

Systemy transportu bliskiego

Bezpieczeństwo dźwignic



Obciążenia w obliczeniach ustrojów nośnych dźwignic

Ogólne zasady projektowania stalowych ustrojów nośnych systemów transportu bliskiego

wg. wytycznych normy PN-86/M-06514

Motto prezentacji
„Repetitio est mater studiorum”



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Terminy, definicje, przedmiot normy PN-86/M-06514

Wyznaczanie obciążeń wg normy PN-M_06514 należy stosować do grup dźwignic wg. PN-78/M-45000:ciągników, suwnic, układnic, podestów ruchomych i dźwignic lino-torowych.

Określenia:

Obciążenie – wszelkiego rodzaju działanie fizyczne powodujące naprężenia, odkształcenia lub przemieszczenia w ustroju nośnym dźwignicy

Obciążeniem dźwignicy jest

- a) siła lub zespół sił skupionych lub rozłożonych, działających bezpośrednio na ustrój nośny dźwignicy
- b) wymuszenie lub ograniczenie odkształcenia ustroju nośnego

Obciążenia stałe: obciążenie, którego wartość, kierunek i położenie względem rozpatrywanej części ustroju nośnego pozostają niezmiennie w czasie eksploatacji dźwignicy (np. siły ciężkości ustroju nośnego, siły naciągów)

Obciążenie zmienne: obciążenie, którego wartość, kierunek i położenie względem rozpatrywanej części ustroju nośnego mogą się zmieniać w czasie eksploatacji dźwignicy,

Obciążenia ruchowe: obciążenia występujące w czasie wykonywania ruchów roboczych w czasie normalnej eksploatacji

Obciążenia wiatrem: obciążenia występujące w czasie wiatru, a powstałe od różnicy ciśnień na powierzchniach dźwignicy oraz oporów tarcia wywołanych przepływem powietrza

Obciążenia wyjątkowe: obciążenia nie występujące w normalnych warunkach eksploatacji.

Wartość charakterystyczna obciążenia: wartość obciążenia, którego prawdopodobieństwo przekroczenia w kierunku niebezpiecznym, w okresie 20 lat użytkowania dźwignicy lub w innym okresie odniesienia wynosi co najmniej 0,95

Wartość obliczeniowa obciążenia: wartość obciążenia nie większa od wartości charakterystycznej równa iloczynowi tej ostatniej i współczynnika obciążenia

Współczynnik obciążenia γ – częściowy współczynnik bezpieczeństwa, uwzględniający prawdopodobieństwo wystąpienia obciążenia o wartości nie korzystniejszej od wartości charakterystycznej

Udźwig Q – największa dopuszczalna masa transportowanego ładunku (np.. dla podnoszenia)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Podział, rodzaje i odmiany obciążeń

Rodzaje obciążeń:

- a) Obciążenia stałe
- b) Obciążenia zmienne: ruchowe, wiatrem, wyjątkowe, od masy kabin, pomostów, itp...

Odmiany obciążeń zmiennych:

- a) Siła udźwigu
- b) Siły ciężkości elementów (zespołów) dźwignicy zmieniających położenie względem rozpatrywanej części ustroju nośnego (np.. wysięgnica w żurawiu, wysuwny dźwigar w systemie KBK)
- c) Siły dynamiczne podnoszenia
- d) Siły dynamiczne ruchów torowych (działające w kierunku pionowym – np.. przy jeździe po nierównościach)
- e) Siły bezwładności
- f) Siły poziome ruchów torowych (od tzw. koszenia)
- g) Obciążenia szczególne

Odmiany obciążeń wiatrem:

- a) Obciążenia wiatrem stanu roboczego dźwignicy
- b) Obciążenia wiatrem w stanie spoczynku dźwignicy

Odmiany obciążeń wyjątkowych:

- a) Siła uderzenia o zderzak – odbój
- b) Siła uderzenia o przeszkodę przy sztywnym prowadzeniu ładunku (np.. układnice magazynowe)
- c) Obciążenia montażowe
- d) Obciążenia śniegiem
- e) Wpływ zmian temperatury
- f) Siła ukośnego ciągnięcia ładunku

