The International Journal of
TRANSPORT & LOGISTICS
Medzinárodný časopis
DOPRAVA A LOGISTIKA

ISSN 1451-107X

DIAGNOSTYKA LIN W POWŁOKACH Z TWORZYW SZTUCZNYCH UŻYWANYCH W URZĄDZENIACH DŹWIGOWYCH

DIAGNOSTICS OF PLASTIC COATED STEEL WIRE ROPES USE IN LIFTS

JERZY KWAŚNIEWSKI[1], SZYMON MOLSKI[2], HUBERT RUTA[3], TOMASZ KRAKOWSKI[4]

Kľúčové slová: lina, magnetyczne badanie, diagnostyka, wyciągi

Abstrakt: W nowoczesnych rozwiązaniach urządzeń dźwigowych stosowane są liny o małej średnicy oraz cięgna w powłokach z tworzyw sztucznych. Powoduje to konieczność wprowadzenia nowych metod diagnostycznych do oceny ich stanu. W artykule omówiono możliwości zastosowania metody magnetycznej do określania stanu technicznego cięgien używanych w urządzeniach dźwigowych, przedstawiono również głowice pomiarowe do badań lin stalowych w osnowie z tworzyw sztucznych oraz pasów stalowo - poliuretanowych.

Key words: wire rope, magnetic testing, diagnostic, elevators

Abstract: In modern lift equipment solutions small diameter ropes are used together with ties covered with plastic. The aforementioned causes necessity of introduction of new diagnostics methods to assess the condition of the ties. The article discusses the applicability of magnetic methods for determining the condition of the ropes in lifting devices. It also presents magnetic heads used for examination of polyurethane – coated steel belts and plastic coated steel wire ropes.

1 WSTĘP

Stały rozwój metod i środków diagnostyki technicznej jest niezbędny dla zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa eksploatacji maszyn, urządzeń i obiektów technicznych. Pojawianie się nowych struktur mechanicznych w różnego rodzaju maszynach i urządzeniach rodzi potrzebę oceny ich stanu technicznego w miarę upływu czasu eksploatacji. Poznawanie procesów zużyciowych, ich charakteru, szybkości przyrostu uszkodzeń danego elementu systemu, poprzez różnego rodzaju urządzenia diagnostyczne, pozawala prognozować czas i sposób (możliwości) dalszej bezpiecznej eksploatacji danego urządzenia i jego elementów, oraz przewidywać przybliżony termin ich wymiany (odkładania) ze względu na zbyt duże zużycie. Jedną z tego rodzaju struktur są liny stalowe powlekane otuliną z tworzywa sztucznego, m.in.: PCV, poliamid (PA-6), polietylen [5]. Szeroko stosowane są również płaskie cięgna składającej się z linek stalowych zatopionych

[1] **Dr hab. inż. Jerzy Kwaśniewski prof. nazw AGH** Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Stasica w Krakowie, al. Mickiewicza 30 30-059 Kraków, Katedra Transportu Linowego, Tel.: 12 617-23-13, 12 634-35-37, Fax 12 636-01-44 e-mail: kwasniew@imir.agh.edu.pl
[2] **Dr inż. Szymon Molski** Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Stasica w Krakowie al. Mickiewicza 30 30-059 Kraków, Katedra Transportu Linowego, Tel.: 12 617-23-13, 12 634-35-37, Fax 12 636-01-44 e-mail: molski@imir.agh.edu.pl
[3] **Mgr inż Hubert Ruta** Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Stasica w Krakowie al. Mickiewicza 30 30-059 Kraków, Katedra Transportu Linowego, Tel.: 12 617-33-59, 12 634-35-37, Fax 12 636-01-44 e-mail: hubert.ruta@agh.edu.pl
[4] **Mgr inż Tomasz Krakowski** Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Stasica w Krakowie al. Mickiewicza 30 30-059 Kraków, Katedra Transportu Linowego, Tel.: 12 617-33-59, 12 634-35-37, Fax 12 636-01-44 e-mail: krakowsk@agh.edu.pl

w osnowie poliuretanowej. Znajdują one zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki, głównie przy maszynach przemysłowych takich jak betoniarki, spychacze, wyciągarki, a także w urządzeniach transportowych. Używane są do przymocowania ciężarów w czasie transportu oraz służą do napędu różnych urządzeń przemysłowych. Ze względu na różną konstrukcję mają wszechstronne zastosowanie oraz dzielą się na różne rodzaje. W zastosowaniach morskich liny stalowe powlekane otuliną z tworzywa sztucznego stosowane bywają jako liny trałowe. Wykorzystywane są również w narciarskich wyciągach orczykowych [3].

