

## 2.1. Obciążenia belek podsuwnicowych

### 2.1.1. Rodzaje obciążeń

W postanowieniach Eurokodu [N2] wprowadzono wiele zmian dotyczących określania obciążeń belek podsuwnicowych od oddziaływań statycznych i dynamicznych suwnic w stosunku do praktyki inżynierskiej dotychczas ujmowanej normą PN-86/B-02005. Podstawową nowością są rozbudowane zasady obliczania oddziaływań poziomych suwnicy spowodowane efektami przyspieszania lub opóźniania, napędzania i ukosowania mostu suwnicy. Różne reprezentatywne wartości oddziaływań zmiennych od suwnic są wartościami charakterystycznymi, które składają się z części statycznej i dynamicznej.

Oddziaływania dynamiczne, wywołane różnymi obciążeniami, są uwzględnione dzięki stosowaniu współczynników dynamicznych  $\varphi$ , przez które mnoży się siły ciężkości mas i siły bezwładności wyznaczone z dynamiki ciała sztywnego.

Obciążenia działające na suwnice i tory jezdne to:

- obciążenia regularne,
- obciążenia nieregularne,
- obciążenia wyjątkowe,
- obciążenia różne.

**Obciążenia regularne** występują podczas eksploatacji, należy je uwzględniać w obliczeniach zapobiegających powstawaniu uszkodzeń spowodowanych uplastycznieniem, niestatecznością sprężystą i pęknięciami zmęczeniowymi. Obciążenia te powstają pod wpływem grawitacji, przyspieszeń lub hamowań, które oddziałują na poszczególne masy i ładunek w stanach nieustalonych.

**Obciążenia nieregularne** występują sporadycznie i zwykle są pomijane w obliczeniach zmęczeniowych. Obejmują one obciążenia spowodowane działaniem wiatru w stanie roboczym, śniegu i oblodzenia, temperatury i ukosowania dźwignicy.

**Obciążenia wyjątkowe** są sporadyczne i zwykle pomijane w obliczeniach zmęczeniowych. Obejmują one obciążenia próbne, działanie wiatru w stanie burzowym, siły wywołane uderzeniem w zderzaki i wychyleniem, a także nagłym wyłączeniem dźwignicy, uszkodzeniem mechanizmów napędowych i zewnętrznym oddziaływaniem na podłoże dźwignicy (oddziaływanie sejsmiczne).

**Obciążenia różne** dotyczą obciążeń powstających podczas montażu i demontażu oraz obciążeń od obciążeń podestów i dojsć. Jednoczesne działanie różnych składników obciążenia suwnicy uwzględnia się za pomocą grup oddziaływań traktowanych jako pojedyncze charakterystyczne obciążenia, z których tworzy się kombinacje obciążeń.

### 2.1.2. Efekty oddziaływań suwnic na belkę podsuwnicową

Dla stanu granicznego zniszczenia wewnętrznego lub nadmiernych ugięć (ULS-STR) obliczeniowy efekt kombinacji oddziaływań w przypadku trwałych sytuacji obliczeniowych będzie miał postać:

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j} \right\}, \quad (2.1)$$

gdzie:  $\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$  – łączne niekorzystne oddziaływanie stałe,  $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$  – wiodące oddziaływanie zmienne,  $\sum_{j > 1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$  – łączny efekt towarzyszących oddziaływań zmiennych.

W kombinacjach obciążeń belek podsuwnicowych zaleca się przyjmować:

$$\gamma_{G,j} = 1,35, \quad \gamma_{Q,1} = 1,5, \quad \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35. \quad (2.2)$$

Reprezentatywne obciążenia stałe  $G_{k,j}$  są składowymi obciążeniami od ciężarów własnych belek podsuwnicowych, stężeń belek, chodników.

W normalnych warunkach użytkowania oddziaływania zmienne  $Q_{k,i}$  wywołane suwnicami zależą od zmienności w czasie i zmienności położenia. Obejmują one obciążenia grawitacyjne łącznie z ciężarem podnoszonym, siłą bezwładności spowodowaną przyspieszeniem (opóźnieniem), ukosowaniem i innymi wpływami dynamicznymi.

Oddziaływania zmienne od dźwignic dzieli się na:

- pionowe oddziaływania zmienne spowodowane ciężarem własnym suwnicy  $Q_c$ , ciężarem własnym wózka  $Q_t$  i ciężarem podnoszonym  $Q_h$ ,
- poziome oddziaływania zmienne dźwignicy spowodowane przyspieszeniem lub opóźnieniem ( $H_L$ ,  $H_T$ ) albo ukosowaniem  $H_S$ .

Tablica 2.1. Współczynniki dynamiczne  $\varphi_i$ 

Współczynniki dynamiczne $\varphi_i$	Uwzględniane efekty	Zastosowanie
$\varphi_1$	wzbudzenie konstrukcji dźwignicy spowodowane poderwaniem ładunku z podłoża	ciężar własny
$\varphi_2$ albo $\varphi_3$	wpływy dynamiczne podnoszenia ładunku z podłoża ku dźwignicy lub wpływy dynamiczne nagłego zwolnienia ładunku, jeżeli używane są np. chwytaki lub chwytaki elektromagnetyczne	ciężar podnoszony
$\varphi_4$	wpływy dynamiczne występujące podczas jazdy po szynach lub po torach jezdnych	ciężar własny dźwignicy i ciężar podnoszony
$\varphi_5$	wpływy dynamiczne spowodowane przez siły napędu	siły napędu
$\varphi_6$	wpływy dynamiczne obciążenia próbnego poruszanego przez napędy w sposób używany w dźwignicy	obciążenie próbne
$\varphi_7$	dynamiczne sprężyste wpływy uderzenia w zderzaki	siły uderzenia w zderzaki

Ciężar własny  $Q_c$  uwzględnia masę dźwignicy, łącznie z tymi częściami, które zawsze występują podczas pracy, z wyjątkiem ładunku użytecznego.

