

Urządzenia dźwigowo-przeładunkowe

Laboratorium L01: **WYZNACZANIE ZASTĘPCZYCH OPORÓW
RUCHU W MECHANIZMACH JAZDY SUWNIC
Z ZESTAWAMI KOŁOWYMI SZYNOWYMI**

wg: PN-91/M-45457;
PN-90/B-03200;
PN-EN-13001:2004
PN-89/M-04516;
(BN-81/2912-01)



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Cel i zakres doświadczenia

1. Przybliżenie zagadnień teoretyczno-doświadczalnej analizy kinematyki ruchu suwnic, w tym wyznaczanie oporów jazdy.
2. Zapoznanie z metodyką pomiaru zastępczych oporów ρ_{zast} przy ruchu koła bez tarcia obrzeża o szynę oraz wyznaczaniem doświadczalnym właściwego oporu jazdy ρ_{zast} przy ruchu z symulacją tarcia obrzeży koła suwnicy o powierzchnie boczne głowy szyny.
3. Praktyczne poznanie procedury doświadczalnego wyznaczenia współczynnika tarcia potoczystego przy ruchu koła bez tarcia obrzeży o szynę oraz przy zapewnieniu możliwości przemieszczenia się szyny.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Systemy rozwiązania punktów podparcia suwnic: AA, AB oraz BB

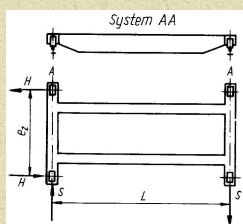
Z uwagi na możliwość przesuwu punktu podparcia względem ustroju nośnego w kierunku poprzecznym do kierunku jazdy rozróżnia się:

- punkty podparcia nieprzesuwne **A**
- punkty podparcia o ograniczonym lub nieograniczonym przesuwie **B**

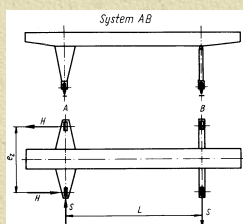
W zależności od możliwości przesuwu punktu podparcia rozróżnia się następujące systemy ustrojów nośnych suwnic:

- system **AA** (mosty suwnic pomostowych natorowych, ramy wciągarek przejezdnych – rys. a)
- system **AB** (mosty suwnic bramowych z podporą sztywną i wahlnią – rys. b)
- system **BB** (mosty suwnic podwieszonych – zawieszania przegubowe - wahlwie – rys. c)

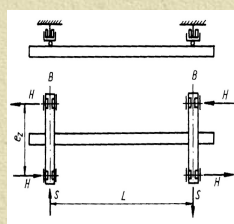
Rys. a



Rys. b



Rys. c



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych napędów jazdy - system AA



Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych napędów jazdy - system AB



Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych napędów jazdy



1. Wprowadzenie – ogólne zasady budowy mechanizmów jazdy suwnic, wybrane zagadnienia z zakresu teorii ruchu suwnic i wyznaczania oporów jazdy

W praktyce inżynierskiej, dla wyznaczenia oporów jazdy dźwignic przemieszczających się na zestawach szynowych kołowych (np. suwnic pomostowych), można posłużyć się ogólną zależnością (3.1):

gdzie:
$$W_C = W_j + W_k + W_w + W_p \quad (3.1)$$

- W_j - opór toczenia wszystkich kół jezdnych,
- W_k - opór jazdy po krzywiznie,
- W_w - opór wiatru,
- W_p - opór jazdy po pochyłościach.

