

**Rafał SUWART\***

## **WPYW TARCIA NA PRACĘ I SPRAWNOŚĆ PROCESU SZYCIA ELEMENTÓW OBUWIA**

### **EFFECTS OF FRICTION ON THE SEWING WORK AND ON THE EFFICIENCY OF SEWING PROCESS OF FOOTWEAR ELEMENTS**

#### **Słowa kluczowe:**

obuwie, szycie, siła, praca, optymalizacja

#### **Key words:**

shoes, sewing, force, work, optimization

#### **Streszczenie**

Opracowanie zawiera opis badań dotyczących rozwoju innowacyjności w obszarze procesu szycia materiałów obuwniczych. Zweryfikowana eksperymentalnie matematyczna zależność na siłę i pracę właściwą szycia materiałów obuwniczych ujmuje wpływ czynników związanych z kształtem geometrycznym igły oraz czynników materiałowych (grubość przyszywanej warstwy, rodzaj materiału, rodzaj stosowanych nici) na sprawność procesu. Zależność ta stwarza możliwość racjonalizacji dobo-

---

\* Wydział Materiałoznawstwa Technologii i Wzornictwa Politechniki Radomskiej, ul. Chrobrego 27, 26-600 Radom, tel. 519195 222.

ru materiałów i doboru/budowy narzędzi do montażu obuwia przez szycie, a także oceny i optymalizacji energetycznej tego procesu w ujęciu tribologicznym. Badania zrealizowane zostały w Zakładzie Technologii Obuwia Politechniki Radomskiej.

## WPROWADZENIE

Produkcja obuwia w obecnym czasie to nowoczesny przemysł. W oparciu o ankiety przeprowadzone wśród producentów obuwia, szacuje się, że wielkość produkcji obuwia w Polsce wynosi około 60 milionów par obuwia rocznie [L. 1].

Na podstawie analizy procesu szycia cholewek obuwniczych nasuwa się teza, że ocena zjawisk tribologicznych procesu szycia powinna być poświęcona głównie pracy właściwej szycia w zależności od parametrów technologicznych w porównaniu ze sprawnością całego układu [L. 2].

Trudno sobie wyobrazić produkcję obuwia bez znajomości optymalnych parametrów technologicznych. W zakresie szycia cholewek należy do nich m.in. właściwy dobór igieł szwalniczych, właściwy dobór nici, przebieg procesu szycia i regulacja jego parametrów, a także właściwości materiałów zszywanych, na które mają wpływ przetwórstwo i hodowla [L. 3].

Z analizy istniejącej literatury wynika, że dotychczas nie prowadzono badań stanu obciążenia igielnicy i zapotrzebowania energetycznego procesu szycia materiałów obuwniczych. W literaturze istnieje wiele opracowań dotyczących wytrzymałości połączeń szytych, brak jest natomiast dotyczących optymalizacji procesu szycia w ujęciu energetycznym.

## BADANIA WŁASNE

### Teza badawcza

Ponieważ proces szycia materiałów obuwniczych odbywa się przy różnych parametrach technologicznych, uzyskuje się różne obciążenia igielnicy. W czasie szycia w zależności od położenia igielnicy następuje zmienne jej obciążenie. Tym samym chwilowe zapotrzebowanie energetyczne procesu jest zmienne.

Na podstawie wstępnych rozważań [L. 4] sformułowano następującą tezę pracy: **w procesie szycia cholewek można wykazać na podstawie analizy matematycznej zależność siły obciążenia igielnicy i pracy**

### **właściwej procesu szycia od rodzaju zszywanych materiałów, rodzaju stosowanych nici i igieł.**

Celem badań byłoby ustalenie parametrów siłowych podczas szycia w zależności od zszywanych materiałów, rodzaju nici i igieł.

