

Systemy transportowe - transport bliski

Maszyny dźwigowe

Urządzenia dźwigowo-przeładunkowe

BADANIE HAMULCA DŹWIGNICOWEGO DWUSZCZĘKOWEGO

Cel i zakres ćwiczenia

- > Zapoznanie z działaniem hamulca ze zwalniakiem elektromagnetycznym.
- > Praktyczne zapoznanie z metodyką wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych hamulca dźwigowego, w tym z pomiarami prędkości obrotowej silnika w funkcji czasu dla stanów nieustalonych w fazie rozruchu i hamowania.
- > Przybliżenie zagadnień związanych z wyznaczeniem masowych momentów bezwładności dla elementów wirujących hamulca, wirnika i sprzęgła hamulcowego na podstawie danych pomiarowych oraz określenie trwałości czasowej okładzin hamulcowych dla zadanych warunków pracy.



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Zasada działania hamulca ze zwalniakiem elektromagnetycznym

Hamulce należą do najbardziej odpowiedzialnych podzespołów układów dźwigowych. Warunkują one osiągnięcie założonej dokładności pozycjonowania ładunku i zapewniają spełnienie podstawowych wymogów bezpieczeństwa pracy. Podstawowym **przeznaczeniem hamulca dźwigowego jest zatrzymanie mechanizmu roboczego**, tzn. sprowadzenie jego prędkości do zera (zatrzymujący), lub rzadziej ograniczenie tej prędkości (wstrzymujący). W napędach dźwigowych pochłaniana energia przez hamulec, pochodzi bądź od opadającego ładunku, bądź jest to energia kinetyczna części dźwigni lub całej dźwigni będącej w ruchu obrotowym lub postępowym.

W stanie spoczynku dźwigni, hamulec jest w pozycji zahamowanej.

Hamulce dźwigowe mechaniczne zamieniają energię kinetyczną i potencjalną hamowanego układu w energię ciepłą, która następnie przekazywana jest do otoczenia przez przewodnictwo, konwekcję i promieniowanie.



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

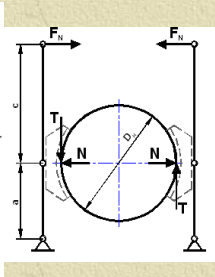
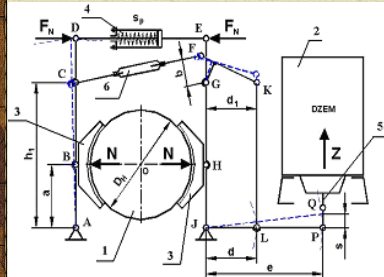
Zasada działania hamulca ze zwalniakiem elektromagnetycznym

Dźwigowne układy hamulców dwuszczkowych (rys 1) kształtują się zazwyczaj w ten sposób, aby uzyskać równe siły N przyciskające prawy i lewy klocek do tarczy hamulcowej 1. W tym celu dźwignie klocków przegubowych 3 winny być proste, siły zaciskające S muszą działać na równych ramionach. Powoduje to sprężyna 4, która dąży do wywołania maksymalnej siły zaciskającej w punktach D i E. Odblokowanie hamulca następuje w momencie włączenia zasilania zwalniaka elektromagnetycznego DZEM 2, wciągnięcia zwory 5 i podniesienia łącznika JP. Łącznik JP, popycha kolejny człon LK i wywołuje obrót ogniwa KF wokół punktu G. Czynności te wywołują rozchylenie ramion AD i JE. Śruba regulacyjna (rzymska) 6 służy do regulacji odległości szczeliny pomiędzy okładziną tarczy hamulca i bębnem. Siła zaciskająca klocki w tym układzie pochodzi od sprężyny Sp.

Siłę udźwigu zwalniaka hamulca można wyliczyć z zależności

$$Z \cdot \eta = N \cdot \frac{a}{h_1} \cdot \frac{b}{d_1} \cdot \frac{d}{e} \quad \text{gdzie} \quad i = \frac{s}{2 \cdot \delta_H} = \frac{h_1 \cdot d_1}{a \cdot b} \cdot \frac{e}{d}$$

gdzie: N - siła docisku klocka do hamulca; η - współczynnik sprawności układu dźwigni i hamulca, δ_H - odsunięcie klocka hamulcowego od tarczy w stanie zwolnionym, i - przełożenie dźwigni.



