

Zastosowanie metod komputerowych w procesie projektowanie układu pomiarowego do mierzenia siły w linie

Sławomir Duda¹, Grzegorz Gembalczyk¹

¹Instytut Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Śląska
email: Sławomir.Duda@polsl.pl, Grzegorz.Gembalczyk@polsl.pl

STRESZCZENIE: W niniejszej publikacji przedstawione zostały rezultaty prac projektowych nad konstrukcją urządzenia pomiarowego do mierzenia siły w linie. Czujnik ten dedykowany jest do niekonwencjonalnej wciągarki suwnicy, której konstrukcja uniemożliwia zastosowanie typowych, dostępnych na rynku sensorów. Celem projektu było zatem opracowanie postaci konstrukcyjnej korpusu urządzenia pomiarowego. Zaprojektowany element powinien cechować się odpowiednią wytrzymałością, a jednocześnie wystarczającymi odkształceniami na powierzchniach umożliwiającymi naklejenie tensometrów. W procesie projektowania wykorzystane zostały techniki komputerowe, w szczególności oprogramowanie do modelowania geometrycznego i analizy wytrzymałościowej, z zastosowaniem metody elementów skończonych. Wykorzystanie tych metod było wsparciem przy wyborze najlepszej koncepcji, optymalizacji wymiarów geometrycznych i określeniu pól największych odkształceń.

SŁOWA KLUCZOWE: Czujnik siły, tensometria oporowa, projektowanie CAD, metoda elementów skończonych

1. Wstęp

Rozwój metod i technik komputerowych przyczynił się do wytyczenia nowych standardów projektowania urządzeń mechanicznych, mechatronicznych, jak również innych, stosowanych w wielu różnych dyscyplinach. Jednym z przełomowych osiągnięć dla wsparcia pracy konstruktorów było wprowadzenie przez firmę SolidWorks w 1993 roku pierwszego oprogramowania do modelowania 3D. Rozwój oprogramowania tego typu umożliwił tworzenie wizualizacji, badanie kolizji oraz ułatwił przygotowanie dokumentacji konstrukcyjnej. Kolejnym usprawnieniem było sprzężenie tych programów z modułami do analizy wytrzymałościowej, bazujących na metodzie elementów skończonych. Pozwoliło to na szybką weryfikację wytrzymałości konstrukcji, dobór odpowiednich przekrojów i dobre przybliżenie takich parametrów jak masa, czy położenie środka ciężkości [1,2,3,4].

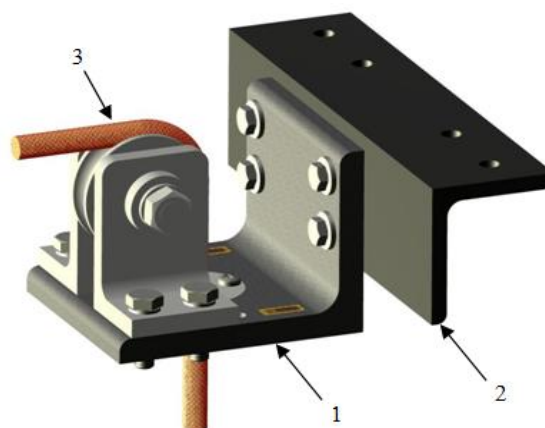
W niniejszym artykule pokazane zostało wykorzystanie technik komputerowych w procesie projektowania układu pomiarowego do mierzenia siły naciągu liny. Urządzenie to przeznaczone jest do montażu w układzie odciążającym mechatronicznej suwnicy, która wspomagać ma proces reedukacji chodu [5].

Konstrukcja wciągarki uniemożliwiła pomiar siły w linie poprzez zastosowanie typowych czujników. Głównym ograniczeniem był w tym przypadku nietypowy sposób montażu. Dostępne są na rynku przetworniki siły wytwarzane są w różnych kształtach, jednak bez zastosowania elementów pośrednich nie było możliwości zamontowania ich w żądanym położeniu. Wykorzystanie takich adapterów wiąże się jednak z dodatkowymi kosztami. Dlatego też bardziej ekonomicznym rozwiązaniem było wykonanie własnego czujnika siły, dostosowanego do konstrukcji urządzenia docelowego [5].

