

Konstrukcje metalowe

Wykład III

Podstawowe informacje o Eurokodach

Spis treści

Normy → #t / 3

EN 1990 → #t / 6

EN 1991 → #t / 42

EN 1993 → #t / 70

EN 1999 → #t / 72

Filozofia Eurokodów → #t / 73

Inne ważne informacje → #t / 88

Zagadnienia egzaminacyjne → #t / 97

Normy

Wiele norm nosi symbol EN (European Standard, European Norme, European Norm, Norma Europejska), ale tylko 10 z nich: 1990 do 1999 jest nazywane Eurokodami.

Pełny symbol: **X - EN - numer : rok edycji**

Gdzie X – przekład na język danego kraju

Na przykład:

BS - EN 1991-1-1 : 2005 (BS = British Standard, rok 2005)

PN - EN 1993-1-7 : 2007 (PN = Polska Norma, rok 2007)

DIN - EN 1997-1 : 2004 (DIN = Deutsches Institut für Normung, rok 2004)

NF - EN 1995-1-2 : 2006 (NF = Norme Française, rok 2006)

Oprócz Eurokodów, dla konstrukcji metalowych ważnych jest wiele norm EN i EN ISO.

EN ISO = norma EN, International Organization for Standardization

Eurokody:

- EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji (jedna część)
- EN 1991 Oddziaływania na konstrukcje (10 części)
- EN 1992 Projektowanie konstrukcji z betonu (4 części)
- EN 1993 Projektowanie konstrukcji stalowych (20 części)
- EN 1994 Projektowanie konstrukcji zespolonych (3 części)
- EN 1995 Projektowanie konstrukcji drewnianych (3 części)
- EN 1996 Projektowanie konstrukcji murowych (4 części)
- EN 1997 Projektowanie geotechniczne (2 części)
- EN 1998 Projektowanie konstrukcji, poddanych obciążeniom sejsmicznym (6 części)
- EN 1999 Projektowanie konstrukcji aluminiowych (5 części)

$\Sigma = 58$ części

Inne ważne normy:

- EN 1090-2
- EN 10025-2
- EN ISO 5817
- EN ISO 6520-1
- EN 50341-1
- EN 12345
- ISO 2560

EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji (potoczna nazwa: Eurokod 0)

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa → #t / 7-10

Metoda Stanów Granicznych → #t / 11-30

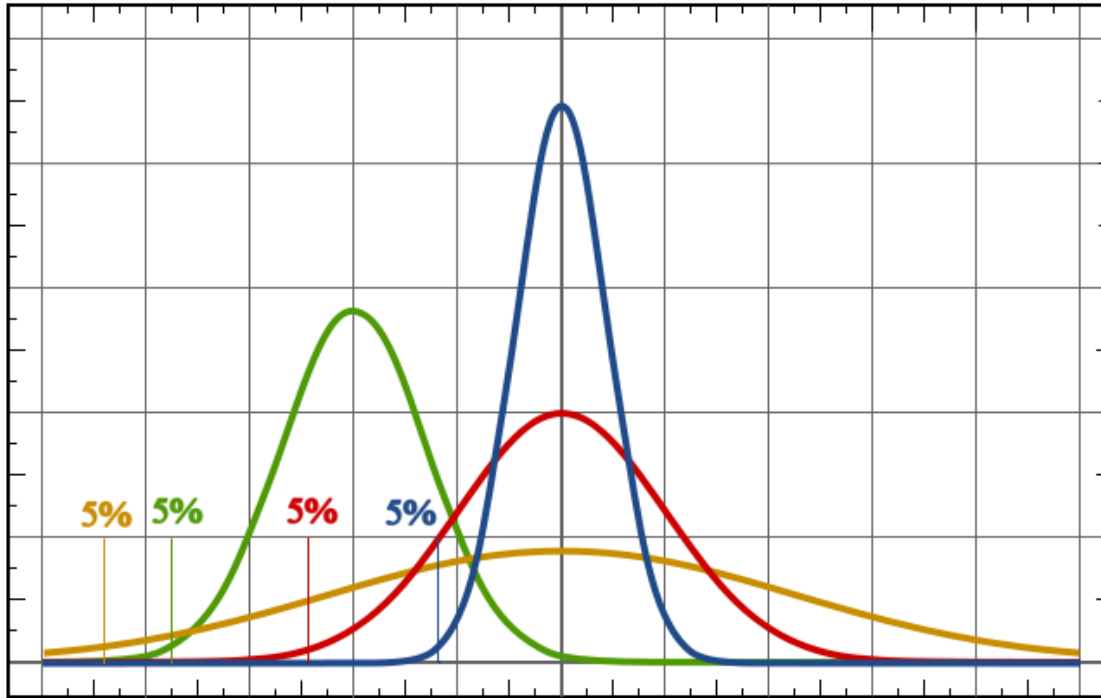
Stany graniczne → #t / 12-20

Sytuacje i kombinacje → #t / 21-28

Klasy konsekwencji → #t / 31-37, 41

Okres użytkowania → #t / 38-41

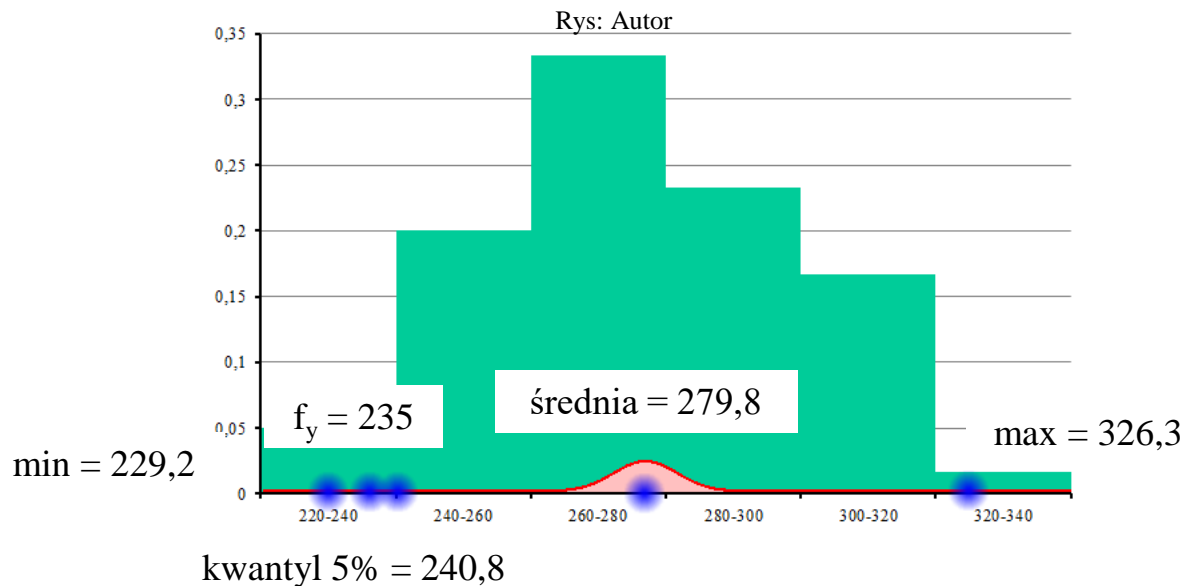
Rys: wikipedia



Wytrzymałość (charakterystyczna) materiału to dolny kwantyl 5% (\rightarrow #2 / 47)

Dla obliczeń używamy dodatkowych współczynników bezpieczeństwa = $1/\gamma_M$

γ_M	Wartość	Dotyczy
γ_{M0}	1,00	Nośność elementów i przekrojów
γ_{M1}	1,10	
γ_{M2}	1,25	Nośność śrub, nitów, sworzni, spoin, blach przy docisku, elementów i przekrojów
γ_{M3}	1,25	Nośność na poślizg, kategoria C
$\gamma_{M3, ser}$	1,10	Nośność na poślizg, kategoria B
γ_{M4}	1,00	Nośność na docisk dla śrub wklejanych
γ_{M5}	1,00	Nośność dla kratownic rurowych
$\gamma_{M6, ser}$	1,00	Nośność sworzni w SGU
γ_{M7}	1,10	Śruby sprężające i wysokiej wytrzymałości
γ_{Mf}	Odrębne unormowania	Obliczenia zmęczeniowe



W analogii do wartości charakterystycznej wytrzymałości (dolny kwantyl 5%), także i wartości charakterystyczne obciążeń stanowią kwantyle ich rozkładów.

Dla wytrzymałości przyjęto kwantyl **dolny** z uwagi na bezpieczeństwo: w 95% przypadków realna wytrzymałość stali będzie większa, niż założona w obliczeniach.

Z tych samych powodów wartość charakterystyczna obciążenia to **górny** kwantyl rozkładu. W ten sposób w większości przypadków realna wartość obciążenia jest mniejsza od założonej w obliczeniach.

Współczynniki bezpieczeństwa dodatkowo pomniejszają wartość wytrzymałości i powiększają wartości obciążeń.

Dla wszystkich typów obciążeń musimy użyć współczynników bezpieczeństwa γ_F by przeliczyć wartości charakterystyczne na obliczeniowe:

γ_{Gi} współczynnik bezpieczeństwa dla obciążeń stałych (np. ciężar własny)

γ_{Qi} współczynnik bezpieczeństwa dla obciążeń zmiennych (śnieg, wiatr, użytkowe)

γ_P współczynnik bezpieczeństwa dla obciążeń wyjątkowych (wybuch, uderzenie)

Ogólnie, $\gamma_F \geq 1,0$

Mamy zdefiniowany zestaw współczynników bezpieczeństwa dla materiałów oraz różnego rodzaju obciążeń i oddziaływań. Taka metoda nosi nazwę Metody Częściowych Czynników Bezpieczeństwa.

Obciążenia, wytrzymałość, współczynniki bezpieczeństwa i współczynniki kombinacji określają stan konstrukcji. Stan struktury opisuje specyficzna funkcja ($\rightarrow \#t / 20$), która oddziela stany bezpieczne i niebezpieczne. Jest to metoda stanów granicznych.

Zniszczenie

Funkcja $> 1,0$



Rys: onet .pl

Stan graniczny

Funkcja $= 1,0$



Stan bezpieczny

Funkcja $< 1,0$

Rys: viva.pl

Stany graniczne nośności (EN 1990 6.4):

EQU (równowaga) – utrata równowagi całej konstrukcji lub jej części, rozpatrywanej jako ciało sztywne;

STR (wytrzymałość) – zniszczenie wewnętrzne lub nadmierne odkształcenie konstrukcji lub jej części;

GEO (geotechnika) – zniszczenie lub nadmierne odkształcenie podłoża;

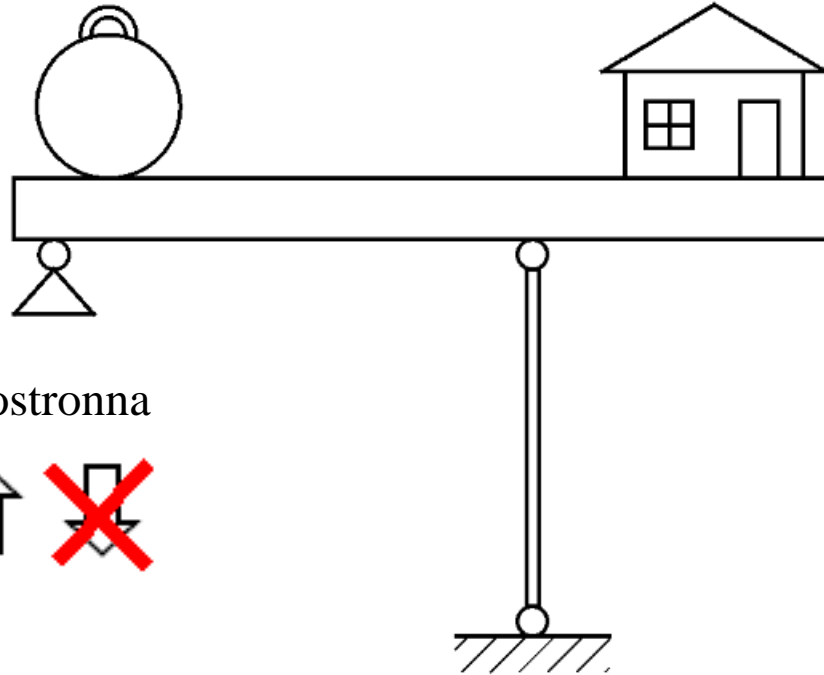
FAT (zmęczenie) – zniszczenie zmęczeniowe.

Stany graniczne użyteczności

Co oznaczają poszczególne stany graniczne?

Konstrukcja:

Przeciwwaga



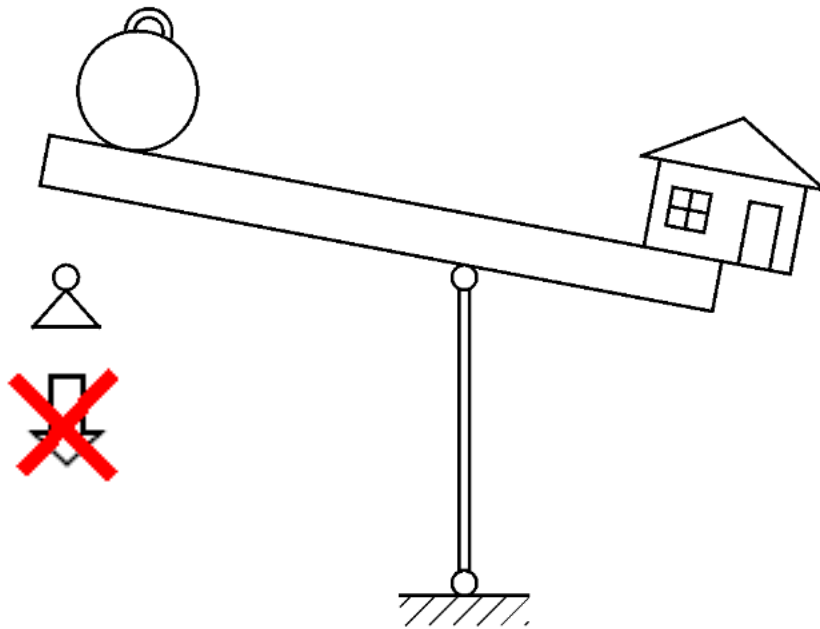
Najważniejsza część

Podpora jednostronna



Rys: Autor

Rys: Autor



Brak deformacji i zniszczeń, jedynie niebezpieczne dla ludzi lub konstrukcji przemieszczenie konstrukcji jako ciała sztywnego: EQU



Rys: malaysiaconstructionservices.com

Obrót, przesunięcie lub uniesienie pustego zbiornika przez parcie wiatru;

Stateczność muru oporowego;

Stateczność dźwigu;

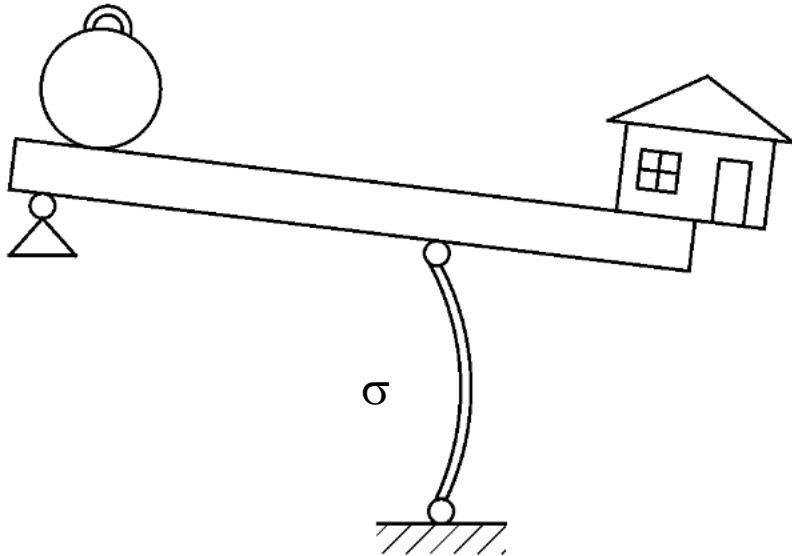
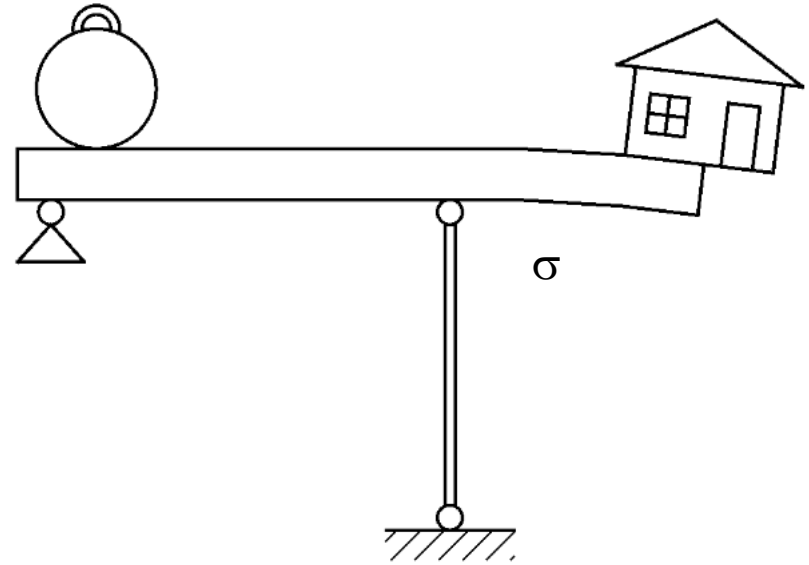
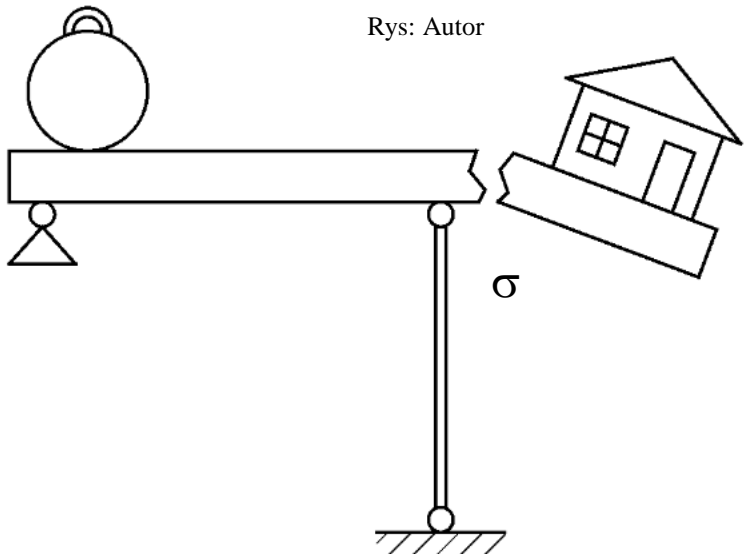


Rys: craneaccidents.com



Rys: link.springer.com

Rys: Autor



Sytuacja niebezpieczna dla ludzi lub konstrukcji: STR

- przekroczenie naprężeń ($\sigma > f_y$)
- przekroczenie odkształceń ($\sigma < f_y$)
- niestateczność; ($\sigma < f_y$)



Rys: quora.com



Rys: Z. Mendera, Analiza przyczyn katastrofy hali wystawowej w Katowicach, Awarie Budowlane 2007

Chodzi tu o przekroczenie nośności (spoiny, śruby, elementu...)...