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Wyznaczanie obciążeń – wybrane zagadnienia

Obciążenia zmienne

a) Obciążenia ruchowe:

- Siła udźwigu F_Q przyjmowana do obliczeń jako siła ciężkości masy równej udźwignowi powiększonej o masy urządzeń ładunkowych nie wliczanych do udźwigu (np. trawersa)
- Siła ciężkości elementów (zespołów) dźwigni zmieniających położenie względem rozpatrywanej części ustroju nośnego
- Siły dynamiczne podnoszenia F_{dmax}, F_d (kierunek siły pionowy i pokrywa się z kierunkiem działania siły udźwigu)

$$F_{dmax} = d \cdot F_Q \quad F_d = 0,65 \cdot d \cdot F_Q$$

gdzie: F_Q – siła udźwigu, d – współczynnik dynamiczny podnoszenia

Typ dźwigni		Wartości współczynników dynamicznych podnoszenia d dla wybranych prędkości podnoszenia V_p [m/s]		
		$V_p \leq 0,1$	$0,1 < V_p < 1$	$V_p \geq 1$
Suwnice pomostowe i bramowe	hakowe	0,10	$1,0 \cdot V_p$	1,00
	chwytakowe z chwytakiem elektromagnetycznym, ze sztywnym prowadzeniem ładunku	0,16	$1,6 \cdot V_p$	1,60
Żurawie z wyjątkiem samojednych i budowlanych wieżowych	hakowe	0,085	$0,85 \cdot V_p$	0,85
	chwytakowe	0,13	$1,30 \cdot V_p$	1,30
Żurawie samojedne	hakowe	0,07	$0,70 \cdot V_p$	0,70
	chwytakowe	0,11	$1,10 \cdot V_p$	1,10
Żurawie budowlane wieżowe	hakowe	0,04	$0,40 \cdot V_p$	0,40

Wyznaczanie obciążeń – wybrane zagadnienia (cd)

Obciążenia zmienne - Siły dynamiczne ruchów torowych F_j

- Skierowane są pionowo i pokrywają się z kierunkami działania obciążeń od sił ciężkości rozpatrywanych elementów
- $F_j = \varphi \cdot G_i$ gdzie: φ - współczynnik ruchów torowych, G_i - siły ciężkości rozpatrywanych elementów

Styki szyn		φ
niespawane	Spawane	
Prędkość obwodowa kół, [m/s]		
$\leq 0,5$	$\leq 0,75$	0,05
$0,5 < v \leq 1$	$0,75 < v \leq 1,5$	0,10
> 1	$> 1,5$	0,15
Ustroje obrotowe osadzone na łożyskach kulowych		0

Uwaga: w przypadku gdy górna część dźwigni wykonuje ruch torowy φ_j względem części dolnej, która również znajduje się w ruchu torowym φ_d , to:

- gdy $\varphi_j < \varphi_d$, należy przyjmować $\varphi = \varphi_j$ dla części górnej i dolnej
- gdy $\varphi_j > \varphi_d$, należy przyjmować $\varphi = \varphi_d$ dla części górnej i $\varphi = \varphi_d$ dla części dolnej

Siły bezwładności - wywołane niestabilnymi ruchami jazdy – skierowane są stycznie do kierunku ruchu rozpatrywanej części dźwigni i ładunku.

- $B_{jG} = a_j \cdot m_{Gj}$ oraz $B_{jF} = k \cdot a_j \cdot m_F$
- w których: a_j – średnie przyspieszenie lub opóźnienie ruchu jazdy; m_{Gj} – masa rozpatrywanej części dźwigni; k – współczynnik $k=1$ – dla dźwigni chwytakowych, z chwytakiem elektromagnetycznym lub sztywnym prowadzeniem ładunku; $k=0,5$ – dla dźwigni hakowych przy ładunku swobodnie zawieszonym naciągach; m_F – masa ładunku podwieszonoego równa udźwignowi, powiększona o masy urządzeń ładunkowych nie wliczonych do udźwigu [kg]

Wyznaczanie obciążeń – wybrane zagadnienia (cd)

Siły bezwładności - wywołane niestabilnymi ruchami jazdy (cd)