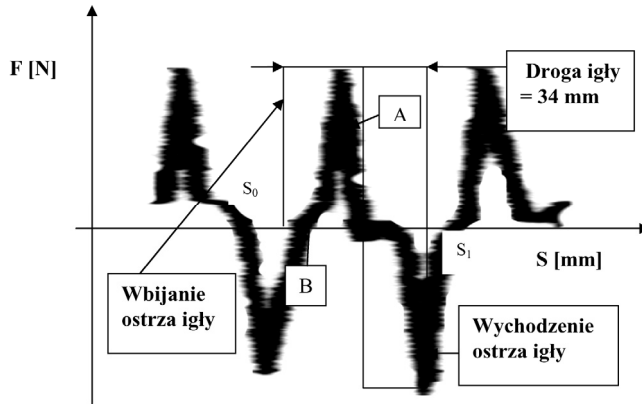
Celem utylitarnym będzie ustalenie optymalnych warunków szycia dla wybranych materiałów obuwniczych. Za optymalne warunki uznaje się takie, które przy najmniejszych siłach i najmniejszym zapotrzebowaniu energetycznym pozwalają uzyskać prawidłowy szew.

### **Rozważania teoretyczne**

Proces przebijania materiału przez igłę jest ważnym etapem cyklu tworzenia ścięgu. Zmiany sił działających na nić i igłę, wynikających z faktu przechodzenia ich przez zszywany materiał przedstawia **Rys. 1**. Wyróżnia się dwa podstawowe okresy narastania oporów przekłucia (krzywa powyżej osi odciętych – s), pierwszy odpowiada czasowi przechodzenia ostrza igły przez warstwę materiału, z maksymalną wartością siły, która powoduje powstanie w materiale otworu. Drugi odpowiada czasowi przechodzenia trzonu igły przez materiał i zależy przede wszystkim od kształtu trzonu. Krzywa poniżej osi odciętych przedstawia przebieg siły przy wychodzeniu igły z materiału. Przyjmując położenie wału maszyny za  $0^\circ$ , w chwili, gdy igła znajduje się w górnym zwrotnym położeniu. To ostrze igły wchodzi w materiał w przedziale  $90^\circ$ – $95^\circ$  położenia tego wału, a wychodzi, gdy wał obróci się o  $265^\circ$ – $270^\circ$  (na to położenie ma wpływ grubość zszywanego materiału). Badania prowadzono na maszynie szwalniczej płaskiej Minerwa typ 325, której skok igielnicy wynosił 34 mm. Przyjęto, że obciążenie igielnicy mające istotny wpływ na pracę procesu szycia odbywa się między  $90^\circ$  a  $270^\circ$  położenia wału maszyny. W tym okresie igła znajduje się w zszywanych materiałach. Odpowiada to drodze przebytej przez igłę przy szyciu ww. maszyną równej 34 mm.

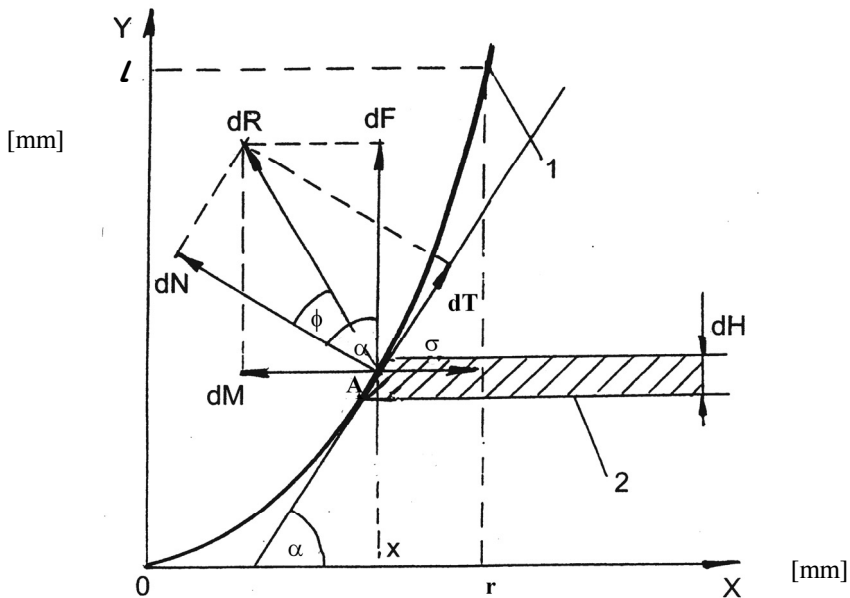
**Rysunek 2** przedstawia rozkład sił działających między ostrzem igły i materiałem w czasie przechodzenia igły przez materiał. Umieszczona na nim krzywa 1 opisuje kształt ostrza igły oraz materiał przebijany 2 o elementarnej grubości  $dH$ . W punkcie A na ostrze igły działa siła tarcia  $dT$  oraz siła nacisku  $dN$  dające wypadkową reakcję  $dR$ . Dla dalszych rozważań reakcję  $dR$  rozłożono na składowe w kierunkach zgodnych z odpowiednimi osiami układu współrzędnych. I tak, składowa  $dF$  równoległa do osi y odpowiada wielkości oporów przebicia materiału, jej kierunek

jest zgodny z osią igły. Składową  $dM$  obrazuje siłę sprężystości warstwy materiału w kierunku osi  $x$ .