Rys: civildigital.com

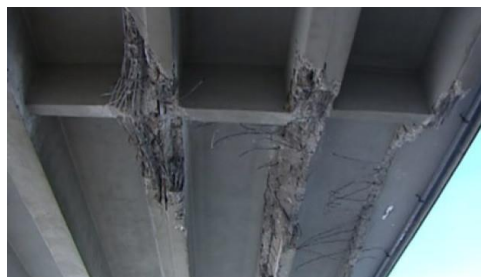


Rys: publish.ucc.ie

...utratę stateczności...



Rys: wikipedia



Rys: tvn24.pl

...ugięcie które narusza skrajnię pod obiektem...



Rys: ceptrofs.civil.tamu.edu



Rys: researchgate.net

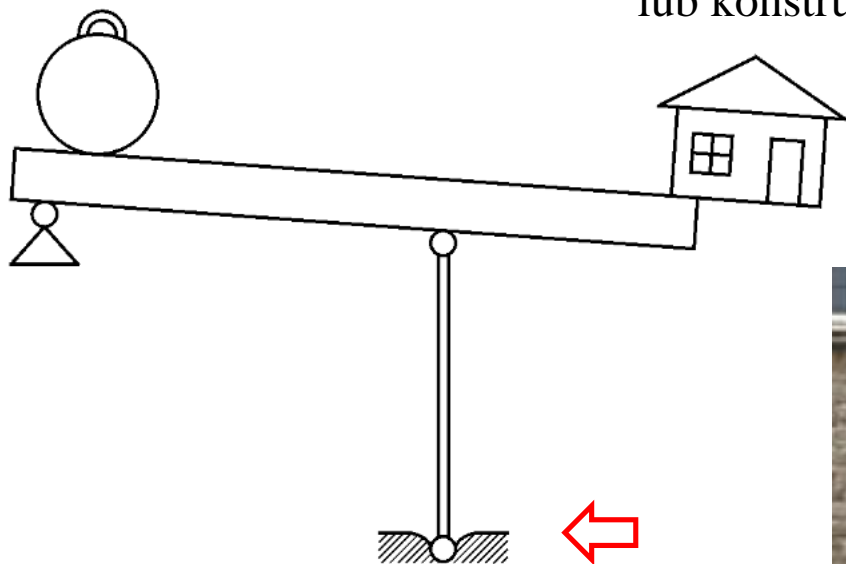


Rys: dachy.info.pl

...lub powodujące powstawanie zastoisk wody na dachu.

Rys: Autor

Sytuacja niebezpieczna dla ludzi lub konstrukcji: GEO



Rys: wikipedia

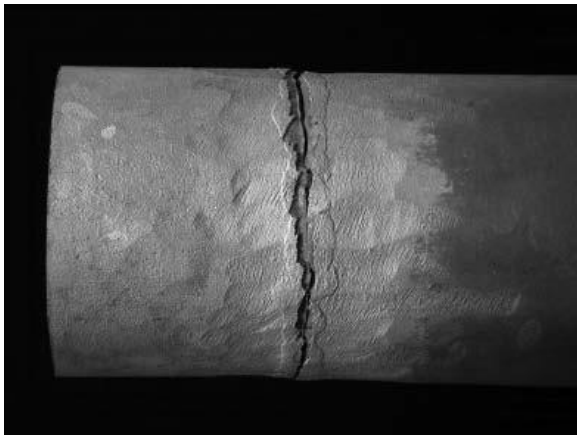


Rys: helifix.co.uk

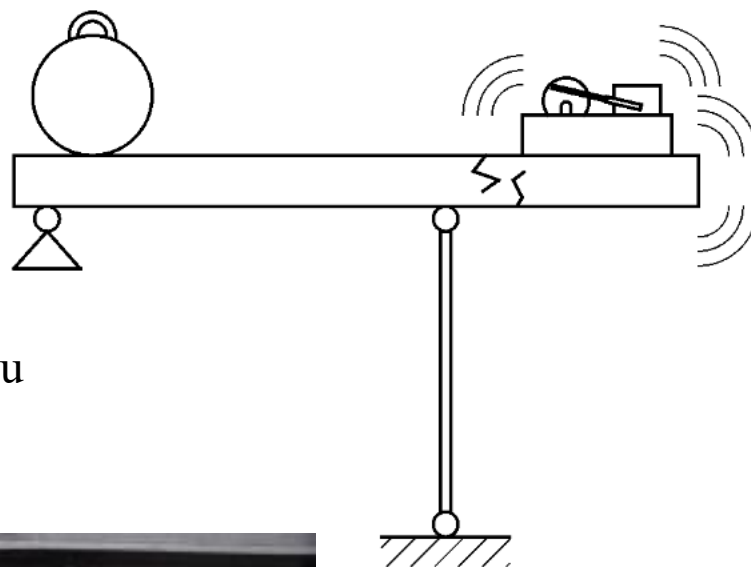


Rys: T. Paczkowska, W. Paczkowski, T. Wróblewski, Wpływ osiadania podłoża na stan stalowej konstrukcji szkieletowej, Awarie Budowlane 2007

Problemy z fundamentami



Obciążenia dynamiczne, pękanie materiału: FAT



Zmęczenie materiału

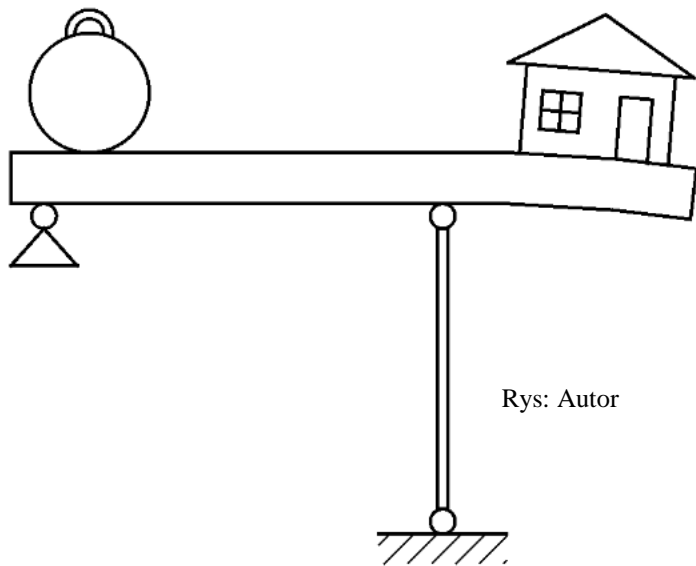


Rys: incomnews.org



Rys: s3da-design.com

Obciążenia dynamiczne: amplituda drgań lub częstotliwość nieprzyjemna w odbiorze dla ludzi: SLS



Rys: Autor

Nadmierne ugięcia, rozwarście rys w betonie, specyficzne kombinacje amplitudy i częstotliwości drgań wywołujące złe samopoczucie



Rys: tightwadcruises.wordpress.com

Deformacje, które stanowią problem estetyczny, psychologiczny lub mają drugorzędny wpływ na użytkowanie: SLS

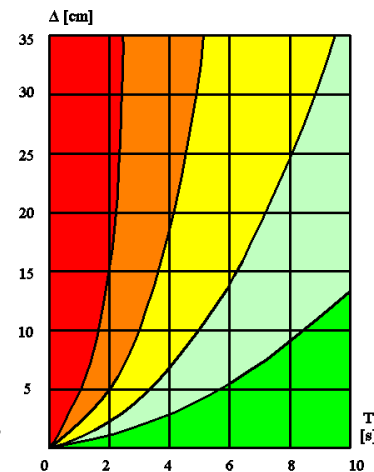


Rys: raportsekocenbud.pl

Rys: inzynierbudownictwa.pl



Rys: "Konstrukcje metalowe, tom II", M. Łubiński, W. Żółtowski, A. Filipowicz



Ogólnie w przypadku każdego SG należy sprawdzić fundamentalny wzór

$$E / R \leq 1,0 - \text{funkcja stanu granicznego } (\rightarrow \#t / 11)$$

aczkolwiek możliwe są pewne niuanse symboliki.

$$\text{EQU} : E_{d, \text{dis}} / E_{d, \text{stb}} \leq 1,0$$

obciążenie przewracające / obciążenie stabilizujące

$$\text{STR, GEO} : E_d / R_d \leq 1,0$$

efekt obciążenia / nośność

$$\text{FAT} : \text{specyficzne postacie zapisu ogólnego } E_F / R_F \leq 1,0$$

amplituda naprężeń / nośność zmęczeniowa

$$\text{SGU} : E_d / C_d \leq 1,0$$

deformacja / deformacja dopuszczalna

Drugim elementem opisanym w EN 1990 są sytuacje obliczeniowe / kombinacje obciążeń.

O ile stany graniczne dotyczą mechanizmów i form uszkodzenia / zniszczenia / wystąpienia problemów, o tyle sytuacje obliczeniowe / kombinacje obciążeń odnoszą się przede wszystkim do czasu trwania danego obciążenia i do szczególnego charakteru tego obciążenia. Sytuacjom odpowiadają kombinacje obciążeń z różnymi wartościami współczynników kombinacji ψ

Dla SGN:

Sytuacja:	Kombinacja:
Trwała	Wspólna dla stałej i przejściowej
Przejściowa	
Wyjątkowa	Dla wyjątkowej
Sejsmiczna	Dla sejsmicznej

Dla SGU:

Kombinacja:
Charakterystyczna
Częsta
Quasi-stała

SGN, sytuacja trwała: przyłożone obciążenia działają przez czas porównywalny z okresem eksploatacji konstrukcji :

ciężar własny (grawitacja działa stale)

obciążenie eksploatacyjne (w różnej wartości, ale przez większość okresu eksploatacji)

wiatr (potencjalnie w każdej chwili)

śnieg (po kilka miesięcy w roku, łącznie może to być 30%-50% okresu eksploatacji)

SGN, sytuacja przejściowa dotyczy obciążeń działających krótko, ale o dużym prawdopodobieństwie wystąpienia:

składowanie materiałów podczas budowy czy naprawy

zaspy śnieżne

SGN, sytuacja wyjątkowa dotyczy obciążeń krótkotrwałych o małym prawdopodobieństwie wystąpienia, takich jak

pożar

wybuch (pył w silosach, gaz w zbiornikach i rurociągach – natomiast **nie dotyczy** to materiałów wybuchowych, zamachu terrorystycznego czy wojny)

uderzenie przez pojazd (samochód, tramwaj, pociąg, wózek widłowy, statek...)

SGN, sytuacja sejsmiczna dotyczy, tak samo jak poprzednia, obciążeń krótkotrwałych o małym prawdopodobieństwie wystąpienia, ale tu konkretnie dotyczy trzęsień ziemi. Zostały wydzielone w odrębną sytuację, bo – w przeciwieństwie do wszystkich innych sytuacji – przytrafia się ona tylko w niektórych krajach ueurokodowanych.

SGU, kombinacja charakterystyczna dotyczy nieodwracalnych stanów granicznych, jak pękanie (rysy w żelbecie) czy deformacje w zakresie plastycznym.

SGU, kombinacja częsta dotyczy odwracalnych stanów granicznych, jak ugięcia sprężyste (konstrukcje stalowe).

SGU, kombinacja quasi-stała dotyczy efektów długookresowych i wyglądu konstrukcji, jak reologia betonu (konstrukcje zespolone i sprężone) i pewne aspekty obliczania rys w żelbecie i betonie sprężonym.

	ULS				SLS	
	EQU	STR	GEO	FAT		
Trwała					Charakterystyczna	
Przejęciowa					Częsta	
Wyjątkowa					Quasi-stała	
Sejsmiczna						

Różne wartości współczynnika Ψ_i
EN 1990 app. A

Oprócz współczynników bezpieczeństwa γ_F używamy współczynników kombinacji obciążeń Ψ_i .

Cztery najważniejsze rodzaje obciążeń, działających na konstrukcje:

- Ciężar własny
- Obciążenie użytkowe
- Śnieg
- Wiatr

Eurokody podają maksymalne wartości w/w obciążeń.

Prawdopodobieństwo, że w tym samym momencie wystąpi ekstremalne obciążenie śniegiem i wiatrem, nie jest duże – więc z ekonomicznego punktu widzenia opłacalne jest redukcowanie maksymalnych wartości w przypadku kombinacji różnych rodzajów obciążenia.

$$\Psi_i \leq 1,0$$



Rys: losyziemi.pl



Rys: 900igr.net

Przykładowo, dla konstrukcji stalowych: SGN trwała i przejściowa oraz SGU częsta:

Kombi- najca E_j	G (ciężar własny)		Q (zmiennie)							
			Wiatr		Śnieg		Użytkowe		Temperatura	
	γ_{Gi}	Ψ_i	γ_{Wi}	Ψ_i	γ_{Si}	Ψ_i	γ_{Ii}	Ψ_i	γ_{Ti}	Ψ_i
ULS										
1	1,35	1,00	1,50	1,00	1,50	$\Psi_{0,S}$	1,50	$\Psi_{0,I}$	1,50	0,60
2	1,35	1,00	1,50	0,60	1,50	1,00	1,50	$\Psi_{0,I}$	1,50	0,60
3	1,35	1,00	1,50	0,60	1,50	$\Psi_{0,S}$	1,50	1,00	1,50	0,60
4	1,35	1,00	1,50	0,60	1,50	$\Psi_{0,S}$	1,50	$\Psi_{0,I}$	1,50	1,00
5	1,00	1,00	1,50	1,00	1,50	0,00	1,50	0,00	1,50	*
SLS										
6	1,00	1,00	1,00	0,2	1,00	$\Psi_{2,S}$	1,00	$\Psi_{2,I}$	1,00	0,00
7	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	$\Psi_{1,S}$	1,00	$\Psi_{2,I}$	1,00	0,00
8	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	$\Psi_{2,S}$	1,00	$\Psi_{1,I}$	1,00	0,00
9	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	$\Psi_{2,S}$	1,00	$\Psi_{2,I}$	1,00	0,50

Dla Polski:

Ψ_S	$\Psi_{0,S}$	$\Psi_{1,S}$	$\Psi_{2,S}$
Miejscowości położone < 1000 m. n.p.m.	0,5	0,2	0,0
Miejscowości położone > 1000 m. n.p.m.	0,7	0,5	0,2

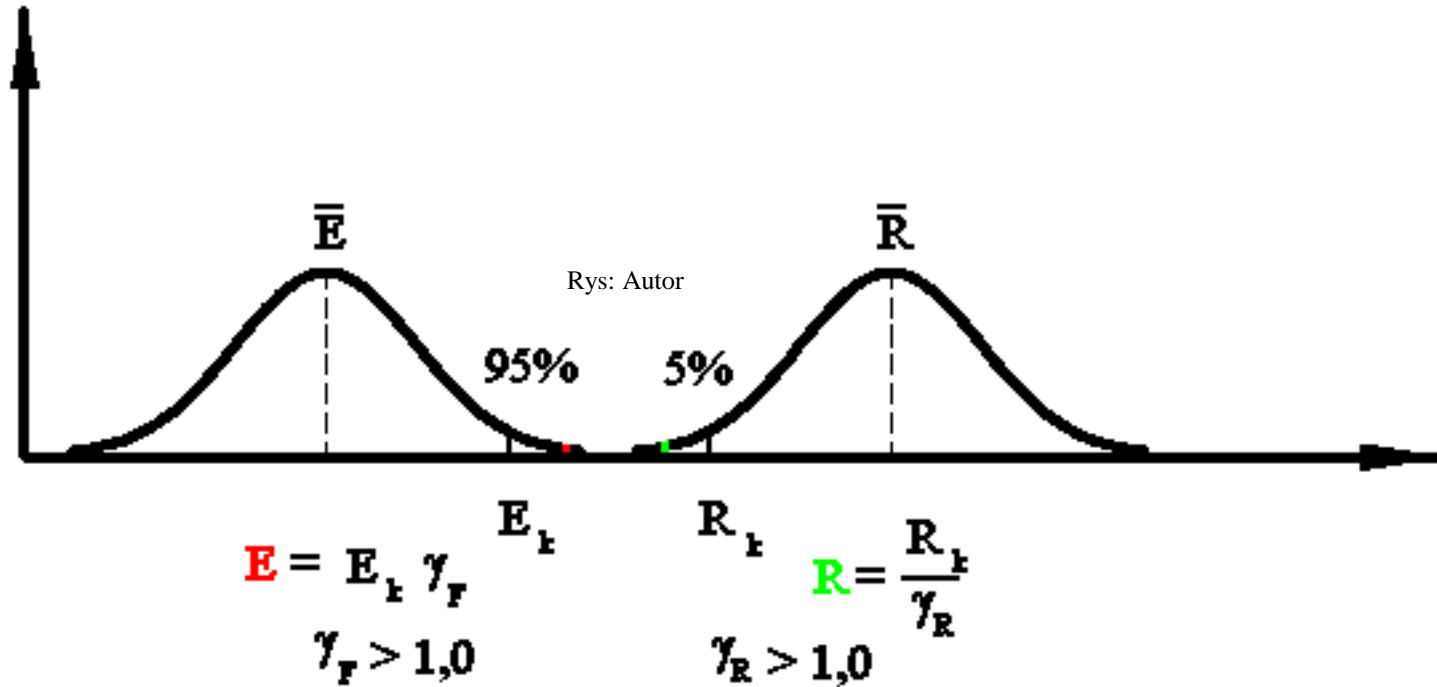
Sposób użytkowania (\rightarrow #t / 43)	$\Psi_{0,I}$	$\Psi_{1,I}$	$\Psi_{2,I}$
A, B	0,7	0,5	0,3
C, D	0,7	0,7	0,6
E	1,0	0,9	0,8
F	0,7	0,7	0,7
G	0,7	0,5	0,3
H	0,0	0,0	0,0

**Bardziej niekorzystna
spomiędzy 0.00 lub 0.70**

$$E_j = \Sigma (\gamma_{Gi} G_{ki}) + \Sigma (\Psi_{ij} \gamma_{Qi} Q_{ki})$$

Kombinacje 1-4, 6-9 dotyczą parcia wiatru (+ciężar własny + pozostałe) i efektów dla STR LS;
Kombinacja 5 dotyczy ssania wiatru (-ciężar własny), czyli EQU LS.

