

**BOGDAN WŁODARCZYK**  
**Katedra Technologii i Budowy**  
**Wyrobów Dziewiarskich**  
**Politechnika Łódzka**

## **OCENA NIEJEDNORODNOŚCI WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH NITEK NA PODSTAWIE ANALIZY SIŁ W NITCE, W KRÓTKIEJ STREFIE ROZCIĄGANIA**

Promotor: **dr hab. inż. Krzysztof Kowalski, prof. PŁ**

Recenzenci: **prof. dr hab. inż. Ryszard Józwicki,**  
**prof. dr hab. inż. Kazimierz Kopias**

*W technologiach włókienniczych występują strefy rozciągania nitek, pomiędzy elementami maszyn lub na ich elementach roboczych, przez które przędza przemieszcza się, podlegając rozciąganiu. Długość tych stref wynosi od kilku milimetrów do kilku metrów. Zmienność napięć w przemieszczanych nitkach spowodowana jest warunkami technologicznymi oraz czynnikami związanymi z niejednorodnością własności mechanicznych. Modelowanie matematyczne sił spotykane w literaturze zwykle nie uwzględnia niejednorodności mechanicznych surowca i dlatego daje wartość średnią siły, bez parametrów rozrzutu jej wartości, który obserwuje się w rzeczywistych procesach.*

*Autor podjął próbę oceny niejednorodności własności mechanicznych przędzy i określenia jej wpływu na generowanie i charakterystykę sił w nitkach przemieszczających się przez strefę rozciągania. Zbudował również prototypowy tester przędzy.*

## OZNACZENIA

- $F_0$  [cN] – napięcie wstępne nitki przed strefą rozciągania,  
 $F$  [cN] – napięcie nitki w strefie,  
 $C, C_1$  [cN] – względne współczynniki sztywności rozciągania dla modelu Zenera (rys. 1), w algorytmie obliczeń wartości średnie tych współczynników, wartości przyjęte jako dane wejściowe,  
 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  – względne współczynniki sztywności rozciągania  $C$  [cN] kolejnych ogniw nitki, dla gałęzi sprężystej modelu Zenera, po losowej modyfikacji,  
 $C_{11}, C_{12}, C_{13}, \dots, C_{1n}$  – względne współczynniki sztywności rozciągania  $C_1$  [cN] kolejnych ogniw nitki, dla gałęzi lepko-sprężystej modelu Zenera, po losowej modyfikacji,  
 $nn$  – zadany, przyjęty do obliczeń współczynnik zmienności dla względnych współczynników sztywności rozciągania  $C$  i  $C_1$  w modelu Zenera,  
 $\eta$  [cN · s] – względna lepkość dynamiczna tworzywa nitki,  
 $\varepsilon$  – wydłużenie względne nadawane nitce w strefie,  
 $t$  [s] – czas,  
 $v_\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt}$  – prędkość narastania odkształceń nitki,  
 $\Delta L$  [m] – wydłużenie bezwzględne odcinka nitki w strefie,  
 $V_1$  [m/s] – prędkość wydawania nitki ze strefy,  
 $V_0$  [m/s] – prędkość podawania nitki do strefy,  
 $L_s$  [m] – długość strefy,  
 $L_0$  – długość ogniwa nitki,  
 $C_\varepsilon$  [cN] – zastępczy względny współczynnik sztywności rozciągania dla  $n$  ogniw w strefie wyznaczony dla zależności  $F = C_\varepsilon \cdot \varepsilon$ , [1],  
 $C_{\Delta L \text{ ZAST}}$  [cN] – zastępczy względny współczynnik sztywności rozciągania dla  $n$  ogniw w strefie wyznaczony dla zależności  $F = C_{\Delta L} \cdot \Delta L$ , [1],  
 $k$  – liczba ogniw nitki które mają być przemieszczone przez strefę w algorytmie.

## 1. WPROWADZENIE

Badania dynamicznych właściwości nitek oraz włókien wskazują, że przędzę należy uznać za ciało o właściwościach lepko-sprężystych i to zarówno te z włókien naturalnych (bawełna) jak i syntetycznych. W technologiach włókienniczych, takich jak: przędzenie, tkanie, dzianie, teksturowanie występują strefy rozciągania nitek. Strefy te występują między elementami maszyn oraz na barierach ciernych, przez które nitki są przeciągane. Podstawowym parametrem wszystkich procesów wytwarzania wyrobów włókienniczych jest siła w nitkach, od wartości, której i jej charakterystyki zależy wydajność maszyn oraz jakość wyrobu finalnego. Zmienność napięć w nitkach, w procesach włókienniczych spowodowana jest wymuszeniami technologicznymi oraz czynnikami związanymi z niejednorodnością właściwości mechanicznych przędzy. W modelowaniu sił w nitkach, najczęściej pomijany jest aspekt zmienności wartości sił, związany z występowaniem niejednorodności właściwości mechanicznych przędzy. Z tego powodu wyniki modelowania nie określają parametrów rozrzutu wartości sił, który towarzyszy rzeczywistym procesom.

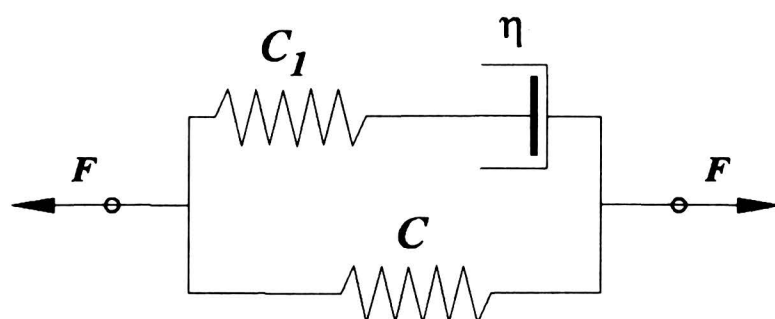
Z tego powodu podjęto próbę opracowania modelu sił w nitce przemieszczanej przez strefę rozciągania, uwzględniając losowo zmienne wartości parametrów lepko-sprężystych przędzy, które podlegają zróżnicowaniu wzdłuż długości nitki [3-11] [12] [13] [16-21].

Badania eksperymentalne [22, 23-26] dokumentują znaczny wpływ prędkości przeciągania nitki, a tym samym, prędkości narastania odkształceń względnych nitki na wartości sił. Obserwuje się, że wyższe prędkości odkształcania dają większe napięcia, niż stopniowe, powolne rozciąganie. Zjawisko to jest istotne, gdyż może znacznie zwiększać napięcia, w szybkozmiennych procesach, w których prędkość rozciągania nitek jest duża.

Z tych względów podjęto próbę modelowego pokazania wpływu, losowych zmian właściwości reologicznych materiału, na krótkich odcinkach na generowanie i charakterystykę sił w nitce transportowanej przez strefę rozciągania.

Zachowanie nitek w procesach dynamicznego rozciągania, relaksacji sił i pełzania, można przedstawić za pomocą reologicznego modelu trójelementowego Zenera (rys. 1) [27].

Model Zenera składa się z dwóch równoległych gałęzi. Pierwsza składa się tylko ze sprężyny i reprezentuje właściwości sprężyste, dające odkształcenia wprost proporcjonalne do siły. Cechy te charakteryzuje współczynnik względnej sztywności rozciągania  $C$  [cN]. Druga reprezentuje właściwości lepko-sprężyste. Składa się z dwóch elementów połączonych szeregowo: sprężyny, której właściwości charakteryzuje współczynnik sztywności rozciągania  $C_1$  [cN] oraz tłumika, którego zdolność do odkształceń pod wpływem siły rozciągającej charakteryzuje współczynnik lepkości  $\eta$  [cN · s].



Rys. 1. Trójelementowy model Zenera  
 $C$ ,  $C_1$  – względne współczynniki sztywności rozciągania,  $\eta$  – lepkość

Zależność pomiędzy odkształceniem  $\varepsilon$ , siłą rozciągającą  $F$  i czasem  $t$  działania siły oraz parametrami reologicznymi modelu Zenera  $C$ ,  $C_1$ ,  $\eta$  opisuje równanie różniczkowe:

$$F + \frac{\eta}{C_1} \cdot \frac{dF}{dt} = C \cdot \varepsilon + (C + C_1) \cdot \frac{\eta}{C_1} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1)$$

w przypadku, gdy:

prędkość odkształcania  $\frac{d\varepsilon}{dt} = \text{const} = v_\varepsilon$ ,

oraz odkształcenie względne  $\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt} \cdot t = v_\varepsilon \cdot t$  (2)

(zmiana napięcia przy stałej prędkości odkształcania), rozwiązaniem równania (1) jest wzór:

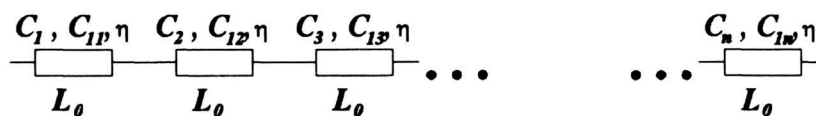
$$F = F_0 \cdot e^{\frac{-t \cdot C_1}{\eta}} + C \cdot \varepsilon + \eta \cdot v_\varepsilon \cdot \left( 1 - e^{\frac{-t \cdot C_1}{\eta}} \right) \quad (3)$$

gdzie:  $F_0$  – napięcie nitki przed wejściem do strefy.