Rys. 1 Hamulec dwuszczk. ze zwalniakiem elektromagnetycznym
a) budowa: 1- bęben hamulcowy, 2- zwalniak DZEM, 3- szczerki hamulcowe, 4- sprężyna, 5- zwora, 6- nakrętka rzymska;
b) schemat sił w hamulcu dwuszczkowym

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Hamulec dźwignicowy ze zwalniakiem elektromagnetycznym

Przyjmując z praktyki inżynierskiej, że $M_H \approx \mu_0 N D_H$, zależność na siłę udźwigu zwalniaka hamulca można podać w postaci:

$$Z = \frac{M_H}{\mu \cdot D_H \cdot i \cdot \eta}$$

gdzie:
 M_H - moment hamujący hamulca;
 D_H - średnica tarczy hamulcowej;
 μ - współczynnik tarcia klocków o tarczę.

Pracę, którą wykonuje zwalniak podczas luzowania hamulca (odsuwania klocków hamulcowych od tarczy na odległość δ_H), można obliczyć przy pomocy wzoru

$$L = \frac{2 \cdot N \cdot \delta_H}{\eta} = \frac{2 \cdot M_H \cdot \delta_H}{\mu \cdot D_H \cdot \eta}$$

Jako materiał na okładziny klocków hamulcowych stosuje się najczęściej:

- > tkaninę bawełnianą, na osnowie z siatki metalowej o nazwie ferrodo-fibra, (współczynnik tarcia dla tego materiału przyjmowany jest $\mu = 0,45$),
- > tkaninę azbestową, na osnowie z siatki metalowej, o nazwie ferrodo-azbest (współczynnik tarcia dla tego materiału przyjmowany jest $\mu = 0,30$)
- > masę metalowo-kauczukową, sprasowaną, o współczynniku tarcia $\mu = 0,25$.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Hamulec dźwignicowy ze zwalniakiem elektromagnetycznym

W mechanizmie podnoszenia hamulec musi zapewnić skuteczne zatrzymanie i późniejsze utrzymanie w stanie spoczynku, masy ładunku Q oraz zbrocza G_0 przy określonym współczynniku pewności z . Moment hamujący hamulca jest określany nierównościami:

$$M_H \geq z \cdot M_{uh} \quad \text{gdzie} \quad M_{uh} = \frac{(Q + G_0) \cdot D_H}{2 \cdot i_c} \cdot \eta_h$$

gdzie: z - współczynnik pewności hamowania (uzależniony od grupy natężenia pracy - tablica poniżej); M_{uh} - moment oporu ruchu ustalonego w mechanizmie podnoszenia, (zredukowanego na wał silnika), i_c - przełożenie mechanizmu podnoszenia, η_h - sprawność przy odwrótnym kierunku przepływu strumienia mocy.

Przykładowe wartości współczynnik niezawodności hamowania				
Grupa natężenia pracy mechanizmu wg. PN/M-06504	1M, 2M, 3M	4M	5M	6M
Minimalny współczynnik niezawodności hamowania „z”	1,50	1,75	2,00	2,50

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Hamulec dźwignicowy ze zwalniakiem elektromagnetycznym

Celem zagwarantowania skutecznego zatrzymania ładunku, zwłaszcza w podczas fazy jego opuszczania, przy równoczesnym zapewnieniu jak najmniejszej drogi hamowania, należy czas procesu hamowania t_H odpowiednio dostosować (faza hamowania nie może być realizowana w sposób natychmiastowy i przebiegać gwałtownie, niemniej z uwagi na wymagania dotyczące minimalizacji drogi hamowania, czas ten winien być jak najkrótszy).

