

TOMASZ KLEPKA

Politechnika Lubelska

Katedra Procesów Polimerowych

ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

## Wskaźniki charakteryzujące wzajemne oddziaływanie rury osłonowej i kabla optotelekomunikacyjnego<sup>\*)</sup>

### PARAMETERS CHARACTERIZING OPTOTELECOMMUNICATION CABLE AND ITS INNERDUCT INTERACTION

**Summary** — The method of investigation of optotelecommunication cables and their innerduct commercial samplings has been presented. These investigations were possible to be made with using laboratory test stand designed and constructed at the Department of Polymer Processing (Technical University of Lublin). The axial force within the cable, which occur when the cable is pulled into the innerduct put out of action in proper geometrical position, has been measured (Fig. 1). As a result of experiments it is possible to calculate a lot of values, formerly not identified, characterizing the course of cable installing process (Fig. 2-5). Examples of the results of investigations of three following times installed pair of materials: optotelecommunication cable with outer layer made of PE-HD and innerduct made of PE-HD with slip layer made of either PTFE or silicon polymer on the surface, have been presented (Fig. 6, 7). The values of various characteristic parameters describing the cable and innerduct interaction, calculated on the basis of measurements done, were set up in Table 1.

**Key words:** optotelecommunication cables, innerducts, cables installing, cable — innerduct interaction, experimental research method.

Na przebieg procesu instalowania kabla optotelekomunikacyjnego w rurze osłonowej wywierają wpływ zarówno właściwości fizyczne i mechaniczne zastosowanej pary materiałowej rura—kabel, elementy konstrukcyjne makrostruktury geometrycznej współpracujących powierzchni, jak i dynamika przebiegu zachodzących w nich zmian. Rury osłonowe oraz powierzchnie zewnętrzne kabli wytwarza się przede wszystkim z poliolefin, głównie z PE-HD i PE-MD [1]. W zależności od specjalnych wymagań i dodatkowych pożądaných właściwości, w nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych tych elementów poszczególne warstwy mogą być wykonane również z innych tworzyw, takich jak np. PS, PP, PVC, PTFE lub silikonu.

W warunkach określonych wymuszeń zewnętrznych i przemieszczania się kabla w rurze osłonowej podczas procesu instalowania, w obszarze wielopunktowego styku kabla z rurą występuje wzrost odkształceń sprężystych i plastycznych, czego skutkiem są zjawiska mi-

kroskrawania i nagniatania oraz efekty cieplne i trybologiczne. W wyniku łącznego działania tych zjawisk i dalszego przemieszczania się kabla następuje wzrost siły oporu powodujący powstawanie drgań tarciovych, wywołanych głównie tworzeniem się i następnie zrywaniem następujących po sobie lokalnych mostkowych połączeń — mikroszczepień ahezyjnych [2].

Poprzez odpowiedni dobór tworzywa, konstytuowanie makrostruktury geometrycznej powierzchni współpracujących elementów oraz przeprowadzenie dodatkowych zabiegów związanych np. z technologią wytwarzania warstw ślizgowych można uzyskać uprzywilejowane (o charakterze ortotropowym) kierunki przemieszczania się kabla w rurze osłonowej, kiedy to działające siły oporu mają wartości najmniejsze [3]. Dzięki temu podczas procesu instalowania kabla optotelekomunikacyjnego w kanalizacji kablowej wtórnej (wykonanej z połączonych ze sobą rur osłonowych) nie następuje przekroczenie dopuszczalnych naprężeń rozciągających w kablu, co pozwala m.in. na wprowadzanie do rury osłonowej dłuższych jego odcinków bez obawy o pogorszenie właściwości transmisyjnych cienkich włókien światłowodowych [4].

Wpływ wielu niezależnych czynników fizycznych na

<sup>\*)</sup> Wykład wygłoszony w ramach V Profesorskich Warsztatów Naukowych "Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych", Toruń, 6—9 czerwca 2000 r.

efektywność przebiegu instalowania (wciągania) kabla do rury powoduje, że identyfikacja i ocena wskaźników jakościowych związanych z tym procesem jest możliwa do przeprowadzenia wyłącznie na podstawie analizy wyników badań eksploatacyjnych wykonywanych w ściśle określonych warunkach i dotyczących obiektów rzeczywistych. Tego typu badania odcinków kabli optotelekomunikacyjnych i rur osłonowych pobranych bezpośrednio z gotowych wytworów handlowych są możliwe do przeprowadzania na stanowisku badawczym, które zostało zaprojektowane i wykonane w Katedrze Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej [5, 6].