Ciężar od masy ładunku brutto  $Q_h$  składa się z masy ładunku użytecznego oraz mas elementów chwytanych i odcinków cięgien, na których ten ładunek jest zawieszony.

Różne reprezentatywne wartości oddziaływań zmiennych  $Q_{h,i}$  od suwnic są wartościami charakterystycznymi, złożonymi z części statycznej i dynamicznej.

Składniki dynamiczne wywołane drganiami powstałymi pod wpływem sił bezwładności lub tłumienia są opisywane za pomocą współczynników dynamicznych  $\varphi_i$  zestawionych w tablicy 2.1.

Współczynniki od  $\varphi_1$  do  $\varphi_4$  są stosowane do określenia składowych dynamicznych obciążeń pionowych kół suwnicy. Współczynnik  $\varphi_5$  jest stosowany do określania składowych dynamicznych obciążeń poziomych. Współczynnik dynamiczny  $\varphi_6$  jest stosowany do określania pionowych obciążeń próbnych, działających na belki podsuwnicowe. Współczynnik  $\varphi_7$  jest stosowany do określenia poziomych składowych dynamicznych obciążeń wyjątkowych.

Obciążenie wyjątkowe powstaje wskutek uderzeń suwnic lub wózków suwnic w zderzaki albo kolizji urządzeń chwytających z przeszkodami (siły wywołane wychyleniem). Obciążenia wyjątkowe od uderzeń są wykorzystywane do obliczania kołków odbojowych suwnic lub wózków.

### 2.1.3. Współczynniki dynamiczne

Do obliczenia obciążeń belki podsuwnicowej dla trwałej lub przejściowej sytuacji obliczeniowej należy zgodnie z normą [N2] określić wartości pięciu współczynników dynamicznych:  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ ,  $\varphi_4$  i  $\varphi_5$ .

Współczynniki  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  i  $\varphi_4$  stosowane do obciążeń pionowych zestawiono w tablicy 2.2.

Tablica 2.2. Współczynniki dynamiczne  $\varphi_i$  do obciążeń pionowych

$\varphi_i$	Wartości współczynników dynamicznych $\varphi_i$
$\varphi_1$	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ Wartości 1,1 i 0,9 odzwierciedlają odpowiednio górną i dolną wartość pulsacyjną.
$\varphi_2$	$\varphi_2 = \varphi_{2min} + \beta_2 v_h$ , gdzie: $v_h$ – ustalona prędkość podnoszenia w m/s, $\varphi_{2min}$ i $\beta_2$ (tabl. 2.3).
$\varphi_3$	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$ , gdzie: $\Delta m$ – zwolniona lub zrzucana część podnoszonego ładunku, $m$ – całkowita masa podnoszonego ładunku, $\beta_3 = 0,5$ dla suwnic wyposażonych w chwytaki lub podobne urządzenia zwalniające powoli, $\beta_3 = 1,0$ dla suwnic wyposażonych w magnesy lub podobne urządzenia zwalniające szybko.
$\varphi_4$	$\varphi_4 = 1,0$ , jeżeli zachowane są tolerancje dla szyn torów jezdnych podane w EN 1993-6.

**Uwaga.** Jeżeli tolerancje dla szyn toru określone w EN 1993-6 nie są dotrzymane, to współczynnik dynamiczny  $\varphi_4$  można wyznaczyć na podstawie modelu przedstawionego w EN 13001-2.

#### Współczynnik dynamiczny $\varphi_1$

Współczynnik dynamiczny  $\varphi_1$  stosuje się w celu zwiększenia obciążeń od pionowych nacisków kół pochodzących od ciężaru własnego suwnicy i wózka suwnicy wraz z wciągarką. Wartość tego współczynnika przyjmuje się z przedziału

$$0,9 \leq \varphi_1 \leq 1,1. \quad (2.3)$$

Wartość mniejszą od jedności przyjmuje się do określania stanów stateczności położenia dźwignicy, a górną (1,1) do obliczania stanu nośności belki podsuwnicowej.