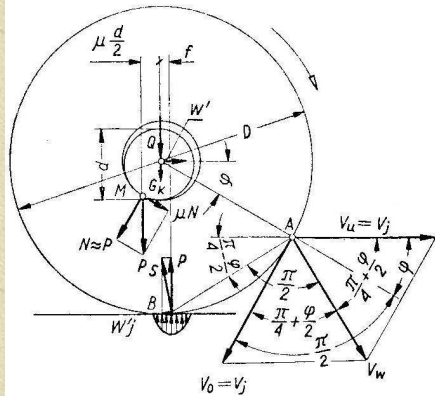
Tylko w przypadku, gdy suwnice pracują w hali produkcyjnej na prostym torowisku bez krzywizn, stopni i szczelin, możemy pominąć składowe W_k, W_w, W_p , natomiast przy eksploatacji suwnic na estakadach, zwłaszcza na otwartych przestrzeniach poza zamkniętymi halami, konieczne jest ich uwzględnianie.

Na opór jazdy samego koła składają się:

- opory toczenia bieżni koła po poziomej głowie szyny,
- tarcie w czopach osi koła
- oraz opory wynikające z tarcia obrzeży kół o powierzchnie boczne głowy szyny.

Wybrane zagadnienia z zakresu wyznaczania oporów jazdy (cd)

Na koło nie napędzane, obracające się swobodnie na osi, działa obciążenie zewnętrzne Q i siła ciężkości G_k , tworzące wypadkową P . Parabola nacisków Hertza zmienia się w czasie toczenia koła w krzywą asymetryczną, a reakcja P przesuwa się o promień tarcia potoczystego f (rys. 3.1).



Rys. 3.1 Rozkład sił działających na koło jezdne bez obrzeży w trakcie toczenia [1]

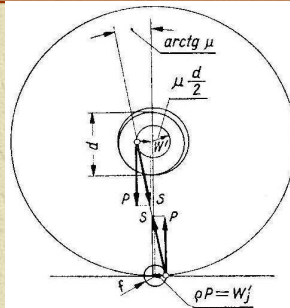
Przesunięcie wypadkowej reakcji P , jest spowodowane głównie luzami w czopie obrotowym, odkształceniem sprężystym materiału w elementach szyny i koła w punkcie ich styku, a także nieznacznymi odkształceniami plastycznymi zachodzącymi w czasie toczenia na bieżni koła oraz na powierzchni głowy szyny w strefie ich styku.

Wybrane zagadnienia z zakresu (cd)

Powstały **moment tarcia**

$M_t = f \cdot P$ działa przeciwnie do kierunku obrotu koła.

Moment tarcia $M_c = \mu \cdot N \cdot (d/2) \approx \mu \cdot P \cdot (d/2)$ w łożysku koła oraz moment tarcia od obciążenie osiowego $P = Q + G_k$, można zastąpić parą sił P o ramieniu: $f + \mu d/2$.

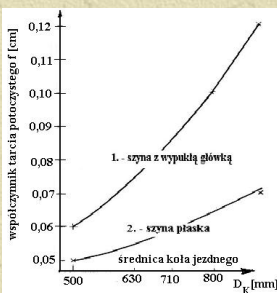


Dla zachowania równowagi musi przeciwdziałać tej parze para sił poziomych, na którą składa się siła pędząca koło W' (działająca na wysokości osi koła) i opór tarcia W_j (występujący na główce szyny). Study pojawia się zależność (3.2):

$$W \frac{D}{2} = W_j \frac{D}{2} = P \left(f + \mu \frac{d}{2} \right) \quad \text{oraz} \quad W_j = \frac{2P}{D} \left(f + \mu \frac{d}{2} \right) = P \cdot \rho \quad (3.2)$$

gdzie: f – promień tarcia potoczystego, (przyjmuje się $f = 0,05 \text{ cm}$ dla dobrze ułożonych szyn); D – średnica koła; μ – współczynnik tarcia, przyjmuje się dla łożysk ślizgowych $\mu = 0,08$ i dla łożysk tocznych (zredukowanych do średnicy czopa) $\mu = 0,01$; d_{cz} – średnica czopa osi watu, ρ – jednostkowy opór toczenia bez tarcia obrzeży i tarcia piasty koła

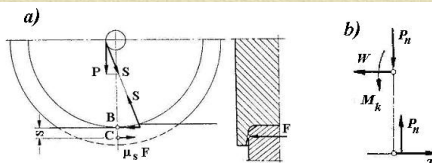
Wybrane zagadnienia z zakresu wyznaczania oporów jazdy (cd)



Przykładowe wartości współczynników tarcia potoczystego f dla kół stalowych przemieszczających się na szynie z główką płaską (tzw. szyny dźwignicowe) oraz po szynie z powierzchnią charakteryzującą się zaokrągleniem (tzw. szyn kolejowych) w funkcji średnicy koła jezdne podano na rys. 3.2.

