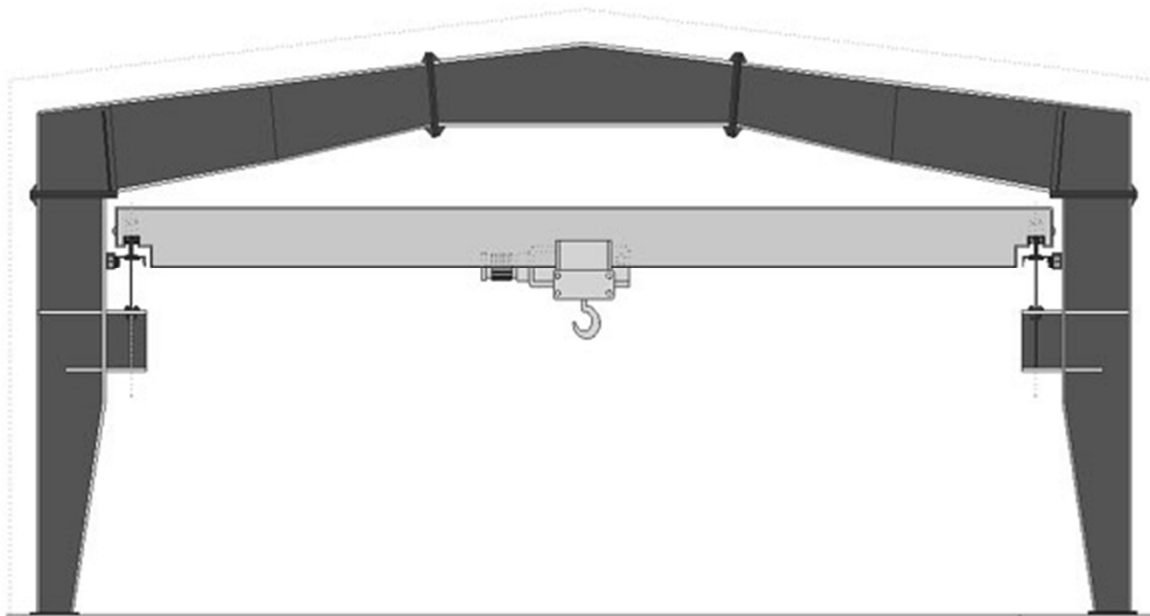


Konstrukcje metalowe 2: Belki podsuwnicowe

Belki podsuwnicowe



Opracowano z wykorzystaniem materiałów:

[1] PN-EN 1991-3 Eurokod 1. *Oddziaływania na konstrukcje. Część 3: Oddziaływania wywołane dźwignicami i maszynami*

•[2] PN-EN 1993-6:2007, *Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 6: Konstrukcje wsporcze dźwignic*

•[3] Żmuda J., Irek K., *Belki podsuwnicowe, tory jezdne wciągników i suwnic podwieszonych*, XXVII Ogólnopolskie Warsztaty pracy projektanta konstrukcji, Szczyrk, 7-10 marca 2012

•[4] strony www dostępne w dniu 30-11-2013

Leszek CHODOR , dr inż. bud, inż.arch.

leszek@chodor.co ; lch@chodor-projekt.net

Konstrukcje wsporcze dźwignic. Wprowadzenie [3]

Dźwignice są stosowane do podnoszenia i przemieszczania ciężarów w transporcie bliskim i służą do transportu wewnętrznego pionowego (a również poziomego) w halach przemysłowych, Składowach. Są integralnie związane z konstrukcją budowlaną, lecz nie wymagają pozwolenia budowlanego na użytkowanie. Podlegają jednak kontroli Państwowych Służb Dozoru Technicznego (DT).

Dźwignice wytwarzane po 01.05.2004 roku muszą spełniać dyrektywy Unii Europejskiej w sprawie wymagań dla maszyn i **elementów** bezpieczeństwa. Podczas podnoszenia, utrzymywania w spoczynku i przemieszczania ciężarów na tory jezdne dźwignic działają, poprzez naciski kół, siły pionowe, poziome i podłużne, których wartości zależą od wielkości transportowanego ciężaru i usytuowania kół dźwignicy na torze. Siły te wywołują dwukierunkowe zginanie, skręcanie, ściskanie lub rozciąganie toru jezdnego podpierającego dźwignicę.

Podnoszenia i opuszczania ciężarów oraz praca urządzeń mechanicznych dźwignicy wywołują także drgania przekazywane na konstrukcje wsporcze. Z powodu często zmieniających się obciążeń, nośność torów jezdnych (ewentualnie ich podpór) jest także sprawdzana ze względu na zmęczenie

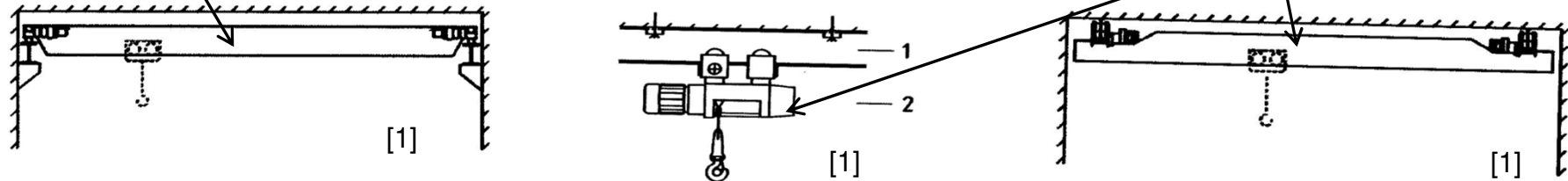
Obciążenia oddziaływujących na konstrukcje wsporcze dźwignic określa się według postanowień norm Eurokodu 1 [1 i inne normy obciążeniowe].

Natomiast projektowanie i obliczanie tych konstrukcji dokonuje się na podstawie norm Eurokodu 3 [2 i inne zeszyty EC3]

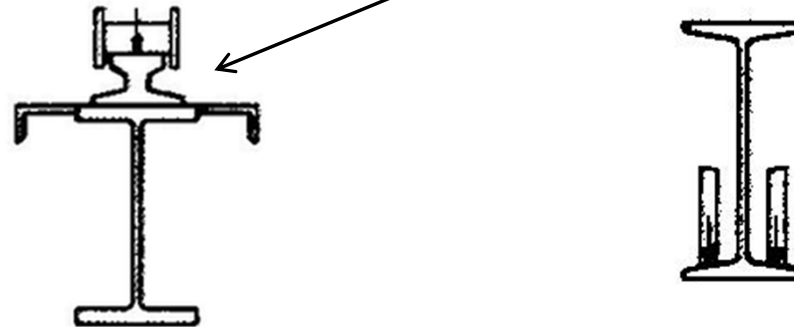
Rodzaje dźwignic {1}

Suwnice natorowe (transport podparty) stosuje się w przypadku transportu pionowego i poziomego w przemyśle ciężkim o udźwigu od kilkunastu do kilkuset ton.

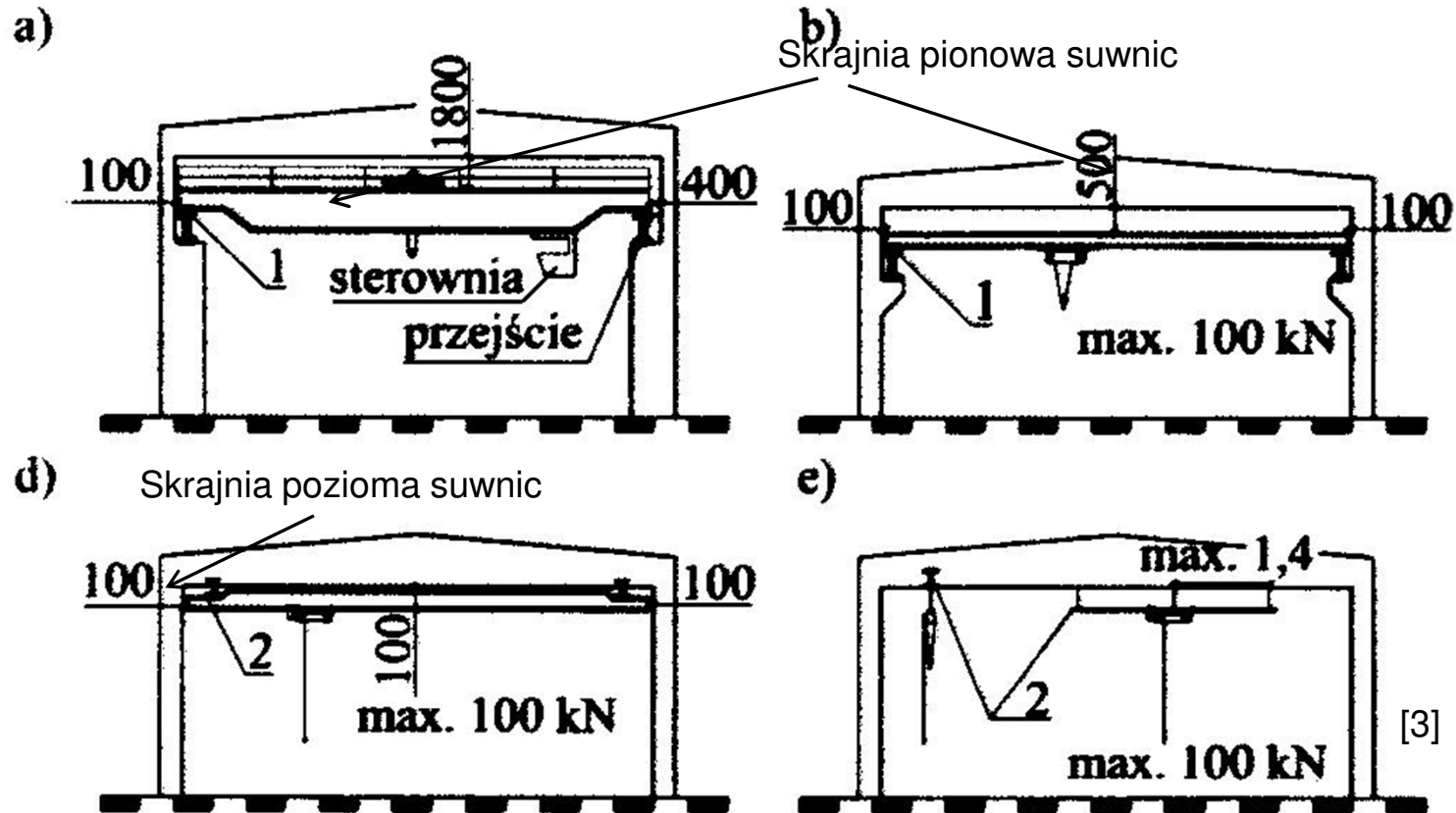
W przemyśle lżejszym, szczególnie samochodowym stosuje się transport podwieszony (wciągarki 2 z belkami jezdnyymi 1, często zakrzywionymi w planie lub suwnice podwieszone)



Koła suwnic natorowych przemieszczają się po szynach umieszczonych na pasach górnych belek podsuwnicowych. Koła suwnic podwieszonych i wciągników jednoszynowych poruszają się bezpośrednio na pasach dolnych belek jezdnych. Stąd belki takie nazywa się także torami suwnic podwieszonych i wciągników.



Rodzaje dźwignic {2}



Rys.1. [3] Dźwignice: a) suwnica pomostowa natorowa z wózkiem na pasach górnych mostu suwnicy, b) suwnica pomostowa natorowa z wózkiem na pasach dolnych mostu suwnicy, d) suwnica podwieszona, e) wciągnik jednoszynowy

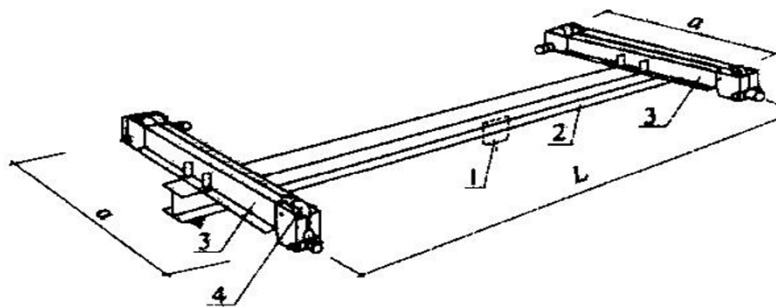
Suwnice pomostowe {1}

Suwnica pomostowa jest to maszyna przeznaczona do podnoszenia i przemieszczania ciężarów (ładunków), która porusza się na torze jezdny suwnicy. Jest wyposażona w jeden lub więcej wózków z wbudowanymi wciągarkami poruszającymi się na szynach mostu suwnicy (rys. 1a) lub na pasach dolnych mostu suwnicy (rys. 1b). Wciągarka jest urządzeniem napędzanym elektrycznie, wyposażonym w bęben i układ lin z zawiesiem hakowym (chwytakowym) umożliwiającym podnoszenie i transport ładunków.

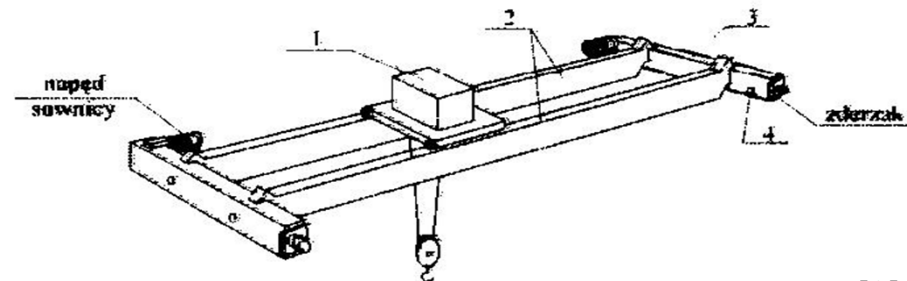
Podnoszone ciężary mogą być przemieszczane w dowolne miejsca przestrzeni hali lub składu.

Most suwnicy może być jednodźwigarowy (rys. 2a) lub dwudźwigarowy (rys. 2b). Końce dźwigarów mostu suwnicy podpierają się na belkach czołowych, w których również usytuowane są koła jezdne i napęd suwnicy.

a)



b)



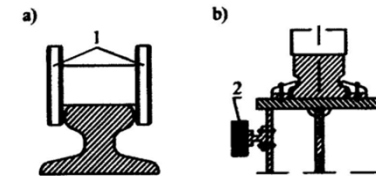
[3]

Rys 2. [3] Schematy suwnic pomostowych: a) suwnica pomostowa podwieszona jednodźwigarowa, b) suwnica pomostowa natorowa dwudźwigarowa; 1 – wózek z wciągarką, 2 – dźwigar mostu suwnicy, 3 – belka czołowa, 4 – koła suwnicy

Suwnice pomostowe {2}

W zależności od wielkości udźwigu (Q_n) i rozpiętości mostu (L) suwnica może być wyposażona w dwa lub cztery koła jezdne z jednej strony mostu i jeden lub dwa dźwigary mostowe. Utrzymanie prostoliniowego ruchu suwnicy zapewniają elementy prowadzące poprzez poziome oddziaływania pomiędzy suwnicą i torem suwnicy. Elementami prowadzącymi mogą być obrzeża (wieńce) kół napędowych suwnic (rys. 3a) lub układ rolek prowadzących (rys. 3b) współpracujących z suwnicą.

Rys 3. [3] Elementy prowadzące suwnicy : a) obrzeża kół, b) rolki prowadzące



Suwnice mogą być sterowane z poziomu roboczego hali lub składu, z kabiny lub zdalnie (bezprzewodowo).

Ze względu na budowę konstrukcji nośnej suwnice dzielą się na:

* mostowe (nadtorowe), * bramowe, * półbramowe, * podwieszane.

Ze względu na przeznaczenie suwnice dzielą się na:

- hakowe ogólnego przeznaczenia

- specjalne, do których należą:

- * lejnicze (do transportu płynnych metali i żużli; różnią się od suwnic ogólnego) przeznaczenia tym, że lina od mechanizmu podnoszenia posiada niepalny rdzeń, a mechanizm podnoszenia posiada dwa niezależnie od siebie działające hamulce,

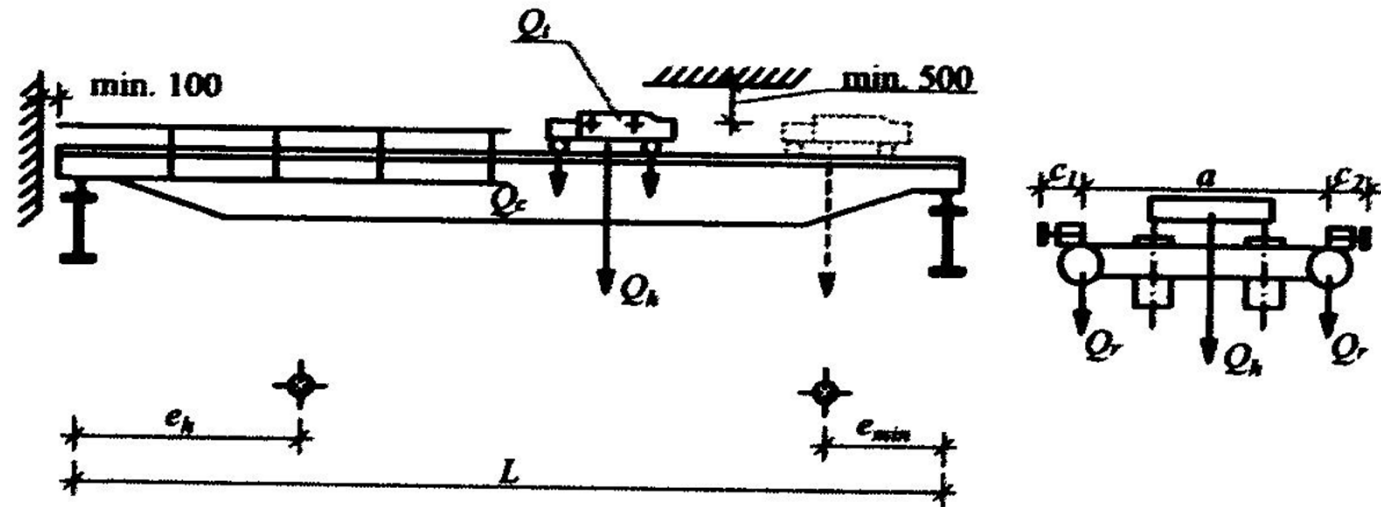
- * czerpakowe – do transportu materiałów sypkich, magnesowe – do transportu metali za pomocą chwytника elektromagnetycznego,

- * wsadowe – do załadunku wsadu do pieców hutniczych, * striperowe – do transportu wlewnic z wlewkami oraz do wyciskania wlewków z wlewnic, * kuzienne – do transportu elementów do obróbki plastycznej.

