

Tomasz Klepka<sup>1</sup>, Paweł Zaprawa<sup>2</sup>

## ANALIZA KONSTRUKCJI OPTOTELEKOMUNIKACYJNYCH MIKRO-KANAŁÓW O KSZTAŁTACH ZŁOŻONYCH

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano przykład analizy konstrukcji optotelekomunikacyjnych mikro-kanałów o kształtach złożonych. Przedstawiono ideę stosowania tego typu wytworów oraz wskazano nowe ich cechy funkcjonalne, które mogą znaleźć zastosowanie w różnych dziedzinach techniki. Na przykładzie wytłoczyn w postaci zespołu z trzema mikro-kanałami przedyskutowano możliwości zmian konstrukcyjnych w wytworze złożonym. Podstawowym kryterium do porównań była ilość materiału potrzebna do uzyskania wymaganej konstrukcji.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje złożone, kanały polimerowe, analiza geometryczna.

### WPROWADZENIE

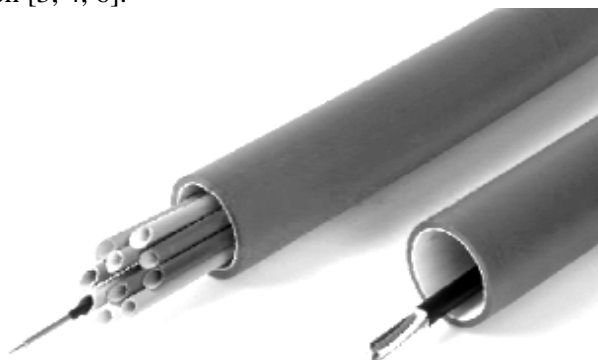
Podczas budowy linii telekomunikacyjnych dąży się do tego, aby kanały instalacyjne zapewniły żądany stopień ochrony mechanicznej cienkich włókien w kablu światłowodowym. Dotyczy to zarówno procesu układania kabli w kanale, jak i późniejszej jego eksploatacji. Nowe konstrukcje mikro-kabli charakteryzują się tym, że powłoka zewnętrzna może być wykonana z różnych tworzyw polimerowych, takich jak PE, PP, PS, SI, a ich średnica może wynosić od ok. 0,5 do 2 mm. Ponadto mogą one składać się z dużej liczby włókien światłowodowych wynoszących w jednym mikro-kablu nawet do 144. Wytrzymałość mechaniczna mikro-kabli w porównaniu do kabli konwencjonalnych, z uwagi na brak centralnego elementu usztywniającego, jest także dużo mniejsza [2]. Wszystko to prowadzi do tego, że bardzo ważne jest uzyskanie kanału o odpowiednim kształcie oraz wytrzymałości mechanicznej [7]. Uwzględniając fakt, że tego typu nowe rozwiązania konstrukcyjne mikro-kabli muszą spełniać wymagania odpowiednich norm telekomunikacyjnych, istnieje potrzeba utworzenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych kanałów i mikro-kanałów o kształtach złożonych. Kanały te, wytwarza się głównie z PE-HD, PVC oraz PP, a ich wymiary są od 6 do 50 mm, przy grubości ścianki kanału od 0,5 do 6 mm [1, 8, 11, 13].

---

<sup>1</sup> Katedra Procesów Polimerowych, Politechnika Lubelska.

<sup>2</sup> Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, Politechnika Lubelska.

W technikach optotelekomunikacyjnych dotychczas wykorzystywane były wytwory jednokanałowe (rys. 1), jednak rozwój konstrukcji kabli i mikro-kabli spowodował potrzebę budowy wytworów wielokanałowych, a także wytworów o kształtach złożonych [3, 4, 6].



