

Konstrukcje metalowe II

Wykład III

Estakady podsuwnicowe

Obciążenia

Spis treści

Ogólne informacje o obciążeniach → #t / 3

Rodzaje kół suwnic → #t / 20

Obciążenia i współczynniki - wartości → #t / 26

Kombinacje obciążeń → #t / 81

Zagadnienia egzaminacyjne → #t / 92

Ogólne informacje o obciążeniach

Wyróżnić można cztery rodzaje interakcji między suwnicą i konstrukcją



Rys: spawstal.pl



Rys: eci.com.pl

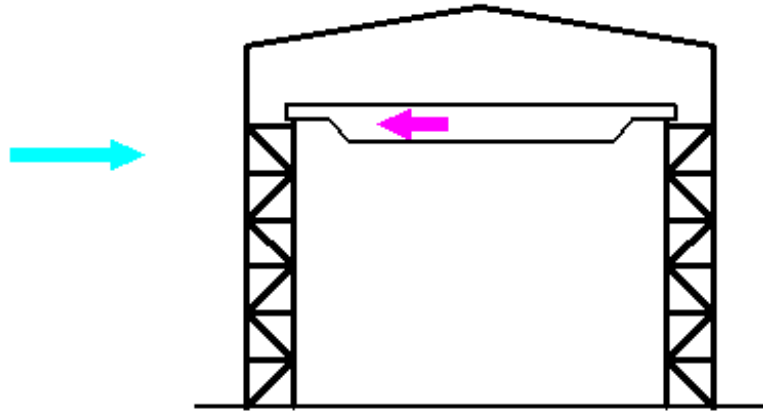


Rys: hak.com.pl

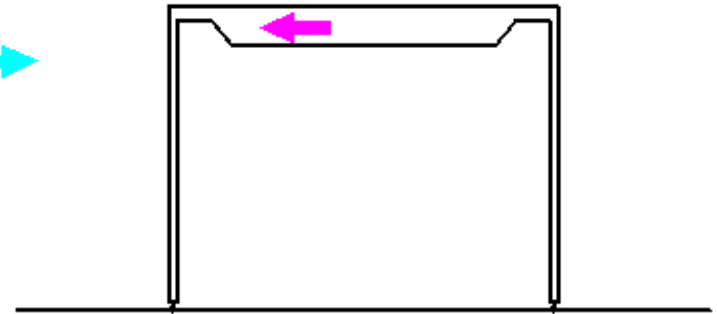
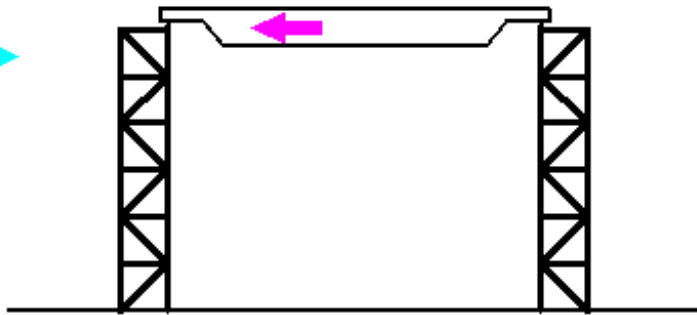
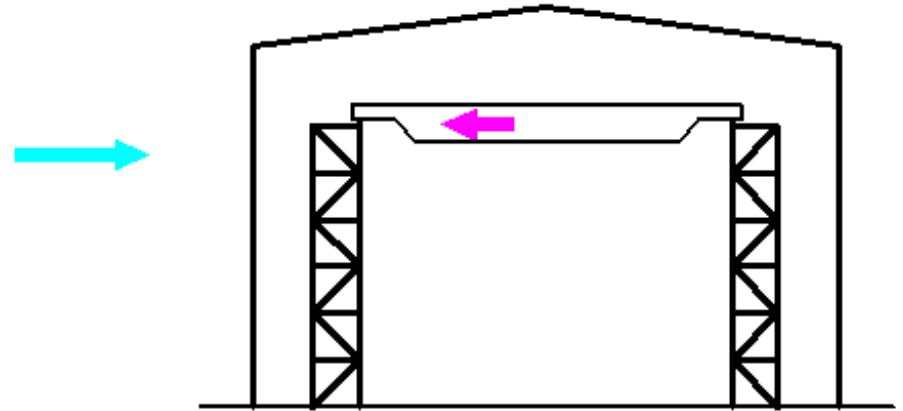


Rys: budus.edu.pl

A



B



C

Rys: Autor

D

Przypadek	Estakada podsuwnicowa	Konstrukcja hali
A	Ciężar własny Obciążenia klimatyczne Obciążenia dynamiczne suwnicy	
B	Ciężar własny Obciążenia dynamiczne suwnicy	Ciężar własny Obciążenia klimatyczne
C	Ciężar własny Obciążenia klimatyczne Obciążenia dynamiczne suwnicy	Nie istnieje
D	Nie istnieje	

EN 1991 Oddziaływania na konstrukcje (potoczna nazwa: Eurokod 1)

1991-1 Oddziaływania ogólne:

1991-1-1 Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenie użytkowe w budynkach

1991-1-2 Oddziaływania w warunkach pożaru

1991-1-3 Obciążenie śniegiem

1991-1-4 Oddziaływania wiatru

1991-1-5 Oddziaływania termiczne

1991-1-6 Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji

1991-1-7 Oddziaływania wyjątkowe

1991-2 Obciążenia ruchome mostów

1991-3 Oddziaływania wywołane dźwignicami i maszynami

1991-4 Silosy i zbiorniki

W Eurokodzie przedstawiono trzy rodzaje dźwignic:

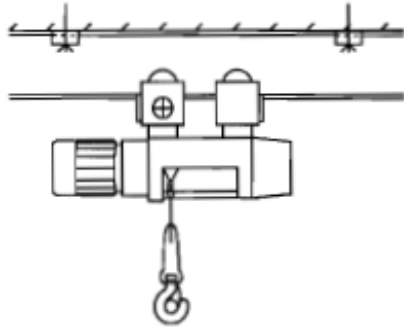
Wciągniki jednoszynowe

Suwnice pomostowe:

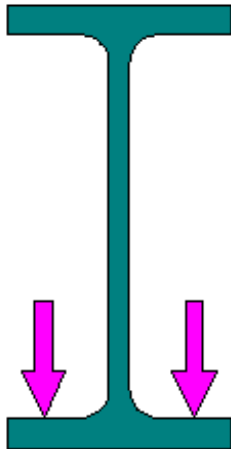
podwieszane

natorowe

Rys: EN 1991-3 fig.1.2



Wciągnik jednoszynowy

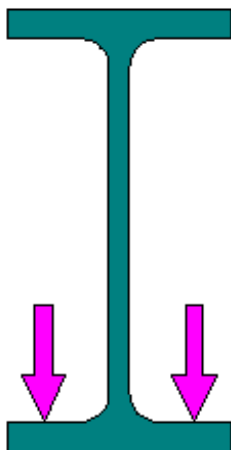
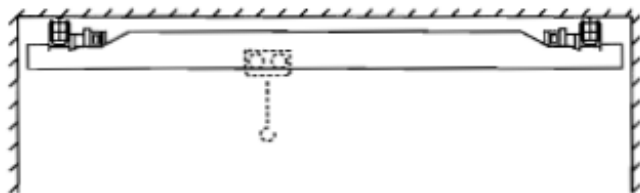


Rys: Autor

Rys: eurotech-opole.pl



Rys: EN 1991-3 fig.1.3



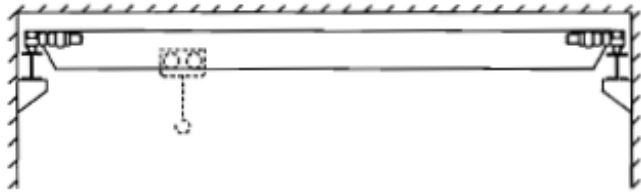
Rys: Autor

Suwnica pomostowa podwieszona



Rys: spkozyczkowo.edupage.org

Rys: EN 1991-3 fig.1.4



Suwnica pomostowa natorowa



Rys: Autor



Rys:promag.pl

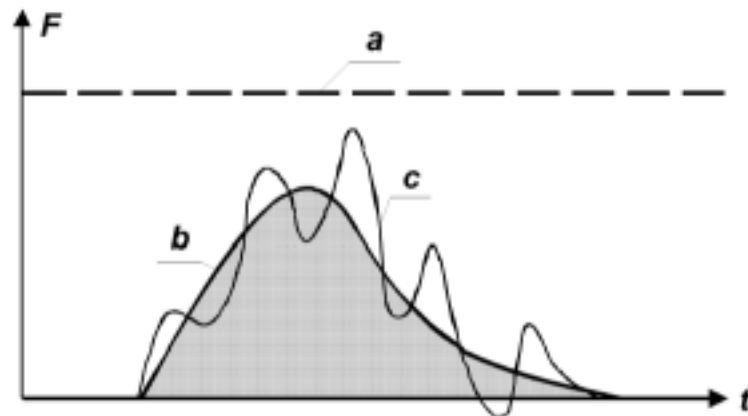


Ciężar własny wciągnika \ll ciężar własny suwnicy

Ciężar własny wciągnika \approx ciężar własny wózka suwnicy

Ilość kombinacji obciążeń dla wciągnika \ll ilość kombinacji obciążeń dla suwnicy

Wiele rodzajów obciążeń generowanych przez suwnice ma charakter dynamiczny. Stosowany jest wówczas specjalny sposób obliczeń:



Rys: EN 1991-1-7 fig. 1.1

Legenda

a – równoważna siła statyczna

b – siła dynamiczna

c – reakcja konstrukcji

$$F_{\varphi,k} = \varphi_i F_k$$

F_k – wartość charakterystyczna statyczna; φ_i – współczynnik dynamiczny; $F_{\varphi,k}$ – wartość charakterystyczna równoważna

Współczynnik dynamiczny	Uwzględniane efekty	Zastosowanie
φ_1	Wzbudzenie konstrukcji dźwignicy spowodowane oderwaniem ładunku od podłoża	Ciężar własny dźwignicy
φ_2	Wpływy dynamiczne podnoszenia ładunku z podłoża ku dźwignicy	Ciężar podnoszony
lub φ_3	Wpływy dynamiczne nagłego zwolnienia ładunku, jeśli używane są chwytaki lub chwytaki elektromagnetyczne	
φ_4	Wpływy dynamiczne występujące podczas jazdy po szynach lub torach jezdnych	Ciężar własny dźwignicy i ciężar podnoszony
φ_5	Wpływy dynamiczne spowodowane przez siły napędu	Siły napędu
φ_6	Wpływy dynamiczne obciążenia próbnego, poruszanego przez napędy w sposób używany w dźwignicy	Obciążenia próbne
φ_7	Dynamiczne sprężyste efekty uderzenia w zderzaki	Siły uderzenia w zderzaki

EN 1991-3 tab. 2.1

	Rodzaj oddziaływania	Symbol	Punkt normy	Grupy obciążeń									
				SGN							Próbne	Wyjątkowe	
				1	2	3	4	5	6	7			
1	Ciężar własny dźwigni	Q_c	2.6	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4	1	φ_1	1	1
2	Ciężar podnoszony	Q_h	2.6	φ_2	φ_3	0	φ_4	φ_4	φ_4	η	0	0	0
3	Przyspieszenie mostu suwnicy	H_L H_T	2.7	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	0	0	0	φ_5	0	0
4	Zukosowanie mostu	H_S	2.7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	Przyspieszenie/hamowanie wózka/wciągnika	H_{T3}	2.7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	Wiatr w stanie roboczym	F_W^*	Zał. A	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
7	Obciążenie próbne	Q_T	2.10	0	0	0	0	0	0	0	φ_6	0	0
8	Uderzenie w zderzaki	H_B	2.11	0	0	0	0	0	0	0	0	φ_7	0
9	Wychył	H_{TA}	2.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Wiatr w stanie spoczynku – Zał. A

η wyraża stosunek ciężaru podnoszonego, który pozostaje na suwnicy po zwolnieniu ładunku, ale nie jest wliczany do ciężaru własnego suwnicy

EN 1991-3 tab. 2.2

W tablicy 2.2 przedstawione są tylko siły, uwzględniane w stanie granicznym STR ULS

Ciężar własny suwnicy, $\varphi_1 \rightarrow \#t / 26$

Ciężar ładunku, $\varphi_2 \rightarrow \#t / 27 - 28$

$\varphi_3 \rightarrow \#t / 29$

$\varphi_4 \rightarrow \#t / 30$

$\eta \rightarrow \#t / 31$

Przyspieszenie mostu suwnicy, $\varphi_5 \rightarrow \#t / 32 - 38, 45 - 46$

Zukosowani mostu suwnicy $\rightarrow \#t / 39 - 46$

Przyspieszenie wózka suwnicy lub wciągnika $\rightarrow \#t / 47 - 48$

Obciążenie wiatrem $\rightarrow \#t / 49 - 56$

Obciążenie próbne, $\varphi_6 \rightarrow \#t / 57$

Siły uderzenia w zderzaki, $\varphi_7 \rightarrow \#t / 58 - 61$

Siły wywołane wychyleniem $\rightarrow \#t / 62 - 63$

Dla wciągnika podano wiele odrębnych uregulowań.

Dodatkowo rozważyć należy:

Obciążenie pomostów roboczych, schodów, poręczy przez pracowników;

dla FAT ULS;

dla SGU.

Wciągnik → #t / 64

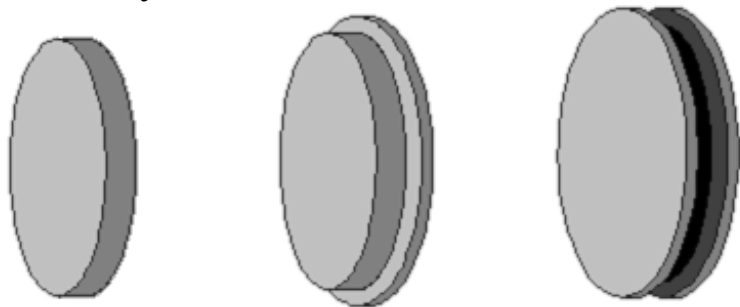
Pracownicy → #t / 65

Zmęczenie → #t / 66 - 78

SGU → #t / 79

Rodzaje kół suwnicy

Istnieją trzy rodzaje kół: bez obrzeży kołnierzowych, z jednostronnymi i z dwustronnymi obrzeżami.



