

BEATA WITKOWSKA¹**Katedra Odzieżownictwa
Politechniki Łódzkiej****MODELOWANIE STATYCZNEGO ROZDZIERANIA
TKANIN BAWELNIANYCH**Promotor: **prof. dr hab. inż. Iwona Frydrych**Recenzenci: **prof. zw. dr hab. inż. Józef Wojnarowski**
Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. Marek Snycerski
Instytut Architektury Tekstyliów PŁ

Właściwości wytrzymałościowe tkanin determinują ich przydatność do określonego obszaru zastosowania. W pracy przedstawiono analizę zjawiska statycznego rozdzierania tkanin bawełnianych. Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie teoretycznego modelu rozdzierania tkanin bawełnianych, który jednocześnie wiąże parametry struktury przędzy i tkaniny ze zjawiskami zachodzącymi w strefie rozdzierania tkanin oraz uwzględnia parametry geometrii tej strefy.

1. WPROWADZENIE

W 1945 roku Krok i Fox [5], analizując wykonane przez siebie fotografie rozdartych próbek tkanin w kształcie tzw. jęczyczka, wyodrębnili i opisali strefę rozdzierania tkanin, tj. strefę pojawiającą się między nitkami obu układów rozdzieranej próbki tkaniny. Stało się to inspiracją dla kolejnych badaczy m.in. [2, 3, 4, 7, 10, 11, 14] zjawiska rozdzierania tkanin, którzy często opierali swoje rozważania na wnioskach sformułowanych przez Krok'a i Fox'a.

¹ Autorka jest pracownikiem Instytutu Włókiennictwa w Łodzi (do 01.07.2007 Instytut Inżynierii Materiałów Włókienniczych).

Trudności związane z opracowaniem modelu rozdzielania tkanin bawełnianych, który prognozowałby wartość ich siły rozdzielania, związane były i są przede wszystkim z powiązaniem zjawisk występujących w strefie rozdzielania tkanin z parametrami struktury przędz i tkanin. Cechą badań wytrzymałości tkanin na rozdzielanie, nie obserwowaną na podobną skalę przy wyznaczaniu innych parametrów wytrzymałościowych tkanin, jest różnorodność kształtów próbek zaproponowanych do badań, a co za tym idzie metod badań. Istotne różnice w wartościach sił rozdzielania uzyskiwanych różnymi metodami wskazują na to, że trudnym zadaniem jest opracowanie jednego uniwersalnego modelu rozdzielania, który prognozowałby wartość siły rozdzielania tkanin niezależnie od zastosowanego kształtu próbki.

Dotychczas zaproponowane modele rozdzielania tkanin dotyczyły dwóch kształtów próbek. Najczęściej badacze podejmowali próby prognozowania wartości siły rozdzielania tkanin dla próbki w kształcie tzw. jęczyczka i w kształcie trapezu. Przy opracowywaniu modeli rozdzielania tkanin prezentowane były dwa podejścia badawcze. Jedno z nich dotyczyło powiązania parametrów struktury przędzy i tkaniny oraz parametrów geometrii strefy rozdzielania z wytrzymałością na rozdzielanie tkanin [4, 11]. W zależności od autora modele uwzględniały najczęściej parametry tylko jednego z układów tkaniny – rozciąganego lub rozdzielanego, natomiast pomijały analizę sił występujących w strefie rozdzielania tkanin. Parametry struktury przędzy odnosiły się przede wszystkim do jej wytrzymałości na rozerwanie, a parametry struktury tkaniny do liczby nitek na jednostkę długości, a także, w niektórych przypadkach, uwzględniano współczynnik tarcia statycznego nitka/nitka. Charakterystycznymi parametrami tak opracowanych modeli rozdzielania były liczne współczynniki, których eksperymentalne wyznaczenie determinowało praktyczne wykorzystanie modeli rozdzielania.

Odmienne podejście reprezentowali badacze, których modele rozdzielania opierały się na analizie sił występujących w strefie rozdzielania tkanin. Były to modele reologiczne, w których nitki obu układów występujące w strefie rozdzielania, modelowano układem sprężyn [7, 8, 9]. Opracowany przy takim podejściu w 1994 roku model Scelzo i innych [7, 8] umożliwił szczegółową analizę zjawisk występujących w strefie rozdzielania tkanin. Autorzy oparli swoje rozważania na analizie zależności, jakie zachodzą między nitkami układu rozciąganego i nitkami układu rozdzielanego, zakładając, że przemieszczanie i wydłużanie się nitek obu układów w strefie rozdzielania prowadzi do wzajemnego zakleszczania się nitek obu układów.

Biorąc pod uwagę aktualne znaczenie badań wytrzymałości na rozdzielanie w kompleksowej ocenie właściwości tkanin przeznaczonych do różnych obszarów zastosowań, istotne wydało się *opracowanie modelu rozdzielania tkanin bawełnianych, który jednocześnie wiązałby parametry struktury przędzy i tkaniny ze zjawiskami zachodzącymi w strefie rozdzielania tkanin oraz uwzględniał parametry geometrii tej strefy.*

Model opracowano dla próbki w kształcie tzw. skrzydełka. Taki kształt próbki umożliwia wykonywanie badań wytrzymałości na rozdzielanie tkanin bawełnianych niezależnie od parametrów ich struktury.

Ponadto, w oparciu o zaproponowany model rozdzielania, można wyznaczyć dowolne zależności między opisanymi w modelu parametrami zdefiniowanymi dla strefy rozdzielania tkanin.

Należy podkreślić, że przy opracowywaniu modelu rozdzielania tkanin wzięto pod uwagę możliwości jego praktycznego stosowania podczas projektowania tkanin, pod względem ich wytrzymałości na rozdzielanie. Zakładając automatyzację procesów obliczeniowych przyjęto, że parametry, w tym również współczynniki modelu, powinny przede wszystkim opierać się na danych dotyczących struktury przędzy i tkaniny, które są ogólnie dostępne w procesie projektowania, natomiast eksperymentalne wyznaczenie pozostałych parametrów modelu będzie opierać się o metody powszechnie stosowane.

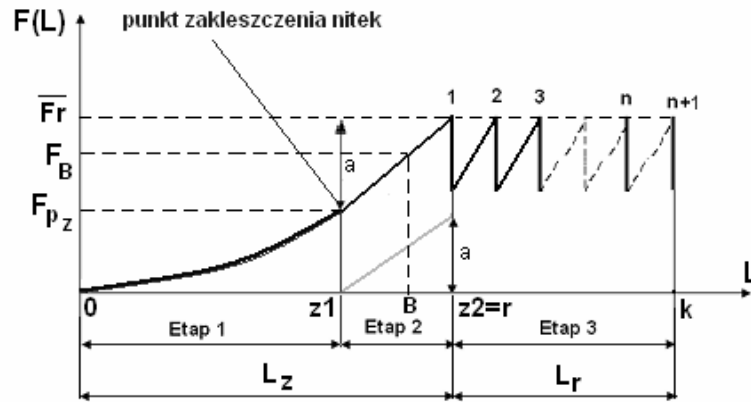
2. CEL PRACY

Celem pracy było udokumentowanie tezy, iż *możliwe jest prognozowanie wytrzymałości na statyczne rozdzielanie tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka za pomocą modelu opracowanego na podstawie analizy rozkładu sił występujących w strefie rozdzielania tkanin, parametrów geometrii strefy oraz znajomości parametrów struktury przędzy i tkaniny.*

3. MODEL STATYCZNEGO ROZDZIERANIA TKANIN BAWELNIANYCH DLA PRÓBK W KSZTAŁCIE SKRZYDEŁKA

3.1. Etapy procesu statycznego rozdzielania tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka

Proces rozdzielania próbki tkaniny bawełnianej w kształcie skrzydełka zainicjowany przyłożeniem do tej próbki siły rozciągającej podzielono na trzy etapy, które schematycznie zaprezentowano na rys. 1.