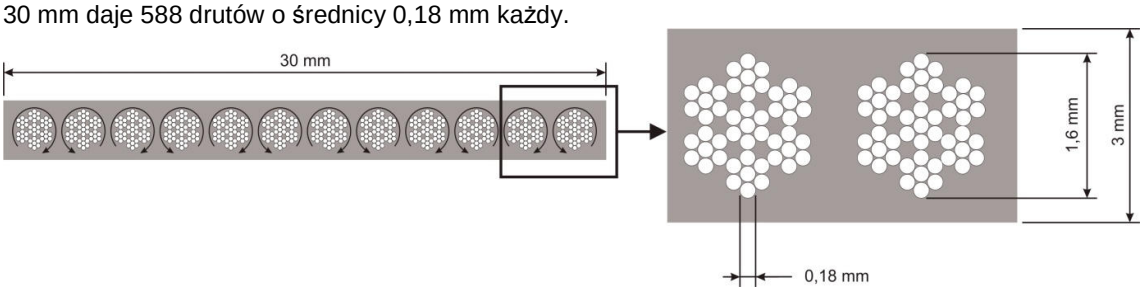
Również branża dźwigowa doceniła zalety tego rodzaju konstrukcji. Liny tego typu stosowane są coraz bardziej powszechnie również przez producentów dźwigów osobowych, towarowych i osobowo – towarowych, np. hiszpańską firmę Orona (autoryzowany przedstawiciel w Polsce – firma Omilifts [4]) produkującą różnego rodzaju windy, podnośniki i przenośniki pionowe, dźwigi i windy budowlane, wyciągi towarowe, schody ruchome, windy osobowe i windy towarowe dla budownictwa, podnośniki dla niepełnosprawnych itp. [6]. W terminologii branżowej liny tego typu często nazywane są linami typu SDR. Urządzenia dźwigowe z pasami stalowo – poliuretanowymi jako pierwsza zastosowała firma Otis. Obecnie tego typu cięgna stosowane są przez coraz większa liczbę firm.

2 PROBLEMY DIAGNOSTYKI

Przykładową strukturę cięgnową typu SDR zaprezentowano na rys.1;6;7. Jest to lina stalowa mosiądzowana w bezbarwnej otulinie z tworzywa sztucznego – materiał: stal C7(Mn+Si) + mosiądz w PCV [3]. Główną zaletą tego rozwiązania jest dobry współczynnik tarcia w parach kinematycznych w których jednym z elementów jest lina, oraz odizolowanie stali (przekroju metalicznego) odpowiedzialnej za przenoszenie obciążeń od środowiska korozyjnego i zanieczyszczeń.

Rys.1. *Lina stalowa mosiądzowana DIN 3055 6x7+FC w PCV produkcji DQ-PP Sp. z o.o. [3]*

Pasy stalowo - poliuretanowe składają się z linek stalowych zatopionych w osnowie poliuretanowej. W zależności od producenta oraz zastosowania istnieje wiele rozwiązań cięgien różniących się wymiarami zewnętrznymi, liczbą linek zatopionych w osnowie oraz średnicami linek oraz drutów. Na rysunku nr 2 przedstawiono przykładowe cięgno, w skład którego wchodzi 12 linek o średnicy 1,6 mm, każda linka składa się z 7 splotek złożonych z 7 drutów, co dla pasa o szerokości 30 mm daje 588 drutów o średnicy 0,18 mm każdy.



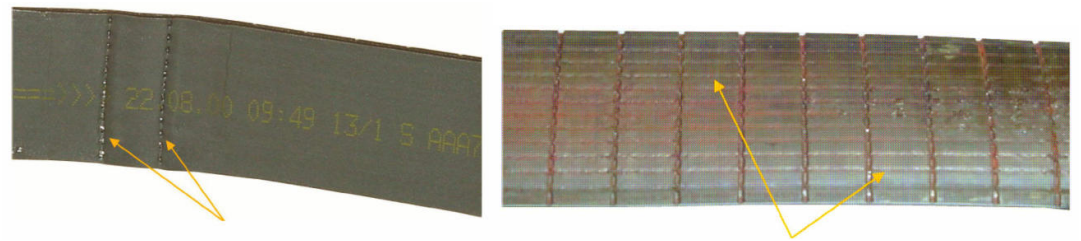
Rys. 2. *Cięgno stalowo poliuretanowe*

Nieodkrętność konstrukcji uzyskana została dzięki naprzemiennemu ustawieniu linek o prawym i lewym kierunku zwicia (momenty odkrętu redukują się). Cięgna mają taką samą wytrzymałość jak tradycyjne liny stalowe (np. dla cięgna o szerokości 30 mm do 36 kN) ale są przy tym bardziej elastyczne, dzięki czemu mogą współpracować z wałami napędowymi o średnicy 100 mm (80% mniej niż średnica kół napędowych w tradycyjnych urządzeniach dźwigowych). Zastosowanie poliuretanowej osnowy eliminuje konieczność konserwacji cięgien oraz zwiększa tarcie między cięgnem a wałem pędnym.

