

Ćwiczenie nr 1

BADANIA TENSOMETRYCZNE BELKI NOŚNEJ ORAZ TOROWISKA JEZDNEGO JEDNODŹWIGAROWEJ SUWNICY PODWIESZONEJ TYPU KBK

Cel i zakres doświadczenia

- Przybliżenie wybranych zagadnień teoretycznej i doświadczalnej analizy dźwigarów nośnych suwnic podwieszonych typu KBK oraz torowisk jezdnych przystosowanych do eksploatacji w/w suwnic.
- Zapoznanie z metodyką pomiarów doświadczalnych – ogólny opis stanowiska badawczego oraz systemu pomiarowego i akwizycji danych.
- Praktyczne poznanie procedury pomiaru naprężeń w wybranych strefach dźwigara suwnicy oraz w wybranych elementach ustroju nośnego torowiska.

1. Wprowadzenie – wybrane zagadnienia teoretycznej i doświadczalnej analizy pracy dźwigara nośnego suwnicy podwieszanej typu KBK oraz torowisk jezdnych przystosowanych do eksploatacji w/w suwnic

Znamiennością systemu KBK jest wdrożone rozwiązanie techniczne, w którym na dźwigary ustroju nośnego suwnicy, jak również belki torowiska jezdnego znajdują zastosowanie tego samego typu profile konstrukcyjne, które wytwarzane są wielkoseryjnie jako elementy zunifikowane (modułowe).

Na ogół dźwigary nośne typowych konstrukcji suwnic lekkich (o udźwigach nie przekraczających 3,2kN) wykonywane jako profile otwarte (np. kratownice lub blachownice spawane, profile dwuteowe hutnicze, itp.). Pracują one w warunkach obciążenia stałego i zmiennego, których skutkiem jest między innymi zmienny moment zginający wzdłuż ich osi głównych. Obciążenia stałe stanowią siły statyczne od masy własnej elementów składowych suwnicy, obciążenia ruchowego są związane z działaniem sił udźwigu i sił dynamicznych podnoszenia, ruchów torowych, bezwładności, obciążeń wiatrem, itp.).

Z elementarnej teorii analizy wytrzymałości w/w konstrukcji belek [1 wynika, że prawie cały moment zginający (naprężenia zginające od obciążeń zmiennych stanowią dominującą wartość naprężeń dźwigarów nośnych suwnic) jest przenoszony przez przekroje/strefy pasów dolnych i górnych, które pracują na ściskanie lub rozciąganie. Ponadto należy zauważyć, że w elementach tych profili, które stanowią równocześnie

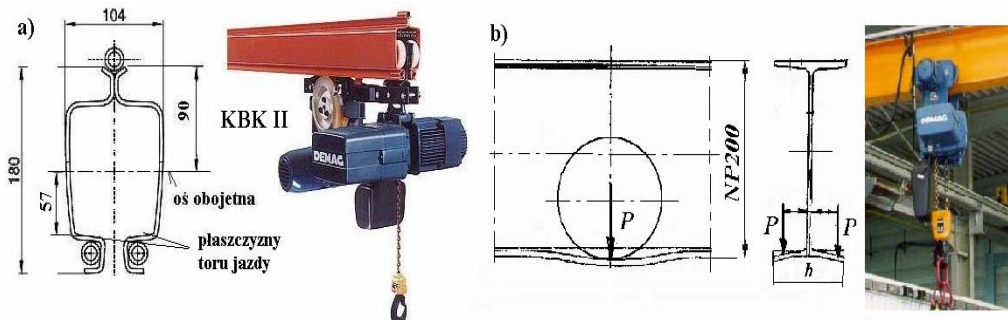
pasy jezdne dla kół elektrowciągnika lub mostu suwnicy, generowane są naprężenia lokalne od nacisku bieżni w/w kół.

Analityczne wyznaczenie stanu naprężeń w elementach dźwigara metodami inżynierskimi, zwłaszcza w strefach przekroju stanowiących tor jezdny, jest zagadnieniem złożonym, bowiem należy uwzględniać jednocześnie występowanie naprężeń normalnych dwuosiowych, naprężeń stycznych oraz wynikających z docisku od powierzchni koła. Należy podkreślić, że współczesne metody wspomaganie komputerowego MES znacznie ułatwiają realizację procedur obliczeniowych, pod warunkiem, że znane są wymagane dane do parametryzacji zbudowanych modeli.

Wobec powyższego, jak najbardziej zasadnym jest prowadzenie badań doświadczalnych konstrukcji suwnic typu KBK, dla uzyskania informacji koniecznych do parametryzacji modeli analitycznych, a ponadto do weryfikacji wyników obliczeń analitycznych.

Jedną z istotnych przesłanek na etapie projektowania i optymalizacji kształtu profili nośnych dla systemu KBK, było kryterium minimalizacji wpływu naprężeń lokalnych w punkcie styku kół i elementów stanowiących pasy torowiska jezdnego. Wobec powyższego, przekrój poprzeczny profili typu KBK (Demag), UKA (Konecranes), HB (ABUS), został zaprojektowany jako stalowa konstrukcja spawana z dwóch kształtowników blachownicowych, w którym uzyskano przesunięcie płaszczyzny pasów stanowiących tory jezdne w kierunku osi obojętnej profilu. Dzięki wprowadzonym w/w kształtom na profile poprzeczne dźwigarów, możliwym było uzyskanie korzystnego współczynnika ich nośności, np. dla dźwigara KBK w odniesieniu do jego masy własnej uzyskano poprawę nośności o około 115%÷117%, w porównaniu do standardowych profili wykonywanych jako otwarte np. dwuteowe o identycznych dopuszczalnych parametrach eksploatacyjnych - rys.1.1.