Podsumowanie:

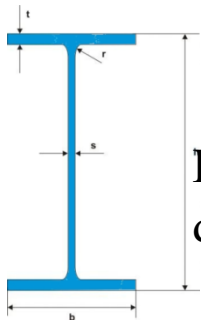


$$0 \leq E / R \leq 1,0$$

jest poprawne z punktu widzenia nośności konstrukcji.

Ale nie każda proporcja E / R jest akceptowalna z powodów ekonomicznych.

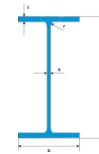
Przykładowo: przekrój dla którego $E/R = 0,54$ lub inny przekrój o stosunku $E/R = 0,98$;



Rys: hmsteel.pl

$$0 \leq [E / (\text{duże } R)] < [E / (\text{małe } R)] \leq 1,0$$

Duży przekrój →
duża nośność



Rys: hmsteel.pl

Mały przekrój →
mała nosność

Mniejszy przekrój jest tańszy i lżejszy. Stosunek E/R powinien być tak bliski 1,0 jak to możliwe.

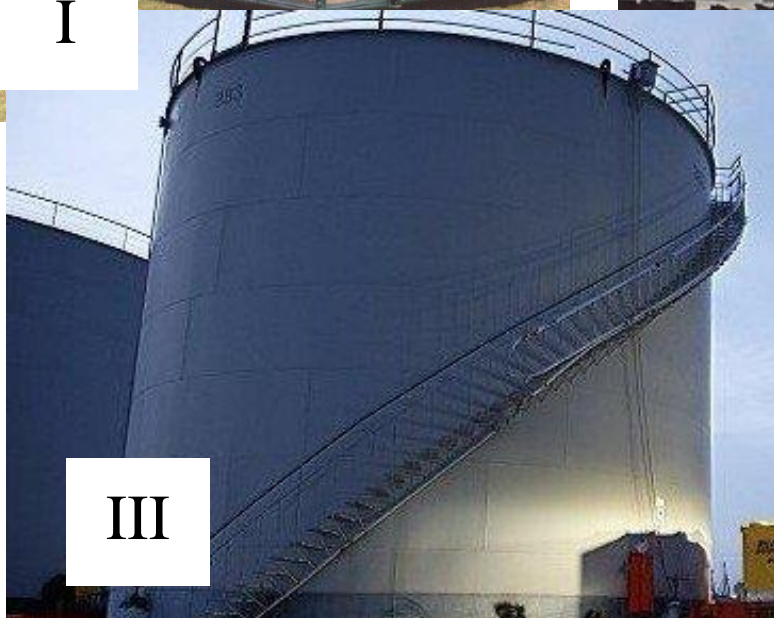
Klasy konsekwencji – krótko- i długookresowe skutki zniszczenia konstrukcji



I



II



III



Rys: wikipedia

Klasa	Opis	Przykład
CC3	Wysokie zagrożenie ludzkiego życia lub bardzo duże konsekwencje społeczne, ekonomiczne i środowiskowe	Widownie, budynki użyteczności publicznej, których konsekwencje zniszczenia są wysokie
CC2	Przeciętne zagrożenie ludzkiego życia lub znaczne konsekwencje społeczne, ekonomiczne i środowiskowe	Budynki mieszkalne i biurowe oraz budynki użyteczności publicznej, których konsekwencje zniszczenia są przeciętne
CC1	Niskie zagrożenie ludzkiego życia lub małe lub nieznaczne konsekwencje społeczne, ekonomiczne i środowiskowe	Budynki rolnicze w których ludzie zazwyczaj nie przebywają oraz szklarnie

EN 1990 tab B1

Dla sześciu rodzajów konstrukcji stosowane są odrębne reguły:



Rys: wikipedia

Oczywiście, każdorazowo inwestor może na własne ryzyko podjąć decyzję o zmianie zakwalifikowania.

Klasy Konsekwencji związane są z kilkoma aspektami projektowania:

- prawdopodobieństwo zniszczenia;
- nadzór nad procesem obliczeń ($\rightarrow \#t / 37$);
- nadzór nad procesem budowy ($\rightarrow \#t / 37$);

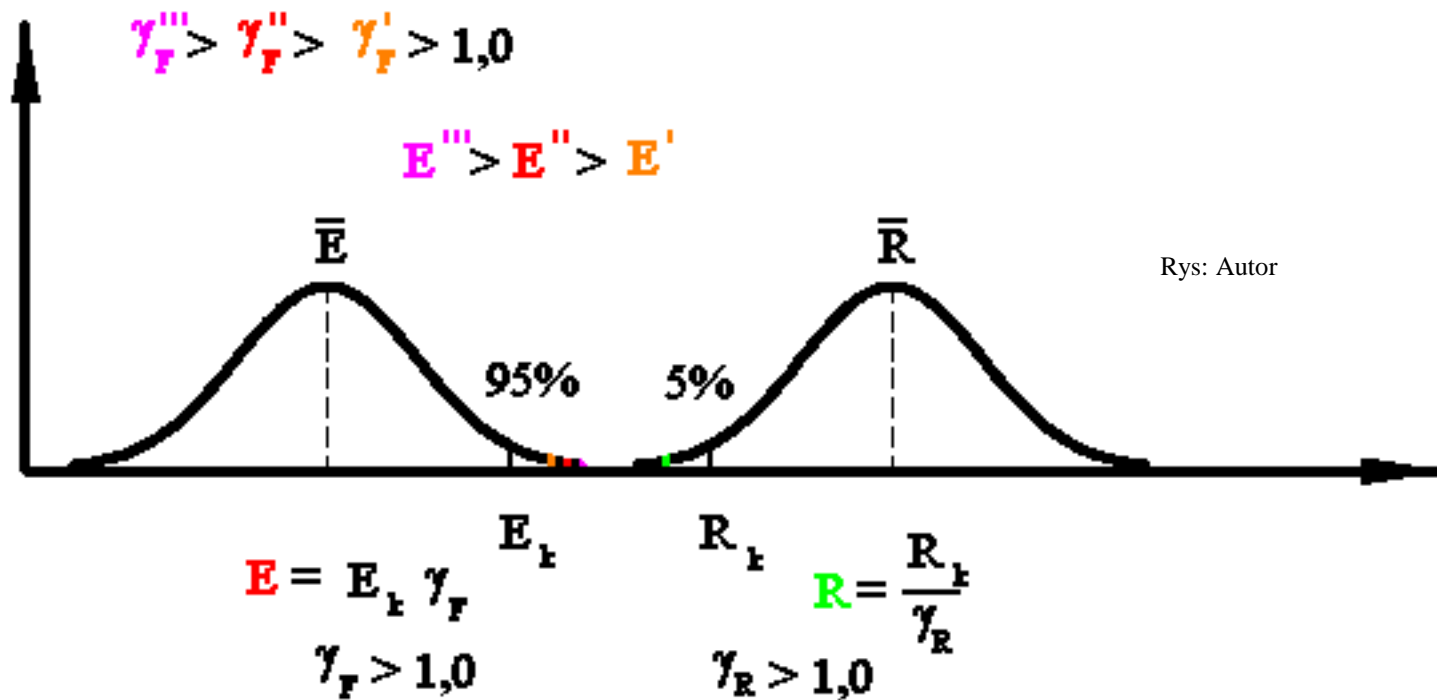
Konstrukcja CC2 musi być bezpieczniejsza niż CC1, zaś CC3 bezpieczniejsza CC2. Prawdopodobieństwo zniszczenia CC2 jest mniejsze niż CC1, najmniejsze jest zaś dla CC3. Zgodnie z EN 1990 tab. B2:

CC	1	2	3
Współczynnik β (dla 50 lat)...	3,3	3,8	4,3
...co oznacza prawdopodobieństwo zniszczenia w ciągu 50 lat	4 642 / 10 000 000	716 / 10 000 000	87 / 10 000 000
Proporcja	53,356	8,230	1,000

Zróżnicowanie prawdopodobieństwa zniszczenia osiągnęte jest przez zróżnicowanie częściowych współczynników bezpieczeństwa dla obciążeń.

Wpływ na proces obliczeń:

CC3 CC2 CC1



(czasami także odmienne wzory na nośność)

Wpływ na obliczenia; EN 1990 B3.2.(2), EN 1990, tab. B3, współczynniki bezpieczeństwa

Efekt	Klasa konsekwencji	Ciężar własny		Obciążenia zmienne
		Drewno, żelbet, mur, elementy wykończeniowe	Stal, aluminium	
Niekorzystny dla konstrukcji	CC1	1,20	1,35	1,35
	CC2	1,35		1,50
	CC3	1,50		1,65
Korzystny dla konstrukcji	CC1, CC2, CC3	1,0	1,0	0,0
Obciążenia wyjątkowe		1,0	1,0	1,0

T. Michałowski, M. Piekarczyk, Selected Issues of Special Steel Structures, Cracow University of Technology 2019

Nadzór w trakcie projektowania i wykonania; EN 1990, tab. B1 + B4 + B5

Klasa konsekwencji	Poziom nadzoru przy projektowaniu	Charakterystyka	Minimalne zalecenia	Poziom inspekcji (przy wykonaniu)	Charakterystyka	Wymagania
CC3	DSL3	Nadzór zaostrzony	Sprawdzenie przez stronę trzecią (inną jednostkę projektową)	IL3	Inspekcja zaostrzona	Inspekcja przez stronę trzecią
CC2	DSL2	Nadzór normalny	Sprawdzenie wg procedur jednostki projektowej	IL2	Inspekcja normalna	Inspekcja wg procedur jednostki wykonawczej
CC1	DSL1	Nadzór normalny	Autokontrola (przez autora projektu)	IL1	Inspekcja normalna	Autoinspekcja

Okresy użytkowania - jak długo konstrukcja będzie pełnić swą funkcję

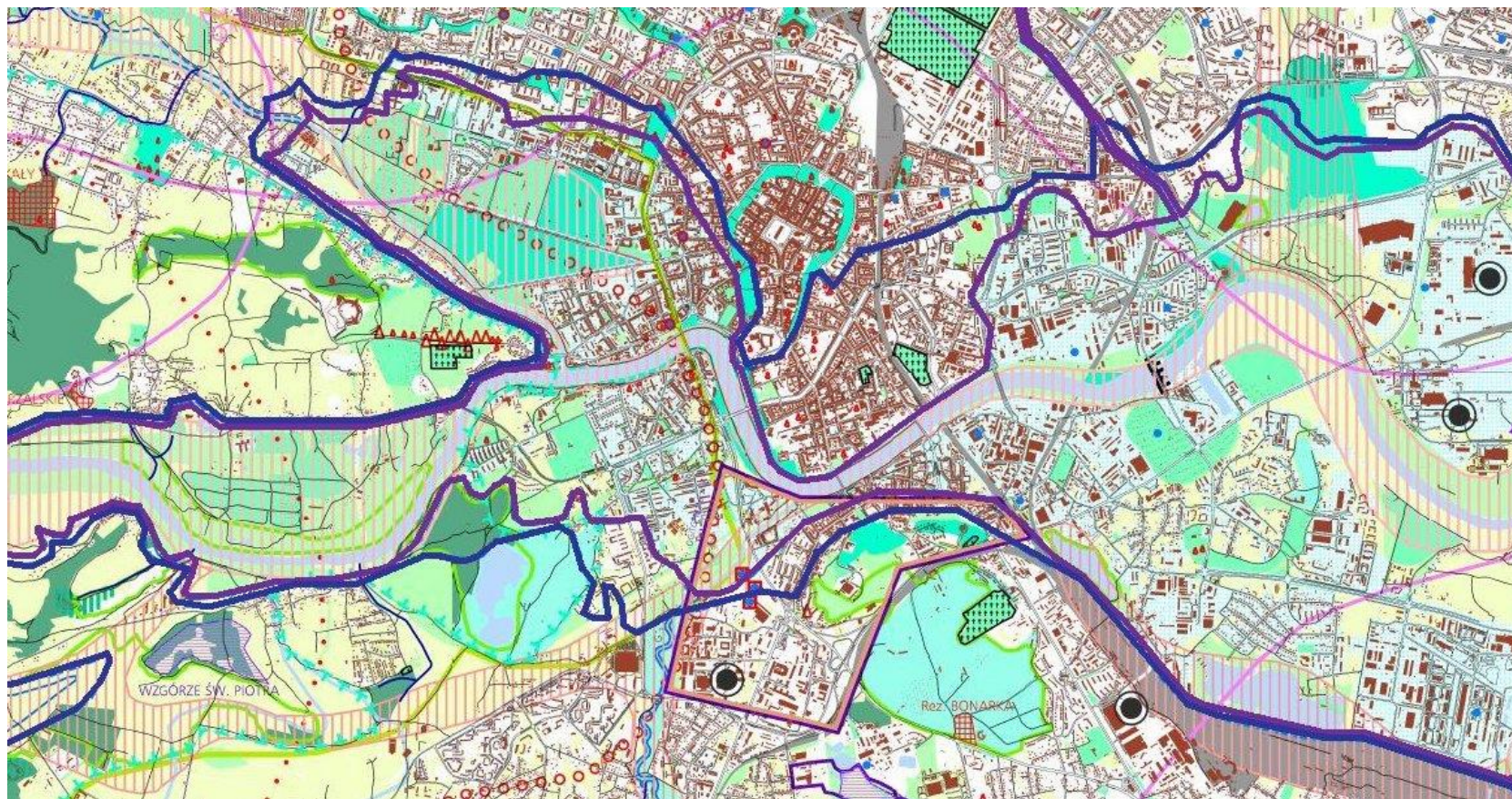


Rys: wikipedia

Orientacyjny projektowany okres użytkowania (lata)	Przykłady
10	Konstrukcje tymczasowe
10 - 25	Wymienialne części konstrukcji (belki podsuwnicowe, łożyska)
15 - 30	Konstrukcje rolnicze i podobne
50	Konstrukcje budynków i inne konstrukcje zwykłe
100	Konstrukcje budynków monumentalnych, mosty i inne konstrukcje inżynierskie

EN 1990 tab 2.1

Prawdopodobieństwo dużego oddziaływania rośnie wraz ze wzrostem okresu użytkowania

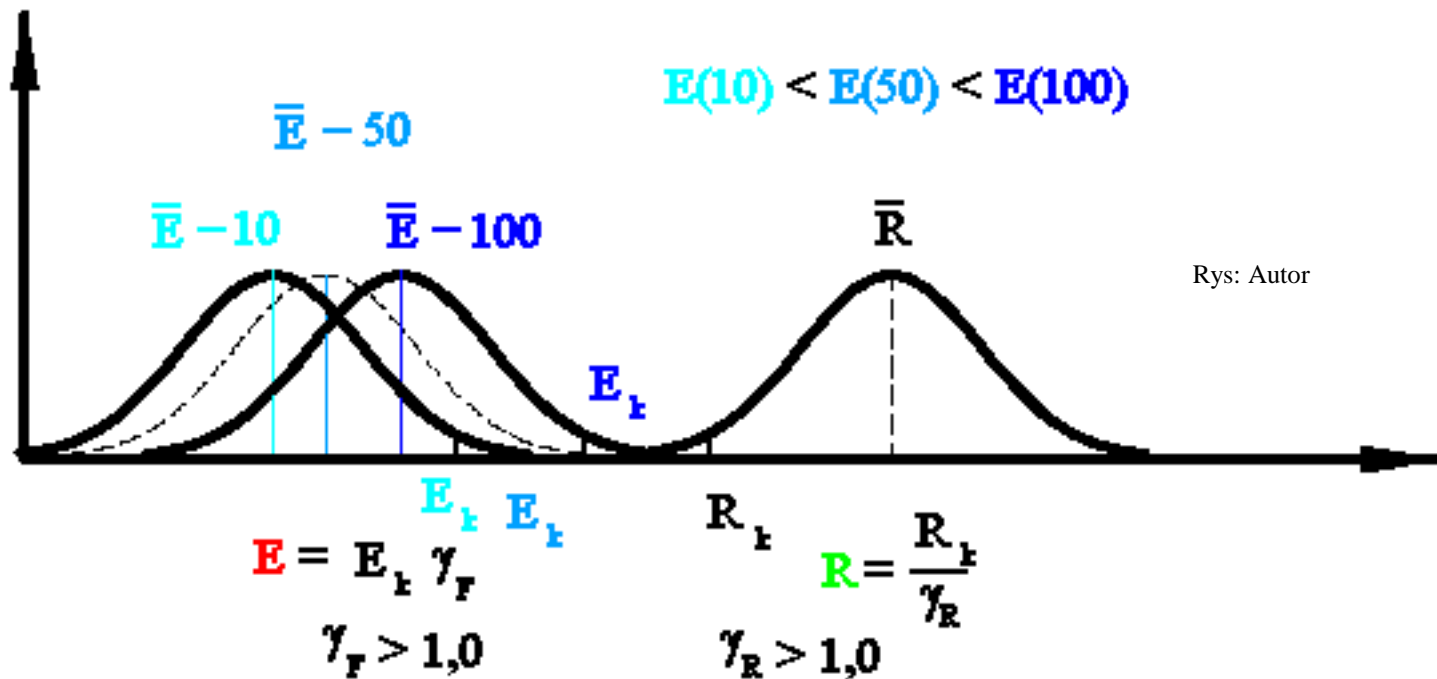


Rys: urbnews.pl

Powódź 100-letnia

Powódź 1000-letnia

Wpływ na proces obliczeń:



Klasy Konsekwencji i okres użytkowania równocześnie				Okres użytkowania (lata)						
				10	10-25	15-30	50	100		
				Przeliczenie wartości charakterystycznych obciążenia					Wartość bazowa	Wyższa wartość
				Niższa wartość						
Klasy Konsekwencji	CC3	Przeliczenie współczynników bezpieczeństwa	Wyższa wartość	N / W	N / W	N / W	Wyższa wartość	Wyższa wartość		
	CC2		Wartość bazowa	Niższa wartość	Niższa wartość	Niższa wartość	Wartość bazowa	Wyższa wartość		
	CC1		Niższa wartość	Niższa wartość	Niższa wartość	Niższa wartość	Niższa wartość	N / W		

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

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

Kategorie użytkowania (tab. 6.1):

A Powierzchnie mieszkalne;

B Powierzchnie biurowe;

C Powierzchnie na których mogą się gromadzić ludzie (z wyłączeniem kategorii A, B i D);

D Powierzchnie handlowe;

E Powierzchnie składowania i użytkowania przemysłowego;

FL Powierzchnie dostępne dla wózków widłowych;

F Powierzchnie garaży i parkowania pojazdów lekkich (max 30 kN ciężaru brutto, max 8 miejsc poza kierowcą);

G Powierzchnie garaży i parkowania pojazdów średnich (>30 kN, max 160 kN ciężaru brutto pojazdu na dwu osiach);

H Dachy bez dostępu z wyjątkiem utrzymania i napraw;

I Dachy z dostępem, użytkowane zgodnie z kategoriami A - D

K Dachy z dostępem z przeznaczeniem specjalnym, jak lądowiska helikopterów

Tablica 6.2 – Obciążenia użytkowe stropów, balkonów i schodów w budynkach

Kategorie obciążonych powierzchni	q_k [kN/m ²]	Q_k [KN]
Kategoria A – Stropy – Schody – Balkony	od 1,5 do <u>2,0</u> od <u>2,0</u> do 4,0 od <u>2,5</u> do 4,0	od <u>2,0</u> do 3,0 od <u>2,0</u> do 4,0 od <u>2,0</u> do 3,0
Kategoria B	od 2,0 do <u>3,0</u>	od 1,5 do <u>4,5</u>
Kategoria C – C1 – C2 – C3 – C4 – C5	od 2,0 do <u>3,0</u> od 3,0 do <u>4,0</u> od 3,0 do <u>5,0</u> od 4,5 do <u>5,0</u> od <u>5,0</u> do 7,5	od 3,0 do <u>4,0</u> od 2,5 do 7,0 (<u>4,0</u>) od <u>4,0</u> do 7,0 od 3,5 do <u>7,0</u> od 3,5 do <u>4,5</u>
Kategoria D – D1 – D2	od <u>4,0</u> do 5,0 od 4,0 do <u>5,0</u>	od 3,5 do 7,0 (<u>4,0</u>) od 3,5 do <u>7,0</u>

EN 1991-1-1 tab. 6.2

Tablica A.1 – Materiały budowlane – beton i zaprawa

Materiały	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]
Beton (patrz EN 206)	
lekki	
klasy gęstości LC 1,0	od 9,0 do 10 ^{1) 2)}
klasy gęstości LC 1,2	od 10,0 do 12 ^{1) 2)}
klasy gęstości LC 1,4	od 12,0 do 14 ^{1) 2)}
klasy gęstości LC 1,6	od 14,0 do 16 ^{1) 2)}
klasy gęstości LC 1,8	od 16,0 do 18 ^{1) 2)}
klasy gęstości LC 2,0	od 18,0 do 20 ^{1) 2)}
zwykły	24,0 ^{1) 2)}
ciężki	> ^{1) 2)}
zaprawa	
zaprawa cementowa	od 19,0 do
zaprawa gipsowa	od 12,0 do
zaprawa wapienno-cementowa	od 18,0 do
zaprawa wapienna	od 12,0 do

EN 1991-1-1 tab. A.12

- ¹⁾ Zwiększyć o 1 kN/m³ przy zwykłym procencie zbrojenia i stali sprężające.
²⁾ Zwiększyć o 1 kN/m³ w przypadku betonu niestwardniałego

UWAGA Patrz rozdział 4.

EN 1991-1-1 tab. A.1

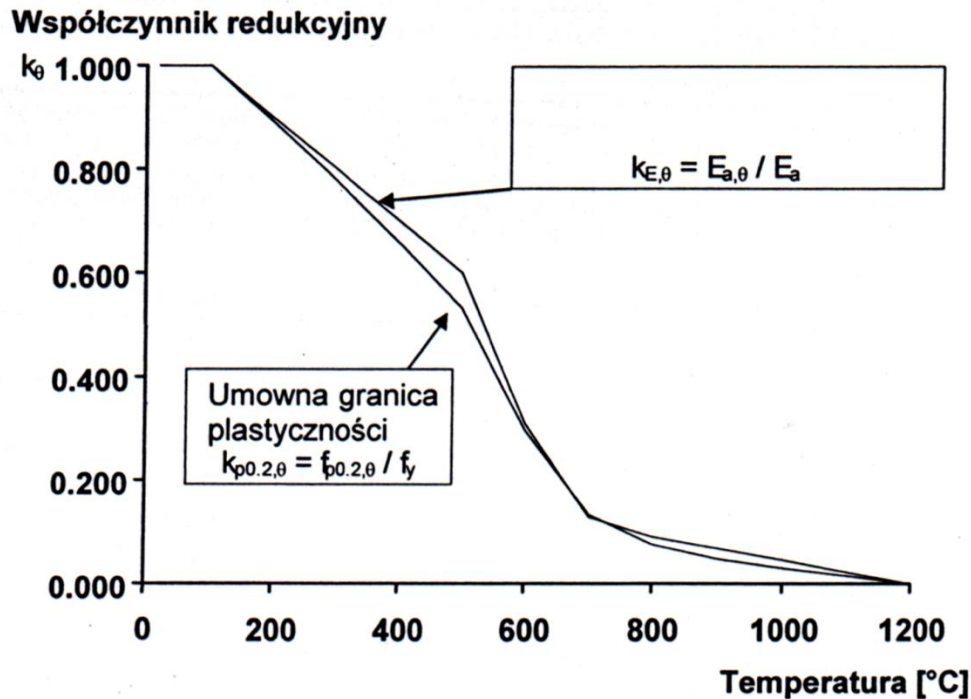
Tablica A.12 – Materiały składowane – przemysłowe i ogólne

Materiały	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ [°]
książki i dokumenty		
książki i dokumenty	6,0	–
gęsto składowane	8,5	–
wieszaki i szafy		
wieszaki i szafy	6,0	–
odzież i tkaniny powiązane		
odzież i tkaniny powiązane	11,0	–
lód, bryły		
lód, bryły	8,5	–
skóra w stosach		
skóra w stosach	10,0	–
papier		
papier	15	–
w rolkach	11,0	–
guma		
guma	od 10 do 17	–
sól kuchenna		
sól kuchenna	22	45
sól kamienna		
sól kamienna	12	40
opiłki		
opiłki	3	–
suche, pakowane	3	–
suche, luźne	2,5	45
mokre, luźne	5	45
smoła, bitum		
smoła, bitum	14	–

UWAGA Patrz rozdział 4.

EN 1991-1-2 Oddziaływania w warunkach pożaru

Charakterystyki mechaniczne (wytrzymałość, moduł Younga) dla stali i aluminium gwałtownie spadają wraz ze wzrostem temperatury.



Musimy ustalić, czy jest dość czasu na ewakuację ludzi przed zawaleniem się konstrukcji.

Rys: EN 1993-1-2 rys E.1

EN 1991-1-3 Obciążenie śniegiem EN 1991-1-4 Oddziaływania wiatru

Dla obu przedstawione są mapy kraju z zaznaczonymi strefami obciążenia.



Rys: EN 1991-1-3 rys. B.1



Rys: EN 1991-1-4 rys. NB.1

Jest to określenie obciążenia w skali globalnej, dla różnych części Polski.

Oprócz tego należy w obu przypadkach rozważyć wpływ najbliższego otoczenia – inaczej oddziałuje wiatr na otwartej przestrzeni, a inaczej na obszarze osłoniętym.



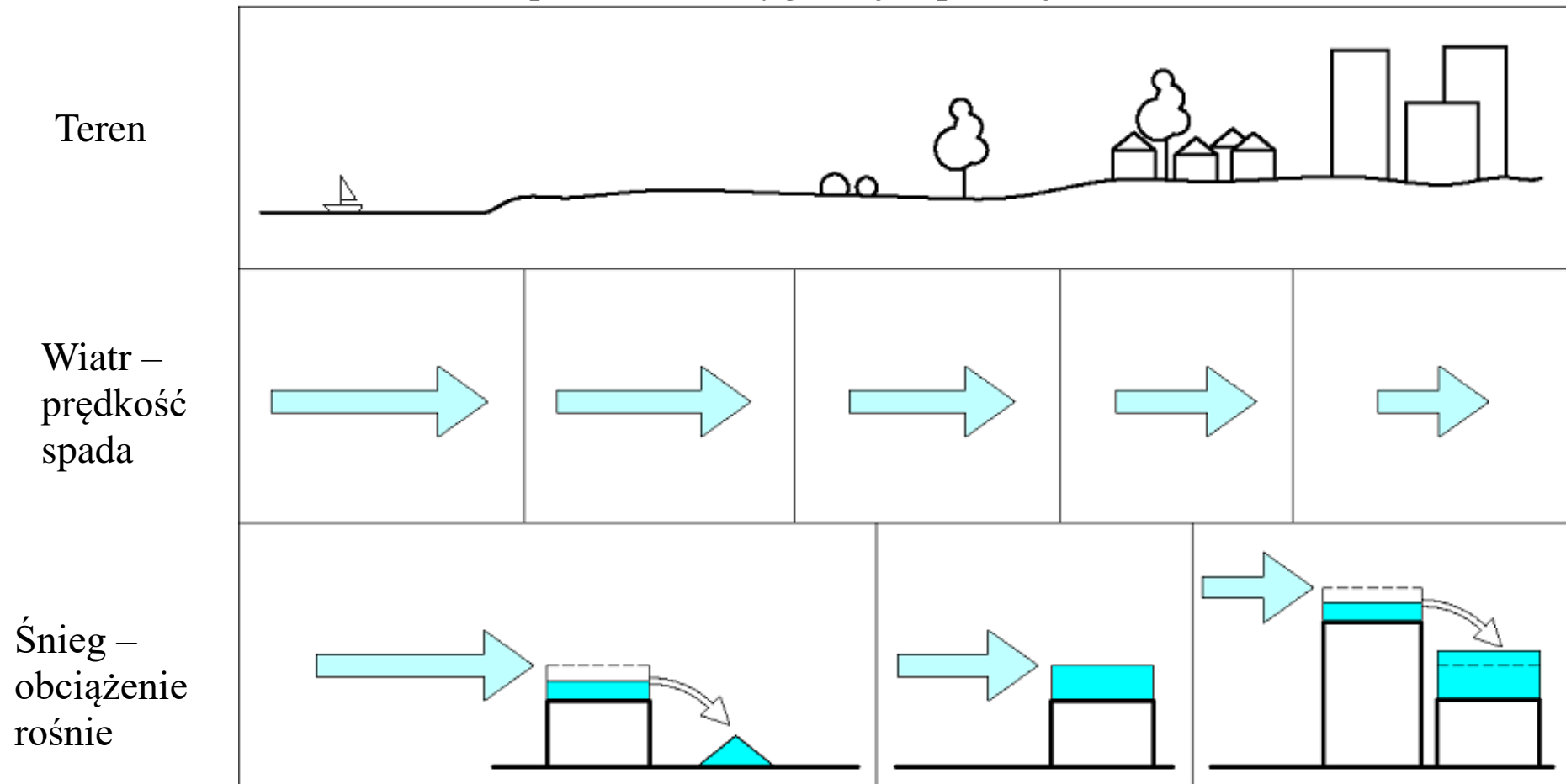
Rys: visitracovia.com



Rys: krakjw.wordpress.com

Dlatego też należy przeanalizować rodzaj otoczenia.

Istnieje pięć kategorii terenu dla wiatru i trzy dla śniegu. Są one definiowane odmiennie dla obu oddziaływań: śniegu (EN 1991-1-3 tab 5.1) i wiatru (EN 1991-1-4 tab 4.1). Szacunkowe porównanie wygląda jak poniżej:



Rys: Autor

Obciążenie śniegiem

$$s_d = \gamma_f \mu_i C_e C_t s_k$$

$$\gamma_f = 1,5$$

C_e – kategoria terenu → EN 1991-1-3 tab. 5.1 → #t / 49

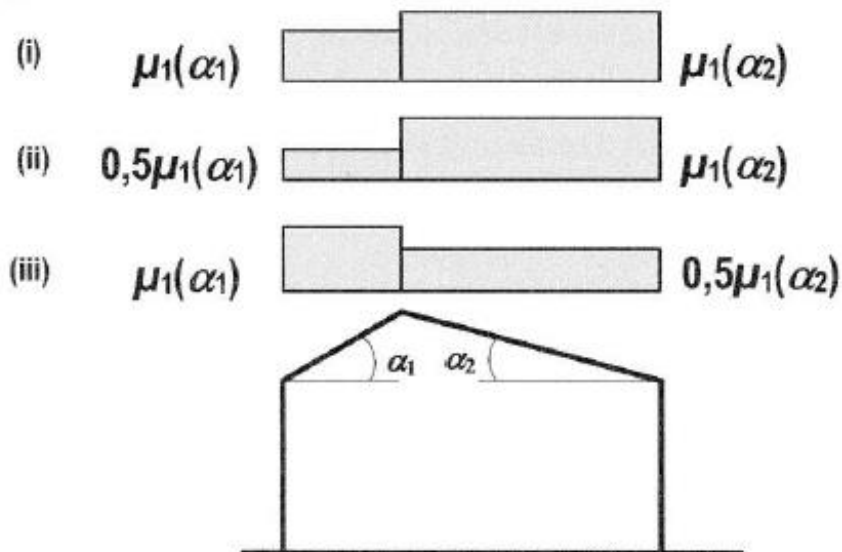
$C_t = 1,0$ (współczynnik termiczny; możliwość stopienia części śniegu przez ciepło przenikające z wnętrza obiektu)

s_k – wartość bazowa obciążenia śniegiem dla różnych stref obciążenia → EN 1991-1-3 rys. NB1, tab NB1 → #t / 47

μ_i – współczynnik kształtu dachu → EN 1991-1-3 p. 5.3, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, załącznik B

Rozważyć należy trzy warianty obciążenia: niezredukowane, zredukowane z lewej, zredukowane z prawej.

Przypadek



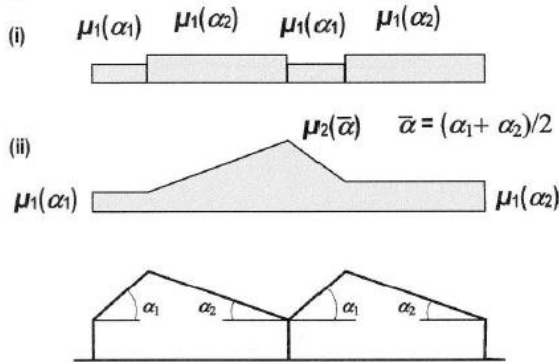
Rysunek 5.3: Współczynniki kształtu dachu – dachy dwupołaciowe

Rys: EN 1991-1-3 fig. 5.3

Obciążenie wyjątkowe

W polskich warunkach klimatycznych jako obciążenie wyjątkowe przyjmujemy worki i zasy przy attykach, przeszkodach, w koszach dachów i przy wyższych partiach obiektów.

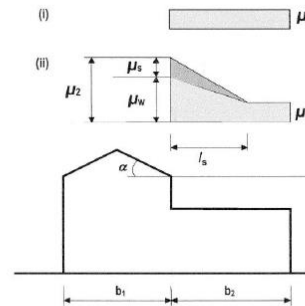
Przypadek



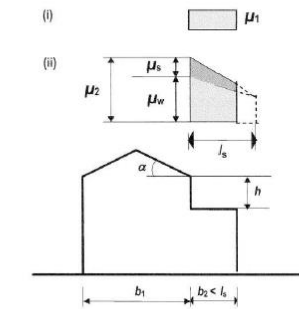
Rysunek 5.4: Współczynniki kształtu dachu dla dachów wielopłociowych

Rys: EN 1991-1-3 fig. 5.4, 5.7, 6.1

Przypadek

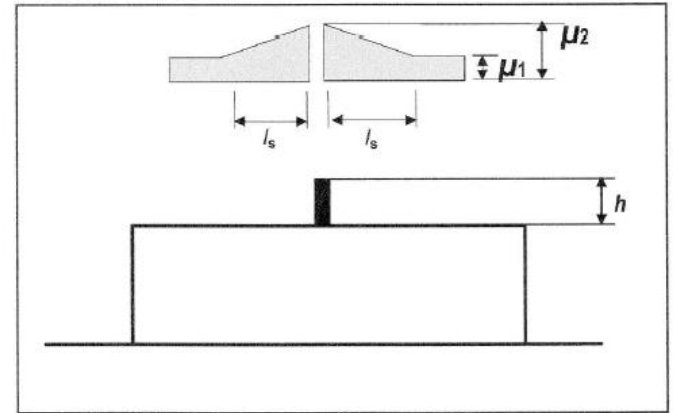


Przypadek



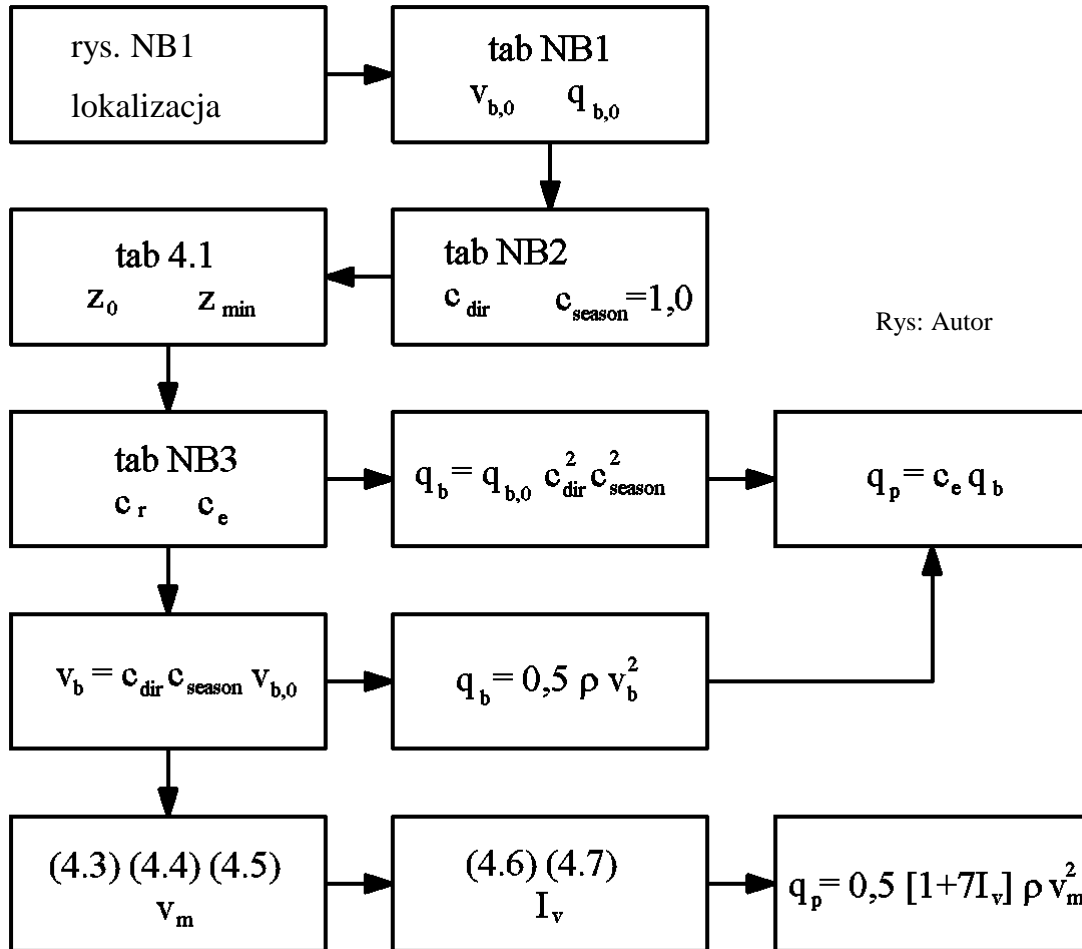
Ten przypadek stosuje się, jeżeli $b_2 < l_s$

