

# Numeryczna analiza wytrzymałościowa wałka do transportu tkaniny tekstylnej

## Numerical strength analysis of the roller for textile fabric handling

WIESŁAW KOMAR  
WOJCIECH MIĄSKOWSKI  
BARTOSZ MOCZULAK\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.91>

Przedstawiono metodykę badań numerycznych i doświadczalnych dotyczących naprężeń w wałku do transportu tkaniny tekstylnej, pozyskanym z linii produkcyjnej. Wyniki obu analiz zostały porównane, a badany obiekt zweryfikowano w aspekcie bezpieczeństwa jego eksploatacji.

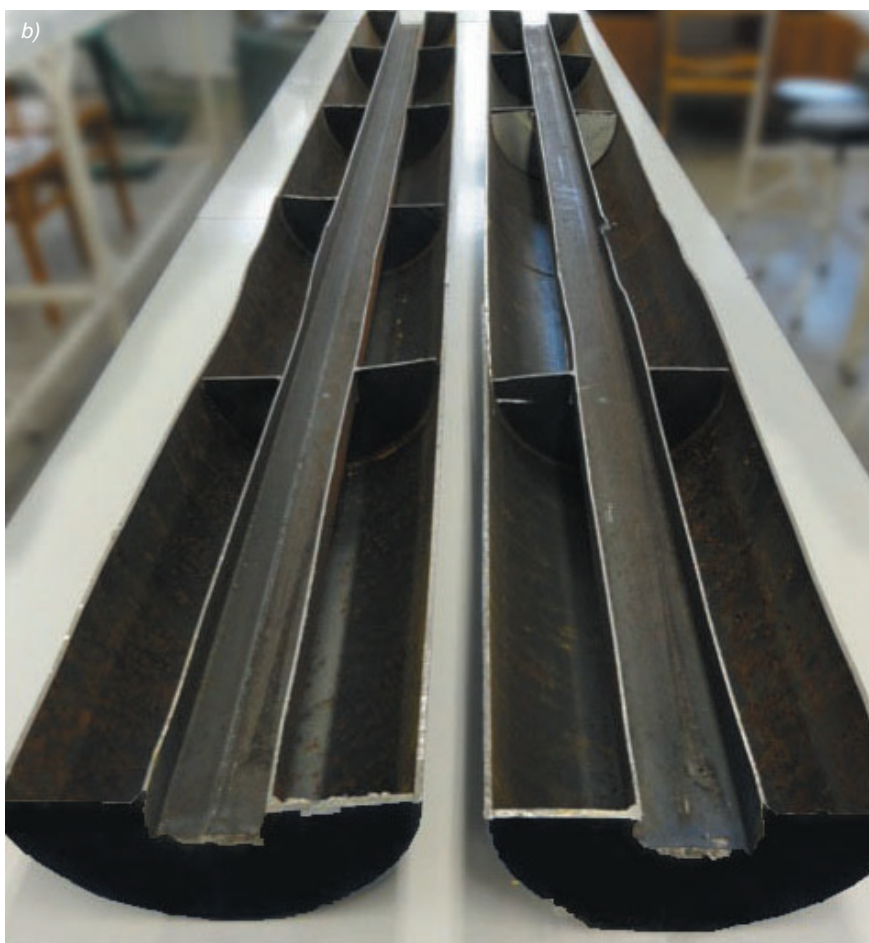
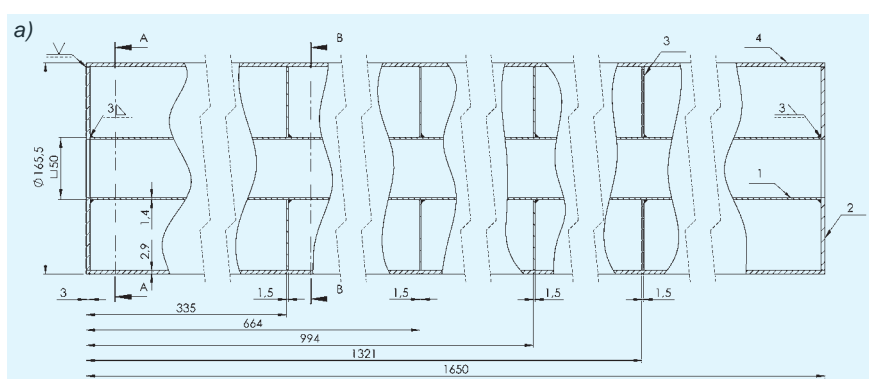
**SŁOWA KLUCZOWE:** analiza numeryczna MES, analiza naprężeń, tkanina tekstylna