W świetle powyższego, interesującym zagadnieniem inżynierskim, jest znajomość rozkładu naprężeń w środkowym przekroju nośnym dźwigara KBK w funkcji jego obciążenia zmiennego (ruchowego), zwłaszcza podczas przejazdu elektrowciągnika kojarzonego z ruchem podnoszenia/opuszczania.

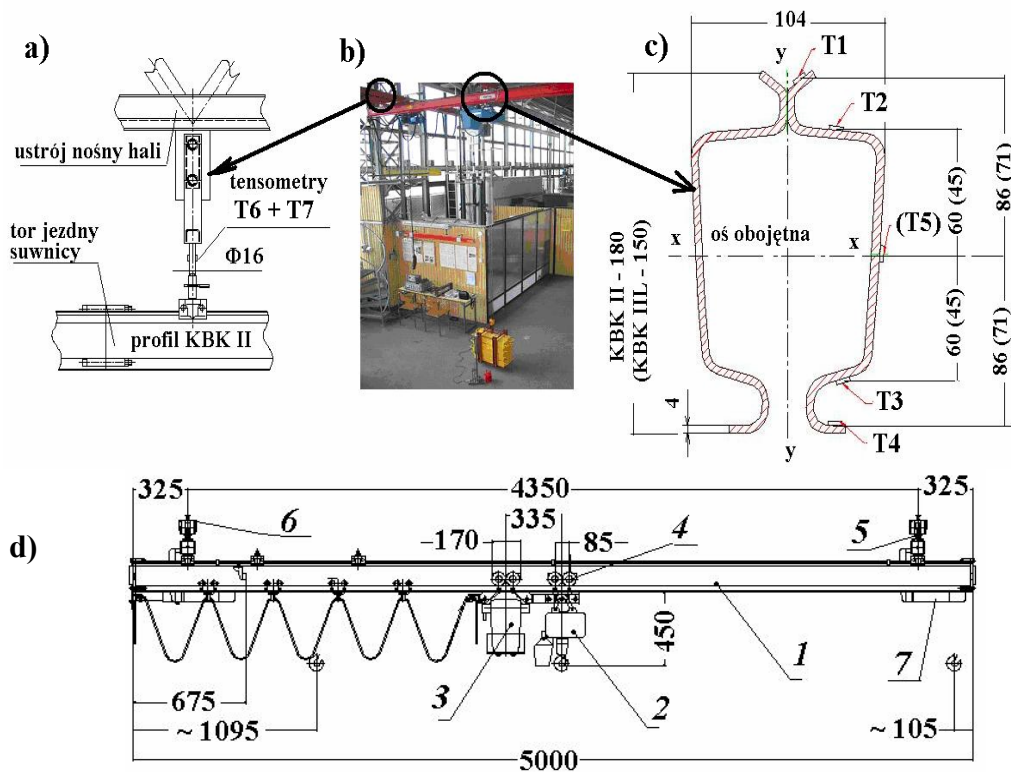


Rys. 1.1 Przykładowe rozwiązania konstrukcji belek nośnych suwnic jednodźwigarowych lekkich o udźwigach do 3,2[t], gdzie: a) profil typu KBK II, $m_{w-KBK}=17[\text{kg/m}]$, b) profil dźwigara otwarty dwuteowy NP200, $m_{w-NP200}=26,3[\text{kg/m}]$

Pomiar stanu naprężeń w charakterystycznych strefach profilu nośnego w jego środkowym przekroju (w osi suwnicy), najdogodniej można zrealizować w sposób pośredni, wykorzystując metodę tensometryczną (np. mierząc odkształcenia przy pomocy tensometrów foliowych).

2. Metodyka pomiarów doświadczalnych – opis stanowiska badawczego oraz systemu pomiarowego i akwizycji danych

Stanowisko (rys 1.2) umożliwia poznanie zasad konstruowania współczesnych systemów transportu podwieszanego, w tym realizacji pomiarów stanu naprężeń w wybranych strefach ustroju nośnego suwnicy i torowiska.



Rys. 1.2 Stanowisko badawcze systemu KBK; a) schemat instalacji tensometrów w elementach zawieszonych torowiska, b) widok ogólny stanowiska, c) schemat rozmieszczenia tensometrów w wybranych strefach profilu KBK II w jego przekroju środkowym, d) podstawowe wymiary geometryczne dźwigara suwnicy; 1 – profil KBK II, 2 – elektrowciągnik DKUN250, 3- napęd jazdy DRF200, 4-, 5- zestawy kołowe jezdne, 6- profil nośny torowiska KBK IIL, 7- napęd jazdy mostu suwnicy

Ponadto na stanowisku możliwym jest przeprowadzenie szeregu prób funkcjonalnych i ruchowych dla poszczególnych mechanizmów suwnicy w funkcji zmienności wybranych parametrów eksploatacyjnych, a w tym: wyznaczenie wskaźników eksploatacyjnych (GNP) przy sterowaniu bezpośrednim oraz zdalnym, pomiar stanu naprężeń w dźwigarze elektrowciągnika i dźwigarach torowiska jezdnego, a także w elementach ustroju nośnego przy różnych kombinacjach obciążeń, wyznaczenie współczynnika dynamicznego podnoszenia przy podrywaniu ładunku podwieszanego na cięgnach sztywnych (trawersa stalowa) oraz podatnych (zawiesia z włókien poliestrowych), pomiar drgań dźwigara nośnego suwnicy dla różnych cykli równoczesnej pracy mechanizmami podnoszenia i jazdy wciągnika (ćwiczenie nr 5) oraz pomiar strzałki ugięcia dźwigara (ćwiczenie nr 4).