Rysunek 5.7: Współczynniki kształtu dachu dla dachów przylegających do wyższych budowli



Rysunek 6.1: Współczynniki kształtu dachu przy wystęпах i przeszkodach

Oddziaływania wiatru - algorytm



Rys: Autor

Ogólnie:

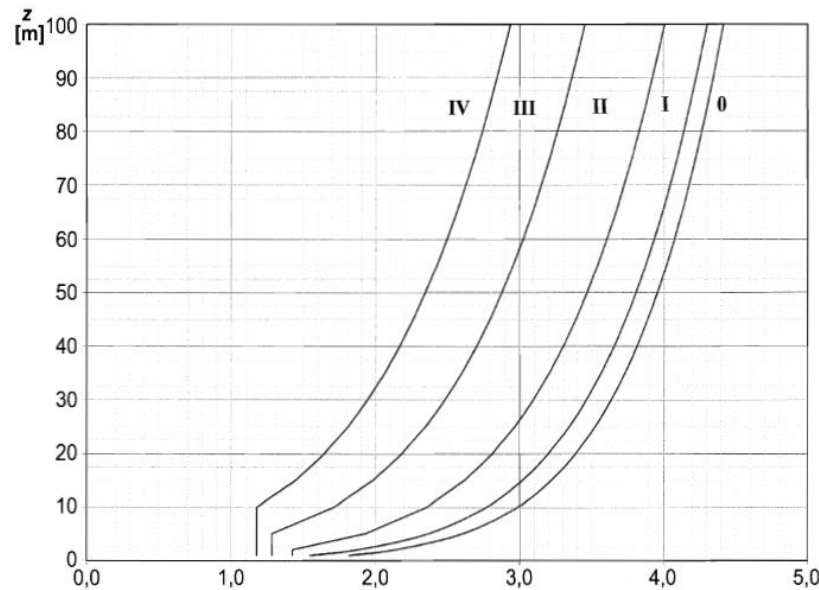
$$c_e q_b \approx 0,5 [1+7I_v] \rho v_m^2$$

$V_{b,0}$, $q_{b,0}$ – bazowa wartość prędkości i ciśnienia wiatru, w zależności od strefy obciążenia;

c_{dir} – współczynnik kierunkowy, związany z różą wiatrów (np. dla Krakowa najsilniejsze wiatry wieją z zachodu i południa);

c_{season} – współczynnik uwzględniający zmianę struktury wiatru w zależności od pór roku; dla Polski nie uwzględniamy tej różnicy;

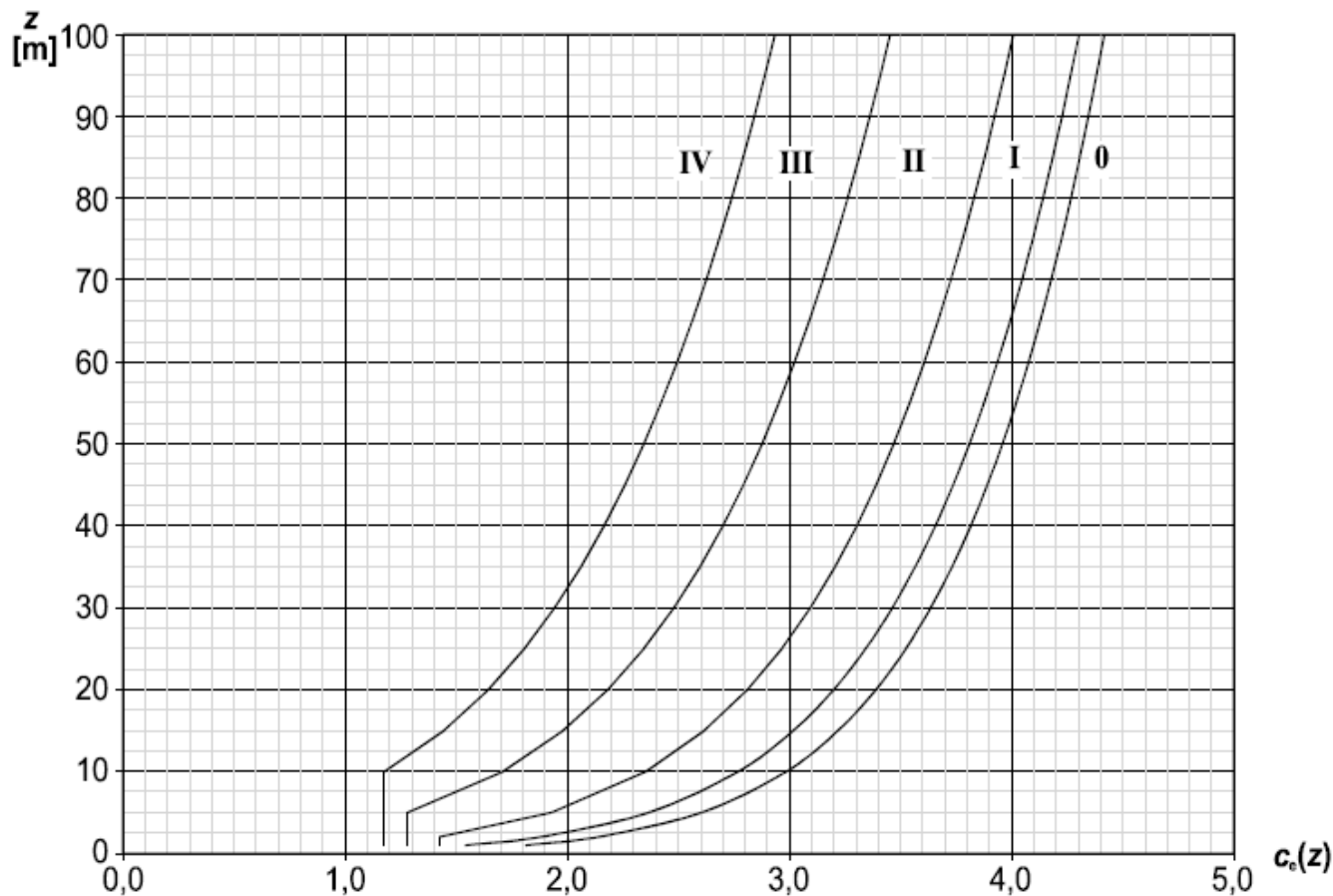
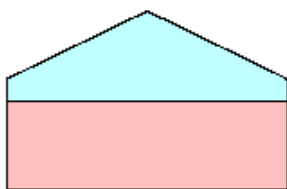
Z_0 , Z_{min} , c_r , c_e – współczynniki opisujące zmianę prędkości wiatru z wysokością ponad terenem.



Rys: EN 1991-1-4 rys. 4.2

Zmiana prędkości po wysokości jest istotna zwłaszcza dla wysokich konstrukcji – tylko dla najniższych części obciążenie jest liniowe.

Rys: Autor

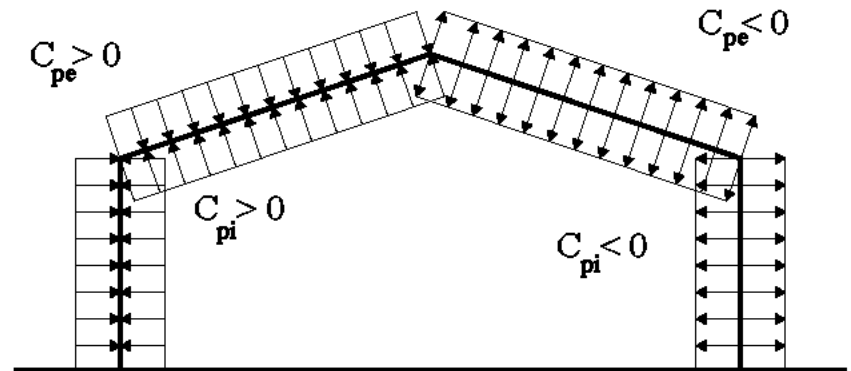


Dla dachów i ścian obciążenie wyliczamy jak następuje:

$$W_e = \gamma_f c_{pi/pe} q_p$$

$$\gamma_f = 1,5$$

c_{pi} c_{pe} – współczynniki opisujące ciśnienie wewnętrzne i zewnętrzne → EN 1991-1-4 p. 7 (zależą od kształtu konstrukcji)



Rys: Autor

Dla innych rodzajów konstrukcji (np. prętowych)

$$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]} = \gamma_f c_s c_d c_f q_p$$

or

$$F_w \text{ [kN]} = \gamma_f c_s c_d c_f q_p A$$

$$\gamma_f = 1,5$$

c_f – współczynnik oporu → EN 1991-1-4 p. 7 (kształt konstrukcji)

$c_s c_d$ – współczynnik dynamiczny → #t / 58

Dla konstrukcji niepodatnych na dynamiczne działaniewiatru

$$c_s c_d = 1,0$$

Dla konstrukcji podatnych należy wykonać szereg skomplikowanych obliczeń

$$c_s c_d \rightarrow \text{EN 1991-1-4 p. 6.1, 6.2, 6.3}$$

Konstrukcja podatna czy nie? \rightarrow EN 1991-1-4 p. 6.2

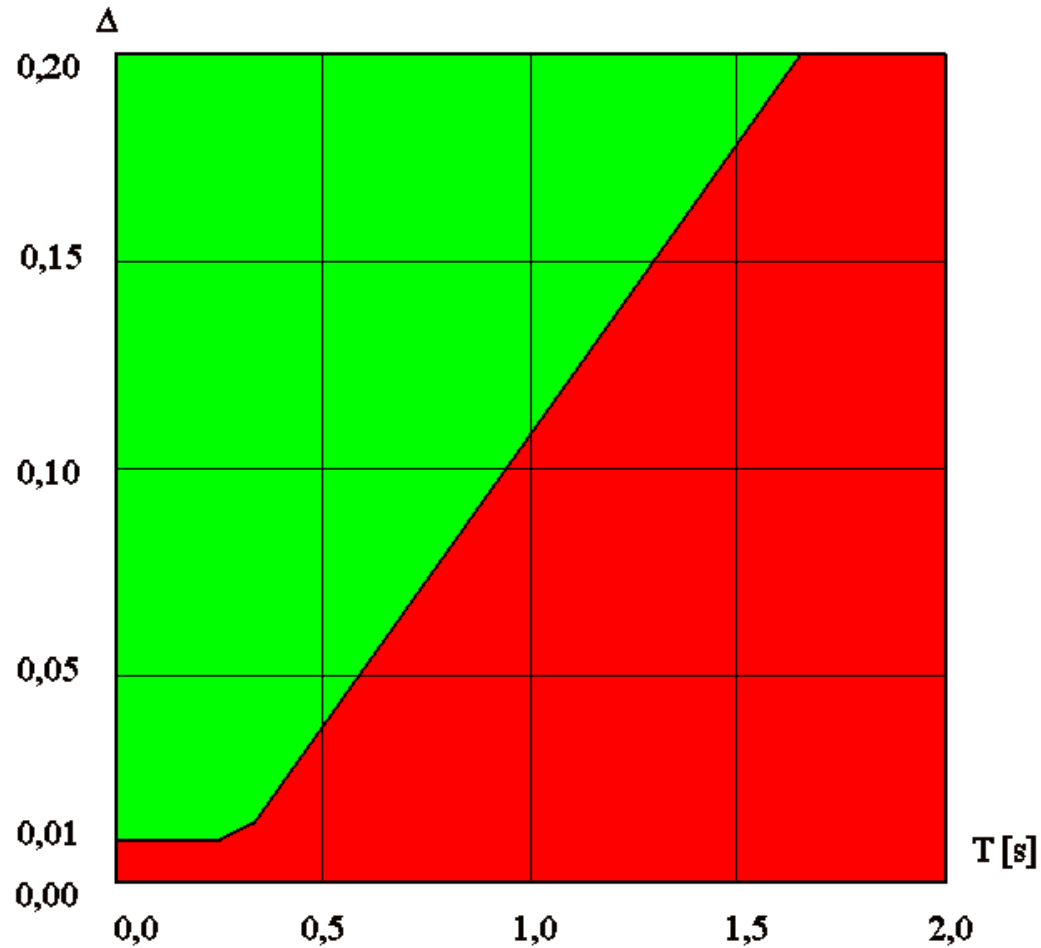
Przykłady konstrukcji podatnych: maszty, wieże, kominy, mosty i kładki wiszące i podwieszane, dachy wiszące i podwieszane, inne konstrukcje ciągnowe

Przykłady konstrukcji niepodatnych : inne typy mostów, biurowce, domy mieszkalne, hale (ogólnie – wszystkie konstrukcje liczone w toku I stopnia studiów)

Oszacowanie według starej Polskiej Normy PN B 02011

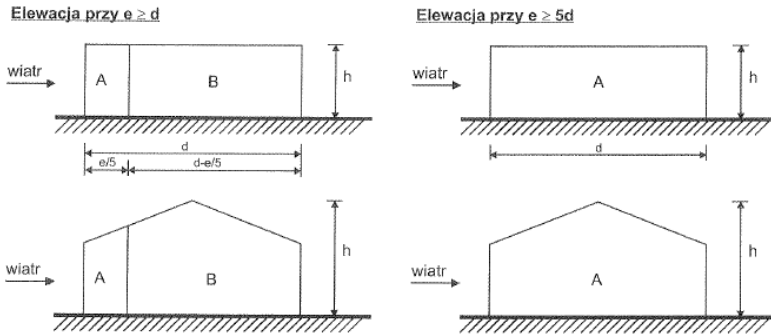
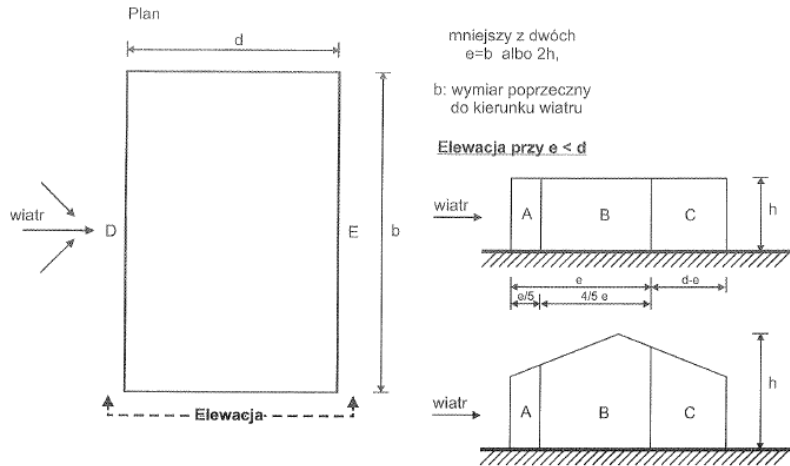
Podatne

Niepodatne

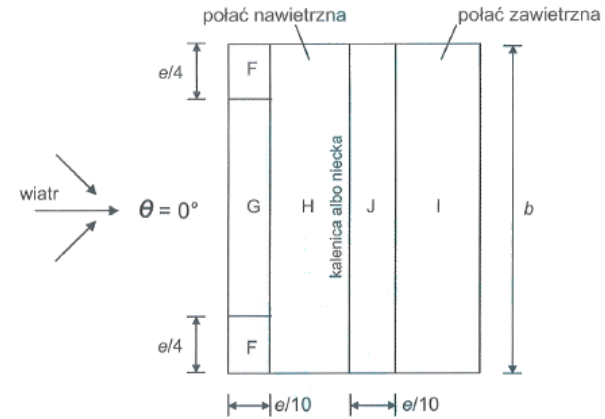


Rys: Autor

Należy pamiętać, że wiatr wiejący równoległe i prostopadłe do osi budynku, obciąża go w różny sposób.



