 9. Z przeprowadzonych badań lin typu GIG wynika, że przy dokręcaniu liny moduł sprężystości podłużnej maleje. W przypadku odkręcania liny wartości modułu praktycznie się nie zmieniały. Przebieg charakterystyk jest mniej uporządkowany niż w przypadku dokręcania lin. Wpływ na powyższe może mieć





Rys. 8. Zależność modułu sprężystości podłużnej  $E_{11}$  przy obciążaniu lin wyrównawczych okrągłych typu GIG dla różnego stanu skręcenia lin w zrywarce  
 Fig. 8. Dependence of the coefficient of direct elasticity  $E_{11}$  with closed balance rope load of GIG type for different state of rope lay in the tensile testing machine



Rys. 9. Zależność modułu sprężystości podłużnej  $E_{11}$  przy obciążaniu lin wyrównawczych okrągłych trzywarstwowej konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  dla różnego stanu skręcenia lin w zrywarcie

Fig. 9. Dependence of the coefficient of direct elasticity  $E_{11}$  with closed balance three-layer rope load of construction  $33 \times 7 + A_0$  for different state of rope lay in the tensile testing machine

to, że w linach wielosplotkowych dwu- i trzywarstwowych przy odkręcaniu liny występuje dokręcenie warstw splotek wewnętrznych i na odwrót, przy dokręcaniu liny. Wpływa na to również tarcie wewnętrzne w linie. Fakt ten utrudnia określenie wpływu kątów zwicia warstw splotek w linie na wartości modułu  $E_1$ , jakby to wynikało ze wzorów (6-8). Wzory te dotyczą lin dwusztych jednowarstwowych. Badania wykazały, że moduł sprężystości zależy od współczynnika bezpieczeństwa liny, przy jakim go wyznaczono. Moduł sprężystości lin, które przepracowały 36 i 40 miesięcy w szybie, jest znacznie wyższy niż moduł sprężystości lin nowych lub nowych wstępnie obciążonych. Na rys. 9 przebieg modułu sprężystości lin dwuwarstwowych typu GIG o dużych średnicach 60 i 62 mm wyraźnie odbiega od pozostałych lin. Moduł sprężystości tych lin jest znacznie mniejszy i zmienia się w węższym zakresie. Stosunek modułu sprężystości przy obciążaniu  $E_{11}$  do modułu sprężystości przy odciążaniu  $E_{12}$  wynosi  $\nu = 0,83-0,94$  (tablica 3).

Z rys. 9 dotyczącego lin konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$ , wynika, że moduł sprężystości podłużnej przy obciążaniu  $E_1$  maleje zarówno przy ich dokręceniu, jak i odkręceniu w maszynie wytrzymałościowej. Wartość modułu sprężystości tych lin jest na poziomie wartości modułu sprężystości lin dwuwarstwowych dużych średnic, tzn. od (44000-57000) MPa. Otrzymane zakresy wartości modułu sprężystości lin wyciągowych okrągłych trzywarstwowych produkcji krajowej są zbliżone z zaleceniami angielskimi, dotyczącymi lin trzywarstwowych, według których należy przyjmować  $E_{11} = (47000-70000)$  MPa [9, 10] oraz częściowo z wynikami badań przeprowadzonych w CSRR [3]. Ogólnie można stwierdzić, że otrzymane przedziały zmiany modułu sprężystości  $E_{11}$  są zgodne z badaniami przeprowadzonymi w GIG Katowice [8].