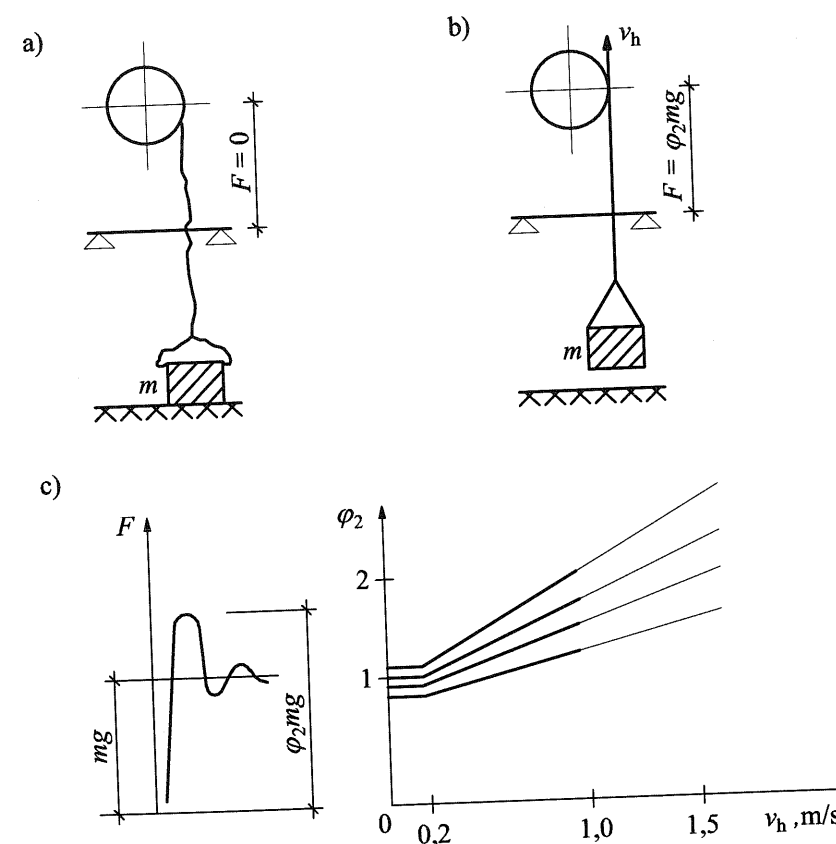
### Współczynnik dynamiczny $\varphi_2$

Współczynnik  $\varphi_2$  zwiększa wartości składowych nacisków pionowych kół od podnoszonych ładunków (udźwigu), uwzględniając siły bezwładności związane z podnoszeniem z podłoża ładunku.

Wartość współczynnika dynamicznego  $\varphi_2$  oblicza się ze wzoru:

$$\varphi_2 = \varphi_{2\min} + \beta_2 v_h, \quad (2.4)$$

w którym:  $v_h$  – ustalona prędkość podnoszenia ładunku w m/s,  $\varphi_{2\min}$  i  $\beta_2$  – parametry zależne od klasy podnoszenia (rys. 2.1). Wartości tych parametrów podano w tablicy 2.3.



Rys. 2.1. Zasady określania wpływu współczynnika  $\varphi_2$ : a) ładunek w spoczynku, b) ładunek podnoszony z ustaloną prędkością, c) wartości współczynnika  $\varphi_2$  w funkcji prędkości podnoszenia

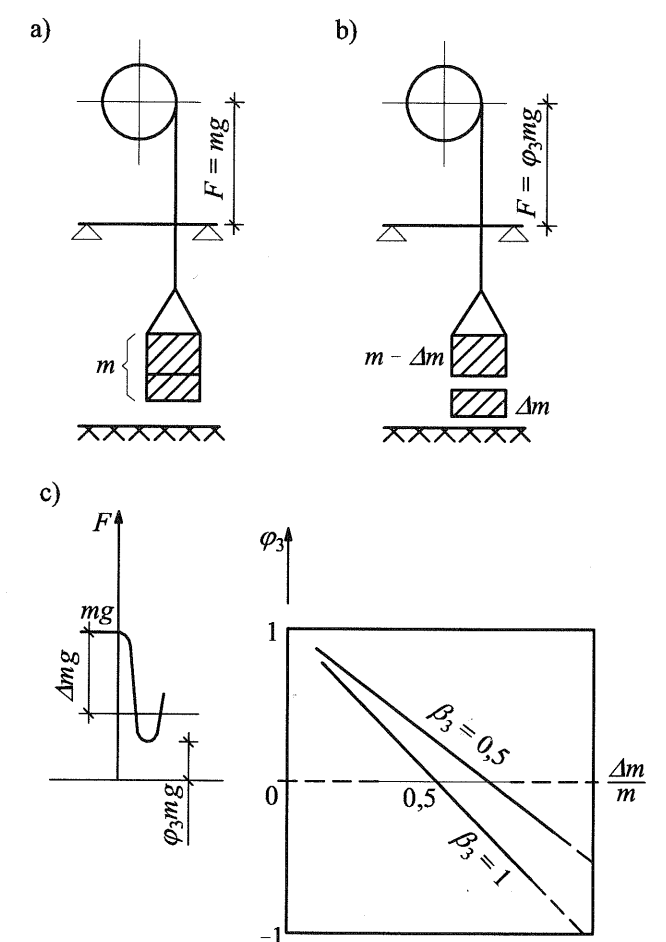
Tablica 2.3. Wartości współczynników  $\beta_2$  i  $\varphi_{2\min}$  w zależności od klasy podnoszenia suwnicy

Klasa podnoszenia suwnicy	$\beta_2$	$\varphi_{2\min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

### Współczynnik dynamiczny $\varphi_3$

Współczynnik dynamiczny  $\varphi_3$  utrzymuje lub zmniejsza składową nacisku kół od ciężaru podnoszonego (ładunku) (rys. 2.2). Oblicza się go ze wzoru:

$$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3), \quad (2.5)$$



Rys. 2.2. Zasada określania współczynnika  $\varphi_3$ : a) dźwignica z ładunkiem użytecznym, b) dźwignice w stanie zwolnienia części ładunku, c) wartości współczynnika  $\varphi_3$

gdzie:  $\Delta m$  – zwolniona lub zrzucona część masy ładunku,  $m$  – całkowita masa podnoszonego ładunku,  $\beta_3 = 0,5$  dla suwnic z chwytakami lub podobnymi zawieszami zwalniającymi ładunek powoli,  $\beta_3 = 1$  dla suwnic wyposażonych w magnesy.

#### Współczynnik dynamiczny $\varphi_4$

Jazda dźwignicy z ładunkiem lub bez ładunku po torach szynowych o określonej charakterystyce geometrycznej i podatności wywołuje drgania kół, które zależą od konstrukcji dźwignicy (rozkładu mas, sprężystości konstrukcji i podłoża lub jego zawieszenia), prędkości jazdy i średnicy kół. Wpływ jazdy na dynamiczne obciążenia dźwignicy uwzględnia współczynnik  $\varphi_4$ , który stosuje się do pionowych nacisków kół od składowych ciężaru własnego suwnicy, ciężaru własnego wózka i ciężaru podnoszonego ładunku.