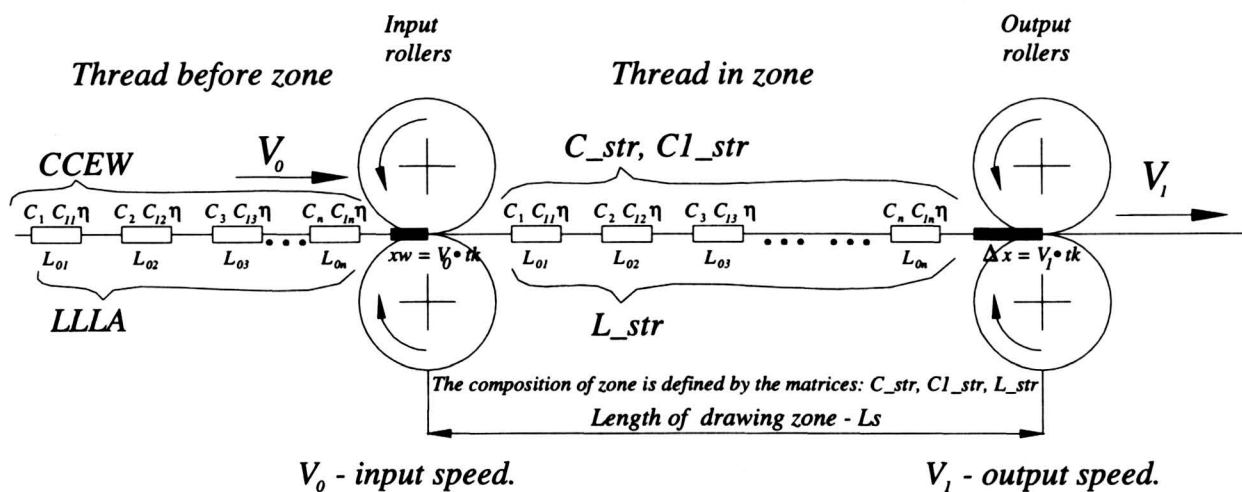
Wzór (3) opisuje, zmiany napięcia nitki w sytuacji, gdy jest ona rozciągana ze stałą prędkością narastania odkształceń względnych. W obliczeniach prowadzonych dotychczas, np. w pracy [9], wartości współczynników  $C$ ,  $C_1$ ,  $\eta$ , będących stałymi materiałowymi pozostawały stałe na całej długości nitki transportowanej przez strefę rozciągania. Dlatego wartości napięcia uzyskiwane z podanych wyżej wzorów były wartościami oczekiwanymi, średnimi nie dającymi żadnych informacji o zmienności napięć, które to uzyskuje się w eksperymentach.

## 2. ZAŁOŻENIA I TEORETYCZNE PODSTAWY ROZWAŻAŃ

Do modelowania zmienności sił w nitkach z uwzględnieniem własności reologicznych założono budowę strefy rozciągania, jak na rys. 3 oraz model nitki jak na rys. 2.



Rys. 2. Przyjęty model reologiczny nitki



Rys. 3. Model strefy rozciągania

### Założenia:

- Nitka składa się z krótkich odcinków (ogniw). Każdy jest modelem Zenera, o innych właściwościach definiowanych przez współczynniki  $C_n [cN]$  -  $C_1, C_2, \dots, C_n, C_{1n} [cN]$  -  $C_{11}, C_{12}, \dots, C_{1n}$ , oraz lepkości  $\eta [cN \cdot s]$ .
- Wartości  $C, C_1$  dla poszczególnych ogniw zmieniają się losowo, i mają rozkład normalny.
- Związek między wydłużeniem względnym  $\varepsilon$ , siłą rozciągającą  $F$  i czasem rozciągania  $t$  jest określony wzorem (3).
- Zadane wydłużenie względne w czasie całego procesu rozciągania, w strefie jest stałe:  $\varepsilon = \text{const}$ .
- Zachowane są warunki określone wzorami (2), czyli prędkość narastania odkształcenia odcinka, który wszedł do strefy jest stała.
- Czas rozciągania odcinka nitki, znajdującego się w strefie jest równy czasowi przejścia przez strefę z prędkością wydawania.

- Wartości zastępcze współczynników  $C$ ,  $C_1$  rozciąganego odcinka nitki, składającego się z  $n$  ogniw składowych, znajdujących się aktualnie w strefie, określają zależności [1, 2]:

$$C_\varepsilon = C_{\Delta L} \cdot L_0 \text{ oraz } \frac{1}{C_{\Delta L ZAST}} = \frac{1}{C_{\Delta L1}} + \frac{1}{C_{\Delta L2}} + \frac{1}{C_{\Delta L3}} + \dots + \frac{1}{C_{\Delta Ln}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_{\Delta Li}};$$

- Uprozczone przemieszczanie nitki przez strefę, tzn. kolejne obliczenie siły dokonywane jest po wymianie skrajnych ogniw odcinka nitki w strefie.
- Przed rozpoczęciem obliczeń należy przyjąć:
  - wartości średnie  $C$  [cN]  $C_1$  [cN] wraz ze współczynnikiem zmienności,
  - lepkość  $\eta$  [cNs],
  - długość ogniwa elementarnego nitki  $L_0$  [mm],
  - długość strefy rozciągania  $L_s$  [mm],
  - prędkość wydawania  $V_1$  [m/s] oraz wydłużenie względne  $\varepsilon = \frac{V_1 - V_0}{V_0}$ .

## 2.1. Algorytm obliczeń

Losowa modyfikacja, pobranych przez program średnich wartości  $C$  i  $C_1$  polega na ich obróbce komputerowej, uwzględniającej zadaną wartość średnią i zadany współczynnik zmienności. Współczynniki  $C$  i  $C_1$  są modyfikowane losowo, niezależnie od siebie. Budowę algorytmu obliczeń pokazuje rysunek 4.