Rys: Autor



Rys: windexholding.pl

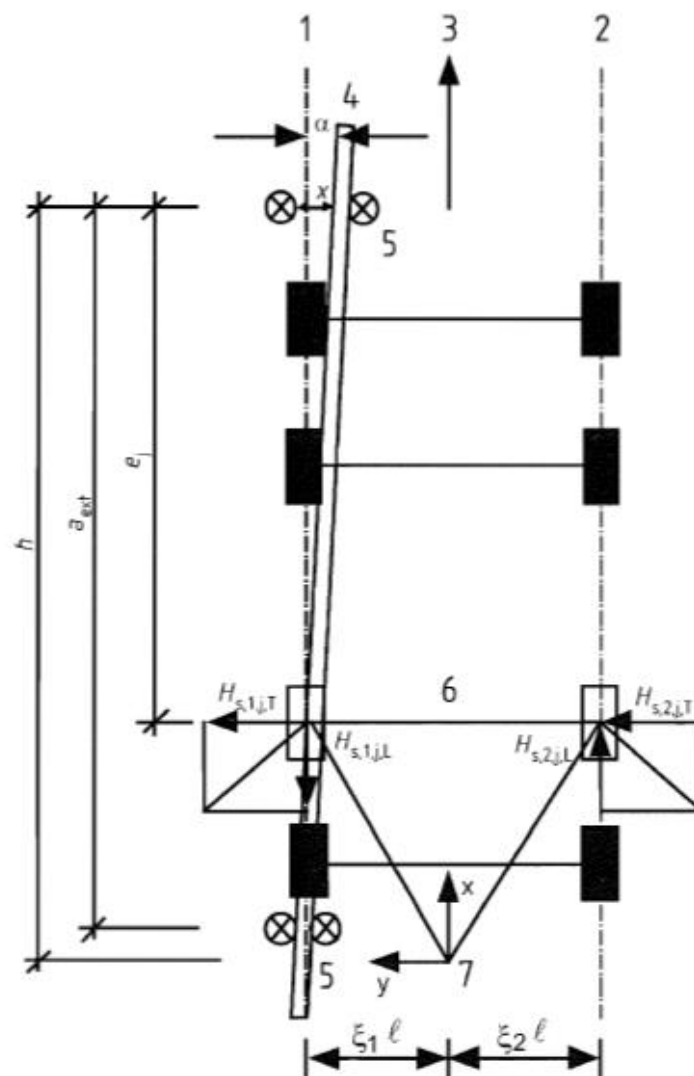


Rys: dgcrane.com



Rys: i.ebaying.com

Obrzeża stabilizują pozycję suwnicy na belkach i zabezpieczają przed niekontrolowaną zmianą kierunku ruchu. Jest to pierwszy z dwu rodzajów tzw. „elementów prowadzących”. Odległość między elementem prowadzącym (5) a chwilowym środkiem obrotu (7) musi być uwzględniony w obliczeniach.



Rys: EN 1991-3 fig. 2.8

Drugim rodzajem elementu prowadzącego, stosowanym w suwnicach z kołami bez obrzeży, są prowadnice rolkowe. Są to pary poziomo położonych kół po obu stronach szyny. Zaleca się je także w przypadku kół z obrzeżami jednostronnymi.

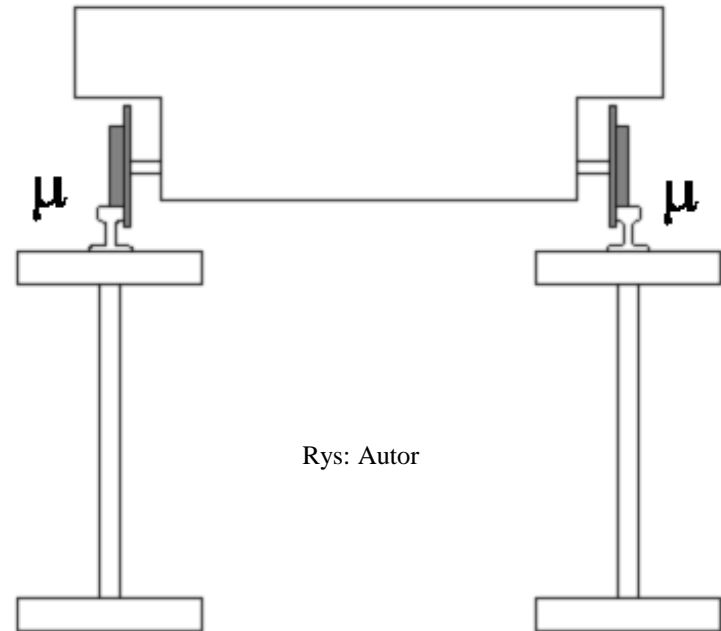


Rys: voith.at

Obecność lub brak obrzeży jest istotna przy przekazywaniu sił poziomych z suwnicy na belki podsuwnicowe.

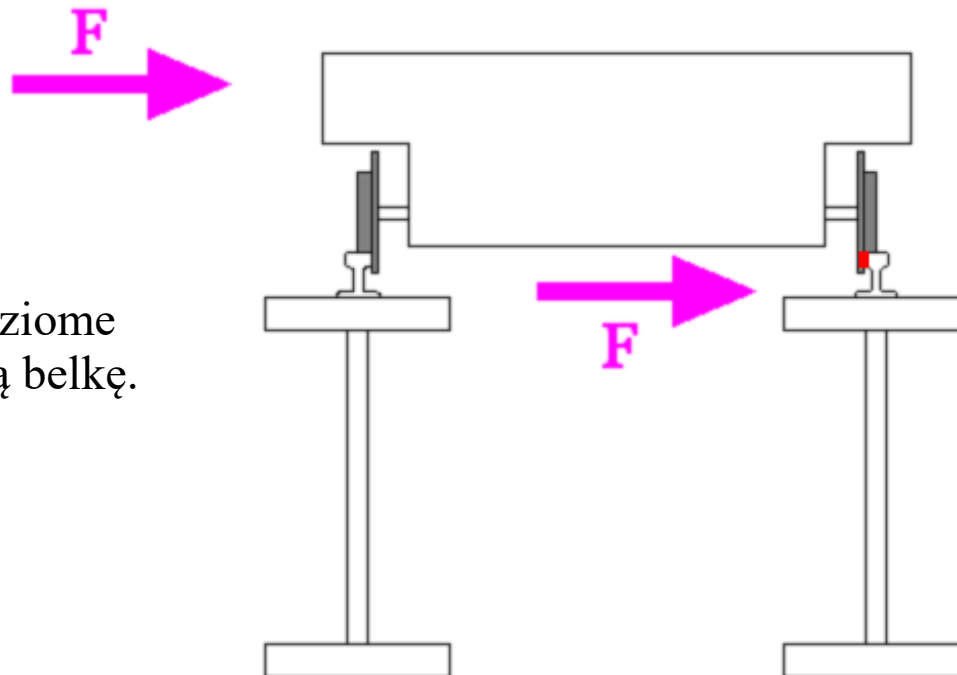
Przekazywanie sił poziomych jest możliwe także w sytuacji, gdy brak jest obrzeży kół. Powodem jest tarcie między kołami i szynami.

Przekazanie obciążeń poziomych z suwnicy na belki podsuwnicowe jest możliwe, gdy obciążenie poziome jest mniejsze od siły tarcia ($\mu \rightarrow \#t / 37$).



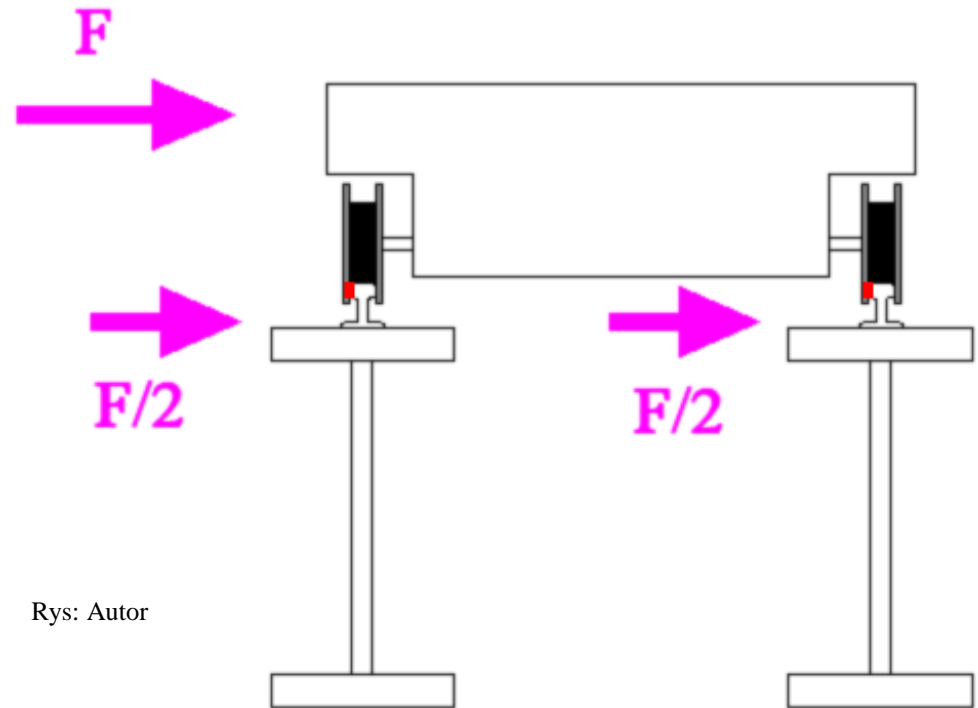
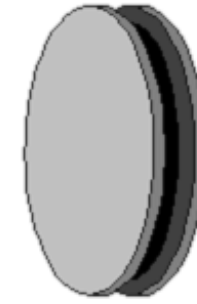


Rys: Autor



Bez uwzględniania tarcia, w przypadku kół z obrzeżami jednostronnymi, obciążenia poziome będą przekazane tylko na jedną belkę.

W przypadku kół z obrzeżami dwustronnymi, obciążenia poziome będą przekazane na obie belki.



Rys: Autor

Rodzaje obrzeży kół są uwzględnione w Eurokodzie przy analizie obciążenia belek podsuwnicowych siłami poziomymi poprzecznymi (\rightarrow #t / 89).

Obciążenia i współczynniki - wartości

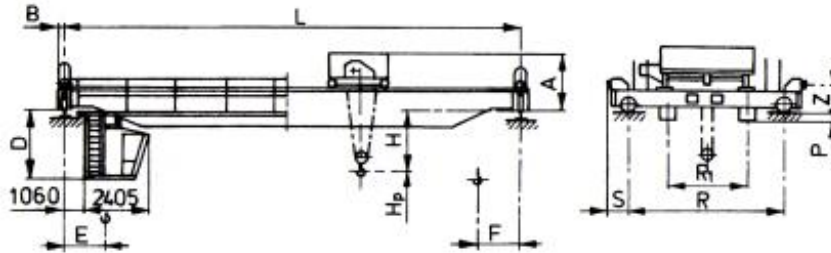
φ_1 ; ciężar własny suwnicy Q_c



EN 1991-3 tab. 2.4

$$\varphi_1 = 0,9 , 1,1$$

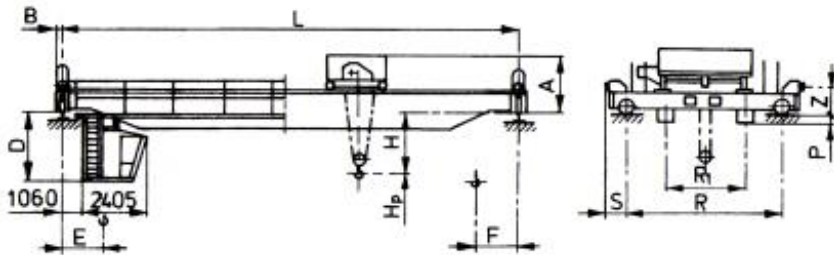
Q_c – dane dostarczane przez producenta lub inwestora



Udźwig Q	Rozpiętość L	Masa suwnicy	Nacisk koła N_{max}	$H_{p\ max}$	A_{max}	A_{min}	B
kN	m	t	kN	m			
80	8–11	13,2	89	16,1	2215	1780	195
	11–14	14,5	93				
	14–17	16,0	96				
	17–20	17,2	99				
	20–23	20,2	108				
	23–26	22,0	114				
	26–29	25,8	124				

Wartości 1,1 lub 0,9 przyjmuje się w zależności od tego, która z nich da bardziej niekorzystny efekt przy analizie kombinacji obciążeń.

Rys: W. Bogucki, M. Żybartowicz, Tablice do projektowania konstrukcji metalowych, Arkady, Warszawa 1996



φ_2 ; ciężar podnoszony Q_h



EN 1991-3 tab. 2.4

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 v_h$$

v_h – prędkość podnoszenia [m/s]

Q_h, v_h – dane dostarczane przez producenta lub inwestora

Udźwig Q	Rozpiętość L	Masa suwnicy	Nacisk koła N_{max}	$H_{p,max}$	A_{max}	A_{min}	B
kN	m	t	kN	m			
80	8–11	13,2	89	16,1	2215	1780	195
	11–14	14,5	93				
	14–17	16,0	96				
	17–20	17,2	99				
	20–23	20,2	108				
	23–26	22,0	114				
	26–29	25,8	124				

Rys: W. Bogucki, M. Żybartowicz, Tablice do projektowania konstrukcji metalowych, Arkady, Warszawa 1996

EN 1991-3 tab. 2.5

Klasa podnoszenia	β_2	$\varphi_{2,\min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

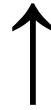
Klasy obciążenia / podnoszenia → EN 1991-3 załącznik B tab. B.1

Poz.	Typ dźwignicy	Klasa podnoszenia	Klasa S
1	Dźwignice z napędem ręcznym	HC 1	S0, S1
2	Suwnice montażowe	HC1, HC2	S0, S1
3	Suwnice montażowe w elektrowniach	HC1	S1, S2
4	Suwnice magazynowe – praca nieregularna	HC2	S4
5	Suwnice magazynowe, suwnice z trawersami, suwnice na składowiskach złomu, – praca ciągła	HC3, HC4	S6, S7
6	Suwnice warsztatowe	HC2, HC3	S3, S4
7	Suwnice pomostowe, suwnice kafarowe – praca chwytkiem lub chwytnikiem magnetycznym	HC3, HC4	S6, S7

...

$$\varphi_3 = 1 - \Delta m (1 + \beta_3) / m$$

φ_3 – zwolnienie ładunku



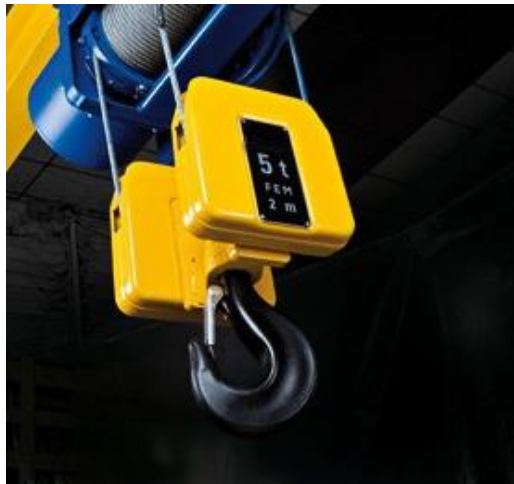
Δm – zwolniona część całkowitego ładunku m

EN 1991-3 tab. 2.4

Rys: eurotech-opole.pl

Rys: hak.com.pl

Rys: i01.i.aliimg.com



Zwolnienie po odłożeniu
ładunku na podłoże

$$\varphi_3 = 0,0$$



Powolne zwolnienie

$$\beta_3 = 0,5$$



Szybkie zwolnienie

$$\beta_3 = 1,0$$

φ_4 – wpływy dynamiczne podczas jazdy suwnicy;



EN 1991-3 tab. 2.4

$$\varphi_4 = 1$$

jeśli tolerancje dla szyn i torów jezdnych, określone w EN 1993-6 są zachowane.