#### METODA I STANOWISKO BADAWCZE

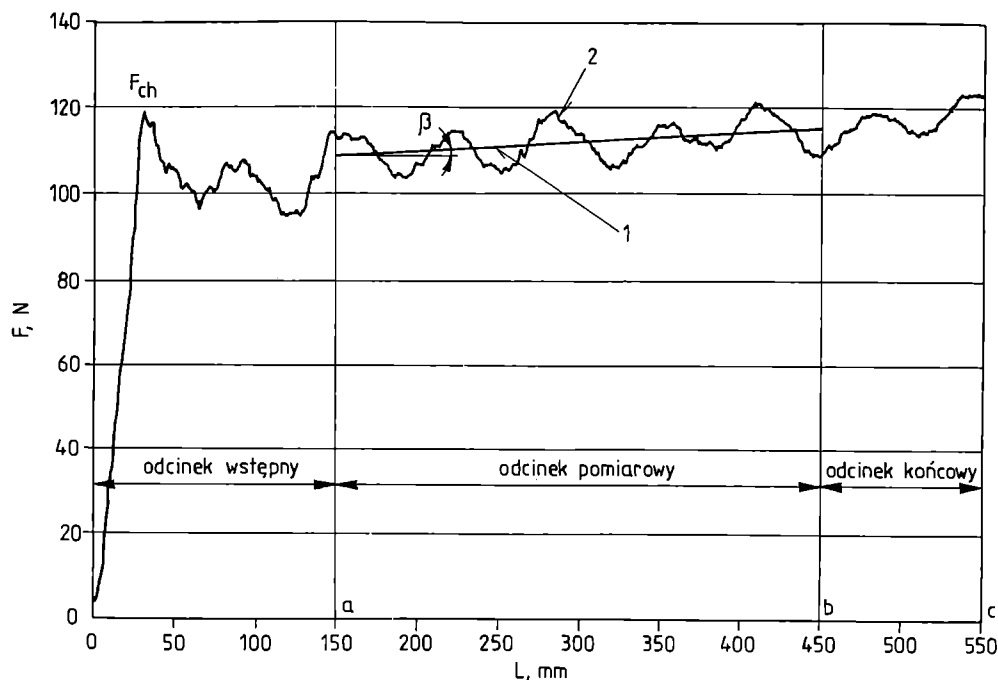
Zgodnie z przyjętą metodą, badania kabli i rur na stanowisku badawczym polegają na pomiarach wartości siły poosiowej powstającej w kablu w wyniku wciągania go do unieruchomionej w odpowiednim położeniu geometrycznym rury osłonowej [7]. Na podstawie wyników prac o charakterze naukowym oraz badań porównawczych różnych konstrukcji rur osłonowych i kabli jest możliwe wyznaczenie wielu wcześniej nieidentyfikowanych wielkości fizycznych charakteryzujących przebieg omawianego procesu w odniesieniu do wpływu ściśle określonych czynników zewnętrznych, takich jak: prędkość wciągania kabla, kąt opasania rury na bębnie pomiarowym lub obciążenie końca kabla [6]. Pozwala to na przeprowadzenie dokładnej analizy zjawisk związanych z procesem instalowania, co z kolei

umożliwia zrealizowanie zmian i udoskonaleń konstrukcyjnych oraz technologicznych rur i kabli już na wstępnym etapie projektowania linii optotelekomunikacyjnej.

Zastosowanie mikroprocesorowych układów pomiarowych stanowiska oraz numerycznego zapisu wyników umożliwia przedstawianie otrzymywanych danych z pomiarów w postaci ciągów o zapisie algebraicznym lub graficznie za pomocą wykresów przebiegów odpowiednich zależności. W zależności od potrzeb, możliwa jest więc uproszczona analiza techniczna (warsztatowa) albo analiza naukowa polegająca na dokładnym określeniu wartości liczbowych konkretnych cech otrzymywanych przebiegów w odniesieniu do charakterystycznych współrzędnych punktów pomiarowych.

Przyjęto, że wielkość wejściową do dalszego analizowania poszczególnych skojarzeń rura—kabel stanowi zależność siły oporu w funkcji drogi wciągania kabla do rury. Graficzne przedstawienie tej zależności (rys. 1) pozwala na interpretację żądanych wielkości charakteryzujących przebieg. Na wykresie tym można wyznaczyć trzy odcinki charakterystyczne: wstępny — od punktu 0 do umownej wartości drogi wciągania kabla,  $a$ , pomiarowy — odpowiadający przemieszczeniu się kabla od punktu  $a$  do punktu  $b$ , oraz końcowy — zawierający się pomiędzy punktami  $b$  i  $c$  drogi wciągania kabla.

Na długości odcinka wstępnego ( $0; a$ ), ze względu na fazę początkową procesu wciągania kabla, można zaobserwować intensywny, proporcjonalny wzrost siły oporu, wynikający głównie z odkształceń sprężystych po-



Rys. 1. Wykres zależności zmian siły oporu ( $F$ ) w funkcji drogi wciągania kabla ( $L$ ): 1 — linia średnia  $y = f_s(x)$ , 2 — krzywa interpolacji  $y = f(x)$ ; omówienie w tekście

Fig. 1. Diagram of resistance force ( $F$ ) as a function of cable's overhauling distance ( $L$ ): 1 — average line  $y = f_s(x)$ , 2 — interpolation curve  $y = f(x)$ ; explanation in the text

wstających w kablu, aż do wartości charakterystycznej siły  $F_{ch}$ . Po przekroczeniu wartości tej siły, odpowiadającej zmianie charakteru kontaktu kabla z rurą z tarcia spoczynkowego na tarcie ślizgowe, dalszy wzrost siły oporu przebiega z mniejszą intensywnością. Współrzędne punktu odpowiadającego wartości siły oporu  $F_{ch}$  w zależności od rodzaju układu rura—kabel mogą osiągać różne wartości, co niekiedy może prowadzić do błędnych wniosków. Dlatego też analizę i ocenę wskaźników charakteryzujących wzajemne oddziaływanie współpracujących elementów należy przeprowadzać na umownie przyjętym odcinku pomiarowym ( $a; b$ ) — następnym za odcinkiem wstępnym przedziale drogi wciągania kabla. W przypadku odcinka końcowego ( $b; c$ ) analiza zmian zachodzących na jego długości może być pominięta.

Przyjęcie odpowiedniej długości i położenia odcinka pomiarowego oraz konsekwentne określanie wszystkich cech przebiegu na tym odcinku pozwala na zachowanie zasady powtarzalności wyników pomiarów. Ponadto, położenie tego odcinka na długości drogi wciągania kabla prowadzi do pewnych konsekwencji, np. wpływa na wartość kąta pochylenia przebiegu zmian siły oporu w odniesieniu do przyjętego układu odniesienia.

Uwzględniając to wszystko, do analizy wyników pomiarów przyjęto następujące długości oraz położenie poszczególnych odcinków charakterystycznych: odcinek wstępny — długość 150 mm, odcinek pomiarowy zawierający się w zakresie od 150 do 450 mm (długość 300 mm) oraz odcinek końcowy rozpoczynający się od 450 mm drogi wciągania kabla.

#### WIELKOŚCI CHARAKTERYSTYCZNE

Wielkości charakterystyczne dotyczące poszczególnych skojarzeń rura—kabel na przyjętej długości odcinka pomiarowego drogi wciągania kabla ( $a; b$ ) można opisać za pomocą wskaźników jakościowych i ilościowych, do których zalicza się m.in. cechy charakterystyczne przebiegu zmian siły oporu, wartości estymatorów statystycznych oraz czynniki określające właściwości trybologiczne pary materiałowej polimer—polimer [2, 8].