Rys. 1. Wykres siły rozciągania rozdieranej próbki w funkcji przemieszczenia zacisku maszyny wytrzymałościowej, tzw. wykres rozdierania próbki. Etapy procesu rozdierania tkaniny bawełnianej dla próbki w kształcie skrzydełka

Źródło: badania własne.

punkt 0 – rozpoczęcie procesu rozdierania próbki, tj. uruchomienie zacisku maszyny wytrzymałościowej, *punkt 0* oznacza również początek etapu przemieszczania nitki obu układów rozdieranej próbki tkaniny,

punkt z1 – koniec etapu przemieszczania i początek etapu rozciągania nitki układu rozdieranego,

punkt z2 – koniec etapu rozciągania i początek etapu rozrywania nitki - *punkt r*,

punkt k – koniec procesu rozdierania próbki, tj. koniec badania,

punkt B - dowolny punkt na odcinku $z1-z2$,

odcinek a – wartość siły zrywającej, tj. wartość, która jest „dodana” do wartości siły przemieszczania od chwili osiągnięcia punktu zakleszczenia,

L – droga, na której przemieszcza się zacisk maszyny wytrzymałościowej,

L_z – droga, na której przemieszcza się zacisk maszyny wytrzymałościowej do chwili rozerwania pierwszej nitki na drodze rozdierania L_r ,

L_r – droga rozdierania, tj. droga, na której przemieszcza się zacisk maszyny wytrzymałościowej od chwili rozerwania pierwszej do chwili rozerwania ostatniej nitki na zaznaczonym na próbce rozdieranym odcinku,

$F(L)$ – siła rozciągania działająca na rozdieraną próbkę na drodze przemieszczania zacisku maszyny wytrzymałościowej,

$\overline{F_r}$ – średnia wartość siły rozdierania obliczona jako średnia arytmetyczna z lokalnych wartości sił rozdierania reprezentowanych przez wierzchołki 1, 2, 3 ... n, n+1 na drodze rozdierania L_r (dla idealnych warunków, gdzie $F_{r1} = F_{r2} = F_{r3} = F_m = F_{m+1}$),

F_B – wartość siły rozciągania próbki w dowolnym punkcie B,

Linia $z1$ – koniec odcinka *a* – zależność między siłą zrywającą a wydłużeniem dla pojedynczej nitki, tj. $W_z = f(\epsilon_z)$,

krzywa 0 – 1 – punkt zakleszczenia – zależność między drogą, na której przemieszcza się zacisk maszyny wytrzymałościowej a siłą, aż do chwili rozerwania pierwszej nitki na drodze rozdierania; krzywa 0-1 na odcinku $z1-z2$ jest wartością linii $z1$ – koniec odcinka *a* przesuniętej o wartość siły przemieszczenia w punkcie zakleszczenia.

krzywa 0 – 1 – zależność między drogą, na której przemieszcza się zacisk maszyny wytrzymałościowej a siłą, aż do chwili rozerwania pierwszej nitki na drodze rozdierania; krzywa 0-1 na odcinku $z1-z2$ jest wartością linii $z1$ – koniec odcinka *a* przesuniętej o wartość siły przemieszczenia w punkcie zakleszczenia.

Analizę etapów rozdzielania przedstawiono, przyjmując założenie, że proces formowania się strefy rozdzielania tkaniny na przyjętej drodze rozdzielania rozpoczyna się od chwili uruchomienia zacisku maszyny wytrzymałościowej. W strefie rozdzielania w zależności od etapu procesu występują obszary: przemieszczania, rozciągania i rozrywania.

Etap 1. Wzajemne przemieszczanie nitki obu układów rozdzielanej próbki tkaniny. Powstanie *obszaru przemieszczania w strefie rozdzielania*. Zjawiska występujące w tym etapie zostają zainicjowane w chwili uruchomienia zacisku maszyny wytrzymałościowej. Przemieszczanie zacisku na *odcinku 0-z1* (rys. 1) powoduje przemieszczanie się nitki obu układów rozdzielanej próbki tkaniny, tj. nitki układu rozciąganego – zamocowanego w zaciskach i nitki układu rozdzielanego – prostopadłego do nitki układu zamocowanego w zaciskach. Założono, że w etapie tym nitki układu rozdzielanego nie podlegają odkształceniom.

Etap 2. Rozciąganie nitki układu rozdzielanego w wyniku dalszego zwiększania obciążenia nitki układu rozciąganego, ale już bez wzajemnych przemieszczeń nitki obu układów rozdzielanej próbki tkaniny. W tym etapie występują *dwa obszary strefy rozdzielania: przemieszczania i rozciągania*. Kontynuowany w tym etapie rozdzielania ruch zacisku maszyny wytrzymałościowej na *odcinku z1-z2* (rys. 1) powoduje, że na skutek braku możliwości dalszego wzajemnego przemieszczania się nitki obu układów, pierwsza nitka układu rozdzielanego, znajdująca się w obszarze przemieszczania, wchodzi w obszar rozciągania i zaczyna się wydłużać, aż do osiągnięcia wartości krytycznej wydłużenia, a mianowicie wartości wydłużenia bezwzględnego przy sile zrywającej nitkę. Założono zatem, że w kolejnych następujących po sobie chwilach procesu rozdzielania w obszarze rozciągania znajduje się tylko jedna nitka układu rozdzielanego, dla której zależność między obciążeniem a wydłużeniem jest liniowa.

Etap 3. Rozrywanie nitki układu rozdzielanego na przyjętej drodze rozdzielania. Na tym etapie procesu rozdzielania strefa rozdzielania zbudowana jest z *trzech obszarów: przemieszczania, rozciągania i rozrywania*. Dalsze przemieszczanie zacisku maszyny wytrzymałościowej na *odcinku r-k* (rys. 1), powoduje rozrywanie kolejnych nitki układu rozdzielanego na drodze rozdzielania, aż do zakończenia procesu rozdzielania (punkt k, rys. 1).

Między etapami 1 i 2 wyodrębniono *tw. punkt zakleszczenia* (rys. 1), tj. punkt, w którym parametry tkaniny i wartości sił tarcia między nitkami obu układów uniemożliwiają dalsze wzajemne przemieszczanie nitki obu układów rozdzielanej próbki tkaniny. A zatem osiągnięcie punktu zakleszczenia kończy etap 1, a rozerwanie pierwszej nitki na drodze rozdzielania kończy etap 2.

Od chwili rozerwania pierwszej nitki na drodze rozdzielania zjawiska opisane w etapach 1, 2 i 3 zachodzą równocześnie, aż do chwili rozerwania ostatniej nitki układu rozdzielanego występującej na drodze rozdzielania.

3.3. Założenia do modelu statycznego rozdzierania tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka

Podczas konstruowania modelu rozdzierania tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka przyjęte zostały następujące założenia:

1. Proces rozdzierania tkanin rozpatrywano w płaszczyźnie x - y . Zjawiska zginania, skręcania i ścierania, które występują w nitkach obu układów nie są rozważane.
2. W procesie rozdzierania tkanin biorą udział dwa układy nitek: układ nitek rozciąganych – zamocowany w zaciskach maszyny wytrzymałościowej i układ nitek rozdzieranych – prostopadły do układu nitek rozciąganych. Właściwości nitek obu układów wpływają na wytrzymałość na rozdzieranie.
3. Rozważania związane z opracowaniem modelu prowadzone są dla nitek układów rozciąganego i rozdzieranego znajdujących się w strefie rozdzierania, w której można wyróżnić obszary: przemieszczania, rozciągania i rozrywania.
4. W obszarze rozciągania strefy rozdzierania znajduje się tylko jedna nitka układu rozdzieranego.
5. Odkształcenia, jakim ulega pojedyncza nitka układu rozdzieranego znajdująca się w obszarze rozciągania strefy rozdzierania posiadają charakter sprężysty i można je opisać prawem Hook'a. Odkształcenia pojedynczej nitki układu rozciąganego, tj. nitki na wewnętrznej krawędzi naciętych elementów próbki, posiadają charakter sprężysty i można je opisać prawem Hook'a.
6. Parametry nitek i struktura tkaniny dla nitek układu rozciąganego i rozdzieranego identyczne (w układzie). Kształt przekroju poprzecznego nitek bawełnianych w tkaninie przyjęto za eliptyczny.
7. Podstawowym źródłem oporu, występującym podczas przemieszczania się nitek obu układów, są siły tarcia występujące między nimi (w punktach przeplotów nitek). Siły tarcia, występujących między nitkami tego samego układu, przy założeniu, że w tkaninie nitki w jednym układzie są równolegle ułożone, nie rozpatrywano. Wartości sił działających na nitki układu rozciąganego opisano zależnością Eulera [6].
8. Kąt opasania nitek nitkami układu prostopadłego na przyjętej drodze rozdzierania jest stały i nie zmienia się podczas procesu rozdzierania tkaniny.
9. Nitki układu rozdzieranego znajdujące się w strefie rozdzierania, niezależnie od obszaru strefy są ułożone równolegle.
10. Podstawowym sposobem uszkodzenia nitki w obszarze rozrywania nitek strefy rozdzierania jest jej rozerwanie (nie brano pod uwagę np. zjawiska „wyciągania” się nitek układu rozdzieranego z nitek układu rozciąganego).