Wartość współczynnika  $\varphi_4 = 1$ , jeśli zachowane są tolerancje dla szyn torów jezdnych podane w normie [N8].

#### Współczynnik dynamiczny $\varphi_5$

Współczynnik dynamiczny  $\varphi_5$  jest stosowany do obliczania wartości sił poziomych prostopadłych do toru  $H_{T,i}$  i równoległych do toru  $H_{L,i}$ . Wartość tego współczynnika może być podana przez wytwórcę suwnicy. Zgodnie z normą [N2] wartości tego współczynnika można przyjmować następująco:

$$\begin{aligned} \varphi_5 &= 1,0 && \text{dla torów zakrzywionych,} \\ 1 \leq \varphi_5 \leq 1,5 &&& \text{dla układów, w których siły zmieniają się łagodnie,} \\ 1,5 \leq \varphi_5 \leq 2,0 &&& \text{dla układów, w których siły zmieniają się gwałtownie,} \\ \varphi_5 &= 3,0 && \text{dla napędów ze znacznymi luzami.} \end{aligned} \quad (2.6)$$

#### Współczynnik dynamiczny $\varphi_6$

Współczynnik dynamiczny  $\varphi_6$  stosuje się do obliczania obciążeń próbných suwnicy. Do dynamicznego obciążenia próbnego przyjmuje się:

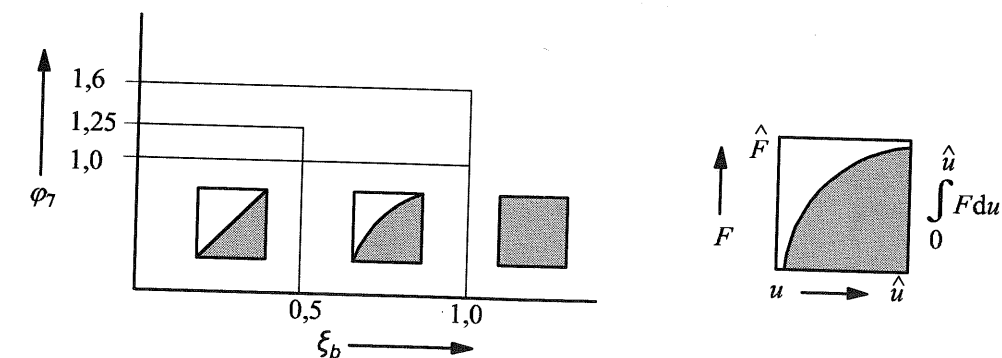
$$\varphi_6 = 0,5 (1 + \varphi_2), \quad (2.7a)$$

a do statycznego obciążenia próbnego

$$\varphi_6 = 1,0. \quad (2.7b)$$

#### Współczynnik dynamiczny $\varphi_7$

Współczynnik dynamiczny  $\varphi_7$  stosuje się do obliczania obciążenia wyjątkowego, spowodowanego uderzeniem suwnicy w zderzaki.



Rys. 2.3. Zasada wyznaczania współczynnika  $\varphi_7$  w zależności od charakterystyki zderzaka

Wartości współczynnika dynamicznego  $\varphi_7$  przyjmuje się następująco:

$$\begin{aligned} \varphi_7 &= 1,25, \quad 0,0 \leq \xi_b \leq 0,5, \\ \varphi_7 &= 1,25 + 0,7 (\xi_b - 0,5), \quad 0,5 \leq \xi_b \leq 1,0. \end{aligned} \quad (2.7c)$$

Zależność wartości współczynnika  $\varphi_7$  od parametru  $\xi_b$  przedstawiono na rysunku 2.3.

Przyporządkowanie odpowiednich współczynników dynamicznych kombinacjom obciążeń zgodnie z normą [N1] podano w tablicy 2.4 na stronie 40.

Dla trwałej lub przejściowej sytuacji obliczeniowej i stanu granicznego zniszczenia wewnętrznego lub nadmiernych ugięć belki (STR) istotne znaczenie mają wartości pięciu pierwszych grup obciążeń z tablicy 2.4.

#### 2.1.4. Kombinacje obciążeń od pionowych nacisków kół suwnicy

Wartości charakterystyczne obciążeń pionowych od ciężaru własnego suwnicy  $G_c$  i ciężaru podnoszonego  $Q_h$  należy przyjmować na podstawie wartości nominalnych podanych przez producenta suwnicy. Oddziaływania pionowe kół suwnic na belki toru jezdneho wyznacza się na podstawie układów obciążeń pokazanych na rysunku 2.4 i kombinacji grup obciążeń charakterystycznych z tablicy 2.4.