Można go określić z zależności podanej obok, przy założeniu stałych momentów hamowania i oporów ruchu występujących w tej fazie pracy mechanizmu:

$$t_H = \frac{J_{zuh} \cdot \omega_{zn}}{M_H - M_{uh}}$$

gdzie: M_H - moment rozwijany przez hamulec, M_{uh} - moment oporu ruchu ustalonego w mechanizmie podnoszenia, (zredukowanego na wał silnika)

Można odwrócić zagadnienie i dla dobranego czasu hamowania wyliczyć wartość momentu hamowania z warunku:

$$M_H = \frac{J_{zuh} \cdot \omega_{zn}}{t_H} + M_{uh}$$

Wartość masowego momentu bezwładności J_{zuh} układu mechanizmu roboczego, np., dla mech. podnoszenia, J_{zuh} zredukowany na wał silnika, określa się ze wzoru:

$$J_{zuh} = (1 + \delta) \cdot (J_w + J_{sp}) + \frac{(Q + G_0) \cdot D_b^2}{i_c^2 \cdot 4g} \eta_h$$

gdzie: δ - współczynnik udziału części wirujących reduktora

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

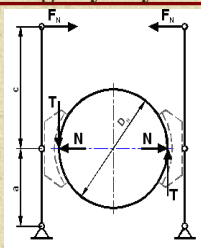
.....

Hamulec dźwignicowy ze zwalniakiem elektromagnetycznym

Dysponując charakterystyką sprężyny, można wyznaczyć reakcję N z zależności

$$N = F_N \cdot \frac{a+c}{a}$$

gdzie: F_N – siła zaciskająca hamulec



Moment hamujący wyliczyć można z zależności

$$M_H = T \cdot D_H = \mu \cdot N \cdot D_H$$

gdzie: T – siła tarcia

Dysponując momentem hamowania M_H , można wyznaczyć współczynnik tarcia ślizgowego μ dla współpracującej pary materiałów stosowanych na okładzinie hamulca i tarczę bębna hamulcowego:

$$\mu = \frac{M_H}{D_H \cdot N}$$

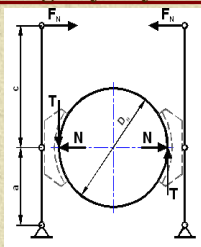
.....

Hamulec dźwignicowy ze zwalniakiem elektromagnetycznym

Dysponując charakterystyką sprężyny, można wyznaczyć reakcję N z zależności

$$N = F_N \cdot \frac{a+c}{a}$$

gdzie: F_N – siła zaciskająca hamulec



Moment hamujący wyliczyć można z zależności

$$M_H = T \cdot D_H = \mu \cdot N \cdot D_H$$

gdzie: T – siła tarcia

Dysponując momentem hamowania M_H , można wyznaczyć współczynnik tarcia ślizgowego μ dla współpracującej pary materiałów stosowanych na okładzinie hamulca i tarczę bębna hamulcowego:

$$\mu = \frac{M_H}{D_H \cdot N}$$

.....

Hamulec dźwignicowy ze zwalniakiem elektromagnetycznym

Masowy moment bezwładności wirnika i sprzęgła zarówno z fazy rozruchu jak i hamowania wyznaczamy z zależności:

Łączny masowy moment bezwładności wirnika i sprzęgła dla przypadku rozruchu	Łączny masowy moment bezwładności wirnika i sprzęgła dla przypadku hamowania
$J_{wspr} = \frac{J_{ob}}{\left(\frac{\varepsilon_{r0}}{\varepsilon_r}\right) - 1}$	$J_{wspr} = \frac{J_{ob}}{\left(\frac{\varepsilon_{H0}}{\varepsilon_H}\right) - 1}$

Przyspieszenia kątowe ε można wyliczyć dysponując czasami rozruchu i hamowania, dla przypadku z dodatkowym obciążeniem i bez, co zamieszczono w tabeli poniżej:

	Moment napędowy	Moment hamowania
Układ bez obciążenia dodatkową masą	$\varepsilon_{r0} = \frac{\omega_{zn}}{t_{r0}}$	$\varepsilon_{H0} = \frac{\omega_{zn}}{t_{H0}}$
Układ obciążeniem dodatkową masą	$\varepsilon_r = \frac{\omega_{zn}}{t_r}$	$\varepsilon_H = \frac{\omega_{zn}}{t_H}$

gdzie: ω_{zn} – prędkość kątowa znamionowa, $\omega = 2\pi n_{zn}$; n_{zn} – obroty [obr/min].