Po wykonanym pomiarze, poszczególnym punktem pomiarowym  $x_k$  długości drogi wciągania kabla można przyporządkować odpowiadające im wartości siły oporu  $f_k$ . Wykres zmian wartości siły oporu w funkcji drogi lub czasu wciągania kabla tworzy zbiór punktów:  $(x_k, f_k)$ ;  $k = 1, 2, \dots, m$ .

W odniesieniu do przyjętego odcinka pomiarowego  $l$  zawierającego się pomiędzy punktami  $a$  i  $b$  analizę wyników pomiarów można ograniczyć do zbioru punktów pomiarowych należących do tego przedziału.

$$x_k = a + \frac{l}{n} k; \quad x_k \in [a; b] \quad (1)$$

gdzie:  $l/n$  — odległość pomiędzy punktami pomiarowymi (tzw. czas próbkowania), stała podczas pomiaru.

Łącząc kolejno uzyskane z pomiarów punkty o współrzędnych  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , odpowiadające poszczególnym wartościom siły oporu i drogi wciągania kabla, można wykreślić krzywą interpolacji przebiegu  $y = f(x)$ , dla której z kolei, na przyjętym odcinku pomiarowym można wyznaczyć linię odniesienia, będącą na przykład linią średnią.

Linię średnią przebiegu o równaniu  $y_s = f_s(x) = kx + n$ , wyznacza się w taki sposób, aby suma kwadratów odległości  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$  punktów pomiarowych przebiegu zmian siły oporu od tej linii była najmniejsza. Charakter przebiegu linii średniej można z kolei określić za pomocą wartości współczynnika kierunkowego prostej  $k$ , który jest charakteryzowany na wykresie poprzez kąt nachylenia linii średniej,  $\beta$ :

$$k = \operatorname{tg} \beta = \frac{df_s(x)}{dx}; \quad \beta \in \left(-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right) \quad (2)$$

#### CECHY CHARAKTERYSTYCZNE PRZEBIEGU

Czynniki określające cechy charakterystyczne przebiegu można podzielić pod względem kierunku ich oddziaływania na poprzeczne i wzdłużne. Do cech poprzecznych wyznaczanych w kierunku prostopadłym do linii średniej zalicza się lokalne wychylenie górne, lokalne wychylenie dolne oraz wychylenie maksymalne — amplitudę. Natomiast czynniki określające cechy wzdłużne przebiegu, wyznaczone w kierunku równoległym do linii średniej, obejmują odstęp, jego wartość maksymalną lub średnią oraz gęstość wychyleń górnych lub dolnych [9, 10].

W celu dokładnego określenia wartości poszczególnych cech przebiegu, na otrzymanych wykresach, oprócz przyjętego kartezjańskiego układu współrzędnych  $XOY$ , można wprowadzić dodatkowy prostokątny układ współrzędnych  $X'O'Y'$ , z linią średnią odpowiadającą osi odciętych tego układu. Tak więc, interesujące cechy przebiegu, w zależności od zastosowanego układu  $XOY$  lub  $X'O'Y'$ , można określać po rzutowaniu poszczególnych wielkości na odpowiednie osie.

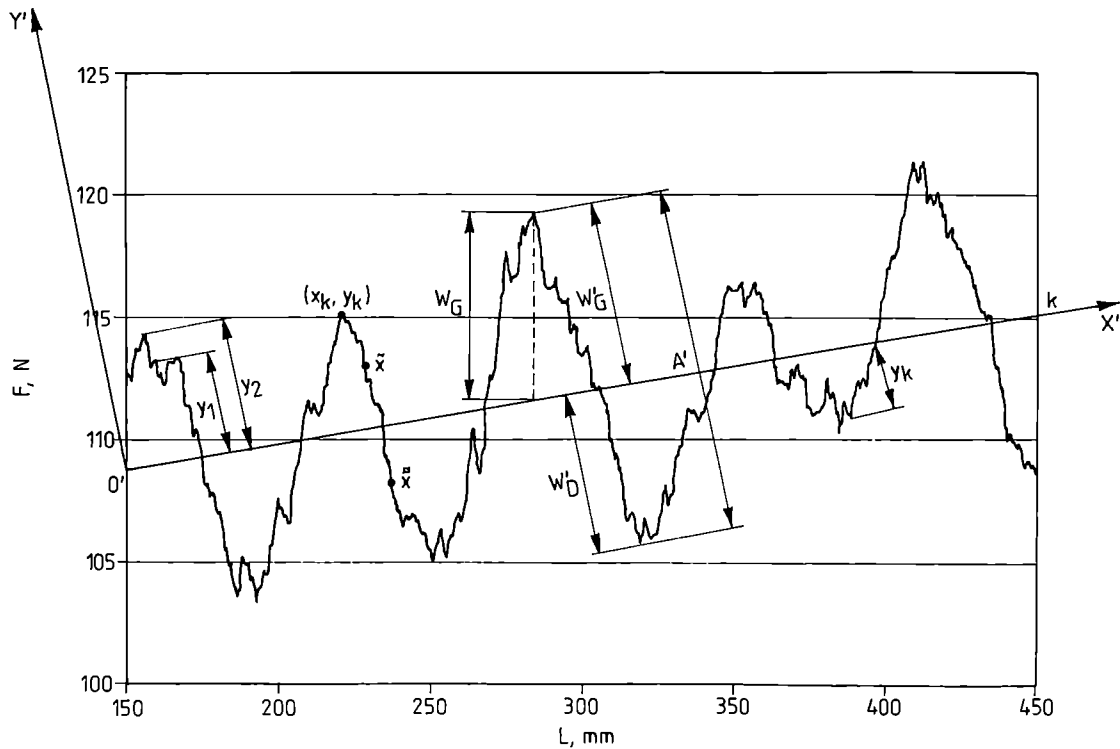
#### Cechy poprzeczne przebiegu

Czynniki określającymi cechy poprzeczne przebiegu (rys. 2) w odniesieniu do przyjętego układu współrzędnych  $X'O'Y'$  są:

— Wychylenie górne przebiegu  $W'_G$  — określane jako odległość najwyższego punktu wychylenia od linii średniej przebiegu na długości odcinka pomiarowego:

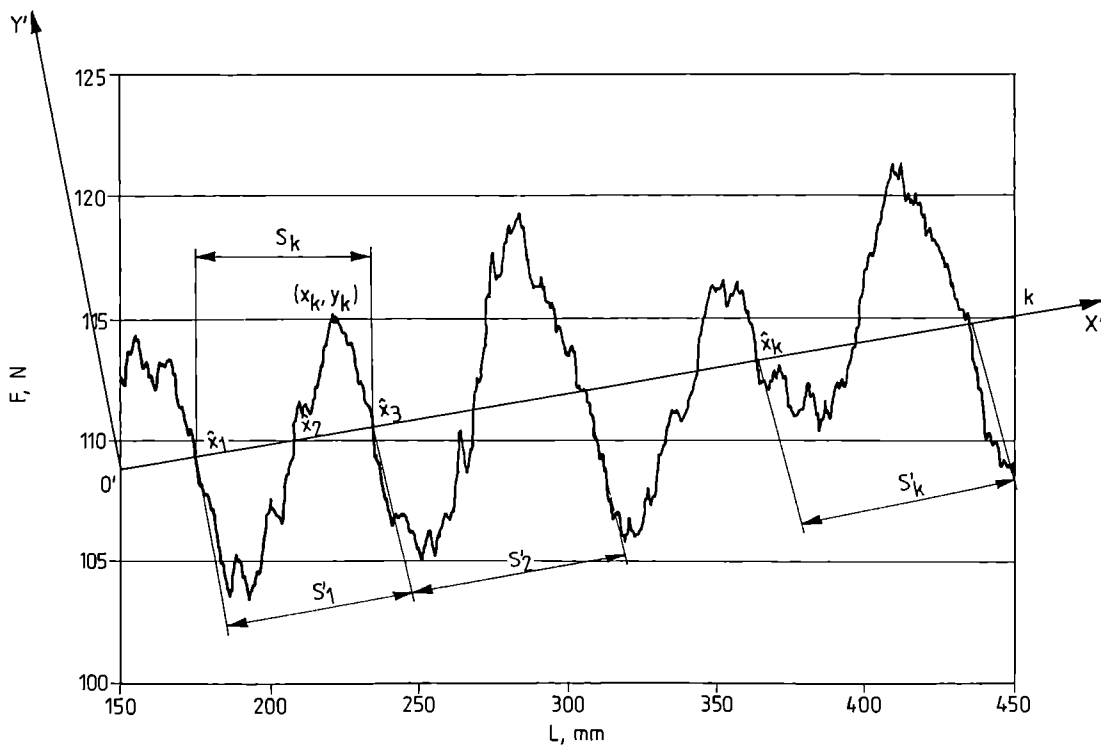
$$W'_G = \max\{|f(x) - f_s(x)| \cos \beta; x \in [a; b]\} \quad (3)$$

— Wychylenie dolne przebiegu  $W'_D$  — określane jako odległość najniższego punktu wgłębienia od linii średniej przebiegu na długości odcinka pomiarowego:



Rys. 2. Schemat określania czynników charakterystycznych opisujących cechy poprzeczne przebiegu ( $F$  i  $L$  jak na rys. 1, dalsze objaśnienia w tekście)

Fig. 2. Diagram of qualifying of characteristic factors describing features of transverse course ( $F$  and  $L$  as in Fig. 1, next explanations in the text)



Rys. 3. Schemat określania czynników charakterystycznych opisujących cechy wzdłużne przebiegu ( $F$  i  $L$  jak na rys. 1, dalsze objaśnienia w tekście)

Fig. 3. Diagram of qualifying of characteristic factors describing features of longitudinal course ( $F$  and  $L$  as in Fig. 1, next explanations in the text)

$$W_D = \max\{|f_s(x) - f(x)| \cos \beta; x \in [a; b]\} \quad (4)$$

— Wychylenie maksymalne czyli amplituda przebiegu  $A'$  — określana jako suma wysokości maksymalnego wychylenia górnego i wysokości sąsiadującego z nim wychylenia dolnego przebiegu na odcinku pomiarowym:

$$A' = \max\{|f(\tilde{x}) + f(\tilde{\tilde{x}})| \cos \beta; \tilde{x}, \tilde{\tilde{x}} \in [a; b]\} \quad (5)$$

W układzie współrzędnych XOY poszczególne wartości tych czynników można obliczyć z zależności:

$$W_C = \max\{f(x) - f_s(x); x \in [a; b]\} \quad (6)$$

$$W_D = \max\{f_s(x) - f(x); x \in [a; b]\} \quad (7)$$

$$A = \max\{|f(\tilde{x}) + f(\tilde{\tilde{x}})|; \tilde{x}, \tilde{\tilde{x}} \in [a; b]\} \quad (8)$$

### Cechy wzdłużne przebiegu

Czynnikami określającymi cechy wzdłużne przebiegu (rys. 3) w odniesieniu do przyjętego układu współrzędnych  $X'O'Y'$  są natomiast:

— Odstęp przebiegu  $S'_k$  — określany jako długość odcinka linii średniej, ograniczonego przez dwa sąsiednie punkty  $\hat{x}_{2k-1}$  i  $\hat{x}_{2k+1}$  przecięcia linii średniej z krzywą interpolacji  $y = f(x)$  mające ten sam rodzaj monotoniczności:

$$S'_k = \frac{\hat{x}_{2k+1} - \hat{x}_{2k-1}}{\cos \beta}; k = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

— Odstęp maksymalny przebiegu  $S'_{max}$ :

$$S'_{max} = \max\left\{\frac{\hat{x}_{2k+1} - \hat{x}_{2k-1}}{\cos \beta}; k = 1, 2, \dots, m\right\} \quad (10)$$

— Odstęp średni przebiegu  $S'_{sr}$ :

$$S'_{sr} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S'_k \frac{1}{\cos \beta} \quad (11)$$