- Charakterystyka techniczna systemu KBK (rys.1.2)

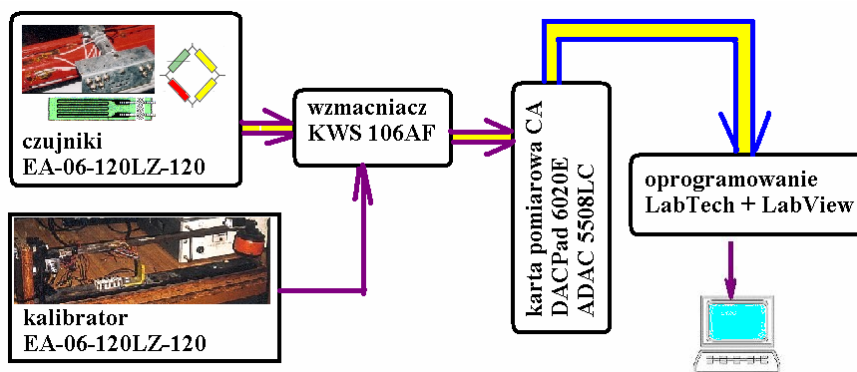
Udźwig: $Q = 250$ kg w GNP A3, obszary pracy: eksploatacyjna długość toru jezdnego min. 18,5 [m], rozpiętość $L = 4,35$ [m], wysokość podnoszenia $H=3$ [m], prędkość podnoszenia dla systemu: podstawowa/dostawcza $V_p = 8/2$ [m/min], prędkość jazdy wózka 20/5[m/min], prędkość jazdy suwnicy 20/5[m/min]; sterowanie mechanizmami roboczymi z kasety z poziomu roboczego hali lub zdalnie z pilota radiowego, wciągnik łańcuchowy: typu DEMAG DKUN 2-250 z zespołem wózka jezdnego (36kg), napędy jazdy DRF200 (25kg), dźwigar nośny suwnicy profil typu: KBK-II (St37, 17kg/m, $W_x=71,30\text{cm}^3$, $W_y=54,04\text{cm}^3$), całkowita długość dźwigara 5[m], ustawienie osi dźwigara względem elementów podwieszenia symetryczne, torowisko jedne – profile typu KBK-III (St37, 13,2kg/m, $W_x=38,4\text{cm}^3$, $W_y=29,10\text{cm}^3$), sterowanie radiowe HETRONIC.

- Przybliżenie metody pomiarów tensometrycznych oraz specyfikacja sprzętu i aparatury pomiarowej

System akwizycji danych: DACPad-6020E, LabView (National Instruments), czujniki pomiarowe: tensometry foliowe typu EA-06-120LZ-120 (Micro-Measurements Group Carolina), akcelerometry zintegrowane AD1-105, filtry dolnoprzepustowe FAD-1. W procesie pomiaru wykorzystywana jest technika DSP (karta DAQPad-6020E lub ADAC 5508LC 10V), w tym komputerowe systemy akwizycji danych programowane w środowisku LabView (National Instruments) oraz LabTech (zalecana częstotliwość próbkowania i zapisu danych pomiarowych 100Hz/kanal).

Jak wspomniano powyżej, w metodzie tensometrycznej, wartość naprężeń wyznacza się z charakterystyki tensometrów, po ich uprzedniej odpowiedniej kalibracji. Związek między naprężeniem a odkształceniem, w elemencie badanej konstrukcji dźwigara typu KBK, jest każdorazowo indywidualnie ustalany doświadczalnie (zgodnie z prawem Hooke'a, ustalana jest relacja $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$). Równocześnie z odkształceniami konstrukcji w badanych strefach, ulegają odkształceniom elementy przyklejonego czujnika. Odkształcenie przewodnika pomiarowego (wydłużenie lub skrócenie) powoduje zmianę jego oporności w pewnych granicach wartości odkształceń i zmiana oporności przewodnika jest wówczas proporcjonalna. Między opornością R , jej zmianą ΔR oraz jednostkowym odkształceniem ε cienkiego przewodnika zachodzi związek: $\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$. W metodzie pomiarów tensometrycznych na dźwigarach nośnych suwnic, folie czujników instalowane/przyklejane są do wybranych stref w taki sposób, aby kierunek wzdłuż ścieżek przewodzących odpowiadał kierunkowi, w którym mają być wyznaczone wydłużenia lub obciążenia. Do ewentualnego jednoczesnego pomiaru w kilku kierunkach, służą specjalne tensometry foliowe, w których siatki pomiarowe są usytuowane względem siebie, np. co 120° lub pod kątem 45° do kierunku wydłużania. Tensometry foliowe wykonuje się najczęściej z konstantanu (60%Cu, 40% Ni) lub stopu chromoniklowego (80%Cr, 20%Ni). Typowe oporności znamionowe tensometrów foliowych to 120Ω , 350Ω i 600Ω . Zmiany oporności przy wydłużaniu podawane są w postaci współczynnika czułości odkształceniowej tensometru k (stała tensometru). Dla konstantanu i chromoniklu współczynnik tensoczulości wynosi 2, dla krzemu około 150. Zmiany oporności wyznaczane są za pomocą układu mostkowego Wheatstonea. Układy wykonywane są jako mostek pełny – z czterema tensometrami, półmostek – z dwoma tensometrami i ćwierćmostek – z jednym aktywnym tensometrem. Układ ćwierćmostka zawiera tylko jeden aktywny tensometr, który poddawany jest mierzonemu wydłużeniu głównemu. Układ półmostka jest powszechnie stosowany przy badaniach stanu naprężeń w elementach ustrojów nośnych kratowych lub blachownicowych, ale wyłącznie w przypadkach, gdy znany jest kierunek występujących odkształceń (wektora naprężeń). W przypadku badań prowadzonych w ustrojach nośnych dźwigarów KBK, obciążanych siłami zmiennymi od przemieszczającego się elektrowciągnika, można przyjąć, że kierunki odkształceń (naprężeń głównych) są znane. Aby układ mostkowy nie uległ rozstrojeniu w wyniku zmian temperatury, w drugą gałąź mostka włączony jest tensometr, który nie jest poddawany wydłużeniu. Służy on jedynie do kompensacji temperatury (podczas zmian temperatury badanego obiektu aktywny tensometr zmienia oporność nie wskutek wydłużenia, lecz w wyniku zmiany temperatury, ale w tym samym stopniu zmienia się także opór