Minimalne oddziaływanie kół suwnic można określać następująco:

- kombinacje grup obciążeń 1 i 2 według tablicy 2.4
  - minimalne oddziaływanie kół suwnicy bez ładunku przy maksymalnym zbliżeniu wózka do lewego toru:

$$Q_{r,\min} = \frac{\varphi_1 (G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_1 G_t (L - e_{\min})}{nL}, \quad (2.8)$$

gdzie:  $n$  – liczba kół suwnic na lewym lub prawym torze,  $L$  – rozpiętość mostu suwnicy;

**Tablica 2.4.** Grupy oddziaływań i współczynniki dynamiczne do wyznaczania charakterystycznych oddziaływań suwnicy [N2]

	Rodzaj (pochodzenie) oddziaływań	Symbol	Punkt normy	Grupy obciążeń									
				stan graniczny nośności							obciążenia próbne	wyjątkowe	
				1	2	3	4	5	6	7		9	10
1	Ciężar własny suwnicy	$Q_c$	2,6	$\varphi_1$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	1	$\varphi_1$	1	1
2	Ciężar podnoszony	$Q_h$	2,6	$\varphi_2$	$\varphi_3$	—	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\eta^{(1)}$	—	1	1
3	Przyspieszenie mostu suwnicy	$H_L, H_T$	2,7	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	—	—	—	$\varphi_5$	—	—
4	Zukosowanie mostu suwnicy	$H_S$	2,7	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
5	Przyspieszenie lub hamowanie wózka lub bloku wciąg-nika	$H_{T3}$	2,7	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
6	Wiatr w stanie roboczym suwnicy	$F_W$	Załącznik A	1	1	1	1	1	—	—	1	—	—
7	Obciążenie próbne	$Q_T$	2,10	—	—	—	—	—	—	—	$\varphi_6$	—	—
8	Siły uderzenia w zderzaki	$H_B$	2,11	—	—	—	—	—	—	—	—	$\varphi_7$	—
9	Siły wywołane wychyleniem	$H_{TA}$	2,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1

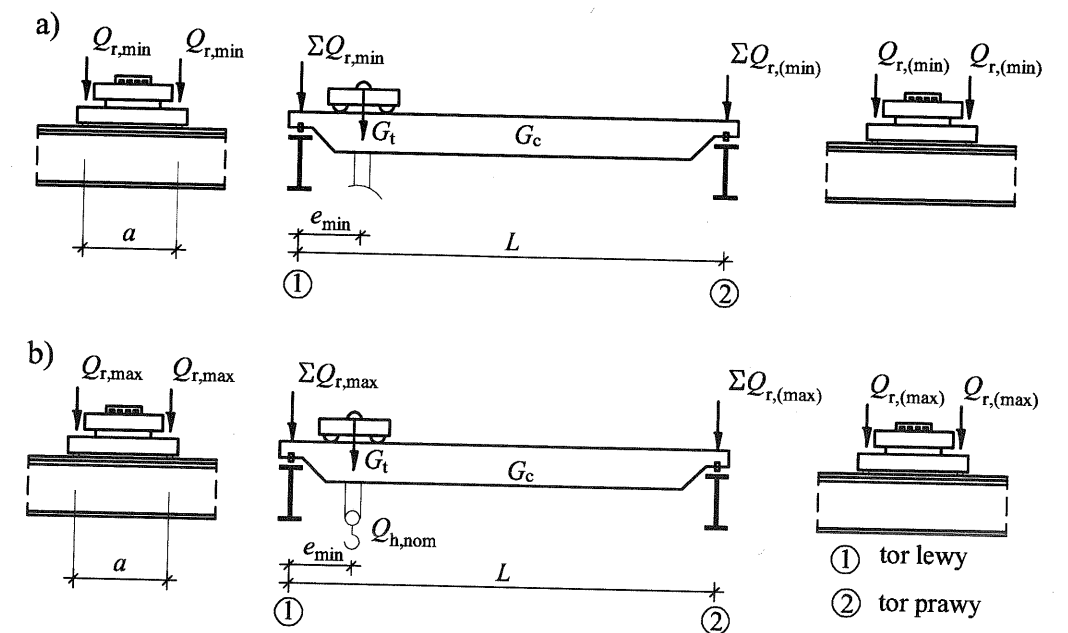
**Uwaga.** Wiatr w stanie spoczynku suwnicy [N3].

<sup>1)</sup>  $\eta$  wyraża stosunek ciężaru podnoszonego, który pozostaje na suwnicy po zwolnieniu ładunku, ale nie jest wliczony do ciężaru własnego suwnicy, do ciężaru całkowitego.

– minimalne dopełniające oddziaływanie kół suwnic (na prawym torze):

$$Q_{r,(min)} = \frac{\varphi_1 (G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_1 G_t e_{min}}{nL}, \quad (2.9)$$

- kombinacja grup obciążeń 3 według tablicy 2.4
  - minimalne wartości obciążeń można obliczyć zgodnie ze wzorami (2.8) i (2.9), przyjmując w nich  $\varphi_1 = 1$ ,



**Rys. 2.4.** Oddziaływania pionowe kół suwnicy: a) minimalne oddziaływanie pionowe kół od ciężaru własnego suwnicy i wózka, b) maksymalne oddziaływanie pionowe kół od ciężaru własnego suwnicy z ładunkiem

- kombinacja grup obciążeń 4 i 5 według tablicy 2.4
  - minimalne wartości obciążeń można obliczyć zgodnie ze wzorami (2.8) i (2.9), przyjmując w nich zamiast  $\varphi_1$  współczynnik  $\varphi_4$ .