— Gęstość wychyleń górnych lub dolnych  $D'$  — określana jako liczba wychyleń przebiegu w odniesieniu do średniego odstępu przebiegu, na długości odcinka pomiarowego  $l$ :

$$D' = \frac{l' \cos \beta}{S'_{sr}} \quad (12)$$

Analogicznie, w przypadku układu współrzędnych XOY poszczególne wartości tych czynników można obliczyć z zależności:

$$S_k = \hat{x}_{2k+1} - \hat{x}_{2k-1}; k = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

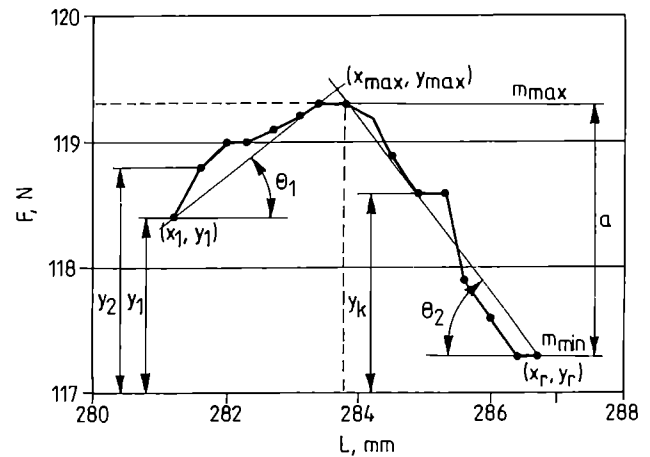
$$S_{max} = \max\{\hat{x}_{2k+1} - \hat{x}_{2k-1}; k = 1, 2, \dots, m\} \quad (14)$$

$$S_{sr} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_k \quad (15)$$

$$D = \frac{1}{S_{sr}} \quad (16)$$

### Cechy poprzeczne i wzdłużne przebiegu na bardzo małym odcinku

Powiększając obszar przebiegu zmian siły oporu wzdłuż osi rzędnych i odciętych układu XOY można określić wartości czynników charakteryzujących cechy pojedynczego wzniesienia lub wgłębienia (rys. 4). W tym przypadku pojedyncze punkty pomiarowe  $[(x_k, y_k)$



Rys. 4. Schemat określania czynników charakterystycznych opisujących cechy pojedynczego wzniesienia lub wgłębienia przebiegu ( $F$  i  $L$  jak na rys. 1, dalsze objaśnienia w tekście)

Fig. 4. Diagram of qualifying of characteristic factors describing features for single eminences or depressions of the course ( $F$  and  $L$  as in Fig. 1, next explanations in the text)

$k = 1, 2, \dots, r$ ] należą do bardzo małego przedziału długości drogi wciągania kabla. Czynniki określające cechy charakterystyczne można obliczyć z następujących zależności:

— wartość minimalna

$$m_{min} = \min\{y_k; 1 \leq k \leq r\} \quad (17)$$

— wartość maksymalna

$$m_{max} = \max\{y_k; 1 \leq k \leq r\} \quad (18)$$

— amplituda lokalnego wzniesienia

$$a = m_{max} - m_{min} \quad (19)$$

— współczynniki nachylenia:

współczynnik lokalnego wzrostu

$$\Delta_1 = \frac{m_{max} - y_1}{x_{max} - x_1} = \operatorname{tg} \theta_1 \quad \text{gd}y \quad 0 < \theta < \frac{\pi}{2} \quad (20)$$

współczynnik lokalnego spadku

$$\Delta_2 = \frac{y_r - m_{max}}{x_r - x_{max}} = \operatorname{tg} \theta_2 \quad \text{gd}y \quad \frac{\pi}{2} < \theta < \pi \quad (21)$$

### STATYSTYCZNE METODY OCENY PRZEBIEGU

Metody oceny statystycznej pozwalają na określenie istotnych estymatorów dokładnie opisujących posz-

czególne wartości siły oporu na długości przyjętego odcinka pomiarowego. W zależności od potrzeb, można wyznaczyć wartość średnią siły oporu, medianę, rozstęp, wariancję, odchylenie standardowe, błąd standardowy, skrośność. Ponadto można również wykonać statystyczne wykresy rozrzutu wartości siły oporu, histogramy, wykresy prawdopodobieństwa względnej długości przebiegu w funkcji poziomu zbliżenia, dystrybuantę rozkładu oraz funkcję gęstości. Metody te są na ogół znane i nie wymagają dodatkowych wyjaśnień.

### Analiza widmowa

Zakładając, że otrzymany przebieg zmian wartości siły oporu w funkcji drogi wciągania kabla ma charakter zdeterminowany, można go opisać jako widma fazowe i amplitudowe, wykorzystując w tym celu teorię szeregów Fouriera. Okresową funkcję  $f(t)$  przebiegu można przedstawić jako sumę wykładniczego szeregu o postaci:

$$f(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} F_k e^{i\omega t} \quad (22)$$

gdzie:

$$F_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) e^{-i\omega t} dt; \quad (23)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (24)$$

$$i = \sqrt{-1} \quad (25)$$

oraz  $t$  — czas,  $T$  — okres.