tensometru kompensacyjnego, więc przy założeniu, iż zastosowane czujniki tensometryczne są tego samego typu oraz podobnej klasy, zapewnia to eliminację wpływu temperatury na ostateczny wynik pomiarów). Przykładowy schemat konfiguracji układu diagnostycznego, z kalibratorem linii pomiarowych i systemem akwizycji danych pokazano na rys. 1.3 (charakterystyka zastosowanych przyrządów podana powyżej przy opisie ogólnym stanowiska badawczego).



Rys. 1.3 Schemat konfiguracji układu pomiarowego

- Procedura kalibracji linii pomiarowych z użyciem tensometrów foliowych typu EA-06-120LZ-120 oraz układu wzmacniającego KWS 106Af (opis czynności do wykonania)
 - Umieścić belkę wspornikową kalibratora z naklejonym czujnikiem tensometrycznym w pobliżu badanego ustroju nośnego suwnicy, celem zapewnienia wyrównanego poziomu temperatur w obu urządzeniach.
 - Zapewnić nastawy wzmocnień sygnałowych dla wszystkich torów pomiarowych (w tym w szczególności wartości wzmocnień sygnałów analogowych na wzmacniaczu KWS) na identycznym poziomie.
 - Wyznaczyć funkcję przejścia pomiędzy wartościami naprężeń, a wskazaniami zmian wartości napięcia rejestrowanego w układzie pomiarowym. Procedurę jej wyznaczenia, należy dokonać dla co najmniej 5 charakterystycznych stanów obciążeń belki wspornikowej kalibratora, to znaczy dla obciążenia $m_p = 0\text{kg}, 0,5\text{kg}, 1,0\text{kg}, 1,5\text{kg}$ oraz $2,0\text{kg}$. Obciążniki o zadanej masie należy podwieszać na końcu belki wspornikowej kalibratora w odległości $l_k = 240[\text{mm}]$ od środka tensometru foliowego. Wymiary belki wspornikowej wynoszą $b=19,7\text{mm}$, $h=9,4\text{mm}$. Wyskalować układ w taki sposób, aby dla pomiaru z obciążeniem 0kg , wskazania sygnału