W przeciwnym wypadku

→ EN 13001-2

Współczynnik η – stosunek ciężaru podnoszonego, który pozostaje na suwnicy po zwolnieniu ładunku, ale nie jest wliczony do ciężaru własnego suwnicy.

Brak wytycznych w Eurokodzie.

φ_5 – wpływy dynamiczne spowodowane przez siły napędu

$H_{L,i}$; $H_{T,i}$ – siły spowodowane przyspieszeniem lub hamowaniem pomostu suwnicy



Jest to efekt zmian prędkości suwnicy

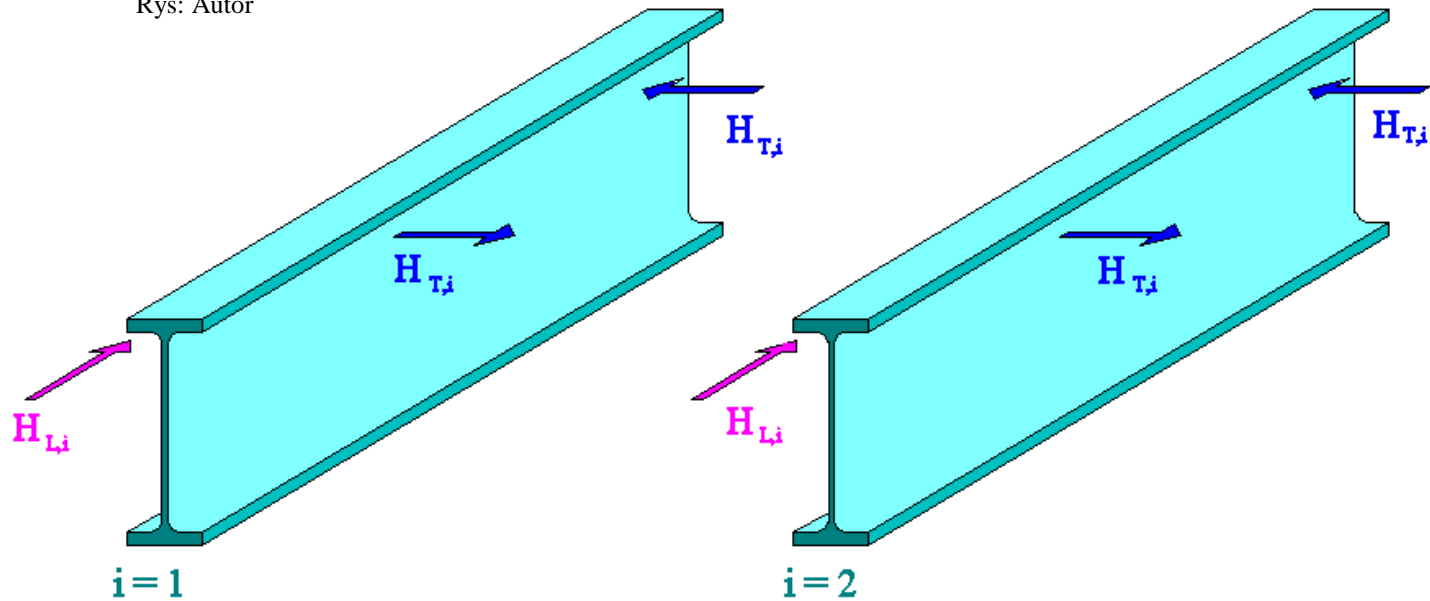
φ_5 - dane dostarczane przez producenta lub inwestora

lub

EN 1991-3 tab. 2.6

Zastosowanie	Wartość współczynnika
Do sił odśrodkowych	$\varphi_5 = 1,0$
Do układów, w których siły zmieniają się łagodnie	$1,0 \leq \varphi_5 \leq 1,5$
Do układów, gdzie możliwe są nagłe zmiany	$1,5 \leq \varphi_5 \leq 2,0$
Do napędów ze znacznymi luzami	$\varphi_5 = 3,0$

Rys: Autor



EN 1991-3 (2.2), (2.3), (2.4)

$$H_{L,i} = \varphi_5 K / n_T$$

$$H_{T,i} = \varphi_5 \xi_j M / a$$

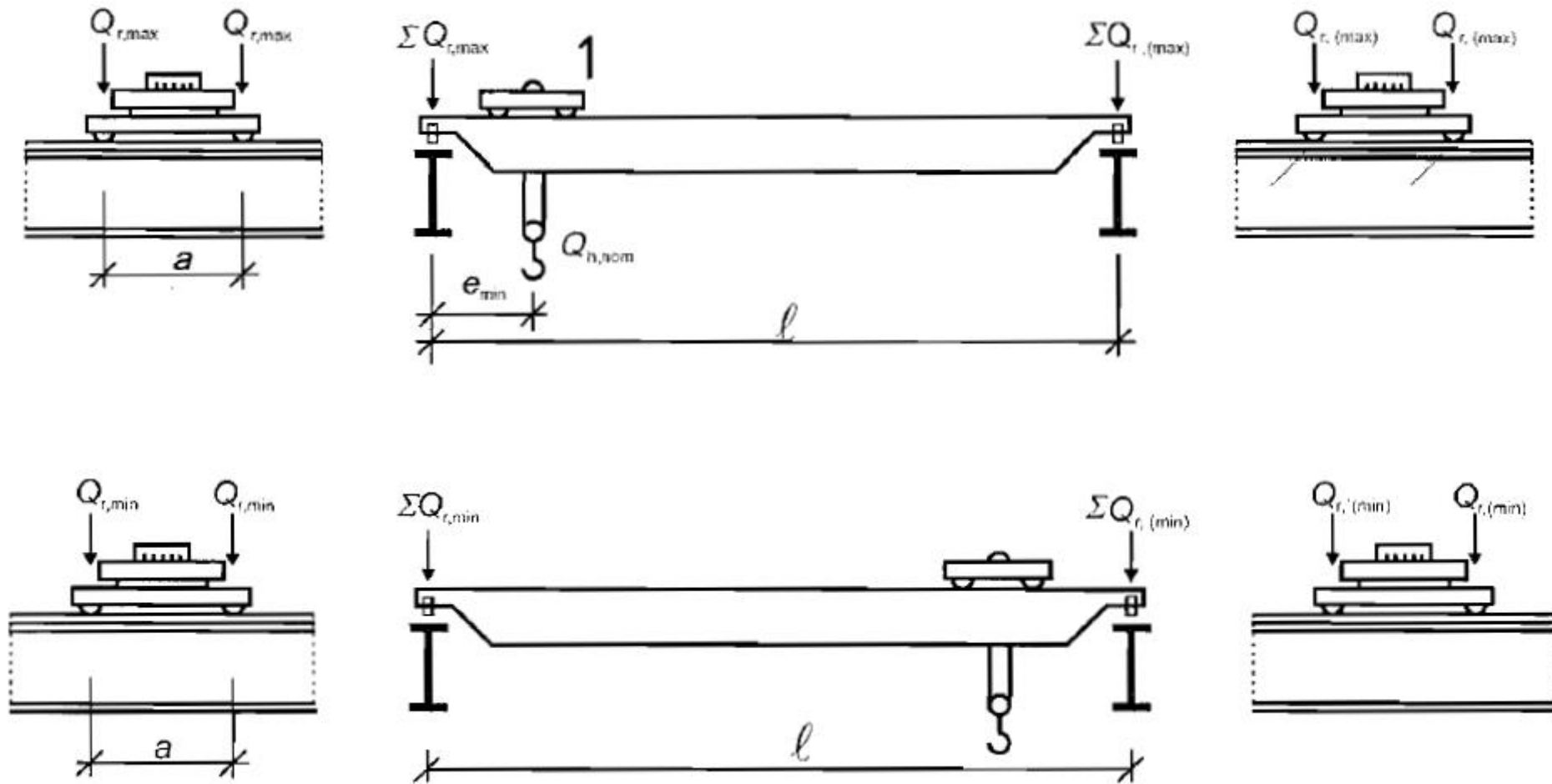
$$i, j = 1, 2 \quad ; \quad i \neq j$$

n_T – liczba belek podsuwnicowych

K – siła napędu \rightarrow #t / 37

M – moment skręcający \rightarrow #t / 38

ξ_j – współczynniki proporcjonalności \rightarrow #t / 38

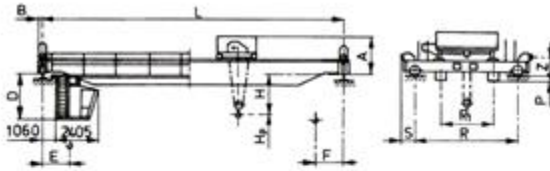


Rys: EN 1991-3 fig. 2.1

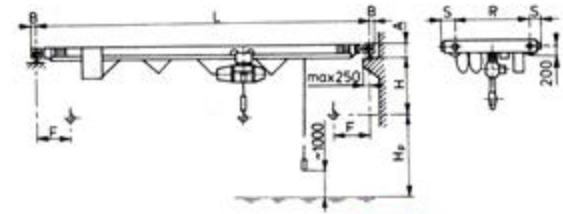
Należy zwrócić baczną uwagę na indeksy:

		Wózek suwnicy jest blisko		Wielkość obciążenia	
		lewej belki	prawej belki		
Obciążenie przyłożone do belki	lewej	r, max	r, min	max	min
	prawe	r, (max)	r, (min)	min	max

Wartości obciążeń są pokazane w tablicach:



Udźwig Q kN	Rozpię- tość L m	Masa suw- niczy t	Nacisk koła N_{max} kN	$H_{p,max}$ m	A_{max}	A_{min}	B
80	8-11	13,2	89	16,1	2215	1780	195
	11-14	14,5	93				
	14-17	16,0	96				
	17-20	17,2	99				
	20-23	20,2	108				
	23-26	22,0	114				
	26-29	25,8	124				
	29-32	27,3	129				
	32-35	30,3	136				
8-11	14,4	93					



Udźwig Q kN	Rozpiętość L m	Masa t	Nacisk koła kN	R mm	S
20	4-7	1,68	13,8	1600	286
	7-10	1,90	14,8		
	10-12	2,43	16,5		
	12-13				
	13-16	2,71	17,4	2500	326
	16-19	3,51	19,7	3000	
	19-21	4,85	23,3	3500	378
	21-22				
	22-25	5,27	24,5	4000	
	4-7	1,74	19,0	286

W. Bogucki, M. Żybertowicz, Tablice
ojektowania konstrukcji metalowych, A1
Warszawa 1996, pp. 518-519

Nacisk koła: można tą wartość przyjąć jako

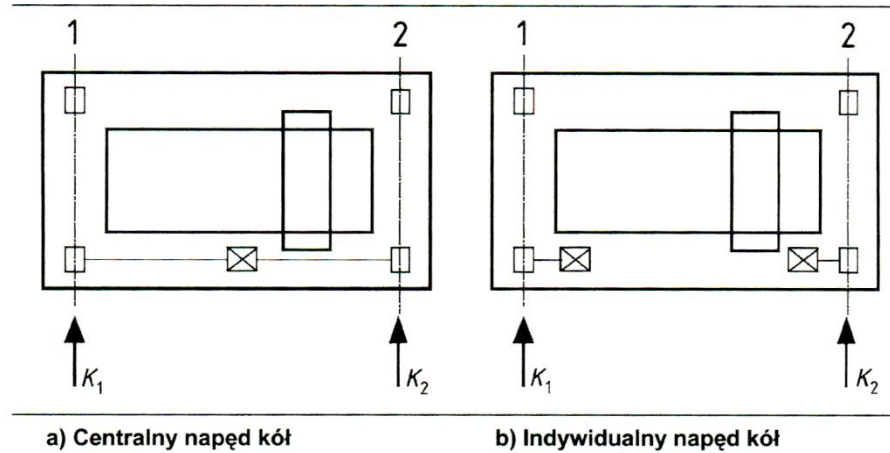
$$Q_{r, \max} \approx Q_{r, (\min)}$$

Reakcja dla przeciwnej pary kół:

$$2 Q_{r, (\max)} \approx 2 Q_{r, \min} \approx Q + g t - 2 (\text{nacisk koła})$$

$$K = K_1 + K_2 = \mu \Sigma Q_{r, \min}^*$$

EN 1991-3 (2.5)



	Napęd centralny	Napęd indywidualny
$\Sigma Q_{r, \min}^*$	$Q_{r, \min} + Q_{r, (\min)}$	$m_w Q_{r, \min}$