Suwnice pomostowe {3}

Parametry techniczne suwnicy.

Na projektowanie przekrojów belek podsuwnicowych wpływ mają następujące parametry suwnicy:



Q_c - ciężar własny,

Q_h - ciężar podnoszony

Q_r - nacisk pionowy koła,

L - rozpiętość mostu suwnicy,

a - rozstaw kół,

c_1, c_2 - odległości między osiami kół a zderzakami,

e_h lub $\min e_{\min}$ - najmniejsza odległość między położeniem haka a osią toru jezdneho

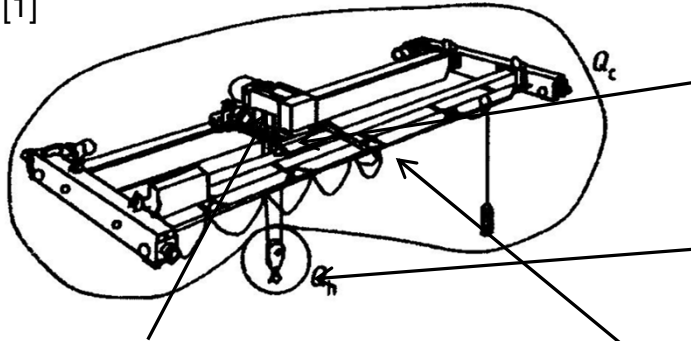
v - prędkość jazdy suwnicy względem elementu prowadzącego,

v_h - prędkość podnoszenia ładunku,

s_B - stała sprężyny zderzaka.

Suwnice – definicje podstawowe wg normy [1]

[1]



Ciężar własny suwnicy Q_c : ciężar własny stałych i ruchomych części suwnicy bez urządzenia chwytającego i podwieszonych odcinków lin i łańcuchów

Ciężar podnoszony Q_h : ciężar własny ładunku, urządzenia chwytającego i podwieszonych odcinków lin i łańcuchów podnoszonych z suwnicą

Wózek suwnicy : część z wbudowaną wciągarką, poruszającą się po szynach na moście suwnicy

Most suwnicy : część rozpostarta pomiędzy belkami toru jezdnego i podtrzymująca wózek lub wciągnik

Współczynnik dynamiczny: stosunek odpowiedzi dynamicznej do odpowiedzi statycznej (zastępczej) .

Wciągarka: maszyna do podnoszenia ładunków

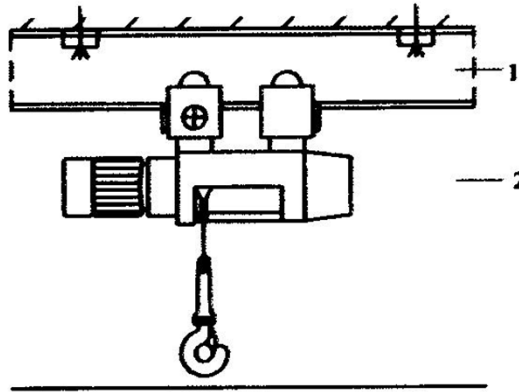
Wciągnik: podwieszony wózek z budowaną wciągarką

Suwnica natorowa: maszyna przeznaczona do podnoszenia i przemieszczania ładunków, która porusza się na kołach na belkach toru jezdnego, Jest wyposażona w jedną lub więcej wciągarek, zamontowanych na wózkach lub wciągnikach. Opiera się na wierzchu belek toru jezdnego.

Suwnica pomostowa podwieszona: suwnica, która opiera się na dolnych pasach toru jezdnego

Wciągniki jednoszynowe

Wciągnik jednoszynowy 2 jest maszyną, która podnosi i transportuje ładunek w linii prostej lub zakrzywionej. Porusza się po dolnym pasie belki stacjonarnej 1



Wciągniki mają napęd ręczny lub elektryczny. Są sterowane z poziomu posadzki. Produkowane w kraju wciągniki „Polblok” mają udźwigi od 5 kN do 50 kN, a ciężary własne od 235 kg do 880 kg [3] .

Klasyfikacja suwnic {1}

Parametry warunków technicznych użytkowania suwnic:

- ogólna liczba cykli pracy w okresie jej eksploatacji
- średnie odległości przejazdów
- względna częstotliwość występowania obciążenia średniego (widma obciążeń)
- średnia liczba rozruchów

Parametry te wpływają na określenie:

- klasy wykorzystania suwnic
- klasy podnoszenia

Klasa wykorzystania suwnicy zależy od ilości pracy w jednostce czasu. Mamy 10 klas wykorzystania suwnicy →

Przyjmuje się, że cykl pracy dźwignicy rozpoczyna się wtedy, kiedy ładunek może być podniesiony i kończy się w chwili, kiedy dźwignica jest gotowa do podniesienia następnego ładunku w zakresie określonego zadania.

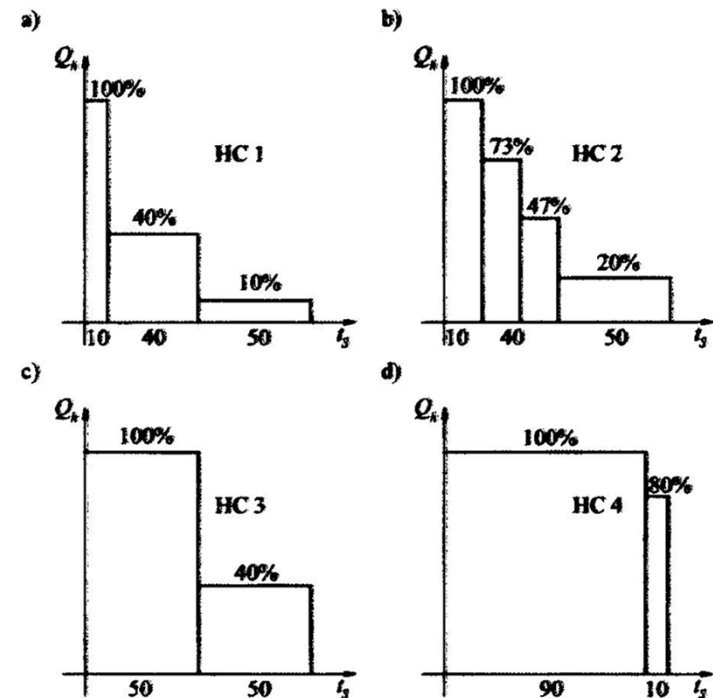
Klasa wykorzystania dźwignicy	Maksymalna liczba cykli pracy dźwignicy N_i	Rodzaj pracy dźwignicy
1	2	3
U_0	$1,6 \times 10^4$	regularna
U_1	$3,2 \times 10^4$	
U_2	$6,3 \times 10^4$	
U_3	$1,25 \times 10^5$	
U_4	$2,5 \times 10^5$	regularna, rzadka
U_5	5×10^5	regularna z przerwami
U_6	1×10^6	nieregularna intensywna
U_7	2×10^6	intensywna
U_8	4×10^6	
U_9	powyżej 4×10^6	

Najczęściej liczba cykli pracy i N w okresie eksploatacji dźwignicy jest określona na podstawie danych z eksploatacji podobnych maszyn

Klasyfikacja suwnic {2}

• Klasa podnoszenia dźwigni uwzględnia czas pracy, częstotliwość podnoszenia ładunków i stopień wykorzystania pełnego dopuszczalnego udźwigu w okresie dnia roboczego. Obecnie niektórzy wytwórcy zagraniczni dla swoich urządzeń podają cztery grupy natężenia pracy (lekka, średnia, ciężka i bardzo ciężka), które są odpowiednikami klas podnoszenia, zależne od średniego czasu pracy urządzenia oraz od klasy obciążenia względnego.

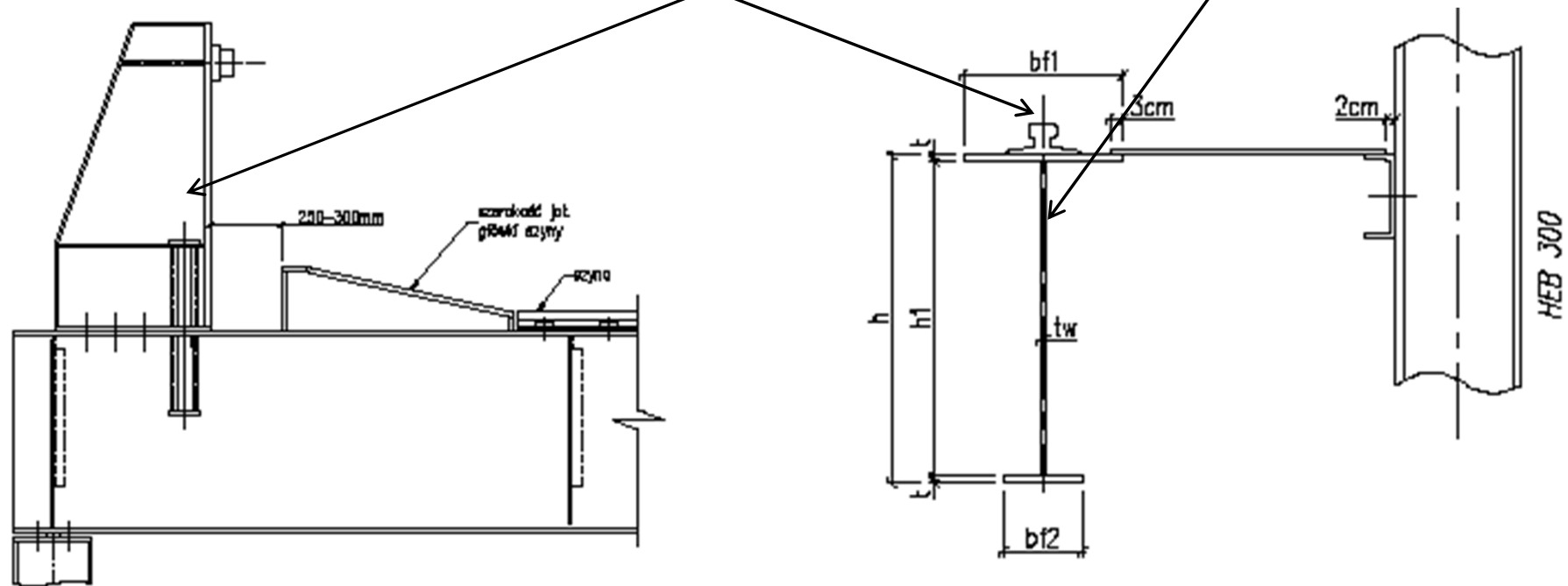
Klasa podnoszenia dźwigni	Nominalna wartość współczynnika obciążenia dźwigni K_p	Charakterystyka podnoszonych ładunków
1	2	3
HC1 (Q1)	0,125	ładunek nominalny podnoszony bardzo rzadko, zwykle ładunki znacznie mniejsze od nominalnego
HC2 (Q2)	0,25	ładunek nominalny podnoszony rzadko, zwykle ładunki zbliżone do połowy ładunku nominalnego
HC3 (Q3)	0,50	ładunek nominalny podnoszony często, inne ładunki większe od połowy nominalnego
HC4 (Q4)	1,00	ładunek nominalny podnoszony regularnie i ładunek bliski nominalnemu



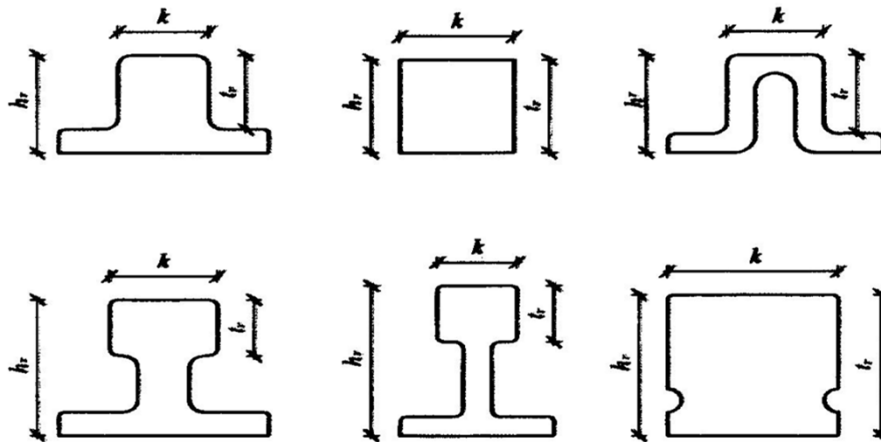
Wyznaczanie klasy podnoszenia urządzenia w zależności od średniego dziennego czasu pracy: t_s - średni dzienny czas pracy w %, Q_n - obciążenie względne urządzenia w %, a) obciążenie lekkie, b) obciążenie średnie, c) - obciążenie ciężkie, d - obciążenie bardzo ciężkie →

Belki podsuwnicowe – ogólna charakterystyka

Belka podsuwnicowa – belka wzdłuż której porusza się suwnica. Na belce ułożona jest szyna suwnicy natorowej, najczęściej z odbojnicą



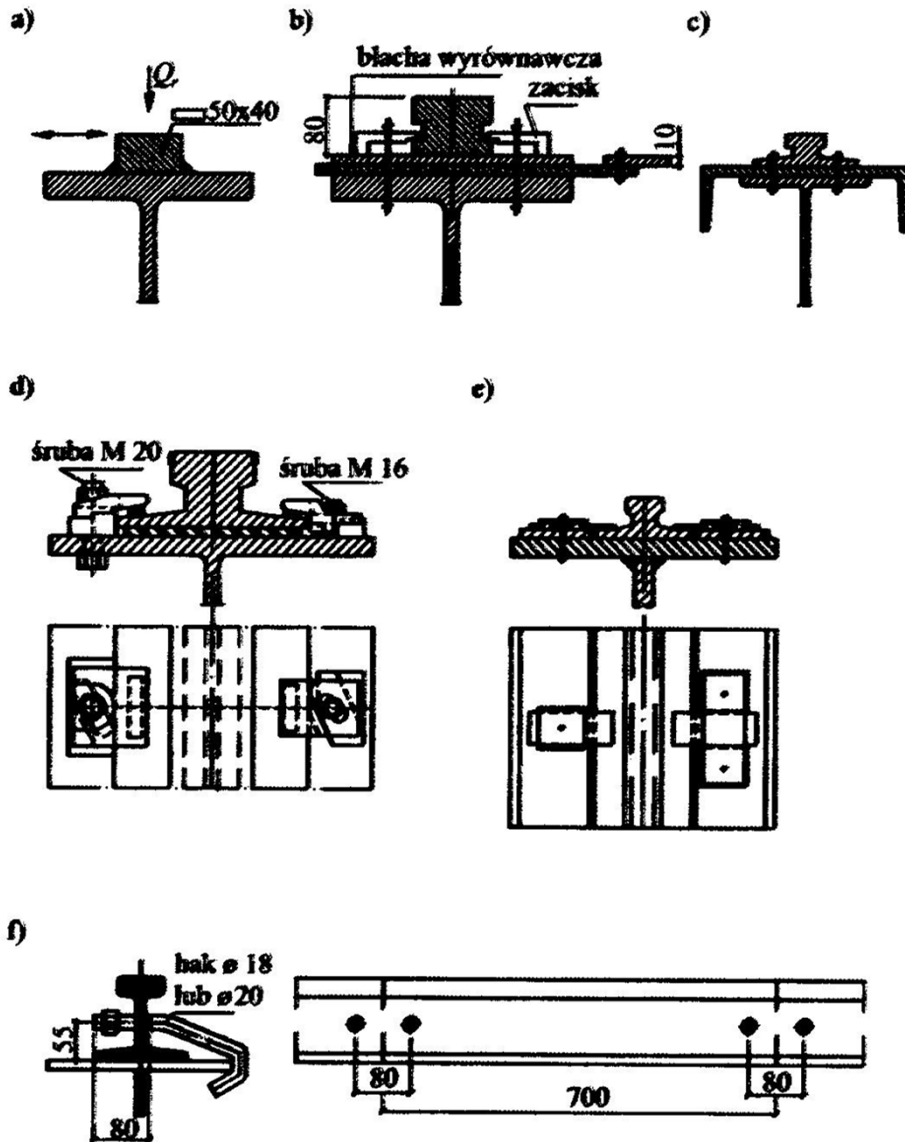
Szyna podsuwnicowa – element jezdny belki, na którym opiera się koło suwnicy. Na rynku krajowym stosuje się szyny podsuwnicowe SD65, SD100 oraz szyny z kęsów kwadratowych i prostokątnych.