3.4. Opracowanie modelu statycznego rozdzielania tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka

Na wykresie zaprezentowanym na rys. 1 schematycznie przedstawiono zależność wartości siły przyłożonej do rozdzielanej próbki w funkcji drogi, jaką pokonuje ruchomy zacisk maszyny wytrzymałościowej. Ogólnie zależność $F = f(L)$ można opisać następująco:

$$F = f(L) = F_p(L) + F_{w_z}(L) \quad (1)$$

gdzie: $F_p(L)$ – siła F w funkcji przemieszczenia ruchomego zacisku maszyny wytrzymałościowej podczas przemieszczania się nitek obu układów rozdzielanej próbki tkaniny,

$F_{w_z}(L)$ – siła F w funkcji przemieszczenia ruchomego zacisku maszyny wytrzymałościowej podczas rozciągania jednej nitki układu rozdzielanego znajdującej się w obszarze rozciągania strefy rozdzielania; na podstawie założenia 5 do modelu rozdzielania, zależność $F_{w_z}(L)$ jest opisana prawem Hook'a.

Nawiązując do zaproponowanych etapów procesu rozdzielania zależność (1) przyjmuje postać:

$$\text{etap 1:} \quad F = f(L) = F_p(L) \quad (2)$$

$$\text{etap 2 i etap 3:} \quad F = f(L) = F_p(L) + F_{w_z}(L) \quad (3)$$

rozerwanie nitki w obszarze rozrywania nitek strefy rozdzielania:

$$F = f(L) = F_r \quad (4)$$

gdzie: F_r – lokalna wartość siły rozdzielania.

Wartość siły rozdzielania tkaniny w chwili rozerwania pierwszej nitki na drodze rozdzielania znajdującej się na granicy obszarów rozciągania i rozrywania strefy rozdzielania opisano zależnością:

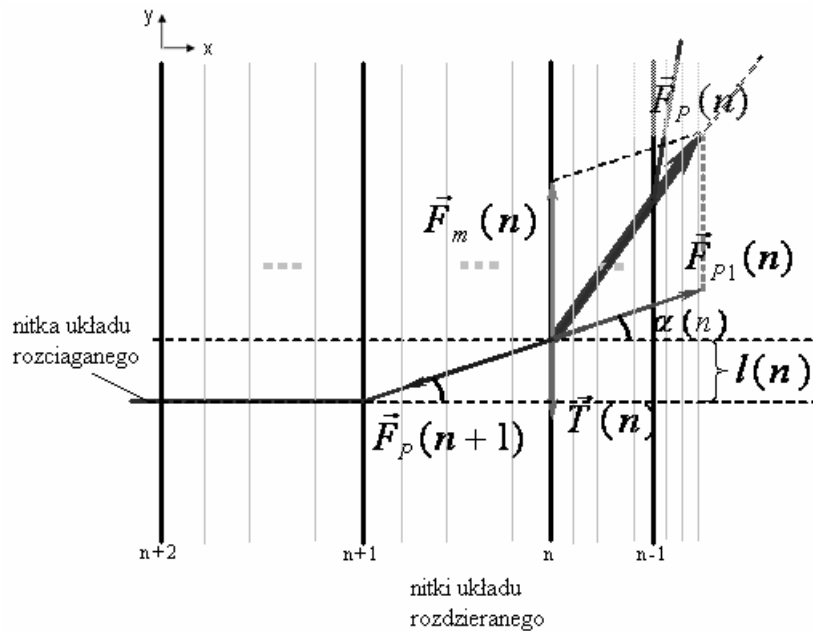
$$F_r = F_p(z_l) + F_{w_z}(r) = F_{p_zl} + F_{w_z} \quad (5)$$

gdzie: r – koniec etapu rozciągania nitek układu rozdzielanego i początek etapu rozrywania nitek (rys 1),

F_{p_zl} – wartość siły przemieszczenia w punkcie zakleszczenia nitek obu układów rozdzielanej próbki tkaniny,

F_{w_z} – wartość siły zrywającej nitki układu rozdzielanego.

Siły działające w obszarze przemieszczania strefy rozdzielania zaprezentowano schematycznie na rys. 2.



Rys. 2. Rozkład sił w obszarze rozciągania strefy rozdzielania (etap 2) dla próbki w kształcie skrzydełka

Źródło: badania własne.

- gdzie:
- nitki oznaczone $n + 2$, $n + 1$, n , $n - 1$ – nitki układu rozdzielanego, które przeplatają się z nitkami układu rozciąganego w raporcie splotu,
 - między nitkami $n + 2$, $n + 1$, n , $n - 1$ znajdują się nitki, które w raporcie splotu na danej nitce nie przeplatają się,
 - nitka układu rozciąganego, która tworzy jedną krawędź strefy rozdzielania reprezentowana jest przez krzywą łamaną,
 - $l(n)$ – składowa y odległości między punktami przeplotu nitek obu układów w rozdzielanej próbce tkaniny.

W każdym punkcie przeplotu nitek obu rozpatrywanych układów wyodrębniono siłę $\vec{F}_p(n)$, która jest wektorową sumą sił $\vec{F}_{p1}(n)$ i $\vec{F}_m(n)$ i zapisano następująco:

$$\vec{F}_p(n) = \vec{F}_{p1}(n) + \vec{F}_m(n) \quad (7)$$

Biorąc pod uwagę rys. 2 i zależność (7) przyjęto następujące oznaczenia:

$\vec{F}_p(n)$ jest siłą ciągnącą nitkę układu rozciąganego dla n -tej nitki układu rozdzielanego, $\vec{F}_{p1}(n)$ jest siłą napinającą nitkę układu rozciąganego dla n -tej nitki układu rozdzielanego, $\vec{F}_m(n)$ jest siłą powodującą przemieszczanie nitki układu rozciąganego względem n -tej nitki układu rozdzielanego, $\vec{F}_p(n+1)$ jest siłą ciągnącą nitkę układu rozciąganego dla $n+1$ nitki układu rozdzielanego, $\vec{T}(n)$ jest siłą tarcia między nitką układu rozciąganego, a n -tą nitką układu rozdzielanego.

Wartości siły $F_p(n+1)$ w punktach przeplotów nitek obu układów. Punkty te wyznaczają kształt „ramion” strefy rozdzielania tkanin:

$$F_p(n+1) = F_p(n) \frac{1}{\sqrt{\left[\exp^2(\varphi\mu) + 2\exp(\varphi\mu)\mu \cos \frac{\beta}{2} (1 + \exp(\varphi\mu)) \frac{l(n)}{O_r} + (\mu \cos \frac{\beta}{2} (1 + \exp(\varphi\mu)))^2 \right]}} \quad (8)$$

gdzie: $F_p(n+1)$ – siła ciągnąca nitkę układu rozciąganego dla $n+1$ nitki układu rozdzielanego,

$F_p(n)$ – siła ciągnąca nitkę układu rozciąganego dla n -tej nitki układu rozdzielanego,

φ – kąt opasania nitki układu rozdzielanego nitką układu rozciąganego,

μ – współczynnik tarcia statycznego między nitkami obu układów rozdzielanej tkaniny,

β – kąt między siłą napinającą nitkę układu rozciąganego i ciągnącą nitkę układu rozciąganego,

O_r – początkowa odległość między kolejnymi punktami przeplotu nitek, przy założeniu, że między punktami przeplotu znajdują się nitki układu rozdzielanego,

$l(n)$ – odległość między punktami przeplotu (w rozdzielanej próbce tkaniny) w kierunku nitek układu rozdzielanego.

Początkową odległość między kolejnymi punktami przeplotu nitek, przy założeniu, że między punktami przeplotu znajdują się nitki układu rozdzielanego opisano następująco:

$$O_r = A_r m_r = A_r (1 + L_{n-r(z)}) = \frac{100}{L_{n-r}} (1 + L_{n-r(z)}) \quad (9)$$

gdzie: A_r – podziałka nitek układu rozdzielanego, w mm,

L_{n-r} – liczba nitek układu rozdzielanego na 1 dm,

$L_{n-r(z)}$ – liczba nitki układu rozdzielanego między kolejnymi punktami przeplotu nitki,

m_r – współczynnik liczby pokryw nitki układu rozdzielanego.