**Rys. 1. Siły działające na igłę w trakcie szycia – wykres doświadczalny, badania własne. A – powierzchnia nad krzywą, B – powierzchnia pod krzywą**

**Fig. 1. Forces affecting the needle while sewing – experimental diagram, own research (investigation, examination) A – surface above the curve, B – surface under the curve**



**Rys. 2. Siły działające na igłę podczas szycia**

**Fig. 2. Forces affecting the needle during sewing**

Naprężenie powstające w materiale wskutek działania siły  $dM$  oznaczono na rysunku symbolem  $\sigma$ . W układzie współrzędnych przyjętym na **Rys. 2** wielkość  $l$ , oznaczona na osi  $y$  odpowiada długości ostrza igły, natomiast wielkość  $r$  na osi  $x$  odpowiada promieniowi trzonu igły. Założono, że przebijany materiał ma właściwości izotropowe i naprężenie powstające w nim podczas quasi-statycznego przebijania są opisane prawem Hooke'a. Przyjęto, że w czasie przebijania nie występuje ugięcie materiału oraz, że sztywność materiału, z którego wykonano igłę, jest nieporównywalnie większa od sztywności przebijanego materiału. Na powierzchnię ostrza igły, prostopadle do kierunku przebijania, działa siła, pochodząca od naprężeń  $\sigma$ . Współczynnik tarcia igły o materiał przebijany  $\mu = \operatorname{tg} \Phi = \frac{dT}{dN}$ , stosunek chwilowej drogi lub prędkości dowolnego

punktu igły w kierunku osi  $y$  i  $x$  to:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{dVy}{dVx}$ .

Na podstawie analizy teoretycznej określania sił i naprężeń w procesach technologicznych w oparciu o metodę uproszczonych równań różniczkowych wykazano, że siłę przebicia igły można określić wzorem (funkcjonałem) [**L. 4**]:

$$F = 2\pi \int_0^r \frac{x\sigma \operatorname{tg} \alpha (1 - \mu \operatorname{tg} \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha - \mu} dx$$

Pracę właściwą szycia można wyznaczyć całkując powyższe równanie względem drogi ( $s$ ) igły w przedziale  $s_0 - s_1$ , gdzie odpowiednio wejście i wyjście igły z materiału (**Rys. 1**).

$$L = \int_{s_0}^{s_1} F(s) ds$$

Wzory wykazują, że wartość siły i pracy zszywania materiałów zależy od czynników związanych z kształtem geometrycznym i obróbką powierzchniową igły oraz od czynników materiałowych. Wśród czynników stanowiących o geometrii igły, wpływ na wielkość siły i pracy przebicia wykazuje średnica trzonu igły, kształt trzonu oraz rodzaj ostrza. Natomiast istotnymi czynnikami materiałowymi, wpływającymi na wielkość pracy przebicia, jest grubość zszywanej warstwy, rodzaj materiału oraz rodzaj stosowanych nici.

## CZĘŚĆ BADAWCZA

Na podstawie rozważań teoretycznych ustalono zakres i metodykę badań, które wykazały, że siła i praca szycia zależy od kształtu igły, rodzaju materiałów zszywanych i rodzaju nici.

Część badawcza pracy polegała na pomiarze siły obciążenia igielnicy maszyny płaskiej podczas procesu szycia w zależności od zmiennych parametrów materiałowych, tj. wytrzymałości materiału na rozciąganie i grubości nici.