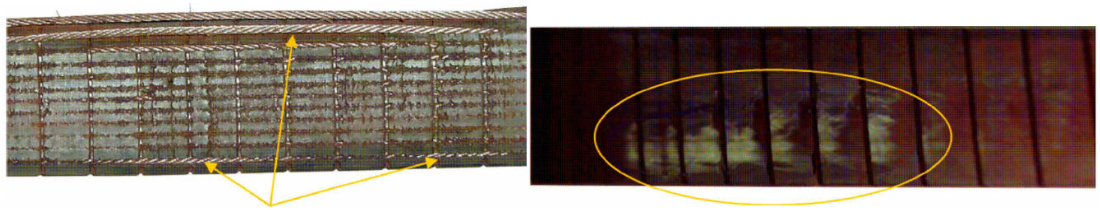
Płaski kształt powoduje zwiększenie powierzchni styku, co również wpływa w istotny sposób na rozkład naprężeń. [7][8]

Najczęściej stosowanym sposobem diagnostyki cięgien dźwigów osobowych przez inspektorów Urzędu Dozoru Technicznego oraz pracowników firm dźwigowych dbających o utrzymanie instalacji w ruchu, jest tzw. metoda wizualna – VT wg normy PN-EN 473.

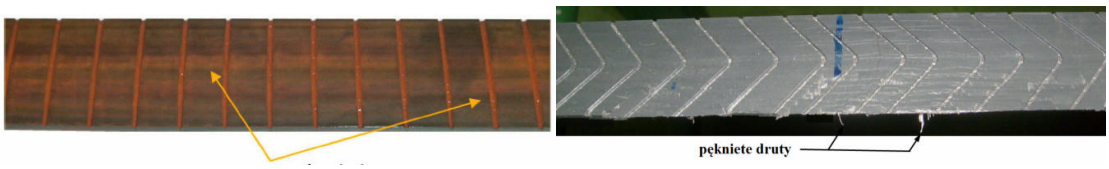
Należy jednak zwrócić uwagę, iż wykorzystując metodę wizualną w przypadku cięgien SDR posiadamy możliwość oceny stanu liny i występujących symptomów uszkodzeń tylko i wyłącznie na jej powierzchni tj. pęknięcia lub wytarcia w zewnętrznej warstwie drutów, korozja powierzchniowa itp. Podobnie dla cięgien stalowo poliuretanowych istnieje możliwość oceny stanu technicznego powierzchni zewnętrznej cięgna (poliuretanu) oraz linek ale jedynie w przypadku ich wyjścia z osnowy (rys 3-5).



Rys. 3. *Deformacja (wybrzuszenie) powłoki i odciski linek wzdłuż cięgna.*



Rys. 4. *Wyjście linek z powłoki i wypolerowana powłoka cięgna.*



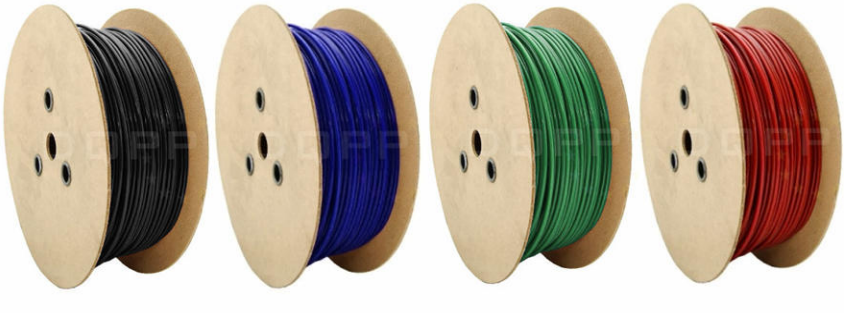
Rys. 5. *Objawy korozyjne i wystające druty.*

W przypadku ww. lin stalowych w osnowie z tworzywa sztucznego występuje jeszcze jeden problem. Zakładając, że pierwotnie lina jest w osnowie bezbarwnej z PCV (rys.6.), po pewnym czasie eksploatacji (zwykle kilku miesięcy - w zależności od intensywności użytkowania), można zaobserwować istotną zmianę koloru osnowy (rys.7). Poprzez to zjawisko skuteczna kontrola wizualna choćby powierzchni liny staje niemożliwa, bądź też jest znacznie utrudniona.