Ostatecznie odległość między punktami przeplotu (w rozdzielanej próbce tkaniny) w kierunku nitki układu rozdzielanego obliczono z zależności:

$$l(n) = \sqrt{2 \sqrt{F_p(n)^2 - \left(\mu F_p(n) \cos \frac{\beta}{2} \left(\frac{1}{\exp(\varphi \mu)} + 1 \right) \right)^2} O_r \cdot \sigma_{rc} - \left(F_p(n)^2 - \left(\mu F_p(n) \cos \frac{\beta}{2} \left(\frac{1}{\exp(\varphi \mu)} + 1 \right) \right)^2 \right) \cdot \sigma_{rc}^2} \quad (10)$$

Reasumując, opracowany ogólny model rozdzielania dla próbki w kształcie skrzydełka przedstawia wyrażenie (1). Wartość siły rozdzielania tkaniny można obliczyć z zależności (5) gdzie $F_p(z_l) = F_p(L)$ dla $L = z_l$ jest wartością obliczoną na podstawie równań rekurencyjnych, a F_wz jest wartością siły zrywającej przędzę układu rozdzielanego.

Na podstawie równań rekurencyjnych, uwzględniając zależność (9), obliczono:

- wartości siły $\bar{F}_p(n+1)$ w punktach przeplotów nitki obu układów (zależność 8), punkty te wyznaczają kształt „ramion” strefy rozdzielania tkanin,
- wartości odległości $l(n)$ między punktami przeplotu nitki obu układów w kierunku nitki układu rozdzielanego (zależność 10).

4. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

4.1. Założenia do produkcji modelowych tkanin bawełnianych

Dwojone przędze bawełniane w pięciu wariantach mas liniowych, tj. 10 tex x 2, 15 tex x 2, 20 tex x 2, 25 tex x 2 i 30 tex x 2 zakupiono w Zakładach *Andropol S.A.* w Andrychowie. Przędze wytworzono systemem bawełniarskim średnioprzednym na przędzarkach obrączkowych. Przędze bawełniane poddano ocenie statystycznej w celu wyznaczenia poziomu nierównomierności takich parametrów jak: wytrzymałość na zerwanie i wydłużenie przy zerwaniu, rzeczywista masa liniowa oraz liczba skrętów na 1 m. W założeniach do produkcji modelowych tkanin bawełnianych przyjęto kołowy kształt przekroju poprzecznego przędzy bawełnianej i średnicę przędzy obliczoną teoretycznie ze wzoru Ashenhursta [9]. Na podstawie uzyskanych obrazów mikroskopowych przekrojów poprzecznych tkanin prostopadłych do podłużnych osi nitki stwierdzono, że rzeczywisty kształt przekroju

poprzecznego nitek w tkaninie jest zbliżony do eliptycznego i wymiary tego kształtu wyznaczono eksperymentalnie na podstawie obrazów przekrojów poprzecznych nitek.

Modelowe tkaniny bawełniane wytworzono na krosnach STB chwytakowych w czterech wariantach splotów: płóciennym, skośnym 3/1 Z, atlasu 7/1 (5) i skośnym łamany 2/2 V4. Sploty różnią się długością swobodnych odcinków nitek (tzw. długością przeplotu) rozumianą jako liczba nitek drugiego układu między dwoma kolejnymi przegięciami nitki [9]. Dla splotów: płóciennego, skośnego 3/1 Z i atlasu 7/1 (5) zarówno dla układu nitek osnowy jak i wątku, długość przeplotu jest taka sama i wynosi odpowiednio 1, 3 i 7, natomiast dla tkanin o splotie skośnym łamanym 2/2 V4 jest zróżnicowana w zależności od układu nitek osnowa-wątek i wynosi odpowiednio 4 i 2. Z uwagi na to, zaproponowano dwa wskaźniki tzw. wskaźniki splotu – wskaźnik splotu osnowy WsO i wskaźnik splotu wątku WsW . Przyjęto, że wskaźnik splotu jest ilorazem sumy pokryć w raporcie splotu i liczby przeplotów (osnowy lub wątku) w raporcie.

Liczbę nitek osnowy i wątku na 1 dm obliczono na podstawie przyjętych założeń, co do wartości współczynnika wypełnienia tkaniny nitkami osnowy i wątku:

1. Stała wartość współczynnika wypełnienia tkaniny nitkami osnowy, tj. $E_o = 100\%$.
2. Zmienna wartość współczynnika wypełnienia tkaniny nitkami wątku, tj. $E_w = 70\%$ i $E_w = 90\%$.
3. Dla tkanin o splotie płóciennym zaprojektowano dodatkowe struktury tkanin o wartości współczynnika wypełnienia tkaniny nitkami wątku $E_w = 60\%$ i $E_w = 80\%$.

Stosując opisane wyżej zasady obliczania liczby nitek układu osnowy i wątku na 1 dm uzyskano warianty tkanin, które:

- w obrębie danej masy liniowej osnowy charakteryzowały się tą samą liczbą nitek osnowy na 1 dm,
- miały swojego „odpowiednika” w każdej wersji splotu i zastosowanego kryterium współczynnika wypełnienia tkaniny nitkami wątku,
- charakteryzowały się tą samą liczbą nitek osnowy na 1 dm (dla danego wariantu osnowy i splotu), a posiadały zmienną liczbę nitek wątku na 1 dm,
- charakteryzowały się tą samą wartością współczynnika wypełnienia tkaniny nitkami osnowy i wątku, a różniły się zastosowaną masą liniową nitek.

Celem określenia masy liniowej nitek modelowych tkanin bawełnianych przyjęto dwa założenia:

1. W każdym wariantcie splotu dla masy liniowej „n” osnowy zastosowano wątki o masie liniowej „n” (np. masa liniowa nitek osnowy 10 tex x 2 i odpowiednio masa liniowa nitek wątku 10 tex x 2). Liczbę nitek obliczono na podstawie przyjętych wartości współczynników wypełnienia tkaniny nitkami osnowy i wątku.

2. W każdym wariancie splotu dla masy liniowej „n” osnowy zastosowano wątki o masie liniowej „n+1” (np. masa liniowa nitek osnowy 10 tex x 2 i odpowiednio masa liniowa nitek wątku 15 tex x 2). Liczbę nitek obliczono na podstawie przyjętych wartości współczynników wypełnienia tkaniny nitkami osnowy i wątku.

Na podstawie przyjętych założeń zaprojektowano i wytworzono 72 warianty modelowych tkanin bawełnianych.

4.2. Metody i wyniki badań parametrów struktury przędz i tkanin bawełnianych

Celem ustalenia wartości parametrów przędz zastosowanych do wytworzenia modelowych tkanin bawełnianych oraz przędz wyprutych z tych tkanin, a ponadto wyznaczenia wartości parametrów występujących w teoretycznym modelu rozdierania wykonano badania w zakresie: współczynnika tarcia statycznego przędza/przędza oraz wytrzymałości na zerwanie nitek wyprutych z tkaniny.

Ponadto wyznaczono zależności między obciążeniem a wydłużeniem dla zastosowanych przędz bawełnianych. Na podstawie analizy uzyskanych wartości współczynnika determinacji R^2 przyjęto, że zależności między obciążeniem a wydłużeniem przędz bawełnianych zastosowanych do produkcji tkanin ma charakter liniowy, tj. są opisana prawem Hooke'a.

W celu ustalenia wartości parametrów struktury modelowych tkanin bawełnianych, a także wyznaczenia wartości parametrów występujących w teoretycznym modelu rozdierania wykonano badania w zakresie: masy powierzchniowej tkanin, liczby nitek układu osnowy i wątku na 1 dm, wrobienia nitek układu osnowy i wątku w tkaninie² oraz kąta opasania nitek w tkaninie nitkami układu prostopadłego.

4.3. Wskaźniki wytrzymałości na rozdieranie tkanin bawełnianych

Weryfikację eksperymentalną opracowanego modelu rozdierania dla próbki w kształcie skrzydełka przeprowadzono z wykorzystaniem wyników sił rozdierania uzyskanych metodą opisaną w PN-EN-ISO 13937-3:2002.

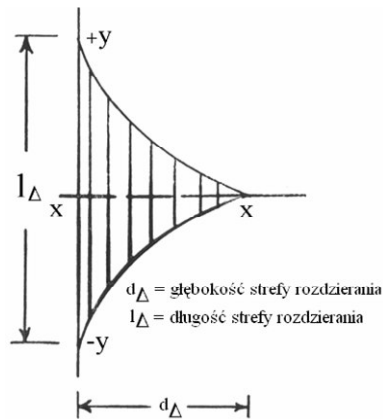
Analizę geometrii strefy rozdierania tkanin w zależności od splotu i długości drogi rozdierania wykonano na specjalnie zaprojektowanym i zbudowanym stanowisku komputerowej analizy obrazu. Główne elementy stanowiska to: maszyna wytrzymałościowa Zwick model 1120, zaciski maszyny wytrzymałościowej, komputer z oprogramowaniem *test-Xpert*, komputer z oprogramowaniem *Mikro-Studio Video*³ do analizy obrazu, kamera video TV kolor, statyw do kamery.