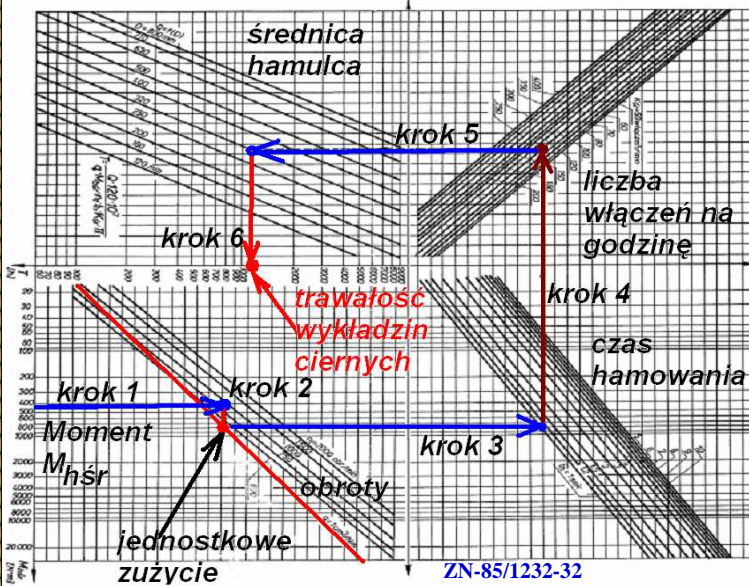
.....

Wyznaczanie trwałości wykładziny ciernej hamulca wg nomogramów zakładowych DETRANS (ZN-85/1232-32)

Trwałość wykładziny czarnej określa się w funkcji: grupy natężenia pracy, liczby cykli pracy, średniej liczby włączeń hamulca w każdym cyklu pracy, liczby obrotów, średniej wartości czasu hamowania oraz średniej wartości momentu hamowania wyznaczonych dla faz pracy mechanizmu z obciążeniem i bez obciążenia oraz jednostkowego zużycia okładziny czarnej (dane jednostkowego zużycia stosowanych okładzin czarnych podawane w katalogach producentów).

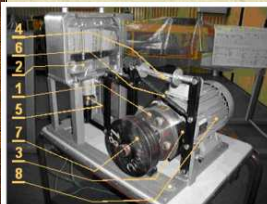
Przykładowy tok postępowania przy określeniu trwałości wykładziny czarnej (wg. zaleceń normy zakładowej DETRANS - ZN-85/1232-32), podano dla wybranej konstrukcji hamulca dwuszcękowego ze zwalnianiem DZEM zainstalowanego w układzie mechanizmu podnoszenia suwnicy, gdzie: nominalny/średni moment hamowania zredukowany na wał bębna hamulcowego obliczony dla nominalnego/średniego udźwigu $MH=475[Nm]/MHs=431,4[Nm]$, maksymalne chwilowe obroty nadsynchroniczne tarczy hamulcowej w fazie opuszczania dla chwili rozpoczęcia hamowania $n_{nads}=850[obr/min]$, moc nominalna silnika $26[kW]$, obroty nominalne silnika $n_{sil}=725[obr/min]$, grupa natężenia pracy $GNP=5M$, udźwig nominalny $Q_{nom}=10000[kg]$, udźwig średni $Q_{sr}=8000[kg]$, nominalna ilość cykli pracy $c=30[cykli/godz]$, maksymalna chwilowa liczba włączeń mechanizmu podnoszenia w jednym cyklu pracy $k_{max}=50[wł/cykl]$, średnia liczba włączeń w odniesieniu do 1 roboczo godziny $k_{sr}=100[wł/godz]$, czas dla jednego zahamowania $t_h=1,1[s]$, średnica tarczy hamulca $D=320[mm]$, projektowany względny czas pracy mechanizmu P25, normowe jednostkowe dopuszczalne zużycie okładziny czarnej $g=1[cm^3/Nm]$, resurs czasowy trwałości okładzin czarnych hamulca wg. danych producenta $T_1=600[godz]$.