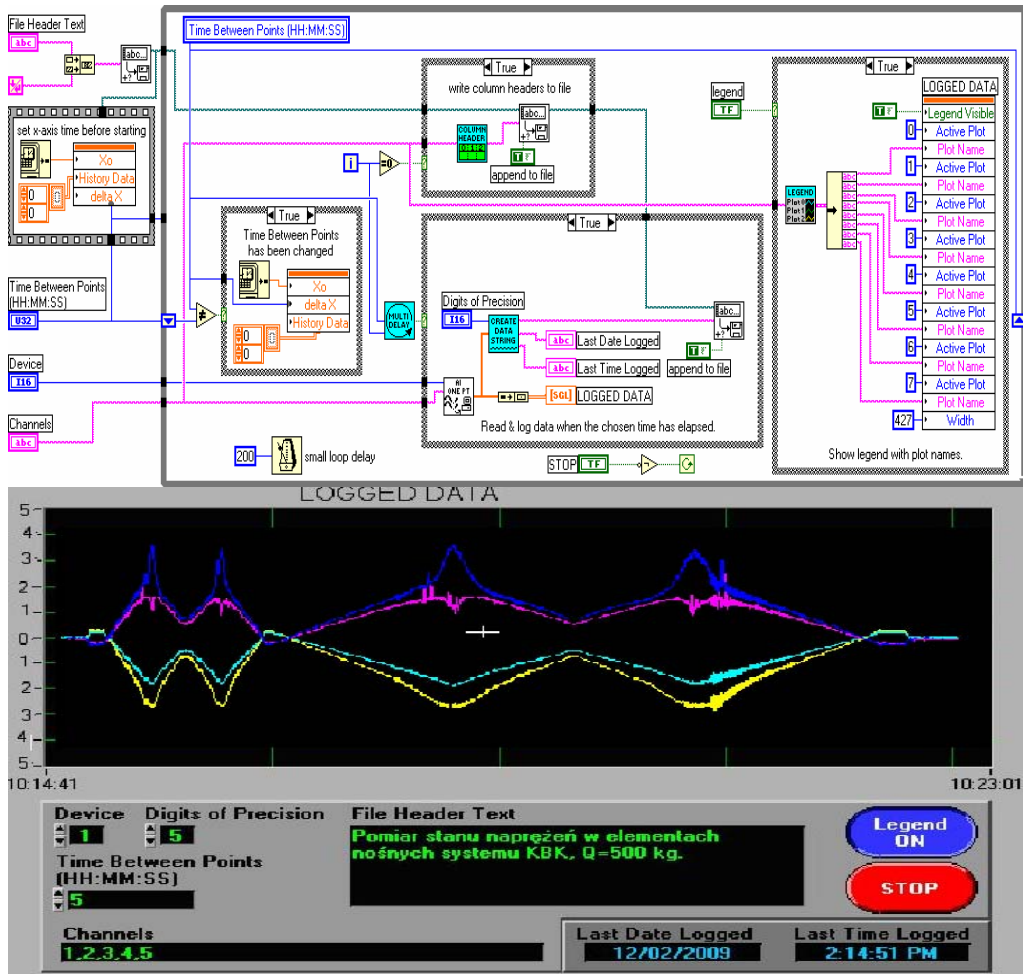
napięciowego były w miarę możliwości ustalone także jako wartość 0[V] (w metodzie pomiarów tensometrycznych badane są zmiany odkształcenia/ naprężenia wyłącznie w zależności od zmiany obciążeń użytkowych, nie są mierzone stany naprężenia wynikające z masy własnej ustroju).

- Zapoznać się z podaną przez producenta charakterystyką techniczną czujników tensometrycznych foliowych typu EA-06-120LZ (rezystancja $120,0 \pm 0,3\%$ dla 24°C , współczynnik tensoczułości $k=2,060 \pm 0,5\%$ dla 24°C).
- Funkcję przejścia wyznaczyć poprzez określenie wartości momentu zginającego w strefie instalacji czujnika tensometrycznego na belce kalibratora wg: $M_g = m_p \cdot g \cdot l_k$, obliczyć wskaźnik wytrzymałości przekroju belki wg: $W_x = \frac{b \cdot h^3}{6}$, obliczyć wartość naprężenia wg: $\sigma_g = \frac{M_g}{W_x}$, wykreślić

przebieg charakterystyki zmian wartości naprężeń w funkcji wskazań napięciowych sygnału.

- Sprawdzić przebieg i dokonać aproksymacji otrzymanej charakterystyki funkcją liniową (pod warunkiem, że wartość odchylenia średniokwadratowego funkcji liniowej od wartości pomiarowych jest akceptowalna), a następnie określić współczynnik/funkcji przejścia jako stosunek wartości obliczonego naprężenia do wartości sygnału pomiarowego.
- Wprowadzić zgodnie z podanymi w specyfikacji technicznej stanowiska, wartości nastaw dla linii pomiarowych z czujnikami EA-06-120LZ-120 oraz wzmacniaczem KWS na następujące: układ- półmostek, $U_z=5[\text{V}]$; wzmacnienie: 0,2; kal 1,89 [V].
- Sprawdzić poprawności wskazań z pozostałych czujników zainstalowanych w systemie KBK, przy czym procedura tzw. „zerowania” aparatury winna być zrealizowana dla stanu nieodciążonego belki dźwigara nośnego suwnicy, który jest zapewniony przez odpowiednie ustawienie położenia elektrowciągnika oraz zespołu napędu jazdy w strefie podwieszenia pod torem jezdni (poprzez wzajemne zrównoważenie momentów zginających badaną belkę od masy elektrowciągnika DKUN-250 i masy napędu jazdy DRF200).

Do systemu akwizycji danych pomiarowych można użyć standardowych aplikacji w środowisku LabView lub Labtech (rys. 1.4). Zapis wyników z eksperymentu badawczego winien być dokonany jako wskazania napięciowe, które wymagają odpowiedniego formatowania, ewentualnego zastosowania filtracji i usunięcia zakłóceń sygnałowych.



Rys. 1.4 Diagram i panel aplikacji programowej LabView układu akwizycji danych

3. Pomiar naprężeń w wybranych strefach dźwigara nośnego suwnicy oraz w wybranych elementach ustroju nośnego torowiska

- opis toku postępowania podczas identyfikacji stanu naprężeń dla wybranych stref dźwigara nośnego suwnicy KBK oraz interpretacja uzyskanych wyników

Program badań doświadczalnych w zakresie identyfikacji stanu naprężeń dla wybranych stref dźwigara nośnego suwnicy KBK, winien obejmować odpowiednie wcześniejsze przygotowanie obiektu badań oraz systemu pomiarowego, wraz z kalibracją zastosowanej aparatury, zgodnie z wytycznymi opisanymi w pkt. 2, a ponadto