W celu określenia zależności siły obciążenia igielnicy od parametrów materiałowych zastosowano matematyczny model opracowania danych. Potraktowano badania, jako eksperyment dwu czynnikowy, gdzie czynnikami  $X_1$ ,  $X_2$  były odpowiednio: wytrzymałość materiału na rozciąganie i ciężar 1000 mb. nici. Optymalizowany parametr  $L$  to uzyskana podczas tych kombinacji praca właściwa szycia. Stałe materiałowe to  $B$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ . Pozwoliło to przedstawić zależność pracy właściwej szycia od wyżej wymienionych parametrów w postaci równania regresji:

$$L = BX_1^{n_1} X_2^{n_2}$$

Do badań zostały wykorzystane tworzywa skóropodobne: sanflex J-018, sanflex J-028 (zastosowanie na wierzchy obuwia) i sanflex J-055, sanflex J-056 (stosowanie na podszewki, wyściółki, kołnierze półbutów i trzewików), których charakterystykę zamieszczono w **Tabeli 1**. Do badań przygotowywano próbki o wymiarach 300 x 50 mm. Wycinano je na wycinarce hydraulicznej Svit typ 06102.

**Tabela 1. Charakterystyka tworzyw skóropodobnych**

Table 1. Characteristics of leather-like materials

WŁASNOŚCI		JEDNOSTKI	SANFLEX J-018	SANFLEX J-028	SANFLEX J-055	SANFLEX J-056
Grubość		mm	1,1	1,1	0,8	0,8
Gramatura		daN/m <sup>2</sup>	0,420	0,470	0,280	0,300
Wytrzymałość Na rozciąganie	wzdłuż	daN/cm	18	16	14	12
	wszerz		16	15	11	10
Wydłużenie	wzdłuż	%	32	36	18	21
	wszerz		40	46	33	35

Do badań użyto nici bawełnianych i nici poliamidowych. Własności tych nici przedstawiono w **Tabeli 2**.

**Tabela 2. Wskaźniki jakościowe nici**

Table 2. Thread quality indicators

RODZAJ WSKAŹNIKA	JEDNOSTKA	NICI BAWELNIANE	NICI POLIAMIDOWE
Oznaczenie <sup>1</sup> Nm	m/g	2,22	2,13
Wytrzymałość na rozciąganie	daN	20–24	47–65
Wydłużenie względne	%	3–6	do 40

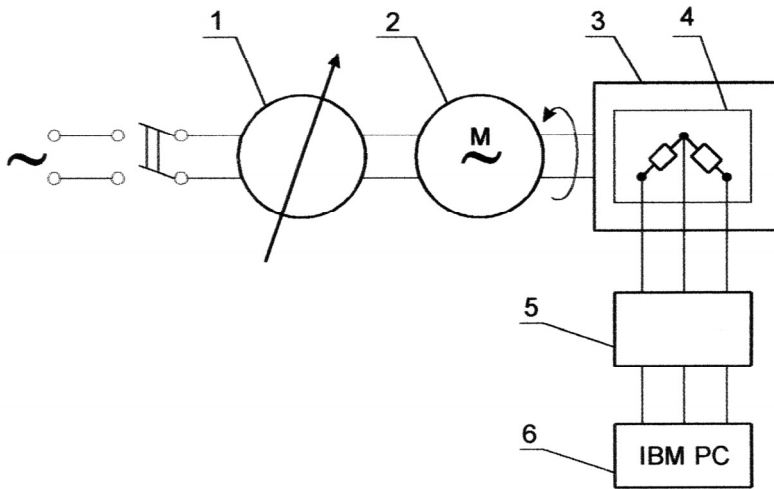
W badaniach wykorzystano igły czterech producentów o różnych kształtach ostrza, które oznaczono symbolami a, b, c, d. Były to igły o powierzchni chromowanej z ostrzem o profilu okrągłym zalecane do szycia tworzyw skóropodobnych. Do badań użyto igieł nr 90 o średnicy ostrza 0,92 mm. Badania były prowadzone na maszynie szyjącej Minerwa typ 325 służącej do zszywania elementów składowych cholewki. Maszyna była zasilana silnikiem o mocy 0,1 kW o obrotach 1600 na minutę. Skok igielnicy wynosił 34 mm. Podstawowe dane techniczne maszyny przedstawiono w **Tabeli 3**. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na **Rys. 3**.