Rys. 3.2. Współczynnik tarcia potoczystego f dla kół stalowych przemieszczających się na szynie z główką płaską (tzw. szyny dźwignicowe) oraz po szynie z powierzchnią charakteryzującą się zaokrągleniem (tzw. szyn kolejowych)

Zależność (3.2) nie uwzględnia wpływu tarcia obrzeży kół o zewnętrzną ściankę szyny. W przypadkach zaokrąglania się szynicy (tzw. wężykowanie szynicy), co najmniej jedno z kół czołownicy (przy założeniu, że na każdej czołownicy znajdują się po dwa koła), najjeżdża obrzeżem na boczną powierzchnię główki szyny ocierając się o nią i wywołując przy tym siłę tarcia (rys. 3.3a).



Rys. 3.3. a) Rozkład sił podczas obcierania obrzeży o główkę szyny; b) Rozkład pary sił dla koła napędzanego

Wybrane zagadnienia z zakresu wyznaczania oporów jazdy (cd)

Dokładne wyznaczenie wartości siły F oraz ramienia, na którym ta siła działa, dla praktycznych zastosowań inżynierskich jest zagadnieniem bardzo trudnym. Przyjmuje się więc za zasadne, aby wartość oporów jakie wywołuje efekt zukosowania się suwnicy określać jako wielokrotność, bądź też część oporów podstawowych. Zgodnie z tym założeniem, opory jazdy suwnicy zapisywane są zależnością (3.3):

$$W'_j = \frac{2P}{D} \left(f + \mu \frac{d}{2} \right) \cdot (1 + \psi) \quad (3.3)$$

gdzie:

- dla wózków wciągarek suwnic $\psi_s=0,2 \div 0,3$ (łożyskowanie ślizgowe) i $\psi_r=1,0 \div 1,3$ (łożyskowanie toczne) zależnie od rozpiętości,
- dla bram, mostów i pomostów suwnic przyjmuje się odpowiednio: $\psi_s=0,3 \div 0,5$ (łożyskowanie ślizgowe) i $\psi_r=1,3 \div 1,5$ (łożyskowanie toczne) zależnie od rozpiętości.

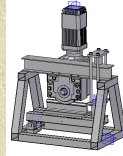
Rozważając koło napędzające (rys. 3.3b) – można zauważyć, że moment napędowy M_k działający w kierunku obrotu pokonuje całkowity moment oporu toczenia koła napędzającego, wzbudząc moment pary sił utworzony z siły przyczepności T i równej jej wymaganej efektywnej siły napędowej W [1].

Siła T wywołana przyczepnością kół napędzających musi równoważyć wszystkie siły poziome działające na układ jezdny, a więc również opory jazdy kół nie napędzanych, opory wiatru, siły bezwładności i inne (3.4).

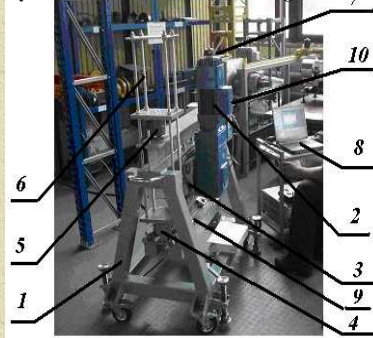
$$M_k = T \frac{D}{2} = P_n \left(f + \mu \frac{d}{2} \right) (1 + \psi) \quad (3.4)$$

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

Konstrukcja stanowiska pokazana na rys. 3.4, dzięki przyjętemu rozwiązaniu, pozwala na wywołanie docisku bieżni koła do szyny do maksymalnej wartości około 50kN, przemieszczanie szyny względem koła, gwarantuje płynną regulację docisku, umożliwienie zukosowania szyny, co umożliwia wyznaczenie metodą pośrednią oporów jazdy, oporów tarcia obrzeży koła o ściany boczne głowy szyny oraz określenie promień tarcia potoczystego.