Przekroje szyn podsuwnicowych

Dobór rodzaju szyny nie jest dowolny; zależy od charakterystyki suwnic na nich pracujących, a zwłaszcza parametry kół suwnic. Istotne dla szyn są dwa podstawowe wymiary szyn: szerokość k i grubość główki t_r . Podstawowe cechy geometryczne szyn podawane są w tablicach. Szyny podczas eksploatacji ulegają zużyciu. Dlatego przy wyznaczaniu cech geometrycznych przekroju szyny lub przekroju złożonego z pasem górnym belki podsuwnicowej przyjmuje się zredukowany przekrój główki szyny. Zalecana redukcja wynosi 25% grubości główki szyny.

Szyny podsuwnicowe podobnie jak szyny kolejowe wykonane są ze stali specjalnych o minimalnej wytrzymałości na rozciąganie od 500 MPa do 1200 MPa.



Szyny dźwignicowe łączą się z belką za pomocą systemu podkładek, nakładek i złączy śrubowych.

- Szyn z kęsów łączy się z belką za pomocą spoin pachwinowych. Dopuszcza się projektowanie spoin przerywanych o długościach odcinków 100 mm.

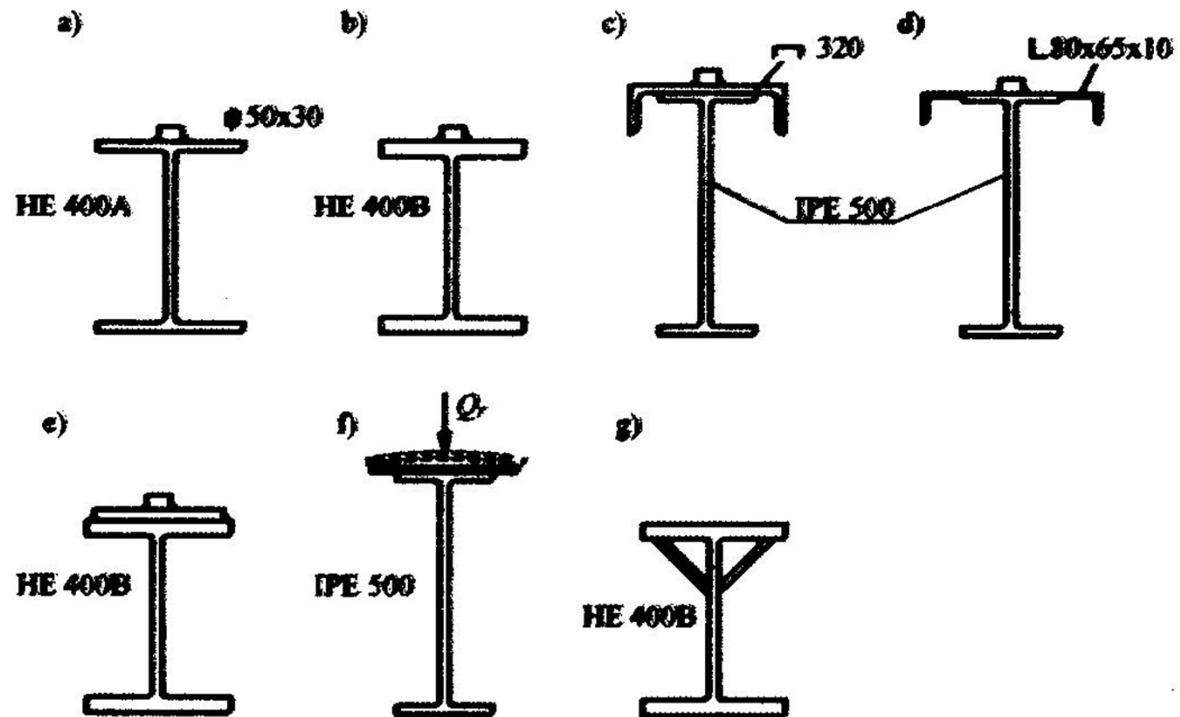
Przykłady łączenia szyn podsuwnicowych z belką

Kształty przekrojów poprzecznych Aktualnie projektuje się pełnościennie przekroje poprzeczne dźwigarów podsuwnicowych; wyjątkowo projektowane są dźwigary kratownicowe.

Kształtowniki walcowane

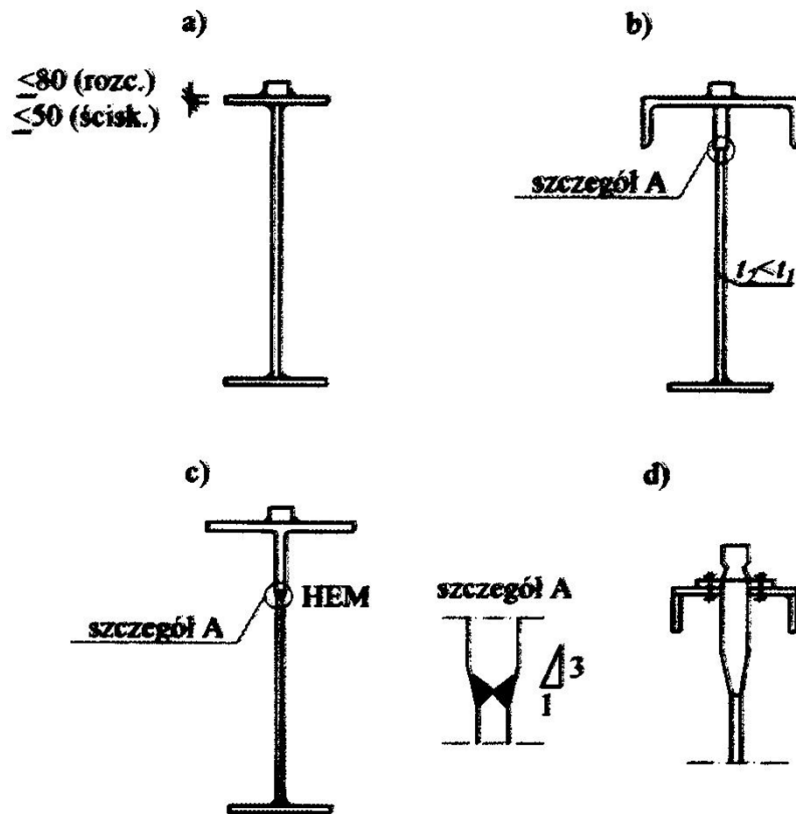
→

Dźwigary podsuwnicowe z kształtowników walcowanych można projektować jako jedno, dwu lub trójprzęsłowe.
przy rozstawach podpór 6,0 do 7,5 m oraz z umiarkowanymi naciskami kół suwnic.



Przekroje poprzeczne belek z kształtowników walcowanych: a, b) HEA i HEB z szyną z kąsa, c, d) IPE ze wzmocnionym pasem górnym za pomocą ceownika lub kątowników, e,f) wzmocnienie pasa górnego płaskownikiem, g) wzmocnienie pasa górnego ukośnikiem

•Dźwigary pełnościennie spawane projektuje się na tory suwnic pomostowych przy rozstawach słupów powyżej 7,5 m i znaczniejszych oddziaływaniach kół suwnicy. Projektuje się je, jako jednoprzęsłowe, swobodnie podparte. Przekrój poprzeczny dźwigara z blachy kształtuje się z uwzględnieniem oddziaływań pionowych i poziomych kół, stąd szczególnie dobiera się przekrój pasa górnego belki. Jeżeli projektowana belka będzie bez stężenia poziomego to racjonalnie winna być dobrana szerokość i grubość pasa górnego

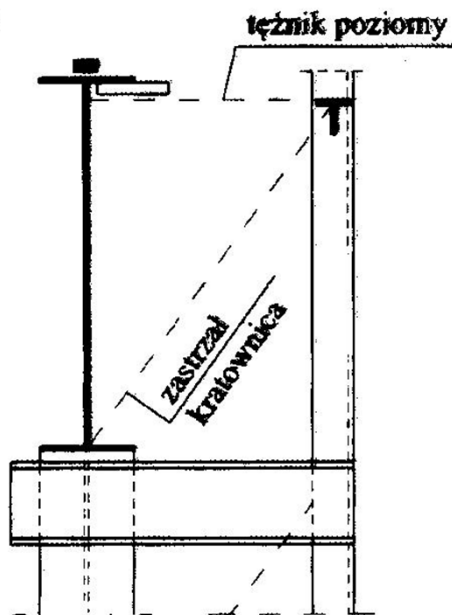


← Przekroje poprzeczne belek pełnościennych:

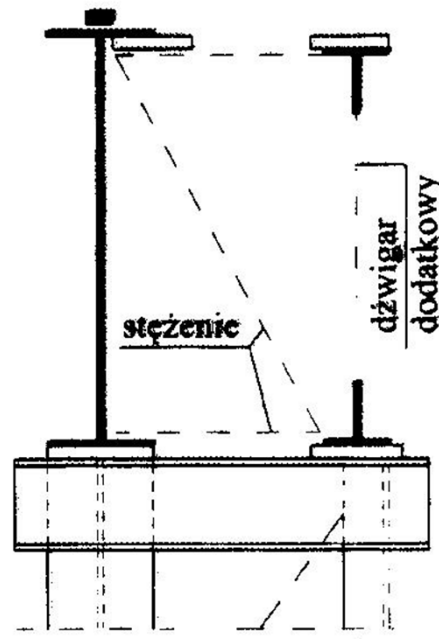
W strefie naprężeń rozciągających grubość pasa nie powinna być większa niż 50 mm, a w strefie naprężeń ściskających nie więcej niż 80 mm. Stąd też winny być dobrane właściwe parametry spawania w procesie scalania elementów wysyłkowych dźwigarów. Spoiny (kształty) łączące pasy ze środkiem winny do minimum ograniczać wpływ korbów na nośność (zmęczenie) dźwigara.

Zamiast szerokich i grubych blach można pas górny zaprojektować z ceownika lub połówki kształtownika HEB lub HEM. Aby zwiększyć nośność środka na obciążenie skupione, od kół suwnic, można także wzmocnić jego grubość pod pasem górnym

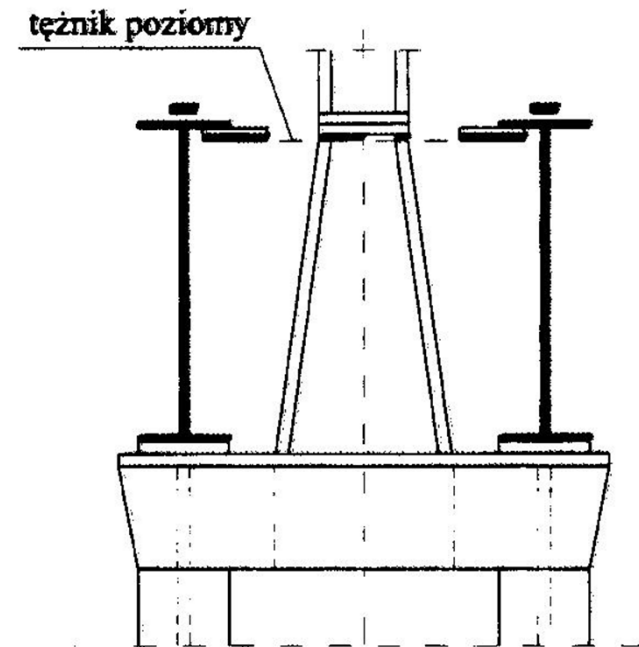
- Szttywność pozioma pasów górnych belek może być niewystarczająca dla dźwigarów podsuwnicowych o dużych rozpiętościach (powyżej 12 m) i znacznych udźwigach suwnic na nich pracujących. Do przenoszenia poziomych oddziaływań kół suwnic projektuje się wówczas stężenia poziome pełnościennie z blachy lub kratownicowe w płaszczyźnie poziomej pasa górnego. Stężenia stanowią równocześnie konstrukcyjne zabezpieczenia ciągłe lub punktowe dźwigara przed zwichrzeniem. Blacha pozioma stężenia jest także chodnikiem wykorzystywanym przez obsługę suwnic i służby techniczne.



Podparcie poprzez zastrzały



Podparcie poprzez kratownice



Podparcie poprzez chodnik pełnościenny

Postanowienia Eurokodu [1] wprowadzają wiele zmian w zakresie 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 składającymi się z części statycznej i dynamicznej. Oddziaływania dynamiczne, wywołane różnymi obciążeniami, są uwzględnione przez stosowanie wielu współczynników dynamicznych, 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, jakie oddziałują na poszczególne masy i ładunek przy jego 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 pojedynczych obciążeń.

Oddziaływania dźwignic {2}

Oddziaływania dźwignic: zmienne, wyjątkowe

Oddziaływania zmienne - zależą od zmienności w czasie i zmienności położenia:

pionowe

wywołane ciężarem własnym i ciężarem podnoszonym

poziome

wywołane przyśpieszeniem albo opóźnieniem oraz ukosowaniem i ew. innymi wpływami dynamicznymi

Oddziaływania są złożone z części dynamicznej i części statycznej

Składniki dynamiczne F_{φ} , wywołane drganiami powstałymi pod wpływem sił bezwładności lub tłumienia są na ogół opisywane współczynnikiem dynamicznym φ stosowanym do wartości statycznych F (niżej indeks k – charakterystyczne)

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

Do obliczenia obciążeń belki podsuwnicowej dla trwałej lub przejściowej sytuacji obliczeniowej należy zgodnie z normą [1] określić wartości pięciu (φ_1 - φ_5) współczynników dynamicznych.

Współczynniki φ_1 - φ_4 są stosowane do określenia składowych dynamicznych obciążeń pionowych kół suwnicy. Współczynnik φ_5 jest stosowany do określania składowych dynamicznych obciążeń poziomych. Współczynnik dynamiczny φ_6 jest stosowany do określania pionowych obciążeń próbnych działających na belki podsuwnicowe. Współczynnik φ_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 kosztów odbojowych suwnic lub wózków (p. tabl.2.1 [1] → kolejna plansza)

Oddziaływania dźwignic {3}

[1]

Tablica 2.1 – Współczynniki dynamiczne φ_i

Współczynniki dynamiczne	Uwzględniane efekty	Zastosowanie
φ_1	– wzbudzenie konstrukcji dźwignicy spowodowane poderwaniem ładunku z podłoża	ciężar własny dźwignicy
φ_2 albo φ_3	– wpływy dynamiczne podnoszenia ładunku z podłoża ku dźwignicy – wpływy dynamiczne nagłego zwolnienia ładunku, jeżeli używane są np. chwytaki lub chwytaki elektromagnetyczne	ciężar podnoszony
φ_4	– wpływy dynamiczne występujące podczas jazdy po szynach lub po 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	obciążenie próbne
φ_7	– dynamiczne sprężyste wpływy uderzenia w zderzaki	siły uderzenia w zderzaki

Oddziaływania dźwignic {4}

Wartości współczynników dynamicznych od obciążeń pionowych [1]

Wartości współczynników dynamicznych	
1	2
φ_1	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ Wartości 1,1 i 0,9 odzwierciedlają odpowiednio górną i dolną wartość pulsacyjną
φ_2	$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 v_h$ v_h - ustalona prędkość podnoszenia w m/s $\varphi_{2,min}$ i β_2 patrz Tablica 2.3
φ_3	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$ gdzie: Δm - zwolniona lub zrzucona 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 szybko zwalniające
φ_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 φ_4 można wyznaczyć na podstawie modelu przedstawionego w EN 13001-2.	

← Współczynnik φ_1 przyjmuje się z przedziału

$$0,9 \leq \varphi_1 \leq 1,1$$

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

← Współczynnik φ_2 dobiera się w zależności od klasy podnoszenia i prędkości podnoszenia (podaje producent)

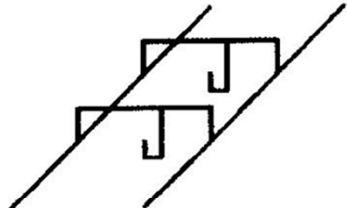
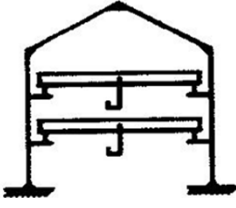
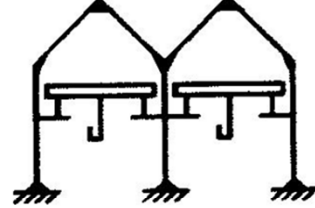
← $\varphi_{3,4}$ zgodnie z tab. [1]

Klasa podnoszenia suwnicy	Wartości	
	β_2	$\varphi_{2,min}$
1	2	3
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

Oddziaływania dźwignic {5} : Oddziaływanie od kilku suwnic

Wspólne oddziaływanie sprzęgniętych suwnic należy traktować jako oddziaływanie pojedynczej suwnicy.

W przypadku, gdy pracuje kilka suwnic jednocześnie, to należy określić maksymalną liczbę suwnic, działających jednocześnie. W tym przypadku reguły oddziaływania od kilku suwnic należy przyjmować zgodnie z tabelą,

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

W przypadku kombinacji obciążeń grupą suwnic z innymi obciążeniami grupą suwnic należy je traktować jako pojedyncze oddziaływanie. Przy rozpatrywaniu kombinacji oddziaływań od suwnic z innymi oddziaływaniami należy wyróżnić następujące przypadki:

- tory jezdne na zewnątrz budynków. Charakterystyczne oddziaływanie wiatru na konstrukcję suwnicy i urządzenia chwytające można ustalić zgodnie z EC1-1-4 jako siłę charakterystyczną F_{wk}
- Jeżeli rozpatruje się kombinację ładunku przenoszonego z działaniem wiatru, należy uwzględnić maksymalną siłę wiatru jako zgodną ze stanem roboczym suwnicy. Siła F'_m odpowiada prędkości wiatru równej 20 m/s. Powierzchnia nawietrzna ładunku podnoszonego powinna być wyznaczona indywidualnie dla każdego przypadku.
- tory jezdne wewnątrz budynków, gdy budynki narażone na wpływy atmosferyczne, a elementy konstrukcyjne budynków mogą być również – bezpośrednio lub pośrednio obciążone suwnicami. Można pominąć obciążenie suwnicy działaniem wiatru i śniegu, natomiast dla konstrukcyjnych części budynku obciążonych wiatrem, śniegiem i suwnicą należy je uwzględnić w odpowiedniej kombinacji obciążeń zgodnie z EC0.