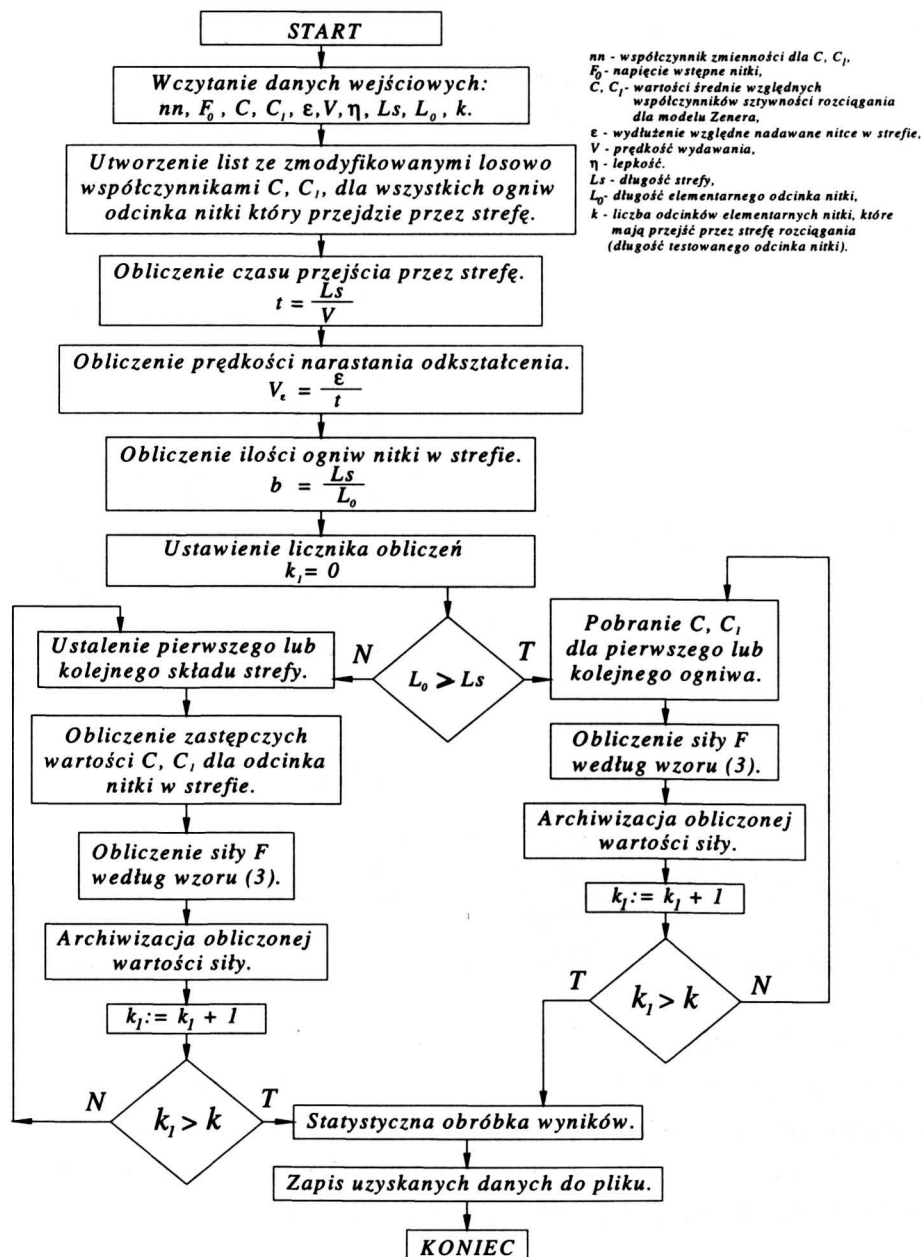
## 2.2. Możliwości symulacyjne modelu

Przykładowe histogramy dla użytych zestawów liczb losowych przedstawiono na rysunku 5A i B. W wyniku obliczeń uzyskuje się wartości siły rozciągającej nitkę w strefie rozciągania, o przebiegu jak na rysunku 6. Poszczególne krzywe dotyczą stref o różnych długościach. Wartości długości stref podano w legendzie wykresu. Jak widać uzyskane napięcia mają przebiegi zmienne, o charakterze stochastycznym. Przykładowe histogramy dla uzyskanych z obliczeń wartości pokazano na rys. 7A i B.

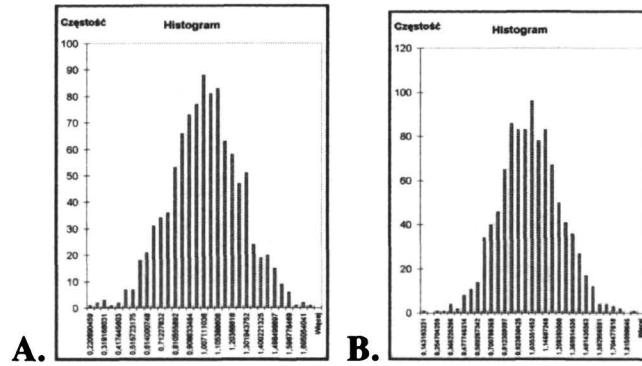
Z analizy wzoru (3) wynika, że opracowany algorytm obliczania chwilowych wartości napięcia nitki w strefie rozciągania uwzględnia wpływ prędkości transportu nitki przez strefę na wartość napięcia.

Wykres z rysunku 8 pokazuje zmiany średniego napięcia w strefie w zależności od długości strefy i zadanego współczynnika zmienności dla współczynników sztywności rozciągania  $C$  i  $C_1$ . Wynika z niego, że według opracowanego modelu średnie napięcie w strefie maleje wraz ze wzrostem

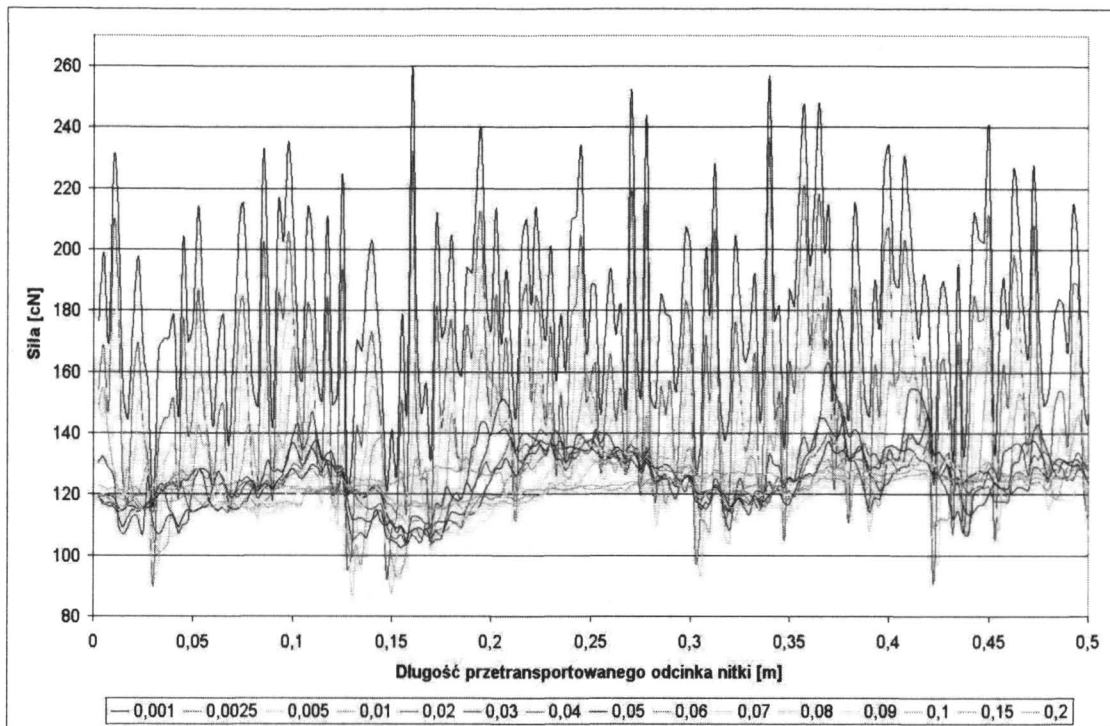
długości strefy oraz maleje wraz ze wzrostem współczynnika zmienności dla  $C$  i  $C_1$ . Z kolei wykres z rysunku 9 pokazuje, że opracowany model reologiczny uwzględnia wpływ prędkości nitki na wartość średniej wartości napięcia nitki w strefie, które rośnie wraz ze wzrostem prędkości przemieszczania nitki oraz rośnie wraz ze skracaniem długości strefy. Jest tak dlatego, że dla stref krótszych prędkość odkształcania nitki jest większa (przy tej samej prędkości transportu przez strefę). Charakter uzyskiwanych wyników z modelu jest więc zgodny z obserwacjami doświadczalnymi.



Rys. 4. Schemat algorytmu obliczeń sił w nitce transportowanej przez strefę rozciągania z uwzględnieniem losowych wartości własności lepko-sprężystych przedzdy



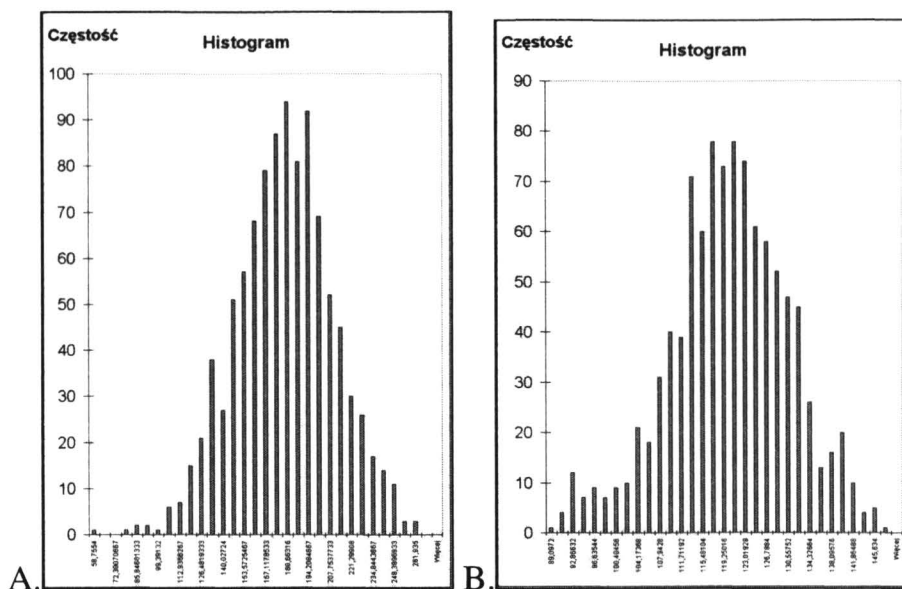
Rys. 5. Histogramy liczb losowych zastosowanych do modyfikacji współczynników sztywności rozciągania  $C$  i  $C_1$   
*A – dla współczynnika  $C$ , B – dla współczynnika  $C_1$*



Rys. 6. Zmienne napięcia nitki w strefie, uzyskane z opracowanego algorytmu

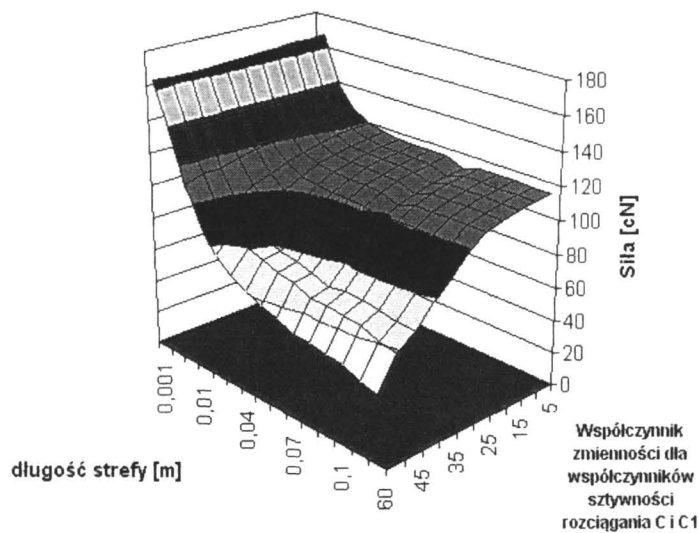
Oznacza to, że siły w nitkach rosną na skutek „nienadążania” procesu relaksacji sił za przyrostem sił, gdyż z interpretacji wyrażenia  $\exp(-t c_1/\eta)$ , które jest odpowiedzialne za przebieg procesu relaksacji wynika, że siły te zależą odwrotnie wykładniczo do czasu występowania odkształceń. Czas ten uzależniony jest od prędkości transportu i długości strefy.