Rys. 3.4. Widok stanowiska badawczego

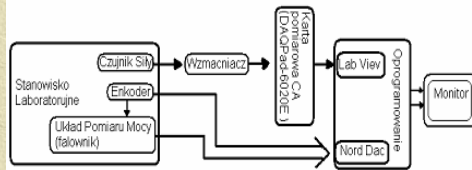


Specyfikacja użytych oznaczeń na rys. 3.4:

- 1- rama nośna;
- 2- motoreduktor WUE-40-TD-B14.6.50-3-245 DEMAG;
- 3- zestaw jezdny DRS250 – DEMAG;
- 4- szyna S24 wraz z zespołem mocowania z klemami „Rialex”;
- 5- czujnik nacisku ETP20MP o nr. fabr.7.924 kl. A;
- 6- napinacz śrubowy;
- 7- obrotomierz EPN 460-1024;
- 8- zestaw akwizycji danych (DAQPad-6020E _ program Lab View;
- 9- łożysko liniowe;
- 10- falownik 520E NORD + NordDAC.

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

Rys. 3.5. Schemat blokowy układu pomiarowego i akwizycji danych



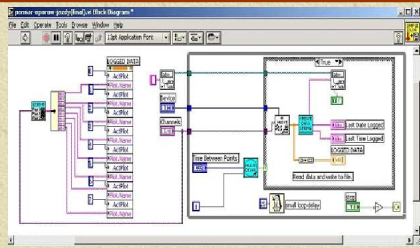
przykładowa specyfikacja techniczna układu pomiarowego i akwizycji danych

- pomiar poboru mocy - moduł pomiaru mocy NORD (do akwizycji danych konieczna parametryzacja aplikacji NORD CON);
- pomiar obrotów znamionowych - enkodera prędkości obrotowej;
- pomiar siły docisku – czujnik tensometryczny siły piezoelektryczny typ: ETP20MP;
- wzmacniacz typ: SGA 1853/47.07K filtr SW3 (lub KWS106A nr.fabr.:D1289139);
- system akwizycji danych - programy Lab-View oraz NordDAC;

* dane pomocne w fazie identyfikacji siły docisku na podstawie charakterystyki kalibracji toru pomiarowego
 * system pomiarowy z czujnikiem ETP20MP i ze wzmacniaczem SGA, (kalibracja maszyna wytrzymałościowa EU40/M1);
 * zależność sygnału wyjściowego [V] w odniesieniu do siły docisku [kN] podana w tabelcy 3.1.

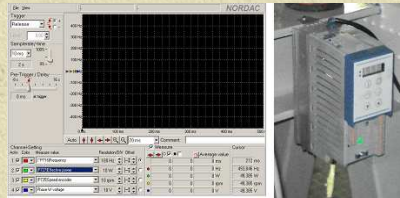
Siła docisku [kN]	U wyj. [V]	Siła docisku [kN]	U wyj. [V]
0,0	0,00	15,0	3,12
2,5	0,49	25,0	5,20
5,0	0,99	30,0	6,26
7,5	1,54	40,0	8,34
10,0	2,09		

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



Rys. 3.6. Układ pomiarowy do pomiaru siły, skonfigurowany w programie LabView (aplikacja AMIL, kanał 0, decymacja 0 0:00)

Karta DAQPad-6020E firmy National Instruments jest przystosowana do współpracy z przenośnym komputerem np. PC poprzez złącze USB i ISA; 6 wejść analogowych; przetwarzanie sygnałów z prędkością 100 kS/s; rozdzielczość 12 bit; 8 lub 32 cyfrowych wejść/wyjść typu TTL 5V.