**Tabela 3. Podstawowe dane techniczne maszyny Minerwa**

Table 3. Basic technical specifications of the Minerwa machine

WŁASNOŚCI	JEDNOSTKI	PARAMETR
Ilość ściągów	1/min	2800
Długość ściegu	mm	1,3–3,3
Grubość łączonych elementów	mm	do 3

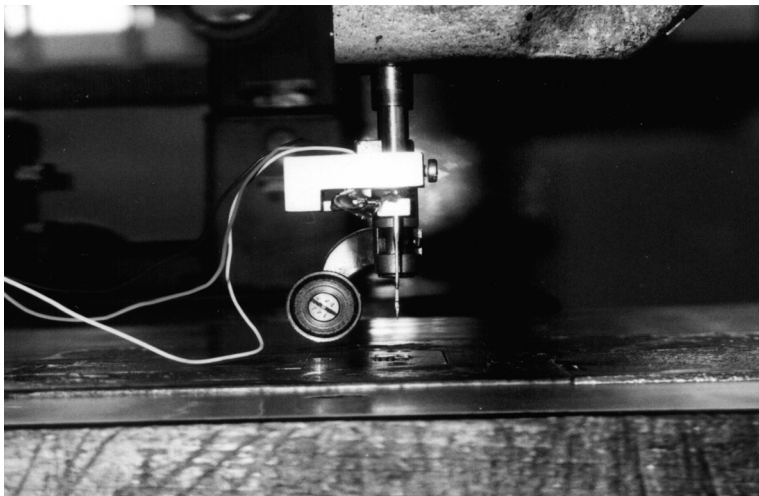
<sup>1</sup> Numeracja metryczna nici wyraża długość nici przypadającą na jednostkę masy, m/g.



**Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego. 1 – autotransformator, 2 – silnik elektryczny, 3 – maszyna szyjąca, 4 – przetwornik tensometryczny, 5 – karta pomiarowa programu „GENIE”, 6 – komputer**

**Fig. 3. Measuring position schema. 1. – autotransformator, 2 – electric engine, 3 – sewing machine, 4 – tensometrical transducer, 5 – programme’s measurement card „GENIE”, 6 – computer**

Widok stanowiska badawczego oraz sposób mocowania przetwornika tensometrycznego przedstawiono na **Fot. 1.**



**Fot. 1. Stanowisko badawcze – przetwornik tensometryczny i igielnica**

**Pict. 1. Research point – tensammetrical transducer and needle bar**



Badania polegały na liniowym przeszywaniu próbek z wykorzystaniem opisanych powyżej materiałów, nici i igieł.

## WYNIKI BADAŃ

W celu wyeliminowania przypadkowości eksperymentu i zmniejszenia błędów badania powtarzano pięciokrotnie, a wyniki uśredniano. Siły obciążenia igielnicy przy szyciu otrzymywano w formie wykresu. Krzywe sił przy zagłębianiu się igły w materiał we wszystkich wariantach miały podobny kształt. Przykładowy wykres przedstawiono na **Rys. 1** (jest on przedstawiony na początku artykułu). Całka  $\int_{s_0}^{s_1} F(s)ds$  wyraża pracę igielnicy w trakcie jednego cyklu szycia (utworzenie jednego ściegu) – **Rys. 1**. Wprowadzono współczynnik wypełnienia wykresu  $\lambda$ , który wyraża stosunek pola pomiędzy krzywymi obciążenia igielnicy a osią odciętych w przedziale  $s_0-s_1 = l$  do pola prostokąta o bokach  $F'$  i  $l$ .