Tablica 3

Zakres zmian modułu sprężystości podłużnej przy obciążaniu  $E_{11}$  oraz obliczonego stosunku modułów sprężystości przy obciążaniu i odciążaniu  $\nu = E_{11}/E_{12}$  lin wyrównawczych okrągłych wielosplotowych w badanym przedziale jednostkowego stopnia dokręcenia i odkręcenia liny w zrywce,  $d$  - średnica liny,  $m_s$  - współczynnik bezpieczeństwa,  $x$  - lina po 40 i  $xx$  - po 36 miesiącach pracy w szybie

Lp.	$d$ $\times 10^{-3}$ m	Konstrukcja	$m_s$	$E_{11}$ , MPa		$\nu = E_{11}/E_{12}$	
				dokręcenie	odkręcenie	dokręcenie	odkręcenie
				0 do $+7,8^0/m$	- $1,9$ do - $7,8^0/m$	0 do $+7,8^0/m$	- $1,9$ do - $7,8^0/m$
1	40	18x12+A <sub>0</sub>	3,61	78300-72600	74454-76000	0,84-0,89	0,87-0,88
2	48	18x16+A <sub>0</sub>	5,60	84821-60670	85972-65032	0,87-0,91	0,86-0,91
3	48 <sup>x</sup>	18x16+A <sub>0</sub>	5,60	109826-91787	106000-98445	0,86-0,93	0,86-0,89
4	51	18x16+A <sub>0</sub>	5,86	72822-64964	66050-67895	0,86-0,88	0,85-0,88
5	58	18x16+A <sub>0</sub>	8,51	77848-63730	79870-82000	0,90-0,91	0,91-0,92
6	58 <sup>xx</sup>	18x16+A <sub>0</sub>	8,51	87000-73214	83500-83673	0,89-0,94	0,88-0,925
7	60	18x16+A <sub>0</sub>	8,32	58715-50592	57853-52822	0,85-0,90	0,841-0,91
8	62	18x19+A <sub>0</sub>	9,09	56974-48260	51454-53110	0,83-0,87	0,83-0,86
9	45	33x7+A <sub>0</sub>	5,76	57187-56670	52974-48320	0,86-0,87	0,85-0,91
10	49	33x7+A <sub>0</sub>	6,80	56740-51780	54608-48780	0,84-0,86	0,85-0,89
11	55	33x7+A <sub>0</sub>	8,53	47380-44090	43783-39687	0,84-0,88	0,85-0,89

Z badań wynika, że dla znacznej większości przypadków przy każdym kolejnym obciążeniu i odciążeniu liny, wartość współczynnika  $\nu = E_{11}/E_{12}$  rośnie. Wydłużenie trwałe liny jest coraz mniejsze  $\Delta l_c \approx \Delta l_s$  i różnica między modułami sprężystości przy obciążeniu i odciążaniu jest nieznaczna i ustala się. Dla celów praktycznych można więc przyjąć jedną wartość modułu sprężystości:

$$E_1 = E_{11} \approx E_{12} = \frac{(P_1 - P_0)l_c}{F_m \cdot \Delta l_c}, \quad \text{MPa} \quad (27)$$

Porównując wyniki badań modułu sprężystości podłużnej, wyznaczonego z prób rozciągania lin do zerwania (tablica 2) z wynikami podanymi w tablicy 3, możemy stwierdzić prawie że identyczną różnicę pomiędzy wartością modułów sprężystości  $E_{11}$  lin wyrównawczych okrągłych dwuwarstwowych typu GIG  $\varnothing$  40 do 58 mm, a  $E_{11}$  lin typu GIG dużych średnic  $\varnothing$  62 mm oraz lin trzywarstwowych konstrukcji 33 x 7 + A<sub>0</sub>. Należy zaznaczyć, że podane na rys. 8 i 9 oraz w tablicy 3 wartości modułów sprężystości  $E_{11}$  odnoszą się do lin nowych wstępnie obciążonych, co wynika z przyjętego sposobu badań. Na podstawie przeprowadzonych badań modułu  $E_{11}$  do dalszych rozważań przyjęto wartości  $E_{11}$  podane w tablicy 4.