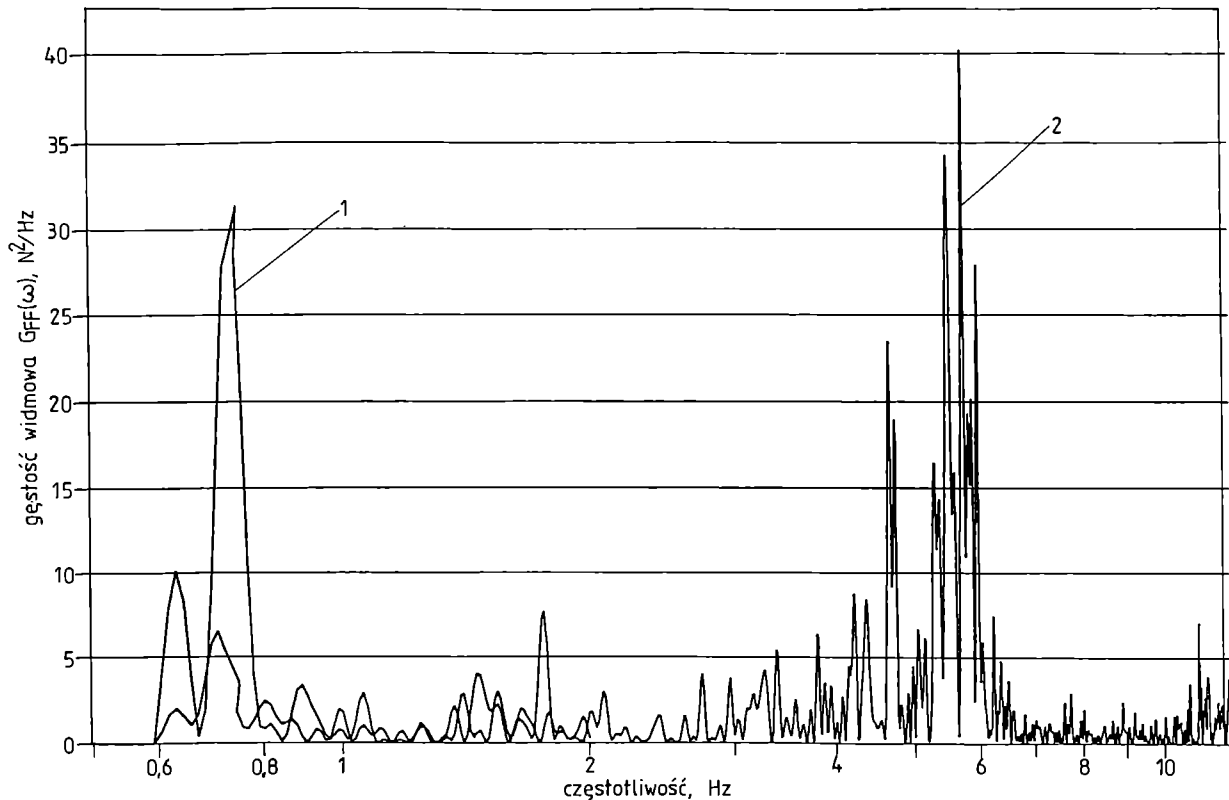
Gęstość widmową przebiegu zmian siły oporu  $G_{FF}(\omega)$  określaną w  $N^2/Hz$ , po odpowiednich przekształceniach [11], można przedstawić graficznie w skali logarytmicznej (rys. 5)

$$G_{FF}(\omega) = \frac{1}{2\pi T} |F_k(\omega)|^2 \quad (26)$$

### CZYNNIKI OKREŚLAJĄCE WŁAŚCIWOŚCI TRYBOLOGICZNE

W odniesieniu do określonego układu elementów konstrukcyjnych kabla i rury osłonowej, w wyniku badań na stanowisku możliwe jest wyznaczenie czynników określających właściwości trybologiczne analizowanej pary materiałowej polimer—polimer, takich jak współczynnik oporu oraz współczynnik zużycia.

Współczynnik oporu (dotyczący znanej długości styku kabla z rurą) oblicza się z zależności wynikającej z układu geometrycznego usytuowania rury osłonowej i kabla, z uwzględnieniem fizycznych czynników zewnętrznych związanych z pomiarem przeprowadzonym na stanowisku badawczym. W odniesieniu do otrzymanej z pomiaru siły oporu  $F$  wymuszeń zewnętrznych — czyli siły  $F_g$  pochodzącej od obciążenia pomiarowego



Rys. 5. Wykres gęstości widmowej określonego skojarzenia kabla z rurą: 1 — rura z warstwą ślizgową z PTFE, 2 — rura z silikonową warstwą ślizgową

Fig. 5. Diagram of spectral density for determined union of cable with innerduct: 1 — innerduct with PTFE slip layer, 2 — innerduct with silicone slip layer

końca kabla — oraz kąta  $\alpha$  opasania rury osłonowej na bębnie pomiarowym w obszarze kontaktu trybologicznego kabla z rurą, spełniony jest warunek graniczny Eulera—Eytelweina, zgodny z teorią napędu cierno-cięgnowego:

$$F = F_s \cdot e^{\mu \alpha} \quad (27)$$

gdzie:  $\mu$  — współczynnik oporu.

Po przekształceniu, współczynnik oporu można obliczyć z zależności:

$$\mu = \frac{\ln \frac{F}{F_s}}{\alpha} \quad (28)$$

W przypadku wielokrotnego wciągania tego samego kabla do rury osłonowej można określić również

#### PRZYKŁADY WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań wzajemnego oddziaływania rury osłonowej podczas wciągania do niej kabla optotelekomunikacyjnego dotyczą przykładu rur osłonowych wytworzonych z PE-HD (średnica zewnętrzna 40 mm, grubość ścianki 3,7 mm). Na powierzchni wewnętrznej rury wykonano 72 żebra ślizgowe oraz specjalną warstwę ślizgową. Warstwa ta, w zależności od rodzaju rury, została wykonana metodą współwytłaczania (z tworzywa, którego głównym składnikiem było PTFE) albo natryskiwania (z tworzywa, którego głównym składnikiem był silikon).

Do rury wciągano kabel optotelekomunikacyjny o symbolu XOTKtd (średnica zewnętrzna wynosząca ok. 12 mm), z warstwą zewnętrzną wytworzoną z PE-HD.