Dla każdego najniekorzystniejszego przypadku obciążeń należy wyznaczyć wartości obliczeniowe zgodnie z EC0.

Jeżeli uwzględnia się oddziaływania wyjątkowe, to nie ma potrzeby uwzględniania równoczesnego innego oddziaływania wyjątkowego, ani wiatru, ani śniegu.

W kombinacjach obciążeń belek podsuwnicowych natorowych zaleca się przyjmować współczynniki obciążeń: $\gamma_{G,sup} = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$, $\gamma_Q \psi_o = 1,5 \times 0,9 = 1,35$.

Oddziaływania dźwignic {7}: grupy oddziaływań

[3]

Jednoczesne działanie różnych składników obciążenia dźwignicami można rozpatrywać za pomocą grup oddziaływań. Każdą z tych grup traktuje się jako jedno charakterystyczne działanie, które przyjmuje się w kombinacji z obciążeniami nie pochodzącymi od obciążenia dźwignicami.

Tablica 2.2 — Grupy oddziaływań i współczynniki dynamiczne do wyznaczania charakterystycznych oddziaływań suwnicy

	Rodzaj (pochodzenie) oddziaływania	Symbol	Punkt normy	Grupy obciążeń									
				Stan graniczny nośności							Próbne	Wyjątkowe	
				1	2	3	4	5	6	7			
1	Ciężar własny suwnicy	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	–	φ_4	φ_4	φ_4	$\eta^{1)}$	–	1	1
3	Przyśpieszenie mostu suwnicy	H_L, H_T	2.7	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	–	–	–	φ_5	–	–
4	Zukosowanie mostu suwnicy	H_S	2.7	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–
5	Przyśpieszenie lub hamowanie wózka, lub bloku wciągnika	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	–	–	–	–	–	–	–	φ_6	–	–
8	Siły uderzenia w zderzaki	H_B	2.11	–	–	–	–	–	–	–	–	φ_7	–
9	Siły wywołane wychyleniem	H_{TA}	2.11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1

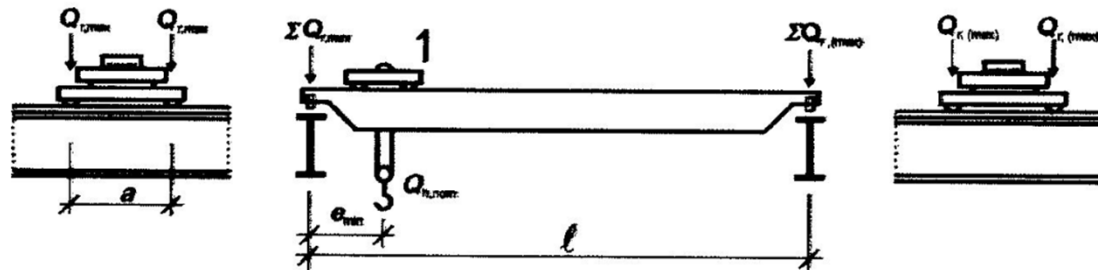
UWAGA: Wiatr w stanie spoczynku suwnicy, patrz Załącznik A.

¹ η wyraża stosunek ciężaru podnoszonego, który pozostaje na suwnicy po zwolnieniu ładunku, ale nie jest wliczony do ciężaru własnego suwnicy.

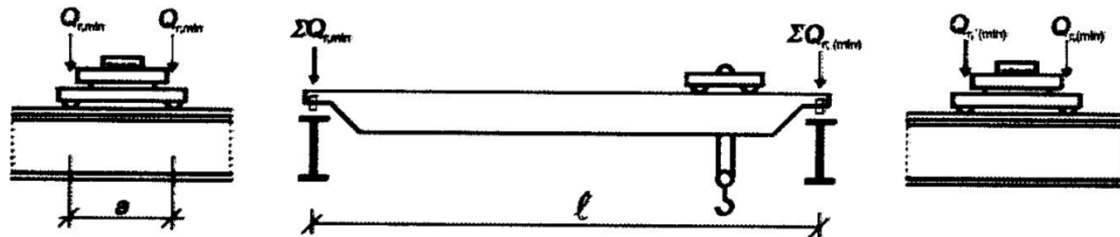
Przyporządkowanie odpowiednich współczynników dynamicznych stosowanych w kombinacjach obciążeń podano w ← tab

[1]

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 rys a),b) poniżej i kombinacji grup obciążeń charakterystycznych z tab.2.2.[1] .



a) Układ do wyznaczania maksymalnych oddziaływań suwnicy z ładunkiem



b) Układ do wyznaczania minimalnych oddziaływań suwnicy bez ładunku

- $Q_{r,max}$ –maksymalne oddziaływanie koła suwnicy z ładunkiem
- $Q_{r,(max)}$ – dopełniające (względem maksymalnego) oddziaływanie koła
- $Q_{r,min}$, minimalne oddziaływanie suwnicy bez ładunku
- $Q_{r,(min)}$, dopełniające (względem minimalnego) minimalne oddziaływanie suwnicy bez ładunku
- $\sum Q_{r,max}$, $\sum Q_{r,(max)}$, $\sum Q_{r,min}$, $\sum Q_{r,(min)}$ – suma odpowiadających (maksymalnych , dopełniających, minimalnych) oddziaływań
- $Q_{h,nom}$ – nominalny ciężar podnoszony (udźwig suwnicy)

Z analizy układów obciążeń suwnicą , wynikają następujące formuły obliczeniowe:

Minimalne oddziaływanie kół suwnic (bez ładunku)

➤ Kombinacje grup obciążeń 1,2 tab. 2.2. [1] przy maksymalnym zbliżeniu do lewego toru –rys b)

$$Q_{r,min} = \frac{\varphi_1 (G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_1 G_t (L - e_{min})}{n L}, \quad (\text{wzór K1})$$

n – liczba kół suwnic na lewym lub prawym torze

Minimalne dopełniające (na prawym torze)

L – rozpiętość mostu suwnicy

$$Q_{r,(min)} = \frac{\varphi_1 (G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_1 G_t e_{min}}{n L} \quad (\text{K2})$$

- Kombinacje grup obciążeń 3 obliczać wg wzorów (K1) i (K2) dla $\varphi_1=1$
- Kombinacje grup obciążeń 4,5 obliczać wg wzorów (K1) i (K2) dla $\varphi_1= \varphi_2$

Kombinacje obciążeń pionowych {3}

Maksymalne oddziaływanie kół suwnic (z ładunkiem)

- Kombinacje grup obciążeń 1 (przy maksymalnym zbliżeniu do lewego toru –rys a)

$$Q_{r,max} = Q_{r,min} + \frac{\varphi_2 Q_{h,nom}(L - e_{min})}{nL} \quad (K3)$$

Maksymalne dopełniające (na prawym torze)

$$Q_{r,(max)} = Q_{r,(min)} + \frac{\varphi_2 Q_{h,nom} e_{min}}{nL} \quad (K4)$$

- Kombinacje grup obciążeń 2 wg wzorów (K3) i (K4) dla $\varphi_2 = \varphi_3$
 - Kombinacje grup obciążeń 4,5 wg wzorów (K5) i (K6)

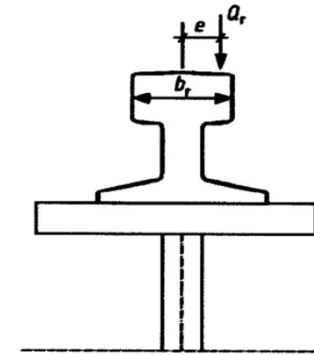
$$Q_{r,max} = \frac{\varphi_4 (G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_4 (G_t + Q_{h,nom})(L - e_{min})}{nL}, \quad (K5)$$

$$Q_{r,(max)} = \frac{\varphi_4 (G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_4 (G_t + Q_{h,nom}) e_{min}}{nL}. \quad (K6)$$

Mimośród i siły poziome oddziaływania suwnic

Mimośród oddziaływania koła na suwnicę

$e = \frac{1}{4}$ szerokości główki szyny

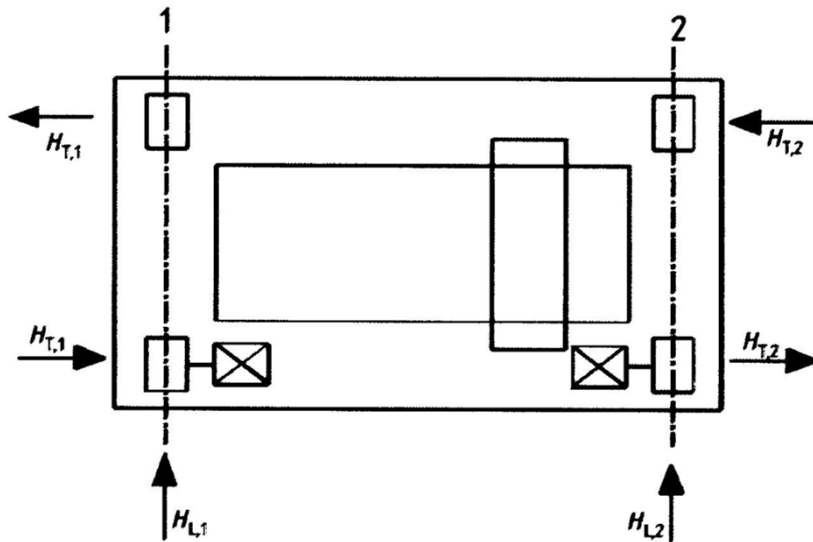


Siły poziome : W przypadku suwnic pomostowych należy uwzględnić następujące rodzaje sił poziomych

- a) siły poziome spowodowane przyspieszeniem lub opóźnieniem ruchu suwnicy wzdłuż toru (2.7.2[1])
 - b) siły poziome spowodowane przyspieszeniem lub opóźnieniem ruchu wózka lub wciągnika wzdłuż toru (2.7.5[1])
 - c) siły poziome spowodowane zukosowaniem suwnicy w stosunku do jej ruchu wzdłuż toru suwnicy (2.7.4)[1]
 - d) siły uderzenia w zderzaki spowodowane ruchem suwnicy (2.11.1 [1])
 - e) Siły uderzenia w zderzaki spowodowane ruchem wózka lub wciągnika (2.11.2 [1])
- Jeżeli nie określono inaczej, to tylko jeden rodzaj siły poziomej włącza się do tej samej grupy równocześnie działających składników obciążenia suwnicą (tab 2.2. [1])

Siły poziome podłużne H_L i poprzeczne H_T

Siły poziome H_L i H_T , spowodowane są przyspieszeniem lub opóźnieniem jazdy suwnicy. Powstające na styku szyny i koła napędzanego suwnicy siły poziome H_{Li} i H_{Ti} (dla $i=1,2$ – tor 1,2) można obliczać z formuł:



$$H_{L,i} = \varphi_5 K \frac{1}{n_r}$$

gdzie:

n_r – liczba torów jezdnych,

φ_5 – współczynnik dynamiczny,

$i = 1, 2$, tor 1 lub tor 2,

siła napędu suwnicy $K = K_1 + K_2 = \mu \sum Q_{r,min}$

gdzie:

μ – 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.

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

gdzie:

φ_5 – współczynnik dynamiczny,

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

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

moment napędu $M = K l_s$, $l_s = (\xi_1 - 0,5) L$,

L – rozpiętość mostu suwnicy,

l_s – odległość środka ciężkości układu S od osi jazdy.

Siły poziome od ukosowania suwnicy {1}

Obciążenia 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. Dla tego celu opracowuje się model fizyczny i model matematyczny. Zakłada się, że dźwignica porusza się ze stałą prędkością i jest bez ograniczników zukosowana. Model mechanizmu (rys →) składa się z szeregowo ustawionych n par kół jezdnych, z których p jest sprzęgniętych (C). Poszczególne pary kół mogą być sprzęgnięte między sobą mechanicznie lub elektrycznie lub mogą być zamontowane niezależnie (I) od siebie. Koła są osadzone w modelu 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 2.8 [1].

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

$$S = f \lambda_{s,j} \sum Q_r,$$

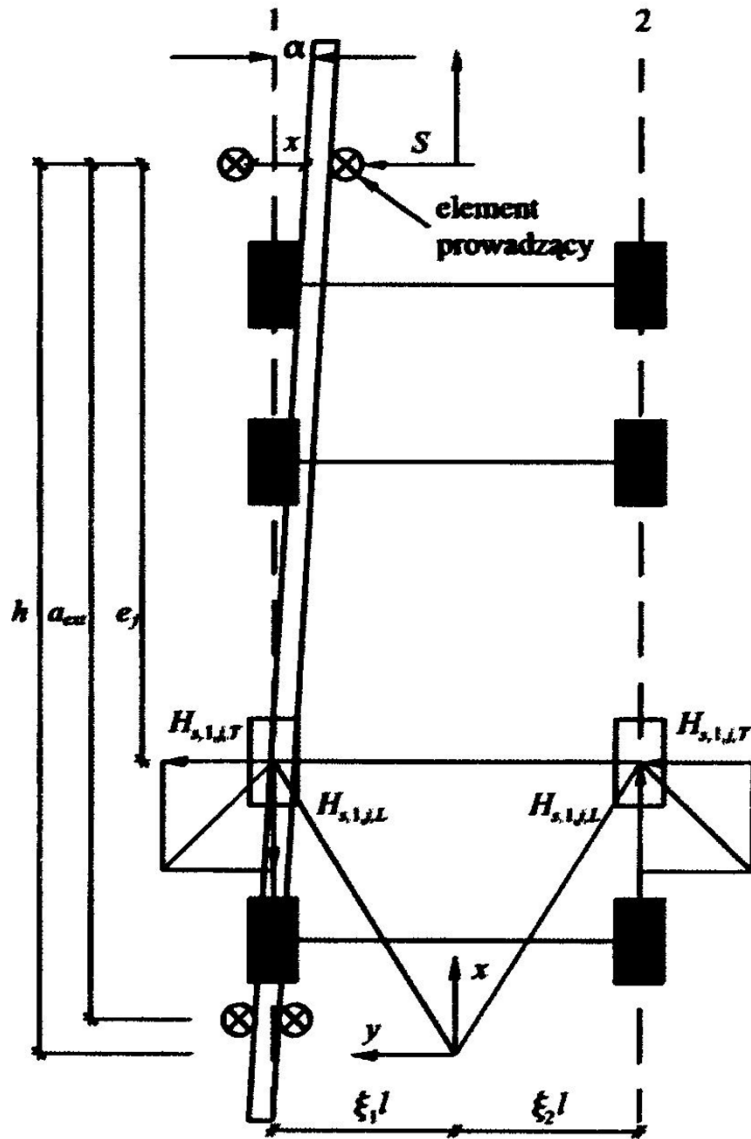
$$H_{s,i,j,L} = f \lambda_{s,i,j,L} \sum Q_r, H_{s,i,j,T} = f \lambda_{s,i,j,T} \sum Q_r$$

$$f = 0,3 (1 - \exp(-250 \alpha)) \leq 0,3,$$

Kąt zukosowania

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_v + \alpha_o < 0,015 \text{ rad}.$$

Siły poziome od ukosowania suwnicy {2}



← Model ukosowania i usytuowania kół suwnicy na torze (opis na poprzedniej planszy)

Wymiarem h_j oznaczono odległości między poszczególnymi parami kół jezdnych, a pierwszym elementem prowadzącym mechanizm w kierunku jazdy dźwigni. W przypadku, gdy koła jezdne są z obrzeżami, spełniają rolę elementów prowadzących ($= 0$) h_j . W modelu założono, że siły ciężkości wywołane masami obciążonej dźwigni (mg) działają w odległości x_L od szyny 1 i są rozmieszczone równomiernie na n kół •po każdej stronie toru jezdnych dźwigni.

Wyznaczanie odległości h (tab.2.8 [1]):

Tablica 2.8. Wyznaczanie odległości h wg [N2]

ustawienie kół ze względu na ruchy boczne	Kombinacje par kół		h
	sprzęgnięte (c)	niezależne (i)	
1	2	3	4
ustalone/ustalone FF			$\frac{m \xi_1 \xi_2 L^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
ustalone/przesuwn c			$\frac{m \xi_1 L^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$

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.

Oddziaływania wyjątkowe , H_{B1}

Oddziaływania wyjątkowe powstają wskutek kolizji ze zderzakami , albo kolizje urządzeń chwytających z przeszkodami (siły wywołane wychyleniem) . Gdy odpowiednie zabezpieczenia nie są przewidywane siły te powinny być uwzględnione przy projektowaniu.

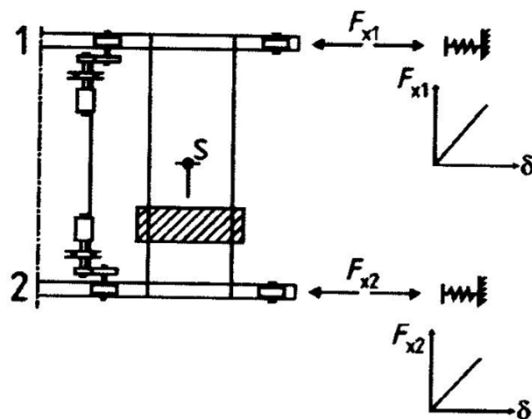
konstrukcji.