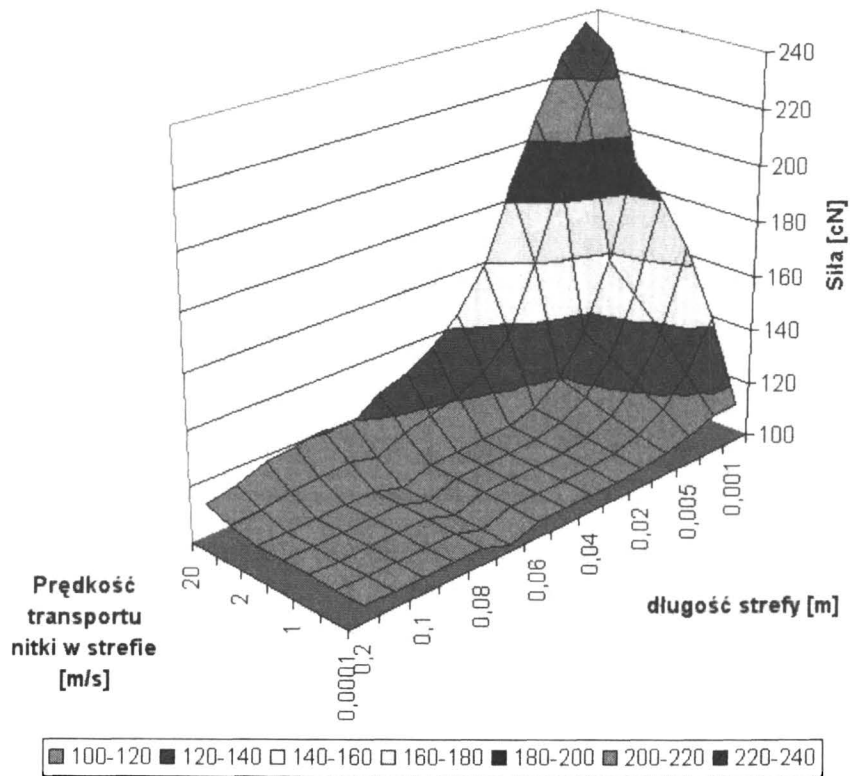
Rys. 7. Histogramy dla napięć nitki uzyskanych w wyniku obliczeń według algorytmu z rys. 6  
 A – dla strefy o długości 0,001 m, B – dla strefy o długości 0,03 m, oś  $x$  – wielkość napięcia nitki [cN]

Napięcie nitki a długość strefy rozciągania, dla różnych współczynników zmienności dla sztywności rozciągania  $C$  i  $C_1$

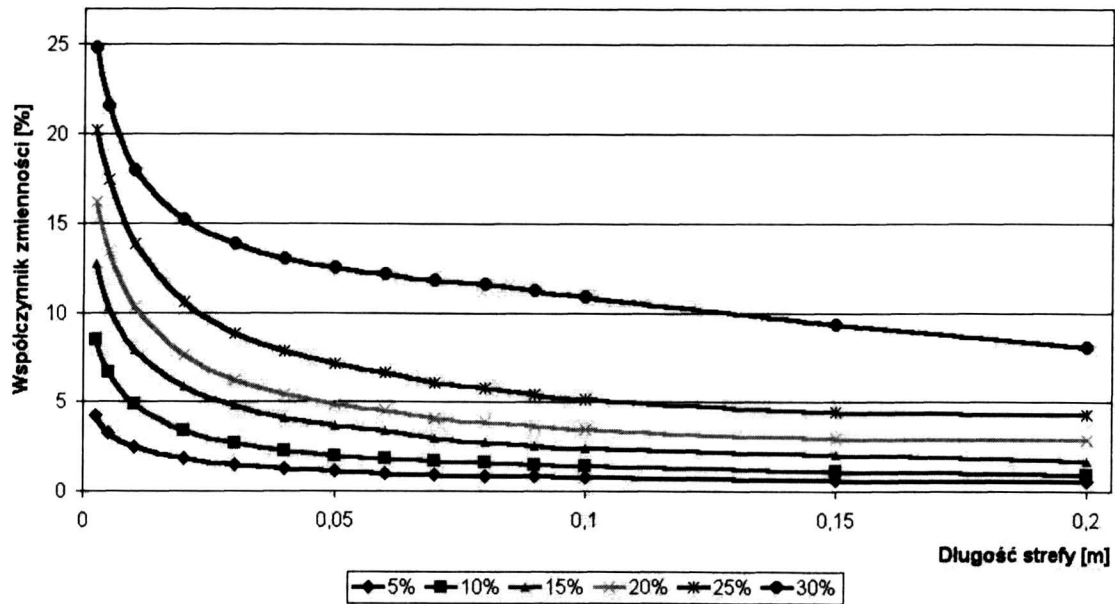


Rys. 8. Wartość średnia napięcia w zależności od długości strefy i współczynnika zmienności dla sztywności rozciągania  $C$  i  $C_1$

**Długość strefy a napięcie nitki, dla różnych prędkości transportu nitki.**



Rys. 9. Wpływ prędkości transportu i długości strefy na średnie napięcie nitki w strefie  
**Współczynnik zmienności a długość strefy.**



Rys. 10. Wpływ długości strefy na współczynnik zmienności dla napięcia nitki w strefie dla różnych zadanych współczynników zmienności dla sztywności rozciągania  $C$  i  $C_1$

Z kolei wykres z rysunku 10 pokazuje uzyskiwane z modelu kształtowanie się wartości współczynnika zmienności dla średniej wartości napięcia nitki w strefie. Wynika z niego, że wartość współczynnika zmienności napięcia ma wyższe wartości dla stref krótkich. Poszczególne krzywe na tym wykresie dotyczą obliczeń z różnymi zadanymi wartościami współczynnika zmienności dla sztywności rozciągania  $C$  i  $C_1$ . Porównując uzyskane wartości współczynników zmienności dla sił w strefie z zadanymi wartościami dla współczynników  $C$  i  $C_1$ , można zauważyć, iż wartość współczynnika zmienności siły w strefie jest niższa od zadanej do obliczeń wartości współczynnika zmienności dla parametrów  $C$  i  $C_1$ .

### 2.3. Wniosek z modelu

Uproszczony model przemieszczania nitki przez strefę, uwzględniający, własności reologiczne wraz z elementami probabilistyki, generuje chwilowe wartości napięć nitki, które są zależne od długości strefy i od prędkości jej rozciągania.

Opracowany model uwzględnia wpływ długości strefy oraz prędkości odkształcania nitki na wartość napięcia i jego charakterystykę.

Zmienność napięcia nitki w strefie jest tym większa im krótsza jest strefa.

## 3. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

### 3.1. Założenia do budowy testera przędzy

W celu praktycznego sprawdzenia i zastosowania rozważań teoretycznych, podjęto próbę zbudowania stanowiska pomiarowego realizującego praktycznie przyjęty model strefy rozciągania nitki pomiędzy dwoma parami wałków, pracujących z różnymi prędkościami obwodowymi.

Wyściowe założenia i wymagania dla konstrukcji budowanego stanowiska badawczego były następujące:

1. Najmniejsza długość odcinka nitki, rozciąganego w strefie powinna wynosić 16 mm.
2. Napęd:
  - a) sterowany centralnie,
  - b) prędkość wałków, regulowana centralnie,

c) sprzężenie zwrotne, chwilowa zmiana prędkości wydawania  $V_1$  powoduje odpowiednią zmianę prędkości podawania  $V_0$ , i odwrotnie, sterowanie ta-

kie, aby wydłużenie nitki  $\varepsilon = \frac{V_1 - V_0}{V_0}$  było stałe w czasie.

d) płynny, stopniowy rozruch.