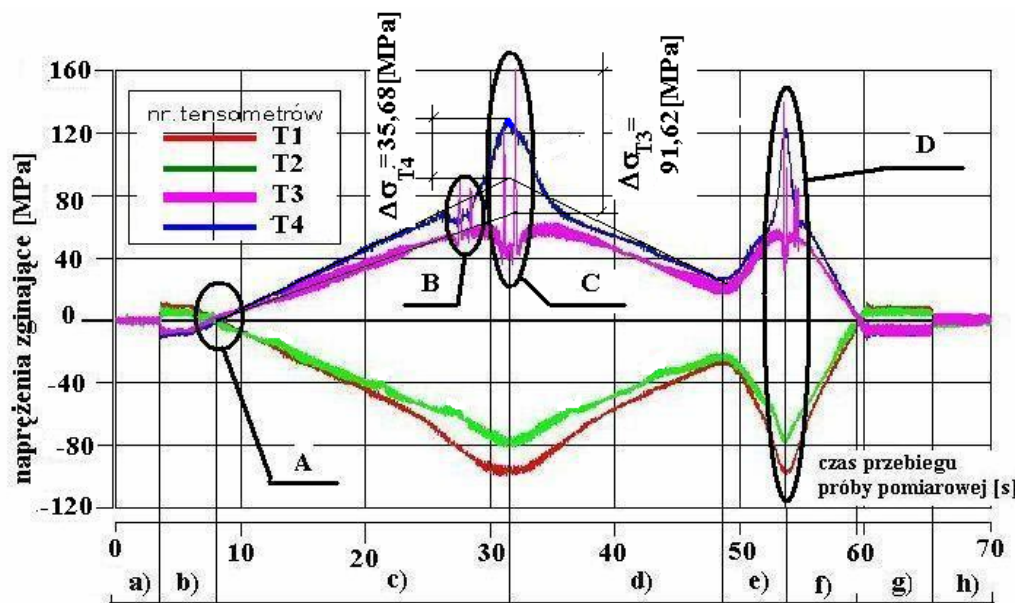
wykonanie, co najmniej po 6 cykli pomiarowych, dla każdej konfiguracji wynikającej z warunków prowadzonego eksperymentu.

W szczególności ćwiczenie winno zapewniać realizację pomiarów dla następujących przypadków eksploatacyjnych:

- przejazdu elektrowciągnika z podwieszonym ładunkiem wzdłuż dźwigara nośnego suwnicy w obu kierunkach z prędkością podstawową oraz mikroprędkością, bez kojarzenia innych ruchów roboczych,
- przejazd elektrowciągnika j.w., ale z kojarzeniem z ruchem podnoszenia lub opuszczania.

(uwaga: masa podwieszanego ładunku na haku elektrowciągnika zróżnicowana dla każdego z zespołów ćwiczeniowych, masa trawersy – 25kg, masa obciążników 75kg/szt).

Przykładowy przebieg zmian naprężeń dla próby badawczej zrealizowanej z obciążeniem $\approx 125\%$ DOR, czyli $Q=625\text{kg}$ (masa trawersy + 8 obciążników) i dla dwóch przejazdów wykonanych z prędkościami nominalną i tzw. zwolnioną, pokazano na rys. 1.5. Prezentowane przebiegi stanowią wynik po obróbce cyfrowej bezpośrednich danych pomiarowych rejestrowanych jako przebiegi napięciowe. Zakres wykonanych czynności tzw. „formatowania” charakterystyk polegał wyłącznie na wprowadzeniu funkcji przejścia z wartości napięciowych na wartości naprężeń.

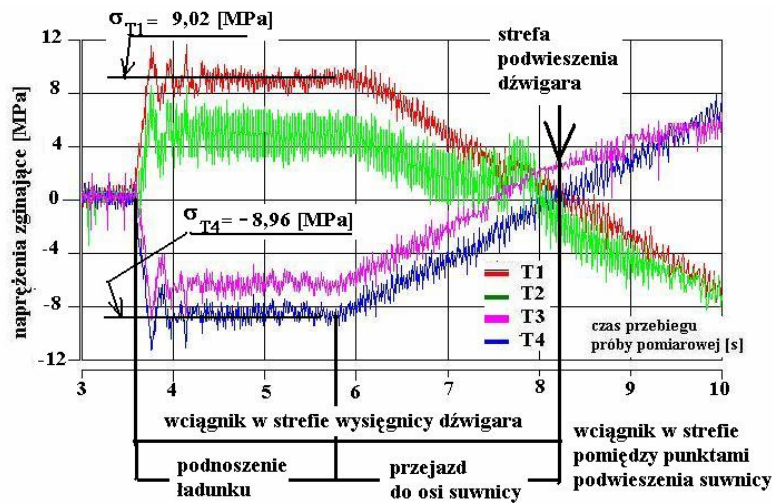


Rys. 1.5 Przykładowe wyniki pomiarów, dla prób z obciążeniem użytkowym $Q=625\text{kg}$;
A- faza przejazdu wózka wciągnika DKUN w miejscu podwieszenia dźwigara,
B- faza przejazdu kół jednych napędu DRF przez strefę środkową dźwigara, C- faza przejazdu kół jednych wciągnika DKUN przez strefę środkową dźwigara

Na podstawie dokonanej kalibracji torów pomiarowych na etapie przygotowania badań, wykazano, że w zakresie mierzonych wartości, przebiegi zmian naprężeń pozostają w zależności liniowej w stosunku do odpowiednich wartości zmian napięcia. Wobec powyższego funkcją przejścia jest stała wartość i wynosi ona dla przyjętych nastaw aparatury pomiarowej $1[V] = 28,14 [MPa]$. Przebiegi zmian napięcia, rejestrowane w czasie pomiarów nie są przytaczane w niniejszym opisie, z uwagi na to, że są co do charakteru identyczne z zamieszczonymi przebiegami naprężeń i różnią się wyłącznie skalą.