Równoczesność wyjątkowych składników obciążenia można uwzględniać , rozpatrując grupy obciążeń jak pokazano w tab 2.2. [1] (kolejna plansza)

- Siły uderzenia w zderzaki $H_{B,1}$ spowodowane ruchem suwnicy:

W przypadku zastosowania zderzaków siły działające na konstrukcję wsporczą suwnicy, wywołane uderzeniem suwnicy w zderzaki należy obliczać na podstawie energii kinetycznej wszystkich podstawowych części suwnicy , poruszających się z prędkością 0,7 do 1 prędkości nominalnej.

Po uwzględnieniu rozkładu mas i charakterystyki zderzaka uzyskamy:



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

gdzie:

φ_7 – patrz Tablica 2.10;

v_1 – 70 % prędkości ruchu w kierunku podłużnym (m/s);

m_c – masa suwnicy i ładunku podnoszonego (kg);

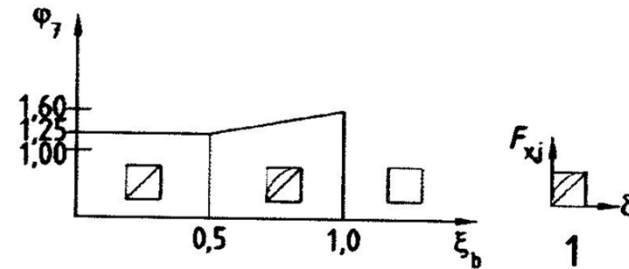
S_B – stała sprężyny zderzaka (N/m).

Rys.2.9a) [1] Siły uderzenia w zderzaki

Oddziaływania wyjątkowe , H_{B2}

Tablica 2.10 — Współczynnik dynamiczny φ_7

Wartości współczynnika dynamicznego φ_7	Charakterystyka zderzaka
$\varphi_7 = 1,25$	$0,0 \leq \xi_b \leq 0,5$
$\varphi_7 = 1,25 + 0,7 (\xi_b - 0,5)$	$0,5 \leq \xi_b \leq 1$
UWAGA: ξ_b można w przybliżeniu wyznaczyć z Rysunku 2.9	



rys 2.9 b) [1]

Charakterystyka zderzaka $\xi_b = \frac{1}{F u_0} \int_0^u F du$

- Siły uderzenia w zderzaki $H_{B,2}$ spowodowane ruchem wózka:
Przy uwzględnieniu swobody wahań ładunku użytecznego można przyjąć, że $H_{B,2}$ wywołana uderzeniem wózka lub wciągніка w zderzaki wynosi 10% sumy ciężaru podnoszonego i ciężaru wózka lub wciągніка. W innych przypadkach należy wyznaczać jak $H_{B,1}$
- Siły wywołane wychyleniem
Jeżeli suwnica o poziomo usztywnionym prowadzeniu ładunku ulegnie wychyleniu z jej normalnego położenia na skutek kolizji ładunku lub urządzenia chwytneho z przeszkodą, należy uwzględnić wynikające z tego siły statyczne

Ugięcia i drgania belek podsuwnicowych {1}

Ugięcia pionowe i poziome oraz drgania są parametrami stanów granicznych użyteczności. Mimo że nośność belki może nie być wyczerpana, lecz jej odkształcenia będą tak duże, tak że będzie niemożliwa normalna eksploatacja z powodu przyspieszonego zużywania się szyn, kół suwnic, połączeń belek z konstrukcjami wsporczymi. Ponadto generowane mogą być dodatkowe oddziaływania poziome kół suwnic na tory jezdne. Sprawdzenie ugięć polega na wykazaniu, że obliczone ugięcia belki od obciążeń pionowych lub poziomych są nie większe od wartości granicznych, czyli

$$\delta_{z,y} \leq \delta_{gr}$$

W przypadku belki jednoprzęsłowej maksymalne ugięcie pionowe w środku rozpiętości belki, przy symetrycznym ustawieniu kół jednej suwnicy (rys. 15), obliczyć można ze wzoru:

$$\delta_z = \delta_{zG} + \delta_{zQ_r}$$

$$\delta_{zQ_r} = \frac{Q_r l^3}{48E I_y} \left[2 - 3(1 - \xi)(\xi^2 - 2\xi^3) \right], \text{ dla } \xi = \frac{a}{l} \leq 0,65$$

$$\delta_{zG} = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E I_y}$$

Jeżeli $\xi = \frac{a}{l} \leq 0,65$, to ugięcie należy obliczyć od pojedynczej siły usytuowanej w środku rozpiętości wg wzoru:

$$\delta_{zQ_r} = \frac{Q_r l^3}{48E I_y}$$

Jeżeli na belce jednoprzęsłowej usytuowanych jest więcej niż 2 koła suwnicy lub dwu suwnic, to ugięcie pionowe można obliczyć zgodnie z uproszczonym wzorem:

$$\delta_z = \frac{M_y l^2}{10E I_{..}} \leq \delta_{gr}$$

w którym:

Q_r – obciążenie od pionowych nacisków kół w kombinacji 5, tzn. bez współczynników dynamicznych i bez współczynników obciążenia,

q – ciężar własny belki podsuwnicowej.

Ugięcia i drgania belek podsuwnicowych {2}

Wartości graniczne ugięć belki podsuwnicowej względem linii podpór na poziomie wierzchu szyny są następujące [2] :

- poziome $\delta_y \leq l/600$,

- pionowe

$\delta_z \leq l/600$ oraz $\delta_z \leq 25$ mm .

Jako miarodajne ugięcie pionowe δ_z przyjmuje się ugięcie całkowite od oddziaływań pionowych (kół suwnic, ciężarów własnych) bez uwzględnienia dynamicznego charakteru obciążeń (bez współczynników dynamicznych).

Drgania belki – limituje się drgania pasów dolnych

Można przyjąć [2] , że pasy dolne są zabezpieczone przed nadmiernymi drganiami, jeśli jest spełniony warunek:

$$l_1/i_z \leq 250$$

gdzie:

l_1 - rozstaw stężeń bocznych pasa dolnego,

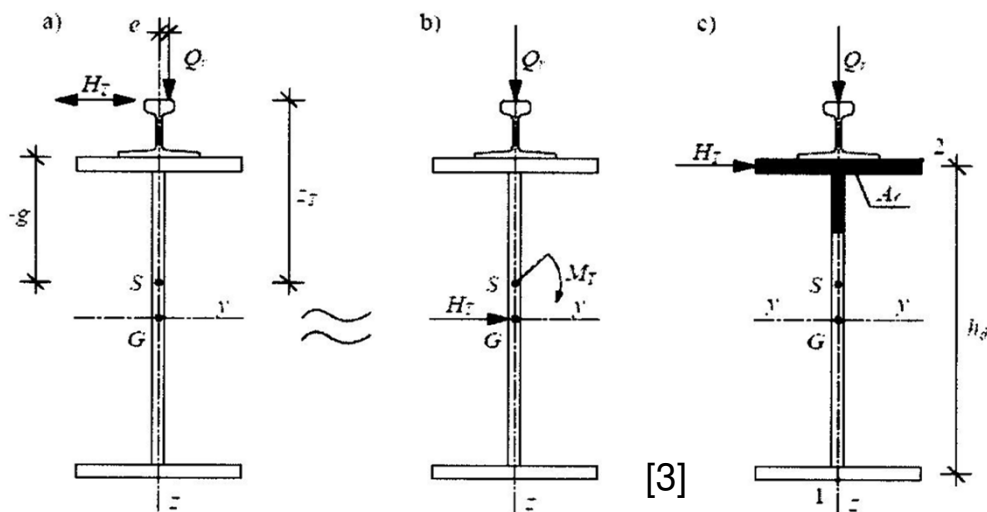
i_z - promień bezwładności przekroju pasa.

Nośność przekrojów belek podsuwnicowych niestężonych {1}

Ocenę nośności belek podsuwnicowych dokonuje się zgodnie z analizą sprężystą pierwszego lub drugiego rzędu z uwzględnieniem kryteriów:

- wytrzymałości materiału belki,
- stateczności ogólnej (zwichrzenia), miejscowej,
- użytkowości (sztywności).

Najczęściej kryteria wytrzymałości i stateczności rozważa się łącznie, a po ustaleniu nośności sprawdza się wymogi stanu granicznego użytkowości. W postanowieniach normy [2] zaleca się wykonywanie obliczeń belki podsuwnicowej (rys a) dla dwu wariantów obciążeń i odpowiadających im formuł obliczania nośności. W pierwszym wariantcie obciążeń obliczenia wykonuje się dla belki o pełnym przekroju poprzecznym obciążonej siłami pionowymi, poziomymi i momentami skręcającymi (rys b). W drugim wariantcie nośność obliczeniową przekroju belki oblicza się od obciążeń pionowych całego przekroju, i od obciążeń poziomych, lecz przekroju zastępczego składającego się z pasa górnego i 1/5 wysokości środnika (rys c).



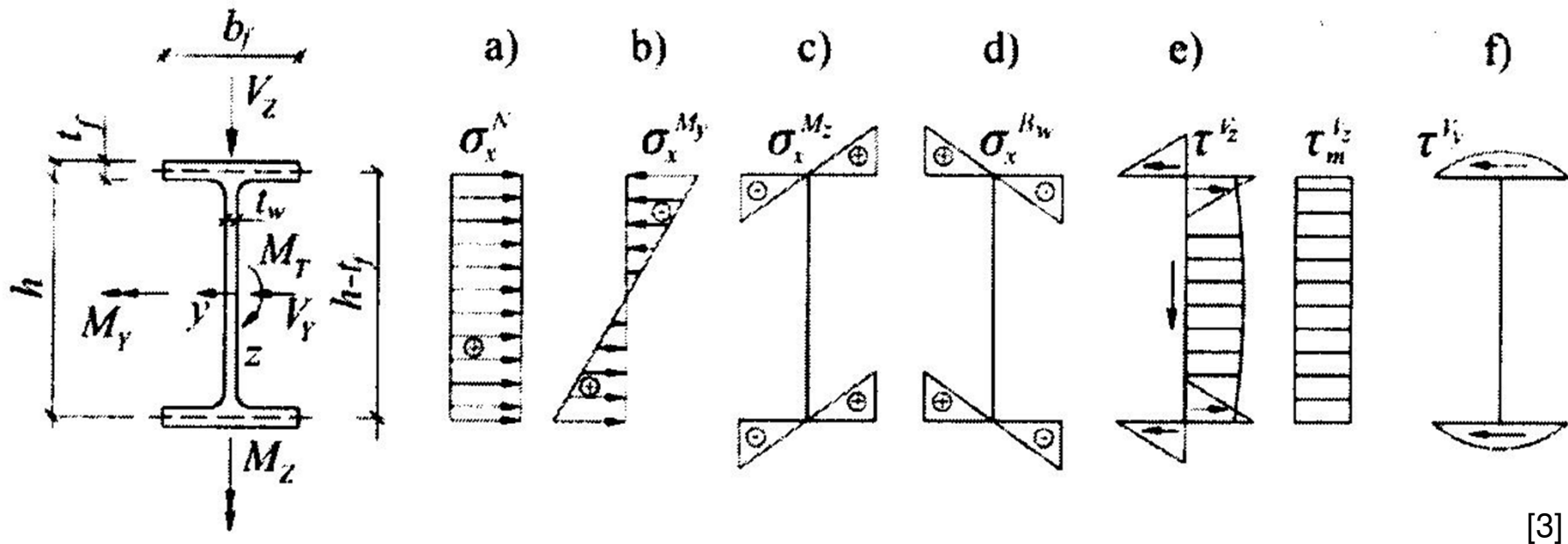
Wytrzymałość stali belki wynosi

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{Mo}}, \tau_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \gamma_{Mo}}$$

$f_{y,k}$ – granica plastyczności stali,

γ_{Mo} – częściowy współczynnik bezpieczeństwa,

Nośność przekrojów belek podsuwnicowych niestężonych {2} [3]



Standardowe rozkłady naprężeń w przekroju dwuteowym:

- (a) Ściskanym/rozciąganym siłą N
- (b) zginanym w płaszczyźnie momentem M_y ,
- (c) zginanym z płaszczyzny momentem M_z ,
- (d) paczonym bimomentem B_w ,
- (e) ścinanym siłą pionową V_z ,
- (f) ścinanym siłą poziomą V_y

Uwaga: brak naprężeń od skręcania swobodnego momentem M_T – słuchacz uzupełni !

Wskaźniki wytrzymałości przekroju :

dla klas 1, 2 $W_y = W_{y,pl}$, $W_z = W_{z,pl}$,

dla klasy 3 $W_y = W_{y,el}$, $W_z = W_{z,el}$,

dla klasy 4 $W_y = W_{y,eff}$, $W_z = W_{z,eff}$.

Nośność przekrojów belek podsuwnicowych niestężzonych {3} [3]

Lp.		współ- rzędne	Moment
1		koło jednej suwnicy usytuowane w odległości x od środka belki	
		0	$M_{Tx} = M_{T0} = M \frac{l-d}{l}$
		l	$M_{Tx} = M_{Tn} = M_T \frac{d}{l}$
		d	$B_x = B_{max} = \frac{M_T \sinh(kd) \sinh[k(l-d)]}{k \sinh(kl)}$
		$l/2$	$B_x = B_{l/2} = M_T \frac{\sinh(kd)}{2k \cosh(\frac{1}{2}kl)}$
		$0 \leq x \leq d$	$B_x = M_T \frac{\sinh(kd)}{k \sinh(kl)} \sinh kx$
2		koło suwnicy w środku rozpiętości belki	
		0	$M_{Tx} = M_{T0} = \frac{1}{2} M_T$
		l	$M_{Tx} = M_{Tn} = \frac{1}{2} M_T$
		$l/2$	$B_x = B_{max} = \frac{M_T}{2k} \tanh(\frac{1}{2}kl)$
		$0 \leq x \leq \frac{1}{2}l$	$B_x = M_T \frac{\sinh(2 - \frac{1}{2}l)}{2k \cosh(\frac{1}{2}kl)} \sinh kx$
3		koło dwu suwnic o jednakowych naciskach usytuowane w jednakowych odległościach od środka belki	
		0	$M_{Tx} = M_{T0} = M_T$
		l	$M_{Tx} = M_{Tn} = M_T$
		d	$B_x = B_{max} = \frac{M_T \cosh k(\frac{1}{2}l - d) \sinh(kd)}{k \cosh(\frac{kl}{2})}$

W celu obliczeń belki zgodnie z normą [2] należy stosować teorię skręcania nieswobodnego (Własowa) prętów cienkościennych i obliczyć bimoment.

Dla belki wolnopodpartej można korzystać z tablic ← lub z programów komputerowych, np. LTBeam lub ConSteel.

Naprężenie normalne w przekroju belki można wyznaczyć standardowym wzorem wytrzymałościowym:

$$\sigma_x = \frac{N_{Ed}}{A} \pm \frac{M_{y,Ed}}{W_y} \pm \frac{M_z}{W_z} \pm \frac{B_x}{W_w} \leq \sigma_{Rd}$$

Bimoment jest wywołany skręcanie belki momentem

$$M_T = Q_r e + H_T z_T$$

Wyrażenia na naprężenia styczne słuchacz uzupełni !

Nośność przekrojów belek podsuwnicowych niestężonych {4} [3]

Nośność obliczeniowa określona zgodnie ze wzorem standardowym będzie miarodajna przy określaniu wymiarów przekrojów tylko dla belek krótkich z szerokimi pasami lub belek z ciągłym stężeniem zabezpieczającym konstrukcyjnie belkę przed zwichrzeniem.

Uwaga: w przypadku obliczeń praktycznych potrzeba wyznaczenia naprężeń w poszczególnych punktach przekroju belki, a w szczególności w punkcie styku pasa ze środkiem. Dokonuje się tego zgodnie ze znanymi wzorami wytrzymałościowymi (student powtórzy zagadnienie !)

W przypadku modelu zredukowanego (przekrój zastępczy pasa górnego) nie trzeba uwzględniać skręcania nieswobodnego i sprawdzenie wytrzymałości upraszcza się. Mamy

$$\text{w p. 1 } \sigma_x = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y(1)}} \leq \sigma_{Rd},$$

$$\text{w p. 2 } \sigma_x = \frac{N_{Ed}}{A_f} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{y(2)}} + \frac{M_z}{W_{z,f}} \leq \sigma_{Rd},$$

w których:

A_f – pole przekroju pasa górnego i $1/5$ wysokości środka

$W_{z,f}$ – wskaźnik wytrzymałości pasa górnego belki względem osi z.

Obciążenie obliczeniowe $M_{y,Ed}$ w p. 1 należy obliczyć jako wiodące, a więc dla współczynnika $\gamma_Q = 1,5$, natomiast w w p. 2 jako towarzyszące, a więc dla współczynnika $\gamma_Q \psi = 1,35$.