**Rys. 1.** Wygląd zespołu z mikro-kanałami oraz tradycyjnego kanału z kablem optotelekomunikacyjnym [4]

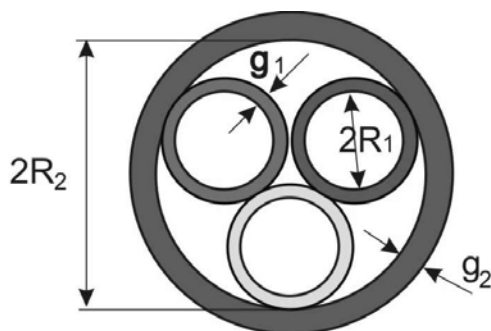
## CHARAKTERYSTYKA MIKRO-KANAŁÓW O KSZTAŁTACH ZŁOŻONYCH

Badania analityczne prowadzono na dwóch rodzajach elementów konstrukcyjnych. Pierwszy z nich był wytworem, składającym się z kilku mikro-kanałów umieszczonych wewnątrz walcowej rury osłonowej, drugi natomiast był wytworem jednolitym geometrycznie, z charakterystycznymi tunelami funkcjonalnymi. Tego typu wytwory wytwarza się najczęściej za pomocą wytłaczania w linii technologicznej [12, 9, 10]. Poszczególne mikro-kanały w zależności od potrzeb mogą być wytwarzane z wielu różnych tworzyw polimerowych, mieć różną konstrukcję i barwę itp. Wszystko to prowadzi do tego, że do ich wytworzenia wymagane jest prowadzenie kilku procesów na oddzielnych liniach technologicznych. Mikro-kanały łączy się następnie w zespoły na oddzielnym stanowisku technologicznym, podczas procesu współwytłaczania [11]. Tak wykonana konstrukcja zapewnia stosunkowo dużą wytrzymałość mechaniczną, co pozwala na umieszczanie w zespole złożonym mikro-kabli optotelekomunikacyjnych, a nawet poszczególnych włókien światłowodowych przeznaczonych do przesyłania sygnału. Innym nowym rozwiązaniem jest konstrukcja wytworu z charakterystycznymi tunelami funkcjonalnymi. Wytwór taki jest otrzymywany w pojedynczej linii technologicznej wytłaczania, a żądany kształt i wymiary poszczególnych tuneli uzyskuje się w narzędziu – głowicy wytłaczarskiej za pomocą grupy rdzeni kształtujących [6].

## CHARAKTERYSTYKA MODELI OBLICZENIOWYCH

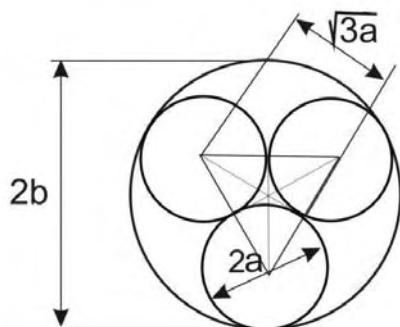
Jednym z ważnych kryterium oceny efektywności wytłaczania tego typu wytworów jest między innymi ilość materiału – tworzywa polimerowego, jaka jest potrzebna do wytworzenia analizowanej konstrukcji [12]. Ponieważ ilość materiału potrzebna na wykonanie metra bieżącego wytworu jest równa  $Sl$ , gdzie  $S$  jest polem powierzchni przekroju wytworu, a  $l$  jego długością (w tym przypadku  $l = 1$  m), analizę można ograniczyć do wyznaczenia pola otrzymanych figur w przekroju poprzecznym. Obliczenia prowadzono na trzech mikro-kanalach tworzących zespół złożony (rys. 3), porównując go do wytworu mającego trzy tunele funkcjonalne wykonane w wytworze litym (rys. 4). W efekcie tego przeanalizowano cztery warianty modeli konstrukcyjnych.

W pierwszym modelu (rys. 2) przyjęto, że promień wewnętrzny zespołu wynosi  $R_2$ , a promień wewnętrzny mikro-kanalów  $R_1$ , zaś grubość zespołu oraz ścianki mikro-kanalu wynoszą odpowiednio  $g_2$ ,  $g_1$ . Sumę pól wszystkich figur (czterech pierścieni kołowych) oznaczmy przez  $S_1$ .