3. Prowadzenie nitki od nawoju w sposób eliminujący zakłócenia jej napięcia (dodatkowe urządzenie podające, długa droga prowadzenia, przędza poprowadzona przez obrotowe rolki, a nie przez tradycyjne przewodniki).
4. Nitka powinna owijać wałki podający i wydający (likwidacja poślizgów).
5. Odbiór nitki po opuszczeniu strefy musi eliminować jej skłonność do nawijania się na wałek wydający.
6. Powierzchnia wałków zasadniczych ma być metalowa, co pozwoli zachować zadaną prędkość podawania i wydawania (brak niekontrolowanej zmiany średnicy wałków roboczych układu).
7. Z wałkami mają współpracować gumowe rolki dociskowe (likwidacja poślizgów, tłumienie drgań).
8. Pomiar napięcia nitki powinien być dokonywany w dwóch punktach:
  - a) przed strefą – pozwoli to kontrolować i oceniać zmienność napięcia podawanej przędzy,
  - b) w strefie – pomiar zasadniczy.

Z wyżej wymienionych pożądaných parametrów przyrządu nie udało się z przyczyn obiektywnych zrealizować punktu 1. Rzeczywista najkrótsza długość odcinka nitki rozciąganego, w strefie wynosi 35 mm.

Układ prowadzenia nitki przed i w strefie rozciągania zaprojektowano tak, aby w wyniku zmiany długości strefy rozciągania, kąty opasania na rolkach czujników napięć nie ulegały zmianie. Wyeliminowało to konieczność skalowania przetworników przy każdej zmianie długości strefy rozciągania.

W czasie, prowadzonych wstępnych doświadczeń podczas budowy przyrządu stwierdzono bardzo duży wpływ drgań zakłócających, generowanych przez mechaniczne układy przekazujące ruch obrotowy od silników na wałki robocze przyrządu. Pojawiające się drgania uniemożliwiały poprawny pomiar. W celu jak największego ograniczenia ilości mechanicznych elementów napędu, będących źródłem niepożądanych drgań, zdecydowano o przeciwnym ustawieniu silników oraz wykorzystaniu ich osi jako wałków roboczych układu.

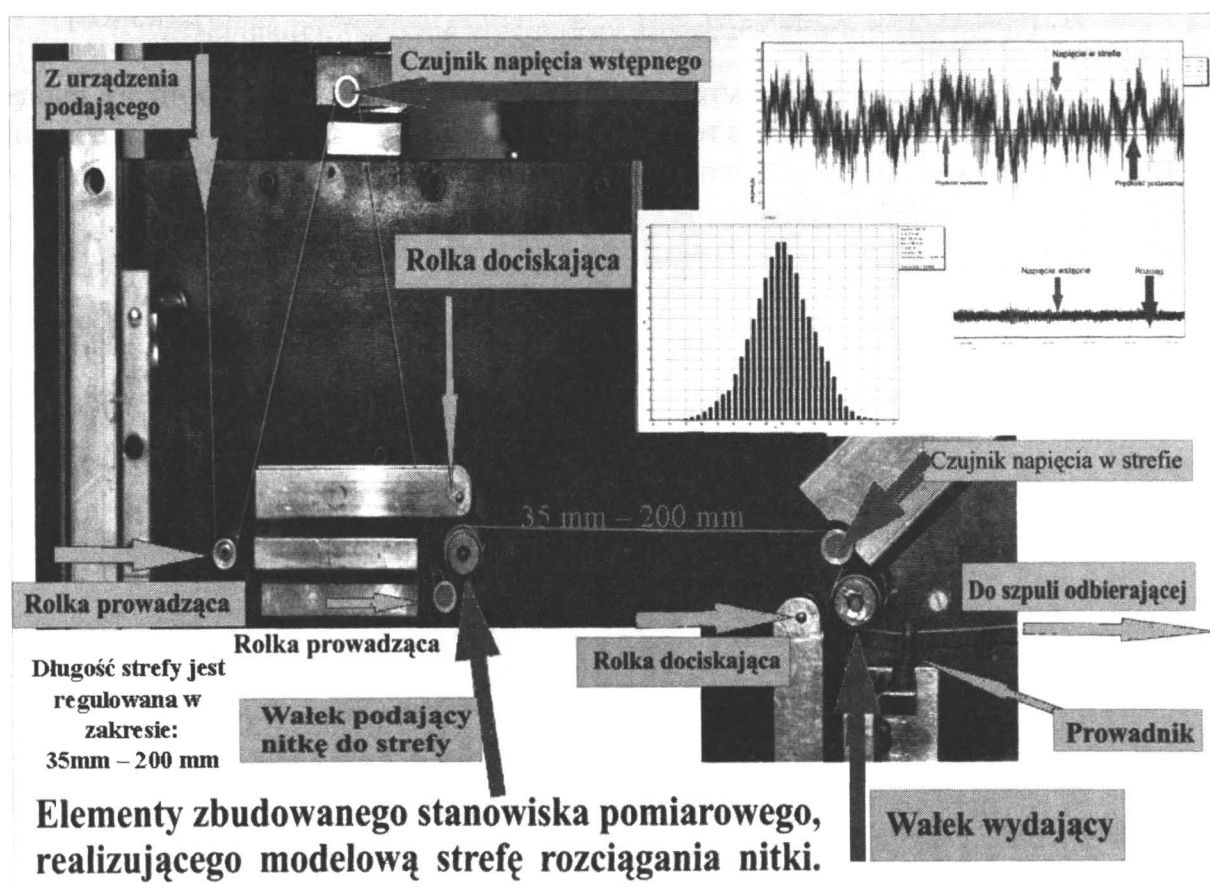
Zastosowanie jednokrotnego opasania wałków podających i obierających przez nitkę ograniczyło poślizg przędzy. Jednakże wtedy tarcie, jakie pojawia się pomiędzy ocierającymi się fragmentami nitki, powoduje jej pylenie, a to uniemożliwia dostatecznie długie prowadzenie procesu transportu jej przez strefę. Aby ograniczyć to niekorzystne zjawisko, zastosowano ssawkę pochłaniającą powstający pył.

Proces uruchamiania przyrządu i sterownia procedurą pomiarową, realizowany jest przez specjalistyczny program komputerowy o nazwie roboczej „SAD 8”, który umożliwia:

- zadanie wartości prędkości wydawania nitki w [mm/s],
- zadanie żądanej wartości rozciągu w [%],

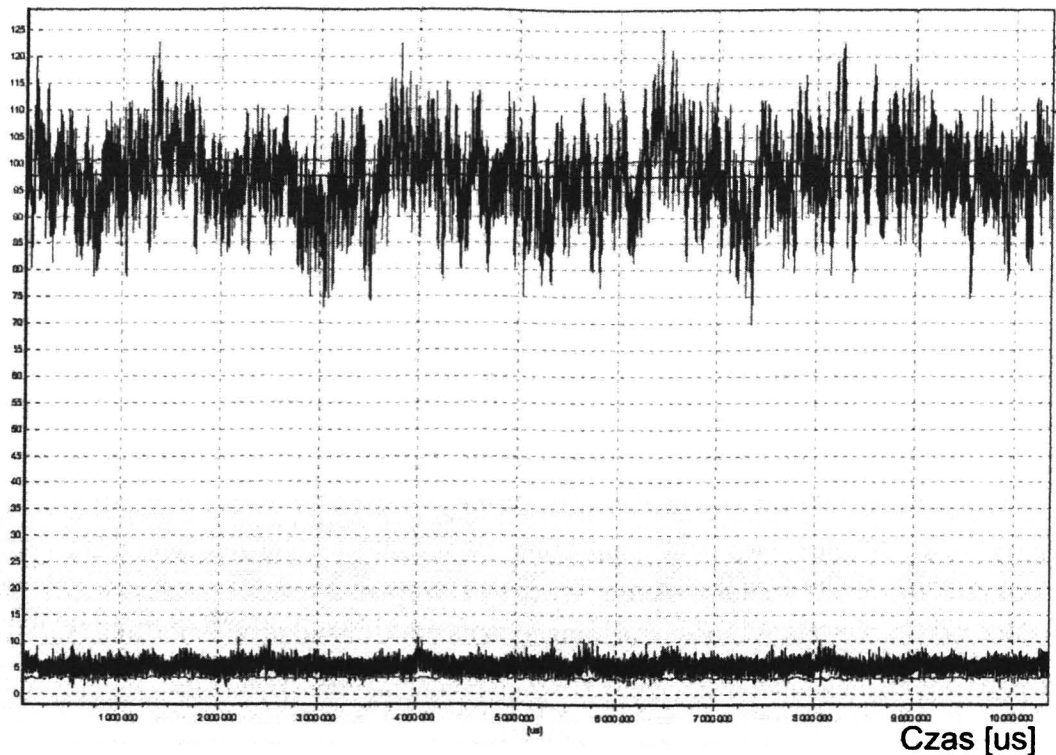
- automatyczne nastawienie wartości prędkości obwodowej wałków podających nitkę,
- zadanie częstotliwości próbkowania w czasie pomiaru,
- zapisu pliku z zebranymi danymi w czasie pomiaru,
- automatyczny pomiar,
- automatyczne przeliczenie uzyskanych wyników z [mV] na [cN],
- opracowanie histogramu dla każdej serii pomiarowej,
- analizę Fouriera,
- zapis wszystkich wyników w formacie ASCII, dogodnym dla analiz w innych programach.