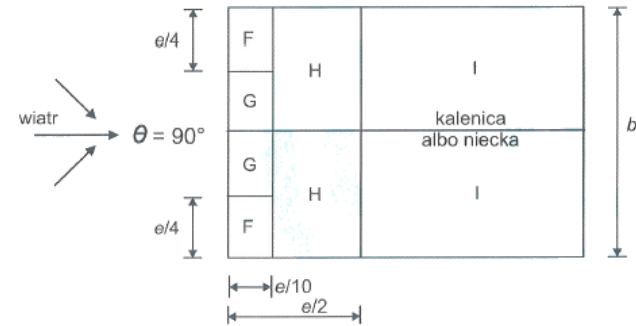
Rysunek 7.5 — Oznaczenia ścian pionowych



(b) kierunek wiatru $\theta = 0^\circ$

mniejszy z dwóch $e = b$ albo $2h$

b : wymiar poprzeczny do kierunku wiatru



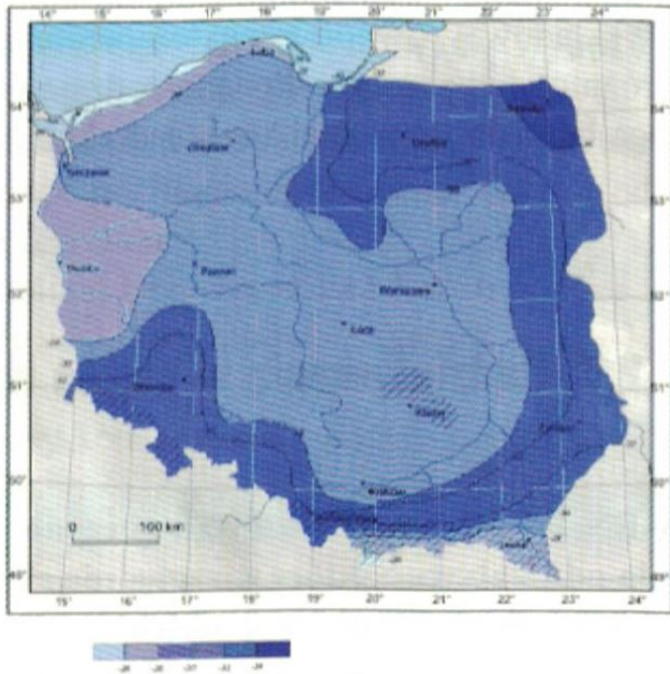
(c) kierunek wiatru $\theta = 90^\circ$

Rysunek 7.8 — Oznaczenia dachów dwuspadowych

Rys: EN 1991-1-4 fig. 7.5, 7.8,

EN 1991-1-5 Oddziaływania termiczne

Różnice między temperaturą
scalania konstrukcji a temperaturą
użytkowania

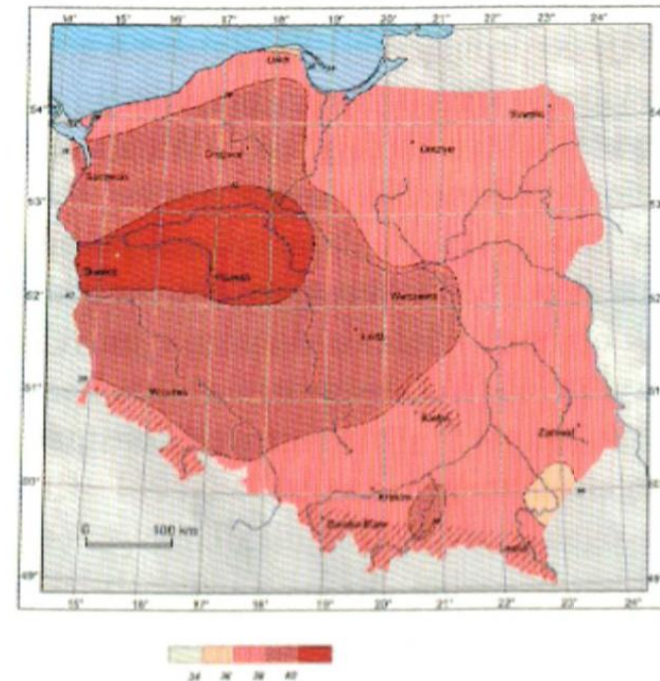


Rys: EN 1991-1-5 rys NB.3

$$T_{\min}(H) = -0,0035 [^{\circ}\text{C} / \text{m}] H + T_{\min}$$

$$\Delta T = T_{\min / \max} - T_0$$

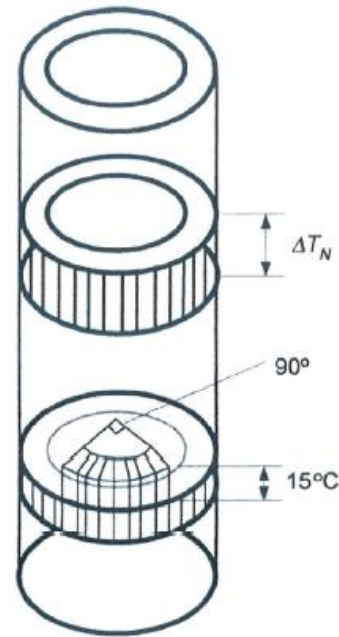
$$T_0 = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



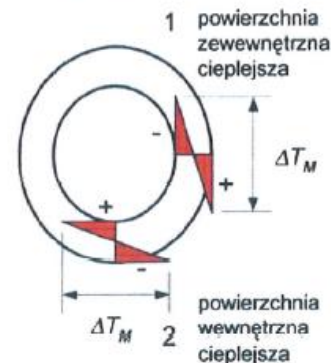
Rys: EN 1991-1-5 rys NB.2

$$T_{\max}(H) = -0,0053 [^{\circ}\text{C} / \text{m}] H + T_{\max}$$

Oprócz tego możliwe są obciążenia termiczne o charakterze technologicznym (np. gorące spaliny dla kominów)



(a) Składowa równomierna temperatury



(b) Składowa „skokowa” temperatury po obwodzie

Rys: EN 1991-1-5 rys.7.1

EN 1991-1-6 Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji – robotnicy, maszyny, szalunek, składowanie materiałów...

Rys: wikipedia



Rys: money.pl



Rys: zbm.home.pl

EN 1991-1-7 Obciążenia wyjątkowe

Rys: acehotel.com

Rys: radiomerkury.pl



Rys: article.wn.com



Rys: nczas.com



Rys: dailymail.co.uk



Rys: tvn24.pl

Rys: dailymail.co.uk

Obciążenia podczas kolizji (z samochodem, pociągiem, tramwajem, wózkiem widłowym, statkiem...)



Rys: ruwac.com

Rys: pakistantoday.com.pk



Wybuchy pyłu (silosy))

Wybuchy gazu (zbiorniki,
rurociągi)

EN 1991-1-7 nie obejmuje efektów



Rys: telecomblogger.ru



Rys: warszawa.eska.pl



Rys: mysafetysign.com

ataku terrorystycznego

wojny

wybuchu materiałów wybuchowcy

EN 1991-2 Obciążenia ruchome mostów

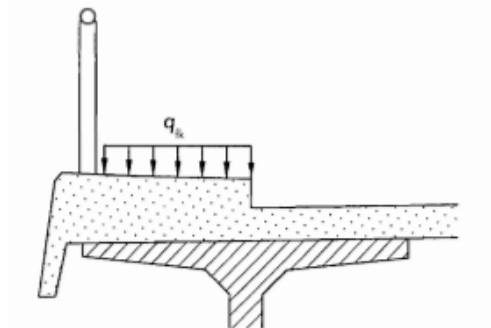
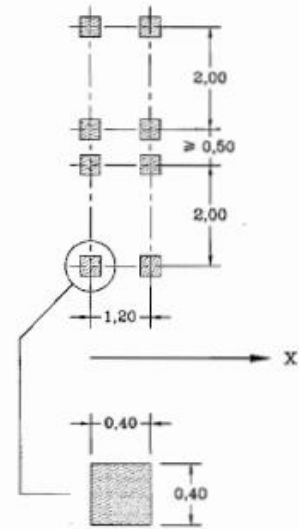
Rys: EN 1991-2 fig. 4.1



Rys: obiezywiatka.eu



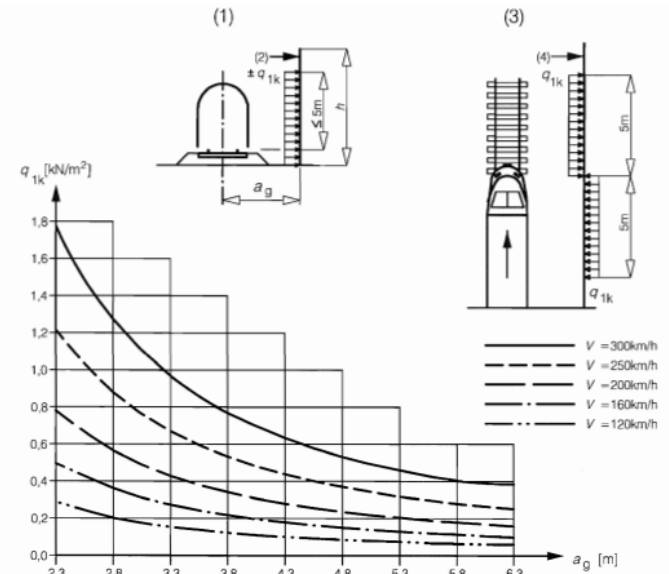
Rys: newsweek.pl



Rys: EN 1991-2 fig. 5.1



Rys: kurier-kolejowy.pl

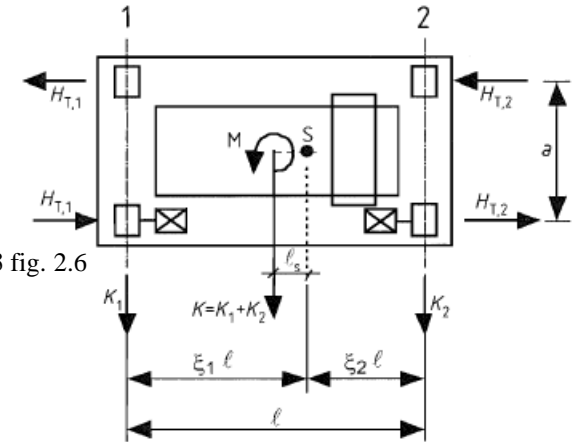


Rys: EN 1991-2 tab. 6.22



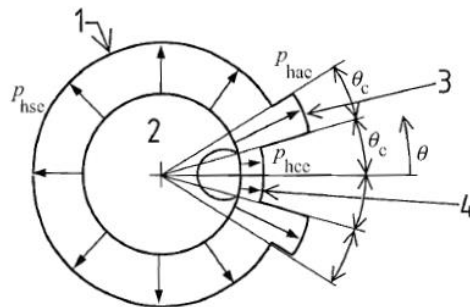
Rys: sztaplarek.pl

EN 1991-3 Oddziaływania wywołane dźwignicami i maszynami

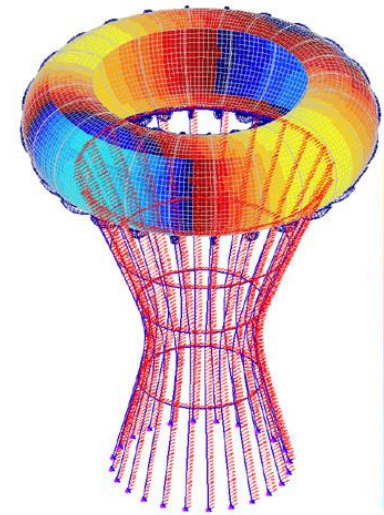
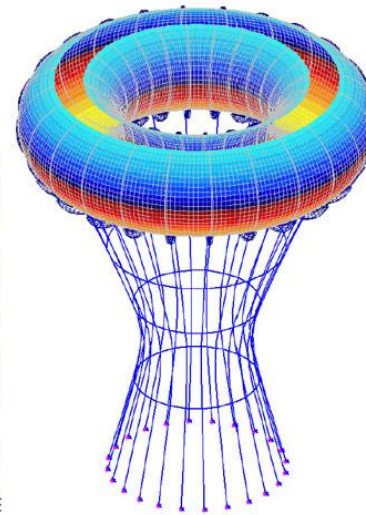


Rys: EN 1991-3 fig. 2.6

EN 1991-4 Silosy i zbiorniki



Rys: EN 1991-4 fig. 5.5



Rys: tarnow.net.pl

Oblodzenie

Oblodzenie jest jednym z najważniejszych obciążeń dla specyficznej grupy konstrukcji: masztów, wież, słupów elektro-energetycznych, konstrukcji ciągnowych. Obecnie nie ma specjalnego Eurokodu dla tego typu obciążeń. Powinniśmy używać starych norm krajowych (PN B 02013:87, lub, lepiej PN-EN 50 341-2-22: 2016).



Rys: iwas.org



Rys: ise.pl



Rys: imgur.com



Rys: hin.no

EN 1993 Projektowanie konstrukcji stalowych (potoczna nazwa: Eurokod 3)

1993-1 Reguły ogólne:

1993-1-1 Reguły ogólne i reguły dla budynków

1993-1-2 Obliczanie konstrukcji na wypadek pożaru

1993-1-3 Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształowników i blach profilowanych na zimno

1993-1-4 Reguły uzupełniające dla konstrukcji ze stali nierdzewnych

1993-1-5 Blachownice

1993-1-6 Wytrzymałość i stateczność konstrukcji powłokowych

1993-1-7 Konstrukcje płytowe

1993-1-8 Projektowanie węzłów

1993-1-9 Zmęczenie

1993-1-10 Dobór stali zewzględu na odporność na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową

1993-1-11 Konstrukcje ciągnowe

1993-1-12 Reguły dodatkowe rozszerzające zakres stosowania EN 1993 o gatunki stali wysokiej wytrzymałości do S 700 włącznie

EN 1993 Projektowanie konstrukcji stalowych

1993-2 Mosty stalowe

1993-3 Wieże, maszty i kominy :

1993-3-1 Wieże i maszty

1993-3-2 Kominy

1993-4 Silosy, zbiorniki, rurociągi:

1993-4-1 Silosy

1993-4-2 Zbiorniki

1993-4-3 Rurociągi

1993-5 Palowanie i grodze

1993-6 Konstrukcje wsporcze suwnic

EN 1999 Projektowanie konstrukcji aluminiowych (potoczna nazwa: Eurokod 9)

1999-1-1 Reguły ogólne

1999-1-2 Obliczanie konstrukcji na wypadek pożaru

1999-1-3 Konstrukcje narażone na zmęczenie

1999-1-4 Obudowa z blach profilowanych na zimno

1999-1-5 Konstrukcje powłokowe

Filozofia Eurokodów

Wzory → #t / 74-76

Części konstrukcji → #t / 77-82

Imperfekcje → #t / 83-84

Klasy przekroju → #t / 85

Analiza I i II rzędu → #t / 86

Analiza sprężysta i plastyczna → #t / 87

Wzory – różne poziomy zdefiniowania zagadnienia

Na poziomie punktu:

$$T_{\sigma} = \begin{matrix} \sigma_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} \\ \tau_{21} & \sigma_{22} & \tau_{23} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \sigma_{33} \end{matrix}$$

$$\sigma_{\text{HMH}} = \sqrt{[\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{11}\sigma_{33} - \sigma_{22}\sigma_{33} + 3(\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{13}^2)]}$$

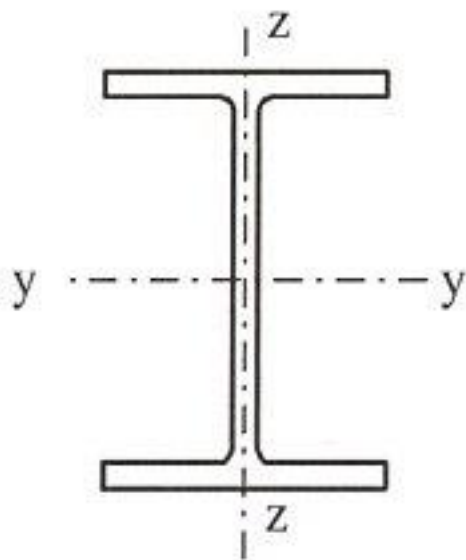
$$\sigma_{\text{HMH}} / f_y \leq 1,0$$

$$\sigma_{\text{HMH}} = \sqrt{[\sigma^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)]}$$

Nośność spoin

Nośność powłok, obliczenia zmęczeniowe, nośność belek podsuwnicowych (II stopień)

Na poziomie przekroju:



Rys: Autor

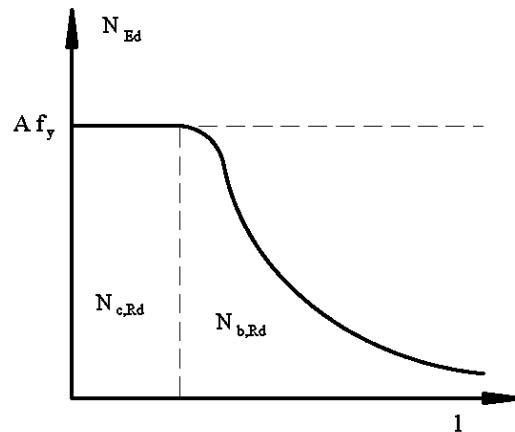
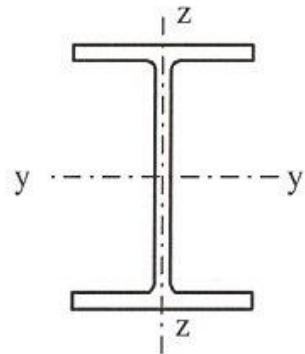
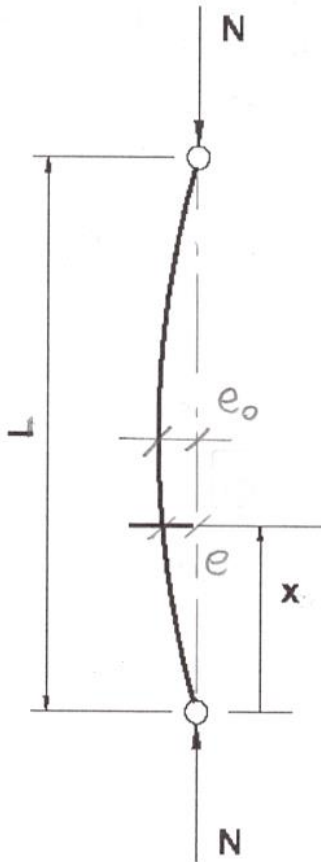
F – charakterystyka geometryczna

$$R = F f_y$$

$$E / R \leq 1,0$$

Elementy i węzły, gdy zagadnienie stateczności nie jest istotne; śruby, nity, sworznie

Na poziomie elementu:



Rys: Autor

F – charakterystyka geometryczna

χ – współczynnik stateczności (zależy od długości elementu i sposobu podparcia)

$$R = \chi F f_y$$

$$E / R \leq 1,0$$

Węzły i elementy w warunkach utraty stateczności

Części konstrukcji



Rys: Autor

Każda konstrukcja może być podzielona na trzy części:

- elementy
- połączenia
- węzły

Elementy

Pręty, belki, dźwigary, płatwie, słupy – liczone na poziomie przekroju i poziomie elementu



Rys: Autor



Rys: civildigital.com

(~ 40% obliczeń)

Połączenia

Spoiny i trzpienie śrub – obliczenia na poziomie punktu (spoiny) i przekroju (trzpień śruby – nośność na ścinanie i nośność na rozciąganie).