**Rys. 2.** Przykład konstrukcji walcowego zespołu z mikro-kanalami umieszczonymi w jego wnętrzu (model I)

Ze względu na geometryczny układ tych figur, wpisania trzech pierścieni kołowych o średnicy wewnętrznej  $2R_1$  w pierścień kołowy o średnicy  $2R_2$ , wielkości  $R_1$  i  $R_2$  nie mogą być dobrane przypadkowo [5]. Przy rozważeniu ogólnego problemu wpisania układu trzech kół o promieniach równych  $a$  parami stycznych w koło o promieniu  $b$  można wyznaczyć wielkości charakteryzujące układ, takie jak: położenie środków kół wewnętrznych, środek koła zewnętrznego czy promień koła zewnętrznego.



Rys. 3. Ogólny schemat wyznaczania wymiarów charakterystycznych

Środki kół wewnętrznych leżą w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku równym  $2a$ . Środek koła zewnętrznego leży w punkcie przecięcia się wszystkich trzech wysokości tego trójkąta. W tym przypadku środek koła dzieli wysokości trójkąta w stosunku 1:2. Ponieważ w tym przypadku wysokość trójkąta równobocznego jest równa  $\sqrt{3}a$  więc promień dużego koła wynosi  $b = \frac{2}{3}\sqrt{3}a + a$ . Otrzymujemy więc wzór łączący promień małych kół z promieniem dużego koła:

$$b = \left( \frac{2}{\sqrt{3}} + 1 \right) a \quad (1)$$

Aby wykorzystać powyższy związek zauważmy, że dla zespołu złożonego z rury i mikro-kabli,  $a$  wynosi  $R_1 + g_1$  (jest to promień zewnętrzny mikro-kabla), zaś  $b$  wynosi  $R_2$  jest to więc promień wewnętrzny dużego koła (zespołu). Otrzymujemy więc zależność

$$R_2 = \left( \frac{2}{\sqrt{3}} + 1 \right) (R_1 + g_1) \quad (2)$$

Oznacza ona, że  $R_2$  nie może być mniejsze od wyrażenia po prawej stronie znaku równości. Jeśli  $R_2$  byłoby większe od tego wyrażenia, to w układzie takim nie byłoby styczności kół. Z tego powodu powyższa równość może być zastąpiona równością przybliżoną, ale z niewielkim odchyleniem od wartości dokładnej, co pozwala na przykład na uwzględnianie wartości skurczu przetwórczego w mikro-kanalach. Z powyższych obliczeń otrzymujemy, że pole przekroju poprzecznego w modelu I wynosi:

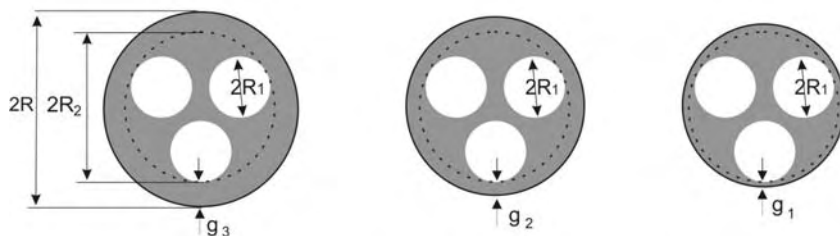
$$S_1 = \pi(g_2^2 + 2g_2R_2 + 3g_1^2 + 6g_1R_1) \quad (3)$$

W modelu drugim, będącym wytworem litym promienie wewnętrzne tuneli wynoszą  $R_1$ , natomiast promień zewnętrzny jest zależny od grubości ścianki  $g$  rozumianej jako minimalna odległość tunelu od powierzchni zewnętrznej wytworu (w jednej płaszczyźnie przekroju poprzecznego). Przyjęto także, że odległość pomiędzy sąsiednimi tunelami wynosi w najwęższym miejscu  $g_1$ , czyli tyle ile grubość ścianki mikro-kanalu w modelu pierwszym (rys.4). Uwzględniając aspekt wytrzymałości wytworu, w zależności od grubości  $g$  ścianki, przyjęto w tym modelu prowadzenie obliczeń przy trzech wariantach:

- grubość ścianki rury jest równa sumie grubości ścianki rury i mikro-kanalu w modelu pierwszym, tj.  $g_3 = g_1 + g_2$  (rys. 4a)
- grubość ścianki rury jest taka sama jak grubość ścianki rury w modelu pierwszym, tj.  $g_2$  (rys. 4b)
- grubość ścianki rury jest taka sama jak grubość ścianki mikro-kanalu w modelu pierwszym, tj.  $g_1$  (rys. 4c)

Pole przekroju wytworu litego jest więc pomniejszone o pola 3 kół stanowiących przekroje tuneli i wynosi:

$$S_2 = \pi \left( \frac{2R_1 + g_1}{\sqrt{3}} + R_1 + g \right)^2 - 3\pi R_1^2 \quad (4)$$



**Rys. 4.** Przykłady wytworów litych o kołowym przekroju poprzecznym z tunelami funkcjonalnymi przy różnej grubości ścianki (model II)

Należy pamiętać o tym, że liczba  $g$  jest minimalną odległością tunelu od krawędzi zewnętrznej wytworu. Zatem przyjęcie grubości nawet najmniejszej z trzech wyżej przedstawionych nie powoduje istotnego zmniejszenia wytrzymałości całej konstrukcji. Korzystając ze wzoru (1), przy  $a = 2R_1 + g_1$ , można obliczyć promień zewnętrzny wytworu złożonego:

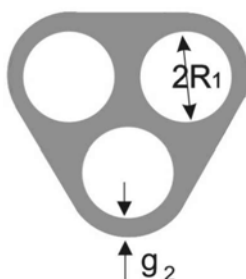
$$R = \left( \frac{2}{\sqrt{3}} + 1 \right) (2R_1 + g_1) + g \quad (5)$$

który zależy od przyjętej w trzech wariantach grubości  $g$ .

W prosty sposób z modelu drugiego można uzyskać kolejny, trzeci model korzystając z zasad technologii konstruowania wytworów z tworzyw, zastępując przekrój kołowy wytworu przekrojem o kształcie trójkąta „wygładzonego” kołowo w narożach (rys. 5). Otrzymana figura, stanowiąca przekrój, składa się z siedmiu części: 3 wycinków kołowych o promieniu  $R_1 + g$  i kącie rozwarcia 120 stopni (łącznie składają się więc w jedno koło), trzech prostokątów o bokach  $2R_1 + g_1$  i  $R_1 + g$  oraz trójkąta równobocznego o boku  $2R_1 + g_1$ .

Podobnie jak w modelu drugim rozważano te same trzy warianty grubości ścianki  $g$ . Pole łączne tych figur można więc obliczyć ze wzoru:

$$S_3 = \frac{\sqrt{3}}{4}(2R_1 + g_1)^2 + 3(2R_1 + g_1)(R_1 + g) + \pi(R_1 + g)^2 - 3\pi R_1^2 \quad (6)$$



**Rys. 5.** Przykład wytworu litego o kształcie złożonym z tunelami funkcjonalnymi (model III)

Możliwy do dyskusji jest także model czwarty, będący odmianą wytworu z modelu trzeciego. Różni się on tym, że w miejscach nadmiaru materiału można dodatkowo wprowadzić korektę technologiczną polegającą na usunięciu nadmiaru materiału z trzech obszarów (rys. 6), w zależności od wariantu w kształcie trójkąta równobocznego (model IVa) lub półkoła (model IVb).