*Presented is the methodology of conducted numerical tests and experiments on the stress analysis in the roller for transporting textile fabrics, gained directly from the production line. The results of both analyses were compared and the tested object verified in terms of its operational safety.*

**KEYWORDS:** FEM numerical analysis, stress analysis, textile fabric

Analiza numeryczna MES pozwala w przybliżony, lecz szybki i bezkosztowy sposób oszacować m.in. wartości naprężeń w złożonych obiektach technicznych. Jednak wyniki symulacji komputerowej są miarodajne, jeśli zostaną zweryfikowane, czy to z wynikami obliczeń analitycznych, czy też z wynikami eksperymentu przeprowadzanego na obiekcie rzeczywistym. Istotą badań była weryfikacja rzeczywistej konstrukcji wałka stosowanego w procesie produkcyjnym do międzystanowiskowego transportu tkaniny tekstylnej pod kątem jego bezpiecznego użytkowania. Za cel badania, zaprezentowany w niniejszej pracy, przyjęto

\* Dr inż. Wiesław Komar (komar@uwm.edu.pl), dr inż. Wojciech Miąskowski (wojmek@uwm.edu.pl), mgr inż. Bartosz Moczulak (bartosz.moczulak@uwm.edu.pl) – Wydział Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego



Rys. 1. Wałek do międzystanowiskowego transportu tkaniny tekstylnej: a) szkic techniczny wykończony w analizie MES, b) przekrój wzdłużny

wykonanie numerycznych obliczeń wytrzymałościowych dla tego typu wałka i ich porównanie z wynikami obliczeń analitycznych przeprowadzonych na podstawie rzeczywistych danych o obciążeniach i warunkach pracy wałków.

### Przedmiot badań

Przedmiotem badań jest konstrukcja wałka, na który w procesie produkcyjnym nawijana jest tkanina tekstylna, o określonej geometrii i w danych warunkach obciążenia. Kształt wałka tworzy stalowa rura zamknięta przyspawany do niej profilami kołowymi. Wewnątrz rury usytuowana jest centralnie rura kwadratowa, zgrzewana w sposób ciągły (zgrzeina hutnicza). Mocowanie kołowej rury zewnętrznej oraz kwadratowej wewnętrznej do zewnętrznych profili przedstawiono na rys. 1a, a przekrój wzdłużny wałka – na rys. 1b.

W celu usztywnienia konstrukcji między rurą zewnętrzną i wewnętrzną wstawiono cztery profile. Wewnętrzne profile wzmacniające zostały jedynie szczipione punktowo z rurą kwadratową i w żaden sposób nie są połączone z rurą zewnętrzną wałka.

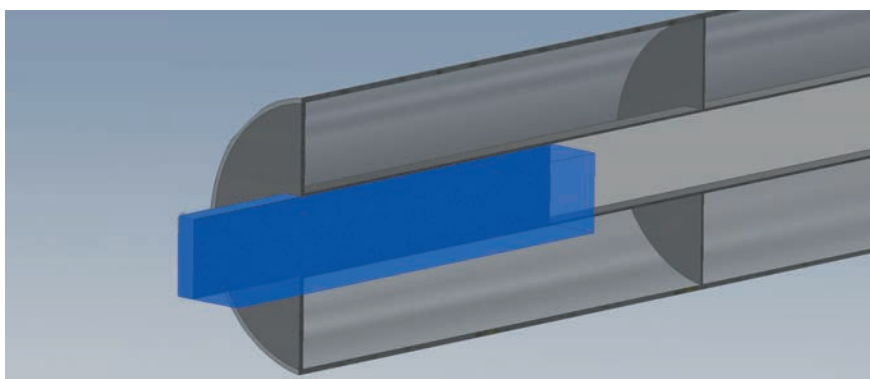
Po identyfikacji i zwymiarowaniu poszczególnych części wałka dla każdej z nich zrealizowano badania materiałowe, mające na celu wyznaczenie właściwości mechanicznych materiałów, z jakich zostały wykonane. Przeprowadzono je na próbkach płaskich (paskowych) pobranych z poszczególnych elementów wałków.