Rys: Autor



Rys: ceptrofs.civil.tamu.edu

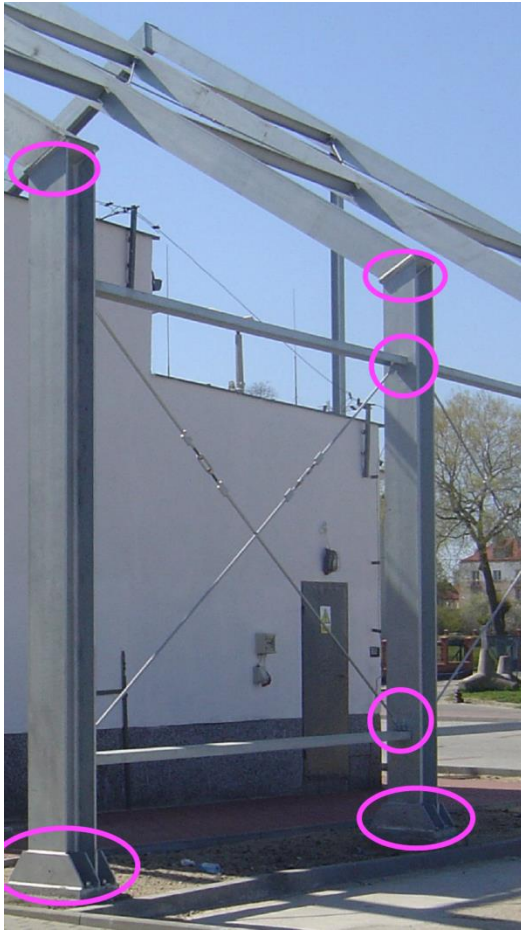


Rys: researchgate.net

(~ 10% obliczeń)

Węzły

Krótki odcinek na końcu elementu, gdzie dochodzi do interakcji elementu z sąsiednim elementem, blachami węzłowymi i trzpieniami śruby. Obliczenia na poziomie przekroju lub elementu.



Rys: Autor



Rys: scielo.br



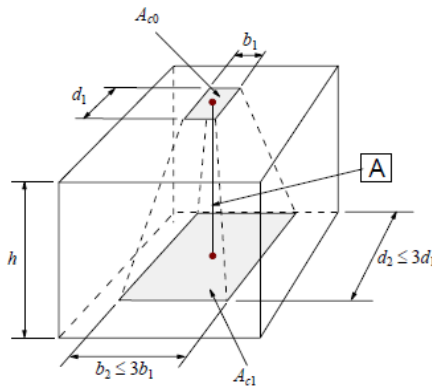
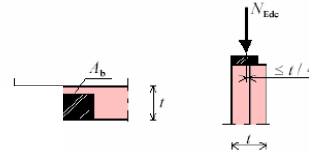
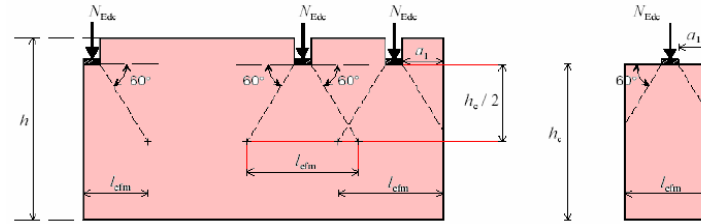
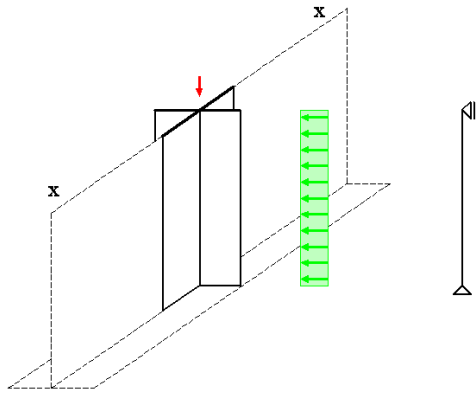
Rys: ascelibrary.org



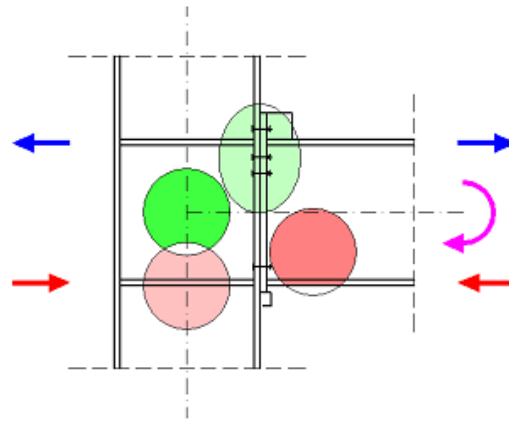
Rys: osha.gov

(~ 60% obliczeń)

Węzły – przykłady interakcji:



Rys: Autor



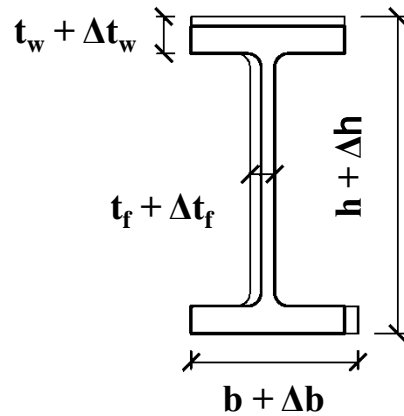
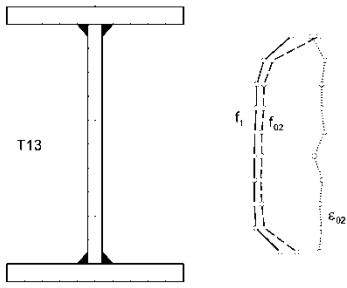
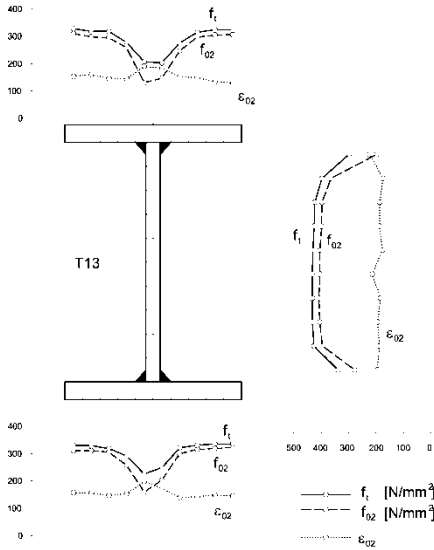
- żebra pionowe;
- oparcie na konstrukcji ceglanej;
- oparcie na stopie żelbetowej;
- węzeł sztywny słup-belka;
- wiele innych;

Rozróżnienie między „połączeniem” i „węzłem” nie jest w Eurokodzie przedstawione zbyt jasno.

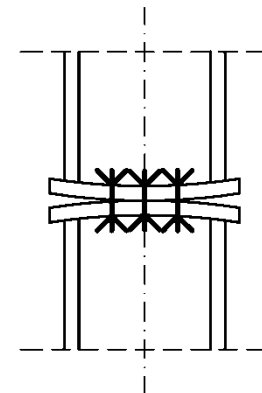
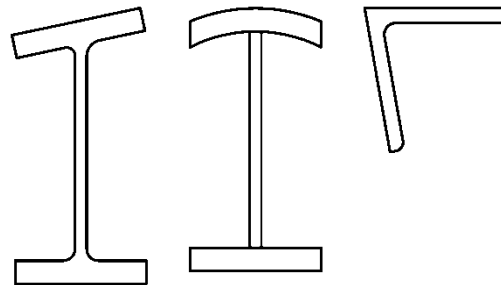
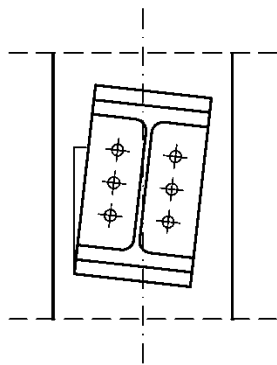
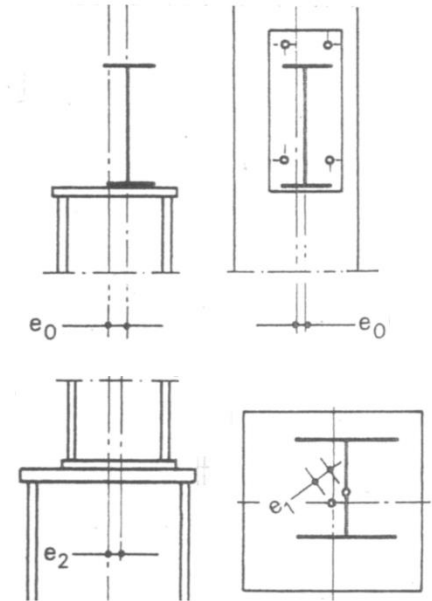
Najprostsza jest sytuacja w przypadku spawania: sama spoina jest liczona na poziomie punktu ($\rightarrow \#t / 74$), zaś nośność i stateczność węzła (krótkich odcinków elementów przyległych i blach węzłowych) sprawdzana jest w zależności od rodzaju węzła.

W przypadku węzłów śrubowych rozróżnienie „połączenie” - „węzeł” jest problematyczne. Należy obliczyć nośność i stateczność krótkich odcinków elementów w strefie koncentracji obciążeń i naprężeń. Trzpienie śrub można analizować jako „połączenia”, ale dodatkowo występuje wiele zjawisk, dotyczy interakcji między trzpieniami i przyległymi fragmentami elementów.

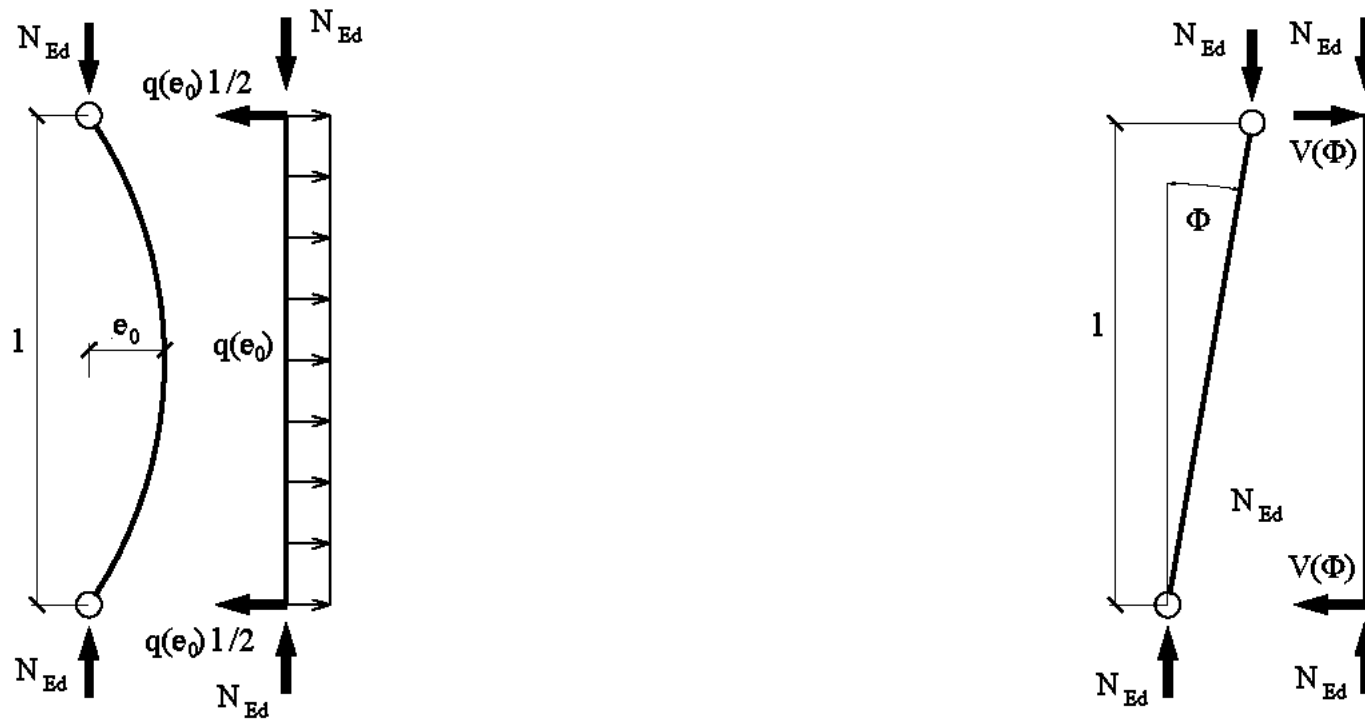
Imperfekcje – w realnym świecie nie ma idealnych konstrukcji



Rys: Autor



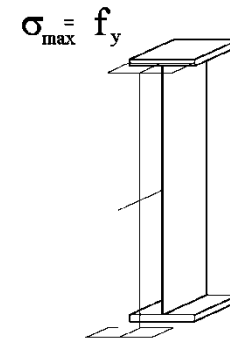
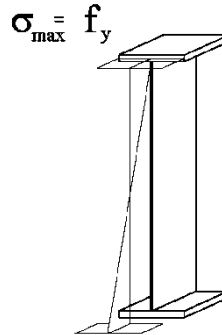
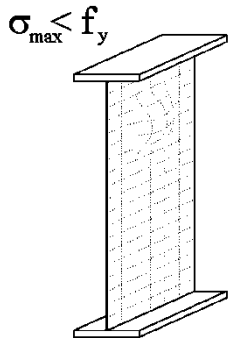
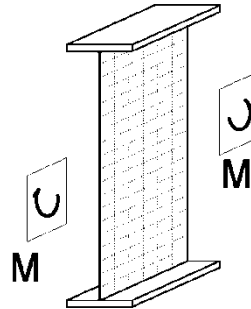
Imperfekcje zastępcze – przechyłowa i wygięciowa – modelują różnego rodzaju realne imperfekcje. Dla obu modeli oblicza się obciążenia równoważne, traktowane jako dodatkowy schemat obciążenia konstrukcji



Rys: Autor

Więcej informacji przedstawione będzie na wykładzie #6

Klasy przekroju elementów – różny stopień odporności na niestateczność lokalną

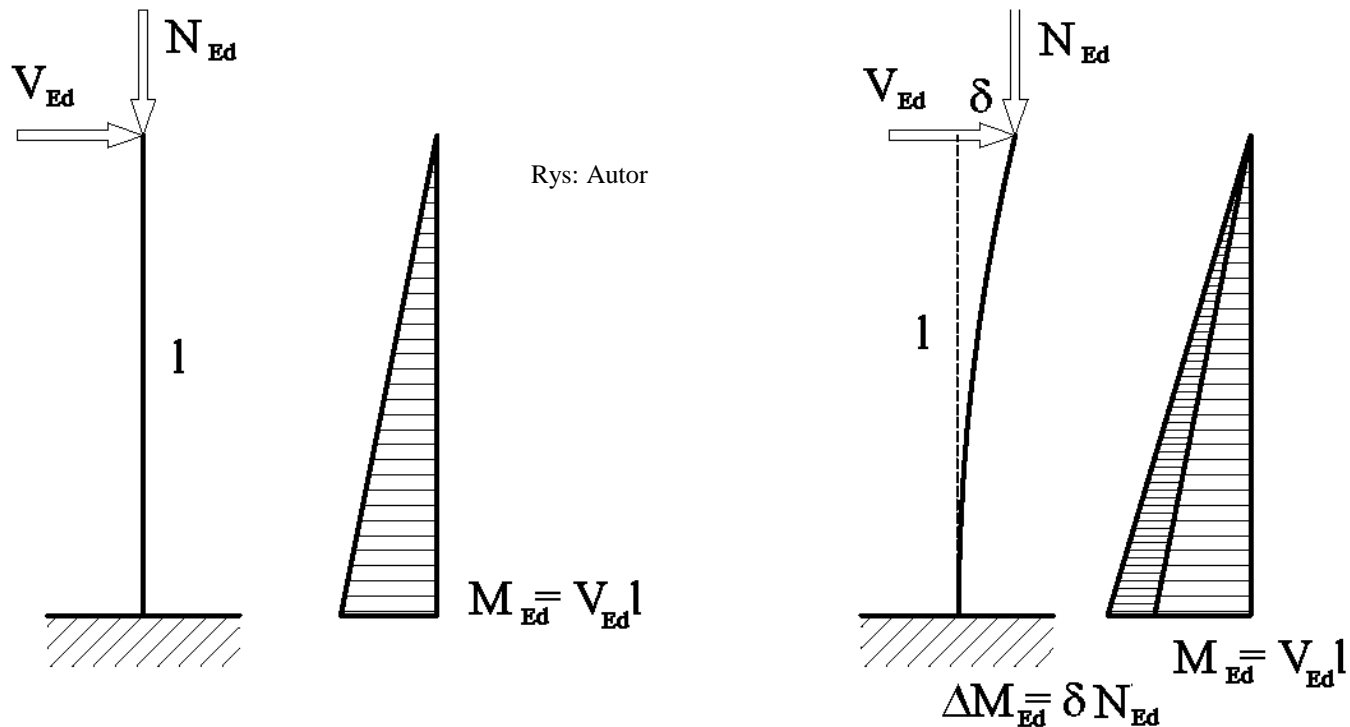


Rys: Autor

Różne wzory na nośność R

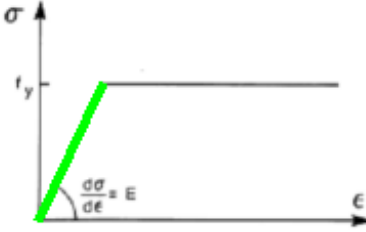
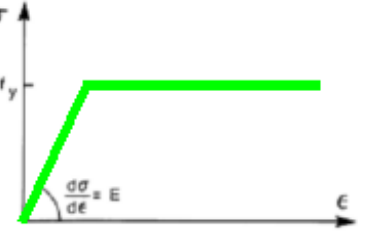
Analiza I i II rzędu

Dla wiotkich konstrukcji pojawiają się dodatkowe momenty zginające, związane z deformacjami konstrukcji



Jako efekt zastępczy wprowadza się współczynnik zwiększający obciążenia poziome: $V_{Ed}^* = V_{Ed} \alpha^*$

Analiza sprężysta i plastyczna

Analiza	Klasy przekroju → #t / 85	Zależność odkształcenie- napężenie
Sprężysta	I, II, III, IV	
Plastyczna	I	

Różne wzory na nośność dla obu rodzajów analizy.