² Według standardowych metod badawczych.

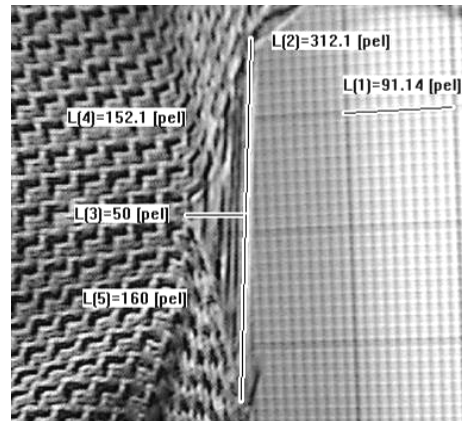
³ Program opracowany w Katedrze Informatyki PŁ.

Do przeprowadzenia obserwacji faz rozdzielania i strefy rozdzielania tkanin bawełnianych (rys. 4) wykorzystano *system wizyjny* dający możliwość realizacji filmów techniką video, odtworzenie filmów, archiwizację, a następnie analizę obrazów statycznych. Do akwizycji obrazu wykorzystano kamerę video kolor CCD CP-720 ze specjalnie dobranym układem optycznym, który umożliwia wyszukiwanie analizowanych obiektów będących w ruchu, swobodne wybieranie pola widzenia oraz uzyskiwanie ostrych obrazów rejestrowanych obiektów. Do komputerowej archiwizacji i analizy obrazów statycznych zastosowano program *MikroStudio Video*.

Z filmów przedstawiających rozdzielanie tkanin wybrano obrazy statyczne przedstawiające rozdzielaną tkaninę dokładnie w przyjętym punkcie pomiarowym. Na podstawie analizy obrazów statycznych wyznaczono długość strefy rozdzielania (l_{Δ}), głębokość strefy rozdzielania (d_{Δ}), liczbę nitek w strefie ($L_{n-\Delta}$) dla każdego oznaczonego na próbce punktu pomiarowego oraz zmierzono również długość ($l_{\Delta\uparrow}$), czyli długość odcinka od osi $x-x$ w górę, do końca zaznaczonej długości strefy rozdzielania.



Rys. 3. Przyjęty za Teixeira [10] model strefy rozdzielania tkanin



Rys. 4. Sposób pomiaru parametrów strefy rozdzielania
Źródło: badania własne

5. WERYFIKACJA MODELU STATYCZNEGO ROZDZIERANIA TKANIN BAWELNIANYCH DLA PRÓBKII W KSZTAŁCIE SKRZYDEŁKA

Praktyczne wykorzystanie modelu opracowanego w pracy wymaga wykonania wielu obliczeń w celu wyznaczenia wartości prognozowanej siły rozdzielania, a pośrednio siły w punkcie zakleszczenia nitek obu układów oraz odległości występujących między punktami przeplotu nitek w strefie rozdzielania tkaniny.

Forma równań rekurencyjnych modelu skłoniła autorkę do automatyzacji procesu obliczeniowego za pomocą komputera przy wykorzystaniu jednego z języków programowania wysokiego poziomu. Zdecydowano się zastosować język *Visual Basic*, który jest częścią pakietu *Microsoft Office (EXCEL)* i jest często wykorzystywany do obliczeń matematycznych.

Dane wejściowe do modelu, które odnoszą się do struktury tkaniny oraz nitek układu rozdzieranego i rozciąganego:

- parametry wynikające z zależności między nitkami układu rozciąganego i układu rozdzieranego: współczynnik tarcia statycznego nitka/nitka, kąt opasania nitki układu rozdzieranego nitką układu rozciąganego,
- parametry nitek układu rozciąganego: współczynnik wydłużenia nitek odniesiony do kształtu próbki,
- parametry struktury tkaniny: współczynnik liczby pokryć nitek układu rozdzieranego, liczba nitek układu rozdzieranego,
- parametry nitek układu rozdzieranego: siła zrywająca nitki układu rozdzieranego.

5.1. Prognozowanie wartości siły rozdzierania tkanin bawełnianych

Stosując kolejno zależności (10), (8) i (5) obliczono prognozowane wartości sił rozdzierania tkanin o omawianych splotach i w każdym splotcie – dla rozdzieranego układu osnowa/wątek. Z uwagi na przyjęte założenia, zaproponowany model rozdzierania tkanin nie uwzględnia wszystkich zjawisk zachodzących podczas procesu rozdzierania próbki tkaniny. W związku z powyższym dla konkretnych wartości parametrów modelu wykorzystano zaproponowane w rozprawie doktorskiej współczynniki:

- *współczynnik C* odnoszący się do zmiany wytrzymałości na zerwanie nitki wyprutej z tkaniny w odniesieniu do tej wytrzymałości przędzy z nawoju,
- *współczynnik liczby wierzchołków W_w* odnoszący się do średniej liczby nitek rozdzieranej próbki tkaniny, która rzeczywiście zostaje rozerwana w chwili osiągnięcia lokalnej wartości siły rozdzierania.
- *współczynnik δ_{rc} wydłużenia nitek układu rozciąganego odniesiony do kształtu próbki* – parametr zaproponowanego modelu rozdzierania.

Zestawienie wybranych wartości sił rozdzierania prognozowanych na podstawie modelu rozdzierania i średnich wartości sił rozdzierania uzyskanych na drodze eksperymentalnej zaprezentowano na rys. 5. W tabeli 1 zestawiono wartości współczynników korelacji r^4 i determinacji R^2 obliczone między prognozowanymi i eksperymentalnymi wartościami sił rozdzierania.

⁴ Graniczna wartość współczynnika korelacji r dla $\alpha = 0,05$ i $k = n-2 = 14$ wynosi 0,497.

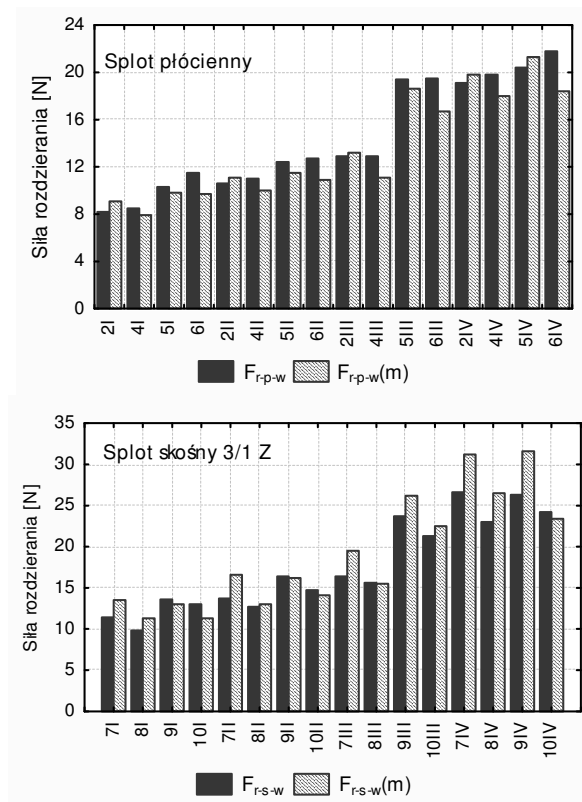
W celu wyznaczenia równań regresji opisujących zależność prognozowanej siły rozdierania względem eksperymentalnej siły rozdierania przyjęto następującą postać modelu regresji liniowej [1]:

$$y = a + bx \quad (11)$$

gdzie: y – zmienna zależna (objaśniana), tj. prognozowana siła rozdierania układu osnowy $F_{r-o}(m)$ lub wątku $F_{r-w}(m)$ obliczona na podstawie modelu rozdierania,

x – zmienna niezależna (objaśniająca), tj. średnia wartość siły rozdierania obliczona eksperymentalnie,

a i b – współczynniki prostej regresji.