Tablica 4

Wartości modułu sprężystości podłużnej  $E_{11}$  lin wyrównawczych okrągłych  
x - według danych angielskich

Lp.	Konstrukcja liny	Średnica d $\times 10^{-3}$ m	Stan liny	$E_{11}$ , MPa	
				zakres	średnia
1	GIG 18x12+A <sub>0</sub> GIG 18x16+A <sub>0</sub>	40-58	nowa wstępnie obciążona	61000-84800	72500
2	GIG 18x16+A <sub>0</sub>	48-58	po 3 latach pracy	83000-109000	96000
3	GIG 18x16+A <sub>0</sub> GIG 18x10+A <sub>0</sub>	60-70	nowa wstępnie obciążona	48300-58700	55000
4	33x7+A <sub>0</sub>	45-57	nowa wstępnie obciążona	40000-56700	50000
5	4 warstwowe prod. BRL	44-76	nowa wstępnie obciążona	46000 47000-70000 <sup>x</sup>	50000

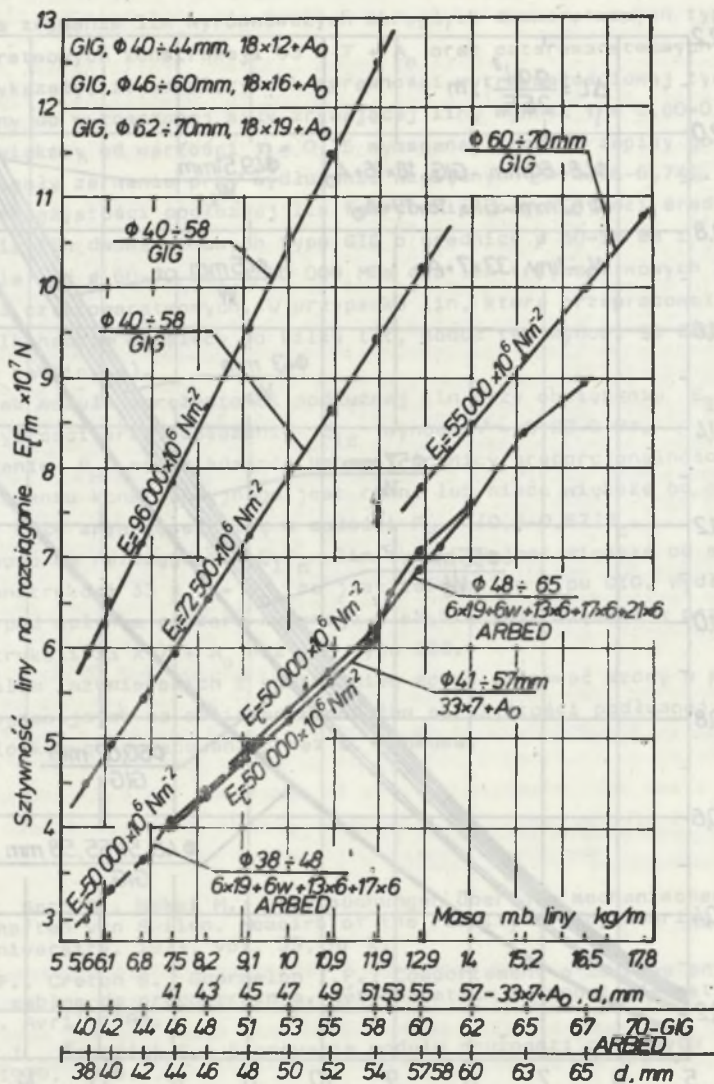
Na podstawie znajomości modułu sprężystości  $E_1$  przeprowadzono obliczenia sztywności lin na rozciąganie  $E_1 F_m$  (rys. 10) oraz wydłużenia się lin pod wpływem własnej masy (rys. 11) według zależności:

$$\Delta l = g \int_0^L \frac{q dx}{E_1 F_m} = \frac{g \cdot q \cdot L^2}{2 E_1 F_m}, \quad \text{m} \quad (28)$$

gdzie:

- L - długość zwisającej liny, m,
- $E_1 F_m$  - sztywność liny na rozciąganie, N,
- q - masa 1 metra liny, kg/m,
- g - przyspieszenie ziemskie,
- x - bieżąca współrzędna długości liny.