W podanych oznaczeniach na rys. 1.5 użyto ponadto: a)– faza próby od początku rejestracji do momentu uruchomienia elektrowciągnika i wykonania ruchu podnoszenia ładunku zawieszono na haku, b)– faza przejazdu elektrowciągnikiem z prędkością zwolnioną od skrajnego położenia na dźwigarze do punktu podwieszenia belki pod torowiskiem, c)- faza przejazdu elektrowciągnikiem od punktu podwieszenia belki pod torowiskiem do osi suwnicy, d)- faza przejazdu elektrowciągnikiem od osi suwnicy do skrajnego punktu dźwigara, e) + f) + g) + h)- fazy powrotnego przejazdu elektrowciągnikiem wzdłuż dźwigara z prędkością nominalną.

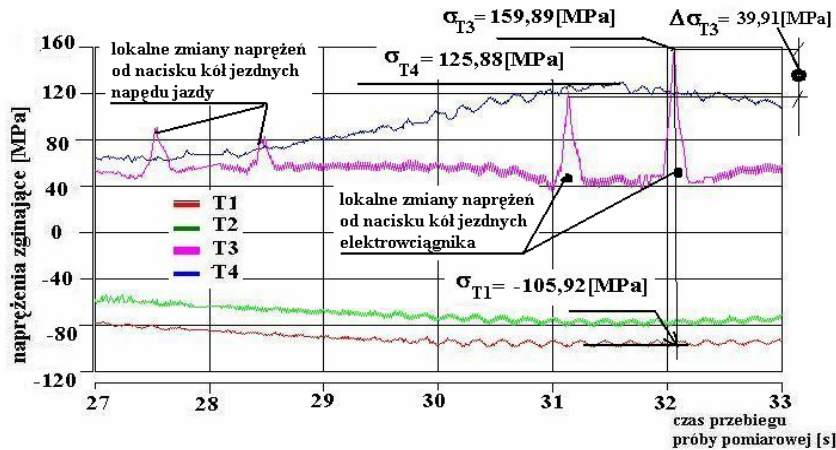
W czynnościach prowadzonej analizy uzyskanych wyników z badań oraz dalszej obróbki cyfrowej i statystycznej danych, szczególną uwagę należy objąć charakterystyczne punkty zarejestrowanych przebiegów – A (rys. 1.6), B + C (rys. 1.7) oraz D (rys. 1.8).



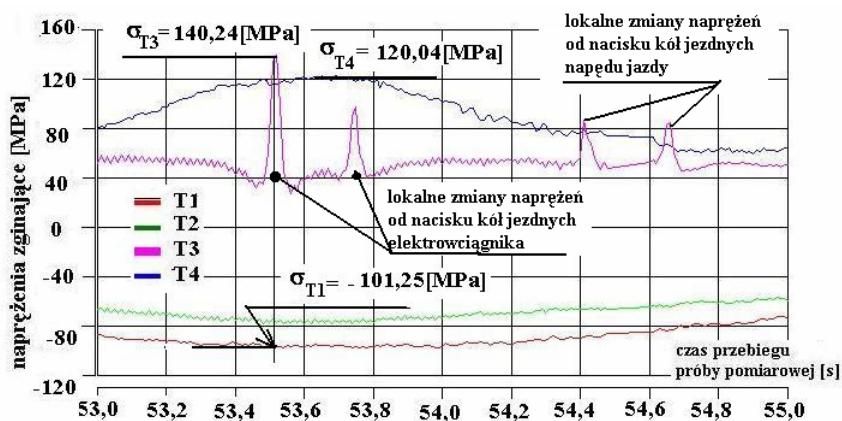
Rys. 1.6 Przykładowe przebiegi zmian naprężeń w dźwigarze dla fazy A wg. rys. 1.5

Z analizy przebiegów przedstawionych na rys. 1.5, wynika, że w punkcie styku kół jezdnych wózka napędu jazdy oraz elektrowciągnika, rejestrowany jest znaczny wzrost naprężeń. Przykładowo dla prezentowanego eksperymentu, różnica naprężeń w strefie instalacji czujnika T4 w odniesieniu do oczekiwanych wartości

naprężeń, których poziom został oszacowany obliczeniowo bez uwzględniania nacisków od kół, wynosi ok. 35,68[MPa], co stanowi wzrost o ok. 40%. Istotnym wzrostem naprężeń są gwałtownie zmieniające swoją wartość naprężenia rejestrowane w strefie instalacji tensometru T3. Mianowicie, maksymalna wartość w/w chwilowych naprężeń wynosi 159,89[MPa], przy czym przyrost definiowany jak dla przypadku omawianego powyżej w strefie czujnika T4, wynosi 91,62[MPa].