Zadaniem układu automatycznej regulacji jest utrzymywanie wartości rozciągu na stałym poziomie. W czasie wykonywania kolejnych serii pomiarów stwierdzono, że przy bezpośrednim odwijaniu nitki z nawoju i kierowaniu jej do strefy rozciągania, współczynnik zmienności dla napięcia wstępnego podawanej nitki zawierał się w przedziale od 9-20%. Obniżenie wartości współczynnika zmienności przed strefą uzyskano przez zastosowanie stałonapięciowego urządzenia podającego firmy IRO typ SFE stosowanego seryjnie na szydełkarkach cylindrycznych.



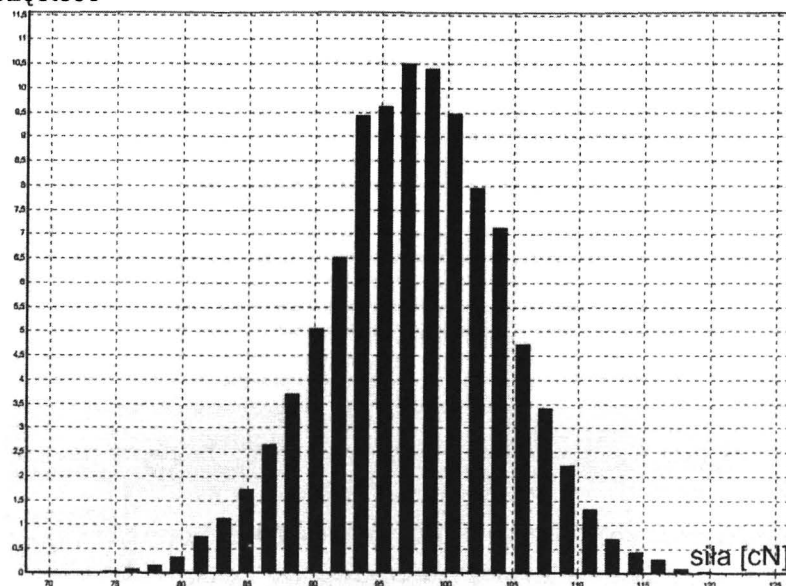
Rys. 11. Budowa zbudowanego testera pręędzy

siła [cN]

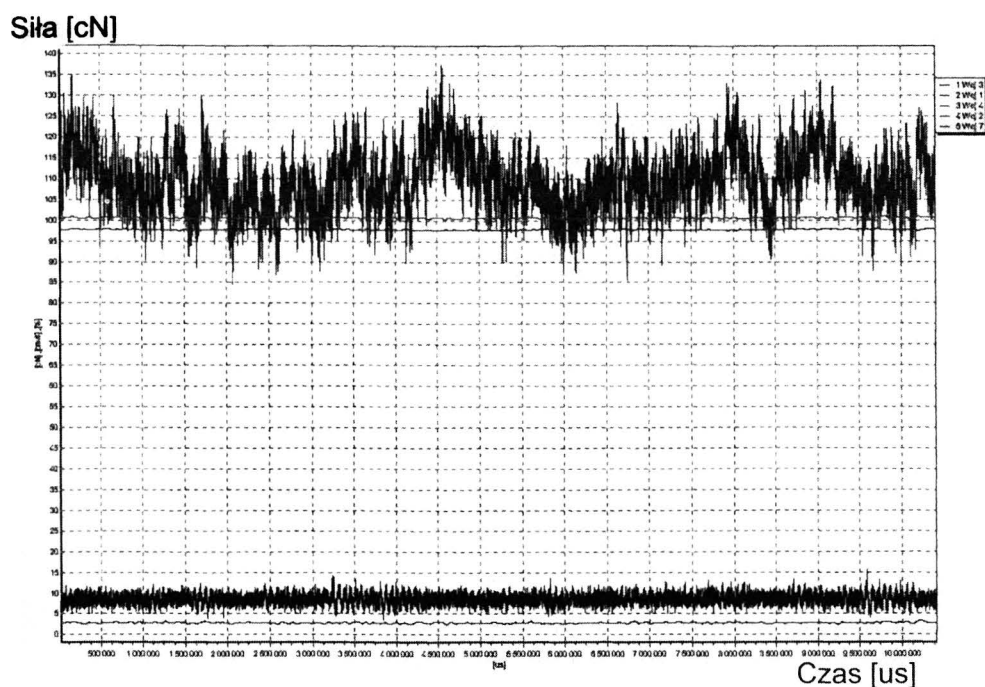


Rys. 12. Zmiany napięcia nitki w strefie o długości 50 mm oś x – czas pomiaru napięcia nitki przemieszczanej przez strefę rozciągania z prędkością 1m/s, oś y – napięcie nitki w [cN], dolna krzywa – napięcie przed strefą; górna krzywa – napięcie w strefie rozciągania, (wykres generowany przez zbudowany przyrząd)

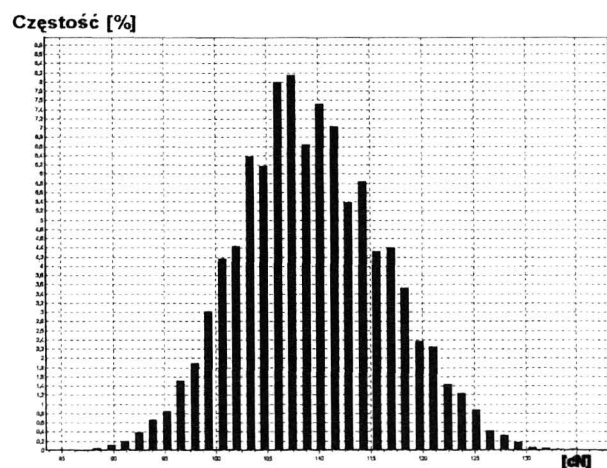
Częstość



Rys. 13. Histogram zmian napięcia nitki w strefie o długości 50 mm oś x – napięcie nitki [cN], oś y – licznosc w [%] (wykres utworzony automatycznie przez system akwizycji danych zbudowanego w pracy prządu)



Rys. 14. Zmiany napięcia nitki w strefie o długości 75 mm, dolna krzywa – napięcie przed strefą; górna krzywa – napięcie w strefie rozciągania, (wykres wygenerowany przez zbudowany przyrząd)



Rys. 15. Histogram napięcia nitki w strefie o długości 75 mm, oś x – napięcie nitki [cN], oś y – licznosc w [%] (wykres utworzony automatycznie przez system sterowania zbudowanego w pracy prządu)

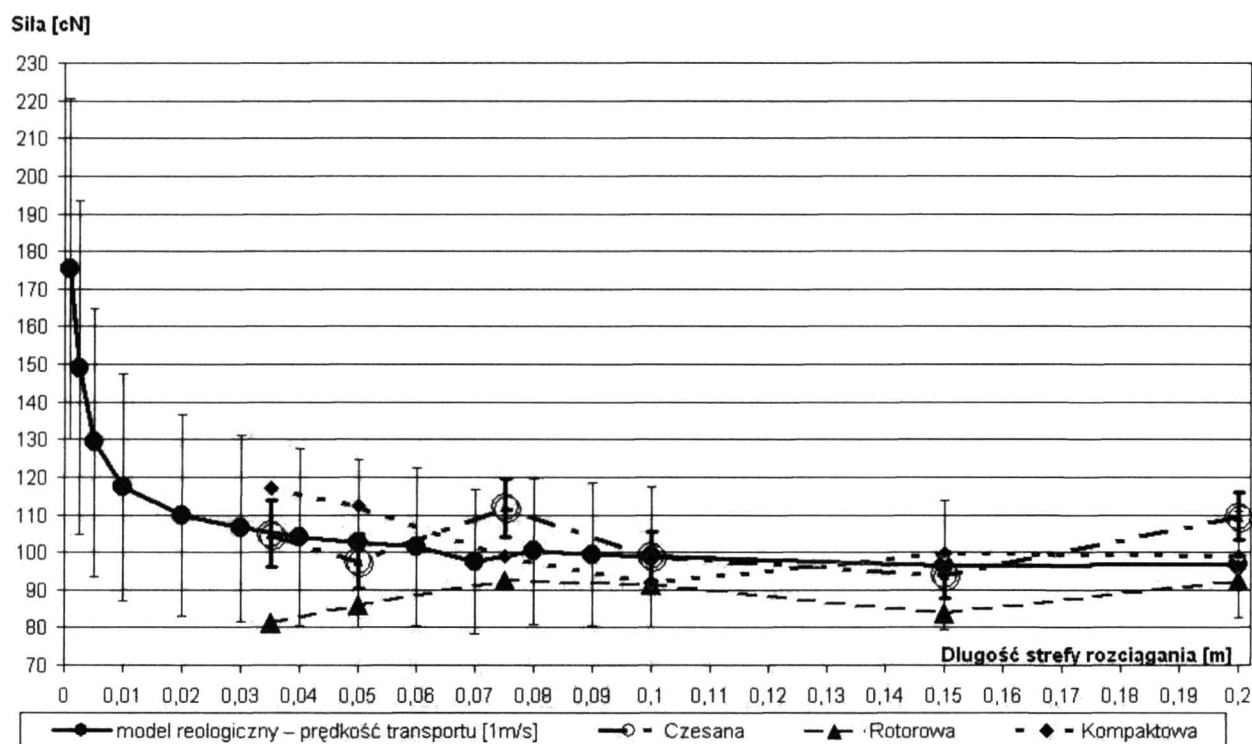
Rysunek 11 przedstawia budowę prototypowego testera przędzy, natomiast rysunki 12, 13, 14, 15, prezentują przykładowe wyniki pomiarów, uzyskane ze zbudowanego testera. Rysunki 12, 14 przebiegi napięcia testowanej nitki w czasie, a rysunki 13, 14 histogramy dla tych pomiarów, wraz z ich charakterystykami statystycznymi. Przytoczone tu przebiegi zostały wykonane



dla stref o długościach 50 i 75 mm. Testowaną przędzą była bawełna czesana o masie liniowej 20 tex.