Z nomogramu dla w/w podanych wartości odczytuje się trwałość wykładzin czarnych $T=1100[godz]$ i porównuje z dopuszczalną trwałością katalogową okładzin, która nie powinna być dla przeciętnych warunków eksploatacji mniejsza niż $T_1=600[godz]$ (zatem warunki spełnione).

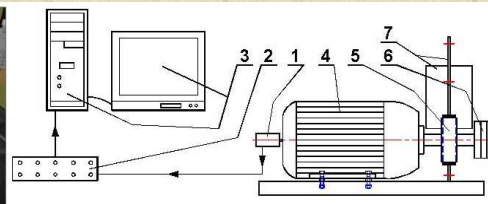


Hamulec dźwignicowy ze zwalniakiem elektromagnetycznym

Na rys. poniżej przedstawiono widok stanowiska, które przeznaczone jest do wyznaczenia czasów hamowania i rozruchu. Stanowisko składa się z silnika 8 napędzającego bęben hamulcowy 3. Obciążenie układu jest realizowane za pomocą dokładanych tarcz 7 o określonej geometrii i masie. Siła docisku szczęk hamulca 3 do bębna 1 jest regulowana za pomocą sprężyny 4. Dodatkowo możliwa jest regulacja szczeliny pomiędzy tarczami hamulca 3 i bębna 1 za pomocą śruby regulacyjnej 6. Prędkość obrotowa silnika jest mierzona za pomocą prądniczki tachometrycznej dołączonej do wałka silnika. Włączenie zasilania układu powoduje wciągnięcie zwornicy 5 zwalniaka elektromagnetycznego 2. Hamulec jest wtedy zwolniony.



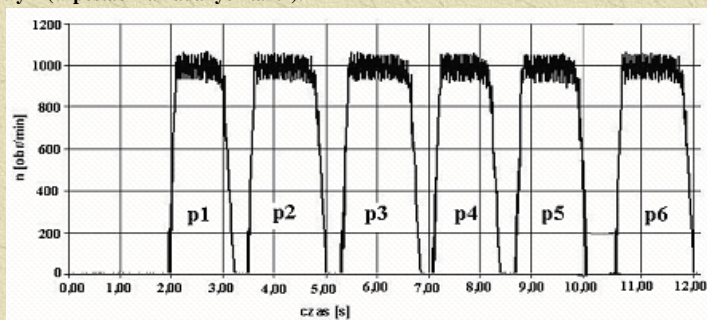
Stanowisko do pomiar momentów bezwładności wirnika i sprężyna



Schemat toru pomiarowego; 1 – prądniczka tachometryczna, 2 – karta AC, 3 – komputer klasy PC, 4 – silnik elektryczny, 5 – bęben hamulca, 6 – tarcze obciążające, 7- hamulec ze zwalnianiem

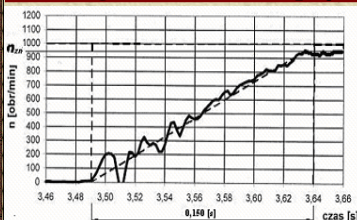
Przebiegi czasowe zmian prędkości obrotowej silnika

Przeprowadzane badania mają na celu dokonanie pomiaru czasu rozruchu (określanego od momentu włączenia silnika do chwili definiowanej jako moment początkowy ustalonego stanu jego pracy) oraz czasu hamowania (liczonego jako czas upływający od momentu włączenia układu hamulca do całkowitego zatrzymania układu). Przedmiotowe próby badawcze przeprowadzane są dla przypadku rozruchu oraz hamowania układu bez obciążenia i z dodatkowym obciążeniem bezwładnościowym (w postaci nakładanych tarcz).