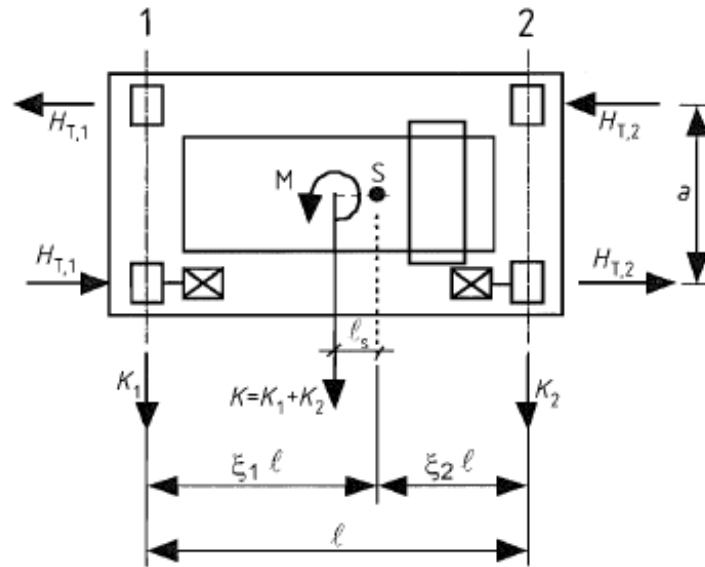
Rys: EN 1991-3 fig. 2.7

Współczynnik tarcia: m_w – liczba kół napędzanych indywidualnie

stal-stal: $\mu = 0,2$

stal-guma (koła z oponami): $\mu = 0,5$

Rys: EN 1991-3 fig. 2.6



$$M = K l_s$$

$$l_s = l (\xi_1 - 0,5)$$

EN 1991-3 (2.4)

$$\xi_1 = \Sigma Q_{r, \max} / \Sigma Q_r$$

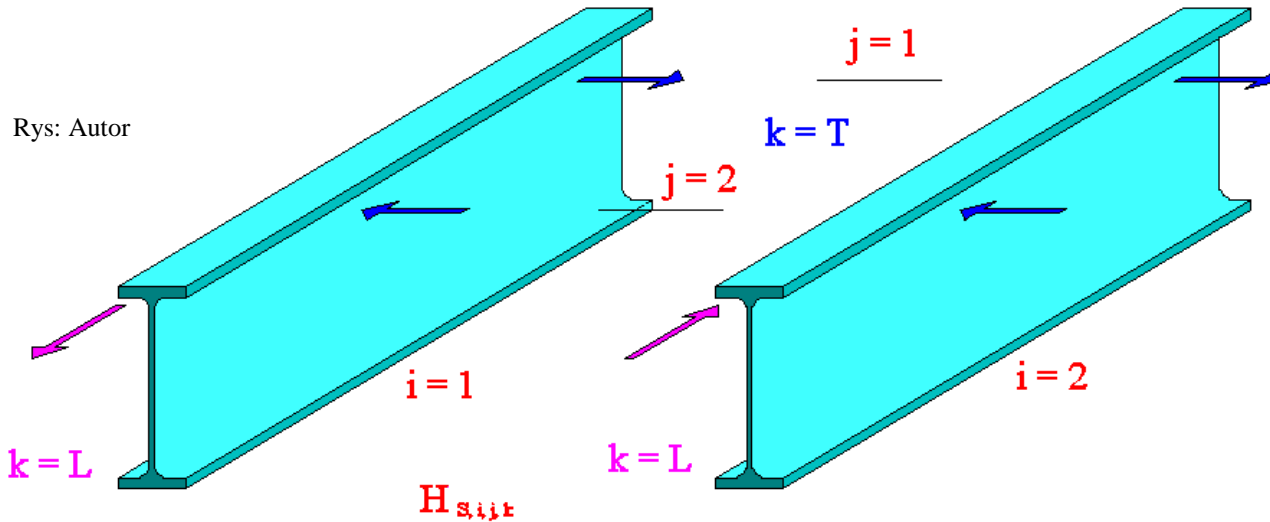
$$\xi_2 = 1 - \xi_1$$

$$\Sigma Q_r = \Sigma Q_{r, \max} + \Sigma Q_{r, (\max)}$$

$H_{S,i,j,k}$ – zukosowanie mostu suwnicy



Efekt nierównomiernego przyłożenia napędu do obu belek suwnicy



EN 1991-3 (2.6), (2.7), (2.8), (2.9), (2.10)

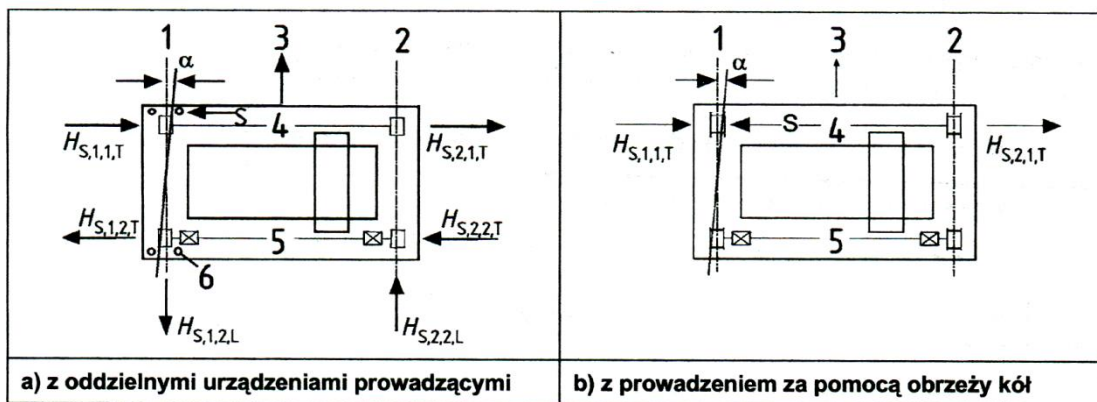
$$S = \lambda_{S,j} f \Sigma Q_r$$

$$H_{S,i,j,k} = \lambda_{S,i,j,k} f \Sigma Q_r$$

f - „współczynnik niekorzystny” → #t / 42

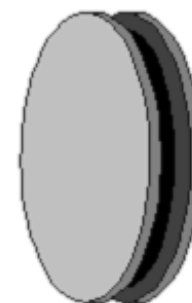
λ_S – współczynnik siły → #t / 43

Dodatkowe zasady dla $H_{S,i,j,k}$



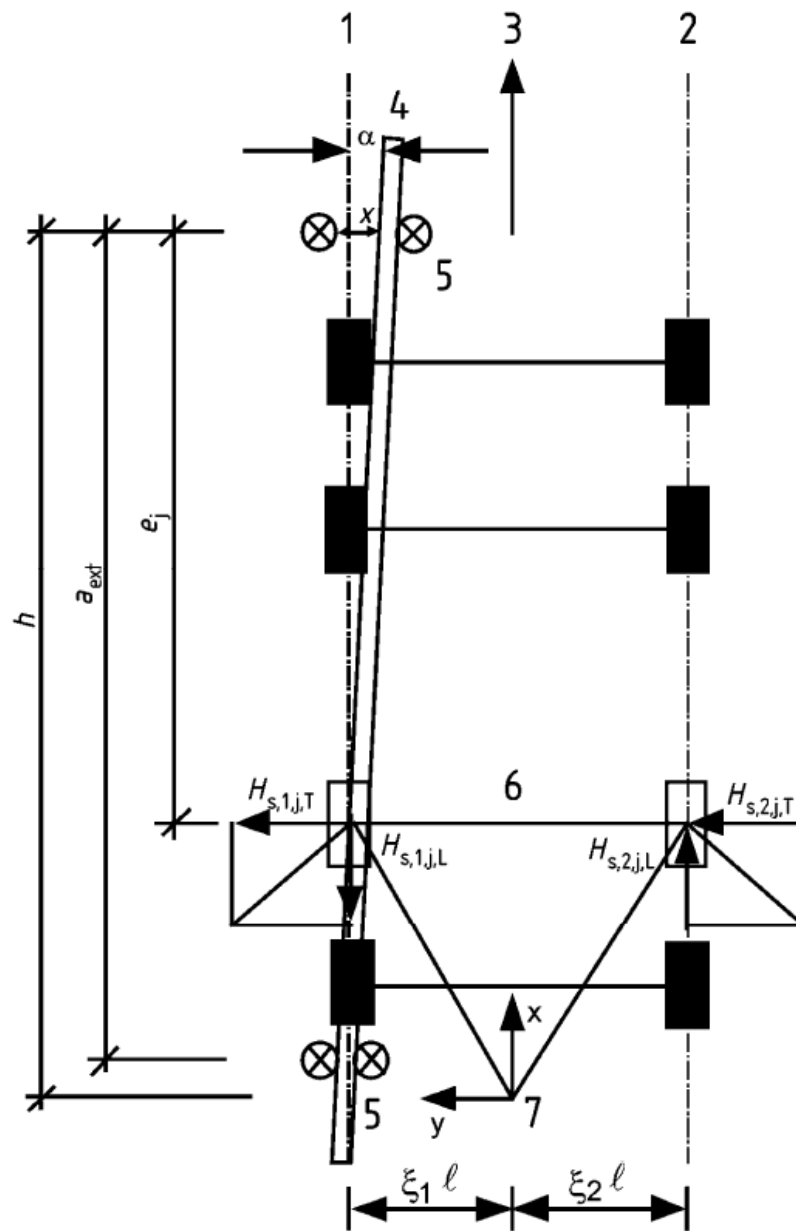
Rys: voith.at

Rys: EN 1991-3 fig. 2.4



Rys: Autor

Rys: EN 1991-3 fig. 2.8



$$f = \min \{ 0,3 ; 0,3[1 - \exp (-250\alpha)] \}$$

$$\alpha = \min (\alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 ; 0,015 \text{ rad})$$

EN 1991-3 (2.11)

Kąt α	Wartość minimalna
$\alpha_F = 0,75 x / a_{\text{ext}}$	$0,75 x \geq 5 \text{ mm}$ dla rolek prowadzących
	$0,75 x \geq 10 \text{ mm}$ dla kół z obrzeżami
$\alpha_V = y / a_{\text{ext}}$	$y \geq 0,03b$ [mm] dla rolek prowadzących
	$y \geq 0,1b$ [mm] dla kół z obrzeżami
α_0	0,001 [rad]

a_{ext} – rozstaw elementów prowadzących lub kół z obrzeżami;
 b – szerokość głowki szyny;
 x – prześwit toru między szyną i elementami prowadzącymi (boczny poślizg);
 y – zużycie szyny i elementów prowadzących;
 α_0 – tolerancja między kołem a szyną prowadzącą;

EN 1991-3 tab. 2.7

System	$\lambda_{S,j}$	$\lambda_{S,1,j,L}$	$\lambda_{S,1,j,T}$	$\lambda_{S,2,j,L}$	$\lambda_{S,2,j,T}$
CFF	S_{1F}	$\xi_1 \xi_2 l / H$	$\xi_2 S_{1F}$	$\xi_1 \xi_2 l / H$	$\xi_1 S_{1F}$
IFF		0	$\xi_2 S_{1F}$	0	$\xi_1 S_{1F}$
CFM	$\xi_2 S_{1F}$	$\xi_1 \xi_2 l / H$	$\xi_2 S_{1F}$	$\xi_1 \xi_2 l / H$	0
IFM		0	$\xi_2 S_{1F}$	0	0

$$H = n h$$

$$S_F = (\sum e_j)$$

$$S_{1F} = 1 - S_F / H$$

$$\xi_1, \xi_2 \rightarrow \#t / 38$$

$$h, e_j \rightarrow \#t / 41$$

$$\text{CCF, IFF, CFM, IFM} \rightarrow \#t / 44$$

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;

EN 1991-3 tab. 2.9

Ustawienie kół ze względu na ruchy boczne	Kombinacja pary kół		h
	sprzęgnięte (c)	niezależne (i)	
Umocowane / umocowane (FF)			$[m \xi_1 \xi_2 l^2 + \Sigma (e_j)^2] / \Sigma e_j$
Umocowane / przesówne (FM)			$[m \xi_1 l^2 + \Sigma (e_j)^2] / \Sigma e_j$

h – odległość chwilowego środka obrotu od odpowiednich elementów prowadzących;

m – liczba par sprzęgniętych kół (m = 0 dla niezależnych);

$\xi_1 l$ – odległość chwilowego środka obrotu od szyny 1;

$\xi_2 l$ – odległość chwilowego środka obrotu od szyny 2;

l – rozpiętość elementu prowadzącego;

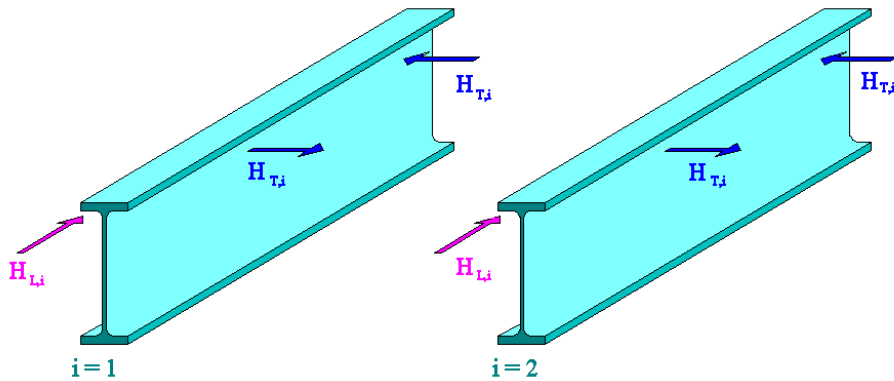
e_j – odległość pary kół j od odpowiednich elementów prowadzących;

EN 1991-3 tab. 2.8

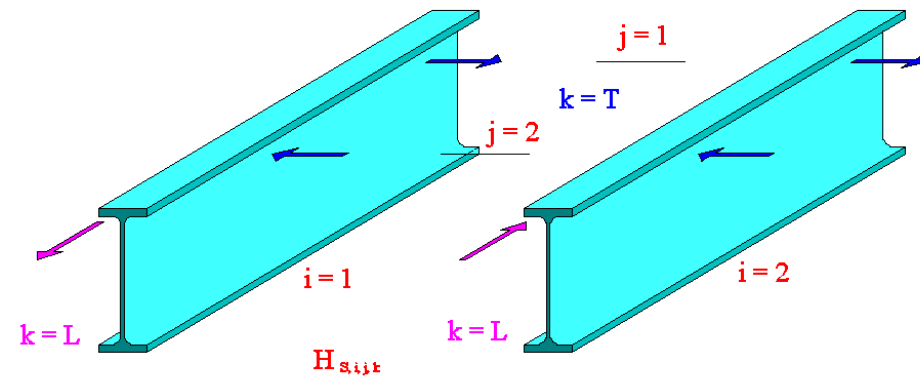
Siły od przyspieszenia mostu suwnicy

VS

Siły od zukosowania mostu suwnicy



Rys: Autor

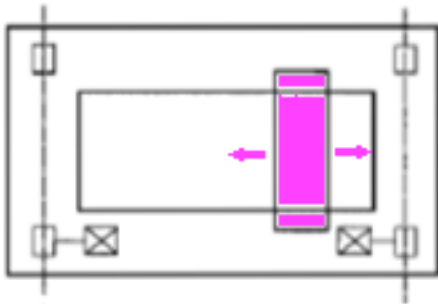


Bardzo podobne układy sił, różniące się przyczynami.

Siły od przyspieszenia mostu suwnicy

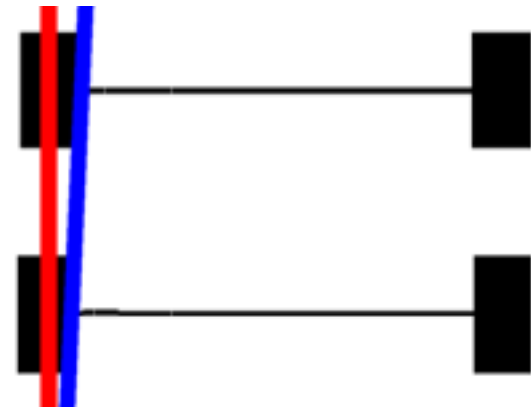
Powód: mimośród między aktualnym środkiem ciężkości a wypadkową sił napędowych.

Położenie chwilowego środka ciężkości zależy od aktualnej pozycji wózka suwnicy, który zmienia swe położenie w trakcie użytkowania suwnicy. Mimośród powoduje powstanie momentu skręcającego M .



Siły od zukosowania mostu suwnicy

Powód: nierównomierne przyłożenie napędu do obu szyn suwnicy. Przyczyną są imperfekcje konstrukcji, kół i silnika. Nierównomierne przyłożenie sił powoduje rozbieżność między teoretycznym kierunkiem jazdy (równoległym do osi belek podsuwnicowych) a rzeczywistym kierunkiem jazdy.