Maksymalne oddziaływanie kół suwnicy z ładunkiem (rys. 2.4b) można określać następująco:

- kombinacja grup obciążeń 1 według tablicy 2.4
  - maksymalne oddziaływanie koła suwnicy przy zbliżeniu haka do lewego toru:

$$Q_{r,max} = Q_{r,min} + \frac{\varphi_2 Q_{h,nom} (L - e_{min})}{nL}, \quad (2.10)$$

– maksymalne dopełniające oddziaływanie koła (na prawym torze):

$$Q_{r,(max)} = Q_{r,(min)} + \frac{\varphi_2 Q_{h,nom} e_{min}}{nL}, \quad (2.11)$$

- kombinacja grup obciążeń 2
  - maksymalne oddziaływania  $Q_{r,max}$  i  $Q_{r,(max)}$  można obliczać zgodnie ze wzorami (2.10) i (2.11), przyjmując w nich zamiast współczynnika dynamicznego  $\varphi_2$  współczynnik  $\varphi_3$ ,



- kombinacje grup obciążeń 4 i 5 według tablicy 2.4:

$$Q_{r,\max} = \frac{\varphi_4 (G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_4 (G_t + Q_{h,\text{nom}}) (L - e_{\min})}{nL}, \quad (2.12)$$

$$Q_{r,(\max)} = \frac{\varphi_4 (G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_4 (G_t + Q_{h,\text{nom}}) e_{\min}}{nL}. \quad (2.13)$$

### 2.1.5. Siły poziome podłużne $H_{L,i}$ i poprzeczne $H_{T,i}$ spowodowane przyspieszeniem lub opóźnieniem jazdy suwnicy

Siły poziome  $H_{L,i}$  i  $H_{T,i}$  spowodowane są przyspieszeniem lub opóźnieniem jazdy suwnicy.

Powstające na styku szyny i koła napędzanego suwnicy (rys. 2.5) siły poziome  $H_{L,i}$  (rys. 2.5b) można obliczyć następująco:

$$H_{L,i} = \varphi_5 K \frac{1}{n_r}, \quad (2.14)$$

gdzie:  $n_r$  – liczba torów jezdnych,  $\varphi_5$  – współczynnik dynamiczny (2.6),  $i = 1, 2$ , tor 1 lub tor 2, siła napędu suwnicy

$$K = K_1 + K_2 = \mu \sum Q_{r,\min}, \quad (2.15)$$

gdzie:  $\mu$  – współczynnik tarcia koła o szynę,  $\sum Q_{r,\min} = m_w Q_{r,\min}$  dla koła napędzanego,  $\sum Q_{r,\min} = Q_{r,\min} + Q_{r,(\min)}$  dla centralnego napędu kół,  $m_w$  – liczba kół napędzanych.

Siła napędu suwnicy  $K$  (rys. 2.5) może być podana przez dostawcę suwnicy.

Siły poziome poprzeczne  $H_{T,i}$  można obliczyć następująco:

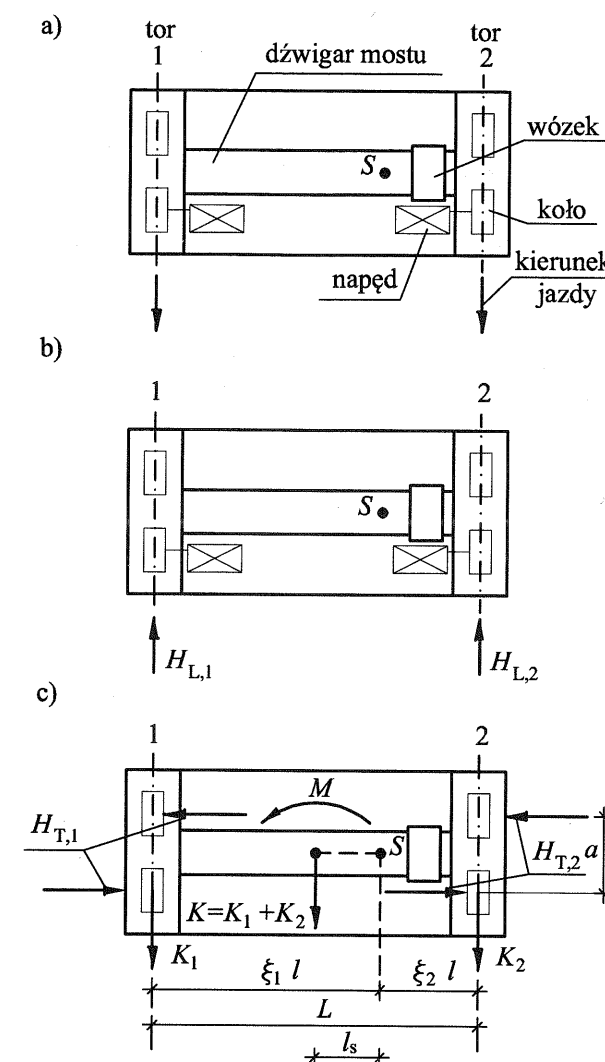
$$H_{T,1} = \varphi_5 \xi_2 \frac{M}{a}, \quad H_{T,2} = \varphi_5 \xi_1 \frac{M}{a}, \quad (2.16)$$

gdzie:  $\varphi_5$  – współczynnik dynamiczny,

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r}, \quad \xi_2 = 1 - \xi_1, \quad (2.17)$$

$$\sum Q_{r,\max} = 2Q_{r,\max}, \quad \sum Q_r = 2(Q_{r,\max} + Q_{r,(\max)}),$$

moment napędu  $M = Kl_s$ ,  $l_s = (\xi_1 - 0,5)L$ ,  $L$  – rozpiętość mostu suwnicy,  $l_s$  – odległość środka ciężkości układu  $S$  od osi jazdy.