Rys. 4. Porównanie wartości sił rozdierania nitek układu wątku uzyskanych eksperymentalnie i na podstawie modelu rozdierania dla wybranych splotówmodelowych tkanin bawełnianych

F_{r-p-w} , F_{r-s-w} – średnie wartości sił rozdierania nitek układu wątku tkanin o splotach: płóciennym i skośnym 3/1 Z,

$F_{r-p-w}(m)$, $F_{r-s-w}(m)$ – prognozowane na podstawie modelu rozdierania wartości sił rozdierania nitek układu wątku tkanin o splotach: płóciennym i skośnym 3/1 Z.

Przeprowadzona analiza uzyskanych wartości współczynników korelacji r i determinacji R^2 nasuwa następujące wnioski:

- Uzyskane wartości bezwzględne współczynników korelacji r między wartościami sił rozdzierania eksperymentalnymi i prognozowanymi na podstawie modelu rozdzierania kształtują się na zbliżonym poziomie dla wszystkich omawianych splotów, a w splotach – w układzie osnowa/wątek. Uzyskano wartości bezwzględne współczynników korelacji r między eksperymentalnymi i prognozowanymi wartościami sił rozdzierania w zakresie max 0,964 dla nitek układu wątku tkanin o splocie płóciennym do min 0,928 dla nitek układu wątku tkanin o splocie skośnym łamanym 2/2 V4. Uzyskane wartości współczynników korelacji świadczą o tym, że istnieje silna korelacja liniowa między zmiennymi charakteryzującymi średnią i prognozowaną siłę rozdzierania, a zaproponowany model rozdzierania jest wrażliwy na zmiany parametrów struktury tkanin bawełnianych.

Tabela 1

Zestawienie wartości bezwzględnych współczynników korelacji r i determinacji R^2 między wynikami eksperymentalnymi i uzyskanymi na podstawie modelu rozdzierania w zależności od splotu i rozdzieranego układu osnowa/wątek tkaniny bawełnianej

Splot płócienny				Splot skośny 3/1 Z			
$F_{r-o}(m)$		$F_{r-w}(m)$		$F_{r-o}(m)$		$F_{r-w}(m)$	
r	R^2	r	R^2	r	R^2	r	R^2
0,964	0,939	0,959	0,929	0,949	0,882	0,949	0,920
Splot atlasu 7/1 (5)				Splot skośny łamany 2/2 V4			
$F_{r-o}(m)$		$F_{r-w}(m)$		$F_{r-o}(m)$		$F_{r-w}(m)$	
r	R^2	r	R^2	r	R^2	r	R^2
0,947	0,898	0,952	0,907	0,943	0,890	0,928	0,861

- Wartości współczynników determinacji wykazują zróżnicowanie w zależności od omawianego splotu tkaniny. Dobre dopasowanie modelu regresji do danych eksperymentalnych na poziomie wartości współczynnika determinacji $R^2 = 0,93$ zaobserwowano dla tkanin o splocie płóciennym dla obu rozdzieranych układów tkanin. Oznacza to, że model teoretyczny dobrze prognozuje wartość siły rozdzierania. Większe rozbieżności, co do wartości sił prognozowanych i uzyskanych na drodze eksperymentalnej zaobserwowano dla tkanin o splocie skośnym 3/1, atlasu 7/1 (5) i skośnym łamanym 2/2 V4. W przypadku tkanin o splocie skośnym łamanym 2/2 V4 dla nitek układu wątku otrzymano najmniejszą wartość współczynnika determinacji R^2 równą 0,861.

Elementem przeprowadzonej analizy była ocena wrażliwości modelu rozdzierania na zmiany parametrów modelu dotyczące zależności między nitkami układu rozdzieranego i układu rozciąganego. Obliczono wartości prognozowanych

sił rozdzielania dla zmiennych wartości współczynnika tarcia statycznego między nitką układu rozdzielanego i rozciąganego w jednym przeplocie oraz wartości prognozowanych sił rozdzielania dla zmiennych wartości kąta opasania nitki układu rozdzielanego nitką układu rozciąganego przy założeniu stałych parametrów struktury tkaniny o danym splocie i w rozdzielanym układzie nitek. Analizę wykonano dla wytypowanych tkanin.

Tabela 2

Wartość prognozowanej siły rozdzielania w zależności od wartości współczynnika tarcia statycznego między nitkami układu rozciąganego i rozdzielanego w jednym przeplocie dla $\phi = \text{const}$.

Wartość współczynnika tarcia statycznego nitka/nitka μ	Prognozowana na podstawie modelu rozdzielania wartość siły rozdzielania [N] / Splot tkaniny							
	płócienny		skośny 3/1 Z		atłas 7/1 (5)		skośny łamany 2/2 V4	
	Osn.	Wąt.	Osn.	Wąt.	Osn.	Wąt.	Osn.	Wąt.
0,294	17,8	17,9	26,4	26,6	49,9	50,2	32,3	31,0
0,295	17,8	17,9	26,3	26,6	49,9	50,1	32,3	30,9
0,311	17,6	17,7	25,8	26	48,6	48,8	31,7	30,2
0,320	17,5	17,6	25,5	25,8	47,9	48,1	31,5	29,8
0,336	17,4	17,2	25,1	25,3	46,8	47,0	31,0	29,2

Tabela 3

Wartość prognozowanej siły rozdzielania w zależności od wartości kąta opasania nitki układu rozdzielanego nitką układu rozciąganego dla $\mu = \text{const}$.

Kąt opasania nitek ϕ [°]	Prognozowana na podstawie modelu rozdzielania wartość siły rozdzielania [N] / Splot tkaniny							
	płócienny		skośny 3/1 Z		atłas 7/1 (5)		skośny łamany 2/2 V4	
	Osn.	Wąt.	Osn.	Wąt.	Osn.	Wąt.	Osn.	Wąt.
60	18,9	19,1	30	30,3	58,8	58,8	35,9	35,8
65	18,6	18,7	29	29,3	56,2	56,5	34,9	34,5
70	18,4	18,5	28,2	28,5	54,3	54,5	34,1	33,4
75	18,1	18,2	27,5	27,8	52,6	52,8	33,4	32,5
80	17,9	18,1	26,9	27,1	51,2	51,4	32,8	31,7
85	17,8	17,9	26,4	26,6	49,9	50,2	32,3	31,0
90	17,6	17,7	25,9	26,2	48,9	49,1	31,9	30,4

Uzyskane wyniki badań potwierdzają wpływ wartości współczynnika tarcia statycznego między nitkami obu układów w jednym przeplocie oraz wartości kąta opasania nitek na wartość siły rozdzielania w tkaninach bawełnianych. Zmniejszanie wartości współczynnika tarcia i kąta opasania nitek powoduje nieznaczne, ale zwiększanie wartości siły rozdzielania tkanin o wszystkich omawianych splotach,

a w splocie – w zależności od rozdzieranego układu nitek. Przeprowadzona analiza potwierdziła również prawidłowe działanie zaproponowanego modelu rozdzierania tkanin w zakresie wrażliwości na zmiany wartości współczynnika tarcia statycznego nitka/nitka i kąta opasania nitek.

5.3. Charakterystyka wybranych zależności opisanych w modelu statycznego rozdzierania tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka

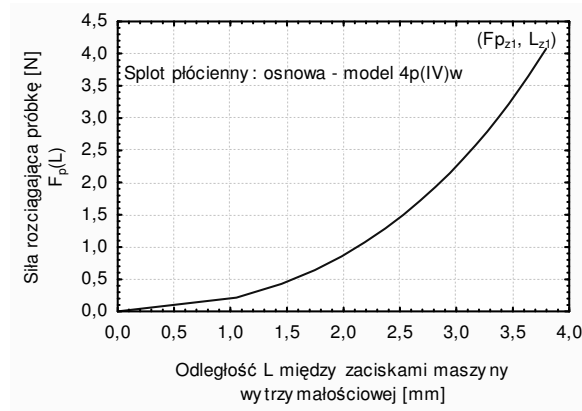
Nowością w zaproponowanym w pracy modelu rozdzierania, jest możliwość wyznaczania na jego podstawie dowolnych zależności, występujących w strefie rozdzierania tkanin bawełnianych między opisanymi w nim parametrami. Dotyczy to zarówno rozważanych w strefie rozdzierania sił jak i geometrii strefy. Poniżej zaprezentowano charakterystyki wybranych zjawisk występujących w strefie rozdzierania tkanin.

Charakterystyki graficzne sporządzono dla przykładowych tkanin o splocie płóciennym wytworzonych z przędz o masie liniowej nitek układu osnowy i wątku 25 tex x 2, oraz liczbie nitek na 1 dm obliczonej na podstawie przyjętej wartości współczynnika wypełnienia tkaniny nitkami osnowy $E_o = 100\%$ i wątku $E_w = 90\%$.