Rys: Autor



H_{T3} – siłą spowodowana przyspieszeniem / hamowaniem wózka suwnicy

Można przyjąć, że siła ta jest uwzględniona w sile poziomej $H_{B,2}$ (siła uderzenia w zderzaki, spowodowana ruchem wózka), podanej w EN 1991-3 2.11.2 → #t / 48

EN 1991-3 2.7.5



Siła uderzenia w zderzaki, spowodowana ruchem wózka $H_{B,2}$

- Siła ta może być przyjęta jako:

0,1 (ciężar własny wózka + podnoszony ładunek);

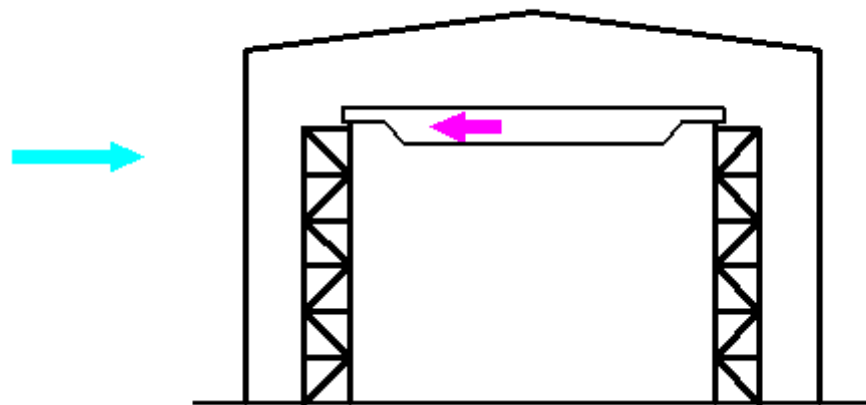
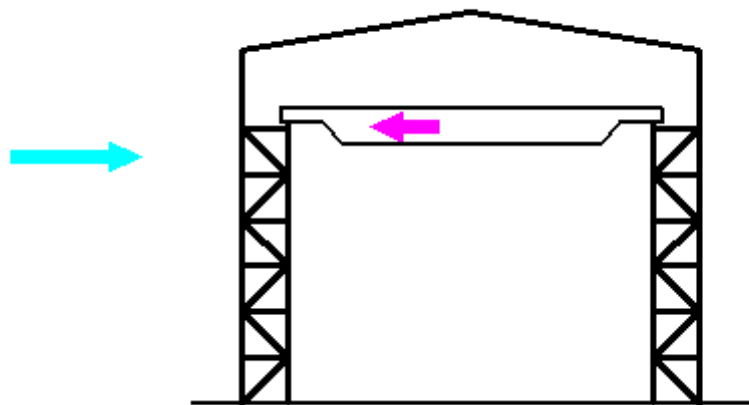
- Może też zostać policzona w taki sam sposób jak dla siły uderzenia w zderzak przez suwnicę → #t / 58;

EN 1991-3 2.11.2

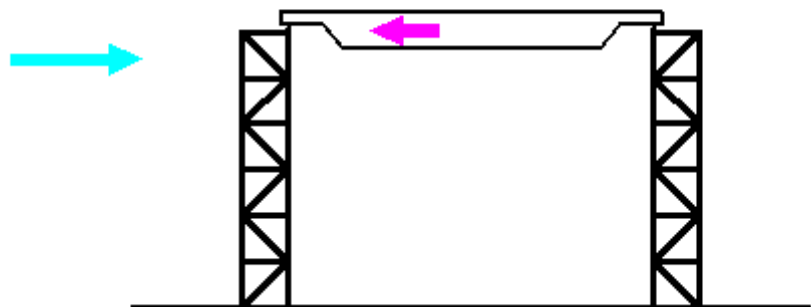
A

Obciążenie wiatrem

B



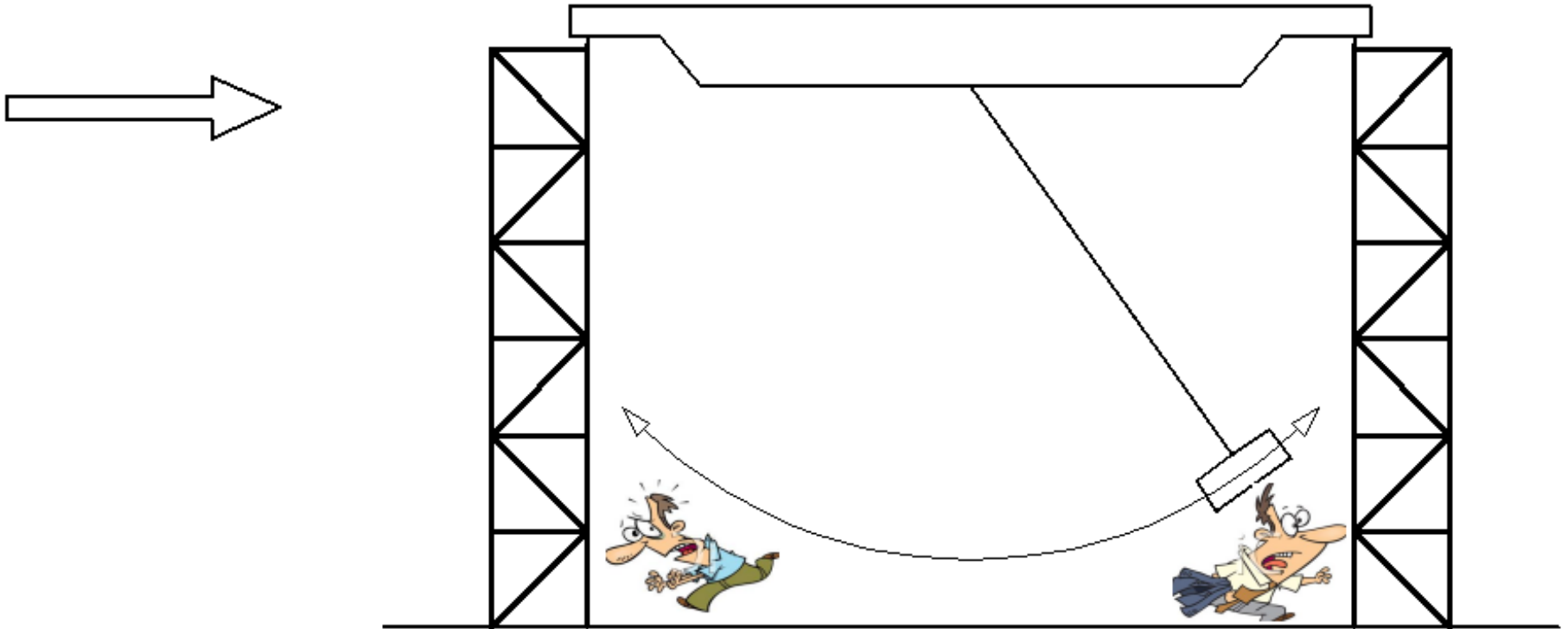
Rys: Autor



C

Istnieje duża różnica między efektami obciążenia wiatrem w tych trzech przypadkach. Najbardziej skomplikowana analiza potrzeba jest w sytuacji C.

Rys: Autor

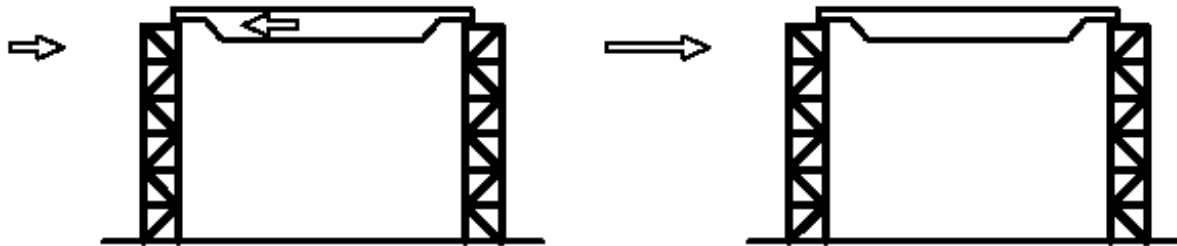


Silny wiatr może być niebezpieczny dla pracowników, konstrukcji, suwnicy i ładunku.

Należy przeanalizować dwa przypadki:

średni wiatr w czasie pracy suwnicy

silny wiatr, podczas którego suwnica musi zostać zatrzymana



Rys: Autor

Średni wiatr:

20 m /s

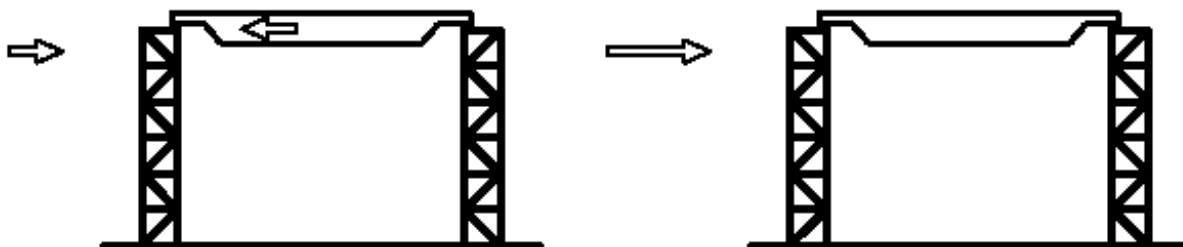
EN 1991-3 A.1 (6)

Silny wiatr – zgodnie z EN 1991-1-4:

	V [m/s]
1	22
2	26
3	22



Rys: Autor

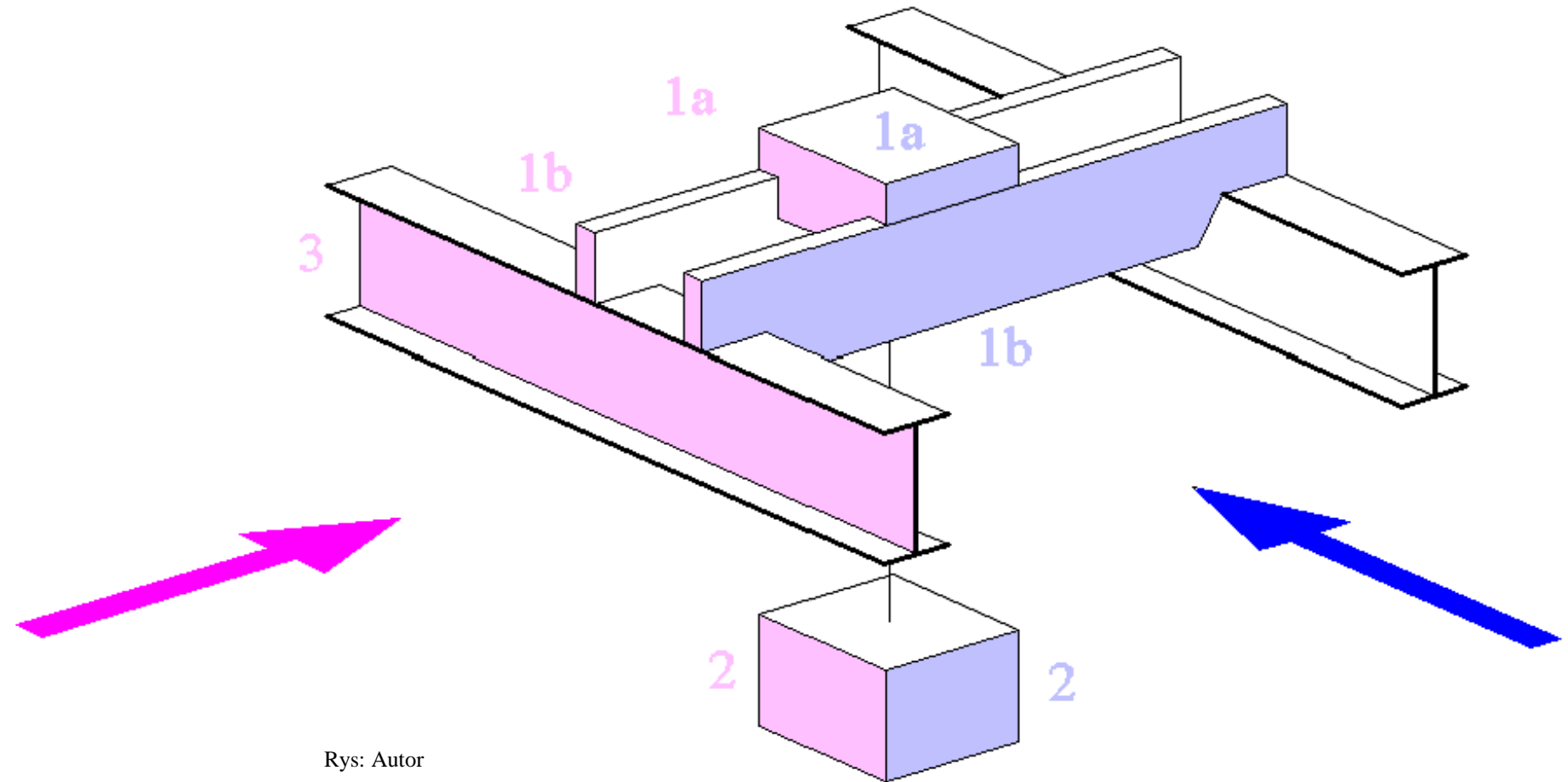


Rodzaje obciążeń,
branych pod uwagę:

$F (V = 20 \text{ m/s})$	$F (V = 22 - 26 \text{ m/s})$
$\varphi_1 Q_c$	Q_c
$\varphi_2 Q_h$	P
$\varphi_3 Q_h$...
$\varphi_4 Q_c$	
$H_{L,i} ; H_{T,i}$	
$H_{S,i,j,k}$	
$\varphi_6 Q_T$	
H_B	
H_{TA}	
P	
...	

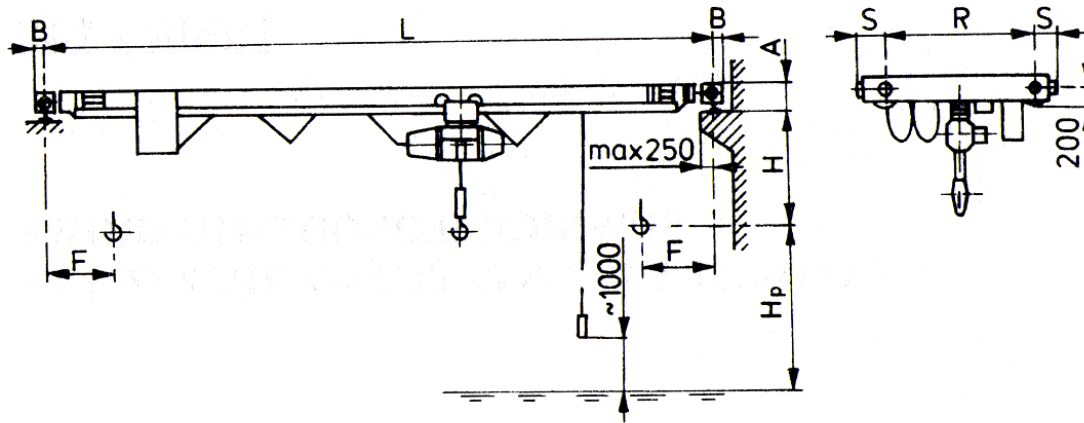
P – pomosty, schody,
platformy, poręcze
... – inne (termiczne,
wyjątkowe, w czasie
wznoszenia
konstrukcji...)