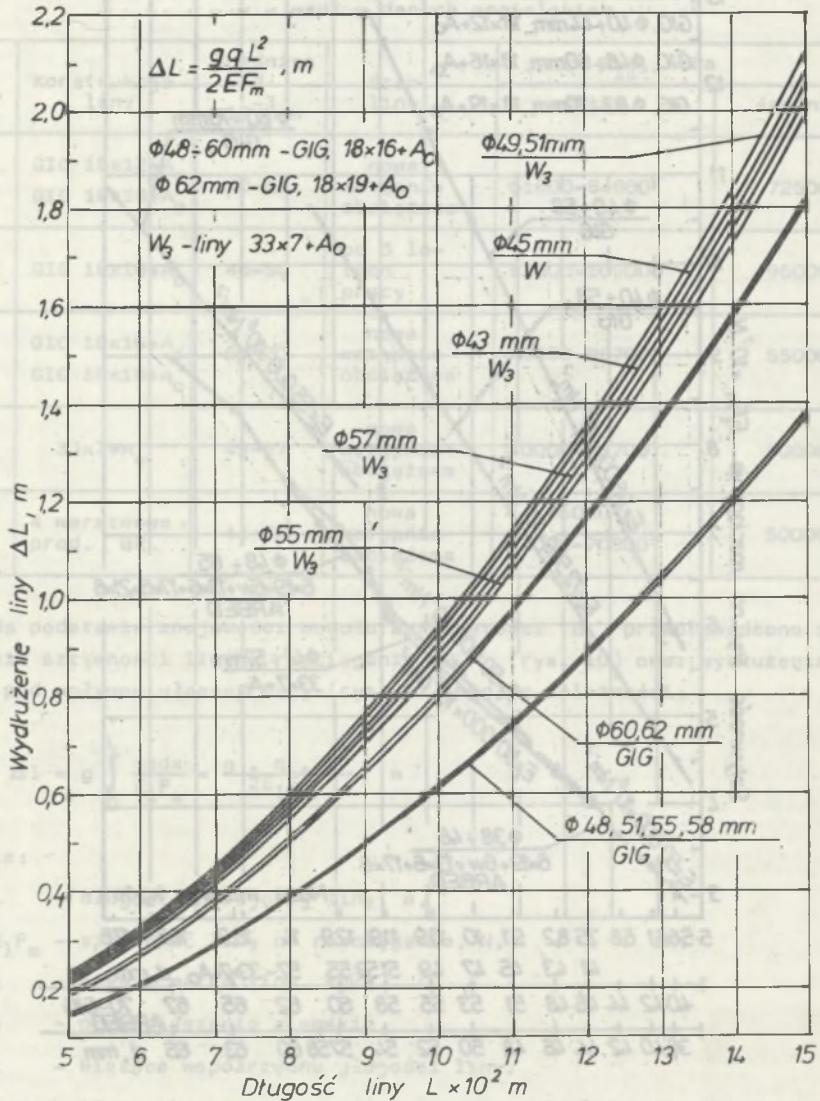
Z rys. 10 wynika, że sztywność na rozciąganie lin typu GIG jest większa od sztywności lin 33 x 7 + A<sub>0</sub>, w wyniku czego ulegają one mniejszym wydłużeniom w szybie. Jest to zaletą lin typu GIG. Wyniki badań krajowych i zagranicznych modułów sprężystości lin różnych konstrukcji zawarte są w pracach [1-18].