**T a b e l a 1.** Wartości czynników charakteryzujących wzajemne oddziaływanie rury osłonowej z kablem optotelekomunikacyjnym XOTKtd (układ XOY)

**T a b l e 1.** Values of characteristic factors of optotelecommunication cable and innerduct interaction

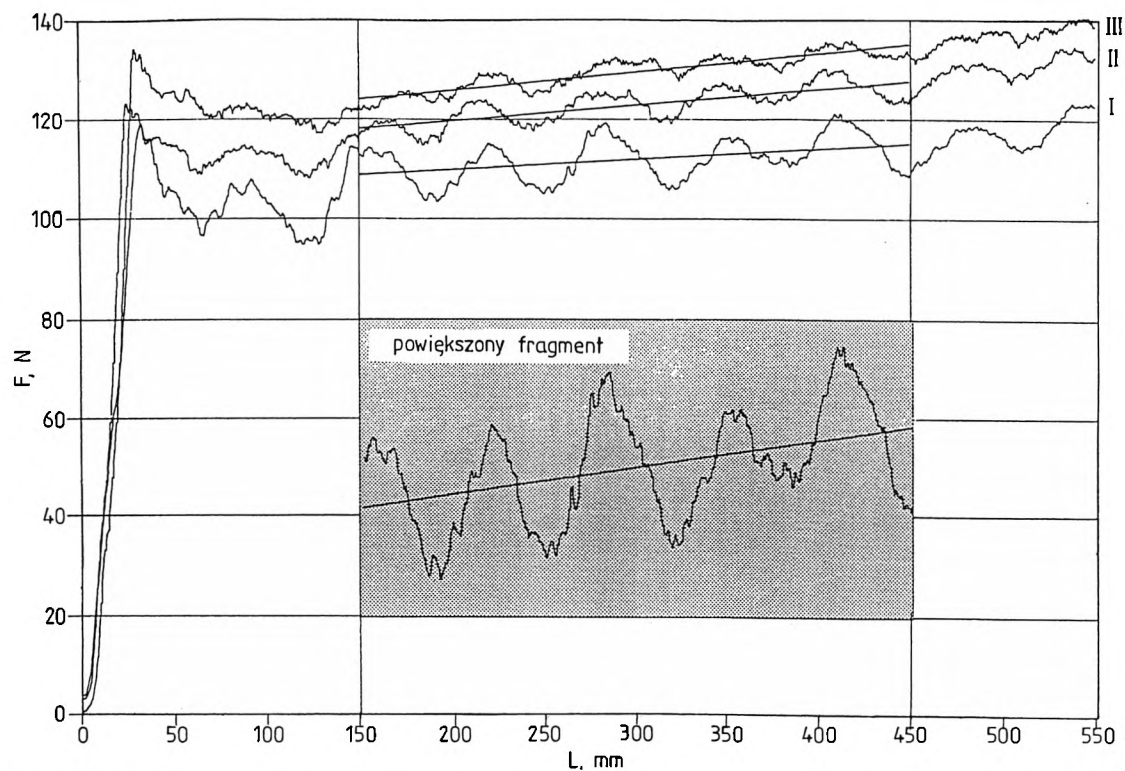
Czynnik	Rura z warstwą ślizgową współwytłaczaną z PTFE			Rura z silikonową natrykiwaną warstwą ślizgową		
	kolejność wciągania			kolejność wciągania		
	I	II	III	I	II	III
Siła oporu ( $F_{ch}$ ), N	119,2	123,1	135,0	128,1	116,2	111,1
Wartość średnia siły oporu ( $L = 300$ mm) ( $F$ ), N	110,2	124,3	130,1	110,5	103,1	100,0
Kąt nachylenia linii średniej ( $\beta$ )	1° 20'	1° 80'	2° 11'	1° 21'	1° 03'	0° 78'
Wychylenie górne ( $W_G$ ), N	7,2			8		
Wychylenie dolne ( $W_D$ ), N	6,4			6		
Amplituda ( $A$ ), N	16			14		
Odstęp ( $S_k$ ), mm	$S_{k1} = 59,9; S_{k2} = 70,1; S_{k3} = 59,9; \dots$			$S_{k1} = 0,9; S_{k2} = 1,1; S_{k3} = 1,2; \dots$		
Odstęp średni ( $S_{sr}$ ), mm	65			1,025		
Gęstość wychyleń ( $D$ )	4,61			292,7		
Współczynnik oporu ( $\mu$ )	0,168	0,190	0,201	0,168	0,153	0,147
Zużycie względne ( $Z_w$ ), %	—	12,80	4,67	—	6,70	3,01

współczynnik opisujący ilościowo wielkości związane ze zużyciem występującym w obszarze kontaktu rury i kabla. Przyjmując pierwsze skojarzenia rury z kablem jako układ odniesienia, można wyznaczyć względny współczynnik zużycia  $Z_w$ . Jego wartość może być określana jako wartość dowolnie wybranych cech charakterystycznych przebiegu — np. średniej siły oporu  $F_{sr}$ , lub siły charakterystycznej  $F_{ch}$  — w kolejnych, następujących po sobie przebiegach:

$$Z_w = \frac{F_{i+1} - F_i}{F_i} 100\%; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (29)$$