Wiatr może działać na konstrukcję z dwu kierunków:



Rys: Autor

Obliczenie pól powierzchni suwnicy:



$$1a \approx 0$$

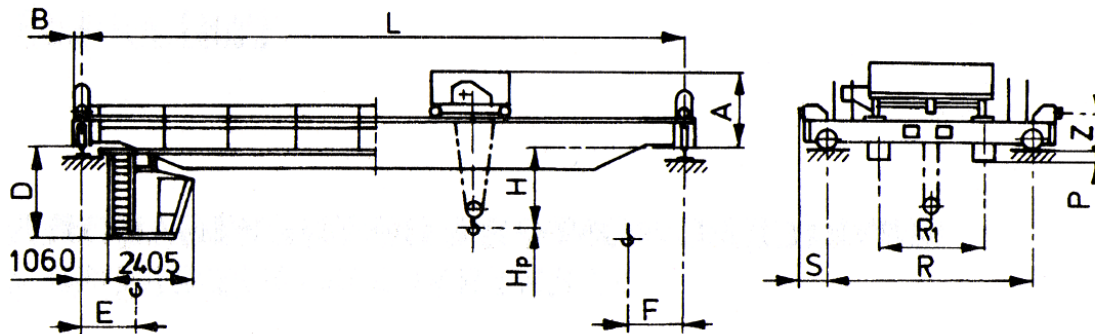
$$1b \approx LA$$

$$1a \approx RA$$

$$1b \approx 0$$

Rys: W. Bogucki, M. Żybertowicz, Tablice do projektowania konstrukcji metalowych, Arkady, Warszawa 1996

3 = długość belki podsuwnicowej ·
wysokość belki podsuwnicowej



Powierzchnia ładunku (2):

$A_{\text{ref},x}$ – wytyczne inwestora

lub

PN-M 06514

$$A_{\text{ref},x} [\text{m}^2] = Q_h [\text{t}] \quad Q_h \leq 12,5 \text{ t}$$

$$A_{\text{ref},x} [\text{m}^2] = 3,5 \sqrt{Q_h [\text{t}]} \quad Q_h > 12,5 \text{ t}$$

φ_6 ; obciążenie próbne Q_T



Statyczne obciążenie próbne	Dynamiczne obciążenie próbne
$Q_T \geq 1,25 Q_h$	$Q_T \geq 1,10 Q_h$
$\varphi_6 = 1$	$\varphi_6 = 0,5 (1 + \varphi_2)$

EN 1991-3 (2.13), (2.14)

φ_7 ; siła od uderzenia w zderzak H_B



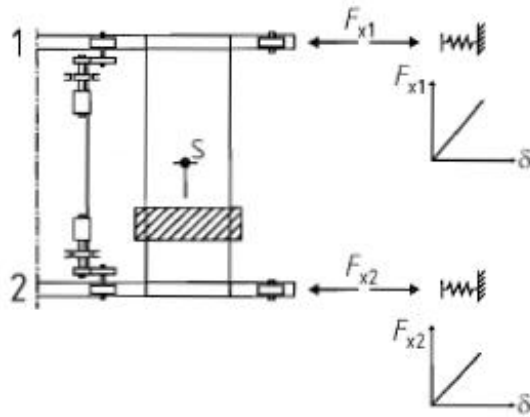
EN 1991-3 (2.15)

$$H_{B,1} = \varphi_7 v_1 \sqrt{m_c S_B}$$

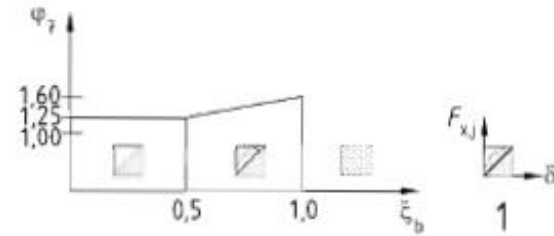
$$v_1 = 0,7 v_{\max}$$

Charakterystyka zderzaka	φ_7
$0,0 \leq \xi_b \leq 0,5$	1,25
$0,5 \leq \xi_b \leq 1,0$	$1,25 + 0,7 (\xi_b - 0,5)$
ξ_b może być w przybliżeniu określony na podstawie rys. 2.9	

EN 1991-3 tab. 2.10



a) Buffer force

b) Buffer characteristic $\xi_b = \frac{1}{F u} \int_0^u F du$

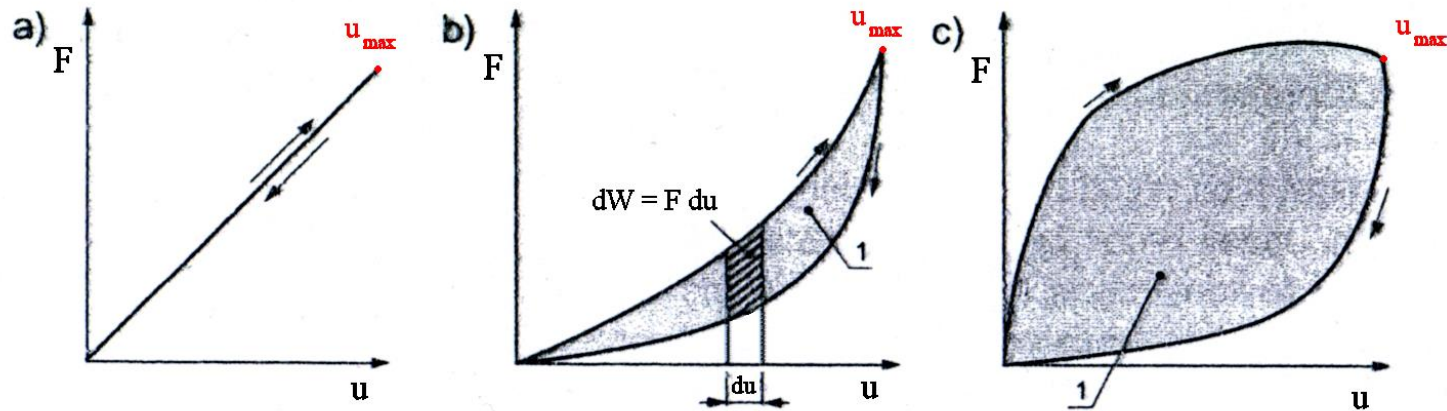
Charakterystyka zderzaka

$$\xi_b = \left\{ 1 / [F(u_{\max}) u_{\max}] \right\} \int_0^{u_{\max}} [F(u)] du$$

znaczy

{ 1 / (energia maksymalnego odkształcenia zderzaka) } [energia rozproszona podczas hamowania]

Funkcja $F(u)$ jest charakterystyką zderzaka, różną dla różnych rodzajów. Funkcja ta powinna być podana przez inwestora lub producenta.



Rys: Hale o konstrukcji stalowej, poradnik projektanta, Kucharczuk W. Labocha S. , PWN 2012

- a) Zderzak sprężynowy
- b) Zderzak hydrauliczny
- c) Zderzak gumowy

1 – energia rozproszona w jednym cyklu

$$F = F(S_B, u)$$

$$\xi_b = \{1 / [F(u_{\max}) u_{\max}]\} \int_0^{u_{\max}} [F(u)] du$$

Przykład dla zderzaka sprężynowego:

$$F = S_B u$$

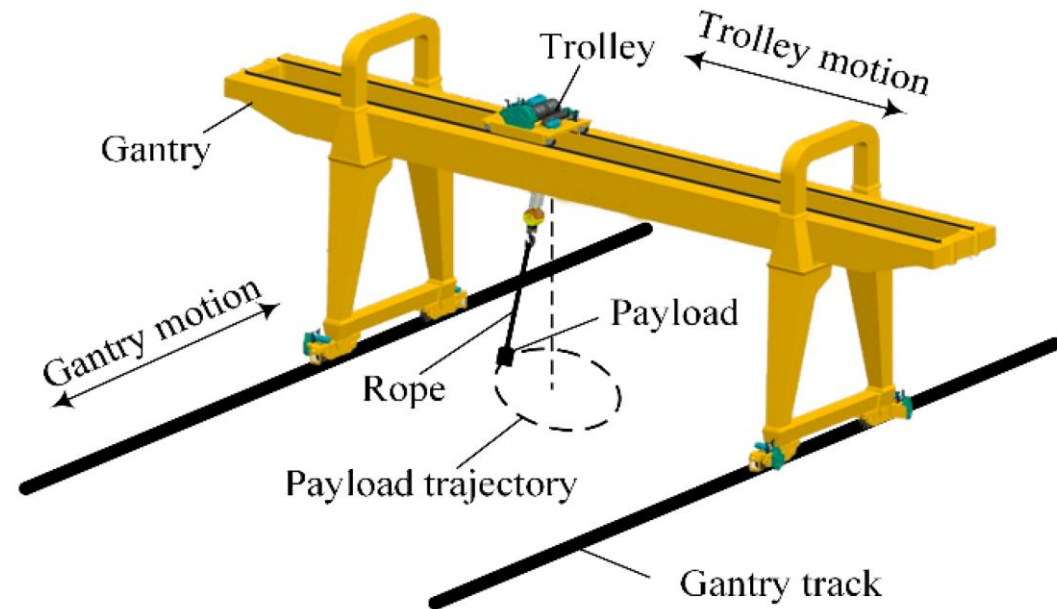
$$F(u_{\max}) = S_B u_{\max}$$

$$\begin{aligned} \xi_b &= \{1 / [F(u_{\max}) u_{\max}]\} \int_0^{u_{\max}} [F(u)] du = [1 / (S_B u_{\max}^2)] \int_0^{u_{\max}} (S_B u) du = \\ &= [1 / (S_B u_{\max}^2)] S_B \int_0^{u_{\max}} u du = [1 / (S_B u_{\max}^2)] S_B u_{\max}^2 / 2 = \\ &= S_B u_{\max}^2 / (2 S_B u_{\max}^2) = 0,5 \end{aligned}$$

$$\xi_b = 0,5 \rightarrow \varphi_7 = 1,25$$

$$H_{B,1} = 0,875 v_{\max} \sqrt{(m_c S_B)}$$

Wychył H_{TA}



EN 1991-3 p. 2.11.3

Rys Research on Nonlinear Control Method of Underactuated Gantry Crane Based on Machine Vision Positioning, H. Shi, G. Li, X. Bai, J. Huang

- ◆ ważne dla suwnic z poziomym usztywnieniem prowadzenia ładunku;
- ◆ przypadek kolizji zawiesi lub ładunku z przeszkodą;
- ◆ brak w Eurokodzie informacji na temat wartości tych sił;



Rys: manulift.com.pl

Siły wychyłu powinny być analizowane przede wszystkim dla sztywnych zawiesi.



Rys: manulift.com.pl

Wciągnik jednoszynowy

Siły pionowe:

- φ_1 ; ciężar własny Q_c ;
- φ_2 ; ciężar ładunku Q_h ;
- φ_6 ; obciążenie testowe Q_T ;

Wartości ustalane są tak samo jak dla suwnic.

Siły podłużne poziome:

- 0,05 (ciężar własny + ciężar ładunku); bez współczynnika dynamicznego;



Rys: eurotech-opole.pl

EN 1991-3 p. 2.5

Pracownicy

Rys: megatem-ec.pl



- ◆ Obciążenie pionowe przyłożone do powierzchni $0,3 \times 0,3 \text{ m}$;
- ◆ W miejscach składowania materiałów, $Q_k = 3,0 \text{ kN}$;
- ◆ Jeśli przejścia, schody i platformy przeznaczone są tylko do normalnego dostępu, $Q_k = 1,5 \text{ kN}$;
- ◆ Obciążenia poziome poręczy, $H_k = 0,3 \text{ kN}$;
- ◆ Jeśli rozważany element jest bezpośrednio obciążony przez suwnicę, obciążenia pracownicze można pominąć;

EN 1991-3 p. 2.9

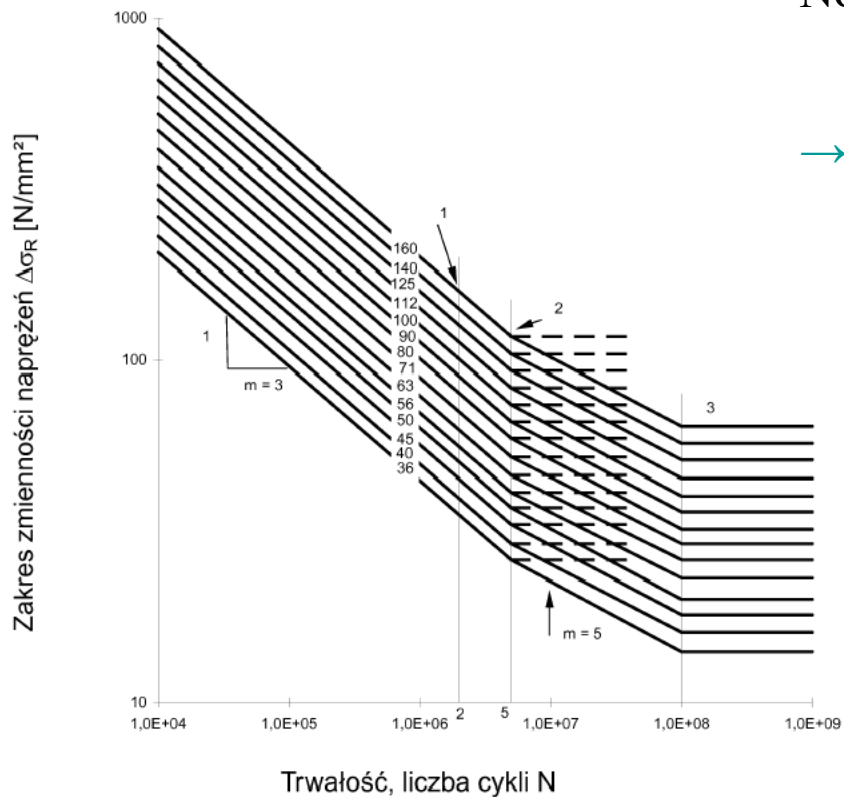
Obciążenia zmęczeniowe

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_E / (\sigma_R / \gamma_{Mf}) \leq 1,0$$
$$\gamma_{Ff} \Delta\tau_E / (\tau_R / \gamma_{Mf}) \leq 1,0$$

EN 1993-1-9 (8.2)

Sprawdzenie nośności zmęczeniowej omówione jest w wykładzie #5, tutaj pokazane tylko wyznaczenie obciążeń przy analizie zmęczeniowej.