Rys. 10. Porównanie sztywności na rozciąganie lin wyrównawczych okrągłych konstrukcji krajowej i zagranicznej

Fig. 10. Comparison of rigidity for stretching the closed balance ropes of home and foreign construction

wartości modułu sprężystości podanej w 3. rozdziale, lin wyrównawczych okrągłych



Rys. 11. Zależność wydłużania się lin wyrównawczych okrągłych konstrukcji krajowej od ich długości i masy własnej

Fig. 11. Dependence of closed balance rope extension of the home construction of their length and own mass

## 5. Wnioski

1. Badania zrywania lin wyrównawczych okrągłych dwuwarstwowych typu GIG i trzywarstwowych konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  oraz czterowarstwowych produkcji BRL wykazały, że współczynnik sprawności wytrzymałościowej tych lin odniesiony do wyznaczonej siły zrywającej linę wynosi  $\eta = 0,80-0,92$ , a więc jest większy od wartości  $\eta = 0,75$  wymaganej przez przepisy górnicze. Liny ulegały zerwaniu przy wydłużeniu względnym  $\xi = 4,86-6,74\%$ .

2. Moduł sprężystości podłużnej lin fabrycznie nowych wynosi średnio 72 500 MPa dla lin dwuwarstwowych typu GIG o średnicy  $\phi$  40-58 mm i 55 000 MPa dla lin  $\phi$  60-70 mm, a 50 000 MPa dla lin trzywarstwowych  $33 \times 7 + A_0$  oraz czterowarstwowych. W przypadku lin, które przepracowały w szybkie kilkanaście miesięcy do kilku lat, moduł ten wynosi 96 000 MPa (szczegóły w tabelicy 4).

3. Stosunek modułu sprężystości podłużnej lin przy obciążeniu  $E_{11}$  do modułu sprężystości przy odciążaniu  $E_{12}$  wynosi  $\nu = 0,83-0,94$ .

4. Obciążenie  $P_H$  odpowiadające umownej granicy proporcjonalności dla liny jako elementu konstrukcyjnego jest równe lub nieco większe od połowy rzeczywistej siły zrywającej linę w całości  $P_H = (0,5-0,57)P_c$ .

5. Sztywność na rozciąganie  $E_1 F_m$  lin typu GIG jest większa od sztywności lin konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$ , co jest zaletą lin typu GIG. Wydłużanie się lin pod wpływem ciężaru własnego w szybie jest większe w przypadku lin konstrukcji  $33 \times 7 + A_0$  niż lin typu GIG.

6. Dla celów inżynierskich z powodzeniem można stosować wzory w postaci modeli regresyjnych na obliczenie modułów sprężystości podłużnej  $E_1$  lin wielosplotkowych opracowane przez J. Hankusa.

## LITERATURA

- [1] Aida T., Sato S., Nakai M.: Untersuchungen über die mechanischen Eigenschaften von Seilen. Memoirs of the Faculty of Engineering Kyoto University. 1973, vol. 35, nr 2.
- [2] Brevet P., Creton B., Gourmelon I.P.: Comportement a'la mise en tension de cables de précontrainte. Détermination du modul d'elasticité. Travaux. Avril 1983.
- [3] Boroška I., Štroffek E.: Stanovenie modulu pružnosti ocelových lán. "Rudy" 1979, nr 6.
- [4] Carbogno A.: Wpływ rozstawu naczyń wyciągowych, zawiesi i własności mechanicznych liny wyrównawczej okrągłej na jej pracę w górniczych urządzeniach wyciągowych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1983.
- [5] Costello G.A., Phillips J.W.: Effective Modulus of Twisted Wire Cables. Journal of the Engineering Mechanics Division. 1976. EM1.
- [6] Gluszkó M.F.: Stainyje podjemnyje kanaty. Izd. Tiekhnika. Kijew 1966.
- [7] Hankus J.: Trwałe i całkowite wydłużenie lin wyciągowych fabrycznie nowych. Prace GIG. Komunikat nr 682, Katowice 1977.