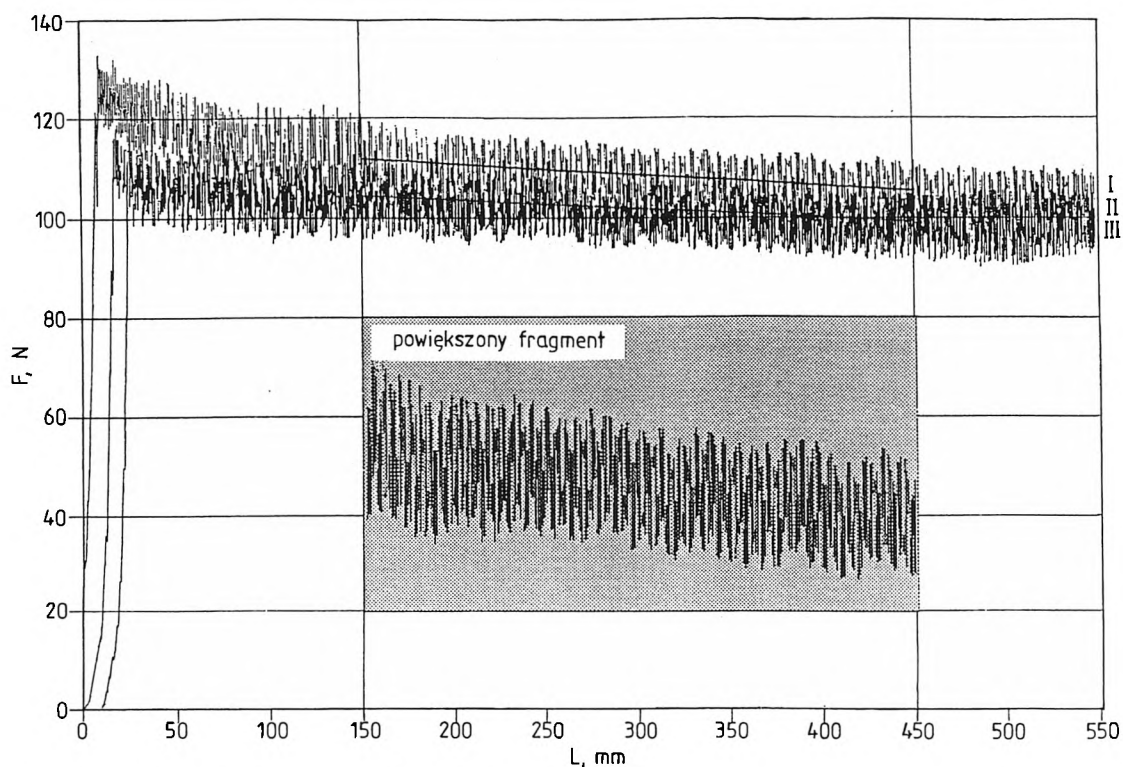
Czynniki stałe dotyczące pomiarów na stanowisku to: średnica bębna pomiarowego 1200 mm, prędkość wciągania kabla 1 m/min, obciążenie końca kabla 5 kg, kąt opasania rury na bębnie pomiarowym ( $2\pi/3$ ) rad. Pomiaru siły dokonywano z dokładnością  $\pm 0,1$  N, a rozdzielczość w odniesieniu do poszczególnych punktów pomiarowych przedstawionych na wykresach (długość drogi wciągania kabla  $L = 600$  mm, czas próbkowania  $t_p = 30$   $\mu$ s) wynosiła  $\pm 0,5$  mm.

Przykłady wartości wskaźników otrzymanych w wyniku badań na stanowisku zestawiono w tabeli 1 i przedstawiono graficznie na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Wykres zależności zmian siły oporu ( $F$ ) w funkcji drogi wciągania kabla ( $L$ ) w odniesieniu do trzech kolejnych (I, II, III) instalowań kabla o symbolu XOTKtd w rurze z warstwą ślizgową wytworzoną z PTFE

Fig. 6. Diagram of resistance force ( $F$ ) as a function of cable's overhauling distance ( $L$ ) for three following installings of XOTKtd cable in the innerduct with PTFE slip layer



Rys. 7. Wykres zależności zmian siły oporu ( $F$ ) w funkcji drogi wciągania kabla ( $L$ ) w odniesieniu do trzech kolejnych (I, II, III) instalowań kabla o symbolu XOTKtd w rurze z silikonową warstwą ślizgową

Fig. 7. Diagram of resistance force ( $F$ ) as a function of cable's overhauling distance ( $L$ ) for three following installings of XOTKtd cable in the innerduct with silicone slip layer



## WNIOSKI

Wyniki badań na stanowisku pozwalają na identyfikację wartości najistotniejszych wskaźników charakteryzujących wzajemne oddziaływanie rury osłonowej wytworzonej z polietylenu i kabla optotelekomunikacyjnego (z powłoką zewnętrzną także z polietylenu), a dzięki temu na dokładniejsze poznanie złożonych zjawisk fizycznych związanych z procesem instalowania kabla. Możliwe jest więc przeprowadzanie dokładniejszych analiz wyników tych badań dotyczących określonych układów rura—kabel. Wskaźniki te, w szerszym zakresie niż wynika to z obowiązujących norm, pozwalają również na jakościową i ilościową ocenę różnorodnych rozwiązań konstrukcyjnych oraz technologicznych rur osłonowych, wpływu kształtu i wymiarów żeber ślizgowych oraz metody zastosowanej do wytworzenia polimerowej warstwy ślizgowej i użytego do tego celu tworzywa na efektywność procesu instalowania kabla.

## LITERATURA

1. Sikora R.: "Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje, właściwości i struktura", Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991.
2. Rymuza Z.: "Trybologia polimerów ślizgowych", WNT, Warszawa 1986.
3. *Polskie zgłosz. pat.* 335 260 (1999).
4. Drabik Z., Koper Z., Cąkała S.: "Pomiary wydłużenia światłowodów w trakcie rozciągania kabla", materiały IV Konferencji Naukowej "Technologia i zastosowanie światłowodów", Krasnobród 1996, str. 354—359.
5. Klepka T.: "Możliwości oddziaływania na proces tarcia pary materiałowej polimer—polimer" w "Tworzywa sztuczne w budowie maszyn", Politechnika Krakowska, Kraków 1994, str. 189—196.
6. Klepka T.: "Oddziaływanie rury osłonowej na kabel optotelekomunikacyjny w procesie jego instalowania", rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Lublin 1998.
7. *Polskie zgłosz. pat.* 337 436 (1999).
8. Nowicki B.: "Struktura geometryczna. Chropowatość i falistość powierzchni", WNT, Warszawa 1991.
9. PN-87/M-04256/02 — Struktura geometryczna powierzchni. Chropowatość powierzchni. Terminologia ogólna.
10. PN-74/M-04255 — Struktura geometryczna powierzchni. Falistość powierzchni. Określenia podstawowe i parametry.
11. Baron B.: "Metody numeryczne w Turbo Pascalu", Wydawnictwo Helion, Gliwice 1995, str. 383—389.

---

## Rapid Communications

Przypominamy P.T. Autorom, że prowadzimy w naszym czasopiśmie dział typu **Rapid Communications**. Publikujemy w nim, **wyłącznie w języku angielskim, krótkie** (3—4 strony maszynopisu i ewentualnie 2—3 rysunki lub tabele) **prace oryginalne**, którym gwarantujemy szybką ścieżkę druku, co oznacza, że pojawią się one w czasopiśmie w okresie nieprzekraczającym 5 miesięcy od chwili ich otrzymania przez redakcję.