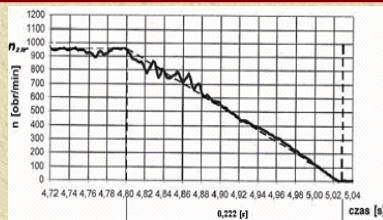


Przebiegi czasowe zarejestrowanych zmian prędkości obrotowej silnika: p1, p2, p3, p4, p5, p6 – kolejne cykle pracy (rozruch – stan ustalony – hamowanie)

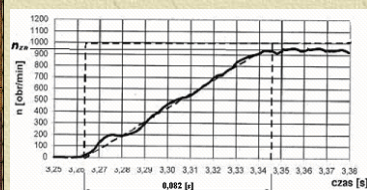
Przebiegi czasowe zmian prędkości obrotowej silnika



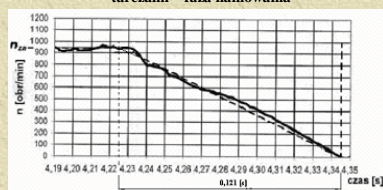
Wykresy zmian prędkości obrotowej silnika w czasie, dla przypadku układu z dodatkowym obciążeniem 3 tarczami – faza rozruchu



Wykresy zmian prędkości obrotowej silnika w czasie, dla przypadku układu z dodatkowym obciążeniem 3 tarczami – faza hamowania



Wykresy zmian prędkości obrotowej silnika w czasie, dla przypadku układu bez obciążenia – faza rozruchu



Wykresy zmian prędkości obrotowej silnika w czasie, dla przypadku układu bez obciążenia – faza hamowania

Przykład liczbowy opracowania wyników

A) dane konstrukcyjno-eksploatacyjne: a) wymiary hamulca wg rys. 2.2: $a=80$ [mm], $c=180$ [mm], $DH=155$ [mm], b) silnik SZ.Je26b: $P=1,1$ [kW], $m_{roz}=2,4$, $J_w=0,030$ [kgm²], $n_{zn}=940$ [obr/min], c) tarcza obciążnika: $r_t=80$ [mm], $b_t=11,9$ [mm], $r_{totw}=9$ [mm], $m_t=1,76$ [kg], d) sprężyna hamulca: stal 65G, $d_{spr}=2,06$ [mm], $D_{spr}=15$ [mm], $l_{maxspr}=80$ [mm], $l_{minspr}=38$ [mm], $l_{robspr}=7$ [mm], $i_{spr}=18,5$ [zwoi], $G_{spr}=78 \cdot 10^4$ [MPa],

$$C_{nspr} = \frac{d_{spr}^4 \cdot G_{spr}}{8 \cdot D_H^3 \cdot i_{spr}} \quad C_{nspr}=24,9 \cdot 10^3$$

$$F_{nspr-dla-1czspr} \approx 174$$

B) dane odczytane z przebiegów czasowych z badań wg. rys. powyżej (wartości zależne od nastawy siły hamowania dla danej próby badawczej): a) czas rozruchu dla układu bez obciążenia $t_{r0}=0,082$ [s], czas rozruchu dla układu z obciążeniem 3 tarczami $t_r=0,150$ [s], czas hamowania dla układu bez obciążenia $t_{H0}=0,121$ [s], czas hamowania dla układu z obciążeniem 3 tarczami $t_H=0,222$ [s],

C) wyznaczenie danych liczbowych: a) przyspieszenie w czasie rozruchu układu bez obciążenia $\epsilon_r=1200$ [1/s²], b) przyspieszenie w czasie rozruchu układu z obciążeniem 3 tarczami $\epsilon_{r0}=656$ [1/s²], c) opóźnienie w czasie hamowania układu bez obciążenia $\epsilon_{H0}=814$ [1/s²], d) opóźnienie w czasie hamowania układu z obciążeniem 3 tarczami $\epsilon_H=443$ [1/s²],

e) moment bezwładności tarczy obciążnika: $I_t = \frac{m_t \cdot (r_t^2 + r_w^2)}{2} \quad I_t=5,56 \cdot 10^{-3}$ [kgm²],

f) moment znamionowy silnika $M_{zn_sil} = \frac{N_{zn}}{\omega_{zn}} \quad M_{zn_sil}=10,94$ [Nm],

g) moment średni rozruchowy silnika $M_{roz_rsil} = 0,5 \cdot (1,2 + m_{roz}) \cdot M_{zn_sil} \quad M_{roz_rsil}=19,69$ [Nm]

h) średnia siła hamowania (dla F_{nspr}): $F_H = F_{nspr} \cdot \frac{a+c}{a} \quad F_H \approx 567$ [N]