Rys.6. *Fragment nowej liny w otulinie z PCV*

Rys.7. *Fragment użytkowanej przez kilka miesięcy liny w otulinie z PCV*

Należy zauważyć, że producenci tego typu lin w swojej ofercie mają również szereg lin stalowych w barwnych (nieprzezroczystych) otulinach z tworzywa sztucznego (rys.8). Wydaję się wiec zasadne podjęcie problemu diagnostyki tego rodzaju struktur cięgnowych z wykorzystaniem metody magnetycznej badania lin stalowych - MTR, rozwijanej od lat w Katedrze Transportu Linowego Akademii Górniczo – Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

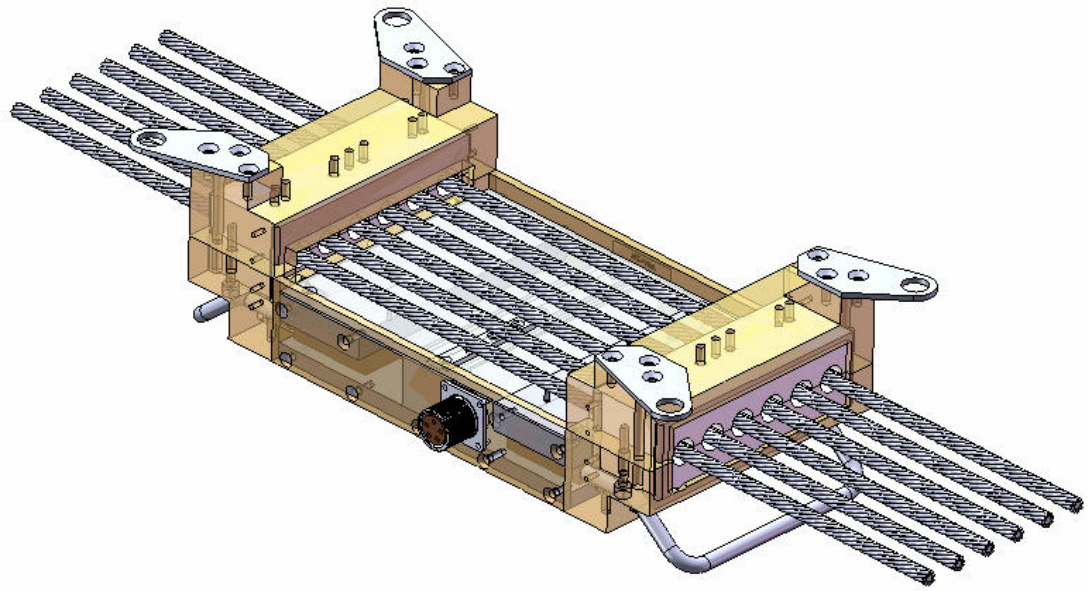


Rys.8. *Liny stalowe w barwnych otulinach z PCV lub PA – 6 [3]*

3 GŁOWICE MAGNETYCZNE DO BADAŃ LIN DŹWIGOWYCH

3.1 Budowa i zasada działania

W głowicy magnetycznej wykorzystana jest zasada miejscowego magnesowania badanej struktury ferromagnetycznej stałym polem magnetycznym oraz detekcja pola rozproszenia. Obwód magnetyczny głowicy składa się ze stalowej płyty stanowiącej zworę magnetyczną, na której symetrycznie osadzono silne magnesy trwałe (NdFeB) odpowiednio spolaryzowane, oraz z nabiegunniki. Każdy z nabiegunników zwiera magnesy spolaryzowane w jednym kierunku [1]. W centralnym miejscu głowicy znajdują się czujniki indukcyjne (cewki pomiarowe) (rys.9-10).