Rys: EN 1993-1-9 fig.7.1



Nośność zależy od ilości cykli obciążenia N_R

→ #2 / 75

EN 1991-3-9 7.1 (2)

- 1 Kategorie zmęczeniowe $\Delta\sigma_C$
- 2 Wytrzymałość zmęczeniowa trwała przy stałej amplitudzie $\Delta\sigma_D$
- 3 Wytrzymałość zmęczeniowa trwała $\Delta\sigma_L$

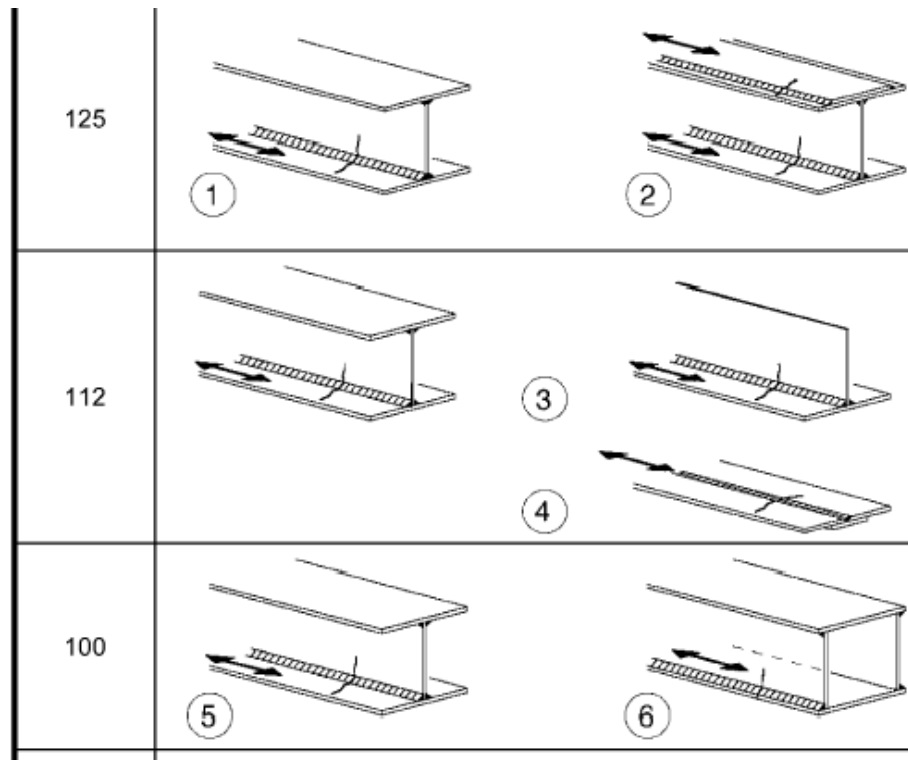
$$\Delta\sigma_R = \Delta\sigma_C \sqrt[m]{2 \cdot 10^6 / N_R}$$

$$\Delta\tau_R = \Delta\tau_C \sqrt[m]{2 \cdot 10^6 / N_R}$$

$m = 3$ dla $N_R = 100\,000 - 5\,000\,000$
 $m = 5$ dla $N_R = 5\,000\,000 - 100\,000\,000$
 $\Delta\sigma_R, \Delta\tau_R$ stałe dla $N_R > 100\,000\,000$

$\Delta\sigma_C$, $\Delta\tau_C$ – wartości podstawowe
nośności; zależą od rodzaju karbu

EN 1993-1-9 tab. 8.1 - 8.10 dla elementów prętowych



$$\Delta\sigma_E = \Delta\sigma_E (Q_e)$$

$$\Delta\tau_E = \Delta\tau_E (Q_e)$$

$$Q_e = Q_{\max,i} \varphi_{\text{fat}} \lambda_i$$

$$Q_{\max,i} \rightarrow \#t / 34 - 36$$

$$\varphi_{\text{fat}} = \max (\varphi_{\text{fat},1} \ ; \ \varphi_{\text{fat},2})$$

$$\varphi_{\text{fat},1} = (1 + \varphi_1) / 2$$

$$\varphi_{\text{fat},2} = (1 + \varphi_2) / 2$$

$$\lambda_i \rightarrow \#t / 70$$

EN 1991-3 (2.16), (2.19)

λ_i zastępczy czynnik uszkodzeń

EN 1991-3 2.12.1

	Podejście uproszczone EN 1991-3	Podejście półdokładne EN 1991-3, EN 13001-1	Podejście dokładne EN 1991-3, EN 13001-1
kQ	-	EN 13001-1	
S _X	EN 1991-3 app. B	EN 1991-3 tab. 2.11	-
λ_i	EN 1991-3 tab. 2.12		EN 1991-3 (2.17), (2.18)

kQ – współczynnik widma obciążeń

S_X – klasa suwnicy

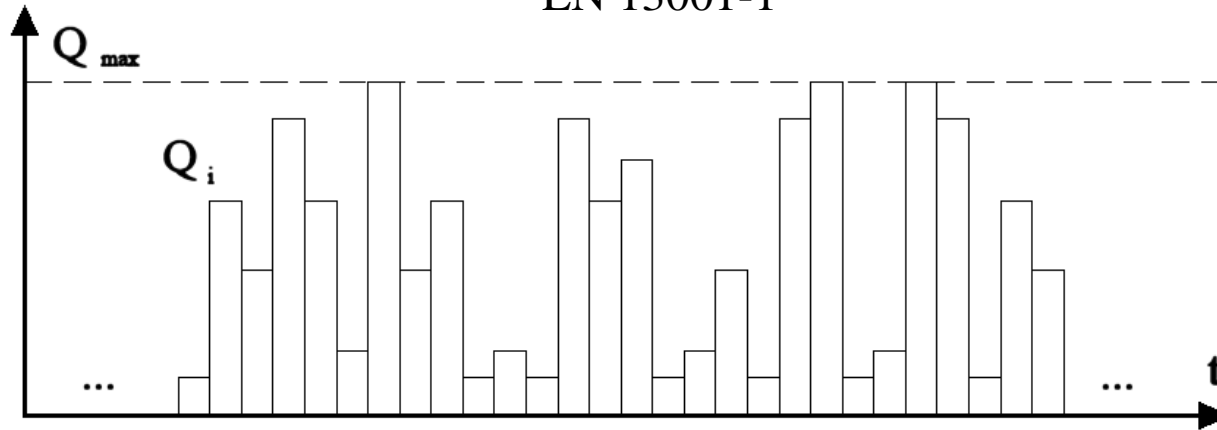
	Podejście uproszczone EN 1991-3	Podejście półdokładne EN 1991-3, EN 13001-1	Podejście dokładne EN 1991-3, EN 13001-1
k_Q	#t / 72	#t / 73	
S_X	#t / 74	#t / 75	#t / 76
λ_i	#t / 77		#t / 78

k_Q , współczynnik widma obciążeń – podejście uproszczone

Nie jest potrzebne

kQ - współczynnik widma obciążeń, podejście półdokładne i dokładne

EN 13001-1



Rys: Autor

C_i liczba cykli dla obciążenia Q_i

Całkowita liczba cykli obciążeń $C = \sum C_i$

$$kQ = \frac{\sum (C_i Q_i^m)}{(C Q_{\max}^m)}$$

$$m = 3 \text{ for } \Delta\sigma_E \quad m = 5 \text{ for } \Delta\tau_E$$

Tak naprawdę pełna informacja na temat C_i i Q_i jest dostępna dopiero po zakończeniu eksploatacji estakady. Na etapie projektowania są to zawsze mniej lub bardziej uprawnione przypuszczenia.

S_x , klasa suwnicy – podejście uproszczone

EN 1991-3 załącznik B

Poz.	Typ dźwignicy	Klasa podnoszenia	Klasa S
1	Dźwignice z napędem ręcznym	HC 1	S0, S1
2	Suwnice montażowe	HC1, HC2	S0, S1
3	Suwnice montażowe w elektrowniach	HC1	S1, S2
4	Suwnice magazynowe – praca nieregularna	HC2	S4
5	Suwnice magazynowe, suwnice z trawersami, suwnice na składowiskach złomu, – praca ciągła	HC3, HC4	S6, S7
6	Suwnice warsztatowe	HC2, HC3	S3, S4
7	Suwnice pomostowe, suwnice kafarowe – praca chwytkiem lub chwytnikiem magnetycznym	HC3, HC4	S6, S7

...

S_X , klasa suwnicy – podejście półdokładne

EN 1991-3 tab. 2.11

Tablica 2.11 – Klasyfikacja oddziaływań zmęczeniowych od suwnic według EN 13001-1

Klasa widma obciążenia		Q_0	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
		$kQ \leq 0,0313$	$0,0313 < kQ \leq 0,0625$	$0,0625 < kQ \leq 0,125$	$0,125 < kQ \leq 0,25$	$0,25 < kQ \leq 0,5$	$0,5 < kQ \leq 1,0$
Klasa całkowitej liczby cykli							
U_0	$C \leq 1,6 \times 10^4$	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0
U_1	$1,6 \times 10^4 < C \leq 3,15 \times 10^4$	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_1
U_2	$3,15 \times 10^4 < C \leq 6,30 \times 10^4$	S_0	S_0	S_0	S_0	S_1	S_2
U_3	$6,30 \times 10^4 < C \leq 1,25 \times 10^5$	S_0	S_0	S_0	S_1	S_2	S_3
U_4	$1,25 \times 10^5 < C \leq 2,50 \times 10^5$	S_0	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4
U_5	$2,50 \times 10^5 < C \leq 5,00 \times 10^5$	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5

S_x , klasa suwnicy – podejście dokładne

Nie istnieje

Wartość λ_i - podejście uproszczone i półdokładne

EN 1991-3 tab. 2.12

Klasa S	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
Naprężenia normalne	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,000	1,260	1,587
Naprężenia ścinające	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,000	1,149	1,320

Do wyznaczania wartości λ_i zastosowane standaryzowane widmo obciążeń o rozkładzie Gaussa, regułę Minera i wykres S-N wytrzymałości zmęczeniowej o nachyleniu $m = 3$ dla naprężeń normalnych i $m = 5$ dla naprężeń stycznych.

W przypadku gdy w dokumentacji suwnicy nie jest podana jej klasa, można korzystać z załącznika B.

Wartość λ_i - podejście dokładne

EN 1991-3 (2.17), (2.18)

$$\lambda_i = \sqrt[m]{kQ C / N}$$

$$kQ \rightarrow \#t / 73$$

$$C \rightarrow \#t / 73$$

$$N = 2 \cdot 10^6$$

$$m = 3 \text{ for } \Delta\sigma_E$$

$$m = 5 \text{ for } \Delta\tau_E$$

Stan graniczny użytkowania;

obciążenia

$$\gamma = 1,0$$

Dopuszczalne wartości ugięć i deformacji podane zostaną na wykładzie #5.

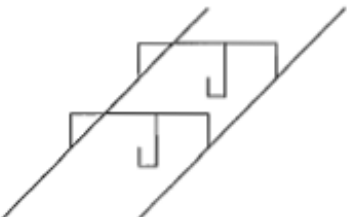
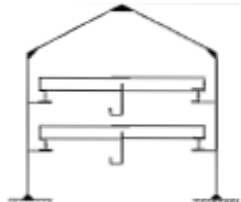
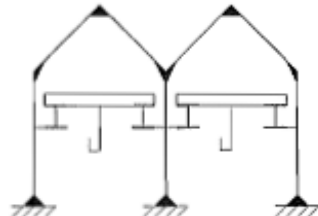
Rodzaj	γ
Ciężar własny konstrukcji	1,35
Ciężar własny suwnicy	1,5
Ciężar ładunku	
Przyspieszenie suwnicy	
Zukosowanie suwnicy	
Obciążenie testowe	
Uderzenie w zderzaki	
Obciążenia pracownicze	
Wiatr	
Śnieg	
Wychył	
Obciążenia poręczy	
Obciążenia termiczne	
Obciążenia podczas budowy	
Obciążenia wyjątkowe	
Obciążenia zmęczeniowe	γ_{Ff} γ_{Mf}

Obciążenia i
współczynniki
bezpieczeństwa

Kombinacje obciążeń

Ile suwnic na raz na konstrukcji należy wziąć pod uwagę? → #t / 82

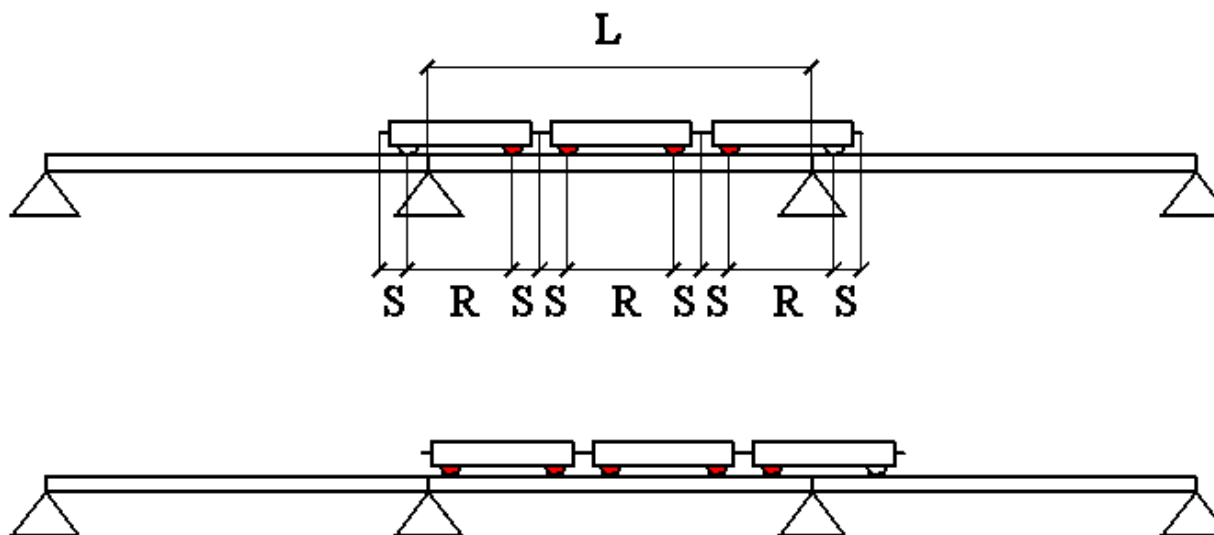
W jakim położeniu suwnicy na belce otrzymujemy maksymalne wartości sił przekrojowych? → #t / 83 - 87

Oddziaływanie suwnicy:	Suwnice na każdym torze	Suwnice w każdej nawie	Suwnice w budynkach wielonawowych	
				
Pionowe	3	4	4	2
Poziome	2	2	2	2

EN 1991-3 tab. 2.3

Zalecany schemat statyczny belki podsuwnicowej: belka jednoprzęsłowa swobodnie podparta.