$$\lambda = \frac{\int_{s_0}^{s_1} Fds}{F'l}$$

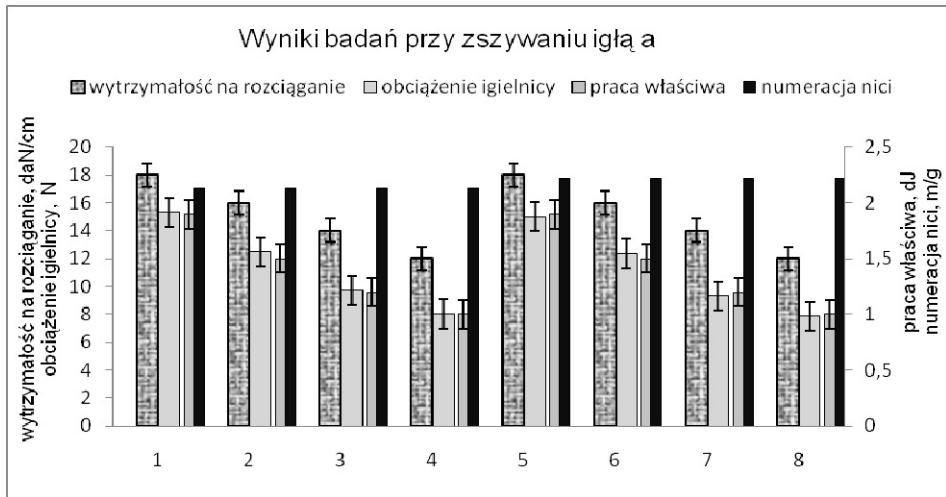
gdzie:  $F'$  – średnia siła przebiccia i wyciągania igły,

$l$  – droga przebyta przez igłę w trakcie tworzenia jednego cyklu ściegu.

Wartość współczynnika  $\lambda$  określono bezpośrednio z wykresu siły przebiccia i wyciągania igły w trakcie szycia (**Rys. 3**) –  $\lambda$  przyjmowała wartości w granicach 0,3552–0,3641 w całym zakresie badań. Wartość pracy właściwej wyznaczono w oparciu o wzór

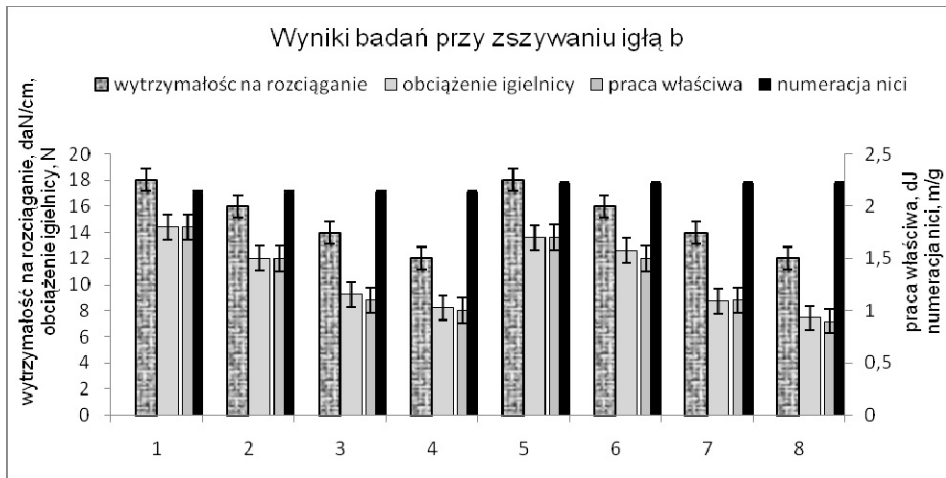
$$L = \lambda \cdot F' \cdot l$$

Opracowane wyniki badań w formie graficznej przedstawiono na **Rys. 4–7**.



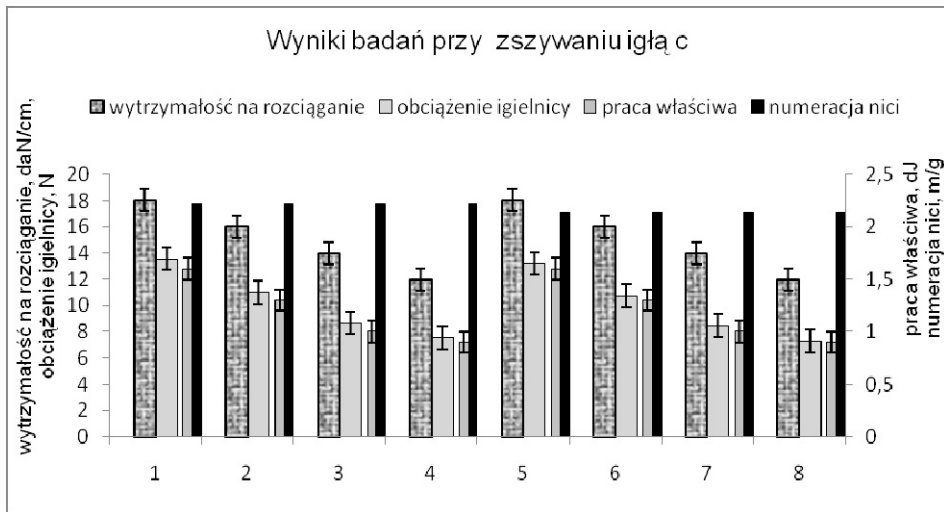
**Rys. 4. Obciążenie igielnicy i praca właściwa przy zszywaniu igłą a**