Wykonane w ramach badań statyczne próby rozciągania umożliwiły określenie:

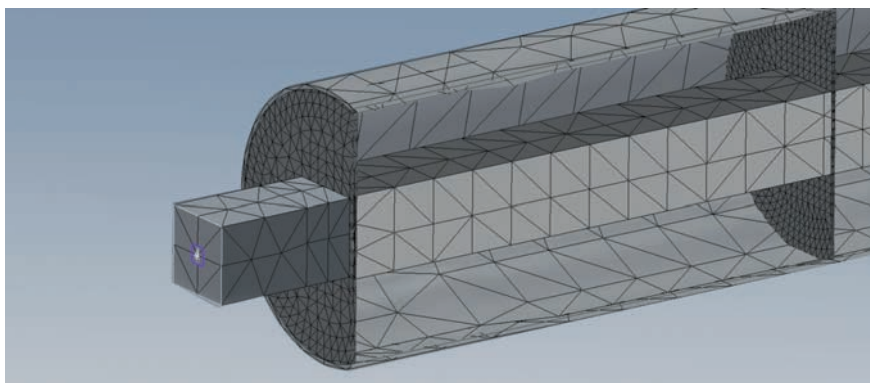
- granicy plastyczności  $R_e$ ,
- wytrzymałości materiału na rozciąganie  $R_m$ ,
- wydłużenia względnego  $A_5$ ,
- wytrzymałości zmęczeniowej  $Z_{90}$ .

### Wyniki i analiza obliczeń

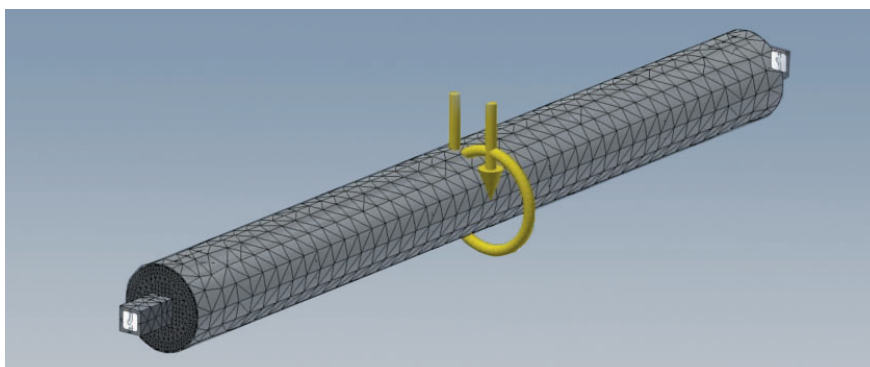
W obliczeniach wytrzymałościowych uwzględniono, że masa obciążająca wałek wynosi 1800 kg, więc do obliczeń przyjęto ciężar 17660 N. Podczas nawijania wałek jest osadzony na dwóch sztywnych, ciasno montowanych gryfach i podparty na całej długości na dwóch innych wałkach nawijaka, z których jeden pełni rolę ogniwa napędzającego (wprawiającego wałek w ruch obrotowy), a drugi – podpierającego wałek wraz



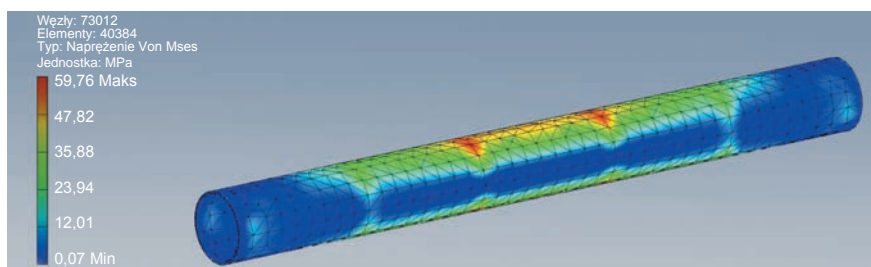
Rys. 2. Gryf mocujący zastosowany w symulacji komputerowej