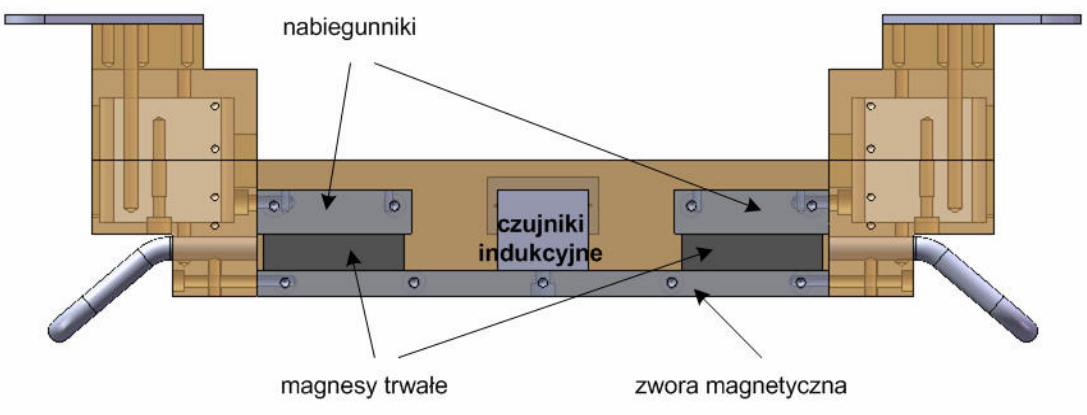


Rys.9. *Model 3D głowicy magnetycznej do badania lin dźwigowych*

Taki układ elementów obwodu magnetycznego przy zapewnieniu odpowiednio wysokiej energii magnetycznej, umożliwia miejscowe namagnesowanie badanej struktury do poziomu powyżej B=1,4 [T], co pozytywnie wpływa na wykrywalność wad [2]. W miejscu występowania uszkodzenia liny, powstaje tzw. pole rozproszenia wychodzące nad badaną strukturę. Linie sił pola magnetycznego ulegają odchyleniu „omijając" szczeliny powietrzne (miejsca ubytku przekroju metalicznego np.: pęknięcia, wytarcia itp.). Fakt ten wpływa na kierunek wektora strumienia rozproszenia nad miejscem uszkodzenia oraz na wartość jego składowej radialnej. Zmiana wartości tego parametru w czasie

wykrywana jest przez czujniki indukcyjne, a następnie przetwarzana na siłę elektromotoryczną indukcji i rejestrowana przez rejestrator (1). Celem przebadania całej długości liny oraz wyidukowania SEM w czujniku zapewnia się wzajemny ruch głowicy i lin (głowica instalowana jest nieruchomo).

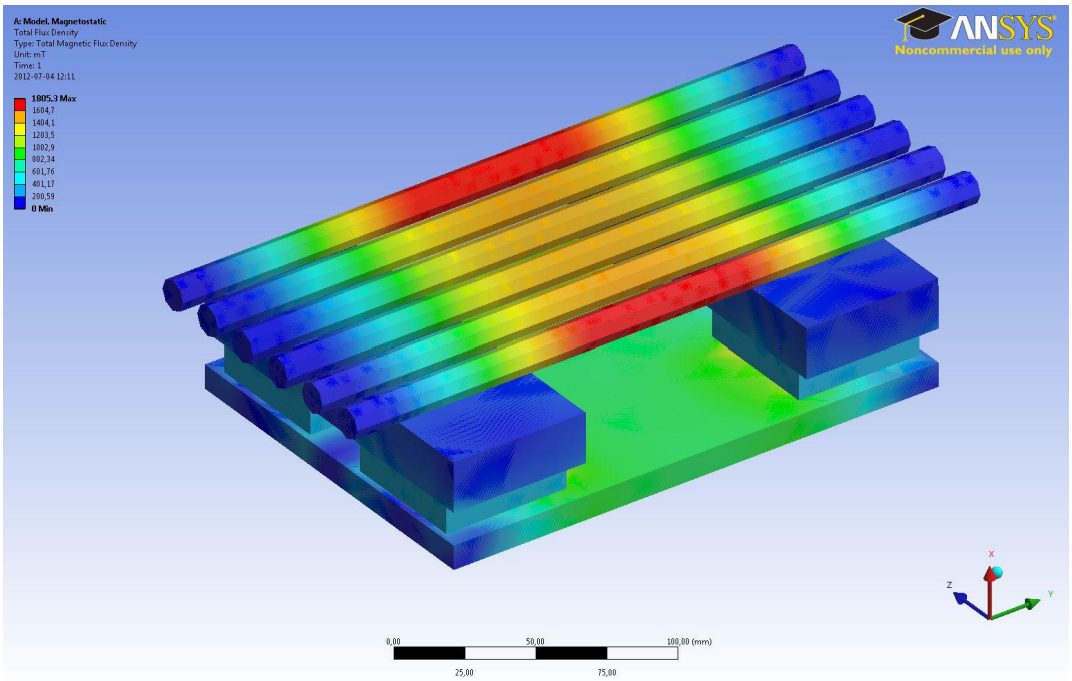
$$SEM = \varepsilon = -\frac{d\phi_R}{dt} \quad (1)$$