2. Metodologia projektowania

Na etapie konceptowania założono, że budowany układ pomiarowy działać będzie z wykorzystaniem tensometrów oporowych. Zaproponowanych zostało kilka koncepcji kształtu korpusu czujnika [6]. Dla rozwiązań tych

opracowane zostały modele CAD, co ułatwiło weryfikację wszystkich wymiarów i wstępne określenie grubości poszczególnych elementów. Przyjęto, że elementy konstrukcyjne wykonane będą ze stali S355. Wizualizacja rozwiązania uznanego za najlepsze przedstawiona jest na rys.1.



Rys. 1. Układ do pomiaru siły w linie

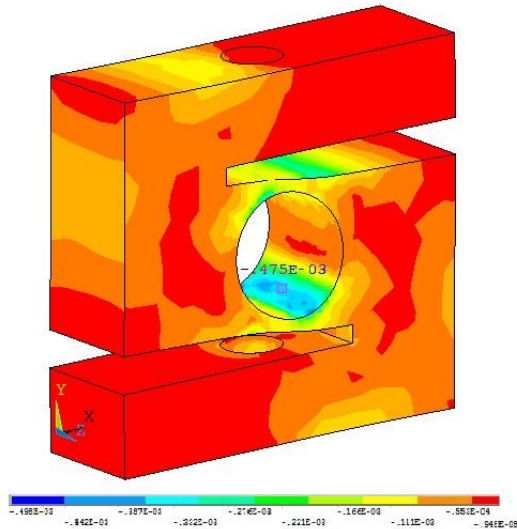
Tak jak pokazuje rysunek powyżej, korpus czujnika siły stanowi kątownik (1), przykręcony do umocnionego wspornika kątownika (2), będącego jednocześnie częścią wciągarki. Do elementu tego zamocowany jest bloczek linowy (3). Ponadto, w korpusie czujnika znajduje się pierścień teflonowy, przez który przechodzi lina. Element ten odpowiedzialny jest za stabilizację pozycji liny, co ułatwia dalszy pomiar kąta wychylenia liny.

Kolejnym etapem projektowym powinna być optymalizacja wymiarów czujnika, tak aby zminimalizować jego masę, zachować odpowiednią wytrzymałość i uzyskać wystarczające odkształcenia na powierzchniach przeznaczonych pod naklejenie tensometrów.

Prawidłowe zdefiniowanie kryteriów takiej optymalizacji wymaga pewnego doświadczenia projektanta w dziedzinie badań tensometrycznych. Brak takiego doświadczenia można jednak zniwelować poprzez zastosowanie metod numerycznych. W omawianym przypadku, założenia oprócz można o wyniki analizy numerycznej innego czujnika siły.

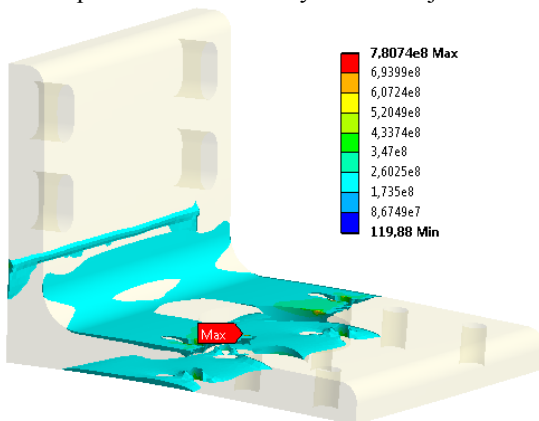
Modyfikacja procesu projektowania o etap analizy numerycznej istniejących już rozwiązań pozwala wykorzystać doświadczenie innych konstruktorów i znacznie pomaga osiągnąć optymalne rozwiązanie.

Na rysunku poniżej przedstawione zostały wyniki analizy wytrzymałościowej jednego z czujników S-kształtnych przy obciążeniu znamionowym 2000 N. Odształcenia styczne w miejscu naklejenia tensometrów wynosiły ok. 457 $\mu\text{m/m}$, natomiast maksymalne naprężenia zredukowane w korpusie nie przekraczały 170 MPa.