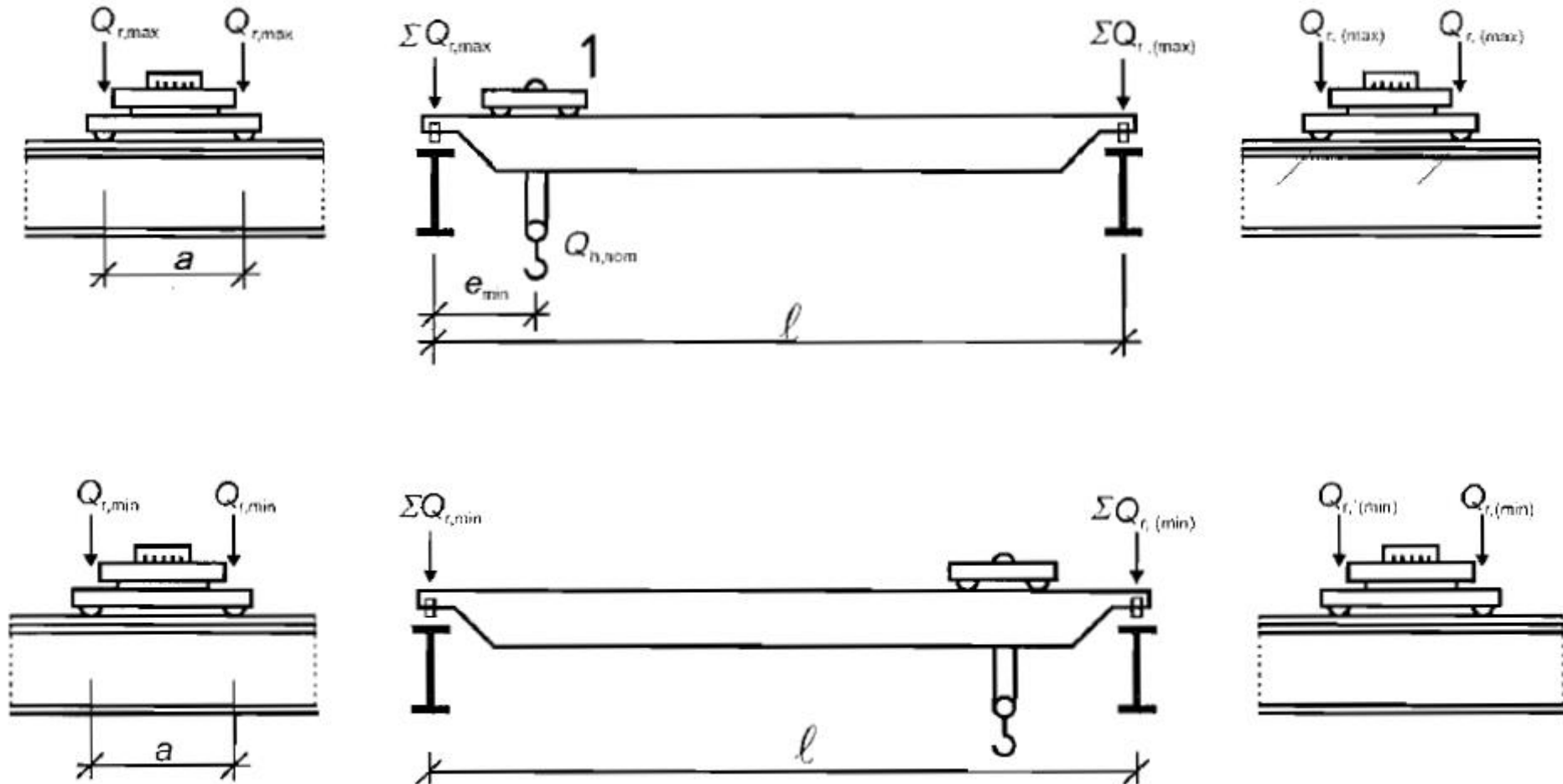
Teoretycznie należy brać pod uwagę nawet trzy suwnice na belce. W rzeczywistości ich liczba wynika z proporcji między rozpiętością belki i długością suwnicy.



Rys: Autor

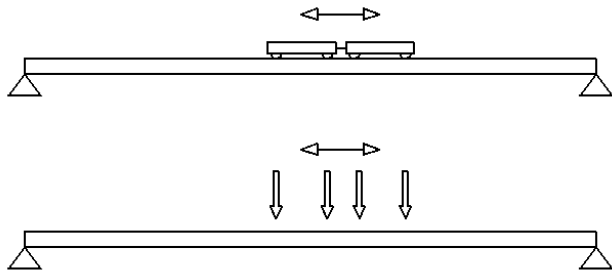
Pod uwagę bierzemy tyle kół, ile zmieści się na belce.

Obciążenie pionowe przyłożone przez koła do belki zależy od położenia wózka suwnicy.



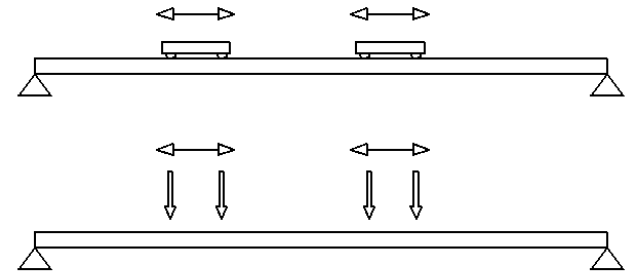
Rys: EN 1991-3 fig. 2.1

Rys: Autor



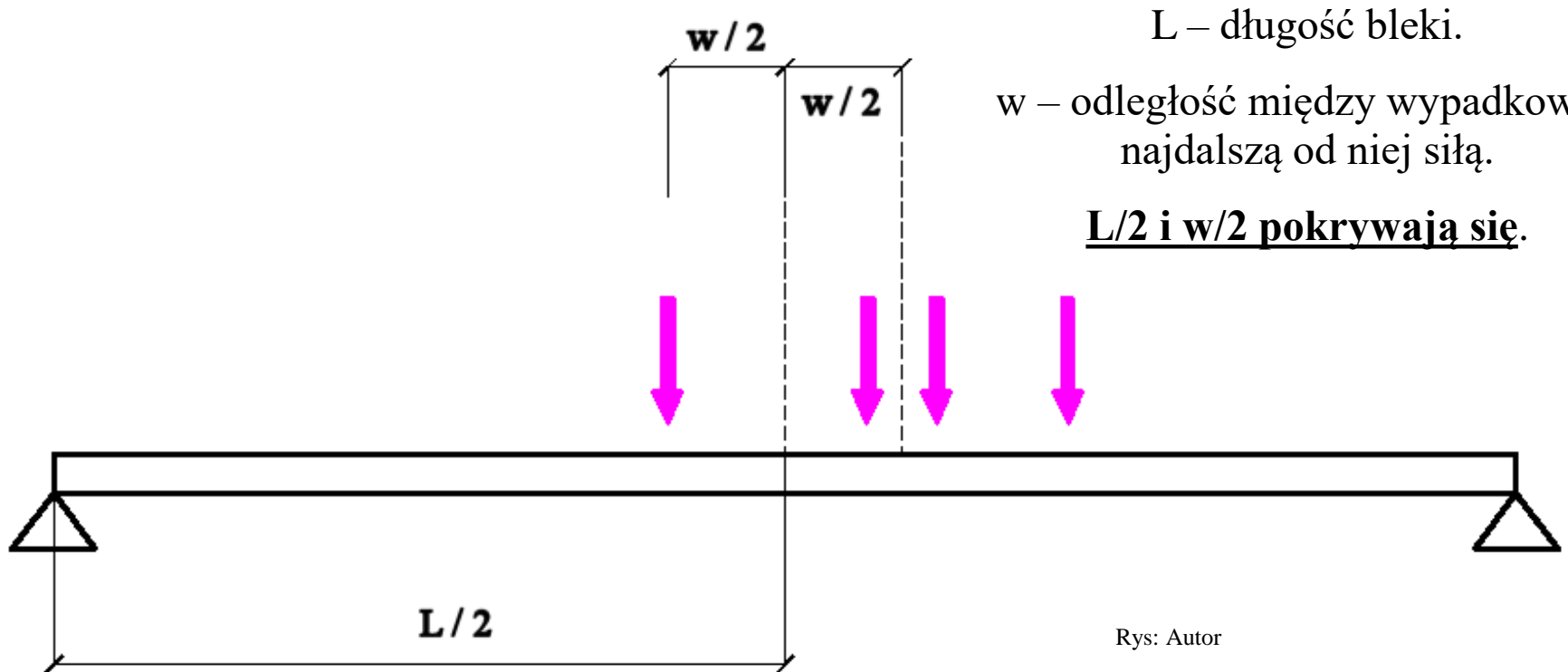
Suwnice mogą być sprzężone ze sobą lub pracować niezależnie.

W obu przypadkach suwnice nie mogą ustawić się bliżej siebie, niż tak jak przy sztywnym sprzężeniu.



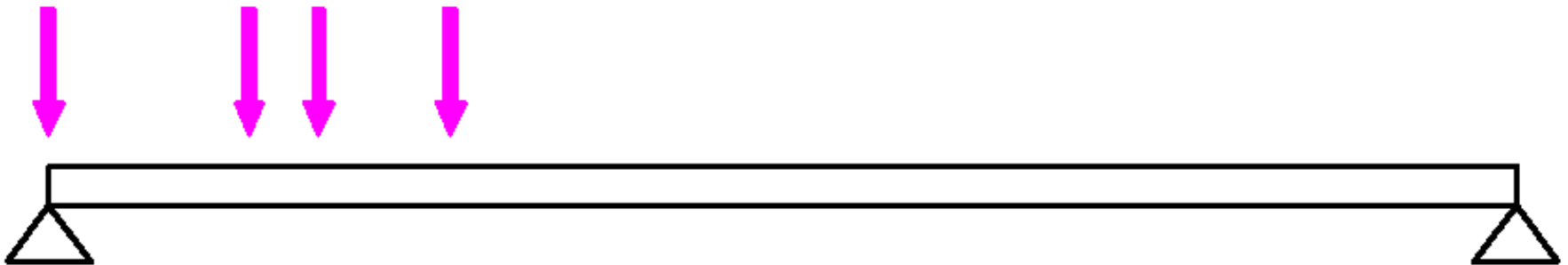
Rys: Autor

Wzajemne położenie suwnic jest ważne dla wyznaczenia maksymalnych wartości sił przekrojowych.



Ustawienie suwnic dla M_{\max} (twierdzenie Culmana)

Obciążenia zlokalizowane jak najbliżej podpory.



Rys: Autor

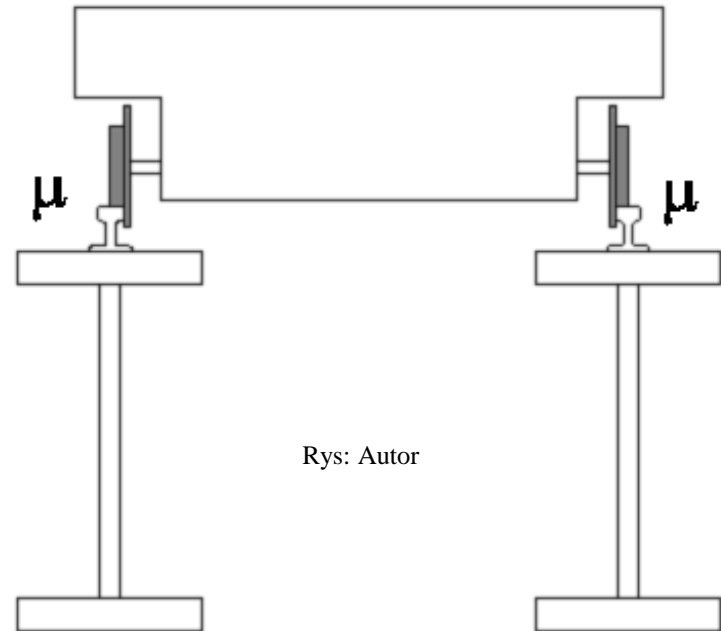
Ustawienie suwnic dla R_{\max} , V_{\max}

Obecność lub brak obrzeży jest istotna przy przekazywaniu sił poziomych z suwnicy na belki podsuwnicowe.

Przekazywanie sił poziomych jest możliwe także w sytuacji, gdy brak jest obrzeży kół. Powodem jest tarcie między kołami i szynami.

Przekazanie obciążeń poziomych z suwnicy na belki podsuwnicowe jest możliwe, gdy obciążenie poziome jest mniejsze od siły tarcia ($\mu \rightarrow \#t / 37$).



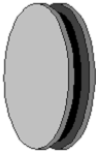
→ #t / 23



Rys: Autor

EN 1993-6 5.6.2 (6) – obciążenia poziome są przykładane do jednej lub obu belek podswunicowych:

Rys: Autor

Obciążenie	Rodzaj koła	
	 	
$H_{L,i} ; H_{T,i}$	obie	obie
$H_{S,i,j,k}$	obie	obie
H_{T3}	jedna	obie
H_B	obie	obie
$H_{B,2}$	obie	obie
H_{TA}	obie	obie
średni wiatr	jedna	obie
silny wiatr	obie	obie

	Rodzaj oddziaływania	Symbol	Punkt normy	Grupy obciążeń									
				SGN							Próbne	Wyjątkowe	
				1	2	3	4	5	6	7			
1	Ciężar własny dźwigni	Q_c	2.6	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4	1	φ_1	1	1
2	Ciężar podnoszony	Q_h	2.6	φ_2	φ_3	0	φ_4	φ_4	φ_4	η	0	0	0
3	Przyspieszenie mostu suwnicy	H_L H_T	2.7	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	0	0	0	φ_5	0	0
4	Zukosowanie mostu	H_S	2.7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
...

EN 1991-3 tab. 2.2

W powyższej tabelicy przedstawiono tylko najważniejsze kombinacje. Z powodu dwu możliwych prędkości wiatru (średni / silny), dwu kierunków wiatru (poprzeczny / podłużny) i dwu położen suwnicy ($\max M_{Ed}$ / $\max V_{ed}$) istnieje kilkadziesiąt kombinacji.

Grupa obciąż.	V = 0 [m / s]		V = 20 [m / s]				V = 22 - 26 [m / s]			
			T		L		T		L	
	M _{max}	R _{max} , V _{max}	M _{max}	R _{max} , V _{max}	M _{max}	R _{max} , V _{max}	M _{max}	R _{max} , V _{max}	M _{max}	R _{max} , V _{max}
1 SGN			+	+	+	+	+	+	+	+
2 SGN			+	+	+	+	+	+	+	+
3 SGB			+	+	+	+	+	+	+	+
4 SGN			+	+	+	+	+	+	+	+
5 SGN			+	+	+	+	+	+	+	+
6 SGN	+	+								
7 SGN	+	+								
8 Test			+	+	+	+	+	+	+	+
9 wyj.	+	+								
10 wyj.	+	+								
Zmęcz.	+	+								
Ugięcie			+	+	+	+	+	+	+	+

W rzeczywistości kombinacji jest znacznie więcej $\Sigma = 66$

Zagadnienia egzaminacyjne

Omówienie współczynników dynamicznych

Omówienie obciążeń

Specyfika obciążenia wiatrem

Obciążenia w obliczeniach zmęczeniowych

Dziękuję za uwagę

© 2025 dr inż. Tomasz Michałowski

tmichal@pk.edu.pl