W badaniach użyto następujących przędz bawełnianych:

- czesanej o masie liniowej 20 tex,
- rotorowej o masie liniowej 20 tex,
- kompaktowej o masie liniowej 20 tex.



Rys. 16. Zmiana napięcia nitki w strefie w zależności od długości strefy – porównanie danych. Krzywa  $\bullet$  to uproszczony model reologiczny – uzyskana, gdy współczynnik zmienności dla  $C$  i  $C_1$  wynosił 35%

Wykres z rysunku 16 porównuje uzyskane w eksperymencie wartości średnie napięć nitki w strefie rozciągania na przyrządzie (krzywe krótsze) z przebiegiem teoretycznym uzyskanym z opracowanego modelu (krzywa dłuższa,  $\bullet$ ). Zbieżność wartości średnich napięć eksperymentalnych z obliczeniowymi uzyskano, gdy współczynnik zmienności dla  $C$  i  $C_1$  wynosił 35%.

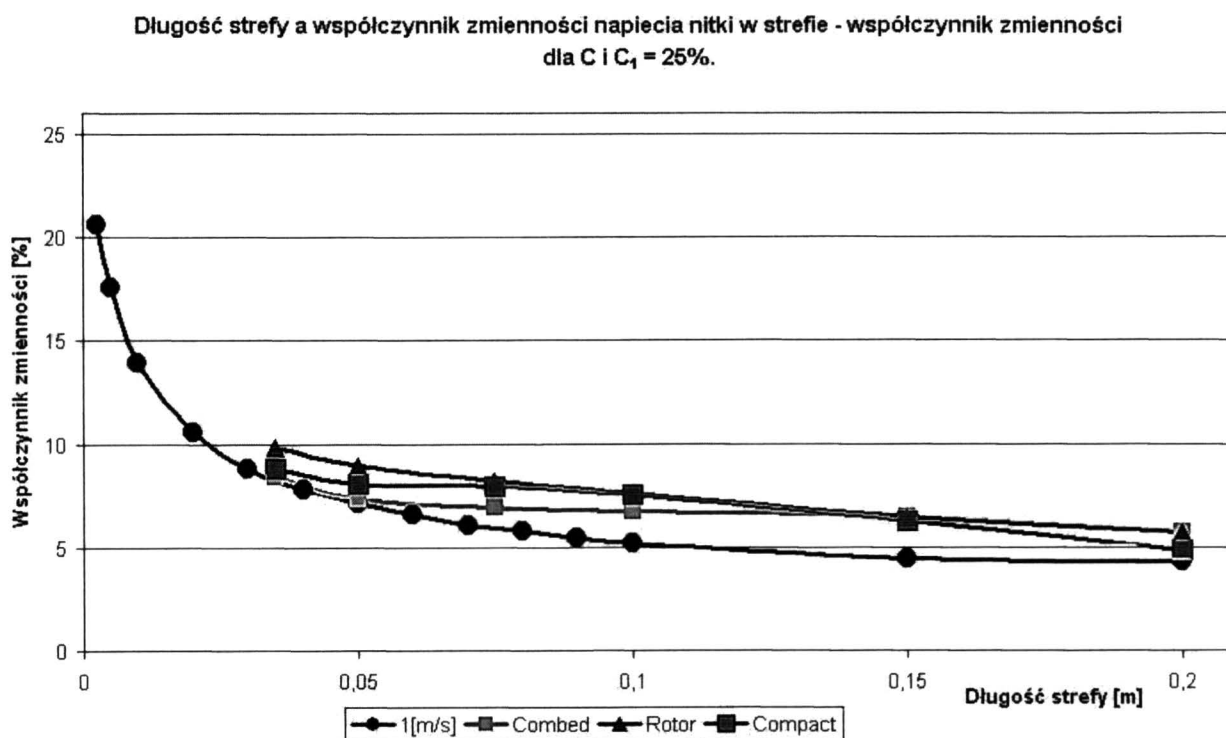
Dla krzywej uzyskanej z modelu reologicznego (krzywa  $\bullet$ ) oraz krzywej dla przędzy bawełnianej czesanej (krzywa  $\circ$ ) (rys. 16) naniesiono wartości odchylenia standardowego, charakteryzującego szerokość przedziału dla wartości chwilowych. Jak widać dane eksperymentalne zawierają się w zakresie zmian uzyskiwanych z przybliżonego modelu reologicznego.

Niedokładne pokrywanie się krzywych eksperymentalnych z modelową związane jest z tym, że w eksperymencie dla kolejnych długości stref testowany był inny odcinek tej samej nitki, różniący się jednak nieco od odcinka testowanego we wcześniejszym pomiarze. Natomiast w modelu teoretycznym



dla kolejnych długości strefy przeliczany był odcinek nitki absolutnie identyczny, taki sam.

Porównania uzyskanych w eksperymencie wartości współczynników zmienności napięć w strefach o różnych długościach z wartościami modelowymi dokonano na rysunku 17. Jak widać charakter zmian wartości współczynnika zmienności napięcia nitki w strefie rozciągania jest zgodny z uzyskanym w symulacjach teoretycznych, tzn. że ze wzrostem długości strefy zmienność napięcia nitki w strefie maleje. Dłuższe strefy wyrównują napięcie nitki, a krótkie są przyczyną wzrostu zmienności napięcia nitki o niejednorodnych właściwościach mechanicznych.



Rys. 17. Porównanie współczynników zmienności z eksperymentu i z obliczeń teoretycznych krzywa długa - wynik obliczeń teoretycznych, krzywe krótkie - ilustrują wyniki pomiarów dokonanych na przyrządzie

## 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzona symulacja komputerowa wskazuje na przyczyny stochastycznego charakteru napięć, związanego z nierównomiernością właściwości mechanicznych nitki oraz określa charakter zmian rozrzutu sił w zależności od długości strefy rozciągania, współczynników zmienności sztywności rozciągania, prędkości transportu i długości odcinków składowych przędzy o różnej charakterystyce mechanicznej.

Przeprowadzone badania teoretyczne i eksperymentalne zezwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Opracowany dyskretny model probabilistyczny sił w nitce transportowanej w strefie rozciągania z uwzględnieniem niejednorodności własności lepko-sprężystych przędzy pozwala na generowanie stochastycznego charakteru sił w nitkach i wyjaśnia jedną z przyczyn zmienności sił w nitkach w technologiach włókienniczych.
2. Wartości współczynników zmienności sił zmniejszają się degresywnie wraz ze wzrostem długości strefy rozciągania, a spadek wartości współczynników zmienności jest tym większy, im mniejsze są średnie długości odcinków o zmiennej losowo sztywności rozciągania.
3. Współczynnik zmienności napięcia w strefie jest niższy niż współczynnik zmienności dla sztywności rozciągania nitki niezależnie od długości strefy rozciągania, co wiąże się ze spadkiem wartości zastępczej tej sztywności rozciągania w stosunku do maksymalnej wartości sztywności ze składu strefy rozciągania, przy czym wraz ze wzrostem współczynnika zmienności dla sztywności rozciągania zmniejszają się wartości zastępczego współczynnika sztywności rozciągania odcinka nitki w strefie.
4. Im dłuższa ogniwka przędzy o losowej wartości sztywności rozciągania jest mniejsza, tym intensywność spadku średniej wartości napięć wzrasta wraz ze zwiększaniem się długości strefy rozciągania nitki. Ten spadek jest związany ze zwiększaniem się liczby ogniw nitki, będących równocześnie w strefie rozciągania.
5. Wyniki symulacji komputerowych wskazują, iż zmienność sił w nitkach w strefie rozciągania odzwierciedla nierównomierność jej właściwości mechanicznych wyrażonych zmienną wartością sztywności rozciągania. Zastosowanie stosunkowo krótkiej strefy rozciągania umożliwia uzyskanie wysokiej wrażliwości relacji siła/wydłużenie na zmianę wartości sztywności rozciągania, czego nie zapewniają dotychczas istniejące testery nitki.
6. Współczynnik zmienności napięcia nitki w strefie rozciągania intensywnie wzrasta wraz ze zmniejszaniem się długości strefy. Wzrost ten jest intensywniejszy dla wyższych prędkości transportu nitki, co można tłumaczyć relacjami między parametrami reologicznymi w członie Maxwella modelu standardowego Zenera, związanymi z występowaniem procesu relaksacji sił, którego intensywność zależy odwrotnie wykładniczo od czasu transportu nitki przez strefę rozciągania. Zmniejszenie prędkości transportu nitki wydłuża czas przejścia nitki przez strefę, co obniża wartości średnie sił w przędzy. Niższe średnie wartości sił w relacji do wartości odchylenia standardowego powiększają współczynnik zmienności siły w strefie rozciągania.
7. W odróżnieniu od znanych testerów przędzy (tzw. strainometrów, tensomodułów), zaprojektowany i wykonany w ramach pracy przyrząd charakteryzuje się stosunkowo krótką strefą rozciągania nitki równą 35 mm, co zezwala na wyznaczenie zmienności napięć i sztywności rozciągania w odcinkach

przędzy kilkakrotnie mniejszych niż w znanych testerach przędzy tego typu. Należy jednak dążyć do budowy testera przędzy o jeszcze krótszych strefach rozciągania, dla których, wrażliwość zmian napięcia na niejednorodność właściwości mechanicznych jest większa niż w urządzeniu prototypowym.