- [8] Hankus J.: Moduł sprężystości górniczych lin wyciągowych w warunkach obciążeń statycznych. Prace GIG. Komunikat nr 695, Katowice 1978.
- [9] Hitchen H.: Ropes for drum and Koepe friction hoists. CIM Biuletyn. 1963, february.
- [10] Katalogi lin firm: British Ropes Limited, Trefil ARBED, Haggle.
- [11] Lötsch K.: Die Prüfung der Flechtung von Drahtseilen. "Materialprüfung" 1967, nr 12.
- [12] Rojtsztejn M.M., Szifrin M.A.: O module uprugosti stalnych kanatow. "Bieton i żelazobieton" 1971, nr 1.
- [13] Schneider A., Chlup A.: Elongation and Contraction of Moving Ropes with Fibre Core and Operation Conditions and under Static Tension Test. Internationale Seil und Bergbahn Rundschau 1972, nr 3 i 4.
- [14] Szifrin M.A.: Ob opriedielenii modulia uprugosti kanatow. "Bieton i żelazobieton" 1967, nr 6.
- [15] Wasilewski Z.: Badanie modułu sprężystości podłużnej lin stalowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Seria Budownictwo nr 25, Warszawa 1965.
- [16] Wasilewski Z.: Badanie zastępczego modułu sprężystości oraz amplitudalnego modułu sprężystości lin stalowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Seria Budownictwo nr 27, Warszawa 1965.
- [17] Wasilewski Z.: Próba matematycznego opisu zastępczych modułów sprężystości podłużnej liny stalowej  $E_1$  oraz  $E_{1a}$ . Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej. Seria Budownictwo nr 27, Warszawa 1965.
- [18] Żoczek R.: Charakterystyka wytrzymałościowa lin stalowych. Biuletyn Techniczny ZPwM. Kraków 1971, nr 11.

Recenzent: Doc. dr inż. Karol Reich

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ МОДУЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ УПРУГОСТИ УРАВНОВЕШИВАЮЩИХ КРУГЛЫХ КАНАТОВ

#### Р е з ю м е

Фактором, влияющим на исправную и безопасную работу круглых уравновешивающих канатов в шахте является правильный выбор параметров поворотной станции этих канатов. Для такого выбора надо знать вытяжку канатов во время эксплуатации в шахте. Вытяжку можно рассчитать, зная величину модуля продольной упругости канатов. В польской литературе до сего времени не было обширных данных о модуле упругости  $E_1$  круглых уравновешивающих канатов польской конструкции. Представлен метод и результаты исследований модуля  $E_1$  этих канатов в Институте механизации горной промышленности Силезского политехнического института. Дан также анализ методов теоретического расчёта модуля упругости канатов и результаты расчёта  $E_1$  для исследуемых канатов при помощи формулы Я. Ханкуса (ГИГ, Katowice). Проведённые исследования показали, что полученные величины, модуля упругости  $E_1$  канатов большого



диаметра значительно отличаются от величин, которые были до настоящего времени поданы в литературе, полученных для канатов с малым диаметром. Исследования подтвердили пригодность формул Я. Ханкуса для расчёта модуля  $E_1$  для целей инженерной практики.

#### YOUNG'S MODULUS TESTS OF CIRCULAR BALANCE ROPES

#### S u m m a r y

The factor affecting correct and safe work of the circular balance ropes in the shaft is the proper selection of the turning station of these ropes. Knowledge of elongation of the ropes when operating in the shaft has influence on this selection. One can calculate this elongation knowing the value of Young's modulus of the ropes. There are no comprehensive data on Young's modulus  $E_1$  of the circular balance ropes produced in Poland in the Polish scientific literature till now. The method and results of the tests on Young's modulus  $E_1$  of these ropes carried out in the Institute for Mechanization of the Mining Industry of the Silesian Technical University have been presented.

An analysis of theoretical calculation methods of Young's modulus of the ropes and results of calculations of  $E_1$  for the ropes tested by means of J. Hankus' es (from the Main Institute of Mining Katowice) formula has also been given.

The tests carried out in the Institute have proved that obtained values of Young's modulus  $E_1$  of the ropes of large diameters distinguish remarkably from the values given in scientific literature up to the present and obtained for the ropes of small diameters. The tests have confirmed usefulness of J. Hankus' es formulae for the calculation of Young's modulus  $E_1$  to the engineering practice purposes.