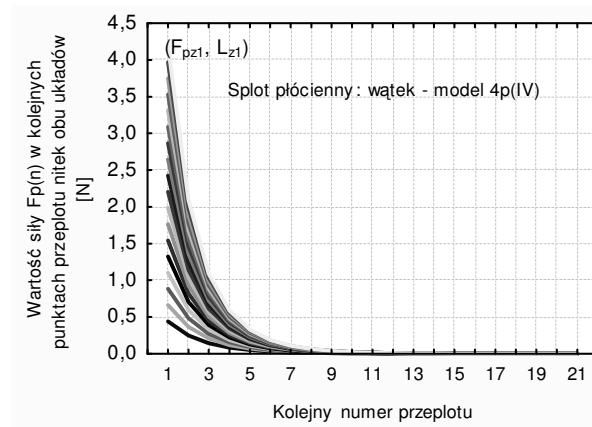
Na podstawie modelu rozdzierania tkanin możliwe jest prognozowane wartości sił rozciągania próbki do osiągnięcia tzw. punktu zakleszczenia nitek obu układów w funkcji drogi zacisków maszyny wytrzymałościowej. Na rys. 6 przedstawiono zależności $F_p = f(L)$ dla modelowej tkaniny bawełnianej o splocie płóciennym. Na wykresie $F_p(L)$ oznacza prognozowaną wartość siły F_p dla pierwszej nitki układu rozdzieranego znajdującej się w obszarze przemieszczania strefy rozdzierania tkanin. Punkt (F_{pz1}, L_{z1}) na wykresie oznacza zakończenie procesu przemieszczania się nitek i wartość siły przemieszczania w punkcie zakleszczenia nitek.

Poniżej zaprezentowano analizę wartości sił dla lokalnych zakleszczeń w funkcji kolejnych przeplotów nitki układu rozciąganego z nitkami układu rozdzieranego w strefie rozdzierania. Na rys. 7 przedstawiono zależności $F_p = f(n)$ dla tkaniny bawełnianej o splocie płóciennym.

Linie na wykresie reprezentują wzrost wartości siły napinającej $F_p(l)$, gdzie wartość siły $F_p(l)$ zmienia się od 0 do F_{pz1} . Zmiany wartości siły $F_p(l)$ można odnieść do zmiany położenia zacisków maszyny wytrzymałościowej w czasie. Punkt (F_{pz1}, L_{z1}) oznacza wartość siły przemieszczania w punkcie zakleszczenia nitek dla nitki układu rozciąganego. Celem poprawy czytelności wykresów zmiany wartości siły $F_p(n)$ zaznaczono liniami ciągłymi, mimo że w rzeczywistości są to wartości dyskretne.



Rys. 6. Wartości prognozowane sił rozciągania próbki do osiągnięcia, tzw. punktu zakleszczenia nitek obu układów w funkcji drogi zacisków maszyny wytrzymałościowej

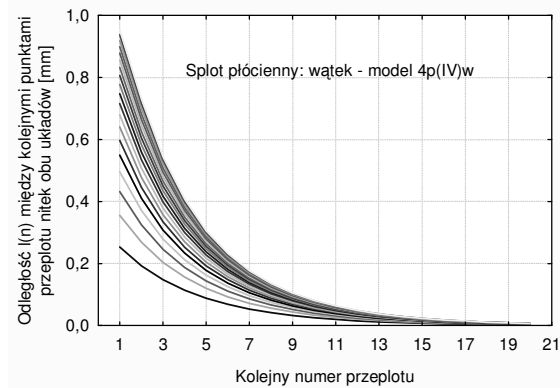


Rys. 7. Zależność wartości sił lokalnych zakleszczeń w funkcji kolejnych przepłotów nitki układu rozciąganego z nitkami układu rozdzielanego w strefie rozdzielania dla tkanin

Na podstawie modelu rozdzielania możliwe jest wyznaczanie wartości odległości między punktami przepłotu w kierunku nitek układu rozdzielanego w funkcji kolejnych przepłotów nitek obu układów w strefie rozdzielania tkanin. Poniżej, na rys. 8 zaprezentowano zależności $l = f(n)$ dla tkaniny o splocie płóciennym.

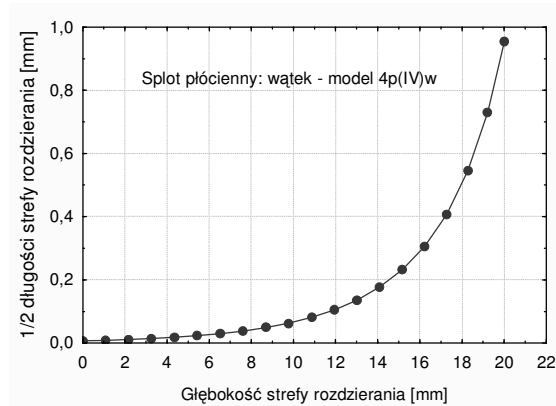
Linie na wykresach reprezentują wzrost wartości odległości między kolejnymi punktami przepłotu $l(I)$, gdzie odległość $l(I)$ zmienia się od 0 do $\sqrt{O_r^2 - (2a_e)^2}$ (warunek zakleszczenia). Zmiany odległości $l(I)$ można odnieść do zmiany położenia zacisku maszyny wytrzymałościowej w czasie. Na podstawie

obliczonych wartości odległości $l(n)$ można w bezpośredni sposób obliczyć odległość między zaciskami maszyny wytrzymałościowej w dowolnym punkcie Etapu 1 procesu rozdierania, tzn. do osiągnięcia punktu zakleszczenia nitki. Celem poprawy czytelności wykresów zmiany wartości odległości $l(n)$ zaznaczono liniami ciągłymi, mimo że w rzeczywistości są to wartości dyskretne.



Rys. 8. Wartości odległości $l(n)$ między punktami przeplotu w kierunku nitki układu rozdieranego w funkcji kolejnych przeplotów nitki układu rozciąganego z nitkami układu rozdieranego w strefie rozdierania tkanin

Obliczone wartości odległości $l(n)$ umożliwiają określenie kształtu „ramion” strefy rozdierania. Na rys. 9 zaprezentowano zależności $1/2 l_{\Delta z l} = f(d_{\Delta z l})$ dla tkaniny wytypowanej o splotie płóciennym.



Rys. 9. Zależność wartości połowy długości strefy rozdierania tkanin w funkcji głębokości strefy rozdierania w punkcie zakleszczenia nitki obu układów

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W pracy zaprezentowano zagadnienia związane z możliwościami modelowania wytrzymałości na statyczne rozdzielanie tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka.

Opracowano teoretyczny model rozdzielania tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka w oparciu o rozkład sił występujących w strefie rozdzielania tkanin, parametry geometrii tej strefy oraz parametry struktury przędzy i tkaniny. Potrzebę opracowania takiego modelu uzasadnia dokonany w pracy przegląd literatury, a także istotne znaczenie badań wytrzymałości na rozdzielanie w kompleksowej ocenie właściwości tkanin przeznaczonych do różnych obszarów zastosowania. Zaproponowany model rozdzielania umożliwia opis zjawisk występujących w strefie rozdzielania tkanin i wyznaczenie dowolnych zależności między zdefiniowanymi i opisanymi w tym modelu parametrami. Ponadto zaproponowany model może być stosowany w praktyczny sposób przy projektowaniu tkanin pod względem ich wytrzymałości na rozdzielanie. Dane wejściowe modelu to parametry i współczynniki dotyczące struktury przędzy i tkaniny, które są dostępne w procesie projektowania, natomiast eksperymentalne wyznaczenie pozostałych parametrów modelu jest możliwe za pomocą metod powszechnie wykorzystywanych w laboratoriach badawczych. Praktyczne stosowanie modelu rozdzielania wymaga automatyzacji procesów obliczeniowych.

Realizacja postawionych w pracy celów wymagała wytworzenia modelowych tkanin bawełnianych o założonych parametrach struktury i wykonania, przewidzianych planem badań eksperymentalnych.

Celem dokonania analizy geometrii strefy rozdzielania tkanin i zdefiniowania jej parametrów zaprojektowano i zbudowano stanowisko komputerowej analizy obrazu umożliwiające wizualizację tej strefy. Zaletą stanowiska jest jego uniwersalność, tzn. możliwość przystosowania elementów stanowiska do analizy i rejestracji zmian zachodzących w strukturze tkanin w czasie w wyniku działania sił.