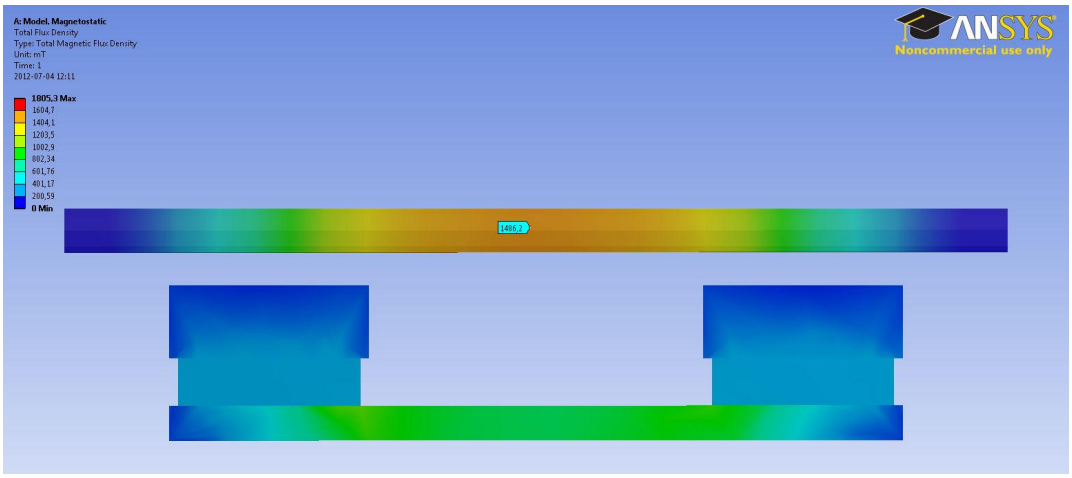
Rys.10. *Elementy składowe obwodu magnetycznego głowicy diagnostycznej*

3.2 Wykorzystanie MES w projektowaniu

Wykorzystując dostępne techniki komputerowego wspomagania prac inżynierskich oraz możliwości jakie daje metoda elementów skończonych w analizie rozkładów pola magnetycznego, przeprowadzono szereg symulacji i analiz numerycznych (rys. 11-13). Celem tych analiz było dobranie odpowiednich parametrów konstrukcyjnych projektowanych urządzeń, m.in.: odpowiednich wymiarów magnesów, będących źródłem pola magnetycznego, tak by uzyskać odpowiednio wysoką wartość indukcji magnetycznej (parametr metrologiczny) w badanych linkach stalowych cięgien SDR i pasów stalowo - poliuretanowych.

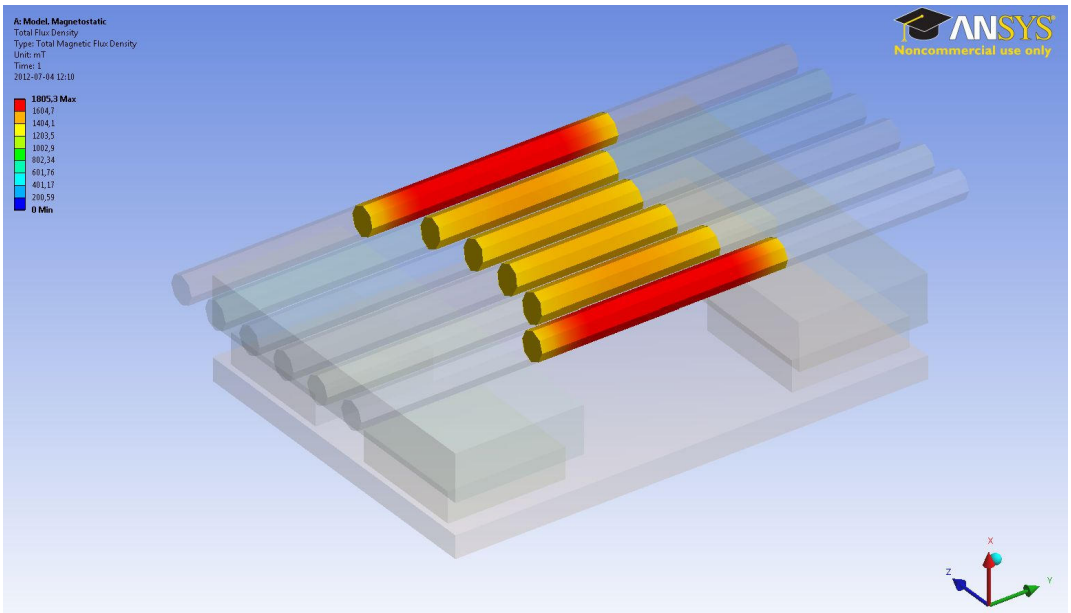


Rys.11. *Rozkład 3D indukcji magnetycznej w elementach magnetowodu głowicy oraz badanych linach.*