Fig. 4. Column chart and numerical values describing needle bar load and work – needle a



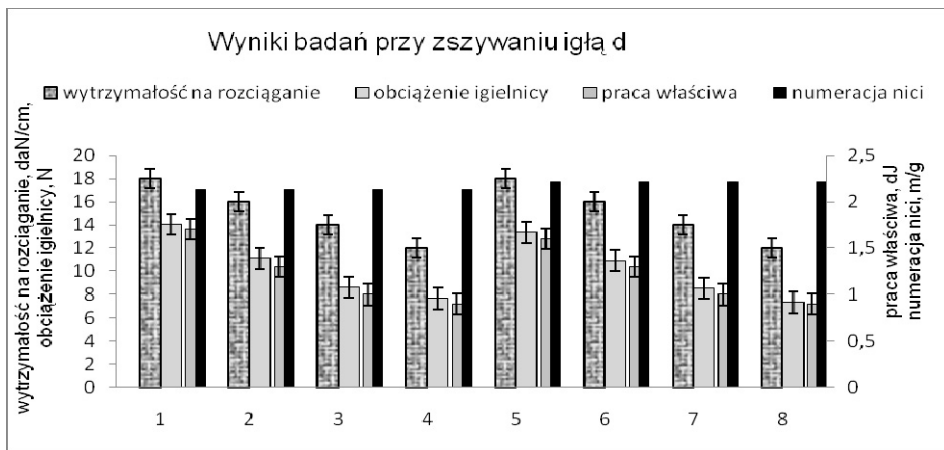
**Rys. 5. Obciążenie igielnicy i praca właściwa przy zszywaniu igłą b**

Fig. 5. Column chart and numerical values describing load of igielnica and work – needle b



**Rys. 6. Obciążenie igielnicy i praca właściwa przy zszycaniu igłą c**

Fig. 6. Column chart and numerical values describing needle bar load and work - needle c



**Rys. 7. Obciążenie igielnicy i praca właściwa przy zszycaniu igłą d**

Fig. 7. Column chart and numerical values describing needles bar load a and work - needle d

Do wyznaczenia równań regresji wykorzystano program Analysis ToolPak. Analizowane wartości przedstawione na **Rys. 4–7** w formie macierzy. Uzyskano następujące równania regresji określające pracę właściwą szycia  $L$ :

- 1) dla igieł firmy a:  $L = 162,35 X_1^{1,788} X_2^{3,824}$ ,
- 2) dla igieł firmy b:  $L = 213,73 X_1^{1,692} X_2^{3,816}$ ,
- 3) dla igieł firmy c:  $L = 134,65 X_1^{1,680} X_2^{3,823}$ ,
- 4) dla igieł firmy d:  $L = 226,50 X_1^{1,731} X_2^{3,822}$ .

W równaniach tych  $X_1$  określa wytrzymałość na rozciąganie w daN/cm szytego materiału, a  $X_2$  ciężar w daN 1000 m nici.

W oparciu o badania empiryczne stwierdzono, że igły różnych producentów mają wpływ na obciążenie igielnicy i pracę właściwą różniące się w granicach do 15% maksymalnej wartości siły.