Rys. 2.5. Schematy elementów suwnicy pomostowej: a) schemat elementów suwnicy, b) siły poziome podłużne  $H_{L,i}$ , c) siły poziome poprzeczne  $H_{T,i}$

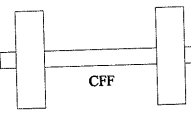
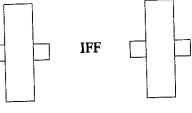
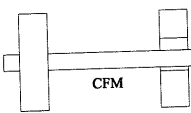
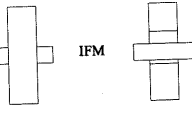
### 2.1.6. Obciążenia poziome spowodowane zukosowaniem suwnicy na torze jezdny

Obciążenia poziome spowodowane zukosowaniem wyznacza się dla dźwignic na kołach stalowych, które są prowadzone po szynach za pomocą rolek lub obrzeży kół jezdnych i poruszają się ruchem ustalonym. Obciążenia te wynikają z reakcji szyn na działanie kół jezdnych odchylonych od naturalnego kierunku toczenia. W celu ich określenia opracowuje się model fizyczny i model matematyczny. Zakłada się, że

dźwignica porusza się ze stałą prędkością i bez ograniczników zukosowuje się. Model mechanizmu (rys. 2.6a) składa się z szeregowo ustawionych  $n$  par kół jezdnych, z których  $p$  jest sprzęgniętych. Poszczególne pary kół mogą być sprzęgnięte (C) między sobą mechanicznie lub elektrycznie lub mogą być zamontowane niezależnie (I) od siebie. W tym modelu koła są osadzone w pozycji idealnej pod względem geometrycznym, w sztywnej konstrukcji mechanizmu jazdy i poruszają się po sztywnych torach.

W przyjętym modelu nie uwzględniono różnych tolerancji wymiarowych średnic kół jezdnych. Koła jezdne, z uwagi na możliwe przesunięcia poprzeczne, mogą być ustalone (F) lub przesuwne (M). Możliwe układy par kół jezdnych mechanizmów jazdy dźwignicy pokazano w tablicy 2.5.

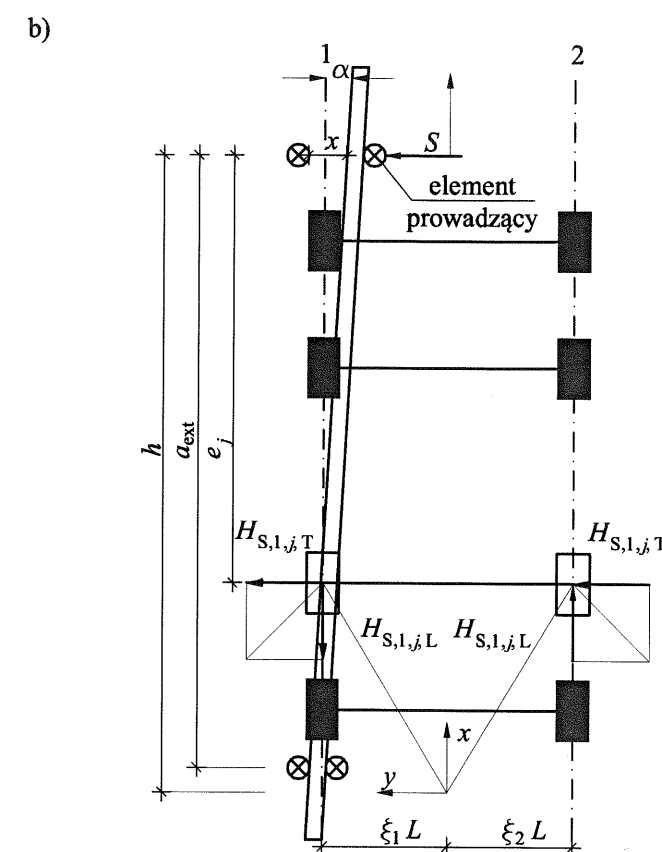
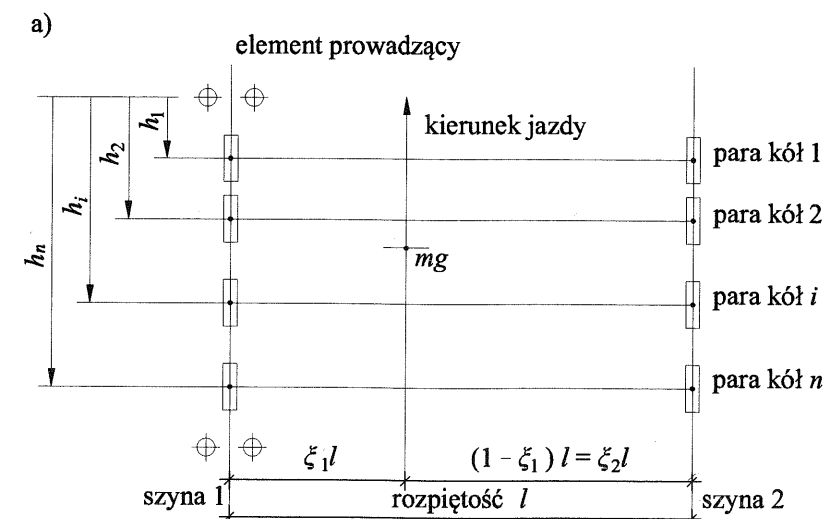
Tablica 2.5. Układy par kół jezdnych mechanizmów jazdy suwnicy [N2] i wzory na obliczanie odległości  $h$

Ustawienie kół ze względu na ruchy boczne	Kombinacje par kół		$h$
	sprzęgnięte (C)	niezależne (I)	
umocowane/umocowane FF			$\frac{m\xi_1\xi_2 L^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
umocowane/przesuwne FM			$\frac{m\xi_1 L^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$

gdzie:  
 $h$  – odległość między chwilowym środkiem obrotu a odpowiednimi elementami prowadzącymi,  
 $m$  – liczba par sprzęgniętych kół ( $m = 0$  dla par kół niezależnych),  
 $\xi_1 L$  – odległość chwilowego środka obrotu od szyny 1,  
 $\xi_2 L$  – odległość chwilowego środka obrotu od szyny 2,  
 $L$  – rozpiętość,  
 $e_j$  – odległość pary kół  $j$  od odpowiednich elementów prowadzących.