Rys. 2. Odształcenia główne w czujniku S-kształtnym przy obciążeniu znamionowym

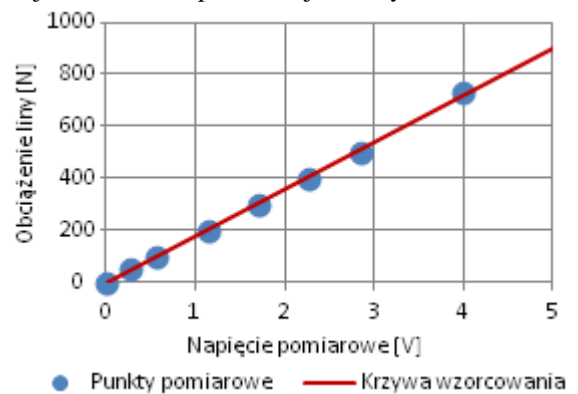
Założenia przyjęte na podstawie przeprowadzonych analiz pozwoliły wyznaczyć odpowiednie wymiary kształtownika zastosowanego na korpus czujnika siły, do czego wykorzystana została metoda elementów skończonych. W procesie iteracyjnym dobrano wielkość elementów skończonych. Wyznaczono też miejsca, w których występują największe naprężenia i odkształcenia [7]. Pola te przedstawione zostały na ilustracji 3.



Rys. 3. Mapa największych naprężeń i odkształceń

Procedurę kalibracji przeprowadzono z wykorzystaniem siłomierza do pomiaru sił rozciągających. Zamocowany on został z jednej strony do linii wciągarki, a z drugiej linii utwierdzonej. Zmiana naciągu linii realizowana była poprzez ruch bębna nawojowego. Na podstawie zarejestrowanych wyników wykreślona została krzywa wzorcowania [8]. W żądanym zakresie (do ok. 700 N) jest

ona funkcją liniową ze współczynnikiem kierunkowym wynoszącym 176 N/V. Wyznaczona charakterystyka krzywej wzorcowania pokazana jest na rys. 4



Rys. 4. Krzywa wzorcowania czujnika siły

3. Podsumowanie

W pracy przedstawiony został proces projektowania tensometrycznego czujnika siły, przeznaczonego do pomiaru siły w linie. Omówiono algorytm projektowania takiego układu pomiarowego od etapu konceptowania, po wykonanie i badania doświadczalne. Podczas opracowywania postaci konstrukcyjnej korpusu czujnika, szczególnie istotne było wykorzystanie technik komputerowych.

- 1) Zastosowanie technik parametrycznego modelowania 3D umożliwiło weryfikację wytrzymałościową i oszacowanie wymiarów różnych rozwiązań jeszcze na etapie konceptowania.
- 2) Czujniki tensometryczne powinny posiadać takie powierzchnie, w których możliwe będzie efektywne mierzenie odkształceń. Chcąc ustalić odpowiednią wartość tych odkształceń, wykonana została analiza wytrzymałościowa jednego z istniejących już, profesjonalnych czujników siły. Wprowadzenie do procesu projektowania dodatkowego etapu jakim jest analiza MES, pozwoliło zdefiniować odpowiednie kryteria optymalizacyjne, wykorzystane przy wyznaczeniu wymiarów projektowanego elementu.

Literatura

- [1] Bodeina Y., Roseb B., Caillaud E., *Explicit reference modeling methodology in parametric CAD system*, Computers in Industry, Vol. 65, No. 1, pp. 136–147, 2014.
- [2] Cambaa J. D., Conterob M., Companyc P., *Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability*, Computer-Aided Design, Vol. 74, pp. 18–31, 2016.
- [3] Pawłowski W., *Zastosowanie programu CAD do modelowania i analizy układów mechanicznych*, Technologia i Automatyzacja Montażu, No. 2, pp. 12-15, 2003.
- [4] Haniszewski T., *Koncepcja projektu stanowiska do badania zjawisk dynamicznych zachodzących podczas unoszenia ładunku*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Transport, Vol. 88, pp. 49-60, 2015.
- [5] Gembalczuk G., Duda S., *Projekt i walidacja urządzeń pomiarowych - siły w linie i kąta wychylenia liny zawiesia suwnicy*, Modelowanie Inżynierskie, Vol.16, No. 47, pp. 75-81, 2013.
- [6] Gommola G., *The application and installation of load cells*, Frankfurt/Main: Zarbock, 2000.
- [7] Cichoń Cz., Cecot W., Krok J., Pluciński P., *Metody komputerowe w liniowej mechanice konstrukcji*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2010.
- [8] Kostyrko K., Piotrowski J., *Wzorcowanie aparatury pomiarowej*, Wyd. PWN, Warszawa, 2012.