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Uzyskane wartości bezwzględne współczynników korelacji liniowej r między prognozowanymi na podstawie modelu i uzyskanymi eksperymentalnie wartościami sił rozdzielania kształtują się na zbliżonym poziomie dla wszystkich omawianych splotów, a w splotach w - rozdzielanym układzie osnowa/wątek. Uzyskane wartości współczynników korelacji r w zakresie od 0,928 do 0,964 świadczą o tym, że istnieje silna korelacja liniowa między zmiennymi charakteryzującymi eksperymentalną i prognozowaną na podstawie modelu siłę rozdzielania, a zaproponowany model charakteryzuje się dobrą wrażliwością na zmiany parametrów struktury tkanin bawełnianych.
2. Uzyskane wartości współczynników determinacji R^2 wykazują zróżnicowanie w zależności od omawianego splotu tkaniny. Najlepsze dopasowanie modelu do danych eksperymentalnych na poziomie wartości współczynnika $R^2 = 0,93$

zaobserwowano dla tkanin o splocie płóciennym dla obu rozdzielanych układów nitek, natomiast „najgorsze” dopasowanie regresji do danych eksperymentalnych na poziomie wartości współczynnika $R^2 = 0,86$ uzyskano dla prognozowanych wartości sił rozdzielania nitek układu wątku dla tkanin o splocie skośnym łamanym 2/2 V4.

3. Przeprowadzona, z wykorzystaniem zaproponowanego modelu, analiza dotycząca wpływu wartości współczynnika tarcia statycznego między nitką układu rozdzielanego a nitką układu rozciąganego oraz wartości kąta opasania nitki układu rozdzielanego nitką układu rozciąganego wykazała, że zmniejszenie wartości wymienionych parametrów wpływa na poprawę wartości wytrzymałości na rozdzielanie tkanin bawełnianych. Analiza potwierdziła prawidłowe działanie zaproponowanego modelu rozdzielania tkanin w zakresie wrażliwości na zmiany wartości współczynnika tarcia statycznego nitka/nitka i kąta opasania nitek.
4. Zaproponowany model może być skutecznie wykorzystywany w opisie zjawisk występujących w strefie rozdzielania tkanin. Na jego podstawie, możliwe jest wyznaczenie dowolnych zależności, występujących w strefie rozdzielania tkanin bawełnianych, między opisanymi w modelu parametrami. Dotyczy to zarówno rozważanych w strefie rozdzielania sił jak i parametrów geometrii strefy.
5. Praktyczne wykorzystanie modelu rozdzielania wymaga każdorazowego wprowadzania do opracowanych zależności określonych wartości parametrów struktury nitek obu układów, struktury tkaniny i współczynników. Należy jednak podkreślić, że otrzymanie wartości większości parametrów nie wymaga wykonywania badań eksperymentalnych. Wykonanie badań jest niezbędne do wyznaczenia wartości siły zrywającej nitek obu układów oraz kształtu przekroju poprzecznego nitek obu układów w tkaninie. To z kolei umożliwi obliczenie wartości współczynnika wydłużenia nitki układu rozciąganego odniesionego do kształtu próbki. Aktualnie wykonanie powyższych badań nie wymaga wielu nakładów czasowych i finansowych. Można zatem stwierdzić, że zaproponowany w pracy model rozdzielania tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka przy wykorzystaniu automatyzacji procesu obliczeniowego jest modelem, który może znaleźć praktyczne zastosowanie w procesie projektowania tkanin bawełnianych pod kątem ich wytrzymałości na rozdzielanie.

Badania eksperymentalne w pełni potwierdziły przyjętą tezę, iż *możliwe jest prognozowanie wytrzymałości na statyczne rozdzielanie tkanin bawełnianych dla próbki w kształcie skrzydełka za pomocą modelu opracowanego na podstawie analizy rozkładu sił występujących w strefie rozdzielania tkanin, parametrów geometrii strefy oraz znajomości parametrów struktury przędzy i tkaniny.*

LITERATURA

- [1] **Greń, J.:** *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*, Wydanie VIII, PWN, Warszawa 1984, str. 200-203.
- [2] **Hamkins, Ch., Backer, S.:** *On the Mechanisms of Tearing in Woven Fabrics*, Textile Research Institute, No. 5/1980, str. 323-327.
- [3] **Harrison, P.:** *The Tearing Strength of Fabrics - Part I: A Review of the Literature*, Journal of Textile Institute 51, 1960, str. T91-T131.
- [4] **Hager, O., B., Galiardi, D., D., Walker, H. B.:** *Analysis of Tear Strength*, Textile Research Journal, No. 7/1947, str. 376-381.
- [5] **Krook, C., M., Fox, K., R.:** *Study of the Tongue Tear Test*, Textile Research Journal, No. 11/1945, str. 389-396.
- [6] **Niezgodziński, T.:** *Mechanika ogólna*, PWN Warszawa 1999, str. 25-25 i 45-48.
- [7] **Scelzo, W. A., Backer, S., Boyce, C.:** *Mechanistic Role of Yarn and Fabric Structure in Determining Tear Resistance of Woven Cloth - Part I: Understanding Tongue Tear*, Textile Research Journal, Vol. 64, No. 5/1994, str. 291-304.
- [8] **Scelzo, W. A., Backer, S., Boyce, C.:** *Mechanistic Role of Yarn and Fabric Structure in Determining Tear Resistance of Woven Cloth - Part II: Modeling Tongue Tear*, Textile Research Journal, Vol. 64, No. 6/1994, str. 321-329.
- [9] **Szosland J.:** *Podstawy budowy i technologii tkanin*, WNT Warszawa 1979, str. 21.
- [10] **Teixeira, N. A., Platt, M. M., Hamburger, W. J.:** *Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials: Part XII: Relation of Certain Geometric Factors to the Tear Strength of Woven Fabrics*, Textile Research Journal, No. 10/1955; str. 838-861.
- [11] **Taylor, H. M.:** *Tensile and Tearing Strength of Cotton Cloths*, Journal Textile Research, Vol. 50, 1959, str. T151-T181.
- [12] **Witkowska, B., Frydrych, I.:** *A Comparative Analysis of Tear Strength Methods, Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 12, No 2(46)2004, str. 42-47
- [13] **Witkowska B., Kamińska I.:** Frydrych I.: *Zastosowanie programu komputerowej analizy obrazu do rejestracji i oceny zjawiska statycznego rozdierania w tkaninach bawełnianych*, Przegląd Włókienniczy 2/2007.
- [14] **Witkowska B., Frydrych I.:** *Static Tearing – Part I: Its Significance in the Light of European Standards; Part II: Analysis of Stages of Static Tearing in Cotton Fabrics for Wing - Shaped Test Specimens*, Textile Research Journal; Jun 2008; vol. 78: pp. 510-517 and Nov 2008; vol. 78: pp. 977-987.

MODELLING THE STATIC TEARING OF COTTON FABRIC

Summary

The aim of Ph.D doctor's thesis was checking a possibility to predict a resistance to static tearing for a wing shape sample of cotton woven fabrics – using the derived model based on the analysis of force distribution in the woven

fabric tearing zone, parameters of zone geometry and parameters of yarn and woven fabric structure.

The research study presents problems relating to the modelling the resistance to static tearing of cotton woven fabrics for wing shape samples.

Theoretical model of tearing wing shape samples of cotton woven fabrics was derived on the basis of: an occurrence of force distribution in the woven fabric tearing zone, parameters of this zone geometry and parameters of yarn and woven fabric structure. Literature survey revealed a need to develop such a model. Tests on tearing strength play an essential role in a complex evaluation of properties of woven fabrics for different applications. Proposed model of tearing allows describing all phenomena occurring in the woven fabric tearing zone and determining any relations between parameters, which are defined and described in the model.

While developing the model of woven fabric tearing process its practical application in a fabric design was considered. Expecting that calculation process would be automated it was assumed that parameters, including model coefficients, should be derived from the data on yarn and woven fabric structure, which are easily available during designing, while the experimental determination of the other model parameters should refer to commonly used methods.

To obtain specified research aims it was necessary to produce model woven fabrics of defined structural parameters and to carry out experiments presented in the research work plan.

To analyze the geometry of woven fabric tearing zone and to define its parameters a computerized stand was designed and built. It allows analyzing the image and visualizing the tearing zone. The main parts of this stand are: tensile tester cooperating with a computer software *test-Xpert*, a digital camera and the software *MicroStudio Video* programme. The stand is universal as its elements can be adjusted, while analyzing the sample and registering the changes occurring in the woven fabric structure during tearing force propagation.

Department of Clothing Technology
Technical University of Lodz