Przykład liczbowy opracowania wyników (cd)

i) moment bezwładności zespołu wirnik + sprzęgło z tarczą hamulcową:

$$I_{w+sprz} \approx \frac{3 \cdot I_t}{\varepsilon_{H0} - 1} \approx \frac{3 \cdot I_t}{\varepsilon_r - 1} \quad I_{w+sprz} \approx 0,0368 [\text{kgm}^2]$$

j) moment bezwładności sprzęgła

$$I_{sprz} = 0,0068 [\text{kgm}^2]$$

k) moment hamowania $M_H = \frac{I_{w+sprz} \cdot \omega}{t_{H0}}$

$$M_H \approx 30 [\text{Nm}]$$

l) wyznaczenie współczynnika tarcia okładzin ciernych o bęben tarczy hamulca $\mu_o = \frac{M_H}{F_H \cdot D_H} \quad \mu_o \approx 0,34$

określenie trwałości czasowej okładziny cierniej wg. nomogramów ZN

dla zadanych warunków pracy hamulca eksploatowanego na stanowisku: okładzina cierna ferrodofibrowa, tarcza hamulcowa stalowa, katalogowe zużycie jednostkowe okładziny cierniej $q=1 [\text{cm}^3/\text{Nm}]$, średni moment hamowania $M_{H-s} \approx 30 [\text{Nm}]$, czas hamowania średni $t_{H-sred} = 0,5 * (t_{H0+H}) = 0,17 [\text{s}]$, ilość włączeń na godzinę $K_{sr-max} = 360$, z nomogramu odczytujemy dla podanych wartości $T \approx 1800 [\text{h}]$

Hamulec dźwignicowy ze zwalniakiem elektromagnetycznym

zadania do wykonania przez studentów

- udział w nastawach parametrów roboczych na stanowisku, w tym nastawa napięcia sprężyny,
- wyznaczenie sztywności sprężyny, określenie siły nacisku szczęk na bębny hamulcowy,
- udział w pomiarach wybranych parametrów, w tym zmienności obrotów silnika w funkcji czasu
- dla cykli rozruch-hamowanie przy różnym obciążeniu na wale,
- opracowanie wyników, wykonanie wykresów z uzyskanych danych pomiarowych oraz ich analiza w celu określenia czasów rozruchu i hamowania przy różnym obciążeniu,
- obliczenie wartości masowego momentu bezwładności sprzęgła hamulcowego,
- określenie trwałości czasowej okładziny cierniej wg. nomogramów ZN dla zadanych warunków
- pracy hamulca oszacowanie błędów popełnionych podczas realizacji pomiarów.

Literatura

1. A. Piątkiewicz, R. Sobolski - *Dźwignice*, t.1, 2 - WNT. Warszawa, 1977
2. K. Pawlicki - *Elementy Dźwignic*, t. 1, 2 - PWN. Warszawa, 1998
3. K. Pawlicki - *Zbiór zadań z elementów i mechanizmów dźwignic* - PWN. Warszawa, 1997
5. Scheffler M., Pajer G., Kurth F.: *Grundlagen der Fördertechnik*. VEB Verlag Technik Berlin 1971.
4. CBKM „DETRANS” *Hamulce, sprzęgła i czopy wałów*, 1985, ZN-85/1232-32
5. *Komponentenhandbuch*. Mannesmann Dematic Wetter 2000

Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych układów hamulca ze zwalniakiem elektromagnetycznym - DEMAG



Kontrola hamulców
- Mercedes i VW, Arcelor