Rys. 3.7. Widok ekranu programu NORDCap oraz falownika w modulem sterującym (zapis ARISTO) wybrane parametry: częstotliwość - ~P716; moc efektywna - P727; prędkość obrotowa - P735, moment silnika - P729)

3. Pomiar zastępczych oporów ρ_{zas} przy ruchu koła bez tarcia obrzeża o szynę

• opis toku postępowania przy pomiarze zastępczych oporów ρ_{zas} oraz przykładowe wyniki

Określenie zastępczych oporów ruchu realizowane jest metodą pośrednią poprzez pomiar zapotrzebowania mocy dla wybranych stanów eksploatacyjnych badanego układu – czyli zmiennego nacisku bieżni koła na szynę – zgodnie z zależnością 3.5. Przy korzystaniu z tej metody niezbędnym jest uwzględnienie oporów własnych ruchu zespołu napędowego, przede wszystkim związane z pokonaniem oporów w reduktorze oraz oporów związanych z łożyskowaniem koła.

$$\rho_{zas} := \eta_{red} \cdot (N_{sP} - N_S) \cdot \frac{i_{red}}{\pi \cdot n_{sP} \cdot D_k \cdot P_{kS}} \quad (3.5)$$

gdzie:

η_{red} - sprawność reduktora, przekładnia dwustopniowa stożkowa $\eta_{red} = 0,97$ (motoreduktora: WUE 40 TD B14.6)

D_k - średnica koła jezdnego $D_k = 250\text{mm}$ koło typu: DRS250 ($d_{cz} = 60\text{mm}$ - średnica czopa);

i_{red} - przełożenie reduktora $i_{red} = 244$;

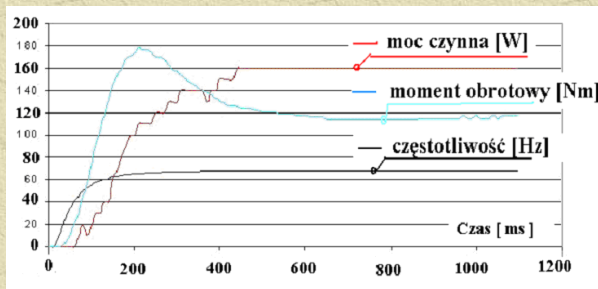
N_{sP} - bieżąca moc wymagana do napędu zespołu jazdy przy docisku bieżni koła do głowy szyny siłą P_{kS} ;

N_{s0} - moc wymagana do napędu zespołu jazdy przy braku docisku bieżni koła do głowy szyny (opory własne ruchu zespołu napędowego);

n_s - obroty koła jezdnego.

3. Pomiar zastępczych oporów ρ_{zas} przy ruchu koła bez tarcia obrzeża o szynę

Przykładowe wyniki pomiarów: przebiegi zmian poboru mocy, zmian prędkości obrotowej oraz zmian częstotliwości prądu zasilającego w funkcji czasu dla wybranej wartości siły docisku dla $P_{kS} = 17,5\text{[kN]}$ przedstawiono na rys. 3.8.



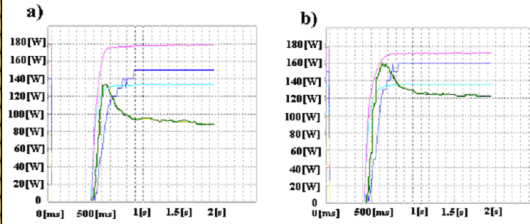
Rys.3.8. Wykresy: częstotliwości, mocy czynnej, oraz momentu obrotowego dla obciążenia 17,5 [kN]

Otrzymane wyniki pomiarów, wraz z interpretacją dla docisku 17,5 [kN]

$$N_{s0} = 160 \text{ W} \quad P_{kS0} = 17,5 \text{ kN} \quad n_{s16} := 890 \frac{1}{\text{min}} \quad \rho_{zas0} = 0,1626$$