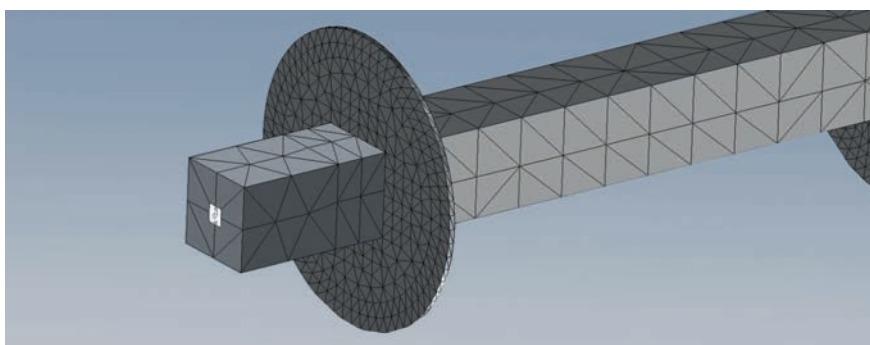
Rys. 3. Siatka bryłowa oraz nieruchoma geometria na powierzchni gryfu



Rys. 4. Obciążenia wałka w analizie MES rury zewnętrznej



Rys. 5. Rozkład naprężeń zredukowanych Hubera-Misesa-Hencky'ego w rurze zewnętrznej wałka do tkanin tekstylnych



Rys. 6. Siatka bryłowa oraz nieruchoma geometria na powierzchni gryfu mocującego

z nawiniętą na niego tkaniną. Z nawijaka balot tkaniny tekstylnej nawiniętej na wałek transportowany jest suwnicą na kolejne stanowisko produkcyjne. Za najbardziej obciążone elementy konstrukcji uznano zewnętrzną rurę walcową oraz wewnętrzną rurę kwadratową. Wyniki obliczeń analitycznych zestawiono w tabelicy.

**TABLICA. Wyniki obliczeń wytrzymałościowych elementów nośnych wałka**

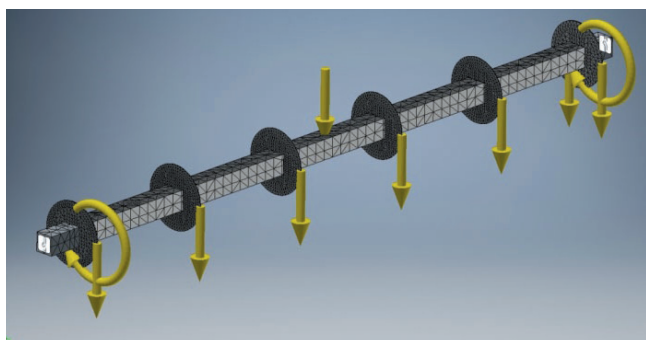
Wielkość	Rura zewnętrzna	Rura wewnętrzna
Maks. moment skręcający $M_{smax}$ , Nmm	206 875	37 575
Maks. moment zginający $M_{gmax}$ , Nmm	3 507 187	869 820
Naprężenia styczne $\tau$ , MPa	1,7	5,7
Naprężenia normalne $\sigma$ , MPa	59,3	202,8
Naprężenia zredukowane $\sigma_z$ , MPa	59,4	203
Stacyjny współczynnik bezpieczeństwa $n_s$	5,65	1,04
Zmęczeniowy współczynnik bezpieczeństwa $n_z$	3,74	0,97

Na podstawie wartości współczynników bezpieczeństwa należy przypuszczać, że najbardziej narażonym na zniszczenie elementem wałka jest wewnętrzna rura o przekroju kwadratowym.

■ **Analiza MES.** Po odwzorowaniu geometrii oraz określeniu parametrów materiałowych elementów konstrukcji zaimplementowano je w modelu numerycznym. Analizę MES przeprowadzono w środowisku Autodesk Inventor. W uproszczonych symulacjach wykorzystano siatkę bryłową oraz rzeczywiste wartości obciążenia podane w tabelicy.