Rys: Autor

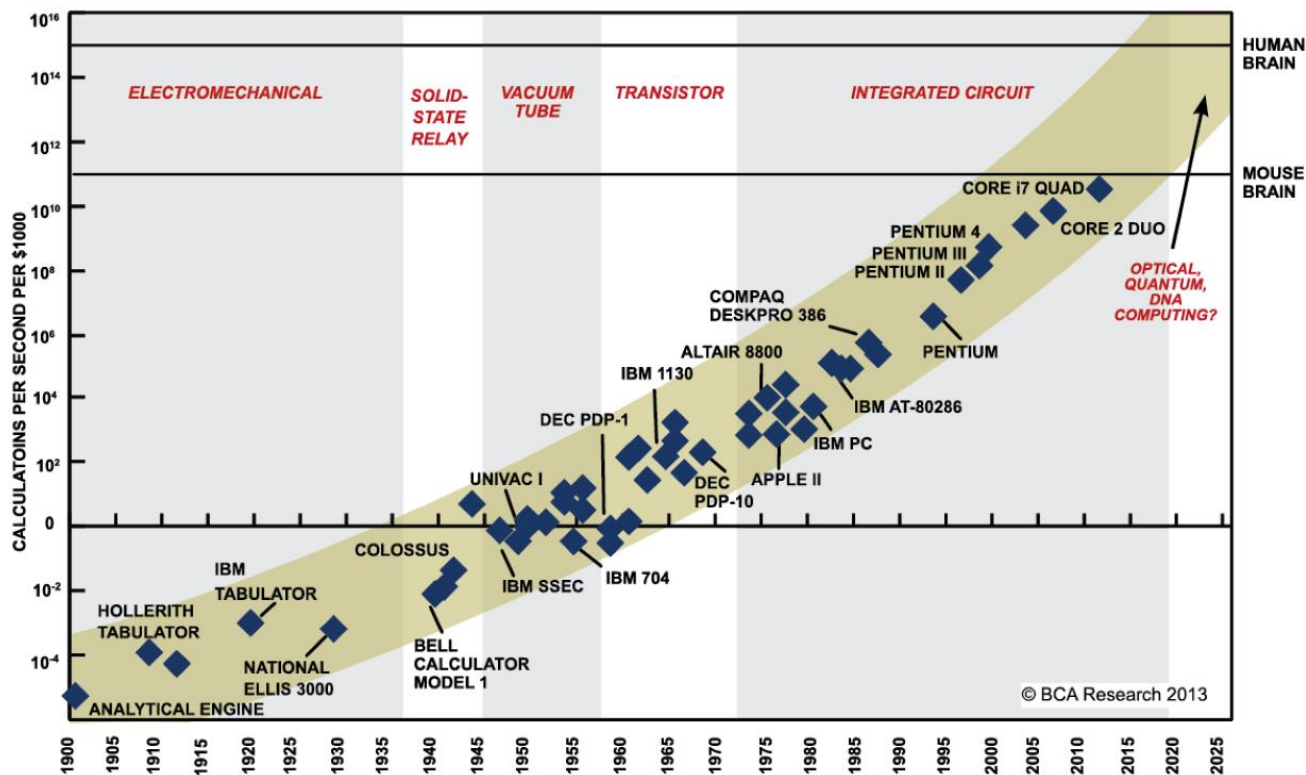
Inne ważne informacje

1975 – początek prac nad Eurokodami;

1980 – 2000 – prace w toku;

Około 2005 – ostateczna wersja Eurokodów;

Rys: dobreprogramy.pl



SOURCE: RAY KURZWEIL, "THE SINGULARITY IS NEAR: WHEN HUMANS TRANSCEND BIOLOGY", P.67, THE VIKING PRESS, 2006. DATAPOINTS BETWEEN 2000 AND 2012 REPRESENT BCA ESTIMATES.

Wnioski: prace nad Eurokodami rozpoczęto, gdy moce obliczeniowe komputerów były

~10 800 000 000 razy mniejsze (!)

niż dzisiaj; zakończono je, gdy były

~10 000 razy mniejsze (!)

niż dzisiaj.

Podstawowe założenie, jakie przyjęto w Eurokodach: wszystkie obliczenia da się przeprowadzić ręcznie (metoda sił, metoda przemieszczeń), bez pomocy komputerów. Zaimplementowano szereg metod, mających uprościć obliczenia (zmiana układu 3D na 2D, linearyzacja zjawisk nieliniowych, uwzględnienie dodatkowych obciążeń zastępczych, równoważących zjawiska pomijane w ramach tych uproszczeń itd.). Dzisiaj wiele z tych uproszczeń jest niepotrzebne, z uwagi na wzrastające możliwości obliczeniowe komputerów.

Obecnie, nie całkiem zgodnie z duchem Eurokodów, staramy się wykorzystać wszystkie możliwości obliczeniowe, jakie dają komputery (liczenie 3D, uwzględnienie nieliniowości geometrycznych i materiałowych itd.).

Obliczenia:	Ręczne	Komputerowe
2 D	Podstawa	Dopuszczalne
3 D	Dopuszczalne	Zalecane

Obliczenia:	Ręczne	Komputerowe
Analiza sprężysta: liniowa zależność σ – ε	Podstawa, II, III i IV klasa przekroju	Dopuszczalne (materiał liniowo sprężysty)
Analiza plastyczna: nieliniowa zależność σ – ε	Podstawa, I klasa przekroju	Zalecane (nieliniowość materiałowa)

Obliczenia:	Ręczne	Komputerowe
I rzędu	Dopuszczalne warunkowo ($\rightarrow \#t / 86$)	Dopuszczalne (małe odkształcenia)
II rzędu	Dopuszczalne warunkowo ($\rightarrow \#t / 86$)	Zalecane (duże odkształcenia)



Rys: genius.com



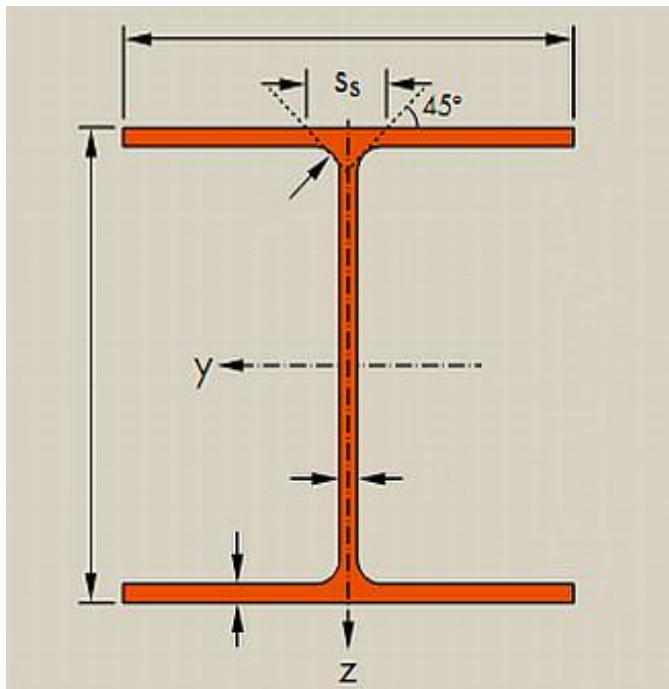
Rys: wikipedia

UWAGA

Komputer nigdy nie jest mądrzejszy od użytkownika



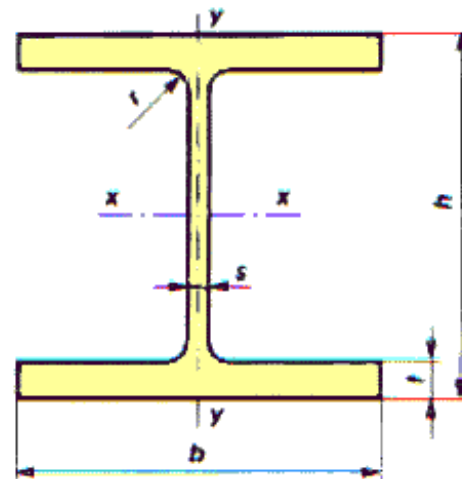
Rys: thesaltfactory.org



Rys: optimax.pl

Zgodnie z Eurokodem, oś pozioma (silna) oznaczana jest Y, a pionowa Z

Osie

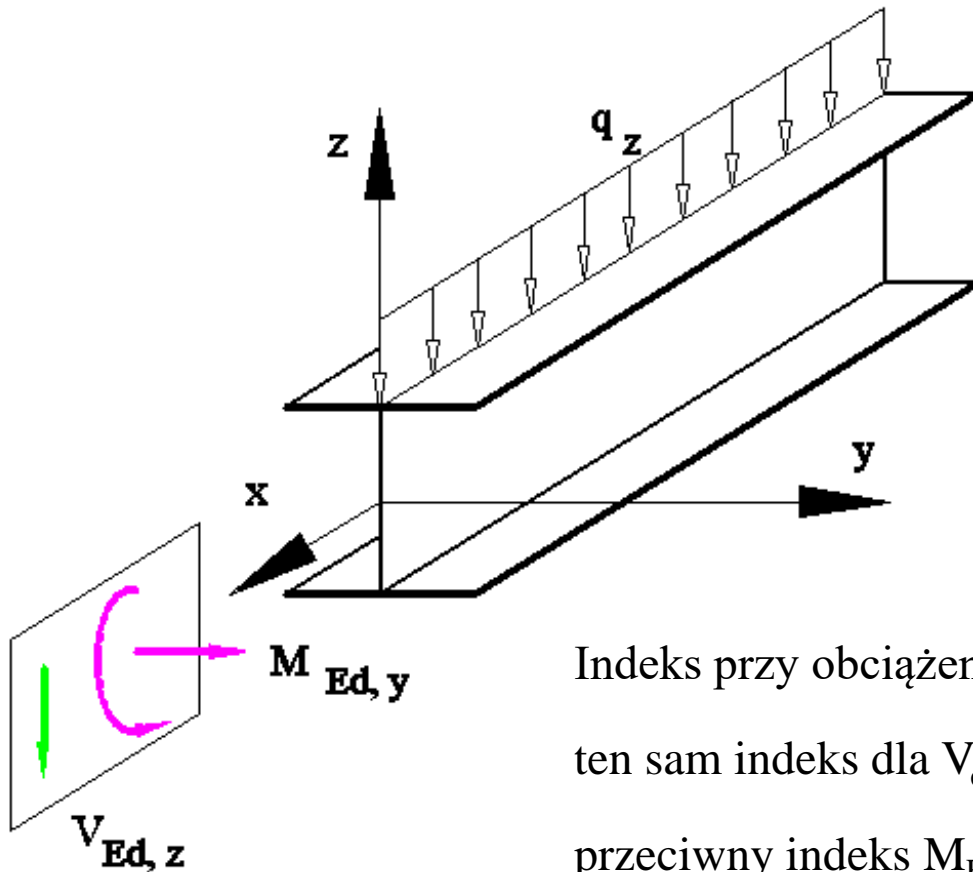


Rys: stalesia.com

W starych wydaniach tablic osie te nazywano, odpowiednio, X i Y

Pomylenie nazw osi (Y) i błędne przyjęcie do obliczeń momentu bezwładności czy wskaźnika wytrzymałości może być niebezpieczne.

Osie, obciążenia, siły przekrojowe i przemieszczenia



Rys: Autor

$$q_z \rightarrow V_{Ed, z}, M_{Ed, y}$$

$$\Delta_z = a q_z l^4 / (E J_y)$$

$$M_{Rd, y} \approx W_y$$

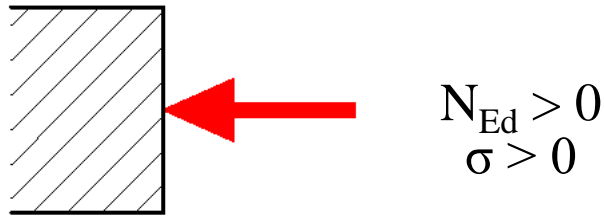
Indeks przy obciążeniu $q \rightarrow$

ten sam indeks dla V_{ed} oraz Δ ($y \rightarrow y$; $z \rightarrow z$)

przeciwny indeks M_{Ed}, M_{Rd}, J oraz W ($y \rightarrow z$; $z \rightarrow y$)

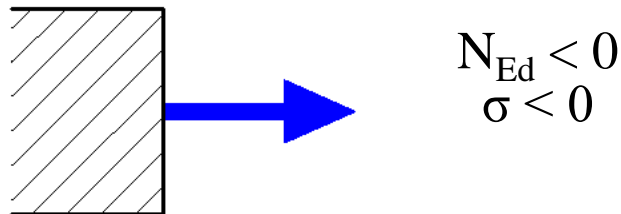
Dodatnie i ujemne siły osiowe / naprężenia normalne

Zgodnie z Eurokodem:



Rys: Autor

Dla różnych programów komputerowych pojęcia dodatnie i ujemne nie zawsze są zgodne z Eurokodem



Niestety w Eurocode można znaleźć wiele nieścisłości. Najczęstszym przypadkiem jest:

Złożona sytuacja podzielona na kilka przypadków A, B...

Pełna informacja o postępowaniu w przypadku A

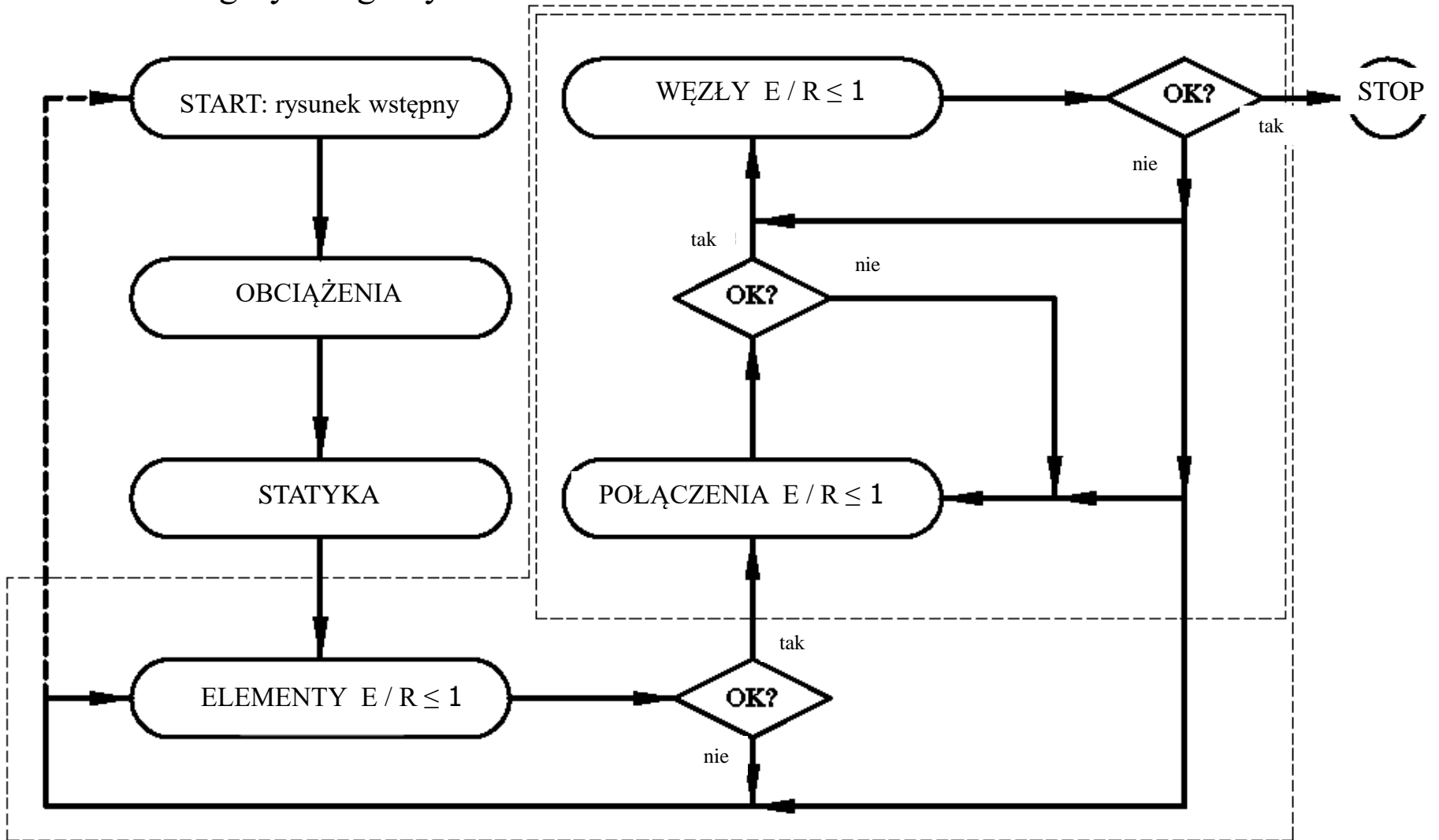
Brak informacji dla przypadku B

Większość takich sytuacji dotyczy różnych zjawisk w sztywnych węzłach śrubowych (na przykład: nośność przekroju netto w przekroju osłabionym otworami na śruby, sztywność połączeń zakładkowych, wpływ siły osiowej na nośność przy zginaniu węzła).

Rzadki przypadek to sprzeczności między różnymi punktami w Eurokodzie. Przykładami są obliczenie nośności betonowej stopy pod słupem podpartym przegubowo lub nośność słupów złożonych.

Wszystkie te problemy zostaną wymienione w przyszłych wykładach.

Algorytm ogólny



Rys: Autor

Zagadnienia egzaminacyjne

Zależności między wartością średnią, charakterystyczną i obliczeniową oraz współczynnikami bezpieczeństwa dla obciążenia i wytrzymałości

Wyjaśnienie pojęcia Metoda Stanów Granicznych

Wyjaśnienie różnych Stanów Granicznych

Znaczenie klas konsekwencji

Znaczenie czasu eksploatacji

Dziękuję za uwagę

© 2025 dr inż., Tomasz Michałowski

tmichal@pk.edu.pl