**Rys. 6.** Przykłady wytworów litych o kształcie złożonym z tunelami funkcjonalnymi z usunięciem nadmiarem materiału (model IVa oraz IVb)

W tym przypadku otrzymany nowy przekrój poprzeczny można obliczyć ze wzoru:

$$S_4 = S_3 - \Delta, \quad (7)$$

gdzie  $\Delta$  oznacza sumę pól usuniętych obszarów. Mamy więc:

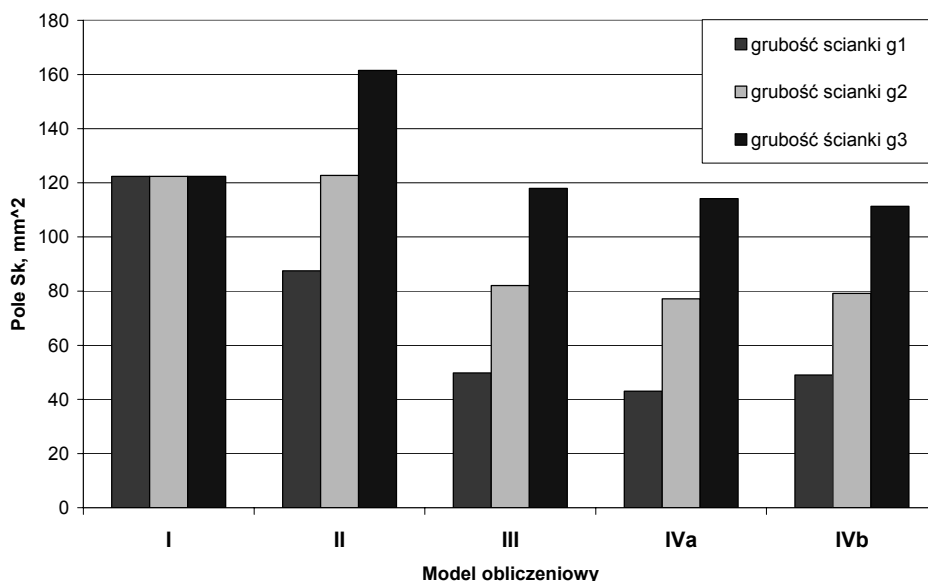
$$\Delta_a = \frac{3\sqrt{3}}{4} g^2 \quad (8)$$

lub

$$\Delta_b = \frac{3\pi}{2} \left( \sqrt{\left(R_1 + \frac{1}{2} g_1\right)^2 + (R_1 + g)^2} - (R_1 + g) \right)^2 \quad (9)$$

W powyższych obliczeniach przyjęto, że bok usuniętego trójkąta jest równy  $g$ , zaś wymiary półkola dobrano tak, aby po usunięciu materiału w tych przestrzeniach grubość ścianki miała nadal wartość  $g$ .

Przykład obliczeniowy wykonano na standardowych wytworach [3] przyjmując następujące wymiary rzeczywiste mikro-kanalów:  $R_1 = 2,75$  mm,  $R_2 = 7,55$  mm,  $g_1 = 0,75$  mm,  $g_2 = 1,5$  mm. Uzyskane wyniki przedstawiono w formie wykresu (rys. 7).



**Rys. 7.** Porównanie pól figur tworzących poszczególne wytworów w zależności od rodzaju modelu obliczeniowego

## WNIOSKI

Analiza mikro-kanalów o kształtach złożonych pozwala na porównanie wytworów z tworzyw z uwagi na przyjęte kryterium konstrukcyjne. Wartości wskaźników  $S_k$  (dla  $k = 1, 2, 3, 4$ ) dostarczają informacji o wymaganej ilości materiału, która jest potrzebna do wytworzenia wymienionych modelowych konstrukcji. Wytwory, będące zespołami mikro-kanalów do zastosowań optotelekomunikacyjnych wykonuje się na wielu stanowiskach, co między innymi zwiększa czasochłonność, a także wskaźniki ekonomiczne. Wytwory lite z tunelami funkcjonalnymi, w tym przypadku, wydają się być korzystnym rozwiązaniem, pozwalającym m.in. na wykonanie ich na jednym stanowisku technologicznym.