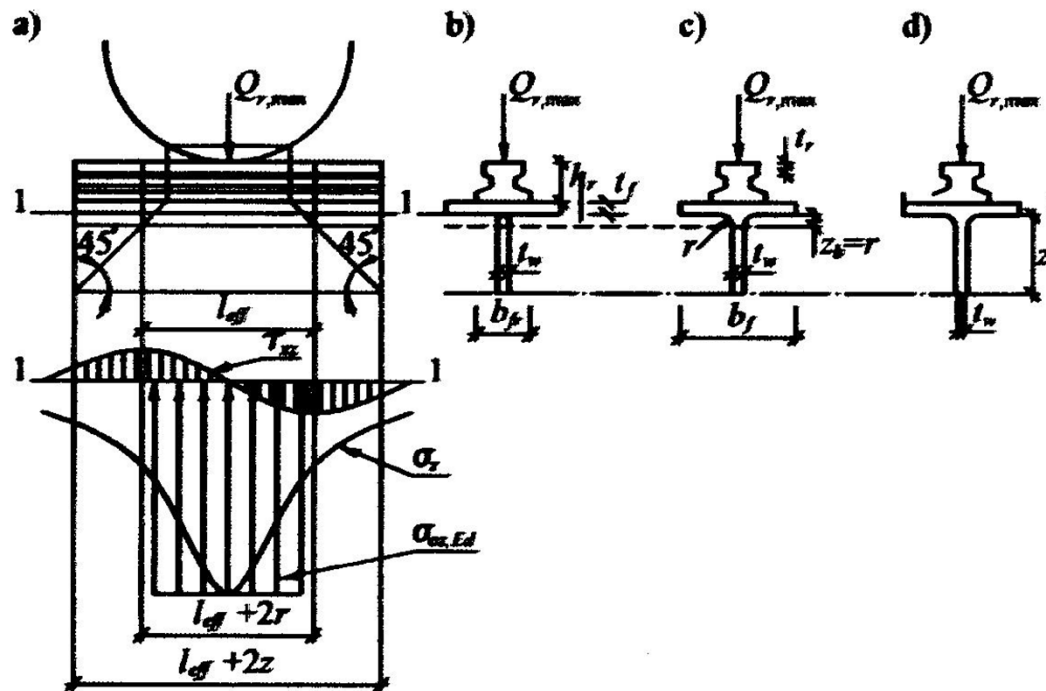
Zdolno c do przenoszenia obciążeń środników belek podsuwnicowych okre slaj , wedlug EC3 [1], następujące stany graniczne:

- a) lokalne pionowe naprężenia ściskające od skupionych pionowych nacisków k t na szynę toru,
- b) lokalne naprężenia ścinające od skupionych pionowych nacisków k t,
- c) naprężenia od lokalnego zginania środników wywo lane mimośrodowym pionowym oddziaływaniem k t,
- d) globalne naprężenia rozciągające lub ściskające od momentów zginających M_y ,
- e) globalne naprężenia ścinające od sił poprzecznych V_z ,
- f) interakcja naprężeń od sił pionowych skupionych, rozciągających sił podłużnych, momentów zginających,
- g) płaski stan naprężenia środników,
- h) ograniczenie „oddychania” środników,
- i) no no c stanu sprężystego od obciążeń charakterystycznych (p. 7.5 normy [2]).

Stany graniczne wymienione w ustępach h-i dotyczą tylko środników ze ściankami klasy 4.

Lokalne pionowe naprężenia ściskające

Oddziaływanie pionowe koła suwnicy wywołuje na górnej krawędzi środnika o grubości t_w lokalne naprężenie, ściskające σ_z i ścinające τ_{xz} o nieliniowym rozkładzie niezależnie od istnienia naprężeń podłużnych ściskających od momentów zginających belki. Do analizy wytrzymałości środnika przyjmuje się naprężenie ściskające równomiernie rozłożone na długości l_{eff}



$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{L_{eff} t_w} \left[1 - 2z / h_w \right],$$

$$L_{eff} = l_{eff} + 2z,$$

$F_{z,Ed} = Q_{r,max} \cdot \gamma_Q$ – wartość obliczeniowa oddziaływania pionowego koła suwnicy
 $t_w \times h_w$ – wymiary środnika
 z – odległość rozpatrywanego poziomu wysokości środnika od dolnej powierzchni górnego pasa belki. Naprężenie $\sigma_{oz,Ed}$ może być przyjęte do obliczania naprężenia ścinającego $\tau_{oz,Ed}$ oraz naprężenia zastępczego płaskiego stanu naprężenia

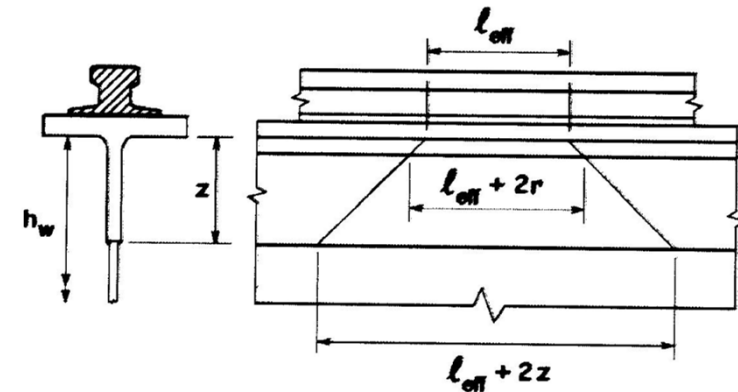
Nośność belki pod obciążeniem skupionym koła suwnicy {2} [3]

Efektywny przekrój I_{eff} x b_{eff}

Na długości l_{eff} przyjmuje się równomierny rozkład naprężeń. l_{eff} można wyznaczyć według tablicy 5.1 [2], uwzględniając zużycie szyny odpowiadające 25% minimalnej grubości główki szyny

Tablica 5.1: Efektywna długość strefy obciążenia l_{eff}

Przy-padek	Opis	Długość efektywna l_{eff}
(a)	Szttywne (nieprzesuwne) połączenie szyny z pasem belki	$l_{eff} = 3,25 [I_{rf} / t_w]^{\frac{1}{3}}$
(b)	Podatne (wzajemnie przesuwne) połączenie szyny z pasem belki	$l_{eff} = 3,25 [(I_r + I_{f,eff}) / t_w]^{\frac{1}{3}}$
(c)	Zamocowanie szyny na elastomerowej taśmie sprężynującej o grubości co najmniej 6 mm	$l_{eff} = 4,25 [(I_r + I_{f,eff}) / t_w]^{\frac{1}{3}}$
$I_{r,eff}$	- moment bezwładności przekroju pasa belki o szerokości efektywnej b_{eff} względem własnej osi poziomej;	
I_r	- moment bezwładności przekroju szyny względem własnej osi poziomej;	
I_{rf}	- moment bezwładności przekroju, złożonego z przekroju szyny i przekroju efektywnego pasa b_{eff} , względem własnej osi poziomej;	
t_w	- grubość środnika.	
$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f$ lecz $b_{eff} \leq b$		
gdzie:		
b	- szerokość górnego pasa;	
b_{fr}	- szerokość stopki szyny, patrz Rysunek 5.2;	
h_r	- wysokość szyny, patrz Rysunek 5.1;	
t_f	- grubość pasa belki.	
Uwaga: Przy wyznaczaniu I_r , I_{rf} i h_r , uwzględnia się zużycie szyny, patrz 5.6.2(2) i 5.6.2(3).		



Jeżeli szyna jest zamocowana na elastomerowej taśmie sprężynującej o grubości co najmniej 6 mm to długość efektywną należy obliczyć według wzoru

$$l_{eff} = 4,25 [(I_r + I_{f,eff}) / t_w]^{\frac{1}{3}}$$

Długość efektywna l_{eff} obliczona ze wzorów dotyczy bezpośrednio środników belek spawanych z blach na styku z dolną powierzchnią pasa ściskanego. Dla belek walcowanych lub złożonych należy przyjąć zwiększoną strefę $L_{eff} = l_{eff} + 2z$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym

Obciążenie skupione obciążające środek może spowodować 3 rodzaje jego uszkodzeń:

lokalne uplastycznienie, utratę stateczności miejscowej lub wyboczenie z utratą stateczności

miejscowej. Poszczególne rodzaje uszkodzeń jest trudno dokładnie odróżnić, gdyż na nośność graniczną wpływają różne parametry, takie jak cechy geometryczne przekroju poprzecznego stopień utwierdzenia środka w pasie, cechy mechaniczne stali środka i pasa.

Nośność środka belki pod obciążeniem skupionym koła suwnicy należy sprawdzać według postanowień normy PN-EN 1993-1-5, rozdział 6 (EC3-błachownice, a nie wg [2]).

$$\eta_z = \frac{F_{z,Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

$$F_{Rd} = \chi_F \frac{F_y}{\gamma_{M1}} = L_{eff,y} t_w \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$F_{z,Ed}$ – siła skupiona obliczeniowa, określona wcześniej

χ_F – współczynnik redukcyjny wg [2] →

$$F_y = l_y t_w f_{yw},$$

l_y – efektywna długość strefy docisku wg EC3-5, obciążenia skupionego. Efektywna długość nie jest tożsama ze znaczeniem wg normy [2]

$$L_{eff,y} = l_y \chi_F,$$

t_w – grubość środka

f_{yw} – granica plastyczności stali środka

γ_{M1} – współczynnik materiałowy

Nośność belki pod obciążeniem skupionym koła suwnicy {4} [3]

Nośność środka pod obciążeniem skupionym (cd)

Współczynnik redukcyjny χ_F wyznacza się według wzoru

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1, \quad \bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$$

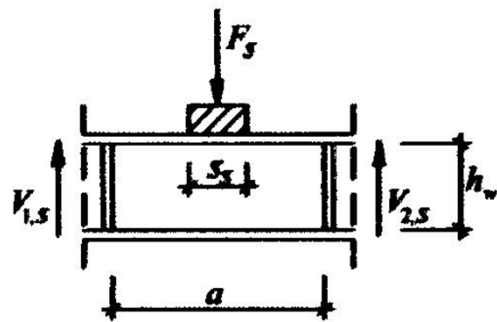
Obciążenie krytyczne oblicza się następująco

$$F_{cr} = 0,9k_F E \frac{I_w^3}{h_w}$$

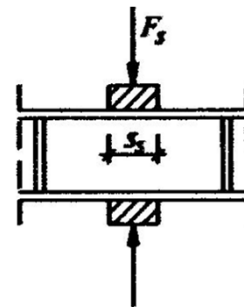
Parametr niestateczności k_F zależy od u zebrowania i usytuowania obciążenia skupionego.

Dla dźwigarów bez żeber podłużnych można go obliczać dla

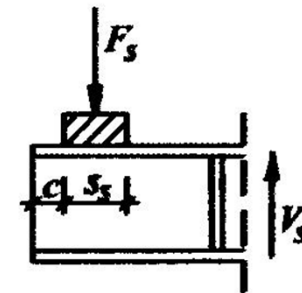
obciążenie skupione w prześle obciążenie skupione nad podporą środkową obciążenie w pobliżu końca



$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2$$



$$k_F = 3,5 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2$$



$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_c + c}{h_w} \right) \leq 6$$

Nośność belki pod obciążeniem skupionym koła suwnicy {5} [3]

Nośność środka pod obciążeniem skupionym (cd2)

Efektywna długość strefy docisku l_y zależy od usytuowania obciążenia.

Dla obciążenia w środku przęsła i nad podporą (dwa pierwsze rysunki ze slajdu poprzedniego):

$$l_y = s_s + 2t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) \leq a,$$

Długość odcinka s_s , zgodnie z postanowieniem 6.3 PN-EN 1993-1-5 odnosi się do obciążonego pasa górnego stąd zgodnie z 6.5.2 normy PN-EN 1993-6 długość strefy docisku należy obliczyć następująco

$$s_s = l_{eff} - 2t_f,$$

a- odległość między sąsiadującymi żebrami

Dla obciążenia usytuowanego na pasie w pobliżu swobodnego końca belki (ostatni rys) l_y należy przyjąć jako minimalną z obliczonych wartości

$$l_y = \min(l_y, l_{y1}, l_{y2}), \quad l_y \text{ jak wyżej} \quad l_{y1} = l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2 + m_2}, \quad l_{y2} = l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2}, \quad l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_y h_w} \leq S_s + C.$$

gdzie:

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w},$$

$$m_2 = 0 \text{ dla } \bar{\lambda}_F \leq 0,5$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f}\right)^2 \text{ dla } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

Nośność belki pod obciążeniem skupionym koła suwnicy {6} [3]

Lokalne naprężenia ścinające

Maksymalne lokalne naprężenie ścinające $\tau_{oxz,Ed}$, występujące po obu stronach wypadkowej docisku należy obliczać wg wzoru:

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \sigma_{oz,Ed}(z).$$

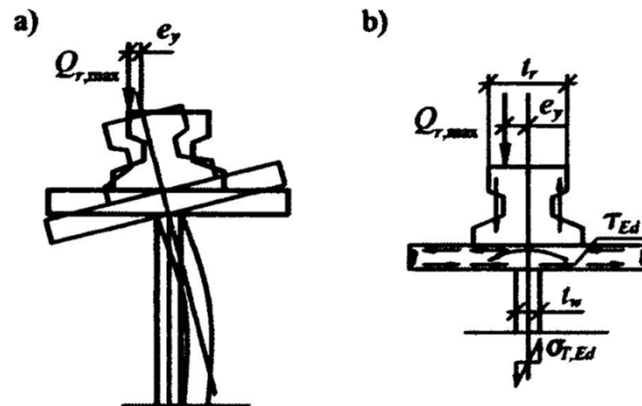
W obliczeniach nośności środnika sumuje się lokalne naprężenia ścinające z globalnymi naprężeniami ścinającymi od sił poprzecznych w miejscach nacisków kół. Naprężenia lokalne $\tau_{oxz,Ed}$ można pomijać w strefach środnika poniżej poziomu $z_b = 0,2 h_w$

Lokalne naprężenia od zginania środnika wywołane mimośrodowym oddziaływaniem kół

Wskutek ekscentrycznego obciążenia belki (rys. a)) w jej środniku, generowane są oprócz naprężeń ściskających $\sigma_{oz,Ed}(z)$, naprężenia normalne $\sigma_{T,Ed}$, a w pasie naprężenia ścinające η . Naprężenia zginające od mimośrodowego oddziaływania kół w poprzecznie uźebrowanym środniku można wyznaczyć według wzoru niżej (I_T - moment bezwładności pasa na skręcanie)

Moment skręcający pas $M_{T,Ed}$ wynosi:

$$M_{T,Ed} = \gamma_Q Q_{r,max} e_y, \quad \text{lecz} \quad e_y \geq 0,5 t_w.$$



$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 M_{T,Ed}}{a t_w^2} \eta \operatorname{tgh}(\eta),$$

$$\eta = \left[\frac{0,75 a t_w^3}{I_T} \frac{\sinh^2(\pi h_w / a)}{\sinh(2 \pi h_w / a) - 2 \pi h_w / a} \right]^{1/2},$$

Połączenie pasów ze środkiem belki można projektować jako spawane:

- spoinami pachwinowymi ciągłymi,
- niepełną spoiną czołową,
- pełną spoiną czołową.

Najłatwiejsze jest wykonanie spoin pachwinowych ciągłych, jednak ich nośność na zmęczenie jest ograniczona. Nie należy projektować spoin pachwinowych przerywanych. Spoiny wykonane na niepełną spoinę czołową również mają niską kategorię zmęczeniową (36 MPa)

Obliczenia spoin należy wykonać zgodnie z normą Eurokod 3. Połączenie środka z pasem wykonane na pełną spoinę czołową nie wymaga sprawdzenia wytrzymałościowego. Nośność połączenia wykonanego na niepełną spoinę czołową należy obliczyć tak jak nośność spoin pachwinowych ciągłych. Spoiny pachwinowe łączące pas górny belki podsuwnicowej należy obliczać zgodnie z EC3 metodą kierunkową. Spoiny te oprócz obciążenia siłami rozwarstwiającymi, są także obciążone na odcinku l_{eff} siłą skupioną od koła suwnicy. Nośność należy sprawdzić zgodnie ze wzorem:

$$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2 \right) \right]^{0.5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \text{ oraz } \sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}},$$

β_w + współczynnik korelacji wg EC3

Obliczenia składowych naprężeń w spoinach należy przeprowadzić standardowo wg EC3, przy czym naprężenie ścinające τ_{\parallel} jest sumą naprężeń od działania siły skupionej (podane wcześniej) i standardowych naprężeń rozwarstwiających (od siły poprzecznej)

Interakcje obciążenia skupionego, momentu zginającego [3]

Jeśli obciążenie skupione od koła suwnicy jest przyłożone do pasa ściskanego belki, to w sprawdzanym przekroju poprzecznym środka powinien być spełniony warunek wg EC3-cz.5

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,4,$$

gdzie F_{Rd} – nośność obliczeniowa środka pod obciążeniem skupionym

$M_{c,Rd} = M_{pl}$, R_d - obliczeniowa nośność plastyczna przy zginaniu przekroju złożonego z efektywnych środków niezależnie od klasy jego przekroju

Jeśli obciążenie skupione jest przyłożone do pasa rozciąganego (np. w strefie podpory pośredniej) , to przekrój sprawdzamy standardowo (jak w belce wg EC3-cz.5), a ponadto jak w płaskim stanie naprężenia (dalszy ciąg wykładu)

Warunek nośności przekroju środnika przy obciążeniu siłą poprzeczną V_{Ed} ma postać

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,$$

gdzie $V_{c,Rd}$ – nośność obliczeniowa środnika przy ścinaniu, którą można przyjmować:

- przy projektowaniu plastycznym

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_V f_y}{\sqrt{3} \gamma_{MO}}$$

- Przy projektowaniu sprężystym

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{MO})} \leq 1 \quad \tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I_y t_w},$$

Pole przekroju czynnego środnika na ścinanie A_V należy przyjmować:

- dwuteowniki walcowane

$$A_V = h t_w \quad \text{lub} \quad A_V = \eta h_w t_w \quad \begin{array}{l} \eta = 1,2 \text{ dla stali o granicy plastyczności } f_y \leq 460 \text{ MPa,} \\ \eta = 1,0 \text{ dla stali o granicy plastyczności } f_y > 460 \text{ MPa.} \end{array}$$