8. W podsumowaniu można stwierdzić, iż wnioski wypływające z przeprowadzonych badań teoretycznych wskazujące na relacje między niżej wymienionymi parametrami procesu transportu nitki w strefie rozciągania tzn.:
- długością i współczynnikiem zmienności elementarnego ogniwa przędzy,
  - sztywnością rozciągania i jego współczynnikiem zmienności,
  - długością strefy rozciągania,
  - prędkością transportu nitki,
  - napięciem i jego współczynnikiem zmienności,
  - średnią zastępczą wartością sztywności rozciągania i jej współczynnikiem zmienności,

dają teoretyczne podstawy oceny niejednorodności właściwości mechanicznych przędzy i dokumentują zweryfikowane doświadczalnie znaczenie zmienności właściwości mechanicznych przędzy na generowanie i charakterystykę napięć w technologicznych procesach włókienniczych oraz dla jej przydatności technologicznej.

## LITERATURA

- [1] **Włodarczyk B., Kowalski K.:** *A Discrete Probability Model of Forces in Yarns Transported Through the Drawing Zone.* FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe April/Juni 2006, Vol. 14, No. 2 (56).
- [2] **Włodarczyk B.:** *Ocena niejednorodności właściwości mechanicznych nitek na podstawie analizy sił w nitce w krótkiej strefie rozciągania.* Praca doktorska, Wydział Inżynierii i Marketingu Tekstyliów, Politechnika Łódzka, Łódź 2007.
- [3] **Knapton J.F., Munden D.L.:** *A Study of the Mechanism of Loop Formation on Weft- Knitting Machinery.* Text. Res. J. 12 (1966), s. 1072-1091.
- [4] **Knapton J.F.:** *The Dynamics of Weft-Knitting.* Text. Res. J. 9 (1968) s. 914-924.
- [5] **Aisaka N.:** *Mathematical Considerations of Weft-Knitting Process.* J. Tex. Mach. Soc. Japan 3 (1971) s. 82-91.
- [6] **Kowalski K.:** *Modelowanie procesu przeciągania nitek przez bariery cierne – model fizyczny procesu przeciągania nitek przez bariery cierne.* Przegl. Włók. 41 (1987) 4, s. 163-166.
- [7] **Kowalski K.:** *Analiza modelu reologicznego procesu przeciągania nitek przez bariery cierne.* Przegl. Włók. 41 (1987) 6, s. 226-229, 14 rys. 22 poz. lit.
- [8] **Kowalski K.:** *Modellierung der Faden-Festkörper-Reibung.* Melliand Textilberichte 3/1991 s. 171-175, 14 rys., 22 poz. lit.
- [9] **Kowalski K.:** *Identyfikacja dynamicznych sił w nitkach na szydełkarkach na podstawie symulacji komputerowej i cyfrowej techniki pomiarowej.* Zeszyty Naukowe PŁ nr 613, Łódź 1991.
- [10] **Bauer H.J.:** *Positive Fadenzuführung an Strickmaschinen – der Schlüssel zur Gestrickqualität,* Maschen-Industrie 46 (1996) 6, s. 475-479.

- [11] **Wünsch I., Pusche Th., Offermann P.:** *Fadenzuführung an Runstrickmaschinen und eine neue Art Prozessdarstellung.* Melliand Textilberichte 5/1999 s. 388-392.
- [12] **Żyliński T.:** *Nauka o włóknie.* WPLiS Warszawa 1958.
- [13] **Urbańczyk G.:** *Fizyka włókna. Własności fizyczne włókien* WNT, Warszawa 1974.
- [14] **Ryklin D.B., Rineisky K.N., Kogan A.G.:** *Komputerowa symulacja procesu rozciągania.* Materiały VI Międzynarodowej Konferencji Naukowej „IMTEX 2000”, Łódź 5-6 czerwca 2000 roku.
- [15] **Żurek W.:** *Struktura liniowych wyrobów włókienniczych.* WNT, Warszawa 1989.
- [16] **Bauer A., Winkler F.:** *Dynamische Zugprüfung von Faden, IV Hystereischleife.* Faserforsch und Textiltechnik 16, 1965, 4, s. 304-312-23.
- [17] **Bauer A., Winkler F.:** *Dynamische Zugprüfung von Faden, V Die Dampfung.* Faserforsch und Textiltechnik 16, 1965, 8, s. 382-387-24.
- [18] **Bauer A., Winkler F.:** *Dynamische Zugprüfung von Faden, VI Phasenwinkel und Verlustwinkel.* Faserforsch und Textiltechnik 26, 1965, 9, s. 456-463.
- [19] **Nitzche K., Bauer A., Winkler F.:** *Relaxationsuntersuchungen an polymeren Festkörpern unter Aspekt der experimentellen Systemanalyse.* Forschung und Textiltechnik 26, 1075, 11, s. 527-532.
- [20] **Szosland J., Czołczyński M.:** *Prędkość rozchodzenia się impulsu napięciowego w nitkach.* Przegląd Włókienniczy 27, 1973, 11, s. 527-532.
- [21] **Offermann P., Schafer J., Schubert E.:** *Zur Theorie und Praxis bei der Fadenverarbeitung insbesondere in der Strickerei.* Beilage 2/1979 zu den „Information Trikotagen und Strumpfe“, VEB Wissenschaftlich – Technische Zentrum Trikotagen und Strumpfe, Limbach-Oberfrohna. – 28.
- [22] **Lewiński J.:** *Dynamiczne napięcia nitek podczas snucia.* Praca doktorska. Politechnika Łódzka, Łódź 1975.
- [23] **Рогоза Й.В., Бескостова В.:** *Экспериментальное определение натяжения нити про кулировании.* Текст. Пром., т. 29, 6 (1969), с. 42-45.
- [24] **Więźlak W., Nowak R.:** *Mierzenie statycznego i dynamicznego napięcia w nici szwalniczej w procesie szycia.* Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Włókiennictwo z. 16, (1967).
- [25] **Fieles-Kahl N., Helli I.G.:** *Zusammenhänge zwieschen Luftfeuchte, Temperatur und den Reibungskoeffizienten von Garnen.* Textil Praxis 21, 5 i 6 (1966).
- [26] **Гарбаруг В.Н.:** *Влияние скорости скольжения нити по направляющем на его натяжение.* Изв. ВУЗ. Тех. Легк. Пром. 1 (1963), с. 158-161.
- [27] **Bland D.R.:** *The Theory of linear Viscoelasticity.* Pergamon Press 1960.
- [28] **Włodarczyk B., Kowalski K.:** *Discrete Probabilistic Model of Forces in a Thread with Visco-elastic Properties transported Through a Drawing Zone, Fibres & Textiles in Eastern Europe' 2007.*

## **ESTIMATING THE IRREGULARITIES OF MECHANICAL PROPERTIES OF THREADS ON THE BASIS OF AN ANALYSIS OF FORCES ACTING IN A THREAD MOVING THROUGH A SHORT DRAWING ZONE**

### *Summary*

Drawing zones of threads can be commonly found in textile technologies, between parts of machines and on its working elements through which the threads are displaced and drawn. The length of such zones ranges from some millimeters to some meters. The variability of tensions in the threads displaced is caused by technological conditions and factors connected with the irregularity of the threads mechanical properties. Mathematical modeling of forces described in literature commonly do not concern the mechanical irregularities of raw material and therefore its results are only average values which do not include the parameters of the values' dispersion which are observed in real processes.

The Author took an attempt to estimate the irregularities of the mechanical properties of threads, and to determine their influence on the generation of forces (and their characteristic features) in threads displaced through a drawing zone. We also designed and build a prototype yarn tester. The theoretical model presented herein, was developed on the basis of a model concerning only the elasticity theory, in details described in [2], and presented in [1], as well as on the basis of a model concerning the thread's visco-elastic properties described in [28].

Department of Knitting Technology  
and Structure of Knitted Product  
Technical University of Lodz