Zgodnie z oczekiwaniami wyniki obliczeń potwierdziły, że wytwór lity z trzema tunelami funkcjonalnymi o przekroju koła i o grubości ścianki  $g = g_3$  powoduje zwiększenie ilości użytego materiału o 30% w stosunku do zespołu walcowego z trzema mikro-kanalami. Otrzymana konstrukcja wykazuje jednak zdecydowanie większą wytrzymałość mechaniczną, co może znaleźć zastosowanie także w innych dziedzinach techniki. Przyjmując wartość  $g$  równą  $g_2$ , ilość potrzebnego materiału w porównaniu z zespołem walcowym w zasadzie jest taka sama. Dalsze zmniejszanie grubości ścianki do wymiaru  $g_1$  pozwala na wyraźne zmniejszenie ilości użytego materiału polimerowego o wartość 30% w stosunku do zespołu z mikro-kanalami. Jednakże przy zastosowaniu tej samej grubości  $g_1$ , ale w modelu trzecim, oszczędność materiału sięga 60%. Przy przejściu od modeli trzeciego typu do modeli czwartego typu korzyści związane z oszczędnościami materiału są maksymalnie rzędu 10%.

Tak duża oszczędność ilości materiału (model trzeci i ewentualnie czwarty) wskazuje, że prowadzenie dokładniejszych analiz konstrukcyjnych wytworów tego typu o kształtach złożonych z tunelami funkcjonalnymi jest w pełni uzasadnione i może prowadzić do uzyskania ciekawych wskaźników technologicznych.

## LITERATURA

1. Gifford, W.A. : A three-dimensional analysis of coextrusion in a single manifold flat die. *Journal Polymer Engineering and Science* 2000, 40 (9).
2. Griffioen W., Plumettaz G., Nobach HG.: Theory, software, testing and practice of cable in duct installation. 55<sup>th</sup> International Wire & Cable Symposium, Rhode Island, USA 2006.
3. Katalog techniczny Arot Polska.
4. Katalog techniczny Dura Line (USA).
5. Kreyszig E.: *Advanced Engineering Mathematics*, 8th ed., Wiley & Sons 1999.



6. Klepka T.: Konstrukcje osiowo-symetrycznych wytworów o kształtach złożonych. *Polimery* 2008, 53, 5, s. 390.
7. Klepka T.: Badania wytworów osiowo symetrycznych o segmentowej budowie ścianki. Praca zbiorowa pod redakcją E. Bociągi. *Przetwórstwo Materiałów Polimerowych*, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2010.
8. Michaeli, W.: Monoextrusion dies for thermoplastics. In *Extrusion Dies for Plastics and Rubber*, 2nd Ed.; Hanser, 1992.
9. Patent amerykański nr 5536461: Tube multipack methods of manufacture (1966).
10. Patent amerykański nr 6676881: Apparatus for producing multiple channel duct assembly and method thereof (2004).
11. Rauwendall C.: *Polimer Extrusion*. Carl Hansen Verlag, Munich 1986.
12. Sikora R.: *Przetwórstwo Tworzyw Wielkocząsteczkowych*. WE, Warszawa 1993
13. Sikora R, Klepka T.: *Przegląd konstrukcji rur optotelekomunikacyjnych z tworzyw. Projektowanie, stosowanie i eksploatacja elementów maszyn i urządzeń*. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1996.

Praca naukowa finansowana ze środków MNiSW  
projekt badawczy N N508 486138.

## **ANALYSIS OF COMPLEX CONSTRUCTIONS OF OPTOTELECOMMUNICATION MICRO-DUCTS**

### **Summary**

In the paper the example of construction of opto-telecommunication ducts with diverse cross-sections was analyzed. The idea of applying this type of products was presented. Their new functional features that could be used in different technology fields were pointed out. Basing on a compound product with three micro-channels, the possibilities of some improvements in the construction of such complex products were discussed. The main criterion in the comparison of different analyzed models was the amount of material which is necessary to obtaining a specific construction.

**Key words:** multiple construction, polymer ducts, geometric analysis.