4. Wyznaczenie doświadczalne właściwego oporu jazdy μ_{sz} przy ruchu z symulacją tarcia obrzeży koła o powierzchnie boczne głowy szyny

Wyznaczenie oporu właściwego jazdy μ_{sz} przy ruchu z symulacją tarcia obrzeży koła suwnicy o powierzchnie boczne głowy szyny realizowane jest analogicznie do przypadku opisanego w pkt 3. Konstrukcja stanowiska umożliwia realizację przedmiotowego zadania dla dwóch przypadków eksploatacyjnych, a mianowicie dla stanu równoczesnego dociskania bieżni koła do obrzeży koła do głowy szyny, oraz dla stanu w którym dokonywana będzie wyłącznie symulacja docisku obrzeży koła do ścian bocznych głowy szyny jezdnej bez kontaktu bieżni koła z głową szyny.



Rys.3.9. Zastępcze opory ruchu: a) dla koła bez przycierania obrzeży (pomiar referencyjny), b) dla koła z przycieraniem obrzeży; gdzie: zaznaczono kolorem – fioletowym obroty, niebieskim – częstotliwość, zielonym – moment obrotowy, granatowym – moc czynną (uwaga: skala na osiach rzędnych podana wyłącznie w [W] dla pomiaru wartości mocy – rejestracja mocy efektywnej – P727, pozostałe przebiegi obrotów, momentu obrotowego oraz częstotliwości należy odnieść wyłącznie jakościowo – specyfika zapisu graficznego wynika z NordDAC)

Przykładowe wyniki pomiarów: przebiegi zmian poboru mocy, zmian prędkości obrotowej oraz zmian częstotliwości prądu zasilającego w funkcji czasu dla przypadku oporów wynikających wyłącznie z przycierania obrzeży koła o ściany boczne głowy szyny jezdnej. Z analizy przykładowych danych wynika, iż zapotrzebowanie mocy (linia niebieska) wzrasta o 10W, w przypadku przycierania obrzeży, gdy regulowana jest tylko siła boczna, a ponadto czas narastania prędkości obrotowej, do wartości ustalonej wydłuża się, wraz ze wzrostem siły bocznej. Korzystając z zależności (3.3) można wyznaczyć współczynnik uwzględniający wpływ tarcia obrzeży kół o zewnętrzną ściankę szyny i wynosi on dla prezentowanego przykładu $\mu_{sz} = 0,22$.

5. Pomiar współczynnika tarcia potoczystego f przy obrocie koła bez tarcia obrzeży o szynę oraz przy zapewnieniu możliwości ruchu szyny

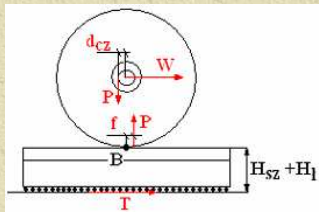
W celu wyznaczenia na stanowisku doświadczalnym promienia tarcia potoczystego f , należy przekonfigurować jego budowę, poprzez zapewnienie możliwości przemieszczania szyny względem koła za pomocą dodatkowych łożysk liniowych (rys. 3.10). Z uwagi na fakt, iż łożyska liniowe wprowadzają dodatkowe opory, w przedmiotowym eksperymencie należy ten fakt uwzględnić (np. przeprowadzić pomiar oporów podczas przemieszczania się szyny położonej na łożysku liniowym w warunkach bez docisku koła jezdnego).

Przygotowanie stanowiska: masa szyny $m_s = 11,2\text{kg}$; siła przesuwu szyny $S_{zasz} = 2,943\text{N}$; stąd, współczynnik strat przesuwu samej szyny

$$\mu_{sz_rol} = \frac{S_{zasz}}{m_s \cdot g} = 0,0268$$



Rys.3.10. Sposób posadowienia szyny na łożysku liniowym



Rys. 3.11. Układ sił dodatkowym oporem łożysk

Schemat układu sił działających na koło, uwzględniający wpływ łożysk liniowych na przemieszczenie się szyny i dodatkowe opory z tym związane, pokazano na rys. 3.11.