Średnie przyspieszenie przy rozruchu:

$$a_{jr} = \frac{M_r - w \cdot (G_j + F_Q)}{\sum m_{Gj} + m_F}$$

Średnie opóźnienie przy hamowaniu:

$$a_{jh} = \frac{M_h + w \cdot (G_j + F_Q)}{\sum m_{Gj} + m_F}$$

Gdy ruch rozpatrywanej części dźwigni jest uwarunkowany sprzężeniem ciernym, między napędzanymi kołami jezdnymi a szyną [uwaga: znak minus (-) dotyczy przypadku rozruchu, znak plus (+) hamowania]

$$a_j \leq \frac{\mu \cdot \sum P_{nap} \pm w \cdot (G_j + F_Q)}{\sum m_{Gj} + m_F}$$

Dla układów wodzakowych ze sprzężeniem poślizgowym:

$$a_j \leq \frac{\frac{M_{sp}}{r_k} \pm w \cdot (G_j + F_Q) \pm w_w \cdot F_Q}{\sum m_{Gj} + m_F}$$

F_Q – siła udźwigu

M_r – sumaryczny średni moment rozruchowy w zakresie od 0 do 90% nominalnej prędkości wszystkich silników napędzanych rozpatrywaną część dźwigni, odniesiony do osi kół napędzanych [Nm]

M_h – sumaryczny znamionowy moment hamujący hamulców mechanicznych lub moment hamujący silników elektrycznych rozpatrywanej części dźwigni, odniesiony do osi kół hamowanych (miarodajna wartością do obliczeń jest większy moment hamowania mechanicznego lub elektrycznego) [Nm]

r_k – promień koła napędzającego [m];

μ – współczynnik tarcia między kołem jezdny a szyną – w przypadku tarcia stal o stal, $\mu = 0,12$;

$\sum m_{Gj}$ – sumaryczna masa tych części dźwigni, które obciążają koła jezdne rozpatrywanej części dźwigni [kg]

$\sum P_{nap}$ – suma nacisków na koła napędzane (hamowane) rozpatrywanej części dźwigni, obliczona bez uwzględnienia sił dynamicznych, masowych i obciążenia wiatrem [N];

w – jednostkowy opór ruchu; $w = 0,01$ przy łożyskach tocznych, $w = 0,02$ przy łożyskach ślizgowych

w_w – jednostkowy opór wodzenia

M_{sp} – sumaryczny moment sprężel poślizgowych [Nm]

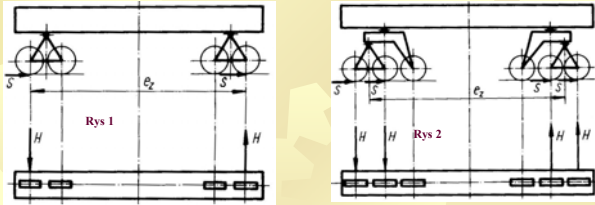
Wyznaczanie obciążeń – wybrane zagadnienia (cd)

Sily bezwładności - sily poziome ruchów torowych

- Sily boczne H (działają w punktach styku obrzeży kół jezdnych lub bocznych rolek prowadzących z szynami, a kierunek ich jest prostopadły do jazdy dźwigni)
- Sily wzdlużne S (działają w punktach styku kół jezdnych z szynami w kierunku jazdy dźwigni, przy czym na poszczególnych szynach mają przeciwne zwroty)

Gdy w punkcie podparcia ustroju nośnego jest więcej niż jedno koło, to przyjmuje się, że następujące działanie sil poziomych:

- gdy elementy w których osadzone są koła jezdne, nie mają możliwości obrotu w płaszczyźnie poziomej względem ustroju nośnego, wówczas mogą występować:
 - przy dwóch kołach jezdnych sily poziome działają tylko na koło zewnętrzne (rys 1)
 - przy trzech i więcej kołach jezdnych sily poziome działają na dwa koła zewnętrzne (rys 2)
- gdy elementy w których osadzone są koła jezdne, mają możliwość obrotu w płaszczyźnie poziomej względem ustroju nośnego, to sily poziome działają na wszystkie koła.