Rys.12. *Rozkład 2D indukcji magnetycznej w elementach magnetowodu głowicy oraz badanych linach w płaszczyźnie równoległej do osi OY przechodzącej przez środek głowicy.*

W przedstawianym przykładzie w założeniach projektowych uwzględniono możliwość wykorzystania głowicy do badania maksymalnie 6-ciu lin stalowych o średnicy do 14 [mm], zgodnie z warunkami panującymi na wielu dźwigach osobowych. Przyjęte na podstawie analiz numerycznych parametry konstrukcyjne (geometryczne, materiałowe itp.) zapewniają możliwie równomierne rozprowadzenie strumienia magnetycznego we wszystkich linach oraz wystarczająco dużo energii magnetycznej w obwodzie, by wprowadzić w stan bliski B=1,4-1,8 [T] - 6 lin o ww. parametrach w obszarze pomiędzy nabiegunnikami, przy jednoczesnym zachowaniu kompaktowej budowy oraz możliwie małej masy całego urządzenia, co determinują względy ergonomiczne użytkowania. Rysunek 11 prezentuje trójwymiarowy rozkład pola magnetycznego (indukcji magnetycznej) zarówno w samym obwodzie jak i badanych linach stalowych. Rysunek 12 przedstawia również rozkład indukcji magnetycznej, lecz w płaszczyźnie przekroju przechodzącej przez środek głowicy wzdłuż kierunku ułożenia lin. Na obu rysunkach widzimy, iż cześć lin znajdująca się w strefie między nabiegunnikami ma wartość powyżej 1,4 [T], co jest pożądanie ze względu na wykrywalność potencjalnych uszkodzeń. By uwydatnić fragmenty lin w których indukcja przekracza pożądany próg, na rys. 13 wyfiltrowano te objętości analizowanej numerycznie przestrzeni 3D dla których B≥1,4 [T].

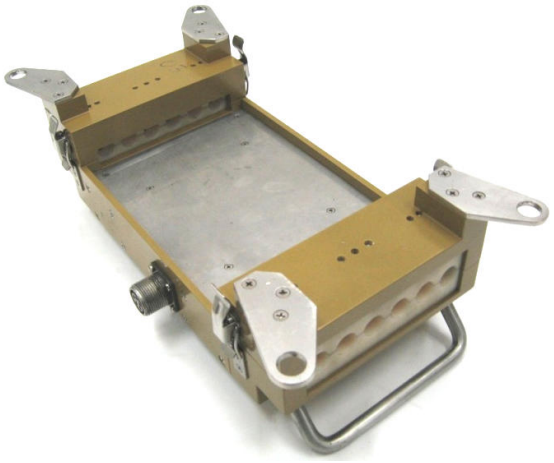


Rys.13. *Wykres 3D izo - objętości wskazujący obszary analizowanej przestrzeni dla których wartość indukcji magnetycznej przekracza 1,4 [T].*

3.3 Prototypy głowic do badań cięgien urządzeń dźwigowych

Celem zweryfikowania rozważań koncepcyjnych co do budowy i zasady działania głowic oraz weryfikacji wyników analiz numerycznych, wykonano fizyczne prototypy głowic (rys.13-14), które wraz z rejestratorami sygnałów tworzą w pełni funkcjonalne systemy diagnostyczne. Pomiary na stanowisku laboratoryjnym oraz na rzeczywistych obiektach potwierdziły słuszność przyjętych założeń konstrukcyjnych. Głowice do badań cięgien w dźwigach osobowych znalazły zastosowanie i potwierdziły swój aplikowalny charakter poprzez wdrożenie w wybranych jednostkach Urzędu Dozoru Technicznego oraz zainteresowanych firm dźwigowych.

Na rysunku 14 przedstawiona została głowica do badań lin stalowych oraz lin SDR. Umożliwia ona badanie do 6 cięgien o średnicy do 14 mm.