- Dwuteowniki spawane, albo skrzynkowe

$$A_V = \eta \sum (h_w t_w)$$

Wpływ ścinania na nośność przy zginaniu można pominąć, gdy siła poprzeczna V_{Ed} nie przekracza 50% nośności plastycznej przekroju przy ścinaniu $V_{pl,Rd}$

W innych przypadkach wpływ ścinania na zmniejszenie nośności giętej należy uwzględnić: przyjmuje się zredukowaną nośność obliczeniową przekroju przy założeniu, że w polu czynnym przy ścinaniu A_v występuje zredukowana granica plastyczności

$$(1-\rho) f_y, \quad \rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2.$$

Dla dwuteowników bisymetrycznych, obciążonych w płaszczyźnie środka zredukowaną nośność plastyczną na zginanie można obliczać ze wzoru

$$M_{y,V,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho A_v^2}{4t_w} \right) f_y / \gamma_{MO},$$

lecz

$$M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd},$$

$$A_v = h_w t_w.$$

Jeżeli obciążenie skupione jest przyłożone do strefy rozciąganej środka belki (np. nad podporą pośrednią belki), a ponadto środek jest ścinany i zginany obciążeniem poziomym kół to zgodnie z normą [2] p. 6.2 do sprawdzenia środka można zastosować kryterium początku uplastycznienia w analizowanym punkcie przekroju:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}(z)}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{oz,Ed}(z)}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}(z)}{f_y / \gamma_{M0}}\right) \left(\frac{\sigma_{oz,Ed}(z)}{f_y / \gamma_{M0}}\right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1$$

gdzie:

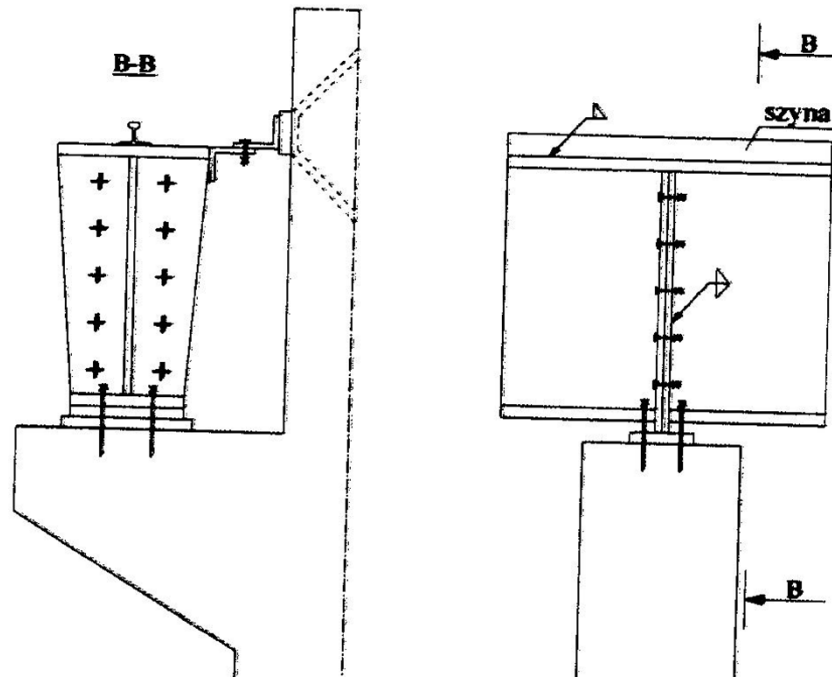
$\sigma_{x,Ed}(z)$ – sumaryczne naprężenia momentu od obliczeniowej wartości rozciągającej siły podłużnej i momentu zginającego,

$\sigma_{oz,Ed}(z)$ – naprężenia ściskające od pionowego oddziaływania koła suwnicy,

τ_{Ed} – naprężenia ścinające.

Projektowanie stalowych belek podsuwnicowych natorowych zginanych dwukierunkowo wymaga oceny wpływu możliwości utraty stateczności ogólnej (zwichrzenia), a także skręcania.

Zwichrzenie jest istotne, gdy konstrukcyjne zabezpieczenia pasa ściskanego przed przemieszczeniem bocznym i skręcaniem są niewystarczające; przykładowo, gdy projektowane podparcia boczne belki są tylko na podporach, np. rys. niżej



W postanowieniach [2] zaleca się wykonywanie obliczeń belki z uwzględnieniem możliwości utraty przestrzennej stateczności dla dwu wariantów obciążeń i odpowiadającym im formuł obliczania nośności:

- Nośność belki dwukierunkowo skręcanej i zginanej
- Model pręta jednokierunkowo zginanego i skręcane

Do oceny wyężenia przekrojów zgodnie z teorią I rzędu można zastosować zasadę superpozycji naprężeń, a zatem dwukierunkowo zginaną i skręcaną belkę podsuwnicową, której smukłość względna na zwichrzenie $> 0,4 \lambda_{LT}$, sprawdzać zgodnie ze wzorem:

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_w M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{B_{x,Ed}}{B_{w,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,$$

$$M_{y,Rk} = W_y f_y; \quad M_{z,Rk} = W_z f_y; \quad B_{w,Rk} = W_\omega f_y,$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}^T}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,$$

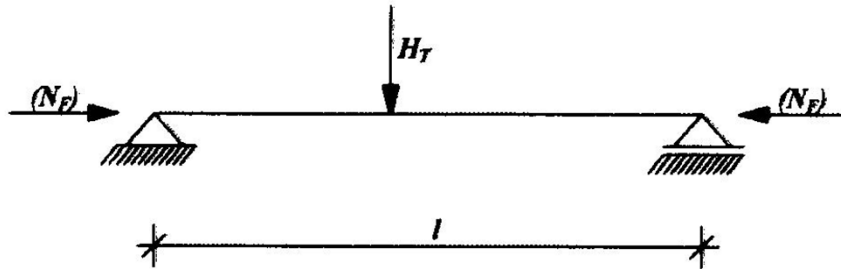
Ponieważ wyznaczenie W_ω i χ_ω może nastęrczać trudności projektantowi, nie będącego ekspertem, więc stosuje się formułę uproszczoną i przybliżoną:

gdzie:

$$M_{z,Ed}^T = \gamma_{Q\psi} (M_z + 2 B_x / h_d),$$

W przypadku projektowania toru podsuwnicowego, który obsługuje więcej niż jedną suwnicę lub, gdy tor będą tworzyć belki ciągłe wieloprzęsłowe, to obliczanie maksymalnej wartości bimomentu B od oddziaływań zmieniających się wraz ze zmianą położenia kół suwnic jest uciążliwe. Z tego względu można przyjąć przybliżony model i założyć, że poziome oddziaływania kół suwnic będą przenoszone tylko przez pas górny z pominięciem momentu skręcającego M_T , a obciążenie pionowe przez cały przekrój poprzeczny.

Model pręta jednokierunkowo zginanego i ściskanego {1} [3]



← Standardowy model pręta II rzędu (wpływ przemieszczeń na siły przekrojowe).

przyjmowany z przekrojem zastępczym belki (zdefiniowanym wcześniej), składającym się z pola pasa górnego i 1/5 pola środka belki

Zgodnie z EC3 – część 1 (reguły ogólne) można wówczas stosować zależność

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A_f f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} k_{zz} \leq 1,$$

w której

χ_z – współczynnik wyboczenia względem osi z przekroju zastępczego A_f (rys. 16c),

k_{zz} – współczynnik interakcyjny, który wyznacza się jak dla pręta ściskanego i zginanego,

N_{Ed} – obliczeniowa siła osiowa, którą można obliczyć następująco:

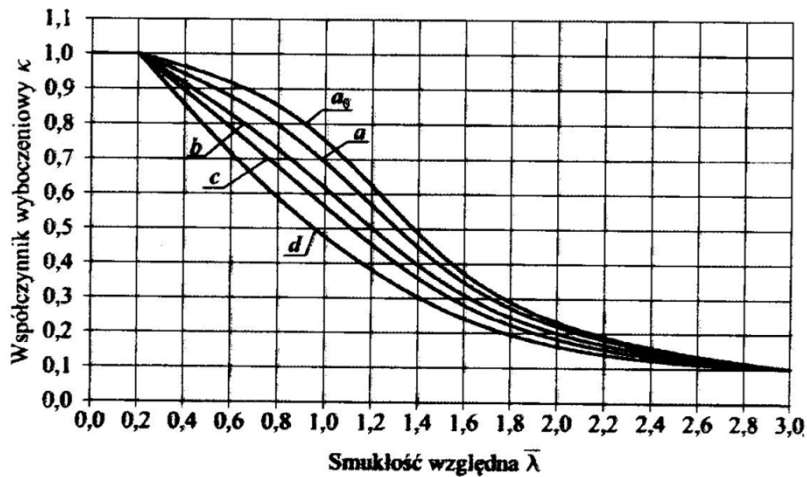
$$N_{Ed} = 1,35 N_F; N_F = \frac{M_y}{h_d} \quad \text{lub} \quad N_F = \frac{M_y}{I_v} S_{y,f},$$

h_d – odległość między środkami ciężkości pasów,

$S_{y,f}$ – moment statyczny przekroju pasa A_f względem osi obojętnej

Model pręta jednokierunkowo zginanego i ściskanego {2} [3]

Współczynnik wybożenia i zwichrzenia



Współczynnik zwichrzenia dla belki o stałym po długości przekroju można obliczyć wg wzoru

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + (\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2)^{1/2}}$$

gdzie:

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right],$$

gdzie:

α_{LT} – parametr imperfekcji,

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}},$$

M_{cr} – moment krytyczny przy zwichrzeniu belki.

Wartość współczynnika χ_{LT} można przyjąć z wykresu

Współczynnik wybożeniowy χ_z można wyznaczać dla przekroju zastępczego według krzywej zależnie od smukłości względnej $\lambda_{z,f}$ lub ze wzoru

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}_{z,f}^2)^{1/2}}$$

Tabela 6.6. Współczynniki poprawkowe k_z wg [N4]

Rozkład momentów	k_z
$\psi = 1$	1,0
$-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

gdzie:

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_{z,f} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,f}^2 \right], \quad \alpha = 0,49,$$

$$\bar{\lambda}_{z,f} = \frac{k_c l_z}{i_{z,f}} \frac{1}{\lambda_1}, \text{ dla przekrojów klas 1, 2, 3,}$$

$$\bar{\lambda}_{z,f} = \frac{k_c l_z}{i_{z,f}} \frac{\left(\frac{A_{eff}}{A} \right)^{1/2}}{\lambda_1}, \text{ dla przekrojów klasy 4,}$$

gdzie:

l_z – długość wybożeniowa względem osi z,

$i_{z,f}$ – promień bezwładności przekroju A_f względem osi z,

$$\lambda_1 = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \quad f_y \text{ w MPa.}$$

Model pręta jednokierunkowo zginanego i ściskanego {3}

Uwagi o obliczaniu momentu krytycznego oraz smukłości belki i słupa

W belkach i słupach poddawanych jednokierunkowemu zginaniu i ścisnieniu, w których krytycznych rzędach analizowanych są momenty krytyczne oparte na założeniu jednokierunkowego oparcia belki na podporach – standardy europejskie wyrażają przekroje korony belki nie mają obrotów, są wolne od rotacji, nie mają momentów skręcania, nie dają się przeginać w kierunku zginania i odkształcają się zgodnie z prostymi liniami. Wskazuje to, że w rzeczywistości momenty krytyczne w słupach i belkach nie są tak idealnie jednoznaczne jak w przypadku prętów zginanych i ściskanych. W rzeczywistości momenty krytyczne belki podlegającej jednokierunkowemu zginaniu i ścisnieniu są różnymi funkcjami odkształceń i momentów skręcania.

Wskazuje to, że momenty krytyczne belki i słupa nie są tak idealnie jednoznaczne jak w przypadku prętów zginanych i ściskanych. W rzeczywistości momenty krytyczne belki podlegającej jednokierunkowemu zginaniu i ścisnieniu są różnymi funkcjami odkształceń i momentów skręcania.

W przypadku belki i słupa jednokierunkowo zginanego i ściskanego, momenty krytyczne są różnymi funkcjami odkształceń i momentów skręcania. Wskazuje to, że w rzeczywistości momenty krytyczne belki i słupa nie są tak idealnie jednoznaczne jak w przypadku prętów zginanych i ściskanych. W rzeczywistości momenty krytyczne belki podlegającej jednokierunkowemu zginaniu i ścisnieniu są różnymi funkcjami odkształceń i momentów skręcania.

Wskazuje to, że w rzeczywistości momenty krytyczne belki i słupa nie są tak idealnie jednoznaczne jak w przypadku prętów zginanych i ściskanych. W rzeczywistości momenty krytyczne belki podlegającej jednokierunkowemu zginaniu i ścisnieniu są różnymi funkcjami odkształceń i momentów skręcania.

Zasady ogólne

Belki podsuwnicowe projektuje się w zależności od wymagań nośności, sztywności, specyfiki ich eksploatacji i struktury ustroju, następujących typów

- pełnościennie bez stężeń
- pełnościennie z tężnikami z blachy żeberkowej,
- pełnościennie z tężnikiem kratowym,
- pełnościennie skrzynkowe
- kratownicowe z tężnikiem poziomym

Wstępnie wysokość przekroju poprzecznego belki podsuwnicowej można przyjąć z warunku

$h = (1/10 \text{ do } 1/12) l$, l - rozpiętość belki wolnopodpartej.

Przy projektowaniu dźwigarów spawanych

$$W_y = \alpha_w \frac{M_{y,Ed}}{f_y},$$

Niezbędna jest znajomość potrzebnego wskaźnika wytrzymałości:

w którym α_w - współczynnik, który jest funkcją współczynnika niestateczności miejscowej środnika, zwichrzenia, nośności w płaszczyźnie poziomej. Wartość tego współczynnika zaleca się przyjmować w granicach =1,0 do 1,4 .

Optymalną wysokość środnika belki można oszacować z warunku

$$h_w = \sqrt{\frac{W_y}{t_w}},$$

Wykorzystując powyższe wzory można także dobierać wymagany wskaźnik wytrzymałości belki w płaszczyźnie poziomej W_z belki ze wzmocnionym pasem górnym belki walcowanej lub rozbudowanym pasem górnym. Przekroje poprzeczne belek podsuwnicowych projektuje się najczęściej jako stałe na całej długości.

Zasady kształtowania belek podsuwnicowych {2}

Belki podsuwnicowe bez tężników hamownych

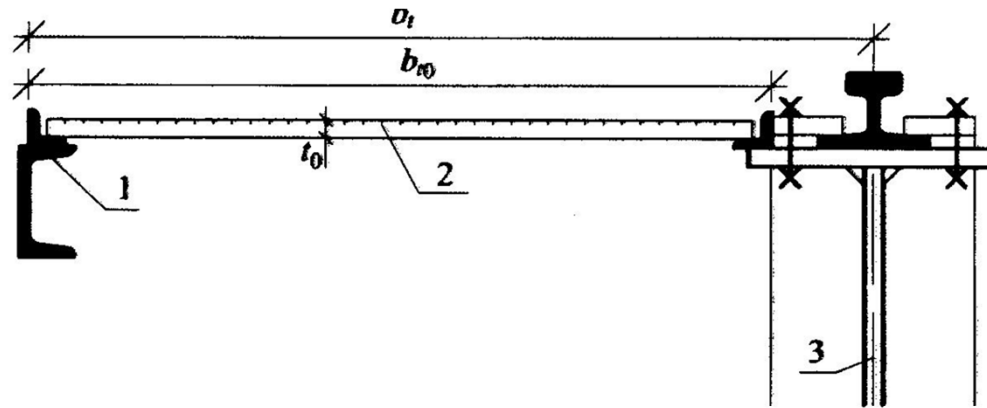
Belki podsuwnicowe bez stężeń poziomych projektowane są o długościach do 9,0 m z dwuteowników walcowanych wzmocnianych lub spawanych z blach dźwigarów. Przy niewielkich udźwigach suwnic i rozpiętościach do 6,0 m można je projektować z dwuteowników walcowanych (HEB, HEA) nie wzmocnianych; racjonalnie zaprojektowane będą jednak zawsze miały rozbudowany pas górny. Ukształtowany przekrój poprzeczny belki należy sprawdzić wg warunków wytrzymałościowych podanych w rozdziałach. Do obliczania współczynników zwichrzenia i wyboczenia jako długość krytyczną l_{cr} należy przyjmować całkowitą długość obliczeniową belki, gdyż belki te są na podporach mocowane najczęściej w sposób widełkowy.

Tężniki hamowne

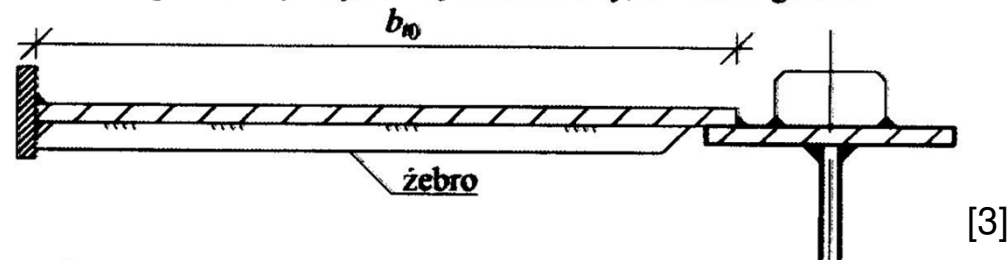
Tężniki hamowne także nazywane belkami hamownymi pełnościennymi lub kratowymi projektowane są przy belkach podsuwnicowych o rozpiętości powyżej 8 m, a więc w przypadkach, gdy oddziaływania poziome kół suwnic są tak duże, że wzmocnienia pasów górnych nie zapewniają wymaganej sztywności w płaszczyźnie poziomej, czyli gdy ugięcia belek w kierunku poziomym przekraczają wartości graniczne.