Punkty podparcia/podwieszenia ustrojów nośnych dźwignic

- Punkty podparcia nieprzesuwne A
- Punkty podparcia o nieograniczonym lub ograniczonym przesuwie B

Wyznaczanie obciążeń – wybrane zagadnienia (cd)

Systemy podparcia/podwieszenia ustrojów nośnych dźwignic

- System $A-A$: punkty podparcia na oby torach nieprzesuwne A , np. mosty suwnic pomostowych, natorowych, ramy wciągarek przejezdnych, bramy żurawi obrotowych
- System $A-B$: punkty podparcia na jednym torze typu A , a na drugim torze typu B ; np. mosty suwnic bramowych z podporą sztywną i wahlwią;
- System $B-B$: punkty podparcia na oby torach przesuwne typu A , np. mosty suwnic podwieszonych KBK

Sily poziome ruchów torowych w ustrojach nośnych systemu $A-A$ (rys 3)

- liczbowe wartości sil poziomych ruchów torowych H i S

$$H = k_A \cdot P_{\max} \cdot \frac{n}{n_H} \quad S = H \cdot \frac{e_z}{L}$$

gdzie:

L - rozpiętość ustroju nośnego [m]

e_z - zastępczy rozstaw punktów podparcia wg. rys. 1 lub 2 lub rozstaw poziomych rolek prowadzących [m]

P_{\max} - największy nacisk na koło obliczony przy uwzględnieniu obciążeń stałych, sil ciężkości elementów dźwigni zmieniających położenie względem kół dźwigni i sily udźwigu [N]

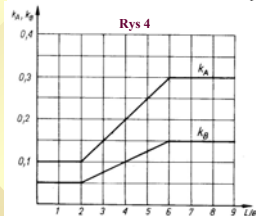
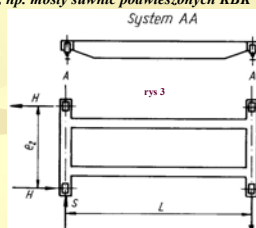
k_A - współczynnik zależny od stosunku L/e_z wg rys 4

n - liczba kół jezdnych w jednym punkcie podparcia ustroju nośnego dźwigni

n_H - liczba kół jezdnych w jednym punkcie podparcia ustroju nośnego dźwigni, na które działa sily boczna

Przy ręcznym napędzie mechanizmy jazdy dźwigni sily poziome obliczone wg. powyższych zależności należy obniżyć o połowę.

Gdy $L/e_z < 2$ oraz $L/e_z > 6$, to należy przyjąć odpowiednio że $L/e_z = 2$ lub $L/e_z = 6$



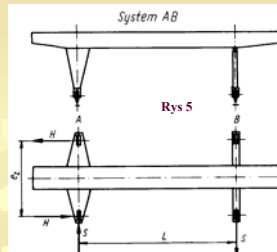
Wyznaczanie obciążeń – wybrane zagadnienia (cd)

Sily poziome ruchów torowych w ustrojach nośnych systemu $A-B$ (rys 5)

- liczbowe wartości sil poziomych ruchów torowych H i S

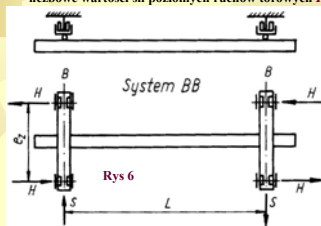
$$H = k_A \cdot P_{\max} \cdot \frac{n}{n_H} \quad S = H \cdot \frac{e_z}{L}$$

Sily boczne działają tylko na nieprzesuwne punkty podparcia A



Sily poziome ruchów torowych w ustrojach nośnych systemu $B-B$ (rys 6)

- liczbowe wartości sil poziomych ruchów torowych H i S



$$H = k_B \cdot P_{\max} \cdot \frac{n}{n_H} \quad S = 2 \cdot H \cdot \frac{e_z}{L}$$

Gdy $L/e_z < 2$ oraz $L/e_z > 6$, to należy przyjąć odpowiednio $L/e_z = 2$ lub $L/e_z = 6$

Przy ręcznym napędzie mechanizmy jazdy dźwigni (np. dla systemu KBK) sily poziome obliczone wg. powyższych zależności należy obniżyć o połowę.