■ **Rura zewnętrzna.** Zewnętrzną rurę analizowano w kontekście złozenia [1, 2]. Wszystkie stopnie swobody odebrano na jednej powierzchni gryfu mocującego (rys. 2 i 3). Jako obciążenie przyjęto ciężar transportowanych tkanin 17 660 N, moment skręcający 206 875 Nmm oraz grawitację 9810 mm/s wzdłuż osi Z (rys. 4). Zdecydowano się na zastosowanie automatycznie wykrytych kontaktów między poszczególnymi komponentami. W symulacji komputerowej wykorzystano 40 384 elementy skończone (czworościany) oraz 73 012 węzłów.

Największe naprężenia zredukowane według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego, wyznaczone w rurze zewnętrznej na podstawie analizy numerycznej, mają wartość rzędu 59 MPa (rys. 5). Taki rezultat wykazuje zgodność z wynikami obliczeń uzyskanymi metodą analityczną. Maksymalne naprężenia zredukowane występują w środkowej części rury zewnętrznej, czyli w tych obsza-



Rys. 7. Obciążenia zespołu elementów w analizie MES rury wewnętrznej

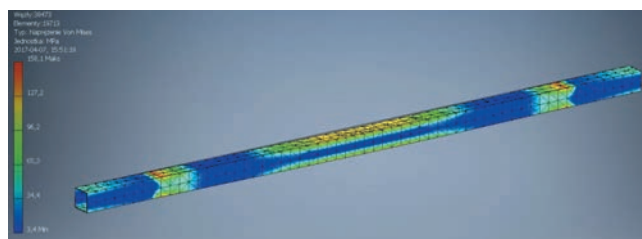
rach wałka, które są najbardziej narażone na odkształcenia powodowane głównie przez ciężar nawiniętej tkaniny tekstylnej.

■ **Rura wewnętrzna.** Wewnętrzną rurę analizowano również w kontekście złozenia, jednak z wykluczeniem zewnętrznej rury (rys. 6).

Ciężar tkaniny obciążającej wałek przyłożono na powierzchniach cylindrycznych wewnętrznych profili, a oddziaływanie momentu skręcającego zrealizowano na powierzchniach cylindrycznych skrajnych profili (rys. 7). Przyjęto wartości zgodne z tabelicą.

W analizie numerycznej tej części wałka również uwzględniono wpływ sił ciężkości. Zastosowano siatkę bryłową, która opisała badany obiekt za pomocą 19 713 elementów czworościennych, a tym samym wyznaczyła 38 743 węzły, oraz wykorzystano automatycznie wykryte kontakty między komponentami konstrukcji [1]. Dla tak sformułowanego modelu elementu konstrukcji i obciążenia przeprowadzono analizę numeryczną.

Rozkład naprężeń w tym elemencie przyjmuje założoną postać (rys. 8), jednak wartość największych naprężeń zredukowanych różni się od naprężeń uzyskanych z obliczeń analitycznych. Największe naprężenia zredukowane według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego w obliczeniach analitycznych wynoszą 203 MPa, a w analizie MES – 158 MPa.



Rys. 8. Widok siatki oraz rozkład naprężeń zredukowanych Hubera-Misesa-Hencky'ego w rurze wewnętrznej wałka

## Podsumowanie

Wyniki analizy MES dla zewnętrznej rury walcowej wykazują zgodność z wynikami obliczeń analitycznych. Natomiast wyniki dla wewnętrznej rury kwadratowej wykazują różnicę wartości maksymalnych naprężeń zredukowanych, co może być spowodowane m.in. uproszczeniem modelu numerycznego.

Wyniki analizy świadczą o tym, że podejście do modelowania rozkładu obciążeń i odpowiadających im naprężeń w kontekście złozenia należy w każdym przypadku traktować indywidualnie. Szczególnej uwagi wymaga dobór warunków brzegowych, przyjmowanych w obliczeniach numerycznych.

Przy analizie obiektów technicznych – nawet mało skomplikowanych geometrycznie i poddanych relatywnie prostym stanom obciążenia – wskazana jest eksperymentalna weryfikacja wyników.

## LITERATURA

1. "Introduction to Using Inventor's Programming Interface". API Help, 2017.
2. Jaskulski A. „Autodesk Inventor Professional 2016PL/2016+/Fusion 360. Metodyka projektowania”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2016.