Z analizy mocy energii elektrycznej pobieranej przez silnik w trakcie szycia (na podstawie pomiarów – średnio 100 W) wynika, że silnik wykonuje pracę – około 100 J w ciągu sekundy. Pomiaru pracy właściwej dokonano przy prędkości szycia ok. 1600 ściegów/min. W ciągu sekundy maszyna wykona ok. 26 ściegów, a więc potrzebuje na wykonanie jednego ściegu ok. 3–4 J. Praca potrzebna do przebicia materiału przez igłę to około 4% energii pobranej z sieci elektrycznej przez silnik (**Rys. 4–7**). Z analizy energetycznej wynika, że aby zwiększyć efektywność energetyczną procesu szycia należy dążyć do zmniejszenia energii pobieranej na biegu jałowym silnika i dążyć do stosowania układów zasilania, np. wykorzystanie falownika.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy teoretycznej wykazano, że wartość siły i pracy szycia materiałów zależy od czynników związanych z kształtem geometrycznym igły oraz od czynników materiałowych. Wśród czynników stanowiących o geometrii igły, wpływ na wielkość siły i pracy przebicia wykazuje średnica trzonu igły oraz rodzaj ostrza. Natomiast istotnymi czynnikami materiałowymi, wpływającymi na wielkość siły i pracy przebicia są: grubość przyszywanej warstwy, rodzaj materiału, a także rodzaj stosowanych nici. Poprawność zaproponowanego modelu teoretycznego potwierdzają wyniki badań eksperymentalnych.

Siła przebicia i praca właściwa przebicia zależy od rodzaju stosowanych igieł. Różnice pomiędzy najmniejszą i największą wartością siły i pracy właściwej szycia, odpowiadające różnym rodzajom zbadanych igieł, dochodziły do 15%.

Rozważania teoretyczne i wyniki badań eksperymentalnych wykazały, że praca właściwa i obciążenie igielnicy maleją proporcjonalnie do wytrzymałości na rozciąganie materiałów sztych, a przyjmują większe wartości ze zwiększeniem ciężaru 1000 m nici.

Przy szyciu nićmi bawełnianymi siła przebiccia i praca właściwa szycia jest mniejsza w porównaniu z szyciem nićmi poliamidowymi.

Właściwy dobór parametrów technologicznych procesu szycia (rodzaj nici i igieł) ma zasadniczy wpływ na obciążenie igielnicy i pracę właściwą szycia, a tym samym wpływa na optymalizację procesu.

Praca potrzebna do przebiccia materiału przez igłę stanowi około 4% energii pobranej z sieci elektrycznej przez silnik. Z przeprowadzonej analizy energetycznej wynika konieczność prowadzenia dalszych prac w celu zwiększenia efektywności energetycznej procesu szycia.

## LITERATURA

1. Suwart R., Suwart P.: Odpady przemysłu obuwniczego, jako wypełniacze smarów technologicznych. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, Nr 5, Rok 2003, s. 156–160.
2. Marczak R.: Moje wspomnienia o profesorze I. W. Kragielskim, *Tribologia*, Nr 1, 2008, s. 155–159,
3. Zarys teorii procesów wytwarzania obuwia. Praca zbiorowa pod redakcją Mariana Grabkowskiego, Politechnika Radomska, Radom 2002.
4. Wybrane problemy rozwoju innowacyjności w obszarze właściwości użytkowych materiałów obuwniczych, elementów obuwia oraz elementów maszyn obuwniczych. Praca badawcza nr 2275/35/P, etap II. Politechnika Radomska 2006.

**Recenzent:**  
**Jacek PRZEPIÓRKA**

## Summary

**The influence of the structure of ethoxylated fatty alcohol alkyl chain on physical-chemical and tribological properties of their aqueous solutions is analysed in the paper. Aqueous solutions of mixtures of two alcohols, containing 12 and 14 carbon atoms in alkyl chains, ethoxylated with 7 and 10 moles of ethylene oxide (iso-C<sub>13</sub>EO<sub>7</sub> and iso-C<sub>13</sub>EO<sub>9</sub>) were tested. Surface activity was measured as surface tension and the angle of wetting steel. Tribological characteristics**

were expressed in terms of motion resistance and wear under constant load. A ball-on-disc tribometer (T-11 tester) was employed. It was observed that isoalcohols revealed a better ability to reduce surface tension and worse to wet steel surfaces, as compared to alcohols containing linear alkyl chains in their structures. It was proved that, under small loads (10.5 N), the reduction of motion resistance and wear was significantly smaller in the case of alcohols containing branched chains than in the case of their linear analogues. The changes of the tribological properties observed could be interpreted in terms of the lower durability of the lubricating film formed by the isoalcohols from their solutions. The film created under conditions of friction is not durable and does not protect the cooperating elements of the friction couple against wear. That is why the aqueous solutions of isoalcohols cannot be used as efficient lubricants.