Wyznaczanie obciążeń – wybrane zagadnienia (cd)

Obciążenia zmienne - wywołane wiatrem wg. pkt. 4.2 PN/M-06514

Obliczane dla stanu roboczego i stanu spoczynku, oraz przy założeniu warunku, że wiatr wieje poziomo, z kierunku dającego najbardziej niekorzystne obciążenia dźwigni lub jej części.

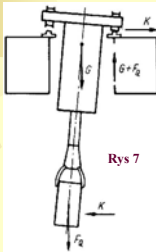
Obciążenia wyjątkowe

- **siły uderzenia o odbój U** – należy wyznaczyć przyjmując energię kinetyczną odpowiadającą
 1. nominalnej prędkości jazdy rozpatrywanej części dźwigni w przypadku, gdy skrajne położenia nie są kontrolowane wyłącznikiem krańcowym
 2. połowie nominalnej prędkości jazdy rozpatrywanej części dźwigni w przypadku, gdy skrajne położenia są kontrolowane wyłącznikiem krańcowym

Uwaga: przy wyznaczaniu sił uderzenia o odbój należy uwzględnić charakterystykę zderzaków i sprężystość ustroju nośnego. Masę ładunku podnoszonego, w przypadku gdy jest on swobodnie zawieszony naciągach należy pominąć.

- **siły uderzenia o przeszkodę sztywnie prowadzonym ładunkiem K**

należy wyznaczyć z warunku równowagi wg. rys 7 przyjmując, że siła ta działa na wysokości poziomu roboczego hali lub przeszkody. Siła uderzenia o przeszkodę nie powinna przekraczać $\frac{1}{4}$ sumy siły ciężkości wciągarki i siły udźwigu.



Rys 7

Obciążenia zmienne

- wywołane nieprawidłową eksploatacją – np. ukośnym ciągnięciem ładunku (wg. w/w PN pkt 4.3.3 niedopuszczalne !!!)
- montażowe – zależnie od warunków montażu !!! (wg. w/w PN pkt 4.3.4)
- wpływ zmiany temperatury – uwzględniany jest w przypadkach szczególnych, np. dla ustrojów statycznie niewyznaczalnych lub gdy zachodzi możliwość nierównomiernego rozkładu temperatury w poszczególnych częściach dźwigni (współczynnik rozszerzalności liniowej stali $\alpha_s = 0,000014/1^\circ\text{C}$ dla temperatury odniesienia $+20^\circ\text{C}$)

Współczynniki obciążenia

Współczynniki obciążenia

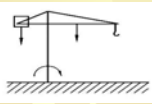
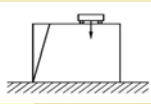
γ_f – definiowane są w zależności od rodzaju obciążenia i grupy natężenia pracy ustroju nośnego

Grupa natężenia pracy ustroju nośnego	Współczynnik obciążenia γ_f			
	Obciążenia stałe ¹⁾ γ_{f1}	Obciążenia ruchowe ²⁾ γ_{f2}	Obciążenia wiatrem stanu roboczego i stanu spoczynkowego dźwigni γ_{f3}	Obciążenia wyjątkowe γ_{f4}
1U; 2U; 3U	1,10 (0,90) ³⁾	1,10	1,10	1,00
4U		1,15		
5U		1,20		
6U		1,25		

¹⁾ łącznie z siłami ciężkości elementów dźwigni zmieniających położenie względem rozpatrywanej części ustroju

²⁾ bez uwzględnienia obciążeń jak wyżej

³⁾ wartość $\gamma_f < 1$ należy stosować wówczas, gdy zmniejszenie obciążenia powoduje zmniejszenie bezpieczeństwa ustroju nośnego dźwigni



a) dźwignie o klasie rozkładu masy MDC1

b) dźwignie o klasie rozkładu masy MDC2

Kojarzenia obciążeń

Kojarzenie obciążeń dla przypadku W (wytrzymałości) wg PN/M-06515

Wymagane jest uwzględnienie wszystkich równocześnie działających obciążeń obliczeniowych dla najbardziej niekorzystnych położenia, jakie mogą wystąpić w stanie roboczym dźwigni, w stanie spoczynku lub przy obciążeniach wyjątkowych stan roboczy dźwigni:

- największa siła dynamiczna podnoszenia kojarzona z siłami dynamicznymi ruchów torowych, siłami bezwładności i siłami poziomymi ruchów torowych
 - przy kojarzeniu kilku ruchów roboczych należy zawsze uwzględnić ruch podnoszenia, przy przeciętnej sile dynamicznej podnoszenia, z pozostałych ruchów jeden tylko należy przyjąć jako nieustalony
 - siły poziome ruchów torowych nie mogą być kojarzone z siłami bezwładności
 - w każdym kojarzeniu należy uwzględnić obciążenie wiatrem stanu roboczego dźwigni
- stan spoczynku dźwigni: w przypadku braku specjalnych urządzeń regulujących lub samonaprowadzających, ruchome części dźwigni należy umieszczać w położeniu najmniej korzystnym z punktu widzenia obciążenia wiatrem
- obciążenia wyjątkowe: na dźwignię może działać tylko jedno obciążenie wyjątkowe, które należy kojarzyć z obciążeniami stałymi, siłą udźwigu i siłami ciężkości elementów zmieniających położenie (nie uwzględnia się obciążenie wiatrem)

Kojarzenia obciążeń

Kojarzenie obciążeń dla przypadku T (trwałość) wg PN/M-06515

Przy kojarzeniu obciążeń z warunku T należy uwzględnić obciążenie charakterystyczne w położeniach odpowiadających największym i najmniejszym naprężeniom w rozpatrywanym elemencie ustroju nośnego i przy takim ich skojarzeniu, jakie najczęściej występuje w czasie eksploatacji dźwigni.

- a) stan roboczy dźwigni:
 - nie uwzględnia się największej siły dynamicznej
 - przeciętna siła dynamiczna podnoszenia nie może być kojarzona z siłami dynamicznymi ruchów torowych, siłami bezwładności i siłami poziomymi ruchów torowych
 - przy kojarzeniu kilku ruchów roboczych jeden tylko należy przyjąć jako ruch nieustalony i w przypadku tym nie uwzględniać sił poziomych ruchów torowych
- b) stan spoczynku i obciążenia wyjątkowe dźwigni:
 - warunku trwałości nie sprawdza się przy obciążeniu wiatrem w stanie w spoczynku dźwigni i przy obciążeniach wyjątkowych.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

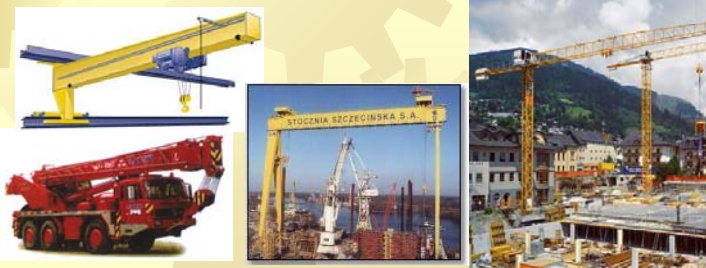
.....

.....

.....

Przykłady zaszeregowania ustrojów nośnych dźwigni do grup natężenia pracy

Lp	Rodzaj i przeznaczenie dźwigni	Grupa natężenia pracy ustroju nośnego
1	Dźwignice z napędem ręcznym	1U
2	Żurawie montażowe przenośne, suwnice remontowe	2U – 3U
3	Dźwignice montażowe i remontowe w halach maszyn	3U – 4U
4	Żurawie budowlane wieżowe	3U – 4U
5	Żurawie jezdniowe samochodowe i samojezdne	3U-5U
6	Dźwignice warsztatowe	4U- 5U
7	Dźwignice do obsługi magazynów, przeladunku kontenerów	4U – 5U
8	Dźwignice stoczniowe i dokowe	3U – 5U
9	Suwnice kuzienne, walcownicze, kleszczowe, wypychowe, wsadowe, kafarowe	6U



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