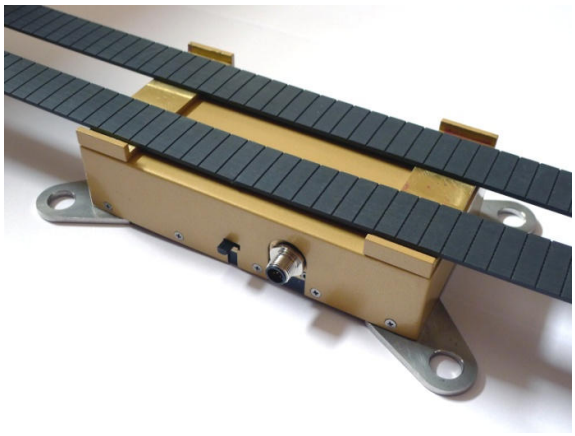


Rys.14. *Prototyp głowicy magnetycznej do badania lin stalowych dźwigów osobowych*

Rysunek 15 przedstawia głowicę GPfb1 wraz z modułem diagnostycznym PDC1. Głowica ta umożliwia badanie pojedynczego cięgna stalowo poliuretanowego o szerokości do 60 mm. Zastosowany moduł diagnostyczny PDC1 wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem pozwala na szybką ocenę stanu zużycia cięgna.

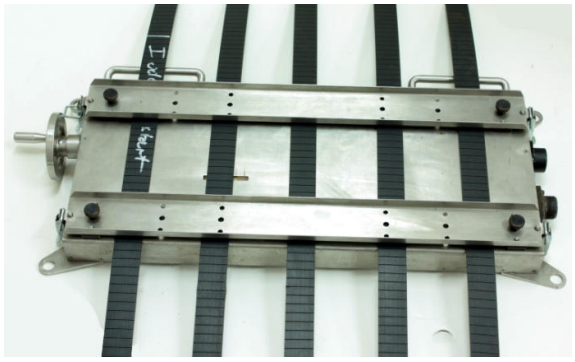
Rys. 15. *Głowica GPfb1 oraz moduł diagnostyki PDC1.*

Rysunek 16 przedstawia głowicę umożliwiającą badanie lin stalowych, lin SDR oraz cięgien stalowo poliuretanowych. Głowica może współpracować zarówno z tradycyjnymi defektografami (np.MD120) jak również z modułem diagnostycznym PDC1. Parametry metrologiczne oraz geometryczne dają możliwość badania różnego rodzaju cięgien stosowanych w dźwigach osobowych w różnej konfiguracji (do 6 linek o średnicy do 14mm, pojedynczego pasa stalowo - poliuretanowego o szerokości do 90 mm lub dwóch pasów o szerokości do 40 mm). Zastosowany układ czujników umożliwia rejestrację sumy sygnałów ze wszystkich czujników pomiarowych głowicy oraz z każdego czujnika osobno.



Rys. 16. *Prototyp głowic do badania lin stalowych, lin SDR oraz cięgien stalowo poliuretanowych.*

Do diagnostyki większej liczby cięgien (powyżej 2) stworzona została głowica GPGen2 (rys.17.) z segmentowym czujnikiem, który ma możliwość równoczesnej regulacji rozstawu pojedynczych czujników w zależności od szerokości i rozstawu badanych cięgien. Głowica daje możliwość równoczesnego badania do pięciu cięgien linowych. W skład układu pomiarowego oprócz głowicy wchodzi rejestrator wielokanałowy który ma możliwość jednoczesnej rejestracji sygnału pochodzącego ze wszystkich czujników głowicy.



Rys. 17. *Prototyp głowic GPGen2.*

LITERATURA

[1] Kwaśniewski J., Badania magnetyczne lin stalowych. Certyfikacja personelu w metodzie MTR, Wydawnictwo AGH, Kraków 2010r.
[2] Kwaśniewski J., Zastosowanie wybranych metod analizy sygnału niestacjonarnego w diagnozowaniu lin i rur stalowych, Studia Rozprawy Monografie Nr 86, Wydawnictwo IGSMiE, PAN, Kraków 2001r.
[3] http://www.dq-pp.pl/ - storna internetowa firmy DQ-PP Sp z o.o.
[4] http://www.omilifts.com/ - strona internetowa firmy OMILIFTS
[5] http://www.linplast.pl/ - strona internetowa firmy LINPLAST
[6] http://www.orona.pt - storna internetowa firmy ORONA
[7] Materiały reklamowe firmy „Otis”
[8] Materiały reklamowe firmy ContiTech