Na rysunku 2.6a wymiarem  $h_i$  oznaczono odległości między poszczególnymi parami kół jezdnych a pierwszym elementem prowadzącym mechanizmu w kierunku jazdy dźwignicy. Gdy koła jezdne są z obrzeżami, spełniają również rolę elementów prowadzących ( $h_i = 0$ ). W modelu założono, że siły ciężkości wywołane masami obciążonej dźwignicy ( $mg$ ) działają w odległości  $\xi L$  od szyny 1 i są rozmieszczone równomiernie na  $n$  kół po każdej stronie toru jezdnej dźwignicy.

Obciążenia poziome  $H_s$  składają się z siły prowadzącej  $S$ , generowanej przez element prowadzący (rys. 2.6b) i z dwu sił poziomych ( $H_{S,i,j,T}$ ,  $H_{S,i,j,L}$ ), oddziałujących na szynę przez jedno koło suwnicy.



Rys. 2.6. Model położenia kół suwnicy na torze: a) model par kół jezdnych w mechanizmie jazdy suwnicy [N2], b) definicja kąta ukosowania  $\alpha$  oraz układ sił  $H_{S,i,j,T}$ ,  $H_{S,i,j,L}$

Siły te można wyznaczyć następująco:

$$S = f \lambda_{s,j} \sum Q_r, \quad (2.18)$$

$$H_{s,i,j,L} = f \lambda_{s,i,j,L} \sum Q_r, \quad H_{s,i,j,T} = f \lambda_{s,i,j,T} \sum Q_r. \quad (2.19)$$

Wartość współczynnika  $f$  oblicza się ze wzoru:

$$f = 0,3 [1 - \exp(-250\alpha)] \leq 0,3, \quad (2.20)$$

gdzie  $\alpha$  jest kątem ukosowania (rys. 2.6b).

Kąt ukosowania wyznacza się z uwzględnieniem prześwitu toru między elementami prowadzącymi a szyną, tolerancji wymiarów oraz zużycia kół i szyn:

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_v + \alpha_0 < 0,015 \text{ rad}. \quad (2.21)$$

Wartości tego kąta określa się według zasad podanych w tablicy 2.6.

Wartości współczynników  $\lambda_{s,j}$  i  $\lambda_{s,i,j,T(L)}$  określa się zgodnie z zasadami podanymi w tablicach 2.6 i 2.7.

Tablica 2.6. Definicje  $\alpha_F$ ,  $\alpha_v$  i  $\alpha_0$  [N2]

Kąty $\alpha_i$	Minimalne wartości $\alpha_i$
$\alpha_F = \frac{0,75x}{a_{\text{ext}}}$	$0,75x \geq 5 \text{ mm}$ dla rolek prowadzących $0,75x \geq 10 \text{ mm}$ dla obrzeży kół
$\alpha_v = \frac{y}{a_{\text{ext}}}$	$y \geq 0,03b \text{ mm}$ dla rolek prowadzących $y \geq 0,10b \text{ mm}$ dla obrzeży kół
$\alpha_0$	$\alpha_0 = 0,001$

$a_{\text{ext}}$  – rozstaw zewnętrznych elementów prowadzących lub kół z obrzeżami na szynie prowadzącej,  
 $h$  – szerokość główki szyny,  
 $x$  – prześwit toru pomiędzy szyną i elementami prowadzącymi (boczny poślizg),  
 $y$  – zużycie szyny i elementów prowadzących,  
 $\alpha_0$  – tolerancja między kołem a szyną prowadzącą.

Wartości te zależą od odległości ( $h$ ) między chwilowym środkiem obrotu i odpowiednimi elementami prowadzącymi oraz od systemu kombinacji kół suwnicy.

Tablica 2.7. Wyznaczanie wartości  $\lambda_{s,i,j,k}$  [N2]

Sys-tem	$\lambda_{s,j}$	$\lambda_{s,1,j,L}$	$\lambda_{s,1,j,T}$	$\lambda_{s,2,j,L}$	$\lambda_{s,2,j,T}$
CFF	$1 - \frac{\sum e_j}{nh}$	$\frac{\xi_1 \xi_2}{n} \frac{L}{h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2}{n} \frac{L}{h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$
CFM	$\xi_2 \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2}{n} \frac{L}{h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2}{n} \frac{L}{h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	0	0

gdzie:

$n$  – liczba par kół,

$\xi_1 L$  – odległość chwilowego środka obrotu od szyny 1,

$\xi_2 L$  – odległość chwilowego środka obrotu od szyny 2,

$L$  – rozpiętość elementu prowadzącego,

$e_j$  – odległość pary kół  $j$  od odpowiednich elementów prowadzących,

$h$  – odległość chwilowego środka obrotu od odpowiednich elementów prowadzących.

### 2.1.7. Siła pozioma $H_{T,3}$ spowodowana przyspieszeniem lub opóźnieniem wózka suwnicy

Siłę tę określa się tak jak siłę uderzenia wózka z ładunkiem w zderzaki i wartości tej siły można obliczać według wzoru:

$$H_{T,3} = 0,1 (G_t + Q_h). \quad (2.22)$$

### 2.1.8. Obciążenia wiatrem

W przypadku suwnic pracujących na zewnątrz budynku należy zgodnie z normą [N2] uwzględnić obciążenie wiatrem:

- w stanie spoczynku suwnicy,
- w stanie roboczym suwnicy.