Dostateczna sztywność belki sprzyja spokojniejszej pracy suwnic, bez klinowania się ich kół oraz mniejszemu zużyciu się szyn. Szerokość belki hamownej t_b nie powinna być mniejsza niż $l/20$ jej rozpiętości. Belka hamowna powstaje przez połączenie pasa górnego belki podsuwnicowej z pasem zewnętrznym za pomocą blachy żeberkowej lub układu krzyżulców i słupków. Belki hamowne również są wykorzystywane na chodniki do obsługi i remontu suwnic. Szerokość chodnika pełnościennego powinna zawierać się w przedziale $b_{t_0}=0,5$ m do 0,9 m. Tężniki pełnościenne projektuje się z blachy żeberkowej o grubości 3,0 – 8,0 mm. W przypadku, gdy $b_{t_0}/t_0 > 140$, to należy stosować żebra jednostronne od dołu, z kątowników lub płaskowników, rozstawionych co 1,2 – 1,5 m.

Tężniki hamowne (cd)



Rys. 23. Przekrój poprzeczny belki hamownej:
1 – pas zewnętrzny, 2 – tężnik blaszany, 3 – belka główna



Rys. 24. Środek tężnika z blachy żeberkowej wzmocnionej żebrem z płaskownika

Przy wymaganych szerokościach $b_t > 0,9$ m zaleca się stosowanie tężników kratowych. Nachylenie krzyżulców powinno zwiierać się w przedziale 25° do 45° . Zasada osiowości przecinania się prętów jest obowiązująca.

Zasady kształtowania belek podsuwnicowych {4} [3]

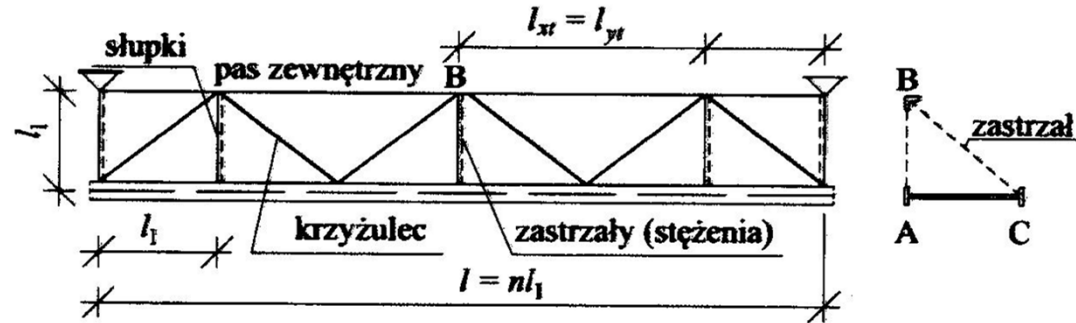
Tężniki hamowne (cd)

W linii wewnętrznej słupów między dwiema nawami tężniki pełnościennie lub kratowe projektuje się wspólne dla belek podsuwnicowych. Szerokość takich tężników może być nawet 2,0 m.

Pasy zewnętrzne belki hamownej podpira się zastrzałami lub belką kratownicową o wysokości równej wysokości belki podsuwnicowej.

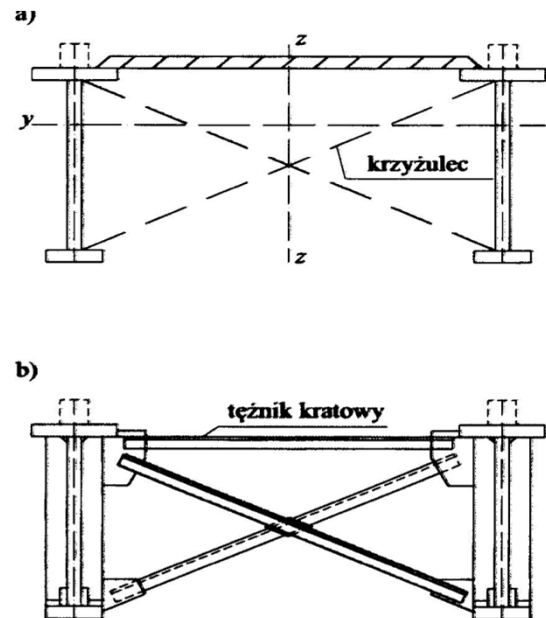
Połączenie wzajemne równoległych belek podsuwnicowych pionowymi stężeniami krzyżowymi → muszą być dostatecznie mocne, gdyż wskutek tych stężeń obie belki, przy obciążeniu tylko jednej z nich, współpracują z sobą jako przestrzenna całość

Pas zewnętrzny tężnika pełnościennego stanowi belkę nośną chodnika. Zastrzały (podpory pasa) umieszcza się co 2,4 do 3,6 m



Rys. 25. Belka z tężnikiem kratowym

[3]



Rys. 26. Belka hamowna belek podsuwnicowych podpieranych przez słupy wewnętrzne: a) belki z tężnikiem blaszanym, b) belki z tężnikiem kratowym

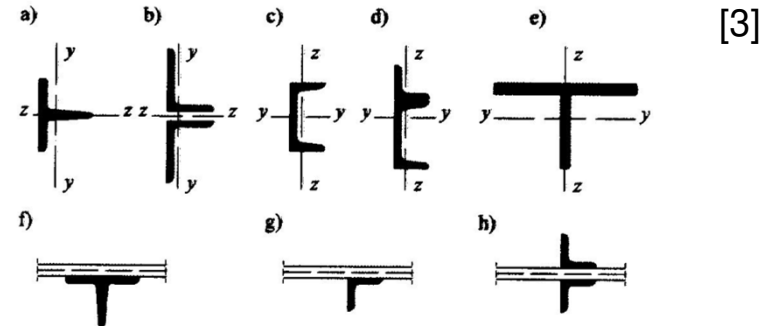
[3]

Tężniki hamowne (cd)

Najczęściej stosowane przekroje pasów zewnętrznych tężników pokazano na rys. 27a-e, a krzyżulców i słupków na rys. 27f-h.

Zadania wytrzymałościowe i konstrukcyjne belek hamownych są następujące:

- zabezpieczenie konstrukcyjne pasa górnego belki podsuwnicowej przed zwichrzeniem i skręceniem
- zwiększenie sztywności poziomej pasa górnego belki, a zatem zmniejszenie wartości ugięć poziomych, wykorzystanie pasa zewnętrznego belki hamownej na podciąg słupków pośrednich dźwigarów dachowych,
- wykorzystanie pasa zewnętrznego w układzie stężeń pionowych międzysłupowych



Rys. 27. Przekroje poprzeczne pasów zewnętrznych krzyżulców, słupków tężników poziomych

Belka podsuwnicowa z tężnikiem pełnościennym

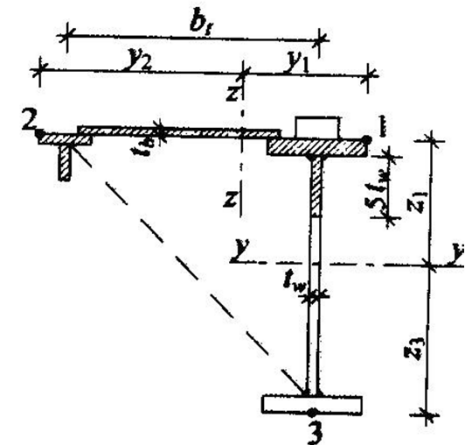
Przekroje belek głównych kształtuje się w sposób omówiony wcześniej przy zachowaniu zasad ekonomii. Przekroje poprzeczne belek podsuwnicowych stężonych najczęściej projektuje się jako spawane z blach.

Pasy belki podsuwnicowej należy projektować klasy 3, 2 lub 1. Środek można projektować, jako ściankę dowolnej klasy. Projektując spoiny łączące pasy ze środnikiem, należy przewidywać ich wpływ na nośność zmęczeniową, zatem na kategorię zmęczeniową belki. Zaleca się projektować spoiny czołowe z pełnym przetopem.

Sprawdzanie nośności belek głównych

Belki podsuwnicowe ze stężeniem pełnościennym wymiaruje się przy następujących założeniach:

1. obciążenia pionowe są przenoszone przez całkowite przekroje poprzeczne belki głównej,
2. pomija się wpływ skręcania belki na jej nośność,
3. moment zginający M generowany obciążeniem poziomym sił H_{Si} lub H_{Ti} jest przenoszony przez zastępczy przekrój pasa górnego belki wraz z całkowitym przekrojem blachy stężącej i pasem zewnętrznym
4. pomija się wpływ siły podłużnej H_L jako wielkości małej.



Sprawdzanie nośności belek głównych (cd)

Należy sprawdzić warunki:

- 1) Zginanie dwukierunkowe pasa górnego,
- 2) Zginanie jednokierunkowe pasa dolnego
- 3) Środek belki pod obciążeniem skupionym
- 4) Środek na ścinanie (omówiono wcześniej)

Jeśli projektowana grubość blachy tężnika poziomego $t_b > 3$ mm, to można przyjąć do obliczeń współczynnik zwiczenia $\chi_{LT} = 1$. W innych przypadkach współczynnik zwiczenia należy określać standardowo (najpierw oszacować moment krytyczny).

$$M_{y,Rk} = \frac{I_y}{z_1} f_y,$$

$$M_{z,f,Rk} = \frac{I_z}{y_1} f_y.$$

↑
klasa 1,2,3. W przypadku, gdy środek jest klasy 4, to należy określić przekrój efektywny, zmianę położenia osi y-y, efektywny moment bezwładności itd.

Moment bezwładności I_z blachy tężnika można obliczać jak dla ścianki klasy 3

$$\frac{M_{y,Ed} z_3}{I_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,$$

$M_{y,Ed}$ – moment zginający od ciężaru własnego pasa, blachy tężnika, obciążenia użytkowego chodnika, obliczony jak dla belki wieloprzęsłowej o długości przęsła l_p , równej odległościom między zastrzałami

I_y – moment bezwładności przekroju poprzecznego, którego wartość zależy od klasy środka

Nośność pasa zewnętrznego tężnika pełnościennego

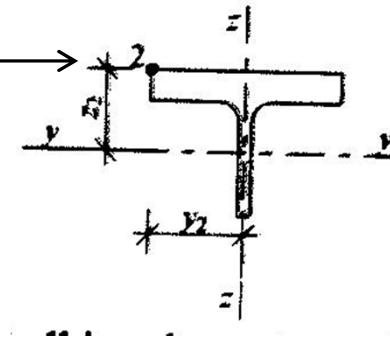
$$\frac{M_{y,t,Ed}}{M_{y,Rk}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,$$

$$\frac{\quad}{\gamma_{M1}} \quad \frac{\quad}{\gamma_{M1}}$$

$M_{y,t,Ed}$ – moment zginający od ciężaru własnego pasa, blachy tężnika, obciążenia użytkowego chodnika, obliczony jak dla belki wieloprzęsłowej o długości przęsła l_i , równej odległościom między zastrzałami

$M_{z,Ed}$ – moment zginający od poziomych oddziaływań kół suwnicy

$$M_{y,Rk} = \frac{I_y}{z_2} f_{y,t}, \quad M_{z,Rk} = \frac{I_z}{y_2} f_{y,t},$$



Zasady kształtowania belek podsuwnicowych {9} [3]

Belka podsuwnicowa z tężnikiem kratownicowym

Belki podsuwnicowe ze stężeniem kratownicowym wymiaruje się przy następujących założeniach:

1. obciążenia pionowe są przenoszone przez cały przekrój belki lub przekrój zastępczy A_f pasa ściskanego

2. pomija się wpływ skręcania belki na jej nośność,

3. obciążenie poziome H_{Ti} H_{Si} prostopadłe do toru generuje moment zginający „globalny” M_z na całej długości belki l , oraz „lokalne” M_{zp} między węzłami na długości l_i .

Nośność pasa górnego

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} k_{yz} + \frac{M_{zp,Ed}}{M_{z,f,Rd}} k_{zz} + \frac{N_{Ed}}{\chi_{Lz} A_p f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,$$

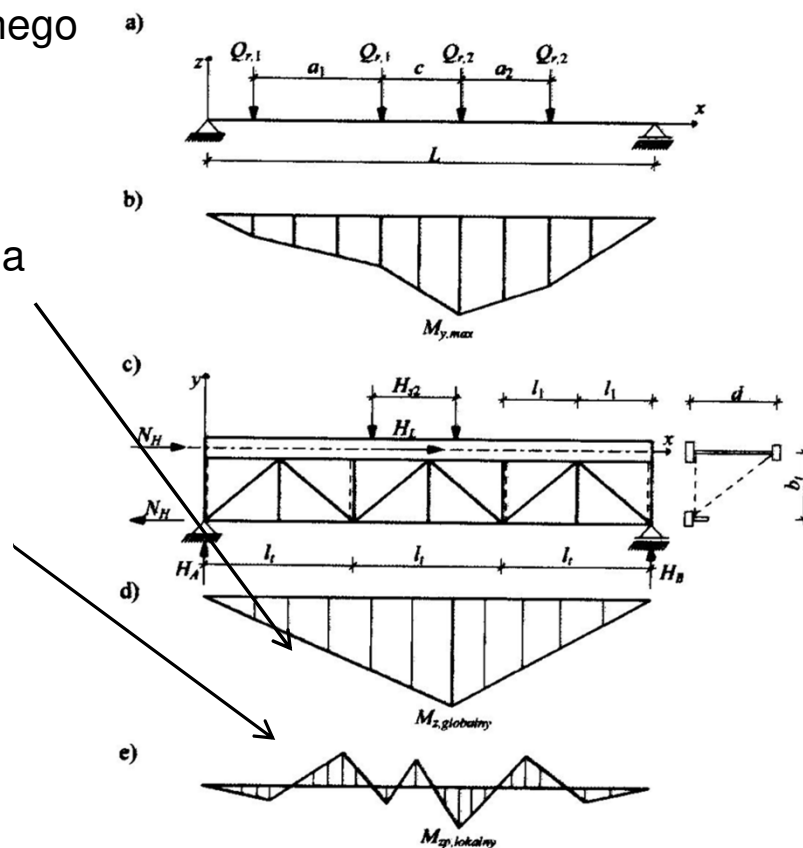
$$N_{Ed} = N_{H,Ed} + H_{L,Ed}$$

lub

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{Lz} A_f f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{zp,Ed}}{M_{z,f,Ed}} k_{zz} \leq 1,$$

$$N_{Ed} = N_{v,Ed} + N_{H,Ed} + H_{L,Ed},$$

$$N_{v,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{d}, \quad N_{H,Ed} = \frac{M_{z,Ed}}{b_1},$$



Zasady kształtowania belek podsuwnicowych {10} [3]

Pas zewnętrzny tężnika kratownicowego

Nośność pasa zewnętrznego można sprawdzać wg wzoru

$$\frac{M_{yt,Ed}}{\chi_{LT} M_{yt,Rd} / \gamma_{M1}} + \frac{N_{H,Ed}}{\chi_{Li} A f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,$$

$M_{yt,Ed}$ – moment zginający od ciężaru własnego pasa, blachy tężnika, obciążenia użytkowego chodnika, obliczony jak dla belki wieloprzęsłowej o długości przęsła l_i , równej odległościom między zastrzałami

χ_{Li} – współczynnik wyboczenia obliczany względem osi y dla długości $l_{cr} = l_i$ (odległość między stężeniami) i względem osi z dla długości $l_{cr} = l_1$ (odległość między węzłami kratownicy)

$$M_{yt,Rd} = W_y \cdot f_y$$

A- pole przekroju poprzecznego pasa zewnętrznego

W_y – wskaźnik wytrzymałości pasa

Krzyżulce i słupki tężnika

Siły w słupkach i krzyżulcach podporowych należy obliczać na działanie obciążenia od reakcji (większej) (poziomej całej belki H. Siły w krzyżulcach należy obliczać od oddziaływań poziomych kół suwnic. Nośność słupków i krzyżulców należy sprawdzić tak, jak w elementach ściskanych kratownicy wg postanowień EC3

Zasady kształtowania belek podsuwnicowych {11} [3]

Projektowanie szczegółów konstrukcyjnych belek podsuwnicowych

Z przeglądów technicznych i awarii belek podsuwnicowych, wynika, że najczęściej ulegają zużyciu połączenia belek ze słupami. Spoiny pachwinowe łączące elementy pękają przez ich ścięcie, a również śruby wypadają ścięte lub zerwane. Przyczyną jest najczęściej niedokładne projektowanie lub wykonanie tych połączeń. Nośność łączników należy sprawdzać w szczególności w połączeniach:

- 1) pasa górnego belki z elementem tężnika hamownego i słupa
- 2) pasa dolnego belki z blachą poziomą słupa
- 3) styków doczołowych belek podsuwnicowych

Przemieszczenia elementów złącznych belek

Nie są dopuszczalne nadmierne przemieszczenia elementów złącznych – zachowanie prostoliniowości i współliniowości torów suwnic. Powinny być zachowane parametry: a) wzajemne przemieszczenie pionowe (różnica ugięć belek) $\Delta h_i \leq L/600$ (L-długość mostu), b) wzajemny dopuszczalny rozstaw szyn $\Delta S \leq 10$, c) tolerancja przemieszczeń między kołnierzem koła, a główką szyny jest wliczana do wartości dopuszczalnego ugięcia poziomego