Rys. 1.7 Przykładowe przebiegi zmian naprężeń w dźwigarze dla faz B + C wg. rys. 1.5



Rys. 1.8 Przykładowe przebiegi zmian naprężeń w dźwigarze dla fazy D wg. rys. 1.5

Ponadto, z analizy kolejnych rys. 1.7 oraz 1.8 wynika, że pojawiają się widoczne znaczne różnice w stanach naprężeń rejestrowanych w strefie tensometru T3, a pochodzące od nacisku kół jezdnych wózka elektrowciągnika. Różnica $\Delta\sigma_{T3} \approx 39,91 \text{ [MPa]}$ (rys. 1.7), co oznacza, iż obciążenie od masy transportowanego ładunku i od masy wciągnika nie rozkłada się równomiernie na koła jedne wózków.

Na uwagę i odrębną analizę zasługuje stwierdzona charakterystyczna różnica pomiędzy naprężeniami rejestrowanymi w strefie tensometru T3 (płaszczyzna stanowiąca tor jezdny), a pochodząca od nacisku przejeżdżających kół wózka elektrowciągnika dla realizowanej jazdy z różnymi prędkościami (nominalna i zwolniona). Wyjaśnienie powyższego efektu należy tłumaczyć zróżnicowanymi ułożeniami wózków jezdnych, a więc także kół, wewnątrz profilu KBK-II, podczas przejazdu z różnymi prędkościami.

Zaprezentowane w niniejszym opracowaniu przebiegi zmian naprężeń na rys 1.5÷1.8, stanowią wybrane charakterystyki, których wartości odpowiadają wartościom uśrednionym z wykonanych kilkunastu pomiarów, dla eksperymentu realizowanego z identycznymi nastawami, obciążeniem oraz czynnościami ruchowymi suwnicy.

- identyfikacja stanu naprężeń dla wybranych elementów ustroju nośnego torowiska w systemie KBK

W zakresie pomiarów stanu naprężeń elementów konstrukcyjnych torowiska jezdnego, metodyka prowadzenia tych czynności jest analogiczna do opisanej powyżej dla dźwigara suwnicy, stąd nie jest przytaczana.

Należy jednakże podkreślić, że konstrukcja ustroju nośnego suwnicy jednodźwigarowej, która jest zainstalowana na stanowisku pomiarowym w laboratorium, jest wyposażona w czołownice (rys. 1.9) i wobec powyższego podczas prób ruchowych, generowane są siły boczne torowe od kół jezdnych zainstalowanych w czołownicy. Z tego powodu, do identyfikacji stanu naprężeń w elementach torowiska, koniecznym jest wprowadzenie dodatkowych czujników tensometryczny T5 w osi x-x (rys. 1.2c).



Rys. 1.9 Rozwiązanie konstrukcyjne czołownicy suwnicy, gdzie: 1- belka nośna czołownicy, 2- zespół jezdny, 3- profil nośny torowiska KBK-III, 4- profil nośny dźwigara suwnicy KBK-II, 5- łącznik, 6- ramie usztywniające, 7- wyjścia sygnałowe z czujników tensometrycznych, 8- zasilania suwnicy typu DCL

Elementy belek czołownic (1), są podwieszane za pośrednictwem standardowych zespołów wózków jezdnych (2) na torowisku wykonanym z profili KBK-IIL (3), a ponadto do połączenia z dźwigarem głównym suwnicy (4), zastosowano elementy usztywniające (5). Przyjęty sposób sztywnego połączenia dźwigara z czołownicami generuje siły boczne torowe [6].

Czujniki tensometryczne foliowe typu EA-06-120LZ-120, zainstalowane zostały w wybranym przekroju w środku przęsła pomiędzy wieszakami torowiska (układ półmostka Wheatstone'a), a ponadto na sąsiednich ciągnach wieszaków torowiska (układ pełnego mostka Wheatstone'a). Przyjęty sposób instalacji czujników, pozwala na pomiar odkształceń/naprężeń w charakterystycznych strefach elementów nośnych torowiska podczas pracy suwnicy przy różnych warunkach eksploatacyjnych. W szczególności interesującym eksperymentem, jest próba, w której symulowane są warunki eksploatacji suwnicy w pozycji z tzw. „skoszeniem”, przejazdu z różnymi prędkościami, zmiany stanu obciążeń kół jezdnych wózków czołownicy, wynikających z pozycji ustawienia elektrowciągnika na dźwigarze, itp..

4. Opracowanie wyników pomiarów - zadania do wykonania przez studentów

- a) współdziałal w konfiguracji stanowiska, nastawach wybranych parametrów eksploatacyjnych, oraz zestawieniu aparatury pomiarowej oraz obsługa programów akwizycji danych w aplikacji LabView lub LabTech.
- b) analiza uzyskanych wyników pomiarów, sporządzenie wykresów zmian naprężeń w wybranych punktach dźwigara dla profilu suwnicy KBK-II w funkcji różnych obciążeń, a także dla torowiska jezdnego KBK-IIL.

5. Podsumowanie – warunki zaliczenia laboratorium

- a) oddane sprawozdanie
- b) umiejętność interpretacji danych pomiarowych oraz sporządzonych wykresów

Literatura

1. Żmuda J.: Projektowanie torów jezdnych suwnic i elektrowciągników. Wyd. TiT
2. Piątkiewicz A., Sobolski R.: Dźwignice. WNT 1987
3. Niezgodziński M.E, Niezgodziński T.: Wzory, wykresy i tablice wytrzymałościowe, WNT Warszawa 2004
4. Pawlicki K.: Elementy dźwignic PWN Warszawa 1979
5. DT-UT-7/95 Warunki techniczne dozoru technicznego – Suwnice Wyd. UDT
6. PN-86/M-06514