5. Pomiar współczynnika tarcia potoczystego f przy obrocie koła bez tarcia obrzeży o szynę oraz przy zapewnieniu możliwości ruchu szyny

Wyznaczenie odpowiedniej zależności (3.6) wiąże się z równaniem momentów sił działających na układ względem pkt.B będącym chwilowym środkiem obrotu.

$$W \cdot \frac{D_k}{2} = P \cdot \left(f + \frac{\mu_{cz} \cdot d_{cz}}{2} \right) + T \cdot (H_{sz} + H_1) \quad (3.6)$$

gdzie: W – opór całkowity; d_{cz} – średnica czopa; P – obciążenie koła; $H_{sz} + H_1$ – wysokość szyny i łożyska; F – promień tarcia potoczystego; T – siła oporu łożysk; μ – współczynnik tarcia zależny od łożyskowania

Po zastąpieniu siły oporu łożysk liniowych (T) zależnością $\mu_{sz}P$ oraz siły oporów całkowitych (W) zależnością na zapotrzebowanie mocy, a także po dalszych odpowiednich przekształceniach, ostatecznie otrzymuje się zależność (3.7) na promień tarcia potoczystego, w którym uwzględnione są opory toczenia się koła i przemieszczania się szyny (dla analizowanego przypadku pomiarowego).

$$f = \frac{N \cdot \eta \cdot i}{2 \cdot P \cdot n \cdot \pi} - \mu_{sz} \cdot H_{sz} - \mu_{cz} \cdot d_{cz} \quad (3.7)$$

gdzie: N – zapotrzebowanie mocy; n – obroty znamionowe; η – sprawność przekładni reduktora; μ_{sz} – współczynnik tarcia między łożyskiem a szyną wyznaczony doświadczalnie, $\mu_{sz} = 0,027$.

przykładowe wyniki pomiarów: dla prób z obciążeniem 30,0[kN]

$$N_{s10f} := 51 \cdot W \quad P_{ks10f} := 30 \cdot \text{kN} \quad n_{s110f} := 895 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad f_{tocz77} = 0,0519 \text{ cm}$$

$$f_{tocz10} := \frac{N_{s10f} \cdot \eta_{red} \cdot i_{red}}{2 \cdot P_{ks10f} \cdot n_{s110f} \cdot \pi} - \mu_{sz_rol} \cdot H_{sz} - \mu_{czop} \cdot d_{cz}$$

6. Opracowanie wyników pomiarów - zadania do wykonania przez studentów

- a) współdziałanie w konfiguracji stanowiska, nastawach wybranych parametrów eksploatacyjnych, oraz zestawieniu aparatury pomiarowej (praca wykonywana w 2-3 osobowych zespołach w laboratorium)
- b) obsługa programów sterujących falownikiem NordDAC oraz programem akwizycji danych LabView (praca wykonywana w 2-3 osobowych zespołach w laboratorium)
- c) analiza uzyskanych wyników pomiarów, sporządzenie charakterystyk i wyznaczenie badanych współczynników (praca indywidualna, wyniki przedstawić w formie sprawozdania)

7. Podsumowanie – warunki zaliczenia laboratorium

- a) oddane sprawozdanie
- b) umiejętność interpretacji danych pomiarowych oraz sporządzonych wykresów
- c) opanowanie wiedzy z zakresu zasad budowy mechanizmów jazdy suwnic, oraz zagadnień teorii ruchu suwnic i metod doświadczalnego wyznaczania współczynników oporów jazdy

Literatura

A. Piątkiewicz, R. Sobolski: „Dźwignice”, tom I, tom II. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 1977r.
Z. Zieliński – „Dźwignice i urządzenia transportowe” – Państwowe Wydawnictwo Szkolnictwa Zawodowego 1970.
K. Pawlicki - „Elementy dźwignic” tom 1 i 2 - Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1982.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....